



**Πρακτικά 1^ο Συνεδρίου Γεωγραφικών
Πληροφοριακών Συστημάτων και Χωρικής
Ανάλυσης στη Γεωργία και στο Περιβάλλον**

28 - 29 Μαΐου 2015

Συνεδριακό Αμφιθέατρο Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Επιμέλεια έκδοσης: Διονύσιος Καλύβας

Copyright 2016: Ερευνητική Μονάδα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων

ISBN: 978-960-6806-18-6

Εκτύπωση: Τυπογραφείο Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55

Ερευνητική Μονάδα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων



Ελληνική Εταιρεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών



Η Οργανωτική Επιτροπή του Συνεδρίου ευχαριστεί τους παρακάτω φορείς για την οικονομική ενίσχυση που προσέφεραν για την άρτια διοργάνωση του 1^{ου} Συνεδρίου Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και Χωρικής Ανάλυσης στη Γεωργία και στο Περιβάλλον:



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Ερευνητική Μονάδα GIS του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και η Ελληνική Εταιρεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (HellasGIS) σας παρουσιάζουν τα πλήρη πρακτικά του 1^{ου} Συνεδρίου Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και Χωρικής Ανάλυσης στη Γεωργία και στο Περιβάλλον.

Η χρησιμοποίηση τεχνολογιών GIS και μεθόδων χωρικής στατιστικής έχει δώσει τα τελευταία χρόνια σημαντική ώθηση στην κατανόηση αλλά και στην αντιμετώπιση σημαντικών προβλημάτων της Ελληνικής Γεωργίας. Σκοπός του συνεδρίου είναι η παρουσίαση των σύγχρονων προσπαθειών και τάσεων των εφαρμογών των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων ΓΠΣ και της Χωρικής Ανάλυσης στην Γεωργία και στο Περιβάλλον.

Η θεματολογία του Συνεδρίου περιλαμβάνει ερευνητικές προσπάθειες χρησιμοποίησης τεχνολογιών Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS), Γεωβάσεων, Συστημάτων συλλογής δεδομένων, Ψηφιακής Απεικόνισης, Τηλεπισκόπησης και μεθόδων Χωρικής Ανάλυσης σε όλους τους τομείς της Γεωργικής Παραγωγής.

Το πρόγραμμα Συνεδρίου, όπως τελικά διαμορφώθηκε, περιέλαβε **41 προφορικές ανακοινώσεις** κατανεμημένες σε **7 συνεδρίες**, **11** αναρτημένες ανακοινώσεις – **poster**, **5 εκπαιδευτικά εργαστήρια**, **4 παρουσιάσεις από εταιρείες-χορηγούς** του Συνεδρίου και διοργάνωση συζήτησης – **στρογγυλής τράπεζας για τη σημασία της χωρικής πληροφορίας στη γεωργία**.

Οι εργασίες που υποβλήθηκαν έχουν ως γενικό περιεχόμενο τη χρησιμοποίηση δυνατοτήτων των GIS και μεθόδων της Χωρικής Ανάλυσης:

- στη διερεύνηση προβλημάτων σχετικών με τους Εδαφικούς Πόρους
- στη μελέτη και στο σχεδιασμό μέτρων διαχείρισης του Αστικού και Περιαστικού Πρασίνου
- στην αντιμετώπιση ζητημάτων γύρω από τους Υδατικούς Πόρους (άρδευση, επιφανειακή υδρολογία, πλημμύρες)
- στην εκμετάλλευση των πληροφοριών των Δορυφορικών Δεδομένων
- στη Φυτοπροστασία
- σε επίπεδο αγρού – Γεωργία Ακριβείας
- στη μελέτη θεμάτων που σχετίζονται με Γεωργικές και Κτηνοτροφικές Χρήσεις Γης

Τα εκπαιδευτικά εργαστήρια που πραγματοποιήθηκαν αντιμετώπισαν ειδικά θέματα GIS και Χωρικής Ανάλυσης και συγκεκριμένα

- Mobile GIS – GPS – Διαχείριση Δεδομένων στον Αγρό
- Διερευνητική Χωρική Ανάλυση Δεδομένων
- Χωρική Παρεμβολή – Γεωστατιστική
- Προγραμματισμός σε περιβάλλον GIS (Python και ArcGIS)
- Μοντέλα Αλλαγών Χρήσεων Γης

Η οργανωτική επιτροπή θα ήθελε να ευχαριστήσει τους ομιλητές, τους συγγραφείς και τους συμμετέχοντες στο 1^ο Συνέδριο Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και Χωρικής Ανάλυσης στη Γεωργία και στο Περιβάλλον. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας του ΓΠΑ καθώς και τους χορηγούς του Συνεδρίου που στήριξαν οικονομικά την πραγματοποίηση του Συνεδρίου.

ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΚΑΛΥΒΑΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΕΠΙΤΡΟΠΕΣ

ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καλύβας Διονύσιος (Υπεύθυνος Διοργάνωσης)	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Γιαλούρης Κων/νος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Θεοχαρόπουλος Σίδερης	ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ
Λορέντζος Νικόλαος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Παπαδόπουλος Αριστοτέλης	ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ
Πετρόπουλος Γεώργιος	University of Aberystwyth
Τσιλιγκιρίδης Θεόδωρος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Φουντάς Σπυρίδων	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Φραγκούλης Δημήτριος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αγγελάκης Κωνσταντίνος	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων
Αλεξανδρής Σταύρος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Αλεξανδρίδης Θωμάς	Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Αρβανίτης Κων/νος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Βαβουλίδου Ευαγγελία	ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ
Γιαλούρης Κων/νος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Δαλέζιος Νικόλαος	Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δέρκας Νικόλαος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Δημοπούλου Έφη	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ζέρβας Γεώργιος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Θεοχαρόπουλος Σίδερης	ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ
Καλύβας Διονύσιος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Καραβίτης Χρήστος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Κοσμάς Κωνσταντίνος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Κυριακίδης Φαίδων	Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Λορέντζος Νικόλαος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Μιμίδης Θεολόγος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Μουστάκας Νικόλαος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Μπαρμπαγιάννης Νικόλος	Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Μυλωνάς Παναγιώτης	Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Συνέδριο
Νεκτάριος Παναγιώτης	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Οικονόμου Γαρυφαλλιά	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Παπαδόπουλος Αντώνιος	ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ
Παπαδόπουλος Αριστοτέλης	ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ
Παπαδόπουλος Γεώργιος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Παπανικολάου Ιωάννης	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Παπαφωτίου Μαρία	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Πετρόπουλος Γεώργιος	University of Aberystwyth
Ροζάκης Στυλιανός	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Σούλης Κων/νος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Σταμάτης Γεώργιος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τούλιος Λεωνίδας	ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ
Τριαντακωνσταντής Δημήτριος	Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τσαντήλας Χρίστος	ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ
Τσάτσαρης Ανδρέας	ΑΤΕΙ Αθηνών
Τσιλιγκιρίδης Θεόδωρος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τσιχριντζής Βασίλειος	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Φουντάς Σπυρίδων	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Φραγκούλης Δημήτριος	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Χαλκιάς Χρήστος	Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Χατζηγεωργίου Ιωάννης	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Χατζηχρήστος Θωμάς	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ψωμιάδης Εμμανουήλ	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

Αλεξανδρή Σωτηρία	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Βουλγαράκης Αποστόλης	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Δήμου Παρασκευή	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Κολοβός Χρόνης	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Περιεχόμενα

ΕΝΟΤΗΤΑ 1^η: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΛΑΦΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	8
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΛΑΦΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΛΜΥΡΟΥ ΚΑΙ ΔΙΜΗΝΙΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	9
ΧΩΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΩΣΦΟΡΙΚΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΚΡΑΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ	20
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ ΟΙΝΟΠΟΙΗΣΙΜΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΑΜΠΕΛΟΥ ΣΤΟ ΑΜΠΕΛΟΟΙΝΙΚΟ ΤΟΠΙΟ ΤΗΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ	39
ΕΝΟΤΗΤΑ 2^η: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ – ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ...62	62
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΛΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟ ΔΑΣΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟΥ ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (UAV).....	63
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ (COST PATH) ΤΟΥ GIS ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΖΩΓΡΑΦΟΥ.....	72
Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ GIS ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	84
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΠΕΙΡΑΙΑ ..	94
ΕΝΟΤΗΤΑ 3^η: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	107
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS.....	108
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΩΝ ΖΩΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΠΕΔΙΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS ΚΑΙ HEC-RAS.....	119
ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΠΣ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΕΝΤΟΝΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΡΤΑΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 31/1-1/2/2015.....	131
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ IRRIGATION ESTIMATION.....	145
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΩΝ (STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX - SPI) ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ 1989-1990 ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (ΓΠΣ).....	162

ΕΝΟΤΗΤΑ 4^η: ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ –ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	175
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΔΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ ΕΤΗΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ RAPID EYE. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΡΗΝΑΝΙΑ ΠΑΛΑΤΙΝΑΤΟ, ΓΕΡΜΑΝΙΑ.....	176
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ LANDSAT ΕΙΚΟΝΩΝ	187
ΧΩΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ NATURA ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1984-2014 ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	199
ΕΝΟΤΗΤΑ 5^η: ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	210
Η ΧΛΩΡΙΔΙΚΗ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΗΣ ΟΞΑΛΙΔΑΣ ΣΕ ΕΛΑΙΩΝΕΣ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	211
ΕΝΟΤΗΤΑ 6^η: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΓΡΟΥ – ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	222
Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΜΠΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΦΥΛΛΩΜΑΤΟΣ	223
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΚΑΙ RGB ΚΑΜΕΡΑΣ.....	236
ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΟΙΝΟΥ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΓΡΟΥ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΑ ΑΓΙΩΡΓΙΤΙΚΟΥ ΣΤΗ ΝΕΜΕΑ.....	247
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ NDVI ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟΥ ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	260
ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΝΕΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ (UAV).....	276
ΕΝΟΤΗΤΑ 7^η: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	288
ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΒΟΣΚΟΝΤΩΝ ΖΩΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΒΟΣΚΟΜΕΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	289
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΥ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ, ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ, ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ, ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑΣ.....	303
ΧΩΡΙΚΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	315

ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΑΞΙΑ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΤΟΠΙΟΥ ΤΗΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ.....	327
ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΔΙΚΟΥ ΠΛΟΥΤΟΥ ΣΤΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΘΕΣΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΚΡΟΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΦΥΤΩΝ (ΜΑΦ) ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ.....	344

ΕΝΟΤΗΤΑ 1^η

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΛΑΦΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

**ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ
ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΛΑΦΗ ΤΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΛΜΥΡΟΥ ΚΑΙ ΔΙΜΗΝΙΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ**

**Γκόλια Ευαγγελία^{1*}, Αντωνιάδης Βασίλειος¹, Φλωράς Σταμάτιος¹, Δημήτρου
Ανθούλα¹ και Βλειώρας Σπυρίδων²**

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας
Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38 446, Νέα
Ιωνία Μαγνησίας, egol@uth.gr

²Περιφερειακό Κέντρο Προστασίας Φυτών και Ποιοτικού Ελέγχου Μαγνησίας,
Τορούτζια & Νικολαΐδη, 38 334 Πεδίο Άρεως, Βόλος

Λέξεις-κλειδιά: Βαρέα μέταλλα, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Αλμυρός,
Διμήνι Μαγνησίας.

Περίληψη

Σε γεωργικά εδάφη των περιοχών Αλμυρού και Διμηνίου του Νομού Μαγνησίας πραγματοποιήθηκε έρευνα με σκοπό την καταγραφή και την παρακολούθηση της μεταβολής της ολικής συγκέντρωσης του αρσενικού και των βαρέων μετάλλων. Κατά τα έτη 2008 έως και 2010, συγκεντρώθηκαν 220 επιφανειακά δείγματα εδάφους κάθε έτος (συνολικά 660 δείγματα) από την περιοχή μελέτης. Στα εδαφικά δείγματα έγινε ποσοτικός προσδιορισμός της ολικής συγκέντρωσης αρσενικού και βαρέων μετάλλων, με χρήση φασματοφωτομέτρου Ατομικής Απορρόφησης με εξάρτημα φούρνου γραφίτη και παραγωγής υδριδίων ενώ, σε κάποιες περιπτώσεις έγινε χρήση φασματοφωτομέτρου Ατομικής Εκπομπής. Σε όλα, σχεδόν, τα δείγματα που αναλύθηκαν, προσδιορίστηκαν τα στοιχεία αρσενικό (As^{3+} , As^{5+}), χρώμιο, χαλκός, ψευδάργυρος και κάδμιο. Σε καμία περίπτωση δε βρέθηκαν συγκεντρώσεις των προαναφερθέντων στοιχείων που να ξεπερνούν τα μέγιστα επιτρεπτά, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, όρια. Για κάθε ένα από τα παραπάνω στοιχεία δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες με χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, μετά την απαραίτητη γεωστατιστική ανάλυση. Οι θεματικοί χάρτες αναμένεται να αποτελέσουν ένα πολύτιμο εργαλείο, το οποίο μπορεί συνεχώς να ανανεώνεται και να δίνει πληροφορίες για τον βαθμό ρύπανσης της περιοχής μελέτης.

1. Εισαγωγή

Τα βαρέα μέταλλα σε γεωργικά, αλλά και σε αστικά εδάφη αποτελούν θέμα μεγάλης ανησυχίας, λόγω του γεγονότος ότι είναι μη βιοαποικοδομήσιμα και επίσης έχουν μεγάλο χρόνο ημίσειας ζωής μέσα στο ανθρώπινο σώμα (Kabata-Pendias και Pendias, 1992). Έχουν τη δυνατότητα να συσσωρεύονται στον άνθρωπο και να

επηρεάζουν το κεντρικό νευρικό σύστημα, προκαλώντας δηλητηριάσεις, αλλά και να δρουν ως συνένζυμα ή καταλύτες σε πολλές άλλες ασθένειες (Zhang κ.α., 2009a, Zhenglei κ.α. 2014). Πηγές των βαρέων μετάλλων μπορούν αν θεωρηθούν τα αέρια διάφορων ατελών καύσεων, τα βιομηχανικά απόβλητα, η γεωχημεία του εδάφους, η ατμοσφαιρική εναπόθεση σκόνης και νέφους, καθώς και πλήθος ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (Jinmei και Xuerping, 2014).

Η ρύπανση των εδαφών από βαρέα μέταλλα είναι πολύ διαδεδομένη στον κόσμο και αποτελεί μακροπρόθεσμο κίνδυνο για την υγεία των οικοσυστημάτων (Abollino κ.α., 2002). Το έδαφος μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την υγεία του ανθρώπου με διάφορους τρόπους, κυρίως μέσω της απευθείας έκθεσης του ανθρώπινου σώματος στα μέταλλα και φυσικά, μέσω των φυτών που καλλιεργούνται σ' αυτό. Οι διάφορες γεωργικές πρακτικές γενικά προκαλούν εμπλουτισμό του εδάφους σε βαρέα μέταλλα, ιδιαίτερα σε Zn, Cu και Cd (Vaccaro κ.α., 2007). Για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των βαρέων μετάλλων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη η απεικόνιση της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας των επιπέδων τους η οποία πραγματοποιείται με γεωστατιστικές μεθόδους (Sun κ.α., 2006). Η ανάγκη για τη βέλτιστη και αειφόρο διαχείριση του εδάφους επέβαλε ως αναγκαία τη χρήση των GIS, τα οποία επιτρέπουν την οικοδόμηση μιας γεωγραφικής βάσης που μπορεί να αποθηκεύσει πληροφορίες σχετικά με το έδαφος, όπως τις τιμές των φυσικοχημικών του ιδιοτήτων, τη συγκέντρωση θρεπτικών ουσιών, την υδρογραφία, το ανάγλυφο, κλπ, οι οποίες, μπορούν να ενημερώνονται και να ανανεώνονται στον χρόνο και στον χώρο (ESRI, 1996, Burrough και McDonnell, 2000).

Η παρούσα εργασία στοχεύει:

- Στην παρακολούθηση των επιπέδων του αρσενικού και των βαρέων μετάλλων στην περιοχή του Αλμυρού και του Διμηνίου Βόλου,
- Στον προσδιορισμό των σχέσεων μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους και των επιπέδων σε βαρέα μέταλλα,
- Στην κατασκευή θεματικών χαρτών προκειμένου να γίνει μια ακριβέστερη αποτίμηση της ρύπανσης στην περιοχή μελέτης.

2. Υλικά και μέθοδοι

Κατά τη διάρκεια των ετών 2008 -2010, συγκεντρώθηκαν 660 επιφανειακά (0-30cm) δείγματα εδάφους (220 δείγματα εδάφους κάθε έτος), από την περιοχή μελέτης.

Οι συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας ανιχνεύθηκαν με DGPS (Differential Global Positioning System) και σημειώνονται στην εικόνα που φαίνεται στην Εικόνα1.



Εικόνα 1: Περιοχή μελέτης (Αλμυρός Βόλου).

Όλα τα δείγματα εδάφους μετά τη συλλογή τους, αεροξηράνθηκαν και κοσκινίστηκαν με κόσκινο διαμέτρου 2mm. Τα χημικά αντιδραστήρια ήταν αναλυτικής ποιότητας (Merck, Darmstadt, Γερμανία). Στα εδαφικά δείγματα προσδιορίστηκε η τιμή του pH (McLean, 1982) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), η περιεκτικότητα σε άργιλο (%) το ποσοστό του ανθρακικού σβεστίου με ασβεστόμετρο Bernard και το ποσοστό της οργανικής ουσίας (μέθοδος Walkley-Black).

Για τον προσδιορισμό της ολικής συγκέντρωσης πραγματοποιήθηκε πέψη με Aqua Regia ($\text{HCl-HNO}_3, 3:1$) σε ειδική συσκευή (ISO, 1994). Ο ποσοτικός προσδιορισμός των μετάλλων έγινε με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με τη χρήση φλόγας (F-AAS) ή θερμαινόμενο φούρνο γραφίτη (HGF-AAS), με διόρθωση υποβάθρου σήματος λυχνία δευτερίου (Lajunen, 1992). Σε κάποιες περιπτώσεις έγινε χρήση φασματοφωτομέτρου Ατομικής Εκπομπής (ICP-AES). Το αρσενικό μετρήθηκε με φασματομετρία ατομικής απορρόφησης, με συσκευή συνεχούς γεννήτριας υδριδίων (HG-AAS) (Welz, 1985).

Για τον προσδιορισμό του Na και K χρησιμοποιήθηκε φλογοφωτόμετρο Sherwood 410. Η ακρίβεια των μεθόδων ανάλυσης ελέγχθηκε με τη χρήση πιστοποιημένων υλικών εσωτερικής αναφοράς.

Η ομαλή κατανομή και η ομοιογένεια των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν ελέγχθηκαν με τις δοκιμές που Kolmogorov-Smirnov και Levene, αντίστοιχα. Στην περίπτωση του Cu και Zn έγιναν λογαριθμικοί μετασχηματισμοί, ενώ για τα στοιχεία Cr και Cd χρησιμοποιήθηκε η μη παραμετρική δοκιμή Kruskal-Wallis (Mendiguchia

κ.α., 2007, Vaccaro κ.α., 2007). Όλες οι μαθηματικές πράξεις αυτές διενεργήθηκαν με τη χρήση των Microsoft® Excel 2000 και SPSS v. 14.

Όλα τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στη δημιουργία της βάσης δεδομένων που συνδέθηκε με τον χάρτη αναφοράς. Ο χάρτης αναφοράς δημιουργήθηκε με τη χρήση του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών PC ARC/INFO 3.5.2. Ως τοπογραφικό υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκαν λεπτομερή τοπογραφικά διαγράμματα 1:5.000 της ΓΥΣ. Η προβολή που χρησιμοποιήθηκε είναι η Lambert Azimuthal Equal Area. Συνολικά ψηφιοποιήθηκαν 5 διαφορετικά επίπεδα (layers) τα οποία περιελάμβαναν: 1) τα υψομετρικά σημεία της περιοχής, 2) τους οικισμούς, 3) το οδικό δίκτυο, 4) το υδρογραφικό δίκτυο και 5) τα σημεία δειγματοληψίας. Για την απεικόνιση του εδαφικού ανάγλυφου, αφού ψηφιοποιήθηκε το επίπεδο (layer) των υψομετρικών σημείων κατασκευάστηκε η βάση δεδομένων με τα αντίστοιχα υψόμετρα. Με τη χρήση των επεκτάσεων Geostatistical Analyst, Spatial Analyst και 3D Analyst και τη γεωστατιστική ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν οι θεματικοί χάρτες και ο χάρτης του εδαφικού ανάγλυφου. Με τη διερευνητική χωρική ανάλυση των δεδομένων (ESDA) χρησιμοποιήθηκαν γνωστές τιμές των δεδομένων για μια συγκεκριμένη περιοχή και αναλύθηκαν στατιστικά τα δεδομένα αυτά. Με τον τρόπο αυτό κατασκευάστηκαν τα Ιστογράμματα, τα γραφήματα των Quartiles, τα γραφήματα της ημιπαραλλακτικότητας (semivariogrammes) και τα γραφήματα της παραλλακτικότητας (covariance). Για τη δημιουργία των συνεχών επιφανειών (χαρτών) χρησιμοποιήθηκαν επιμέρους γεωστατιστικές μέθοδοι όπως Ordinary Kriging, Universal Kriging, Probability Kriging και Disjunctive Kriging. Στους χάρτες που δημιουργήθηκαν με τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων χρησιμοποιήθηκε η γεωστατιστική μέθοδος Ordinary Kriging (Malkakis κ.α., 2006, Xiaoni κ.α., 2010). Τα t-tests που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: συγκρίσεις δύο ανεξάρτητων συνόλων δεδομένων και συγκρίσεις κατά ζεύγη, στα 99% και 95% των επιπέδων των πιθανοτήτων.

3. Αποτελέσματα και συζήτηση

Τα εδάφη της περιοχής που μελετήθηκαν ανήκουν σε διαφορετικές τάξεις ως εξής: Alfisols (31%), Inceptisols (27%), Entisols (22%) και Vertisols (20%) (Soil Survey Staff, 1999). Παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (*t*-test) μεταξύ των τιμών των φυσικοχημικών των ιδιοτήτων των εδαφικών δειγμάτων κατά

τη διάρκειας της μελέτης, οπότε τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέση τιμή μεταξύ των τριών ετών (2008-2010, n=660) της μελέτης (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Μέσες τιμές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εδαφικών δειγμάτων.

	PH (1:1)	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	OO (%)	Αργίλος (%)	CaCO₃ (%)
Ελάχιστη τιμή	5,1	144	1,1	12	MA*
Μέγιστη τιμή	8,5	2855	4,7	43	15
Μέση τιμή	7,2	1456	2,2	21	7,8
Τυπική απόκλιση (%)	18,3	33,4	5,9	25,9	22,7

*MA: Μη Ανιχνεύσιμο

Εφαρμόζοντας επίσης τα απαιτούμενα στατιστικά συγκριτικά τεστ (*t*-test) καθώς και την Ανάλυση Μεταβλητότητας, παρατηρήθηκε μια αυξητική τάση των συγκεντρώσεων του αρσενικού και των μετάλλων για κάθε χρόνο της μελέτης, χωρίς ωστόσο να παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του 2008 και 2009 ή του 2009 και του 2010. Το γεγονός αυτό επέτρεψε την παρουσίαση των συγκεντρώσεων των στοιχείων ως μέση τιμή των συγκεντρώσεων των τριών ετών της μελέτης (2008-2010, n=660) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Συγκέντρωση του αρσενικού ($\mu\text{g/kg}$) και των βαρέων μετάλλων (mg/kg).

	As³⁺	As⁵⁺	Cr	Cu	Zn	Cd
2008	1,9	2,1	38,3	33,8	26,4	2,9
2009	2,1	2,2	39,3	35,1	29,7	3,4
2010	2,3	2,3	40,1	35,5	33,4	3,6
Μέση τιμή	2,1	2,2	39,2	34,8	29,8	3,3

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των στοιχείων ήταν χαμηλότερες από αυτές που παρουσιάζονται σε έρευνες που διεξήχθησαν σε ελληνικά εδάφη (Malkakis κ.α., 2006, Golia κ.α., 2009, Massas κ.α., 2013, Skordas κ.α., 2013).

Στον Πίνακα 3, παρουσιάζονται οι μέθοδοι, οι παράμετροι, τα μοντέλα και τα συγκεκριμένα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία θεματικών χαρτών. Η γεωστατιστική μέθοδος σε όλες τις περιπτώσεις ήταν η Ordinary Kriging.

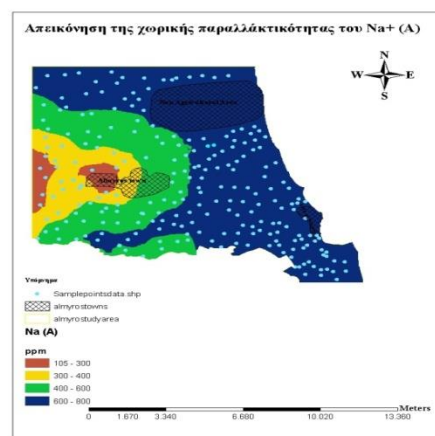
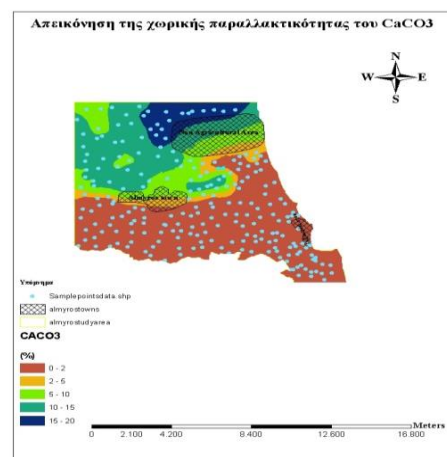
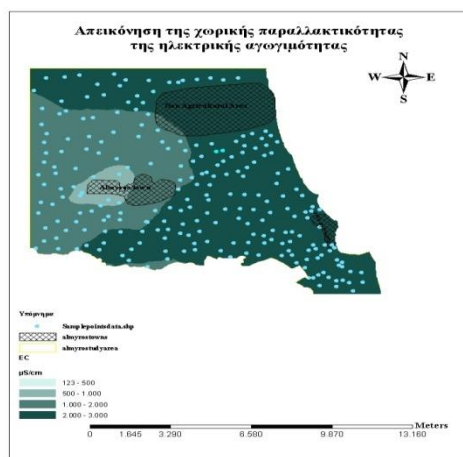
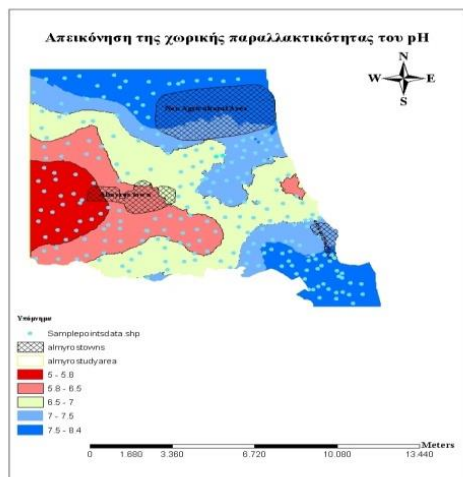
Πίνακας 3. Γεωστατιστικές μέθοδοι, παράμετροι και μοντέλα για την κατασκευή των θεματικών χαρτών.

Χάρτης	Μοντέλο	Εύρος	Partial Sill	Nugget	MPE¹	RMSSt²
pH	Spherical	17899	0.186	0.425	-0.008	0.986
EC	Spherical	15262	23.58	13.58	0.884	0.933
OO	Circular	14583	0.036	0.472	0.01	1.059
CaCO₃	Spherical	17895	282.1	375.3	0.006	1.079
K	k – Bessel	17080	0.234	0.013	0.046	-
Na	Circular	19685	0.987	0.034	0.112	0.778
As³⁺	Circular	19890	0.569	0.013	0.004	0.504
As⁵⁺	Spherical	15262	23.58	13.58	0.884	0.933
Cr	Spherical	14785	6.498	4.105	-0.023	1.077
Cu	Spherical	17899	0.637	0.425	-0.008	0.986
Zn	Circular	12563	1.571	3.876	-0.961	0.967
Cd	Spherical	17080	0.248	0.08128	0.004	0.504

¹Mean Prediction Error

²Root Mean Square Standardized Error

Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η χωρική μεταβλητότητα των φυσικοχημικών παραμέτρων, της συγκέντρωσης των ιόντων Na και K, (μέση τιμή συγκεντρώσεων για τα τρία έτη της μελέτης, n=660).

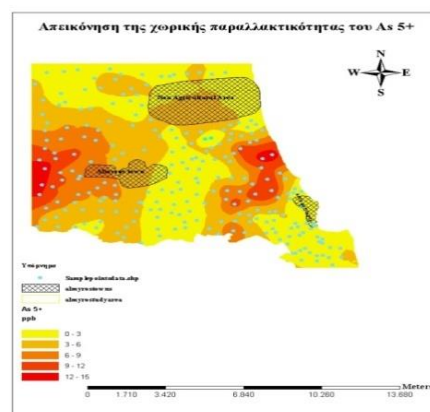


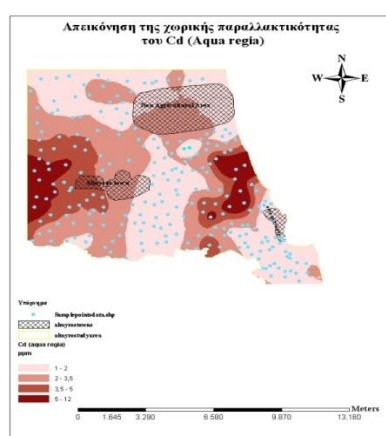
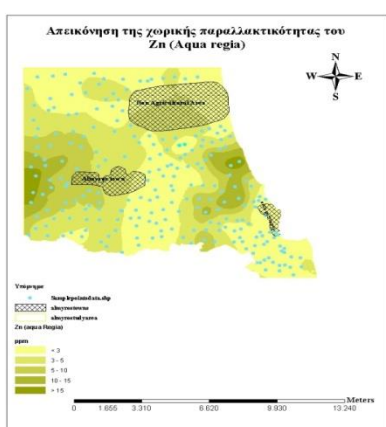
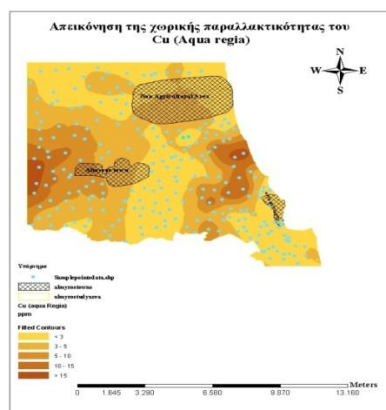
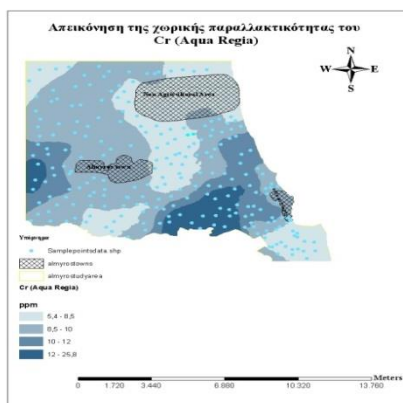
Σχήμα 2: Απεικόνιση της χωρικής μεταβλητότητας των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων, και της συγκέντρωσης των ιόντων Na και K (μέση τιμή συγκεντρώσεων για τα τρία έτη της μελέτης, n=660).

Το pH του εδάφους ταξινομήθηκε σύμφωνα με την κατάταξη MAFF (1988). Στη δυτική πλευρά της περιοχής μελέτης παρατηρήθηκαν εδάφη με πολύ χαμηλές τιμές pH. Μια πιθανή εξήγηση είναι η γεωχημική σύσταση των εδαφών (Malkakis κ.α., 2006). Ειδική μέριμνα πρέπει να ληφθεί στη συγκεκριμένη περιοχή και να γίνεται προσεκτική εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων προκειμένου να αποφευχθεί η περαιτέρω αύξηση της οξύτητας. Στην ανατολική πλευρά της περιοχής μελέτης το pH αυξάνεται, ως αποτέλεσμα των προσχώσεων και της αποσάθρωσης του ασβεστόλιθου. Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία ήταν μικρότερη από 3% σχεδόν σε όλη την περιοχή μελέτης. Υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν σε δείγματα εδάφους που ελήφθησαν από το κάτω μέρος του βουνού Όθρυς, όπου οι τιμές pH ήταν χαμηλό ($pH < 5,8$).

Με βάση την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, παρατηρούμε ότι υπάρχει κίνδυνος αλάτωσης, κυρίως στην ανατολική πλευρά της περιοχής που βρίσκεται κοντά στη θάλασσα. Σε αυτή την πλευρά της περιοχής μελέτης, παρατηρήθηκαν και οι μεγαλύτερες τιμές pH. Οι υψηλές ποσότητες νατρίου παρατηρήθηκαν στην περιοχή ανατολικά της περιοχής μελέτης και ιδιαίτερα σε δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν κοντά στην παράκτια ζώνη του παρασιτικού Κόλπου (Malkakis κ. α., 2006). Η περιεκτικότητα σε $CaCO_3$ ήταν υψηλή κυρίως στο βόρειο μέρος της περιοχής, μαζί με υψηλές τιμές pH ($pH > 7,5$).

Υψηλή περιεκτικότητα σε K, επίσης, παρατηρείται στην περιοχή, πιθανότατα λόγω των υψηλών ποσοτήτων λιπασμάτων που οι ντόπιοι γεωργοί χρησιμοποιούν στις καλλιέργειές τους.





Σχήμα 3: Απεικόνιση της χωρικής μεταβλητότητας των τιμών των συγκεντρώσεων του αρσενικού και των βαρέων μετάλλων (μέση τιμή συγκεντρώσεων για τα τρία έτη της μελέτης, n=660).

Όπως φαίνεται και στους αντίστοιχους θεματικούς χάρτη υψηλές συγκεντρώσεις As, Cd, Cr, Cu, και Zn παρατηρήθηκαν κυρίως, στην ανατολική περιοχή της μελέτης, όπου υπάρχει αυξημένη βιομηχανική δραστηριότητα. Επίσης, οι υψηλές συγκεντρώσεις κυρίως του Cd σε έντονα καλλιεργούμενες περιοχές είναι απόδειξη ότι ενδεχομένως να περιέχονται ως προσμείξεις στα φωσφορικά λιπάσματα (Golia κ.α., 2009). Το ίδιο ισχύει για το αρσενικό, το οποίο σε μεγάλα ποσά περιέχεται σε αρσενικά σκευάσματα που χρησιμοποιούνται από τους παραγωγούς της περιοχής.

Επίσης, είναι γνωστό ότι οι υψηλές ολικές συγκεντρώσεις των μεταλλικών στοιχείων, οφείλονται και στη γεωχημεία της περιοχής (Malkakis κ.α., 2006, Golia, κ.α., 2009).

Σε καμία περίπτωση δεν βρέθηκαν συγκεντρώσεις των προαναφερθέντων μεταλλικών στοιχείων που να ξεπερνούν τα μέγιστα επιτρεπτά, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, όρια.

GIS-BASED MONITORING OF AS AND HEAVY METAL LEVELS IN SOILS OF MAGNESSIA AREA (CENTRAL GREECE)

E. Golia¹, V. Antoniadis¹, St. Floras¹, A. Dimirkou¹, and S. Vleioras S.²

¹Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, 38 446 Nea Ionia, Volos, Greece, E-mail: egol@uth.gr

²Regional Center of Plant Protection and Quality Control Magnesia, 38334 Volos

ABSTRACT

The purpose of this work was to provide information on As and heavy metals content in surface soils of Almyros and Dimini area, in central Greece. A three years (2008-2010) research was conducted, in order to investigate the possible temporal variation of As and heavy metals levels. Each year a number of 220 soil samples (660 totally number of samples) were collected from the area studied, using a Differential Global Positioning System (D.G.P.S.). Soil samples were analysed for physicochemical parameters and for pseudo-total content of metals, after digestion with Aqua Regia.

Thematic maps were created, with Geographic Information Systems (GIS) techniques, using geostatistical tools. The levels of As and metals determined were lower than the maximum permitted by the European Union limits.

REFERENCES

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentasti, E., Sarzanini, C., Petrella, F. (2002). Heavy Metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. Distribution, speciation and chemo metric data treatment. *Chemosphere*, 49, 545-557.
- Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. (2000). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, New York.
- ESRI. *Introduction to map design*. ESRI, Inc. 1996.
- Golia, E. E., Floras, St. A., Dimirkou, A. (2009). Monitoring the variability of Zinc and Copper in Surface Soils from Central Greece. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 82, 6-10.
- ISO/DIS 11466.(1994). *Environment Soil Quality*. By ISO Standards Compendium, Switzerland.
- Jinmei, B. & Xueping, L. (2014). Heavy metal pollution in surface soils of Pearl River Delta, China. *Environmental Monitoring Assessment*, 186, 8051-8061.

- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (1992). In Trace Elements in Soils and Plants. 2nd Ed.; CRC Press, London.
- Lajunen, L. H. G. (1992). Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption and Emission. The Royal Society of Chemistry: Cambridge, England.
- MAFF. Fertilizer Recommendations. (1988). Reference Book 209. HMSO. London
- Malkakis, K.G., Golia ,E.E., Stamatopoulou, I.G., Floras, S.A., Mitsios, I.K. (2006). Study of spatial variability of available phosphorus (Olsen), boron, nitrates and nitrites in Almyros region (central Greece), using geostatistics. Proceedings of International Conference On Information Systems in Sustainable Agriculture, Agro-environment and Food Technology, 22-25 September, Volos, Greece, pp 756-764.
- Massas, I., Kalivas, D., Egalitis, C., Gasparatos, D. (2013). Total and available concentrations in soils of the Thriassio plain (Greece) and assessment of soil pollution indexes. Environmental Monitoring Assessment, 185, 6751-6766.
- McLean, E.O. (1982). Soil pH and Lime Requirements, In Methods of Soil Analysis Part II -Chemical and Microbiological Properties; Page, A. L., Miller, H. R.; Keeney, R. D. Eds;. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc.: Madison, Wisconsin, USA.
- Mendiguchía, C., Moreno, C., García-Vargas, M. (2007). Evaluation of natural and antropogenic on the Guadalquivir River (Spain) by dissolved heavy metals and nutrients. Chemosphere, 69 (10), 1509-1517.
- Soil Survey Staff . (1999). Soil Taxonomy, A Basic S, ystem of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd Ed., USDA, Was DC, USA.
- Skordas, K., Papastergios, G., Filippidis, A. (2013). Major and trace element in apples from a cultivated area of central Greece. Environmental Monitoring Assessment, (185), 8465-8471.
- Sun. L., Zhang, Y.H., Sun, T.H., Gong, Z.Q., Lin ,X., Li, H.B. (2006), Temporal-Spatial Distribution in soils in Shenyang Zhangshi irrigation area, China. Journal of Environmental Science, 18(6), 1241-1246.
- Vaccaro, S., Sobiecka, E., Contini, S., Locoro, G., Free, G., Gawlik, B.M. (2007). The application of positive matrix factorization in the analysis, characterization and detection of contaminated soils. Chemosphere, 69, 1055-1063.
- Welz, B. (1985). Atomic Absorption Spectrometry. VCH. Weinheim, Germany.
- Xiaoni, H., Hong, L., Danfeng, S., Liandi, Z., Baoguo, L. (2010). Multi-scale spatial structure of heavy metals in agricultural soils in Beijing. Environmental Monitoring Assessment, 164, 605-616.
- Zhang, W.G., Feng, H., Chang, J.N., Qu, J.G., Xie, H.X., Yu, L.Z. (2009a). Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: an assessment from different meddles. Environmental Pollution, 157, 1533-1543.
- Zhengle, X., Zhigao, S., Zhang, H., Zhai, J. (2014). Contamination assessment of arsenic and heavy metals in a typical abandoned estuary wetland-a case study of the Yellow River Delta Nature Reserve. Environmental Monitoring Assessment, 186, 7211-7232.

ΧΩΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΩΣΦΟΡΙΚΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΚΡΑΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ

Λέκκας Κωνσταντίνος, Ασημακόπουλος Ιωάννης, Καλύβας Διονύσιος*

Τομέας Εδαφολογίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής,
Σχολή Αγροτικής Παραγωγής, Υποδομών και Περιβάλλοντος,
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Ιερά Οδός 75, Αθήνα, 11855, email: kaliivas@aua.gr

Λέξεις-κλειδιά: εξίσωση μακράς εξισορρόπησης, Inverse Distance Weighting, φώσφορος, άργιλος, pH, παραλλακτικότητα φωσφορικής λίπανσης, GIS

Περίληψη

Σήμερα είναι γνωστό, πόσο σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ορθολογική λίπανση των καλλιεργειών στη διαμόρφωση του ύψους της αγροτικής παραγωγής αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος από τις λιπάνσεις με υπερβολικές ποσότητες, οι οποίες προκαλούν σοβαρά προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος και ειδικότερα των υπόγειων νερών. Ένα από τα κύρια θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών είναι ο φώσφορος, με σημαντική θρεπτική αξία για αυτά.

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης φωσφορικής λίπανσης για καλλιέργειες οι οποίες αναπτύσσονται σε εδάφη της περιοχής μελέτης (νομοί Άρτας και Πρέβεζας) πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS, χρησιμοποιώντας την εξίσωση της μακράς εξισορρόπησης της φωσφορούχου λίπανσης, με παραμέτρους την περιεκτικότητα των προς εξέταση εδαφών σε άργιλο και σε φώσφορο. Τα εδαφικά δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε βάση δεδομένων GIS, η οποία αναπτύχθηκε για τις ανάγκες αυτής της εργασίας. Χρησιμοποιήθηκε το εμπορικό λογισμικό ArcGIS ενώ για την ανάπτυξη του μοντέλου έγινε χρήση του περιβάλλοντος ModelBuilder.

Δημιουργήθηκαν τρεις πλεγματικοί χάρτες χρησιμοποιώντας την τοπική μέθοδο χωρικής παρεμβολής, της σταθμισμένης αντίστροφης απόστασης (Inverse distance weighting – I.D.W.). Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας αυτούς τους πλεγματικούς χάρτες, δημιουργήθηκαν τρεις νέοι λαμβάνοντας υπ' όψη τους περιορισμούς που αφορούν στις τιμές της αργίλου, του φωσφόρου, και του pH και οι οποίοι αποτελούν αναγκαίες συνθήκες για την εφαρμογή της εξίσωσης της μακράς εξισορρόπησης. Στη συνέχεια, ανάλογα και με τις απαιτήσεις των καλλιεργειών των περιοχών μελέτης σε φώσφορο, καθορίστηκαν γενικές κατευθύνσεις φωσφορούχου λίπανσης ανά καλλιέργεια, σε λιπαντικές μονάδες πεντοξειδίου του φωσφόρου ($\text{Kg P}_2\text{O}_5/\text{στρέμμα}$), αναφορικά και με τα τρία άριστα επίπεδα του φωσφόρου στο έδαφος που ορίστηκαν σε 20, 25, και 30 ppm.

Παρατηρήθηκε, σημαντική ανά καλλιέργεια, διαφοροποίηση του μέσου όρου της φωσφορούχου λίπανσης ($\text{Kg P}_2\text{O}_5/\text{στρέμμα}$), ανά καλλιέργεια, σε σχέση με την απαιτούμενη μέγιστη συνιστώμενη ποσότητα, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχει παραλλακτικότητα της απαιτούμενης φωσφορικής λίπανσης. Επίσης, χρησιμοποιώντας δεδομένα χρήσεων γης υπολογίσθηκαν ανά γεωργική εκμετάλλευση αποτελέσματα, τα οποία εμφάνισαν χωρική παραλλακτικότητα, όχι μόνο σε γειτονικά αγροτεμάχια αλλά ακόμη και εντός του ίδιου αγροτεμαχίου.

1. Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι ένα από τα κύρια θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών είναι ο φώσφορος. Η θρεπτική αξία του φωσφόρου είναι σημαντική για τα φυτά, και αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι συμμετέχει στο σχηματισμό πολλών ενώσεων, όπως των ATP τα οποία στο φυτό μετατρέπονται σε ADT και AMP με αποτέλεσμα να ελευθερώνεται ενέργεια που απαιτείται για τη σύνθεση άλλων ενώσεων καθώς και στη διαδικασία για τη συγκρότηση των πρωτεϊνών και ειδικότερα των φωσφοροπρωτεϊνών, οι οποίες μαζί με τις νουκλεοπρωτεΐνες αποτελούν τα δομικά στοιχεία του κυτταρικού πυρήνα.

Ο φώσφορος αποτελεί το κύριο συστατικό των φωσφορολιπιδίων και των λεκιθινών, οι οποίες είναι απαραίτητες για την αναπνοή των φυτών. Οι ευεργετικές επιδράσεις του φωσφόρου στα φυτά είναι αρκετές μεταξύ των οποίων (Γιάσογλου, 1994): ευνοεί την άνθηση, την καρποφορία και την ωρίμανση, αναστέλλει δυσμενείς επιδράσεις από υπερβολική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων., ευνοεί την ανάπτυξη των ριζών, Ισχυροποιεί τα στελέχη των δημητριακών, βελτιώνει την ποιότητα των προϊόντων, αυξάνει την ανθεκτικότητα στις ασθένειες.

Αναλυτικότερα η μη ορθολογική λίπανση και ειδικότερα η ανεπαρκής φωσφορική θρέψη, επιδρά δυσμενώς σε διάφορες μεταβολικές διαδικασίες των φυτών. Τα φυτά τα οποία υποφέρουν από τροφопενία φωσφόρου έχουν χαρακτηριστικά καθυστερημένη ανάπτυξη. Λόγω των υψηλών απαιτήσεων σε φώσφορο κατά την πρώτη ανάπτυξη, η τροφопενία του φωσφόρου είναι συνηθέστερη στο αρχικό στάδιο των καλλιεργειών. Η έλλειψη όταν δεν είναι μεγάλη ώστε να εμφανίζονται χαρακτηριστικά συμπτώματα συνήθως εκδηλώνεται σαν μια γενική αναστολή και καθυστέρηση της αύξησης των φυτών. Στα σιτηρά αναστέλλεται το «αδέλφωμα», και στα καρποφόρα δένδρα μειώνεται η ανάπτυξη νέων βλαστών και το άνοιγμα των οφθαλμών καθυστερεί.

Γενικά ο σχηματισμός των καρπών και των σπόρων περιορίζεται σοβαρά σε φυτά που υποφέρουν από τροφопενία φωσφόρου. Οι αρνητικές επιδράσεις στην παραγωγή αφορούν όχι μόνο στην ποσότητα αλλά και στην ποιότητα της καρποφορίας. Αντιθέτως μια ικανοποιητική τροφοδοσία των καλλιεργειών με φώσφορο έχει ως αποτέλεσμα τη καλή ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των καλλιεργειών, την αντοχή στο πλάγιασμα και την πρωιμότητα ωρίμανσης του καρπού των σιτηρών, τη βελτίωση ποιότητας της παραγωγής των οπωροφόρων, λαχανικών, λειμώνιων ειδών κ.ά. Επίσης η επάρκεια φωσφόρου ενισχύει την αντοχή στις μυκητολογικές ασθένειες των ριζών των σιτηρών (Γιάσογλου 1994, Αναλογίδης 2000).

Τα ποσά του φωσφόρου που απομακρύνονται από το έδαφος λόγω των αναγκών των καλλιεργειών σε συνδυασμό με τα ποσά του αφομοιώσιμου φωσφόρου στο έδαφος τα οποία προσδιορίζονται με εδαφολογικές αναλύσεις, μπορούν να καθορίσουν τα ποσά του φωσφόρου που πρέπει να προστεθούν στο έδαφος ανάλογα και με το επιθυμητό επίπεδο του φωσφόρου στο έδαφος και τη καλλιέργεια. Σημαντικότερες είναι οι πληροφορίες που αφορούν στη θρεπτική κατάσταση των φυτών και οι αναλύσεις φύλλων (φυλλοδιαγνωστική).

Η μέση περιεκτικότητα των εδαφών σε φωσφόρο κυμαίνεται συνήθως, σύμφωνα με τον Πολυζόπουλο (1976) περίπου στο 0,5% αλλά είναι δυνατόν να είναι πολύ μεγαλύτερη ή πολύ μικρότερη. Στο ανώτερο στρώμα των εδαφών, συνήθως λίγο περισσότερο από το μισό του συνολικού εδαφικού φωσφόρου αποτελεί συστατικό των ανόργανων υλικών του εδάφους ενώ το υπόλοιπο συμμετέχει στη σύσταση της οργανικής ουσίας.

Ο φώσφορος απαντά σχεδόν αποκλειστικά στο έδαφος με τη μορφή διάφορων υπερφοσφορικών. Όπως αναφέρουν οι Ασημακόπουλος και συν. (2009), από την άποψη της θρέψης του φυτού οι διάφορες φωσφορικές μορφές στο έδαφος διαιρούνται σε τρία κλάσματα, στα φωσφορικά στο εδαφικό διάλυμα, στα φωσφορικά διαθέσιμων πηγών και στα μη διαθέσιμα φωσφορικά.

Το πρώτο κλάσμα περιλαμβάνει τα διαλυτά φωσφορικά που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα. Λόγω της πολύ μικρής διαλυτότητας του φωσφόρου, η περιεκτικότητα του εδαφικού διαλύματος σε P κυμαίνεται από 0,1 έως 1 ppm. Το δεύτερο κλάσμα περιλαμβάνει τα φωσφορικά τα οποία «συγκρατούνται» στις επιφάνειες είναι σε ταχεία δυναμική ισορροπία με τα φωσφορικά του διαλύματος, και ονομάζονται ανταλλάξιμα-διαθέσιμα φωσφορικά. Το τρίτο κλάσμα είναι τα

δυσδιάλυτα φωσφορικά, τα οποία μπορεί να μεταφέρονται στο διαθέσιμο κλάσμα με βραδύ ρυθμό.

Στο εδαφικό διάλυμα ο φωσφόρος απαντάται κυρίως με τη μορφή των ιόντων του H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} και PO_4^{3-} σε αναλογίες οι οποίες είναι συνάρτηση του (pH), και οι οποίες αποτελούν την πηγή τροφοδοσίας των φυτών.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων, και ειδικότερα των εδαφολογικών αναλύσεων μέσω σχέσεων που χρησιμοποιούν παραμέτρους οι οποίες προσδιορίζονται εύκολα, όπως η σχέση της μακράς εξισορρόπησης η οποία χρησιμοποιεί το φώσφορο και την άργιλο, αποτελεί σημαντική πληροφορία για τις καλλιέργειες που καλλιεργούνται στα εδάφη αυτά. Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών και τον καθορισμό της απαιτούμενης λίπανσης, σημαντικό εργαλείο αποτελούν τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα και οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής για την εκτίμηση τιμών εδαφικών ιδιοτήτων σε θέσεις που δεν υπάρχουν δεδομένα. (Petersen, et al., 1995). Ειδικότερα για τον φώσφορο έχουν γίνει πολλές προσπάθειες υπολογισμού της ποσότητάς του σε διάφορες γεωργικές εφαρμογές (Καο, et al., 1998). Στη παρούσα εργασία αναπτύχθηκε μοντέλο σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ενώ δημιουργήθηκαν (από τα δεδομένα των αναλύσεων εδάφους της περιοχής μελέτης), τρεις πλεγματικοί χάρτες με τη μέθοδο της χωρικής παρεμβολής και ειδικότερα με την τοπική μέθοδο της χωρικής παρεμβολής Inverse Distance Weighting (IDW) και τέλος υπολογίστηκε η απαιτούμενη φωσφορική λίπανση για διάφορες καλλιέργειες της περιοχής μελέτης.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει περιοχές των νομών Άρτας και Πρέβεζας της Περιφέρειας Ηπείρου. Συγκεκριμένα από τον νομό Άρτας η περιοχή μελέτης καταλαμβάνει το 22% της συνολικής έκτασης του νομού, και ειδικότερα εκτάσεις των Δήμων Αμβρακικού, Αράχθου, Βλαχέρνας, Γεωργίου Καραϊσκάκη, Κομποτίου, Ξηροβουνίου, Πέπα Φιλοθέης και της Κοινότητας Κομμένου. Από τον νομό Πρέβεζας η περιοχή μελέτης καταλαμβάνει περίπου το 16% της συνολικής έκτασης του νομού και ειδικότερα εκτάσεις των Δήμων Ζαλόγγου, Θεσπρωτικού, Κρανέας, Λούρου, Πρέβεζας και Φιλιππιάδος. Ο Νομός Άρτας καταλαμβάνει έκταση 1.612 τ. χλμ. και ο Νομός Πρέβεζας 1.036 τ. χλμ., ενώ η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης είναι 544

τ. χλμ. Στο νότιο μέρος της περιοχής μελέτης υπάρχει ο Αμβρακικός κόλπος ο οποίος αποτελεί έναν από τους σημαντικούς προστατευόμενους υδροβιότοπους της Ελλάδας. Η περιοχή του Αμβρακικού κόλπου είναι μια σχεδόν κλειστή και κατά συνέπεια προστατευόμενη θαλάσσια έκταση, που επικοινωνεί με λιμνοθάλασσες μέσω ελεγχόμενων στομιών. Οι χαμηλές εκτάσεις που περιβάλλουν τον κόλπο και τις λιμνοθάλασσες στα βόρεια, συνίστανται από αλατούχα εδάφη πέρα από τα οποία εκτείνονται γεωργικές εκτάσεις εντατικά καλλιεργούμενες.

Οι γεωργικές δραστηριότητες αποτελούν την κύρια απασχόληση των κατοίκων της περιοχής μελέτης και συμβάλλουν τα μέγιστα στην οικονομία της. Αυτό ισχύει τόσο για τους μικρούς Δήμους της περιοχής αλλά και τους μεγάλους όπως οι Δήμοι Άρτας και Πρέβεζας οι οποίοι εκτός της μεγάλης συμβολής του πρωτογενή τομέα (γεωργία, κτηνοτροφία, αλιεία κ.τ.λ.) στηρίζουν σ' αυτόν και τις δραστηριότητες του δευτερογενή και τριτογενή τομέα. Οι πεδινές αρδευόμενες εκτάσεις που καταλαμβάνουν οι καλλιέργειες στους Ν. Άρτας και Πρέβεζας, εκτείνονται κατά μήκος των λεκανών των ποταμών Λούρου και Άραχθου (κατάντη των φραγμάτων τους) καθώς και των μικρών ρεμάτων Θεσπρωτικού και Βωβού. Πιο συγκεκριμένα για τον Ν. Άρτας, όπως αναφέρουν οι Καλύβας, Κοσμάς κ.ά. (2009), το μεγαλύτερο μέρος αυτού καταλαμβάνεται (στοιχεία Ε.Σ.Υ.Ε. έτους 2007) από δενδρώδεις καλλιέργειες (142.889 στρεμ.), από αροτραίες καλλιέργειες (123.836 στρεμ.), εκτάσεις που βρίσκονται σε αγρανάπαυση 1-5 ετών (62.998 στρεμ.) και ακολουθούν κηπευτική γή (κήποι, φυτώρια, σπορεία, ανθόκηποι κ.λ.π.) (9.656 στρεμ.) και τέλος αμπέλια (521 στρεμ.). Αντίστοιχα ο Ν. Πρέβεζας καταλαμβάνεται [στοιχεία Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδας (Ε.Σ.Υ.Ε.) έτους 2007] από αροτραίες καλλιέργειες (140.486 στρεμ.), δενδρώδεις καλλιέργειες (126.170 στρεμ.), εκτάσεις που βρίσκονται σε αγρανάπαυση 1-5 ετών (43.695 στρεμ.) καθώς επίσης από κηπευτική γη (κήποι, φυτώρια, σπορεία, ανθόκηποι κ.λ.π.) (10.982 στρεμ.) και τέλος αμπέλια (696 στρεμ.). Τα εσπεριδοειδή δίνουν το γενικό γεωργικό χαρακτήρα της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα για το Ν. Άρτας οι πορτοκαλιές επικρατούν (43.785 στρεμ.) και ακολουθούν οι μανταρινιές (5.162 στρεμ.), οι λεμονιές (298 στρεμ.), και άλλα εσπεριδοειδή (116 στρεμ.). Στο Ν. Πρέβεζας αντίστοιχα οι πορτοκαλιές καταλαμβάνουν τις μεγαλύτερες εκτάσεις με 3.929 στρεμ. Και ακολουθούν λεμονιές (2.660 στρεμ.) και μανταρινιές (1.005 στρεμ.).

2.2. Μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού φωσφορικής λίπανσης

Σύμφωνα με τους Karayanni - Christou et al., (2004), και τον Ασημακόπουλο (2007), με τις εργαστηριακές μεθόδους προσδιορισμού της φωσφορικής λίπανσης είναι δυνατόν να υπολογισθεί σε σύντομο διάστημα η απαιτούμενη φωσφορική λίπανση για κάθε αγρό, ο οποίος πρόκειται να καλλιεργηθεί ή καλλιεργείται με κάποιο είδος φυτού και του οποίου είναι ήδη γνωστό το επίπεδο επάρκειας διαθέσιμου φωσφόρου (που έχει προσδιορισθεί προηγούμενα από πειράματα αγρού).

Οι εργαστηριακές αυτές μέθοδοι στηρίζονται στην προσθήκη φωσφόρου σε αντιπροσωπευτικά δείγματα εδαφών και την εξισορρόπηση του προστιθέμενου φωσφόρου για ορισμένα χρονικά διαστήματα. Επειδή η προσρόφηση του φωσφόρου συνεχίζεται με την πάροδο του χρόνου, ο ακριβής προσδιορισμός της απαιτούμενης λίπανσης απαιτεί η εξισορρόπηση να γίνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Μια τέτοια μακρά εξισορρόπηση δίνει την εικόνα της πραγματικής συμπεριφοράς του προστιθέμενου φωσφόρου, π.χ. κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου, και από την προσθήκη με την οποία επιτυγχάνεται το επιθυμητό επίπεδο επάρκειας, προσδιορίζεται η απαιτούμενη λίπανση (Ασημακόπουλος, 2007).

Αντίθετα για να έχει μια εργαστηριακή μέθοδος πρακτική αξία θα πρέπει ο προσδιορισμός της λίπανσης να γίνεται σε εύλογο μικρό διάστημα. Επομένως, όπως είναι ευνόητο, ένας τέτοιος προσδιορισμός σε σύντομο διάστημα απαιτεί «διόρθωση» της λίπανσης αντίστοιχη της πραγματικά απαιτούμενης. Η αντιμετώπιση του προβλήματος της ασφαλούς προσέγγισης της απαιτούμενης λίπανσης μπορεί να γίνει με την ύπαρξη μιας βάσης δεδομένων που θα περιλαμβάνει αποτελέσματα προσδιορισμού της απαιτούμενης λίπανσης από μακρά εξισορρόπηση μιας μεγάλης ομάδας αντιπροσωπευτικών εδαφών, με τα οποία θα συσχετίζονται τα αποτελέσματα της λίπανσης που προκύπτουν από μια βραχεία εξισορρόπηση. Για την ομαδοποίηση των εδαφών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τουλάχιστον το pH αυτών, προκειμένου να επιλέγεται η ίδια μέθοδος εκχύλισης του διαθέσιμου φωσφόρου (όξιν με Bray – Kurtz, ελαφρώς και όξιν έως αλκαλικά με Olsen), (Ασημακόπουλος, 2007).

Όπως αναφέρουν οι Karayanni - Christou et al., (2004), ο πραγματικά απαιτούμενος φώσφορος για την επίτευξη του επιθυμητού σε κάθε περίπτωση διαθέσιμου φωσφόρου μπορεί να προκύψει από τα δεδομένα μακράς διάρκειας και την πολλαπλή γραμμική συσχέτιση του προστιθέμενου φωσφόρου και των ιδιοτήτων των εδαφών που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του εδαφικού φωσφόρου.

Για να χρησιμοποιηθεί μια τέτοια σχέση σύμφωνα με τον Ασημακόπουλο (2007), θα πρέπει:

- Να υπάρχουν δεδομένα από μακρά εξισορρόπηση, επειδή η προσρόφηση - ακινητοποίηση του φωσφόρου εξελίσσεται στο χρόνο, μια ομάδας εδαφών με διαφορετικές ιδιότητες.
- Να τεθούν ως τιμές P-Olsen (ή P- Bray) τα επιθυμητά επίπεδα διαθέσιμου P (P_{opt}), για την οποιαδήποτε καλλιέργεια
- Να επιλυθεί η σχέση ως προς P_{προστ} (P-λίπανση)

Μια τέτοια σχέση θα πρέπει να είναι στατιστικά σημαντική. Επιπλέον, θα πρέπει να δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού της απαιτούμενης λίπανσης σε σύντομο χρονικό διάστημα (Ασημακόπουλος, 2007). Υπό την έννοια αυτή, συσχετίσεις στατιστικά σημαντικές στις οποίες εμφανίζονται ιδιότητες των οποίων ο προσδιορισμός είναι χρονοβόρος, είναι πρακτικά ανεφάρμοστες. Αντίθετα, αν από αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα μακράς εξισορρόπησης προκύψει στατιστικά σημαντική συσχέτιση με ιδιότητες που προσδιορίζονται εύκολα (Ασημακόπουλος, 2007), τότε αυτή θεωρείται αποδεκτή, γιατί δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού της απαιτούμενης φωσφορικής λίπανσης σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Για παράδειγμα, η συσχέτιση που έχει προκύψει από τα δεδομένα μακράς εξισορρόπησης μιας ομάδας 16 εδαφών (Karayanni - Christou, et al., (2004), αφορά μια συσχέτιση με ιδιότητες οι οποίες προσδιορίζονται εύκολα και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η συσχέτιση αυτή αναφέρεται ως εξίσωση μακράς εξισορρόπησης (σχέση 1). Στη σχέση αυτή εισέρχεται η ιδιότητα «clay» (άργιλος%), η οποία προσδιορίζεται εύκολα και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επομένως μια τέτοια σχέση υπολογισμού είναι προτιμότερη, και δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού της απαιτούμενης φωσφορικής λίπανσης σε σύντομο χρονικό διάστημα.

$$((P_{opt} - 7,25) - (1,2 * P_{int}) + (0,24 * clay)) / 0,426 = X \text{ mg P/Kg εδάφους (ή ppm)} \quad (1)$$

Όπου: P_{opt}= η optimum τιμή του φωσφόρου που πρέπει να υπάρχει στο έδαφος

P_{int}= η τιμή του διαθέσιμου φωσφόρου που υπάρχει ήδη στο έδαφος

Clay= η τιμή της αργίλου % που υπάρχει ήδη στο έδαφος

Η εφαρμογή της εξίσωσης μακράς εξισορρόπησης στηρίζεται στους εξής περιορισμούς (Karayanni - Christou et al., 2004):

- Η άργιλος να παίρνει τιμές μεταξύ 13,0 και 64,4
- Ο φώσφορος να παίρνει τιμές μεταξύ 2,7 και 31,3

- Το pH να παίρνει τιμές μεγαλύτερες ή ίσες με 6,5

2.3. Όρια επάρκειας του P στο έδαφος ανάλογα με τη καλλιέργεια (κατά Olsen)

Σύμφωνα με τον Ασημακόπουλο (2014), τα όρια επάρκειας για προσδιορισμό του φωσφόρου (P) με τη μέθοδο Olsen και ανάλογα με τις απαιτήσεις σε P των διαφόρων καλλιεργειών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Σύμφωνα με τον Ασημακόπουλο (2007), στις περιπτώσεις που τα εκχυλιζόμενα ποσά φωσφόρου κατά Olsen υπερβαίνουν τα όρια επάρκειας (P_{opt}) π.χ. τα 20 ppm, οι προστιθέμενες ποσότητες λιπασμάτων θα πρέπει να αντιστοιχούν περίπου στις ποσότητες που προσλαμβάνουν ετησίως τα καλλιεργούμενα φυτά και θα έχουν χαρακτήρα συντήρησης. Στις περιπτώσεις που είναι κατώτερα των 20 ppm, πρέπει να προστίθενται μεγαλύτερες ποσότητες καθοριζόμενες από τη σχέση υπολογισμού, αλλά και με απλούς πειραματισμούς και δοκιμές.

Πίνακας 1. Όρια επάρκειας του φωσφόρου (P) που προσδιορίζεται σε εδάφη με τη μέθοδο Olsen ανάλογα με τις απαιτήσεις των καλλιεργειών

Είδη καλλιεργειών	Επαρκώς εφοδιασμένα (ppm)
Δενδρώδεις καλλιέργειες	20
Φυτά μεγάλης καλλιέργειας	25
Κηπευτικά Υπαίθρια	25
Κηπευτικά Θερμοκηπίου	30

2.4. GIS – Modelling

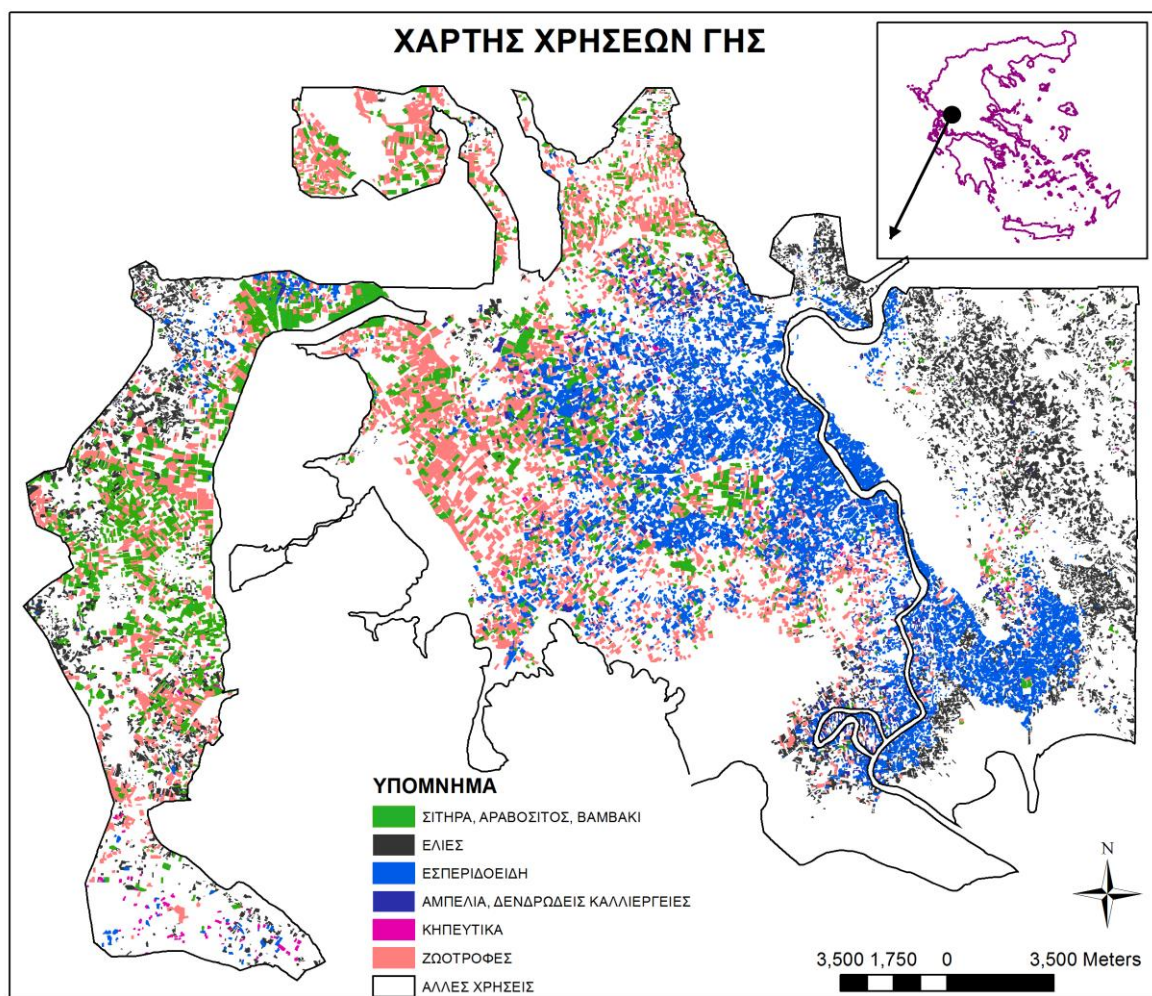
Δεδομένα - Γεωβάση

Γεωγραφική βάση δεδομένων αναπτύχθηκε (χρησιμοποιώντας το λογισμικό ArcGIS) για την καταχώρηση των χωρικών δεδομένων. Εδαφολογικά δεδομένα, που ελήφθησαν από τη μελέτη «Δημιουργία Εδαφολογικών Χαρτών & Έλεγχος της Ποιότητας των Εδαφών των Πεδινών Εκτάσεων του Βόρειου Αμβρακικού» (Καλύβας, Κοσμάς κ.ά., 2009), εισήχθησαν στη γεωβάση ως σημειακό επίπεδο πληροφοριών. Συγκεκριμένα από τα δεδομένα εργαστηριακών αναλύσεων 243 εδαφικών δειγμάτων, που προέρχονται από ισάριθμες επιφανειακές (βάθους 0-30 εκ.) θέσεις σημείων δειγματοληψίας εδαφών, χρησιμοποιήθηκαν το pH, η επί τοις εκατό κ.β. περιεκτικότητα σε άργιλο και η ποσότητα (ppm) του φωσφόρου. Δεδομένα χρήσεων γης (ΥΠΑΑΤ – ΟΠΕΚΕΠΕ), καταχωρήθηκαν στη γεωβάση ως πολυγωνικό επίπεδο.

Στην Εικόνα 1 υπάρχει χάρτης χρήσεων γης που παρουσιάζει τις καλλιέργειες της περιοχής μελέτης.

Χωρική παρεμβολή

Απο τα δεδομένα των αναλύσεων εδάφους της περιοχής μελέτης δημιουργήθηκαν τρεις πλεγματοί χάρτες (pH, αργίλου και φώσφορου) με την μέθοδο της χωρικής παρεμβολής και ειδικότερα με την τοπική μέθοδο χωρικής παρεμβολής **Inverse Distance Weighting (IDW)**. Χωρική παρεμβολή (interpolation) είναι η διαδικασία του υπολογισμού της τιμής των παραμέτρων σε θέσεις που δεν υπάρχουν μετρήσεις χρησιμοποιώντας μετρήσεις που έχουν γίνει σε σημεία μέσα στην ίδια περιοχή (Κόλλια – Κουσουρή, 2007). Η χωρική παρεμβολή χρησιμοποιείται για να μετατρέψει δεδομένα από σημειακές παρατηρήσεις σε συνεχείς επιφάνειες έτσι ώστε οι χωρικοί σχηματισμοί που αντιπροσωπεύουν αυτές οι μετρήσεις να μπορούν να συγκριθούν με τους χωρικούς σχηματισμούς άλλων χωρικών οντοτήτων.



Εικ. 1. Χάρτης χρήσεων γης της περιοχής μελέτης.

Η μέθοδος χωρικής παρεμβολής σταθμισμένης αντίστροφης απόστασης (IDW), θεωρεί ότι η τιμή μιας μεταβλητής σ' ένα μη μετρημένο σημείο είναι ο σταθμισμένος (βάσει του αντιστρόφου τετραγώνου της απόστασης) μέσος όρος των μετρήσεων σε σημεία που υπάρχουν σε μια συγκεκριμένη απόσταση γύρω από το σημείο. Έτσι τα κοντινά σημεία θα συμβάλλουν περισσότερο από ότι τα απομακρυσμένα.

Όπως αναφέρει η Κόλλια - Κουσουρή (2007), η χωρική παρεμβολή είναι απαραίτητη, όταν τα δεδομένα δεν καλύπτουν τελείως όλη την επιφάνεια της υπό εξέταση περιοχής. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει η περίπτωση της υπό εξέταση περιοχής στην παρούσα εργασία, δηλαδή η μετατροπή των δεδομένων από σύνολα σημείων σε συνεχείς επιφάνειες.

Όλες οι διαδικασίες χωρικής παρεμβολής έγιναν χρησιμοποιώντας το υποπρόγραμμα Geostatistical Analyst του λογισμικού ArcGIS με το οποίο μας δίνεται η δυνατότητα να διαχειριστούμε και πλεγματικά δεδομένα.

Χωρικό Μοντέλο

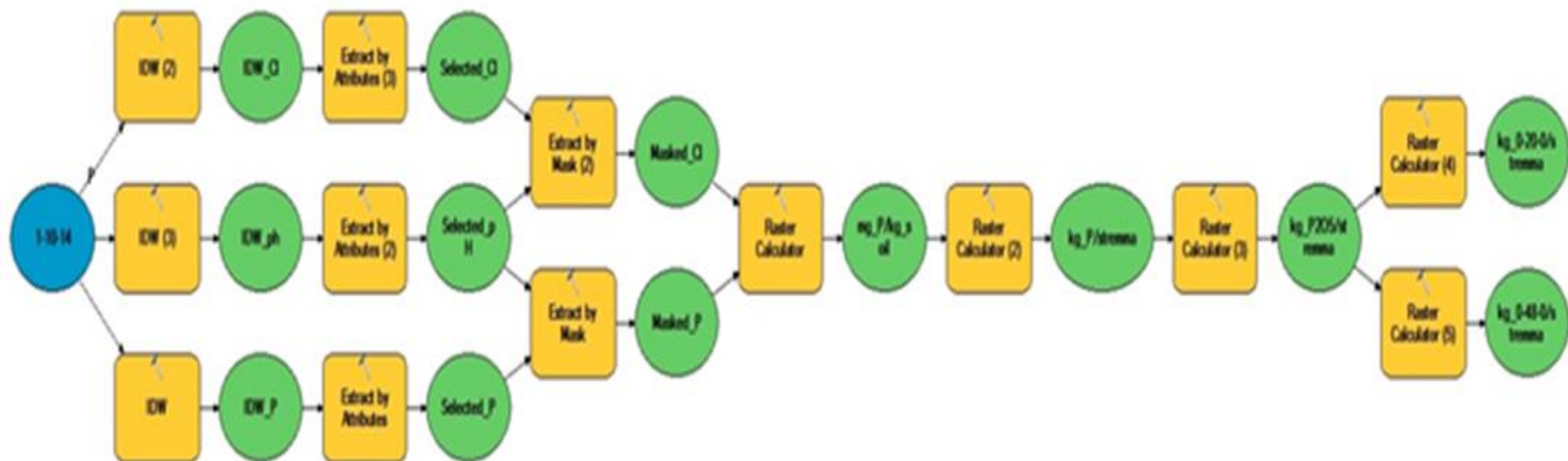
Για την ανάπτυξη του μοντέλου υπολογισμού της φωσφορικής λίπανσης έγινε χρήση του περιβάλλοντος ModelBuilder (ESRI, 2000). Ένα spatial (χωρικό) μοντέλο στο ModelBuilder αποτελείται από έναν αριθμό διαδικασιών οι οποίες συνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε η παραγωγή (απόδοση) μιας διαδικασίας γίνεται η εισαγωγή σε άλλη. Η διαδικασία περιλαμβάνει εισερχόμενα δεδομένα, μια χωρική (spatial) χωρική λειτουργία η οποία επεμβαίνει σε εισερχόμενο και εξερχόμενο δεδομένα. Το μοντέλο δεν περιέχει χωρικά δεδομένα. Τα πραγματικά δεδομένα διαχειρίζονται και επιδεικνύονται στο ArcMap, όταν το μοντέλο τρέχει (είναι σε λειτουργία).

Με το χωρικό μοντέλο που αναπτύχθηκε, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει κάθε φορά νέα δεδομένα στο μοντέλο υπολογισμού της φωσφορικής λίπανσης και να εξάγει τα ανάλογα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα δίνει την δυνατότητα εισαγωγής οποιασδήποτε τιμής Popt (στην εξίσωση μακράς εξισορρόπησης) και υπολογισμού της απαιτούμενης ποσότητας Kg P₂O₅/στρέμμα, για οποιαδήποτε καλλιέργεια της περιοχής μελέτης.

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται σχηματικά η υλοποίηση του χωρικού μοντέλου. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην εξίσωση της μακράς εξισορρόπησης (εξίσωση 1) οι πλεγματικοί χάρτες χωρικής παρεμβολής των απαραίτητων εδαφικών ιδιοτήτων.

Δημιουργήθηκαν (χρήση των διαδικασιών Extract by Attributes και Extract by mask) τρείς νέοι με τους περιορισμούς που αφορούν τις τιμές της αργίλου, του φώσφορου και του pH, οι οποίοι αποτελούν τις συνθήκες για την εφαρμογή του μοντέλου της μακράς εξισορρόπησης. Τα δεδομένα των τελικών πλεγματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκαν με τη βοήθεια των εξισώσεων του μαθηματικού μοντέλου για να υπολογισθούν για την περιοχή μελέτης, με πράξεις πλεγματικών επιπέδων (διαδικασία raster calculator):

- α) Οι ποσότητες πεντοξειδίου του φωσφόρου και οι ποσότητες των φωσφορικών λιπασμάτων για τρία άριστα επίπεδα του φωσφόρου στο έδαφος (20, 25, 30 ppm)
- β) Οι ποσότητες πεντοξειδίου του φωσφόρου για συγκεκριμένες καλλιέργειες, σε σχέση και με το άριστο επίπεδο του φωσφόρου στο έδαφος για κάθε καλλιέργεια.



Εικ.2. Η ροή της διαδικασίας του μοντέλου GIS

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1. Αποτελέσματα εφαρμογής εξίσωσης μακράς εξισορρόπησης σε όλη την περιοχή

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα μονομεταβλητά στατιστικά μεγέθη για τις εδαφικές ιδιότητες των 243 εδαφών δειγμάτων της περιοχής μελέτης.

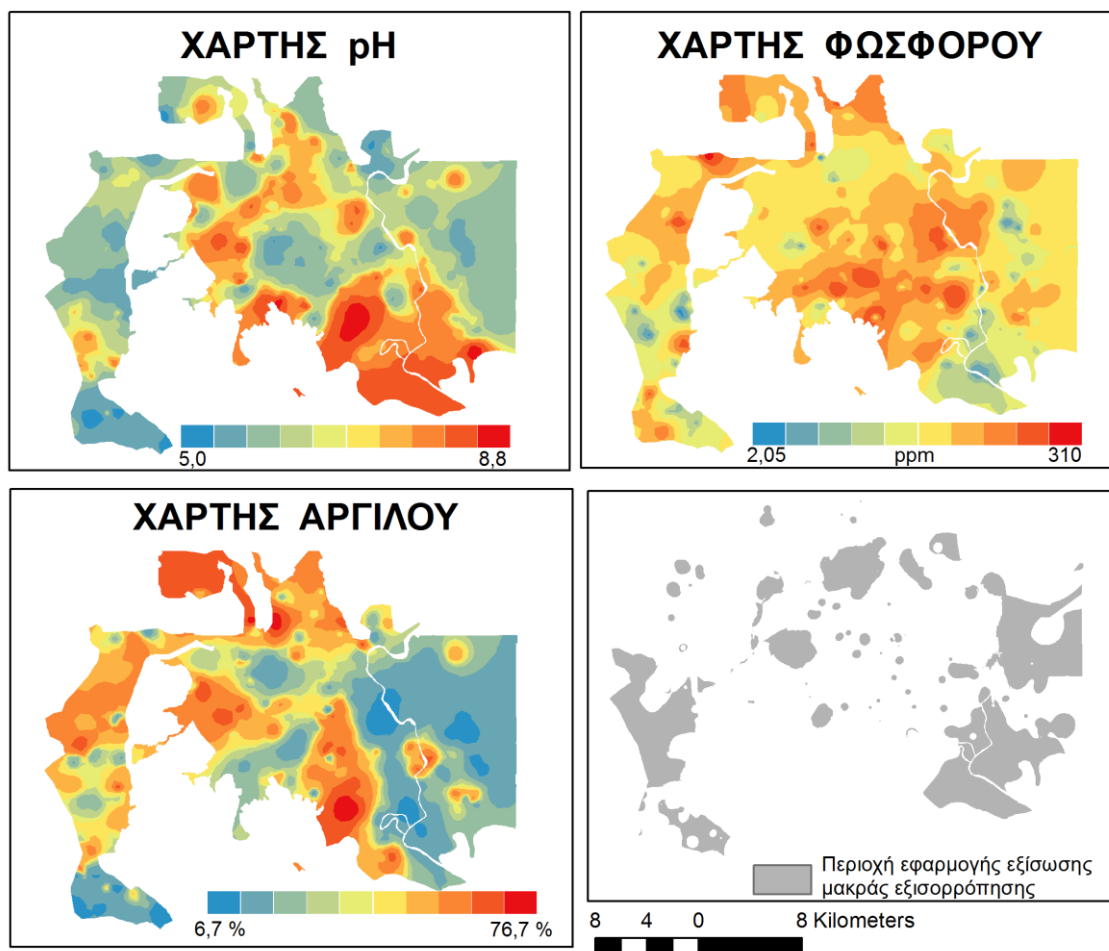
Πίνακας 2. Στατιστικά δεδομένα των τιμών εδαφικών παραμέτρων

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ
Άργιλος (%)	29,56	6,7	67,0
Φώσφορος (ppm)	44,68	2,1	260,0
pH	7,43	5,0	8,5

Στην Εικόνα 3 εμφανίζονται οι χάρτες χωρικής παρεμβολής για όλη την περιοχή μελέτης για τις τρεις εδαφικές ιδιότητες άργιλος, pH και φώσφορο. Επίσης στον ίδιο χάρτη εμφανίζεται η περιοχή εφαρμογής της εξίσωσης μακράς εξισορρόπησης. Λόγω των περιορισμών, βάσει εδαφικών συνθηκών, η εφαρμογή της εξίσωσης της μακράς εξισορρόπησης, περιορίζεται σε 347 τ. χλμ. (από 544 τ. χλμ). Η περιοχή εφαρμογής της εξίσωσης εμφανίζεται με γκρι χρώμα στην Εικόνα 3δ.

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων μέσω της εφαρμογής της σχέσης της μακράς εξισορρόπησης που οδήγησε στον υπολογισμό της ποσότητας πεντοξειδίου του φωσφόρου (P_2O_5), η οποία πρέπει να προστεθεί για την λίπανση των καλλιεργειών των περιοχών της μελέτης, αναφορικά και με τα τρία άριστα επίπεδα του φωσφόρου στο έδαφος Kg P_2O_5 /στρέμμα παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.

Επίσης παρουσιάζονται οι ποσότητες δύο λιπασμάτων (Kg 0-20-0 ή 0-48-0/στρέμμα) μέσω των οποίων είναι εφικτό να προστεθούν στο έδαφος οι απαιτούμενες ποσότητες πεντοξειδίου του φωσφόρου (Kg P_2O_5 /στρέμμα), έτσι ώστε να έχουμε το κατά περίπτωση άριστο επίπεδο του φωσφόρου στο έδαφος.



Εικ.3. Χάρτες χωρικής παρεμβολής για όλη την περιοχή μελέτης

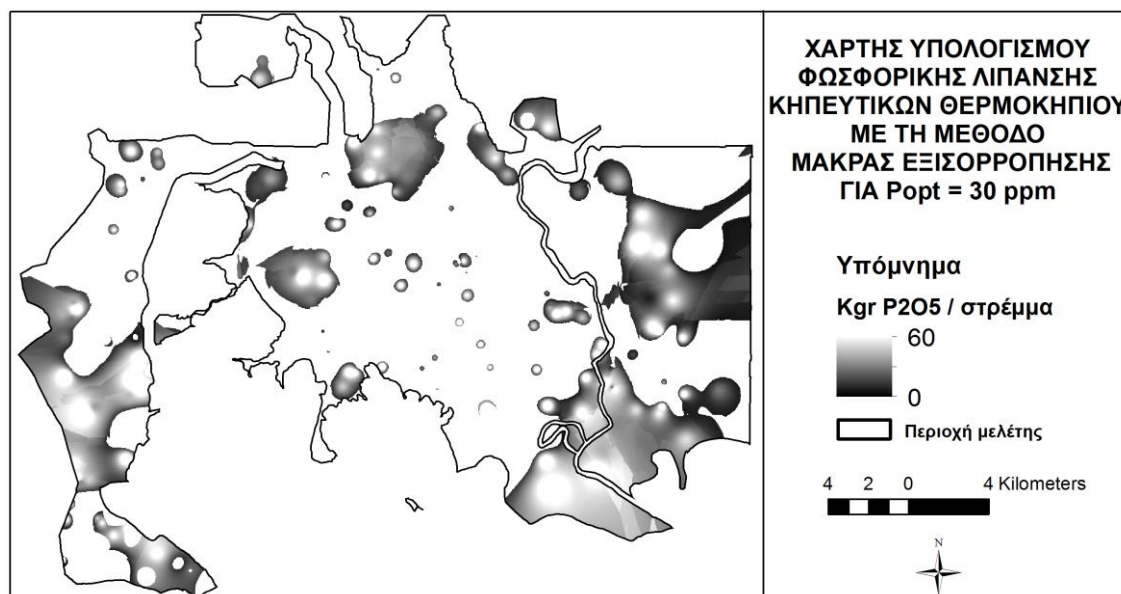
Πίνακας 3. Ποσότητες πεντοξειδίου του φωσφόρου (P_2O_5) και ποσότητες φωσφορικών λιπασμάτων ανάλογα με το επιθυμητό επίπεδο φωσφόρου (P) στο έδαφος

A/A	P_{opt} (ppm)	mg P / Kg εδάφους	Kg P / στρέμμα	Kg P_2O_5 / στρέμμα	Kg 0-20-0 / στρέμμα	Kg 0-48-0 / στρέμμα
1	20	0 - 42	0 - 17	0 - 38	0 - 190	0 - 79
2	25	0 - 53	0 - 21	0 - 49	0 - 244	0 - 102
3	30	0 - 65	0 - 26	0 - 60	0 - 298	0 - 124

Επίσης στην εικόνα 4, φαίνεται ο χάρτης υπολογισμού φωσφορικής λίπανσης για κηπευτικά θερμοκηπίου με τη μέθοδο της μακράς εξισορρόπησης για $P_{opt} = 30$ ppm.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (Πίνακας. 3) τα οποία έχουν προκύψει από την επεξεργασία των δεδομένων, και σε σχέση με τα επίπεδα επάρκειας του P στο έδαφος, στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται το εύρος των τιμών των απαιτούμενων ποσών του πεντοξειδίου του φωσφόρου για τα αγροτεμάχια με τις σημαντικότερες καλλιέργειες της περιοχής μελέτης, Συγκεκριμένα για τα 2020 αγροτεμάχια ελαιοκαλλιέργειας (συνολικής έκτασης 1818 στρεμμάτων) η μέση ποσότητα εφαρμογής φωσφορικής

λίπανσης είναι 6,52 Kg P₂O₅ / στρέμμα, ενώ βρέθηκαν και θέσεις αγροτεμαχίων όπου απαιτείται έως και 29,55 Kg P₂O₅ / στρέμμα.



Εικ. 4. Χάρτης υπολογισμού φωσφορικής λίπανσης κηπευτικών θερμοκηπίου

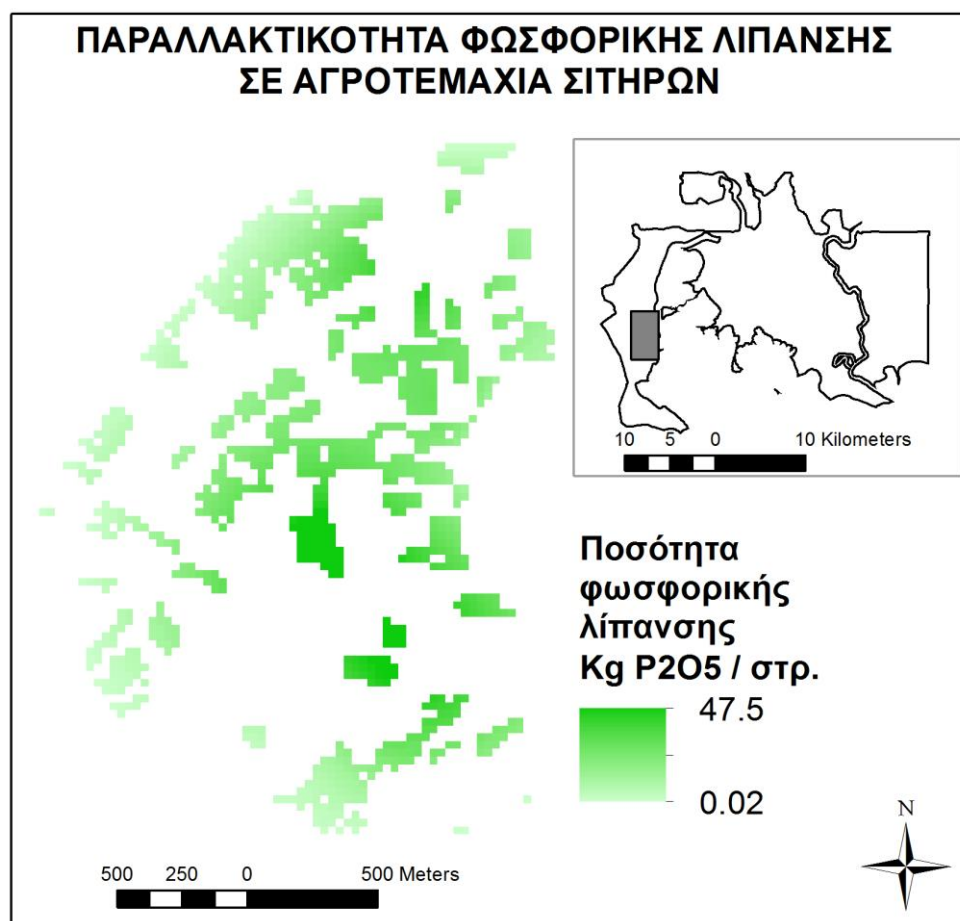
Πίνακας 4. Ποσότητες πεντοξειδίου του φωσφόρου (P₂O₅)/στρέμμα ανάλογα με το επιθυμητό επίπεδο φωσφόρου (P) στο έδαφος και την καλλιέργεια.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΑΡΙΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ P (ppm)	Αριθμός αγρο- τεμα- χίων	Συνολική έκταση (εκτάρια.)	Μέσος όρος Kg P ₂ O ₅ / στρέμμα	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ Kg P ₂ O ₅ /στρέμμα	Τυπική απόκλιση Kg P ₂ O ₅ / στρέμμα
Εσπεριδοειδή	20	510	459	5,82	29,4	5,91
Ελιά	20	2020	181,8	6,52	29,55	5,60
Σιτηρά, Αραβόσιτος, Βαμβάκι, Κηπευτικά (Υπαίθρια)	25	5449	4904,1	9,50	40,31	7,29
Κτηνοτροφικά	20	1272	114,5	7,27	34,21	6,59
Αμπέλι, Δενδρώδεις καλλιέργειες	20	257	231,3	6,56	23,89	5,58
Κηπευτικά (Θερμοκηπίου)	30	157	141,3	12,19	44,47	10,44

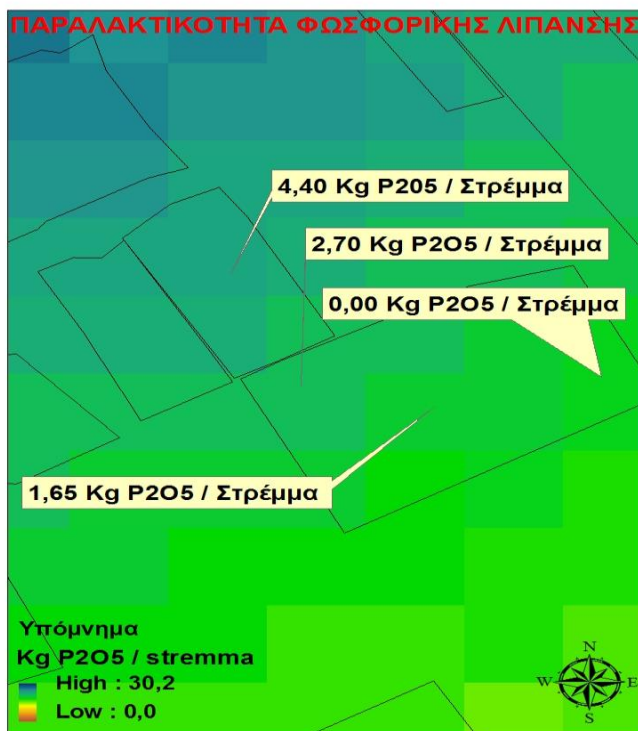
3.2. Χωρική παραλλακτικότητα της φωσφορικής λίπανσης για συγκεκριμένες καλλιέργειες.

Στον Πίνακα 4 παρατηρείται διαφοροποίηση κατά πολύ του μέσου όρου της

απαιτούμενης ποσότητας Kg P₂O₅/στρέμμα και ανά καλλιέργεια, σε σχέση με την απαιτούμενη μέγιστη συνιστώμενη ποσότητα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, υπάρχει σημαντική παραλλακτικότητα της απαιτούμενης φωσφορικής λίπανσης. Στην Εικόνα 5 εμφανίζεται για παράδειγμα σε τμήμα της περιοχής μελέτης η απαιτούμενη ποσότητα φωσφορικής λίπανσης σε αγροτεμάχια σιτηρών. Επίσης στην Εικόνα 6 παρατηρείται παραλλακτικότητα όχι μόνο σε γειτονικά αγροτεμάχια καλλιέργειας εσπεριδοειδών, αλλά ακόμα και μέσα στο ίδιο αγροτεμάχιο. Η παρατηρούμενη διαφοροποίηση στο ίδιο αγροτεμάχιο οφείλεται στη διαφορετική περιεκτικότητα σε διαθέσιμο εδαφικό P. Επί πλέον όταν η περιεκτικότητα του εδάφους σε φώσφορο υπερβαίνει την optimum τιμή για κάθε καλλιέργεια τότε δεν απαιτείται λίπανση. Επισημαίνεται όμως, ότι η παραλλακτικότητα της φωσφορικής λίπανσης μπορεί να οφείλεται και στην μη ομοιόμορφη (ορθολογική) λίπανση των καλλιεργειών από τους παραγωγούς της περιοχής τα προηγούμενα χρόνια, πρακτική η οποία είχε ως αποτέλεσμα και την διαφορετική τιμή του εδαφικού φωσφόρου ακόμα και εντός του ίδιου αγροτεμαχίου (Εικόνα 6), η οποία τελικά οδηγεί και στην παρατηρούμενη παραλλακτικότητα της φωσφορικής λίπανσης.



Εικ.5. Παραλλακτικότητα φωσφορικής λίπανσης σε αγροτεμάχια σιτηρών.



Εικ.6. Παραλλακτικότητα φωσφορικής λίπανσης εντός αγροτεμαχίων εσπεριδοειδών.

4. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι με την παρούσα εργασία καταβλήθηκε προσπάθεια, σε περιβάλλον GIS, να παρουσιαστούν γενικές λιπαντικές αγωγές (Kg P₂O₅ / στρέμμα) ανά καλλιέργεια, έχοντας ως βάση τα αποτελέσματα της χωρικής επεξεργασίας δεδομένων εργαστηριακών εδαφικών αναλύσεων.

Επισημαίνεται ότι για τις προτεινόμενες λιπαντικές αγωγές λήφθηκε υπ' όψη η εξίσωση της μακράς εξισορρόπησης, με παραμέτρους τον αφομοιώσιμο φώσφορο του εδάφους, το ποσοστό της αργίλου στο έδαφος, και το επιθυμητό επίπεδο του φωσφόρου στο έδαφος.

Επιπλέον τα δεδομένα της λιπαντικής αγωγής που παρουσιάζονται, ισχύουν για τις μετρήσεις του φωσφόρου που έγιναν τη δεδομένη χρονική στιγμή. Για τα επόμενα χρόνια, λόγω της υπολειμματικής δράσης των φωσφορικών λιπάνσεων οι τιμές του φωσφόρου αναμένεται να είναι υψηλότερες οπότε θα προστίθενται μικρότερα ποσά που θα αντιστοιχούν στη συντήρηση του επιπέδου του φωσφόρου στο έδαφος.

Επίσης θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μια συμπληρωματική μελέτη λαμβάνοντας υπ' όψη τα παραπάνω επιπλέον στοιχεία, αλλά και την εξέταση δειγμάτων φύλλων με τη μέθοδο της φυλλοδιαγνωστικής, έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τη θρεπτική κατάσταση των καλλιεργειών, και γενικότερα για τη λίπανση, με συνδυασμό των αποτελεσμάτων των αναλύσεων εδάφους και των αναλύσεων φύλλων των καλλιεργειών των περιοχών μελέτης.

Σε κάθε περίπτωση η φωσφορική λίπανση πρέπει να πραγματοποιηθεί μόνο στις θέσεις εκείνες στις οποίες είναι απαραίτητη, και δεδομένου ότι ο φώσφορος είναι το κατ' εξοχήν μη κινητικό στοιχείο η καλλιέργεια θα ανταποκριθεί κατά την τρέχουσα καλλιεργητική περίοδο, εφ' όσον το λίπασμα ενσωματωθεί σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος.

Ειδικότερα η αποδοτικότητα της λίπανσης για τις δενδρώδεις καλλιέργειες δεν αναμένεται να είναι η επιθυμητή αφού ο φώσφορος είναι μη κινητικό στοιχείο και δεν μπορεί να φθάσει στο ριζικό σύστημα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Πάντως η ποσοτική και ποιοτική βελτίωση της παραγωγής θα επιτευχθεί σε συνδυασμό και με την εφαρμογή γενικότερης ορθολογικής λίπανσης.

Η χρησιμοποίηση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, μεθόδων χωρικής παρεμβολής καθώς και αυτοματοποιημένων παραμετρικών χωρικών μοντέλων έδειξε ότι αφενός μεν διευκολύνει τον υπολογισμό της αναγκαίας φωσφορικής λίπανσης και αφετέρου εντοπίζει παραλλακτικότητες των αναγκών σε λιπάσματα ακόμη και μέσα σε ένα αγροτεμάχιο, καταδεικνύοντας τελικά ότι η γεωργία ακριβείας στηρίζεται σε γεωγραφικές βάσεις δεδομένων σε συνδυασμό με χωρικές αναλύσεις και χωρικές επεξεργασίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αναλογίδης Α. Δ., (2000). Έδαφος, Θρεπτικά Στοιχεία και Φυτική Παραγωγή. Εκδόσεις Αγροτύπος Α.Ε., Αθήνα.
- Ασημακόπουλος, Η. Ι., (2007). Λιπάσματα – Λιπάνσεις. Σημειώσεις Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Ασημακόπουλος, Η. Ι., κ.ά., (2009). Γονιμότητα εδάφους. Σημειώσεις Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Ασημακόπουλος, Η. Ι., (2014). Λιπάσματα - Λιπάνσεις. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.
- Γιάσογλου, Ι. Ν., (1994). Μαθήματα Γεωργικής Χημείας (Εδαφολογία). Τόμος II,. Δυναμική και Γονιμότητα του Εδαφικού Συστήματος. Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Καλύβας, Δ., Κοσμάς, Κ., κ.ά. (2009). Δράση 2: Δημιουργία Εδαφολογικών Χαρτών και Έλεγχος της Ποιότητας των Εδαφών των Πεδινών Εκτάσεων του Βόρειου Αμβρακικού. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Άρτας, Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων, Κοινοπραξία Διαχείρισης Αμβρακικού Κόλπου.
- Kao, J., et al., (1998). Dynamic spatial modeling approach for estimation of internal phosphorus load. Vol.32.
- Karayanni - Christou, M., et al., (2004). Enaluation of two laboratory methods for estimating phosphorus fertilizer requirements. Agrochemica, Vol. XLVIII-N.5-6, September – December: 249-257.

- Κόλλια-Κουσουρή, Β., (2007). Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα. Σημειώσεις Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Petersen, G.W. et. al. (1995). Geographic Information Systems in Agronomy. Vol. 55. Academic Press. London.
- Πολυζόπουλος, Α. Ν., (1976). Εδαφολογία. Εκδόσεις Αφοί Σάκκουλα,, Θεσσαλονίκη.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ ΟΙΝΟΠΟΙΗΣΙΜΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΑΜΠΕΛΟΥ ΣΤΟ ΑΜΠΕΛΟΟΙΝΙΚΟ ΤΟΠΙΟ ΤΗΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ

Αναστάσιος Κολεούρης¹, Κωνσταντίνα Παναγιωτακοπούλου²

¹Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών (mfortosi@otenet.gr)

² Università degli Studi Guglielmo Marconi, Rome, Italy

Περίληψη

Καθώς οι παραδοσιακές ποικιλίες καλλιεργούμενων ειδών, αντικαθιστάμενες από βελτιωμένες και υψηλών αποδόσεων, περιορίζονται σε μη ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες, εμφανίζει ενδιαφέρον ο υπολογισμός του ποσοστού όπου συμβαίνει αυτό, ως προς το σύνολο της καλλιεργούμενης έκτασης του είδους, σε έναν τόπο αναφοράς.

Η παρούσα εργασία αναφέρεται σε έρευνα περιβαλλοντικών συνθηκών που επιδρούν στη διασπορά, στο νησί της Ζακύνθου, παραδοσιακών οινοποιήσιμων ποικιλιών αμπέλου για τις οποίες το ενδιαφέρον των παραγωγών να τις διατηρούν στις αγροτικές τους εκμεταλλεύσεις μειώθηκε σταδιακά τη χρονική περίοδο 2006-2012.

Για τη διάγνωση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν στα αμπελοτεμάχια, όπου αυτές εμφανίζονται, χρησιμοποιήθηκαν γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, αμπελοκομικοί βιοκλιματικοί δείκτες και εδαφικές ιδιότητες του ερευνούμενου τόπου.

Στη Ζάκυνθο διαπιστώνεται ότι, μείωση της έκτασης των ποικιλιών σε ποσοστό μικρότερο από 1% της συνολικά καλλιεργούμενης έκτασης με οινοποιήσιμες ποικιλίες έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των λευκών ποικιλιών σε δυσμενείς γι' αυτές περιβαλλοντικές συνθήκες, σε αντίθεση προς τις έγχρωμες, οι οποίες διατηρούνται σε ευνοϊκές αμπελοκομικά θέσεις.

Στις οριακές περιπτώσεις ποικιλιών που εξετάστηκαν και εμφανίζονται σε αριθμό αμπελοτεμαχίων μικρότερο των τριών, λόγω σημαντικής ετερογένειας των περιβαλλοντικών συνθηκών δεν είναι δυνατός ο γενικός χαρακτηρισμός των θέσεων ως ευνοϊκών ή δυσμενών και για τους δύο χρωματικούς τύπους.

Παράλληλα, μέσω εμπειρικής έρευνας και χρήσης Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών βρέθηκε ότι στη Ζάκυνθο, η επιλογή, παράγων ο οποίος καθορίζει τη δυνατότητα επιβίωσης των παραδοσιακών ποικιλιών αμπέλου μεταβάλλεται στον χώρο. Καθώς οι εκτάσεις των ποικιλιών μειώνονται η δυνατότητα επιβίωσης των λευκών ποικιλιών εμφανίζεται αυξημένη σε περιοχές με περιβαλλοντικές συνθήκες που δεν ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις τους.

Λέξεις-κλειδιά: Ζάκυνθος, GIS, αμπελοκομία, παραδοσιακές ποικιλίες, βιοκλιματικοί δείκτες, δυνατότητα επιβίωσης.

1. Εισαγωγή

Η διασπορά καλλιεργούμενων ποικιλιών και υβριδίων φυτικών ειδών και η συσχέτισή της με περιβαλλοντικές συνθήκες αποτελεί αντικείμενο έρευνας από τη δεκαετία του '40. (Ryan και Gross 1943). Από τότε μια ευμεγέθης βιβλιογραφία έχει αναπτυχθεί σχετικά με την επίδραση παραγόντων του φυσικού περιβάλλοντος στη διασπορά ποικιλιών, με τις ποικιλίες αμπέλου, να έχουν ένα μεγάλο ποσοστό του ερευνητικού αντικειμένου και την έρευνα της διασποράς τοπικών ποικιλιών ενός τόπου να εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Η βαρύτητα στην έρευνα της διασποράς οиноποιήσιμων ποικιλιών με κριτήριο περιβαλλοντικές συνθήκες είναι εύλογη καθώς το παραγόμενο προϊόν, είτε προορίζεται για την παραγωγή κρασιών με εμπορικό όνομα (branded name wines), οπότε η ποσότητα παραγωγής έχει μεγαλύτερη σημασία, είτε προορίζεται για την παραγωγή τοπικών κρασιών (terroir wines), με ειδικά αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά, οι περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν, τόσο την ποσότητα, όσο και την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος.

Το ενδιαφέρον για τη διασπορά παραδοσιακών ποικιλιών οφείλεται στο ότι αναγνωρίζονται ως η κατηγορία γενετικών πόρων που κινδυνεύει περισσότερο από εξαφάνιση (Hawkes 1983, Fowler και Mooney 1990), αποτελούν δε υψηλά επίπεδα γενετικής ποικιλότητας και επίκεντρο των προσπαθειών διατήρησης της αγροτικής βιολογικής ποικιλότητας (FAO, [http: www.fao.org/economic/esa/seed2d/glossary/](http://www.fao.org/economic/esa/seed2d/glossary/)). Οι αγρότες τις επιλέγουν προς καλλιέργεια προκειμένου να αντιμετωπίσουν περιβαλλοντικές ιδιαιτερότητες (Bellon 1996), προσβλέποντας στη μεγιστοποίηση της ωφέλειας. Η επιλογή αυτή καθορίζει σε ένα μεγάλο βαθμό τη δυνατότητα επιβίωσής τους.

Η έρευνα που ακολουθεί έχει ως κύριο στόχο τη διερεύνηση περιβαλλοντικών παραγόντων που σχετίζονται με τη διασπορά, στο νησί της Ζακύνθου, παραδοσιακών οиноποιήσιμων ποικιλιών αμπέλου, καλλιεργούμενες σε μικρές εκτάσεις και τη σύγκρισή τους με σύγχρονα επικρατούσες, επιστημονικά τεκμηριωμένες και αποδεκτές βέλτιστες επιλογές. Ως αιτία επιλογής της Ζακύνθου αποτέλεσε το γεγονός ότι το νησί έχει αναγνωριστεί ως τόπος του ελλαδικού χώρου όπου ιστορικά καλλιεργείται ένας πολύ μεγάλος αριθμός παραδοσιακών οиноποιήσιμων ποικιλιών αμπέλου (Λογοθέτης 1975).

Επίσης, κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί η επιλογή των ποικιλιών από τους παραγωγούς, η δυνατότητα (δυναμική) επιβίωσης των ποικιλιών, χαρακτηριστικά των αγροτών και πως οι παράγοντες αυτοί μεταβάλλονται χωρικά στα όρια της Ζακύνθου.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ως παραδοσιακές ποικιλίες ορίζονται αυτές οι οποίες έχουν προσαρμοστεί στο φυσικό και πολιτιστικό περιβάλλον ενός τόπου (www.fao.org/economic/esa/seed2d/glossary/).

2. Μέθοδοι – Υλικά

2.1 Παρουσίαση της περιοχής έρευνας

Το νησί της Ζακύνθου ευρίσκεται στη δυτική πλευρά της Ελλάδας. Έχει έκταση 406 Km² και μέγιστο υψόμετρο 758 m. Η αμπελοκαλλιέργεια αφορά πλέον της σταφιδοκαλλιέργειας, την ξηρική καλλιέργεια οινοποιήσιμων ποικιλιών, η πλειονότητα των οποίων απαντάται από αρχαιότατους χρόνους. Ειδικότερα, η αμπελοοινική παράδοση της Ζακύνθου είναι γνωστή από την εποχή των Φοινίκων (1200 π.Χ. – 900 π.Χ.), οι οποίοι εμπορευόταν τον παραγόμενο οίνο. Κατά τους Ομηρικούς Χρόνους (περί το 735 π.Χ.), μεταξύ άλλων προϊόντων από τους πλούσιους αμπελώνες παραγόταν το απ' αυτούς ονομαστό κρασί του νησιού (Χιώτης 1849, Ζώης 1955). Από τότε και μέχρι σήμερα αποτελεί ένα από τα κύρια προϊόντα του τόπου. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της αμπελοκαλλιέργειας συνιστά ο συγκριτικά μεγάλος αριθμός ποικιλιών, τριάντα τέσσερις των οποίων αναφέρονται σε στιχούργημα χρονολογούμενο από το έτος 1601 (Λογοθέτης 1975).

Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (Υ.Π.Α.Α.Τ. 2012) η καλλιέργεια οινοποιήσιμων ποικιλιών καταγράφεται σε όλες τις τοπικές κοινότητες (Local Administrative Units-LAU 5, EUROSTAT, 2010) του νησιού. Συνολικά εκτείνεται σε 941,17 Ha, ασκείται από 2.742 αγροτικές εκμεταλλεύσεις και περιλαμβάνει 4.860 αμπελοτεμάχια με κριτήρια διάκρισης: τη γεωγραφική θέση, τον κάτοχο του αμπελοτεμαχίου, την καλλιεργούμενη ποικιλία και το έτος φύτευσης.

2.2 Σκεπτικό

Οι παραγωγοί επιλέγουν μια ποικιλία, προκειμένου να την καλλιεργήσουν στην εκμετάλλευσή τους για να επιτύχουν τη μέγιστη γι' αυτούς ωφέλεια, υποκείμενης στις τιμές, τα προσωπικά χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα των φυσικών πόρων και τις πολιτικές (Caswell κ.α 2001). Σύμφωνα με τον ίδιο, γενικά η μεγιστοποίηση της ωφέλειας χρησιμοποιείται για να ερμηνεύσει την επιλογή μιας δεδομένης τεχνολογίας

από τους παραγωγούς. Ο όρος “τεχνολογία” μπορεί να αναφέρεται σε, καλλιεργούμενα είδη φυτών (π.χ. κτηνοτροφικά Chebil κ.α 2009), ποικιλίες (π.χ. ποικιλίες ρυζιού Prakash κ.α 2007), διαχειριστικές πρακτικές παραγωγής αγροτικών προϊόντων (π.χ. λαχανικά-ολοκληρωμένη διαχείριση παραγωγής Fernadez-Cornejo 1994), διαχείριση εδάφους (Norris και Batie 1987), χρήση ενός γεωργικού εφοδίου (π.χ. λιπάσματα-Adesina 1996, χρήση φορητών υπολογιστών από τους παραγωγούς-Walton κ.α 2010).

Ως προς το περιβαλλοντικό σκέλος, αν και οι ποικιλίες αμπέλου προσαρμόζονται σε ποικίλα φυσικά περιβάλλοντα, κατά την επιλογή τους προς εγκατάσταση, ο τόπος αμπελοκαλλιέργειας αναγνωρίζεται ως ένας σημαντικός παράγων στην ποιότητα του παραγόμενου οίνου και τον χαρακτήρα του, ιδιαίτερα στους ευρωπαϊκούς αμπελώνες (Falcetti 1994). Κατά τον Seguin (1988) η έννοια του τόπου προσδιορίζεται ως ένα διαδραστικό οικοσύστημα, που περιλαμβάνει το κλίμα, το έδαφος και την ποικιλία οινάμπελου. Ενώ, κατά πολλούς συγγραφείς η επιλογή της κατάλληλης, κατά περίπτωση θέσης, ποικιλίας συνιστά την πλέον θεμελιώδη απόφαση καθώς ιδιαιτερότητες του φυσικού περιβάλλοντος επηρεάζουν φυτοϋγειονομικά την καλλιέργεια, ποσοτικά και ποιοτικά δε το παραγόμενο προϊόν. Σε συμφωνία προς τα ανωτέρω ο Jones κ.α (2004) υποστηρίζει πως στους εξεταζόμενους παράγοντες θα πρέπει να περιλαμβάνονται: το κλίμα της θέσης ή της περιοχής (μεσόκλιμα), η τοπογραφία, η φύση του εδάφους και η γεωλογική του προέλευση.

2.3 Επιλογή ποικιλιών προς έρευνα

Ως παραδοσιακές ποικιλίες που καλλιεργούνται σε μικρές εκτάσεις θεωρήθηκαν οι καταγραφόμενες στη Ζάκυνθο από τα μέσα του 15^{ου} ως τα τέλη του 18^{ου} αιώνα (Walpole 1818, Salvator 1904, Λογοθέτης 1975) και καλλιεργούμενες σε εκτάσεις μικρότερες από 5% της συνολικής έκτασης οινοποιήσιμων ποικιλιών. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό συμπεριλήφθηκαν οι ποικιλίες του είδους *Vitis vinifera*: *Κατσακούλιας* (N), *Σαββατιανό* (B), *Κουτσουμπέλι* (B), *Κορίθι* (B), *Σκυλοπνίχτης* (B), *Γουστολίδι* (B), *Λαγόρθι* (B), *Βιολεντό* (Rs), *Ροδίτης* (Rs), *Φιλέρι* (Rs). Χωρίς να πραγματοποιηθεί στατιστική επεξεργασία, λόγω των ιδιαίτερα μικρών εκτάσεων τους, διερευνήθηκαν επίσης οι ποικιλίες, του είδους *V. vinifera*: *Βοϊδομάτης* (N), *Κοντοκλάδι* (B) και *Βόσσος* (B).

Για την ερμηνεία μέσω σύγκρισης αποτελεσμάτων διερευνήθηκαν επίσης οι παραδοσιακές ποικιλίες του ίδιου είδους, *Σκιαδόπουλο* (B), *Αυγουσιάτης* (N) και *Πάυλος* (B). Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις τους τις κατέταξαν το έτος 2012, για την

περίπτωση της Ζακύνθου και ως προς το σύνολο των αμπελουργικών εκτάσεων με οινοποιήσιμες ποικιλίες, στην πρώτη, δεύτερη και τρίτη θέση, αντίστοιχα.

2.4 Προσδιορισμός περιοχών με αυξημένη επιλογή των ποικιλιών (απόδοση περιοχών με αυξημένη εμφάνιση αμπελοτεμαχίων κατά ποικιλία)

Για τον προσδιορισμό της επιλογής κάθε ποικιλίας από τους παραγωγούς, κατά θεωρούμενη περιοχή, υπολογίστηκε η αναλογία των αμπελουργικών εκμεταλλεύσεων στις οποίες καλλιεργείται η ποικιλία προς το συνολικό αριθμό των αμπελουργικών εκμεταλλεύσεων της περιοχής και αυτή (αναλογία) εκφράστηκε ως ποσοστό επί τοις εκατό (%). Η οπτική της απόδοση πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου ανάλυσης της πυκνότητας των αμπελοτεμαχίων της ποικιλίας κατά Kernel. Προς αυτό χρησιμοποιήθηκε η λογισμική εφαρμογή ArcGIS 9.2, με ακτίνα έρευνας για όλες τις ποικιλίες που εξετάστηκαν την απόσταση των 1.000 γραμμικών μέτρων. Η ανάλυση της πυκνότητας χρησιμοποιεί γνωστές ποσότητες κάποιων φαινομένων (στην προκειμένη περίπτωση εμφανίσεις αμπελοτεμαχίων) και διαχέεται στον χώρο βασιζόμενη στην ποσότητα (εμφάνιση), η οποία μπορεί να μετρηθεί σε κάθε θέση του χώρου και κατ' αυτόν τον τρόπο παρέχει τη δυνατότητα σύγκρισης των θέσεων ως προς τη μετρούμενη ποσότητα. Σημειώνεται ότι, στις περιοχές όπου εμφανίζεται η *μέγιστη επιλογή για την ποικιλία*, αυτή εκφράζεται πολύ καλά από τη *μέγιστη πυκνότητα των αμπελοτεμαχίων της ποικιλίας*, όπως αποδίδεται στον Πίνακα 1 ($r^2 = 0,98$).

2.5 Προσδιορισμός-εκτίμηση της δυνατότητας επιβίωσης

Για την αξιολόγηση των ποικιλιών ως προς τη δυνατότητα επιβίωσης (*survival ability*) χρησιμοποιήθηκε τεχνική τακτικής βαθμολόγησης (ordinal ranking technique) ανάλογη προς αυτήν των Prakash κ.α (2004) τα αποτελέσματα της οποίας εμφανίζονται στον Πίνακα 3. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η δημόσια ασκούμενη πολιτική δεν περιορίζει την επιλογή κάποιας εκ των ποικιλιών, καθώς όλες περιλαμβάνονται στις *συνιστώμενες και διατηρούμενες* για τον νομό, ως μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν: *η μέση σταθμική ηλικία των παραγωγών και η μέση σταθμική ηλικία των ποικιλιών*. Η ηλικία των παραγωγών επιλέχθηκε καθώς η επιβίωση στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις των ποικιλιών εξαρτάται από την αποδοχή και εγκατάστασή τους από τους νέους σε ηλικία παραγωγούς, οι οποίοι σχεδιάζουν για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους (Bagi 1983). Ενώ, η ηλικία των ποικιλιών επιλέχθηκε υπό τη θεώρηση ότι, προκειμένου οι παραγωγοί να μεγιστοποιούν την ωφέλεια από τη χρήση τους τις διατηρούν εντός της παραγωγικής τους ηλικίας.

2.6 Χαρτογράφηση των ποικιλιών

Για τον εντοπισμό τους χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες από το Αμπελουργικό Μητρώο Νομού Ζακύνθου έτους 2006. Οι ποικιλίες αναγνωρίστηκαν στο «πεδίο» μέσω ταυτοποίησης των αμπελογραφικών χαρακτηριστικών τους, όπως αυτές παρέχονται στον δικτυακό τόπο http://gvd.biology.uoc.gr/cgi-bin/webdata_pictrial.pl?cgifunction=user και περιγράφονται στον Ελληνικό Αμπελογραφικό Άτλαντα (Κοτίνης Χ., 1985).

Οι θέσεις των αμπελοτεμαχίων των ποικιλιών καταγράφηκαν (επαληθεύθηκαν) μέσω φορητού GPS, ενώ επαληθεύθηκαν (και σ' ορισμένες περιπτώσεις διορθώθηκαν) οι εκτάσεις τους. Για την καταγραφή-ψηφιοποίηση των αμπελοτεμαχίων (σχηματισμός πολυγώνων) χρησιμοποιήθηκαν, η λογισμική εφαρμογή ArcView GIS 3.2. και ως φωτογραφικό υπόβαθρο ορθο-αεροφωτογραφίες έτους 1998 πλήρους κάλυψης της Ζακύνθου, (γεωαναφερόμενες στο Ε.Γ.Σ.Α. '87), κυριότητας Υ.Π.Α.Π.ΕΝ., με διακριτική ικανότητα 1 γραμμικό μέτρο. Για τον περιορισμό στατιστικών σφαλμάτων κατά τη δημιουργία των πολυγώνων η ψηφιοποίηση διενεργήθηκε από ένα άτομο.

Η καταγραφή αφορούσε την απογραφή του συνόλου των αμπελοτεμαχίων ανά ποικιλία καθώς κρίθηκε σκόπιμο να μην επιχειρηθεί καμιά επιλογή δείγματος, λόγω του περιορισμένου/ μικρού αριθμού τους. Σε περιπτώσεις διάσπαρτων πρέμνων, καταγράφηκε μέρος του αμπελοτεμαχίου, όπου τα πρέμνα της εξεταζόμενης ποικιλίας εμφανίζονταν σε μεγαλύτερη συχνότητα. Στην περίπτωση αυτή, η έκταση του αμπελοτεμαχίου ορίστηκε ως αναλογία του αριθμού των πρέμνων, της υπό θεώρηση ποικιλίας, προς τον συνολικό αριθμό των πρέμνων του αμπελοτεμαχίου, λαμβάνοντας υπόψη τις αποστάσεις φύτευσης.

Πληροφορίες σχετικά με τις ποικιλίες συλλέχθηκαν από την Ελληνική Αμπελογραφία Α', Β', Γ' (Κριμπάς 1943, 1944). Στην έντυπη αυτή βάση δεδομένων έχουν καταγραφεί, από τον συγγραφέα, στοιχεία αμπελογίας ποικιλιών καλλιεργουμένων στον ίδιο τόπο (αγρόκτημα Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών).

Κυριότερα αμπελογολικά χαρακτηριστικά των ποικιλιών, που εξετάστηκαν και αφορούν τους σκοπούς της παρούσας έρευνας, δίδονται στον Πίνακα 2.

2.7 Προσδιορισμός μεσο-κλιματικών χαρακτηριστικών των περιοχών

Για τη διερεύνηση της κατανομής των ερευνούμενων ποικιλιών με κριτήριο το μεσόκλιμα των περιοχών χρησιμοποιήθηκαν ευρέως διαδεδομένοι αμπελουργικοί βιοκλιματικοί δείκτες και συγκεκριμένα οι δείκτες που συνθέτουν το *Géoviticulture Multicriteria Climatic Classification System (Géoviticulture MCC System)*.

Το σύστημα αποτελεί ένα ερευνητικό μέσο για την αμπελοκαλλιέργεια καθώς, δεν είναι μόνο κατάλληλο για τη διάκριση των κλιμάτων αμπελοκαλλιέργειας, παγκοσμίως, αλλά επιτρέπει επίσης τη διαφοροποίηση των μεσοκλιμάτων, θέμα πολύ σημαντικό για τη ζωνοποίηση της αμπελοκαλλιέργειας εντός οινοποιητικών περιοχών (Blanco-Ward κ.α 2007). Συντίθεται από: τον *ηλιοθερμικό δείκτη του Huglin (HI)* (Huglin 1978), τον *δείκτη νυκτερινού ψύχους (CI)* (Tonietto 1999) και τον *δείκτη ξηρασίας (DI)* (Riou κ.α 1994). Οι δείκτες αυτοί μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε επίπεδο μεσοκλίματος, αν οριστούν υποκλάσεις για κάθε κλάση του δείκτη, εξετάζοντας τη στατιστική ποικιλότητα των δεδομένων (Tonietto και Carbonneau 2004). Επίσης, για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκε ο *υδροθερμικός δείκτης Branas* (Branas κ.α 1946), ο οποίος χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση περιοχών αμπελοκαλλιέργειας ως προς τον κίνδυνο από ασθένειες με κύρια αυτή του περονόσπορου.

Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στους δείκτες λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων *Worldclim – Global Climate*, η οποία είναι διαθέσιμη προς χρήση στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.worldclim.org>. Τα δεδομένα διατίθενται σε πλεγματική μορφή (grid) με χωρική ανάλυση 0,93 Km στον ισημερινό και στο Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων WGS 1984. Των δεδομένων έγινε αναγωγή στο Ελληνικό Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς 1987. Κατ' αυτόν τον τρόπο τα κλιματικά δεδομένα αποδόθηκαν σε χωρική ανάλυση $0,724 \text{ Km} \times 0,724 \text{ Km} = 5,26 \text{ Km}^2$ και τα αμπελοτεμάχια εξετάστηκαν ως προς αμπελοκομικούς δείκτες των μεσοκλιμάτων των περιοχών, στις οποίες εντοπίζονται.

2.8 Ορισμοί διαστημάτων στους βιοκλιματικούς δείκτες

Δείκτης (HI)

Από τα μέσα μηνιαία θερμοκρασιακά δεδομένα και τις θέσεις των κεντροειδών των αγροτικών τεμαχίων (ILOTS) στα οποία εντοπίζονται αμπελοτεμάχια με οινοποιήσιμες ποικιλίες υπολογίστηκαν οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης στο σύνολο των περιοχών με οινοποιήσιμες ποικιλίες στη Ζάκυνθο. Στις περιοχές αυτές, ο δείκτης κυμαίνεται από 2242 ως 2896. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η βέλτιστη ανάπτυξη, την οποία εκφράζει ο δείκτης για διάφορες οινοποιήσιμες ποικιλίες, εξετάζεται για διαστήματα των 100 μονάδων (Huglin, P., 1986), το εύρος τιμών που παρατηρούνται στους αμπελώνες της Ζακύνθου ορίστηκε σε διαστήματα, όπως αποδίδονται στον πίνακα 4. Ακολούθησε αντιστοίχιση των τάξεων πρωιμότητας ωρίμανσης των ποικιλιών και των τάξεων των αμπελοτεμαχίων που ερευνήθηκαν, ταξινομημένων ως προς τις τιμές του *δείκτη Huglin* (πίνακας 5).

Δείκτης (CI)

Αντίστοιχα προς τον ανωτέρω δείκτη (*HI*) υπολογίστηκε το εύρος τιμών, στο οποίο κυμαίνεται ο δείκτης *νυκτερινό ψύχος* στο σύνολο των αμπελώνων με οινοποιήσιμες ποικιλίες της Ζακύνθου. Στις περιοχές αυτές ο δείκτης λαμβάνει τιμές από 15,7 ως 19,7 °C. Με την τιμή 18 °C να αποτελεί όριο μεταξύ ήπιων και ζεστών νυκτών (Tonietto και Carbonneau 2004) και το θερμοκρασιακό εύρος στην περιοχή έρευνας σε 4 βαθμούς, το εύρος των τιμών του δείκτη διαιρέθηκε σε τέσσερα διαστήματα, όπως αποδίδονται στον πίνακα 6.

Δείκτης (DI)

Με τις τιμές του δείκτη, για τα αμπελοτεμάχια της Ζακύνθου, να κυμαίνεται από -140 ως 78, το εύρος των τιμών ταξινομήθηκε στις τάξεις, όπως αποδίδονται στον πίνακα 7. Δείκτης (*HyI*)

Με τις τιμές του δείκτη, για τις περιοχές που εξετάστηκαν, να κυμαίνονται από 2.557 ως 2.942 και τον χαρακτηρισμό των ποικιλιών ως ευαίσθητες, μέτρια ανθεκτικές και ανθεκτικές, ορίστηκαν τρεις τάξεις του δείκτη, όπως αποδίδονται στον πίνακα 8.

Ποικιλία	Επιλογή των ποικιλιών από τους παραγωγούς - Εμφάνιση στο σύνολο των αμπελοτεμαχίων (%)	Πυκνότητα αμπελοτεμαχίων Εμφάνιση / Km ²	Ποικιλία	Επιλογή των ποικιλιών από τους παραγωγούς - Εμφάνιση στο σύνολο των αμπελοτεμαχίων (%)	Πυκνότητα αμπελοτεμαχίων Εμφάνιση / Km ²
Σκιαδόπουλο	66,4		Κορίθι	1,27	
Σκιαδόπουλο (Μαχαιράδο)	78,3	72,21	Κορίθι (Κερί)	12,24	6,41
Σκιαδόπουλο (Άνω Γερακάρι)	73,75		Σκυλοπνίχτης	0,8	
Αυγουσιτιάτης	18,25		Σκυλοπνίχτης (Βολίμες)	25,26	7,85
Αυγουσιτιάτης (Άγ. Λέων-Εξωχώρα)	47,95	47,28	Γουστολίδι	0,8	
Αυγουσιτιάτης (Κερί)	51,02		Goustolidi (Βανάτο-Γαϊτάνι-Σαρ.)	2,74	2,78
Παύλος	17,16		Λαγόρθι	12,07	5,46
Παύλος (Λαγκαδάκια - Φιολίτι)	72,92	67,1	Βιολεντό	0,47	
Κατσακούλιας	10,02		Βιολεντό (Παντοκράτορας)	3,13	1,58
Κατσακούλιας (Άνω Γερακ.-Πηγαδ.)	29,32	24,55	Ροδίτης	0,24	
Σαβατιανό	3,86		Ροδίτης (Καλιπάδο)	3,45	2,63
Σαβατιανό (Άγιος Κήρυκας)	16,79	10,1	Φιλέρι	0,12	
Σαβατιανό (Πηγαδάκια - Καλλιθέα)	11,19		Φιλέρι (Μπόχλη)	25	3,42
Κουτσουνπέλι	2,27		Κοντοκλάδι	-	-
Κουτσουνπέλι (Αμπελόκηποι)	29	12,32	Βοϊδομάτης	-	-
Κουτσουνπέλι (Κερί)	12,93		Βόσσος	-	-

Πίνακας 1: Επιλογή παραγωγών και Πυκνότητα αμπελοτεμαχίων παραδοσιακών οиноποιήσιμων ποικιλιών το έτος 2006.

Πίνακας 2: Αμπελολογικά χαρακτηριστικά ερευνούμενων ποικιλιών

Ποικιλία	Τέλεια ωρίμανση - συγκομιδή	Συγκριτικός προσδιορισμός προωριμότητας ωρίμανσης των σταφυλών (*)	Ευαισθησία σε ασθένειες	Παρατηρήσεις
Σκιαδόπουλο	Τέλη Σεπτεμβρίου	Όψιμη	Περονόσπορος	Ευαισθησία στη ξηρασία
Αυγουστιάτης	Τέλη Αυγούστου ως Μέσα Σεπτεμβρίου	Τρίτης εποχής		Ανθεκτικότητα στη ξηρασία, ανθεκτικότητα στον Περονόσπορο, ευδοκμεί σε βαθιά εδάφη
Παύλος	Τέλη Σεπτεμβρίου	Όψιμη	Περονόσπορος	Ανθεκτικότητα στη ξηρασία
Κατσακούλιας	Μέσα Σεπτεμβρίου	Τέταρτης εποχής		Ευαισθησία στη ξηρασία
Σαββατιανό	Μέσα Σεπτεμβρίου	Τέταρτης εποχής		Ανθεκτικότητα στη ξηρασία
Κουτσουμπέλι	Τέλη Σεπτεμβρίου	Όψιμη		Ανθεκτικότητα στη ξηρασία
Κορίθι	Τέλη Σεπτεμβρίου	Όψιμη		
Σκυλοπνίχτης	Μέσα ως τέλη Σεπτεμβρίου	Τέταρτης εποχής	Περονόσπορος, Βοτρυτής	

Γουστολίδι	Μέσα-τέλη Αυγούστου	Δεύτερης εποχής	Περονόσπορος	
Λαγόρθι	Μέσα Σεπτεμβρίου	Τέταρτης εποχής	Μέτρια ανθεκτικό- τητα στις περισσό- τερες ασθένειες	Ευαισθησία στη ξηρασία
Βιολεντό	Μέσα Σεπτεμβρίου	Τέταρτης εποχής	Περονόσπορος	Ανθεκτικότητα στη ξηρασία
Ροδίτης	Τέλη Σεπτεμβρίου ως μέσα Οκτωβρίου	Όψιμη	Ευαίσθητη στο Περονόσπορο, μολυσματικό εκφυλισμό, ίκτερο	Σχετική ανθεκτικότητα στη ξηρασία. Εμφανίζει έντονη τάση ανθόρροιας σε γόνιμα και δροσερά εδάφη
Φιλέρι	Τέλη Σεπτεμβρίου	Όψιμη	Περονόσπορος, Ιώσεις	Ανθεκτικότητα στη ξηρασία. Σε επικλινή και αποστραγγιζόμενα εδάφη εμφανίζει αντοχή στον περονόσπορο.
Βόσσος	Τέλη Σεπτεμβρίου	Όψιμη	Περονόσπορος	Ευαισθησία στη ξηρασία
Κοντοκλάδι	Μέσα Σεπτεμβρίου	Τέταρτης εποχής		
Βοϊδομάτης	Μέσα Σεπτεμβρίου	Τέταρτης εποχής		Έντονη ανθόρροια στα γόνιμα εδάφη, ανθεκτικότητα στη ξηρασία

(*) Προκύπτει λαμβάνοντας ως μέτρο σύγκρισης τον χρόνο ωρίμανσης των σταφυλών της *Σταφιδάμπελου* (*Vitis vinifera* var. *apyrena*) - αρχές Αυγούστου - στο αγρόκτημα του Γεωπονικού Πανεπιστήμιου Αθηνών (Κριμπάς 1943) και αντιστοιχεί στην κλίμακα *V. Pulliat*, όπως αναφέρεται από τον Νταβίδη (1977, σ. 189-190).

Ως *πρώτης εποχής* χαρακτηρίζονται οι ποικιλίες που ωριμάζουν συγχρόνως προς την *Σταφιδάμπελο*, *δεύτερης*, *τρίτης* και *τέταρτης* εποχής, αυτές που ωριμάζουν για κάθε κατηγορία, δεκαπέντε ημέρες αργότερα της προηγούμενης. Ως *όψιμες ποικιλίες* χαρακτηρίζονται αυτές, που ωριμάζουν αργότερα της τέταρτης κατηγορίας και ως *πρώιμες*, αν και δεν εμφανίζονται στον παρόντα πίνακα, αυτές που ωριμάζουν νωρίτερα της πρώτης κατηγορίας.

2.9 Βάθος εδάφους

Για τη διερεύνηση του τύπου, ως προς το βάθος, των εδαφών στα οποία εμφανίζονται οι ποικιλίες ψηφιοποιήθηκε ο «Χάρτης γαιών Ζακύνθου», (δύο φύλλα σε αναλογική μορφή του Εδαφολογικού Χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:50.000, Υπουργείο Γεωργίας, Δασική Υπηρεσία, 1994,). Για τον περιορισμό στατιστικών σφαλμάτων η ψηφιοποίηση διενεργήθηκε από ένα άτομο.

2.10 Γεωλογική προέλευση

Για τη διερεύνηση του γεωλογικού τύπου προέλευσης των εδαφών επί των οποίων εντοπίζονται τα αμπελοτεμάχια των ποικιλιών ψηφιοποιήθηκε το φύλλο «Νήσος Ζάκυνθος» του Γεωλογικού Χάρτη της Ελλάδος, σε κλίμακα 1:50.000 (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 1980). Όπως και κατά την ψηφιοποίηση του εδαφολογικού χάρτη, η ψηφιοποίηση του γεωλογικού χάρτη διενεργήθηκε από ένα άτομο.

2.11 Στατιστική επεξεργασία δεδομένων (αποτελεσμάτων)

Με τους παράγοντες να εξετάζονται κατά κλάσεις/ τύπους (ονομαστικές κατηγορικές μεταβλητές) και την έρευνα των αμπελοτεμαχίων των οινοποιήσιμων ποικιλιών απογραφική (σύνολο των αμπελοτεμαχίων ανά ποικιλία), εξετάστηκαν κατά περίπτωση παράγοντα και ανά ποικιλία οι συχνότητες εμφάνισης (frequencies) των αμπελοτεμαχίων της.

Επίσης, σχέσεις μεταξύ μεταβλητών διερευνήθηκαν μέσω υπολογισμού της τιμής του συντελεστή συσχέτισης των μεταβλητών.

Πίνακας 3: Δυνατότητα επιβίωσης ποικιλιών το έτος 2006 και μεταβολές εκτάσεων τους το έτος 2012.

Ποικιλία	Απόκλιση από τη μέση σταθμική ηλικία του Ζακυνθινού αμπελώνα	Απόκλιση από τη μέση σταθμική ηλικία των παραγωγών οινοποιήσιμων ποικιλιών	Δυνατότητα επιβίωσης		Μεταβολή της έκτασης των ποικιλιών από το έτος 2006 ως το έτος 2012 (%)
			Savage score	Χαρακτηρισμός	
Σκιαδόπουλο	0,49	0,61	-0,44	Medium poor	-1,63
Σκιαδόπουλο (Μαχαιράδο)	-0,26	-1,55	-0,68	Poor	
Σκιαδόπουλο (Άνω Γερακάρι)	2,91	-0,85	-0,12	Medium poor	
Αυγουσιτιάτης	5,04	2,04	0,34	Medium high	9,71
Αυγουσιτιάτης (Άγ. Λέων-Εξωχώρα)	3,15	8,10	1,22	Very high	
Αυγουσιτιάτης (Κερί)	-8,99	0,39	-0,87	Poor	
Παύλος	-1,14	-1,01	-0,59	Poor	-0,52
Παύλος (Λαγκαδάκια - Φιολίτι)	0,17	-3,03	-0,63	Poor	
Κατσακούλιας	1,15	0,73	-0,32	Medium poor	-1,09
Κατσακούλιας (Άνω Γερακ.-Πηγαδ.)	1,67	1,37	-0,04	Medium poor	
Σαβατιανό	1,54	0,69	-0,26	Medium poor	-5,03
Σαβατιανό (Άγιος Κήρυκας)	1,97	4,47	0,13	Medium high	
Σαβατιανό (Πηγαδάκια – Καλλ.)	-3,60	11,43	-0,38	Medium poor	
Κουτσομπέλι	3,71	4,53	0,78	High	1,93
Κουτσομπέλι (Αμπελόκηποι)	1,61	5,34	0,04	Medium high	
Κουτσομπέλι (Κερί)	8,75	6,06	1,56	Very high	
Κορίθι	-8,82	1,42	-0,72	Poor	-2,01
Κορίθι (Κερί)	0,02	3,48	-0,19	Medium poor	
Σκυλοπνίχτης	-5,37	-1,39	-0,83	Poor	-3,39
Σκυλοπνίχτης (Βολίμες)	-5,13	-1,49	-0,80	Poor	
Γουστολίδι	8,61	1,73	0,47	Medium high	23,90
Goustolidi (Βανάτο-Γαϊτάνι-Σαρακηνάδο)	9,69	2,12	0,98	High	
Λαγόρθι	2,4	8,5	0,61	High	0,53
Βιολεντό	2,32	-5,33	-0,54	Poor	0
Βιολεντό (Παντοκράτορας)	-10,2	-7,6	-0,97	Poor	
Ροδίτης	-1,24	-8,07	-0,90	Poor	-4,42
Ροδίτης (Καλιπάδο)	1,5	-15,9	-0,94	Poor	
Φιλέρι	2,74	-11,97	-0,76	Poor	-13,08
Φιλέρι (Μπόχλη)	5,5	12,7	2,06	Very high	
Μέση τιμή παραδοσιακών ποικιλιών	0	0	-0,49	Poor	-2,10
Cabernet sauvignon	13,93	9,49	3,06	Very high	160,98

Πίνακας 4: Τάξεις αμπελοτεμαχίων μέσω του δείκτη Huglin (HI)

(α/α)	Διάστημα	(α/α)	Διάστημα
1	≤ 2300	5	2601–2700
2	2301 – 2400	6	2701–2800
3	2401 – 2500	7	2801 ≤
4	2501 – 2600		

Πίνακας 6: Τάξεις αμπελοτεμαχίων μέσω του δείκτη Νοκτερινό ψύχος (CI)

(α/α)	Διάστημα (°C)	(α/α)	Διάστημα (°C)
1	15,7 – 16,9	3	18,0 – 18,9
2	17,0 – 17,9	4	19,0 – 19,7

Πίνακας 7: Τάξεις αμπελοτεμαχίων μέσω του δείκτη ξηρασίας (DI)

(α/α)	Χαρακτηρισμός περιοχής	Διάστημα
1	Πολύ ξηρή	-140 ≤ DI ≤ -100
2	Μέτρια ξηρή	-100 < DI ≤ 50
3	Ύφυγη	50 < DI ≤ 78

Πίνακας 5: Συσχέτιση τάξεων προιμότητας ωρίμανσης και τάξεων αμπελοτεμαχίων μέσω του δείκτη Huglin (HI)

a/a	Διάστημα τιμών του δείκτη Huglin	Αριθμός αμπελο-τεμαχίων	Κατηγορία προιμότητας ωρίμανσης
1	≤ 2300	35	Πολύ Πρώιμη
2	2301–2400	222	Πρώιμη
3	2401–2500	257	Πρώτης εποχής
4	2501–2600	207	Δεύτερης εποχής
5	2601–2700	86	Τρίτης εποχής
6	2701–2800	36	Τέταρτης εποχής
7	2801 ≤	1463	Όψιμη

Πίνακας 8: Τάξεις αμπελοτεμαχίων μέσω του υδροθερμικού δείκτη (HyI)

(α/α)	Χαρακτηρισμός περιοχής	Διάστημα
1	Για ευαίσθητες ποικιλίες	< 2700
2	Για μέτρια ανθεκτικές ποικιλίες	2700 – 2800
3	Για ανθεκτικές ποικιλίες	> 2800

3. Αποτελέσματα – συζήτηση

Ως προς τη συνολική καλλιεργούμενη έκταση με οινοποιήσιμες ποικιλίες αμπέλου η δυνατότητα επιβίωσης των παραδοσιακών ποικιλιών εμφανίζεται πτωχή το έτος 2006,

υποδηλώνοντας την αναλογική μείωση των εκτάσεών τους στο μέλλον. Ο ισχυρισμός αυτός επιβεβαιώνεται το έτος 2012 καθώς η συνολική έκταση καλλιέργειας παραδοσιακών οινοποιήσιμων ποικιλιών μειώθηκε κατά 2,10%.

3.1 Ποικιλίες που το έτος 2006 καλλιεργούνταν σε εκτάσεις μεγαλύτερες από 5% στο σύνολο των εκτάσεων με οινοποιήσιμες ποικιλίες (*Σκιαδόπουλο-55,6%, Παύλος-12,3%, Αυγουσιτιάτης-11,8%*)

Οι ποικιλίες εμφανίζονται σε όλες τις τάξεις των βιοκλιματικών δεικτών και σε όλους τους τύπους ως προς το βάθος του εδάφους και της γεωλογικής του προέλευσης, γεγονός που σχετίζεται με την ευρεία διασπορά τους στον χώρο της Ζακύνθου.

Οι *Σκιαδόπουλο* και *Παύλος* (όψιμες ποικιλίες) εμφανίζουν μέγιστη συχνότητα εμφάνισης στις περιοχές για *όψιμες* ποικιλίες, όπως είναι οι πεδινές περιοχές του νησιού, όπου η υψηλή για την περιοχή της Ζακύνθου ξηρασία αντισταθμίζεται από την ιδιότητα των ποικιλιών να εμφανίζουν σ' αυτήν αντοχή. Επίσης, χαρακτηρίζονται από αυξημένη συχνότητα εμφάνισης σε βαθιά, αλλουβιακής προέλευσης (γόνιμα) εδάφη, παράγοντες που ευνοούν την ποσοτική παραγωγή των πρέμνων.

Η ποικιλία *Σκιαδόπουλο* εμφανίζει *μέτρια πτωχή δυνατότητα επιβίωσης* στο σύνολο του νησιού. Ως προς τις δύο περιοχές με αυξημένη πυκνότητα αμπελοτεμαχίων (στις κοινότητες: *Μαχαιράδο* και *Άνω Γερκάρι*), στην περιοχή της κοινότητας *Μαχαιράδου* εμφανίζει *πτωχή δυνατότητα επιβίωσης*, ενώ στην περιοχή της κοινότητας *Άνω Γερκάρι* *μέτρια πτωχή*.

Η ποικιλία *Παύλος* εμφανίζει *πτωχή δυνατότητα επιβίωσης* στο σύνολο του νησιού. Τον ίδιο χαρακτήρα εμφανίζει και στην περιοχή των Τοπικών Κοινοτήτων *Λαγκαδάκια-Φιολίτι* όπου παρατηρείται αυξημένη πυκνότητα αμπελοτεμαχίων.

Η ποικιλία *Αυγουσιτιάτης* (τρίτης εποχής) εμφανίζει τη μεγαλύτερη συχνότητα (46%) σε περιοχές για *όψιμες* ποικιλίες (πεδινή *Ζάκυνθος*). Στις περιοχές αυτές τα γόνιμα εδάφη ευνοούν την ποσοτική όχι όμως και την ποιοτική παραγωγή των πρέμνων της ποικιλίας, επιπροσθέτως και λόγω των μη ευνοϊκών επικρατούντων κλιματικών συντελεστών. Είναι γνωστό ότι στις περιπτώσεις πρωιμότερων ποικιλιών σε οψιμότερες θέσεις η αναμονή για την αύξηση της συγκέντρωσης δευτερευόντων μεταβολιτών και ανθοκυανών έχει ως αποτέλεσμα την αφυδάτωση των ραγών και τη φαινόμενη αύξηση του αλκοολικού τίτλου. Για τον λόγο αυτό, στην προκειμένη περίπτωση της ποικιλίας, οι πλέον αυξημένες θερμοκρασίες της νύκτας, που επικρατούν στις περιοχές κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου, δεν αποφέρουν τα αναμενόμενα θετικά αποτελέσματα στην ποιότητα του φορτίου.

Η συνολικά αυξημένη εμφάνιση της ποικιλίας στις τάξεις για πρώιμες, 1ης, 2ης και 3ης εποχής ποικιλίες (50,3%) υποδηλώνει την ευρεία διασπορά της στις κοινότητες της ορεινής Ζακύνθου, όπου επικρατούν εδάφη ασβεστολιθικής προέλευσης, τα οποία συμβάλλουν στη βελτιωμένη ποιότητα των προϊόντων και μέτρια ξηρικές συνθήκες τις οποίες η ποικιλία αντεπεξέρχεται ως ανθεκτική σ' αυτές.

Χαρακτηρίζεται από *μέτρια υψηλή δυνατότητα επιβίωσης*, στο σύνολο του νησιού και εμφανίζει δύο περιοχές με αυξημένη πυκνότητα αμπελοτεμαχίων. Η μία εντοπίζεται σε περιοχή στα όρια των κοινοτήτων Άγιος Λέων-Εξωχώρα, όπου η ποικιλία εμφανίζει *πολύ υψηλή δυνατότητα επιβίωσης* και η δεύτερη στην κοινότητα Κερί, όπου ο αντίστοιχος χαρακτήρας είναι *πτωχή*.

3.2 Ποικιλίες που καλλιεργούνται σε εκτάσεις από 1% - 5% στο σύνολο των εκτάσεων με οινοποιήσιμες ποικιλίες (Κατσακούλιας-4,5%, Σαββατιανό-3,6%, Κουτσομπέλι-1,8%)

Οι ποικιλίες *Κατσακούλιας* και *Σαββατιανό*, όπως και αυτές τις προηγούμενης ενότητας (>5%), εμφανίζονται σε όλες τις τάξεις των βιοκλιματικών δεικτών και σε όλους τους τύπους ως προς το βάθος του εδάφους και τη γεωλογική του προέλευση. Παρέκκλιση από αυτή την τάση αρχίζει να εμφανίζεται στην ποικιλία *Κουτσομπέλι*, η οποία καλλιεργείται σε ποσοστό 1,8% στο σύνολο των αμπελουργικών εκτάσεων με οινοποιήσιμες ποικιλίες. Συγκεκριμένα, η παρέκκλιση αφορά την απουσία της ποικιλίας σε μια κατηγορία του *δείκτη Huglin*.

Οι *Κατσακούλιας* και *Σαββατιανό* (ποικιλίες *τέταρτης εποχής*) εμφανίζουν τη μέγιστη κατά ποικιλία συχνότητα, 77,9% και 84,2% αντίστοιχα, στην αμέσως επόμενη τάξη περιοχών για *όψιμες ποικιλίες*. Στις περιοχές αυτές οι πλέον υψηλές θερμοκρασίας νύκτας του Σεπτεμβρίου συμβάλλουν στην ανάπτυξη ποιοτικών χαρακτηριστικών στις παραγωγές των ποικιλιών, ενώ η ευαισθησία της ποικιλίας *Κατσακούλιας* στην ξηρασία αντισταθμίζεται από τη σχετικά υψηλή συχνότητα εμφάνισης βαθιών εδαφών.

Για την ποικιλία *Κατσακούλιας* παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση αμπελοτεμαχίων σε περιοχή στα όρια των κοινοτήτων Άνω Γερακάρι και Λαγκαδάκια, όπου οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες ευνοούν την καλλιέργειά της. Στις κοινότητες αυτές η ποικιλία χαρακτηρίζεται από την ίδια δυνατότητα επιβίωσης με αυτή για το σύνολο του νησιού (*μέτρια πτωχή*).

Για την ποικιλία *Σαββατιανό* παρατηρείται αυξημένη πυκνότητα αμπελοτεμαχίων σε δύο περιοχές στις οποίες οι περιβαλλοντικές συνθήκες ευνοούν την καλλιέργειά της. Η πρώτη εντοπίζεται στην κοινότητα Άγιος Κήρυκας και η δεύτερη στα όρια των

κοινοτήτων Πηγαδάκια και Καλλιθέα. Αν και η δυνατότητα επιβίωσης της ποικιλίας, στο σύνολο του νησιού χαρακτηρίζεται *μέτρια πτωχή*, χαρακτήρας που διατηρείται στις κοινότητες Πηγαδάκια και Καλλιθέα, στην κοινότητα Άγιος Κήρυκας διαφοροποιείται λαμβάνοντας τον χαρακτήρα *μέτρια υψηλή*.

Η ποικιλία *Κουτσομπέλι* (όψιμη ποικιλία) εμφανίζει μέγιστη συχνότητα στην τάξη περιοχών για *όψιμες ποικιλίες*, όπου ευνοϊκές κλιματικές και εδαφικές συνθήκες ευνοούν την παραγωγή της ποικιλίας, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Επίσης, εμφανίζει δύο περιοχές αυξημένης πυκνότητας αμπελοτεμαχίων από τις οποίες, η μια εντοπίζεται στην κοινότητα Αμπελόκηποι και η άλλη στην κοινότητα Κερί. Στην τοπική κοινότητα Αμπελοκήπων η ποικιλία χαρακτηρίζεται από *μέτρια υψηλή* δυνατότητα επιβίωσης, υποδεέστερης από αυτή για την ποικιλία γενικώς (*υψηλή*), αποδιδόμενη κύρια στη μεγαλύτερη ηλικία των πρέμνων. Στην κοινότητα Κερί η δυνατότητα επιβίωσης της ποικιλίας χαρακτηρίζεται *πολύ υψηλή* λόγω της μικρότερης ηλικίας των αμπελοτεμαχίων της ποικιλίας, αλλά και των παραγωγών που τη διατηρούν.

3.3 Λευκές ποικιλίες που καλλιεργούνται σε εκτάσεις μικρότερες από 1% στο σύνολο των εκτάσεων με οινοποιήσιμες ποικιλίες (*Λαγόρθι-0,6%, Γουστολίδι-0,6%, Σκυλοπνίχτης-0,5%, Κορίθι-0,3%*)

Για την ποικιλία *Λαγόρθι* (τέταρτης εποχής) διαπιστώνεται ότι δεν εμφανίζει μέγιστη συχνότητα στην αντίστοιχη κατηγορία περιοχών. Ποσοστό 86,4% των αμπελοτεμαχίων της ποικιλίας εμφανίζεται σε περιοχές για πρώιμες ποικιλίες, γεγονός που υποδηλώνει, την ανεπαρκή ωρίμανση του φορτίου. Αν και η ασβεστολιθική προέλευση των εδαφών εμφανίζει αυξημένη συχνότητα, στις περιοχές αυτές οι επικρατούσες θερμοκρασίες νύκτας κατά το μήνα Σεπτέμβριο είναι χαμηλές εντείνοντας το μειονεκτικό χαρακτήρα των περιοχών ως προς τους κλιματικούς συντελεστές για την ωρίμανση. Η ποικιλία εμφανίζει εντοπισμό στην τοπική κοινότητα Κοιλιωμένο, όπου εμφανίζει, κατά συνέπεια, την περιοχή με αυξημένη πυκνότητα αγροτεμαχίων της ποικιλίας και *υψηλή* δυνατότητα επιβίωσης.

Για την ποικιλία *Γουστολίδι* (δεύτερης εποχής) παρατηρείται μέγιστη συχνότητα εμφάνισης (84,4%) σε πεδινές περιοχές για όψιμες ποικιλίες. Τα γόνιμα εδάφη των περιοχών ευνοούν την ποσοτική όχι όμως και την ποιοτική παραγωγή των πρέμνων της ποικιλίας, επιπροσθέτως και λόγω των μη ευνοϊκών επικρατούντων κλιματικών συντελεστών. Είναι γνωστό ότι στις περιπτώσεις πρωιμότερων ποικιλιών σε οψιμότερες θέσεις η αναμονή για την αύξηση της συγκέντρωσης δευτερευόντων

μεταβολιτών έχει ως αποτέλεσμα την αφυδάτωση των ραγών και τη φαινόμενη αύξηση του αλκοολικού τίτλου. Για το λόγο αυτό, στην προκειμένη περίπτωση της ποικιλίας, οι πλέον αυξημένες θερμοκρασίες της νύκτας, που επικρατούν στις περιοχές κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου, δεν αποφέρουν τα αναμενόμενα θετικά αποτελέσματα στη γενική ποιότητα του φορτίου. Εμφανίζει αυξημένη πυκνότητα αμπελοτεμαχίων σε περιοχές των κοινοτήτων Γαϊτάνι, Βανάτο και Σαρακηνάδο, όπου η δυνατότητα επιβίωσης της ποικιλίας χαρακτηρίζεται *υψηλή* ενώ, για το σύνολο του νησιού *μέτρια υψηλή*.

Μέγιστη συχνότητα εμφάνισης (78,8%) η ποικιλία *Σκυλοπνίχτης* (τέταρτης εποχής) εμφανίζει σε περιοχές που προσφέρονται για ποικιλίες πρώτης εποχής. Στις περιοχές αυτές οι επικρατούσες θερμοκρασίες νύκτας κατά το μήνα Σεπτέμβριο είναι χαμηλές μη συμβάλλοντας στη σύνθεση δευτερευόντων μεταβολιτών και στην ανάπτυξη αρώματος στο φορτίο. Στο γενικό μειονεκτικό χαρακτήρα των περιοχών θα πρέπει να προστεθεί το ότι σ' αυτές ευνοούνται οι ασθένειες, τόσο του περονόσπορου, όσο και του βοτρυτή ($HyI > 2800$), στις οποίες η ποικιλία εμφανίζει ευαισθησία. Εμφανίζει αυξημένη συχνότητα αμπελοτεμαχίων σε περιοχή της κοινότητας Βολίμες, όπου επικρατούν οι ανωτέρω μη ευνοϊκές συνθήκες. Όπως και για το σύνολο των εκτάσεων που καλλιεργείται, στην περιοχή αυτή η ποικιλία χαρακτηρίζεται από *πτωχή* δυνατότητα επιβίωσης.

Η ποικιλία *Κορίθι* (όψιμη) εμφανίζεται κατά μέγιστη συχνότητα (54%) στην πεδινή περιοχή του νησιού όπου επικρατούν ευνοϊκές κλιματικές και εδαφικές συνθήκες για την καλλιέργειά της. Εν τούτοις, παρουσιάζει μια δευτερεύουσα αυξημένη πυκνότητα /συχνότητα αμπελοτεμαχίων (27%) σε περιοχή για ποικιλίες *δεύτερης εποχής* (κοινότητα Κερί). Αν και στο σύνολο των εκτάσεων η ποικιλία χαρακτηρίζεται από *πτωχή* δυνατότητα επιβίωσης, στην περιοχή της κοινότητας Κερί η δυνατότητα αυτή μεταβάλλεται σε *μέτρια πτωχή*.

3.4 Έγχρωμες ποικιλίες που καλλιεργούνται σε εκτάσεις μικρότερες από 1% στο σύνολο των εκτάσεων με οινοποιήσιμες ποικιλίες (*Βιολεντό-0,2%, Ροδίτης-0,1%, Φιλέρι-0,1%*)

Χαρακτηριζόμενες, γενικά, από *πτωχή* δυνατότητα επιβίωσης και ευαίσθητες σε ασθένειες οι ποικιλίες αυτές - *Βιολεντό* (τέταρτης εποχής), *Ροδίτης* (όψιμη), *Φιλέρι* (όψιμη) – εμφανίζονται κατά μέγιστη συχνότητα (75%, 66,7% και 100% αντίστοιχα) σε περιοχές για *όψιμες* ποικιλίες, όπως αυτές της πεδινής Ζακύνθου,

όπου ο κίνδυνος προσβολής από τις υπό θεώρηση ασθένειες είναι μειωμένος. Επί πλέον, οι υψηλές θερμοκρασίες νύκτας του Σεπτεμβρίου ευνοούν την ανάπτυξη δευτερευόντων μεταβολιτών και ανθοκυανών συμβάλλοντας στην ενίσχυση της ποιότητας του παραγόμενου φορτίου. Ως προς το έδαφος στις περιοχές αυτές, οι ποικιλίες εκμεταλλεύονται *αλλουβιακής* προέλευσης (γόνιμα) εδάφη.

Αυξημένη πυκνότητα αμπελοτεμαχίων εμφανίζουν, η *Βιολεντό* σε περιοχή της κοινότητας Παντοκράτορας, η *Ροδίτης* σε περιοχή της κοινότητας Καλιπάδο και η *Φιλέρι* σε περιοχή της κοινότητας Μπόχαλη, περιοχές που εμπίπτουν στις ευνοϊκές περιοχές που προαναφέρθηκαν. Στις περιοχές αυτές οι *Βιολεντό* και *Ροδίτης* εμφανίζουν πτωχή δυνατότητα επιβίωσης, ενώ η *Φιλέρι* χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή, οφειλόμενης τόσο στη μικρότερη ηλικία του παραγωγού που την καλλιεργεί, όσο και στην μικρότερη ηλικία των αμπελοτεμαχίων, όπου την έχει εγκαταστήσει.

3.5 Ποικιλίες που καλλιεργούνταν σε εκτάσεις μικρότερες από 0,1% στο σύνολο των εκτάσεων με οινοποιήσιμες ποικιλίες και σε αριθμό αμπελοτεμαχίων < 8 (*Κοντοκλάδι, Βοϊδομάτης, Βόσσος*)

Αν και η ποικιλία *Κοντοκλάδι* χαρακτηρίζεται ως τέταρτης εποχής, το σύνολο των αμπελοτεμαχίων της ευρίσκονται σε θέσεις για πρώιμες ποικιλίες. Αντιθέτως, η ποικιλία *Βόσσος* ως όψιμη εντοπίζεται σε θέσεις για όψιμες ποικιλίες. Ενώ, για την ποικιλία *Βοϊδομάτης*, χαρακτηριζόμενη ως προς την πρωιμότητα ωρίμανσης τέταρτης εποχής, ένα αμπελοτεμάχιο εντοπίζεται σε θέση για όψιμες ποικιλίες και το δεύτερο σε θέση για ποικιλίες πρώτης εποχής. Σημειώνεται ότι η ποικιλία *Βόσσος* δεν καταγράφεται πλέον, από το έτος 2012, στο αμπελοκομικό μητρώο Ζακύνθου.

Συμπεράσματα

Για την περιοχή της Ζακύνθου, οι παραδοσιακές ποικιλίες με έκταση μεγαλύτερη από 1% του συνόλου εμφανίζουν ευρεία χωρική κατανομή μεταξύ των τάξεων αμπελοκομικών βιοκλιματικών δεικτών και εδαφικών ιδιοτήτων που εξετάστηκαν.

Καθώς οι εκτάσεις των ποικιλιών μειώνονται βαθμιαία κάτω αυτού του ορίου η κατανομή μεταξύ των τάξεων περιορίζεται, καταδεικνύοντας τον περιορισμό της κατανομής μεταξύ των περιοχών.

Στις λευκές ποικιλίες ο κλιμακούμενος περιορισμός αναδεικνύει έναν αυξανόμενο εντοπισμό των περισσότερων αμπελοτεμαχίων σε εδαφικές και βιοκλιματικές τάξεις μη ενδεδειγμένες για κάθε περίπτωση ποικιλίας. Στις περιοχές αυτές η *on farm*

διατήρησή τους εκφραζόμενη από τη δυνατότητα επιβίωσής τους εμφανίζει, έστω οριακά, καλύτερη προοπτική

Αντίθετα, στις έγχρωμες ο αντίστοιχος εντοπισμός αφορά περιοχές οι οποίες κύρια ευνοούν τη συμπλήρωση των φαινολογικών σταδίων, την πλήρη ωρίμανση του φορτίου και την ανάπτυξη των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών. Στις περιοχές αυτές οι ποικιλίες χαρακτηρίζονται από πτωχή δυνατότητα επιβίωσης εκτός και αν μεμονωμένες ενέργειες παραγωγών συμβάλλουν στη βελτίωσή τους.

Περαιτέρω μείωση και περιορισμός των αμπελοτεμαχίων παραδοσιακών ποικιλιών σε πλήθος μικρότερο των τριών έχει ως αποτέλεσμα τον εντοπισμό τους σε θέσεις οι οποίες δεν είναι δυνατόν να χαρακτηριστούν ως ευνοϊκές ή δυσμενείς, στο σύνολο των εξεταζομένων κλιματικών και εδαφολογικών παραμέτρων.

INVESTIGATION OF THE DISPERSION OF TRADITIONAL WINEMAKING VARIETIES OF VINE IN THE VITICULTURAL LANDSCAPE OF ZAKYNTHOS

Anastasios Kolevris¹, Konstantina Panagiotakopoulou²

¹Department of Environmental and Natural Resources Management,
School of Engineering, University of Patras (mfortosi@otenet.gr)

²Università degli Studi Guglielmo Marconi, Rome, Italy (ntina.pana@hotmail.com)

Abstract

It is considered that the traditional varieties of cultivated species, replaced by those improved and of high output, are limited in not favorable environmental conditions. The calculation of the percentage where this happens, to the total of the cultivated land of the particular species, in a place of reference, is of interest.

The present work is dealing with the research of the environmental conditions that affects in the dispersion, in the island of Zakynthos, of traditional winemaking varieties of vine for which the interest of the producers to maintain them in their rural exploitations decreases progressively during the time period 2006-2013.

For the diagnosis and the evaluation of the environmental conditions that prevail in the vineyards plots where these are shown, geographical information system, viticulture bioclimatic indicators and territorial attributes of the investigated place were used.

In Zakynthos it is realised that, reduction of the land of varieties in percentage of smaller than 1% of totally cultivated land with winemaking varieties has as a result the restriction of white varieties in unfavorable for these environmental conditions, in opposition to the coloured ones, that are maintained in favorable viticultural places.

In the marginal cases of varieties that were examined and are presented in number of vineyard plots less than three, because of important heterogeneity of the environmental conditions the general characterization of places as favorable or unfavorable and for the two chromatic types is not possible.

In addition, through empirical research and the use of geographical information systems it was found that in Zakynthos, the choice and preference for traditional wine grape varieties vary in space showing moderate their correlation. It was also found that, as the varieties land are reduced the survivability of white varieties appears increased in areas with environmental conditions that do not meet their requirements.

Key-words: Zante, GIS, viticulture, traditional varieties, bioclimatic indicators, survival possibility.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adesina, A.A., 1996. Factors Affecting the Adoption of Fertilizers by Rice Farmers in Côte d' Ivoire. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 46, pp 29 - 39,
- Bagi, F.S., 1983. A Logit model of farmers' adoption decisions about credit. *Southern J. Agric. Econ.* 15, 13–19,
- Bellon, R.B., 1996. The dynamics of crop infraspecific diversity: a conceptual framework at the farmer level. *Economic Botany* 50 (1): 26-39,
- Blanco-Ward, D., Garcia Gueijeiro, J. K., and Jones G.V., 2007. Spatial climate variability and viticulture in the Mino River Valley of Spain, *Vitis* 46 (2), p. 63-70,
- Branas, J., Bernon G., Levadoux L., 1946. *Éléments de Viticultura Générale*. Imp. Déhan, Bordeaux,
- Caswell, M., Fuglie, K., Ingram, C., Jans, S., Kascak, C., 2001. Adoption of Agricultural Production Practices; Lessons Learned from the U.S. Department of Agriculture Area Studies Project. *Agricultural Economic Report*, 2001; No. (AER792) p 116,
- Chebil, A., Nasr, H., Zaibet, L., 2009. Factors affecting farmers' willingness to adopt salt-tolerant forage crops in south-eastern Tunisia, *Afjare* Vol 3 No 1,
- Falcetti, M. 1994. Le terroir. Qu'est-ce qu'un terroir? Pourquoi l' étudier? Pourquoi l' enseigner? *Bull. OIV* 67(2): 246-275,
- Fernandez-Cornejo, J., Douglas Beach, E., and Wen-Yuan Huang, 1994. The Adoption of IPM Techniques By Vegetable Growers in Florida, Michigan and Texas. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, pp 158-172,
- Hawkes, J. G., 1983. *The Diversity of Crop Plants*. Harvard University Press, Cambridge, MA,
- Huglin, P., 1978. Nouveau mode d' évaluation des possibilités héliothermiques d' un milieu viticole. In *Proceedings of the Symposium International sur l' ecologie de la Vigne*. Ministère de l' Agriculture et de l' Industrie Alimentaire, Costança, p. 89-98,
- Huglin, P., 1986. *Biologie et écologie de la vigne*. 372 pages. Edition Lausanne, Paris,

- Jones V. Gregory, Snead Nicholas and Nelson Peder, 2004. Geology and Wine 8. Modeling Viticultural Landscapes: A GIS Analysis of the Terroir Potential in the Umpqua Valley of Oregon. Geoscience Canada, volume 31, n 4, p 167-178,
- Norris, P. E., Batie, S. S., 1987. Virginia Farmers' Soil Conservation Decisions: an Application of Tobit Analysis. Southern Journal of Agricultural Economics, Vol 19, pp 79-90,
- Prakash, T.N., Mburu, J., Chandrashekar, H., and Abebaw, D., 2007. Farmers' Willingness to conserve crop genetic resources under different policy incentives: The case of traditional Rice varieties in the Western Chats of south India, Outlook on Agriculture, Volume 36, Number 2, p 137-143,
- Riou, Ch., Becker, N., Sotes Ruiz, V., Gomez-Miguel, V., Carbonneau, A., Panagiotou, M., Calo, A., Costacurta, A., Castro de, R., Pinto, A., lopes, C., Carneiro, L., Climaco, P., 1994. Le déterminism climatique de la maturation dans la communauté européenne. Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg, p 322,
- Ryan, B. and Gross, N.C. 1943. The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities. Rur. Sociol. 8, p 15-24,
- Salvator, L. Erzherzog, ZANTE, Τόμος Β', Prag 1904, ελληνική μετάφραση, σ 503 – 504,
- Seguin, G. 1988. Ecosystems of the great red wines produced in the maritime climate of Bordeaux. In Proceedings of the Symposium on Marime Climate Winegrowing. L. Fuller-Perrine (Ed.) p.36 - 53. Department of Horticultural Sciences, Cornell University, Geneva, NY,
- Tonietto, J., 1999. Les Macroclimates Viticoles Mondiaux et l' Influence dy Mésoclimat sur la Typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le Sud de la France: Methodologie de Caractérisation. These Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier,
- Tonietto, J., Carbonneau, A. , Régime thermique en période de maturation du raisin dans le géoclimat viticole: indice de fraîdes nuits – IF et amplitude thermique. In: Symposium International sur le Zonage Vitivinicole, 4, 2002, Avignon, França. Όπως αναφέρεται στο IV Symposium International sur le Zonage Vitivinicole – Tome I. Inter Rhône e Office International de la Vigne et du Vin – O.I.V., 2002. Tome I, p. 279-289,
- Walpole, R., 1817. Memoirs relating to European and Asiatic Turkey /ed. From manuscript journals, by Robert Walpole, M.A.London :Longman, Hurst, Rees, Orme and Brown. DSM 42180,
- Walton, J., J. Larson, R. Roberts, D. Lambert, B. English, S. larkin, M. Marra, S. Martin, K. Paton, and J. Reeves, 2010. Factors Influencing Farmer Adoption of Portable Computers for Site-specific Management: A Case for Cotton Production. Journal of Agricultural And Applied Economics, 42(2), p 193-209,
- Ζώης, Α.Χ., Ιστορία της Ζακύνθου, Αθήνα 1955, σελ 374 -375,
- Κοτίνης Χαράλαμπος, 1985. Ελληνικός Αμπελογραφικός Άτλας. Υπουργείο Γεωργίας
- Κριμπάς, Β.,. Ελληνική Αμπελογραφία Α', Β', Γ', Υπουργείο Γεωργίας, Αθήναι 1943, 1944,

- Λογοθέτης, Β., 1975. Συμβολή της αμπέλου και του οίνου εις τον πολιτισμόν της Ελλάδος και της Ανατολικής Μεσογείου, Παράρτημα, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σ 211 – 234,
- Υ.Π.Α.Α.Τ., 2000, 2006, 2012. Αμπελουργικό Μητρώο Νομού Ζακύνθου.Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Εκδόσεις 2000, 2006, 1012,
- Νταβίδης Ξ. Οδυσσέας. Ελληνική Αμπελολογία (Δοκίμιον), Τόμος Α΄, Στοιχεία Αμπελουργίας, Αθήναι, 1977. Ανατύπωσις 1982,
- Χιώτης, Π., Ιστορικά Απομνημονεύματα της νήσου Ζακύνθου, Κέρκυρα 1849, Τομ 1, σσ 34, 152.

ΕΝΟΤΗΤΑ 2^η

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ – ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟ ΔΑΣΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟΥ ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (UAV)

Ρούσσος Ανάργυρος¹, Καββαδίας Αντώνης^{2*}, Χανιώτη Μαρουλιώ³, Μίχας Σπύρος²

¹Δασοπόνος, anargyros.roussos@gmail.com

²Εν Αγροίς ΜΕΠΕ, Ευβοίας 3, 15125, Μαρούσι, info@enagris.gr

³Inforest Research o.c, Γλαράκη 10B, 11145, Αθήνα, mchanioti@inforest.gr

Περίληψη

Οι δασικές πυρκαγιές ανέκαθεν υπήρχαν στα Μεσογειακά Δασικά Οικοσυστήματα, αποτελώντας ένα μείζον οικολογικό και κοινωνικό θέμα. Σύμφωνα με το FAO (2007), τα αίτια εμφάνισής τους έχουν αποδοθεί στο μεγαλύτερο ποσοστό τους σε ανθρωπογενείς ενέργειες – ακούσιες ή από πρόθεση - καθιστώντας την αποτελεσματική τους αντιμετώπιση ένα ιδιαίτερα σύνθετο πρόβλημα. Η οργανωμένη προσέγγιση στο πρόβλημα και η λήψη προληπτικών μέτρων συντελούν θετικά στην αντιμετώπισή του και επιπλέον κοστίζουν ελάχιστα σε σύγκριση με το κόστος καταστολής των πυρκαγιών από επίγειες δυνάμεις ή / και εναέρια μέσα. Στα μέτρα πρόληψης μεταξύ άλλων, ανήκει και ο αντιπυρικός σχεδιασμός της κάθε περιοχής, αναπόσπαστο κομμάτι του οποίου αποτελεί ο χάρτης καύσιμης ύλης και σημείων αυξημένης επικινδυνότητας για έναρξη πυρκαγιάς (πχ. χωματερές). Για την κατασκευή του χάρτη καύσιμης ύλης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι, με διαφορετικούς βαθμούς ακρίβειας και χρόνους προετοιμασίας. Δεδομένου ότι η συμπεριφορά της πυρκαγιάς εξαρτάται περισσότερο από τη δομή της βλάστησης και τη συνολική βιομάζα (Fernandes, 2009), και λιγότερο από το βλαστητικό είδος που την αποτελεί, ενδεχομένως ένας αδρομερής προσδιορισμός των καλυπτόμενων από βλάστηση περιοχών σε συνδυασμό με την καταγραφή των σημείων ιδιαίτερης επικινδυνότητας να αποτελεί μια προσιτή και ταχεία λύση στο πρόβλημα του χάρτη καύσιμης ύλης χωρίς υστερεί ουσιαστικά σε θέματα ακρίβειας της απόδοσης της επικινδυνότητας ως προς την έναρξη και την ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Σκοπός της εργασίας ήταν ο άμεσος αδρομερής προσδιορισμός της εδαφοκάλυψης και της συνολικής δομής των διαφόρων βλαστικών ειδών στην περιοχή μελέτης. Το παραχθέν αποτέλεσμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στον αντιπυρικό σχεδιασμό για τη διερεύνηση επικινδυνότητας έναρξης πυρκαγιάς ή για την εξάπλωσή και την συμπεριφορά της πυρκαγιάς και το σχέδιο πιθανής εκκένωσης της περιοχής.

Η πιλοτική περιοχή μελέτης βρίσκεται στο αισθητικό δάσος της Καισαριανής στο Όρος Υμηττός στην Αττική (37°57' N, 23°47' E) συνολικής έκτασης περί τα 2,04 Km².

Για την κάλυψη αυτής της έκτασης, πραγματοποιήθηκαν δύο πτήσεις με τη χρήση του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος (UAV) eBee. Στη συνέχεια με τη χρήση του λογισμικού ENVI έγινε ταξινόμηση με τη χρήση της εντολής Forest Density και σύνθεση των παραχθέντων επιπέδων πληροφορίας στο ArcMap.

Λέξεις-κλειδιά: UAV, Ταξινόμηση, Τηλεπισκόπηση, Δασικές Πυρκαγιές, Πρόληψη Δασικών Πυρκαγιών

Εισαγωγή

Η αναγνώριση, κατάταξη και ταξινόμηση της βλάστησης και της γενικότερης εδαφοκάλυψης αποτελούν ανέκαθεν ένα σύνθετο πρόβλημα για όσους ασχολούνται με τη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος. Ειδικότερα στη χώρα μας, όπου το έντονο ανάγλυφο και η υψηλή βιοποικιλότητα είναι από τα πλέον συνήθη χαρακτηριστικά του τοπίου, το πρόβλημα είναι εντονότερο και συχνά δυσεπίλυτο.

Από τις διαθέσιμες μεθόδους καταγραφής και αποτύπωσης της κάλυψης του εδάφους, οι διάφορες μέθοδοι τηλεπισκόπησης έχουν κριθεί ως οι πλέον κατάλληλες για την κάλυψη μεγάλων εκτάσεων, συναγωνιζόμενες πολλές φορές σε ακρίβεια και τις επίγειες μεθόδους αποτύπωσης των εδαφών. Από αυτές τις μεθόδους, οι μέθοδοι ταξινόμησης πλεονεκτούν έναντι των ερμηνευτικών μεθόδων στο γεγονός ότι είναι αντικειμενικότερες και δεν εξαρτώνται από την ικανότητα και οξυδέρκεια του ερμηνευτή. (Horning, N., 2004).

Η παρούσα εργασία είχε ως άμεσο στόχο να καταγράψει τη μεθοδολογία της κατά το δυνατόν ταχύτερης αλλά αδρομερούς καταγραφής της εδαφοκάλυψης και της γενικότερης δομής της βλάστησης (πυκνότητα κόμης και ύψος φυτών) σε μια συγκεκριμένη περιοχή ειδικού ενδιαφέροντος, ώστε να μπορέσει αυτή η καταγραφή και ταξινόμηση να χρησιμοποιηθεί στον αντιτυρικό σχεδιασμό ως χάρτης βλάστησης ή επίπεδο πληροφορίας αυτού. Απώτερος σκοπός ήταν η δυνατότητα της περαιτέρω χρησιμοποίησης της μεθόδου της αποτύπωσης και ταξινόμησης της περιοχής και σε άλλες περιοχές ειδικού ενδιαφέροντος για την άμεση δημιουργία του χάρτη κάλυψης και δομής της βλάστησης.

Κάνοντας χρήση κοινής φωτογραφικής μηχανής και χωρίς τη χρήση πολυφασματικών εικόνων ή LiDAR επιτεύχθηκε η παραγωγή ορθοφωτομωσαϊκού χωρίς να απαιτείται προϋπάρχον Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM). Εξ αυτού του υλικού παράχθηκαν, με τη χρήση ταξινόμησης, επίπεδα πληροφορίας που αφορούν

στην πυκνότητα της εδαφοκάλυψης και το ύψος των φυτών / δένδρων, ο συνδυασμός των οποίων μας έδωσε το επίπεδο δομής της βλάστησης.

Υλικά και Μέθοδοι

Περιοχή Μελέτης

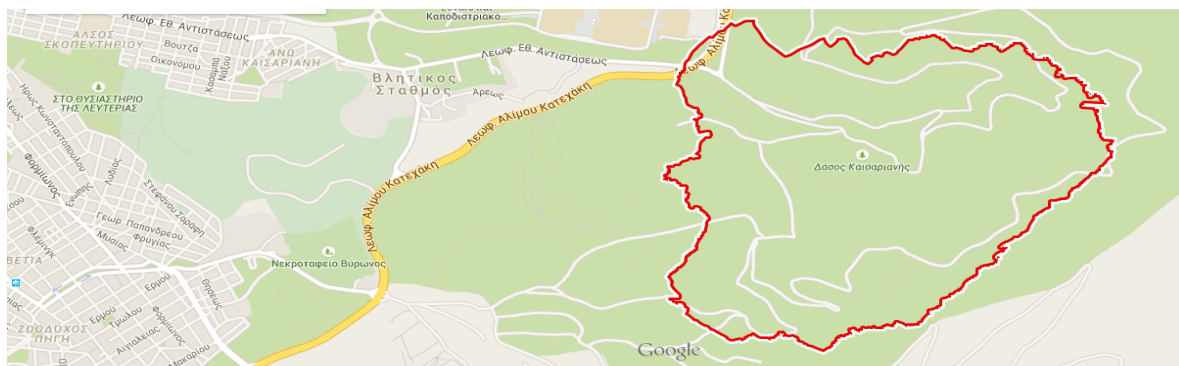
Η πιλοτική περιοχή μελέτης βρίσκεται στο αισθητικό δάσος της Καισαριανής στο Όρος Υμηττός στην Αττική (37°57' N, 23°47' E) συνολικής έκτασης περί τα 2,04 Km².



Εικόνα 1: Γενικότερη άποψη της περιοχής μελέτης στο Αισθητικό Δάσος Καισαριανής.

Η περιοχή μελέτης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1, έχει πλούσια δασική βλάστηση στο μεγαλύτερο μέρος της. Γειτνιάζει με την Αθήνα στην περιοχή της Καισαριανής διαχωριζόμενη εξ' αυτής από τη Λεωφόρο Αλίου - Κατεχάκη. Εντός της περιοχής μελέτης βρίσκονται η Μονή Καισαριανής, και οι εγκαταστάσεις της Φιλοδασικής Ένωσης Αθηνών και μεγάλο τμήμα του Αισθητικού Δάσους της Καισαριανής. Η περιοχή έχει έντονη ανθρώπινη παρουσία κυρίως λόγω της δυνατότητας για αναψυχή που προσφέρει και της εγγύτητάς της στον αστικό ιστό, όπως επίσης και της εύκολης πρόσβασης σε αυτή.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2, το οδικό δίκτυο που τη διατρέχει είναι αρκετά πυκνό. Μεγάλο μέρος του είναι ασφαλοστρωμένο και με καλή κατάσταση του οδοστρώματος. Πέραν των δρόμων, υπάρχουν πολλά μονοπάτια που διατρέχουν την περιοχή. Οι υπόλοιπες υποδομές έχουν να κάνουν με τη Μονή Καισαριανής και τις εγκαταστάσεις της Φιλοδασικής Ένωσης Αθηνών.

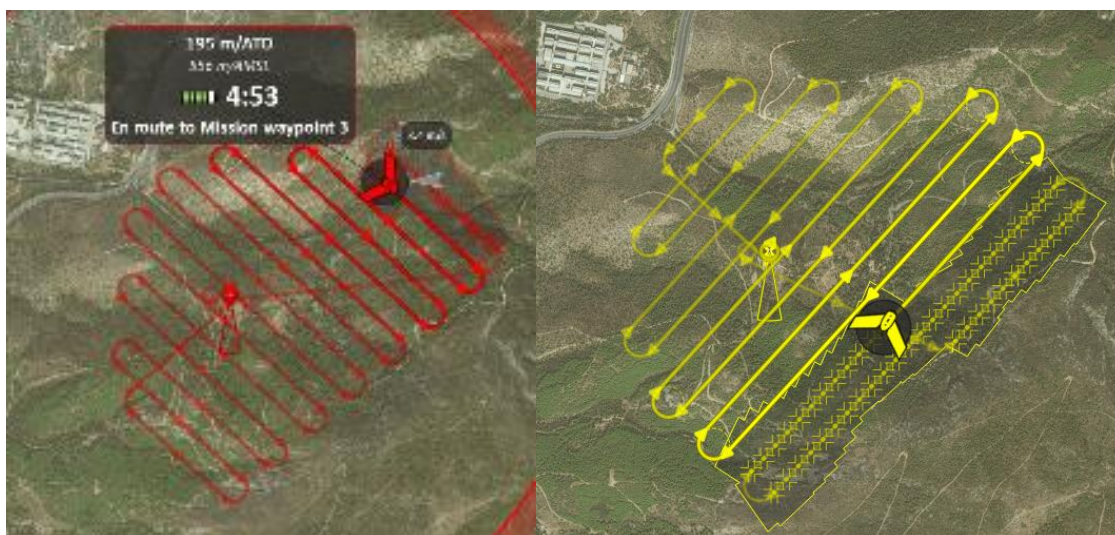


Εικόνα 2: Αποψη της περιοχής μελέτης και του οδικού δικτύου πέριξ και εντός αυτής.

Φωτοληψία

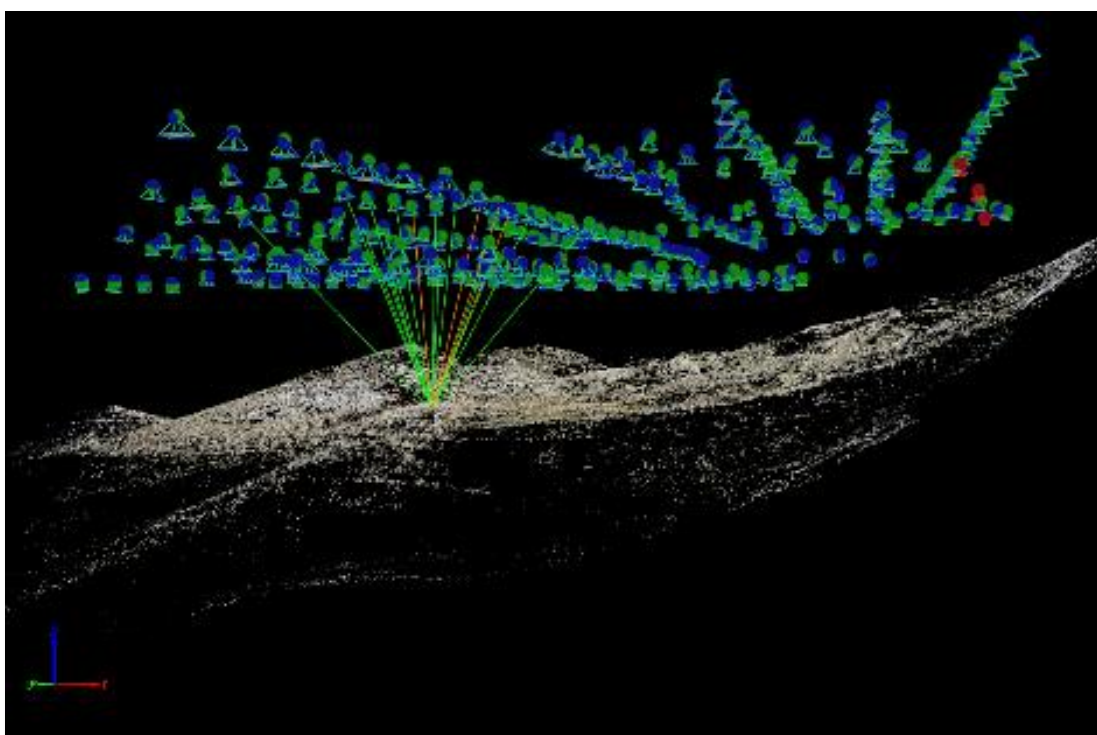
Για τη φωτογραφική κάλυψη αυτής της έκτασης, πραγματοποιήθηκαν δύο πτήσεις συνολικής διάρκειας 56 λεπτών στις 23/6/2014 με τη χρήση του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος (UAV) eBee της SenseFly, το οποίο έφερε την τροποποιημένη κάμερα Canon IXUS 127 HS (RGB) και η οποία έλαβε συνολικά 349 εικόνες.

Ο σχεδιασμός και ο έλεγχος των πτήσεων πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού eMotion της Pix4D και η επεξεργασία των εικόνων πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα Postflight Terra 3D της Pix4D από το οποίο εξήχθησαν ορθοφωτοχάρτες ανάλυσης 7 cm/px και 3D Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Ειδικότερα, μέσω του λογισμικού eMotion της SenseFly SA, σχεδιάστηκαν δύο πτήσεις (Εικόνα 3) που θα κάλυπταν την ίδια δασική έκταση 2044 στρεμμάτων της ευρύτερης περιοχής του Αισθητικού Δάσους Καισαριανής στο Όρος Υμηττός της Αττικής (37°57' N, 23°47' E). Για τη δεύτερη πτήση σχεδιάστηκαν γραμμές κάλυψης κάθετες στις γραμμές της πρώτης προς επίτευξη παραγωγής ακριβέστερου και λεπτομερέστερου νέφους σημείων (Εικόνα 4). Επιπλέον, οι γραμμές κάλυψης της έκτασης σχεδιάστηκαν παράλληλες με πλευρική κάλυψη εικόνων 60% και κατά μήκος κάλυψη 75% και προς επίτευξη ανάλυσης 7cm/px, ενώ το μέσο ύψος της πτήσης ορίστηκε στα 195m από το έδαφος.



Εικόνα 3: Σχέδια πτήσεων.

Λαμβάνοντας δε υπόψη και το έντονο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης στον σχεδιασμό, οι γραμμές πτήσης προγραμματίστηκαν και με τη βοήθεια των δεδομένων του υποβάθρου της Microsoft Satellite, ως εκ τούτου υπήρχαν αλλαγές του ύψους πτήσης, όπου κρίθηκε απαραίτητο προκειμένου να διατηρηθεί η αρχικά ορισθείσα ανάλυση.

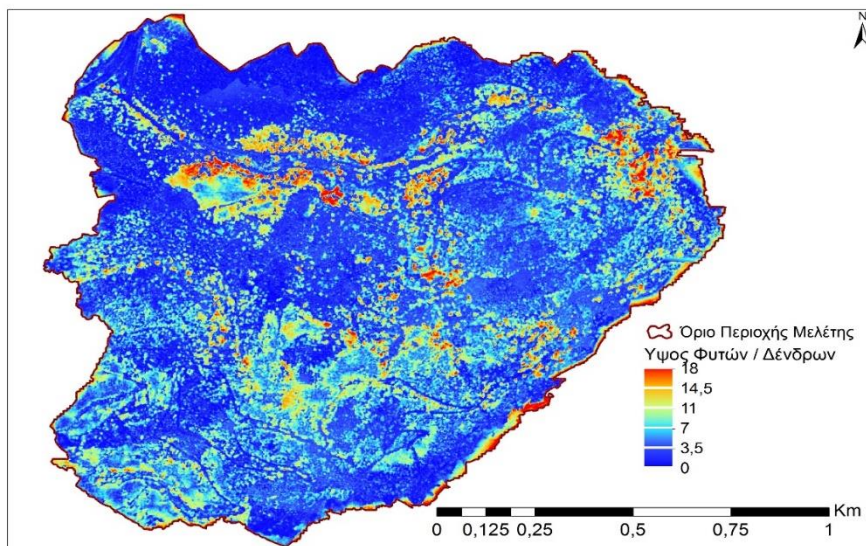


Εικόνα 4: Νέφος σημείων.

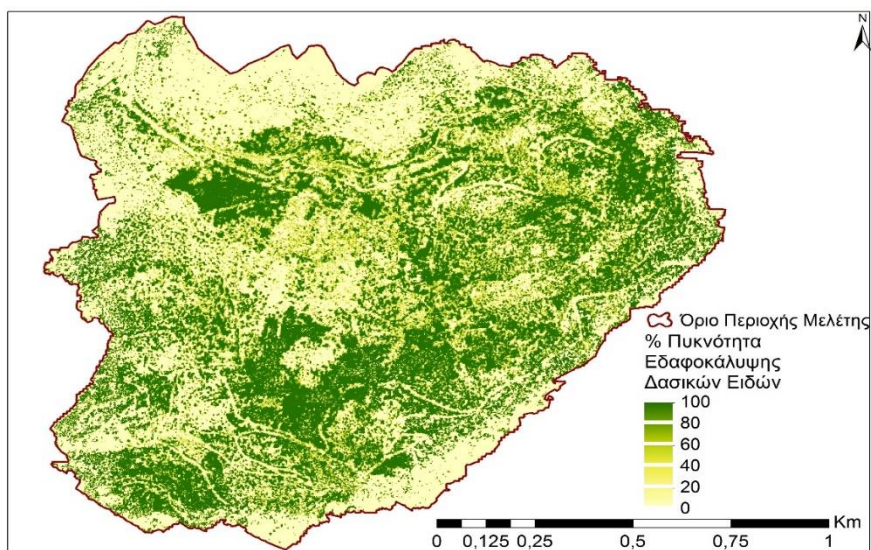
Κατά τη μετέπειτα επεξεργασία των εικόνων δημιουργήθηκε ορθοφωτομωσαϊκό της περιοχής και παρήχθησαν νέφη σημείων και Τρισδιάστατο Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM) μέσω του λογισμικού Postflight Terra 3D της Pix4D.

Ταξινόμηση

Από το αρχικά παραχθέν νέφος δεδομένων σε xyz format, κατάλληλα ανηγμένο σε las format μέσω της εφαρμογής LASUtility, παράχθηκαν τα επίπεδα της πληροφορίας της πυκνότητας κάλυψης και του ύψους των φυτών / δένδρων. Η πληροφορία παράχθηκε από το λογισμικό ENVI Lidar με τη χρήση της εντολής Forest Density. Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε τα αποτελέσματα της ταξινόμησης όσον αφορά το ύψος των δένδρων και την πυκνότητα της βλάστησης



. Εικόνα 5: Χρωματική Απόδοση του ύψους των δένδρων στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 6: Πυκνότητα εδαφικάλυψης δασικών ειδών.

Αποτελέσματα και Συζήτηση

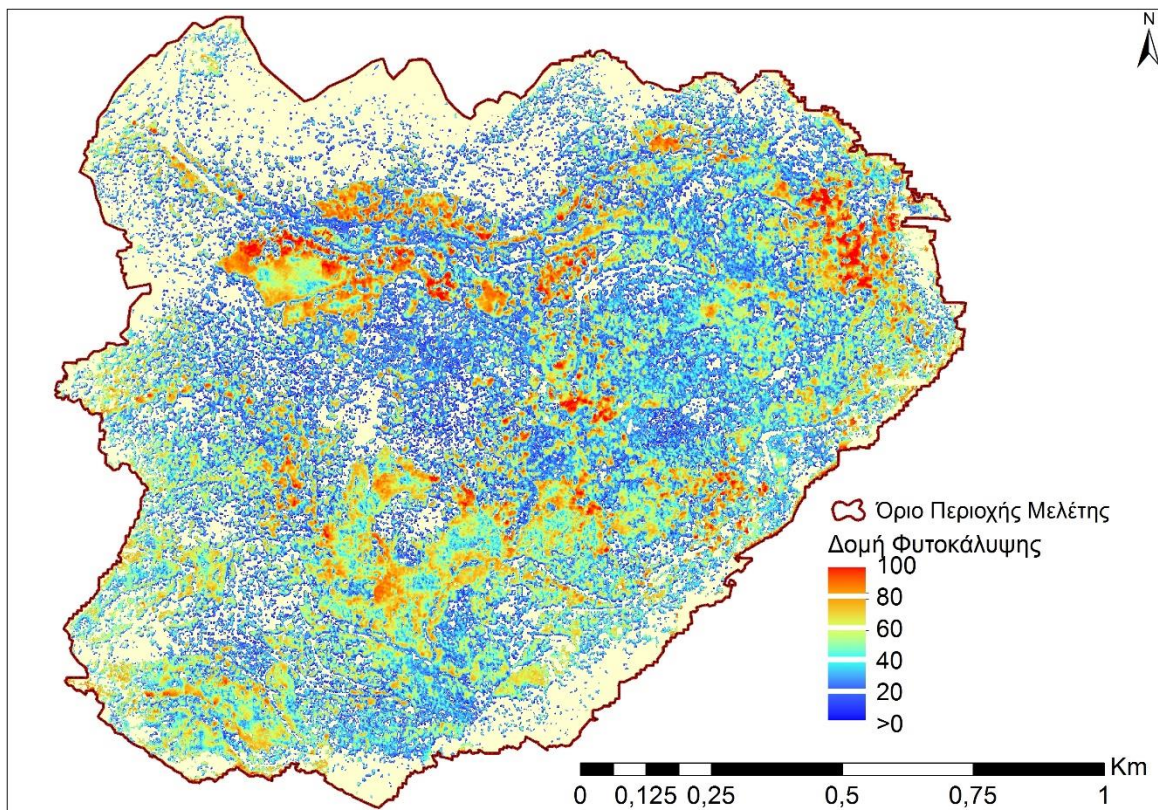
Από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης, έγινε φανερό ότι με τη χρήση ενός και μόνο αλγορίθμου του προγράμματος ENVI κατέστη δυνατή η εξαγωγή ποιοτικής

πληροφορίας όσον αφορά την εδαφοκάλυψη από τη βλάστηση αλλά και το ύψος των φυτών.

Όπως αναφέρει και ο Fernandes (2009), η μελέτη 19 δασικών οικοσυστημάτων στην Πορτογαλία, μέσω προσομοίωσης της συμπεριφοράς της φωτιάς, κατέδειξε πως η συμπεριφορά της φωτιάς σε ενδεχόμενο δασικής πυρκαγιάς, εξαρτάται περισσότερο από τη δομή της συστάδας παρά από τον τύπο εδαφοκάλυψης. Είναι λοιπόν ιδιαίτερα χρήσιμο να υπάρχει η δυνατότητα να παραχθεί η εν λόγω πληροφορία από τις υπάρχουσες ταξινομήσεις. Άλλωστε, η ευφλεκτότητα σχετίζεται άμεσα με χαρακτηριστικά της βλάστησης (καυσίμου) όπως η ποσότητα, κατάσταση, διάταξη και θέση (Xanthopoulos, 2012). Εξ αυτών, με τη συγκεκριμένη προσέγγιση καλύπτονται οι δύο τελευταίες. Στη συγκεκριμένη προσέγγιση, και για λόγους βέλτιστης οπτικής απόδοσης αλλά και ορθότητας των αποτελεσμάτων έγινε αναγωγή σε εκατοστιαία βάση πριν τη σύνθεση των δύο επιπέδων πληροφορίας. Η σύνθεση αυτή, δίνει μια σαφή εικόνα επικινδυνότητας από πυρκαγιά και της πιθανής συμπεριφοράς της πυρκαγιάς υπό δεδομένες μετεωρολογικές συνθήκες. Θα μπορούσε δε, να χρησιμοποιηθεί σε κάποιο μοντέλο συμπεριφοράς πυρκαγιάς ή σαν εργαλείο διαχείρισης για την πρόληψη, όπου θα βοηθούσε στον εντοπισμό περιοχών υψηλής επικινδυνότητας.

Η σύνθεση των επιπέδων πληροφορίας που προήλθαν από την ταξινόμηση έγινε με τη χρήση του προγράμματος ArcMap της ESRI, όπως επίσης και η παραγωγή των εικόνων που δόθηκαν προς αναπαράσταση του ύψους και της κάλυψης της βλάστησης στην περιοχή μελέτης.

Εκ του τελικού αποτελέσματος είναι φανερό ότι με τη χρήση μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος (UAV) και μετέπειτα επεξεργασία σε εμπορικά προγράμματα όπως το ENVI και το ArcMap κατέστη δυνατή η παραγωγή πληροφορίας ιδιαίτερα χρήσιμης για την παρακολούθηση και μελέτη των δασικών οικοσυστημάτων, ειδικότερα στο ευαίσθητο κομμάτι της προστασίας από τις δασικές πυρκαγιές.



Εικόνα 7: Δομή Φυτοκάλυψης (Εδαφοκάλυψη X Ύψος Φυτών) στην περιοχή μελέτης.

LANDCOVER AND VEGETATION STRUCTURE SPECIFICATION IN SUBURBAN FOREST USING UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)

Roussos Anargyros¹, Kavvadias Antonis^{2*}, Chanioti Maroulia³ Michas Spyros²

¹Forester, anargyros.roussos@gmail.com

²En Agris LLC, Evias 3, 15125, Marousi, info@enagris.gr

³Inforest Research o.c, Glaraki 10B, 11145, Athens, mchanioti@inforest.gr

Abstract

Forest fires have always been present in Mediterranean Forest Ecosystems, thus constituting a major ecological and social issue. According to FAO (2007) their appearance causes have been attributed for the most part by anthropogenic activities - accidental or intentional – creating a particularly complex problem in dealing with them. The organized approach to the problem and the preventive measures contribute positively to deal with and extra cost very little compared to the cost of fire suppression by ground forces and / or aerial ones. Preventive measures including fire prevention plan of each area, part of which is the fuel map and points of increased risk to start a fire (eg. dumps). In order construct the fuel map various methods could be used, with different levels of accuracy and preparation times. Since the behavior of the fire depends more on the structure of the vegetation and overall biomass (Fernandes, 2009),

and less in the vegetative species itself, it is possible that a coarse identification of areas covered by vegetation combined with the spotting of extreme hazard points to be an affordable and quick solution to the problem of fuel map construction without lagging in precision level in terms of fire start risk and rate of spread. The aim of this study was the direct determination of coarse landcover and overall structure of the various plant types in the study area. The resulting effect could be used in fire prevention plan for fire start risk investigation or for the rate of fire spread and fire behavior and a feasible evacuation plan of the area.

The pilot study area located in the Aesthetic Forest of Kaisariani Mount Hymettus in Attica (37 ° 57 'N, 23 ° 47' E) on the total area of 2,04 Km². To cover this area, two flights were realized using the unmanned aerial vehicle (UAV) eBee. Next, we used ENVI software and Forest Density command to classify the images and ArcMap software to compose of the produced information layers in the final layer.

Key words: UAV, Classification, Remote Sensing, Forest Fires, Forest Fire Prevention

Βιβλιογραφία

FAO, 2007. Fire Management – Global Assessment 2006. A Thematic Study Prepared in the Framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. FAO, Rome.

Fernandes, P.M. 2009. Combining forest structure data and fuel modelling to assess fire hazard in Portugal. Ann For Sci 66:415p1–415p9

Horning, N. 2004. Land cover classification methods, Version 1.0. American Museum of Natural History, Center for Biodiversity and Conservation. Available from <http://biodiversityinformatics.amnh.org>.

Xanthopoulos, G., Calfapietra, C., Fernandes, P. 2012. Fire hazard and flammability of European forest types. In: “Post-fire management and restoration of Southern European forests” (Moreira F, Arianoutsou M, Corona P, De Las Heras Geds). Managing Forest Ecosystems 24, Springer, Berlin, Germany, pp. 79-92.

ENVILiDAR (<http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVIProducts/ENVILiDAR.aspx>)

LASUtility (<http://home.iitk.ac.in/~blohani/LASUtility/LASUtility.html>)

**ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΜΕ ΤΗ
ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ (COST PATH)
ΤΟΥ GIS ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΖΩΓΡΑΦΟΥ**

Αντωνίου Ιωάννα^{1*}, Καλύβας Διονύσιος², Νεκτάριος Παναγιώτης¹

¹Εργ. Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα,

²Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα,

Περίληψη

Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν η σύγκριση διαφορετικών δικτύων πρασίνου τα οποία προκύπτουν διερευνώντας διαφορετικές εκδοχές πηγών και προορισμών, κατά την εφαρμογή της λειτουργίας κόστους διαδρομής, του GIS λογισμικού, στον αστικό ιστό του Δήμου Ζωγράφου.

Αρχικά, προσδόθηκε βαθμός δυσκολίας σε όλους τους χώρους πρασίνου, σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο και σε κάθε δρόμο που περιλαμβάνεται στα όρια του Δήμου Ζωγράφου. Ο βαθμός αυτός αντιστοιχεί στην αντίσταση που θα αντιμετωπίσει ένας χρήστης του μελλοντικού δικτύου (άνθρωποι καθώς και οι υπόλοιποι έμβιοι χρήστες - πανίδα ενός δικτύου) αν διασχίσει το χώρο αυτό. Στην συνέχεια αυτοί οι βαθμοί δυσκολίας μετατράπηκαν σε ένα Ψηφιδωτό Κόστους το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως κοινή βάση για τη δημιουργία των δικτύων σε κάθε διαφορετικό σενάριο.

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα δίκτυο, πρέπει να οριστεί η πηγή και ο προορισμός του. Στην παρούσα μελέτη διερευνώνται διάφορες εκδοχές στις οποίες οι χώροι πρασίνου του Δήμου Ζωγράφου εξετάζονται κατηγοριοποιημένοι σε χώρους πρασίνου μεγαλύτερους ή μικρότερους από 1000 m². Με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS πραγματοποιήθηκαν οι λειτουργίες Κόστους Απόστασης και Κόστους Διαδρομής, σχηματίζοντας έτσι το Ψηφιδωτό Κόστους Απόστασης και στη συνέχεια τις Διαδρομές Ελαχίστου Κόστους από την πηγή προς τον προορισμό για κάθε εκδοχή. Τέλος η αξιολόγηση των προτεινόμενων δικτύων πραγματοποιήθηκε με τη λειτουργία “New Network Dataset” με την οποία προσδιορίζεται ο αριθμός των κόμβων και των συνδέσμων για κάθε δίκτυο. Στη συνέχεια προσδιορίστηκε ο δείκτης α ο οποίος σχετίζεται με το ποσοστό του δικτύου που αποτελείται από κλειστά κυκλώματα (loops), ο δείκτης β ο οποίος αφορά την πολυπλοκότητα του δικτύου και τέλος ο δείκτης γ ο οποίος υποδεικνύει τη συνδεσιμότητα του δικτύου. Οι τιμές των δεικτών αυτών χαρακτηρίζουν κάθε προτεινόμενο δίκτυο και επιτρέπουν τη μεταξύ τους σύγκριση.

Λέξεις-κλειδιά: Δίκτυα πρασίνου, λειτουργία κόστους διαδρομής, λειτουργία κόστους απόστασης.

1. Εισαγωγή

Τα Δίκτυα Πρασίνου είναι δίκτυα γης αποτελούμενα από γραμμικά στοιχεία τα οποία είναι σχεδιασμένα και διαχειρίζονται για πολλαπλούς σκοπούς όπως: οικολογικούς, αναψυχής, πολιτιστικούς, αισθητικούς ή άλλους απόλυτα συνυφασμένους με την έννοια της αειφόρου χρήσης γης (Ahern, 1995). Συνοπτικά ο παραπάνω ορισμός καθορίζει πέντε στοιχεία κλειδιά για τα δίκτυα πρασίνου: είναι γραμμικά στοιχεία, παρέχουν σύνδεση, είναι πολυλειτουργικά, έχουν ως στόχο την αειφορία και αποτελούν εργαλείο στρατηγικής διαχείρισης μιας περιοχής. Επιπρόσθετα, τα δίκτυα πρασίνου δεν έχουν ως μοναδικό στόχο την οικολογική βελτίωση μιας περιοχής. Μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν ώστε να βελτιώσουν την καθημερινή ζωή των ανθρώπων, να προσφέρουν καινούριες ευκαιρίες για αναψυχή, αλλά και να αποτελέσουν ένα καινούριο εργαλείο σχεδιασμού και διαχείρισης των υπαίθριων χώρων μιας πόλης. Επίσης τα δίκτυα πρασίνου αποτελούν μια σημαντική ευκαιρία προκειμένου να διατηρηθούν ιστορικά σημεία, καθώς και να εκπαιδευθεί το κοινό σχετικά με τη φύση και να ενθαρρυνθεί μια ευρύτερη έννοια της προστασίας της φύσης (Searns, 1995).

Η ευεργετική επίδραση των δικτύων πρασίνου έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον γύρω από τον σχεδιασμό τους. Εγείρονται όμως ερωτήματα για το πότε ένα δίκτυο είναι αποδοτικό και ποιος είναι ο βέλτιστος τρόπος ενσωμάτωσής τους μέσα στο αστικό ιστό. Η χρήση του λογισμικού GIS μπορεί να δώσει απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα και κυρίως οι λειτουργίες Κόστους Απόστασης (“*Cost Distance*”) και Κόστους Διαδρομής (“*Cost Path*”), οι οποίες είχαν αρχικά σχεδιαστεί για να ανιχνεύουν την οικονομικότερη χάραξη ενός δρόμου μεταξύ δύο σημείων με βάση μια θεωρητική επιφάνεια κόστους (Kong et al., 2010).

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η σύγκριση διαφορετικών δικτύων πρασίνου τα οποία προκύπτουν διερευνώντας διαφορετικά σενάρια πηγών και προορισμών, κατά την εφαρμογή της λειτουργίας κόστους διαδρομής (“*Cost Path*”), του GIS λογισμικού, στον αστικό ιστό του Δήμου Ζωγράφου.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Περιοχή εφαρμογής

Ως περιοχή εφαρμογής επιλέχθηκε η δομημένη αστική περιοχή του Δήμου Ζωγράφου. Η γεωγραφική έκταση του δήμου αυτού, κατά την ΕΣΥΕ (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος/ΕΛΣΤΑΤ) ανέρχεται σε 8.517.000 m² (8.517 στρέμματα), το 40% της οποίας, ανατολικά της δυτικής περιφερειακής λεωφόρου Υμηττού, εμπίπτει στη δασική έκταση του Υμηττού. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή

μελέτης περιλαμβάνει μέσα στα όρια του Δήμου Ζωγράφου μια περιοχή έκτασης 2,2 km². Σε αυτήν την έκταση περιέχεται μόνο η δομημένη έκταση του Δήμου Ζωγράφου περιλαμβάνοντας συνολικά 78 διακριτούς χώρους πρασίνου. Από αυτούς οι 28 χώροι πρασίνου έχουν έκταση μεγαλύτερη από 1000 m² και οι υπόλοιποι 50 έχουν έκταση μικρότερη από 1000 m². Περιφερειακά της περιοχή μελέτης υπάρχουν 5 μεγάλες εκτάσεις περιαστικού πρασίνου.

2.2. Μεθοδολογία

2.2.1. Καταγραφή Υφιστάμενης Κατάστασης.

Έγινε καταγραφή σε περιβάλλον ArcGIS 10 όλων των πληροφοριών για την περιοχή μελέτης καθώς και του ρυμοτομικού σχεδίου του Δήμου. Οι πληροφορίες για τους χώρους πρασίνου και για όλα τα οικοδομικά τετράγωνα καταγράφηκαν σε πολυγωνικά επίπεδα, ενώ οι πληροφορίες για τις οδικές οδεύσεις καταγράφηκαν σε ένα γραμμικό επίπεδο.

2.2.2. Βαθμολόγηση - Προσδιορισμός Βαθμού Δυσκολίας.

Προσδιορίστηκε ο βαθμός δυσκολίας για κάθε διαφορετική χρήση γης που περιλαμβάνεται στην περιοχή μελέτης (Πίν. 1) και αντιστοιχεί στην αντίσταση που θα αντιμετωπίσει ένας χρήστης του μελλοντικού δικτύου αν διασχίσει το χώρο αυτό.

Σε αυτήν τη μελέτη, όπως αναφέρουν οι Kong et al., (2010) δεν έχει σημασία η απόλυτη τιμή του κάθε βαθμού δυσκολίας, αλλά η μεταξύ τους αναλογία. Στην προτεινόμενη λίστα διατηρούνται οι αντίστοιχες αναλογίες με εκείνες των Kong et al. (2010) ανάμεσα στις διαφορετικές κατηγορίες χρήσεων γης. Επιπρόσθετα ορίστηκε ότι οι δρόμοι με μεγάλο πλάτος και με παρουσία δένδρων έχουν μικρότερη αντίσταση για τον χρήστη από τους στενούς δρόμους που δεν έχουν δένδρα.

Αντίστοιχα, θεωρήθηκε ότι τα πολεοδομικά τετράγωνα τα οποία έχουν κοινόχρηστους χώρους πρασίνου καθώς και ακάλυπτους χώρους εμφανίζουν δυνατότητα σύνδεσης με γειτονικά πολεοδομικά τετράγωνα και ως εκ τούτου έχουν μικρότερο βαθμό αντίστασης σε σύγκριση με πολεοδομικά τετράγωνα τα οποία ήταν εντελώς συμπαγή χωρίς ακάλυπτους χώρους ή χώρους πρασίνου.

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός πίνακας των βαθμών δυσκολίας ανά κατηγορία χρήσης γης κατά Kong et al. (2006) και προτεινόμενοι βαθμοί δυσκολίας για την περιοχή μελέτης.

Κατηγορίες (Κατά Kong. et al., 2010)		Προτεινόμενες Κατηγορίες			Βαθμός δυσκολίας
Δάσος	0,1-0,5	Δάσος			0,1-0,5
Πάρκο	1-3	Πάρκο			1-3
Πλατείες	12-15	Πλατείες			12-15
Δίκτυα συγκοινωνιών	1.000- 5.000	Δρόμοι	Δένδρα	Μέγιστο Πλάτος	1.000
			Έλλειψη Δένδρων	Μέγιστο Πλάτος	2.000
			Δένδρα	Μέσο Πλάτος	2.500
			Έλλειψη Δένδρων	Μέσο Πλάτος	3.000
			Δένδρα	Ελάχιστο Πλάτος	4.000
			Έλλειψη Δένδρων	Ελάχιστο. Πλάτος	5.000
Δομημένες περιοχές	50.000	Δομημένες περιοχές – οικοδομικά τετράγωνα	Παρουσία Δημοσίων Χώρων	Ακάλυπτοι χώροι – με δυνατότητα σύνθεσης	50.000
			Παρουσία Δημοσίων Χώρων	Ασύνδετοι Ακάλυπτοι χώροι	55.000
			Παρουσία Δημοσίων Χώρων	Έλλειψη Ακάλυπτων χώρων	60.000
			Απουσία Δημοσίων Χώρων	Ακάλυπτοι χώροι – με δυνατότητα σύνθεσης	65.000
			Απουσία Δημοσίων Χώρων	Ασύνδετοι Ακάλυπτοι χώροι	70.000
			Απουσία Δημοσίων Χώρων	Έλλειψη Ακάλυπτων χώρων	80.000

2.2.3α. Σχηματισμός ψηφιδωτού κόστους

Κάθε ψηφιδωτό (raster) αποτελείται από κελιά (pixels), τα οποία είναι οι δομικές μονάδες του ψηφιδωτού. Το επίπεδο λεπτομέρειας που υπάρχει σε κάθε ψηφιδωτό εξαρτάται από το μέγεθος των κελιών αυτών. Το ψηφιδωτό κόστους αναμένεται να καθορίσει τις διαδρομές που θα χαραχθούν από την πηγή προς τους προορισμούς και πάλι πίσω στην πηγή. Εξετάζεται κελί-κελί το μικρότερο δυνατό κόστος για να χαραχθεί αυτή η πορεία.

Για κάθε ένα από τα επίπεδα δεδομένων (χώροι πρασίνου, οικοδομικά τετράγωνα και δρόμοι) εκτελούνται οι μετατροπές σε ψηφιδωτά με βάση τον βαθμό δυσκολίας κάθε χώρου μέσω της λειτουργίας “Feature to Raster” του λογισμικού GIS. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επανα-κατάταξη (λειτουργίας “Reclassify” του λογισμικού GIS) για κάθε ένα από τα 3 Raster διατηρώντας τις ίδιες αντιστοιχίες στις τιμές του βαθμού δυσκολίας, αλλά δίνοντας την τιμή 0 για κάθε τιμή non value. Στη

συνέχεια, με τη βοήθεια της λειτουργίας “Calculation”, υπολογίζεται το Ψηφιδωτό Κόστους, το οποίο είναι ένα αθροιστικό Raster των τριών Rasters που δημιουργήθηκαν κατά τη διαδικασία επανα-κατάταξης (“Reclassify”). Το ψηφιδωτό αυτό παράγεται αθροίζοντας για κάθε κελί ξεχωριστά τις τιμές από κάθε ψηφιδωτό. Με τη λειτουργία “Extraction” το Ψηφιδωτό Κόστους περιορίζεται μόνο στα όρια της προς μελέτη περιοχής.

2.2.3β. Επιλογή Πηγών και Προορισμών

Εκδοχές I και II

Στόχος των εκδοχών είναι να εξεταστεί η δυνατότητα ενοποίησης των μεγαλύτερων με τους μικρότερους χώρους πρασίνου μέσω της δημιουργίας δικτύων. Ομαδοποιήθηκαν όλοι οι χώροι πρασίνου με έκταση μεγαλύτερη από 1000 m², που για ευκολία θα τους αναφέρουμε ως “μεγάλους”. Αντίστοιχα ομαδοποιήθηκαν όλοι οι χώροι πρασίνου με έκταση μικρότερη από 1000 m², στους οποίους θα αναφερόμαστε ως “μικρούς”.

Στην εκδοχή I οι “μεγάλοι” χώροι πρασίνου διαδραματίζουν τον ρόλο της πηγής με προορισμό όλους τους “μικρούς” χώρους πρασίνου. Στην εκδοχή II αποτελεί το αντίστροφο σενάριο με πηγή όλους τους μικρούς χώρους πρασίνου και προορισμό όλους τους μεγάλους.

Εκδοχές III και IV

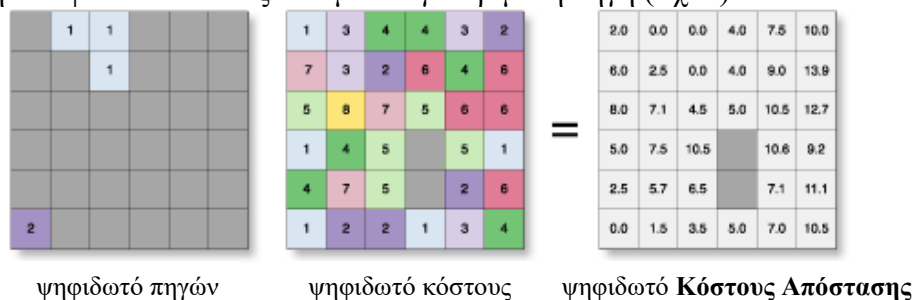
Στις εκδοχές αυτές λαμβάνονται υπόψη οι περιαστικοί χώροι πρασίνου και εξελίσσονται σε δύο στάδια. Στην εκδοχή III στο πρώτο στάδιο οι περιαστικοί χώροι πρασίνου διαδραματίζουν τον ρόλο της πηγής με προορισμό όλους τους μεγάλους χώρους πρασίνου. Στο δεύτερο στάδιο, το δίκτυο που δημιουργείται αποτελεί την πηγή ενός δευτερεύοντος δικτύου με προορισμό όλους τους μικρούς χώρους πρασίνου. Τα δίκτυα του πρώτου και του δεύτερου σταδίου συνενώνονται με τη διαδικασία “Merge”.

Αντίστροφα στην εκδοχή IV στο πρώτο στάδιο δημιουργείται ένα δίκτυο με πηγή όλους τους μεγάλους χώρους πρασίνου και προορισμό τους περιαστικούς χώρους πρασίνου. Στο δεύτερο στάδιο το δίκτυο που δημιουργείται αποτελεί την πηγή ενός δευτερεύοντος δικτύου με προορισμό όλους τους μικρούς χώρους πρασίνου. Τα δίκτυα του πρώτου και του δεύτερου σταδίου συνενώνονται με τη διαδικασία “Merge”.

2.2.3γ. Διαδρομές Ελαχίστου Κόστους

Λειτουργία Κόστους Απόστασης (“Cost Distance”)

Σύμφωνα με την προσέγγιση της Μουγιάκου (2010) χρησιμοποιήθηκε το ψηφιδωτό κόστους και η επιλεγμένη πηγή και μέσω της λειτουργίας ‘**Κόστος Απόστασης**’ δημιουργήθηκε ένα ψηφιδωτό, όπου σε κάθε κελί ανατίθεται μια τιμή, η οποία αποτελεί το μικρότερο αθροιστικό κόστος που χρειάζεται για να διασχίσει κάποιος την επιφάνεια κόστους από μια συγκεκριμένη πηγή (Σχ. 1).



Σχήμα 1: Απεικόνιση σχηματισμού ψηφιδωτού Κόστους Απόστασης

(Πηγή: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z00000018000000.htm>)

Το ψηφιδωτό **Κόστους Απόστασης** υπολογίζει το ελάχιστο από όλα τα αθροιστικά κόστη του συγκεκριμένου κελιού προς το σύνολο όλων των πηγών ακολουθώντας τους κανόνες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2:

Cost A	Cost B	Cost Γ	Cost 1 = A	→	$\Delta = (\text{Cost A} + \text{Cost } \Delta)/2$
Cost Δ	Cost E	Cost Z	Cost 2 = Δ	→	$\Theta = 1.4142(\text{Cost A} + \text{Cost } \Delta)/2$
Cost H	Cost Θ	Cost I	Cost 3 = A	→	$\Theta = \text{Cost 1} + \text{Cost 2}$

Σχήμα 2: Διάγραμμα κανόνων υπολογισμού Κόστους Απόστασης

(Πηγή:

<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How the cost distance tools work/009z00000025000000/>)

Ταυτόχρονα δημιουργείται και το ψηφιδωτό **Κατεύθυνσης**, το οποίο καθορίζει την κατεύθυνση του γειτονικού κελιού με το χαμηλότερο κόστος διαδρομής προς την πλησιέστερη πηγή σύμφωνα με το Σχήμα 3:

6	7	8
5	0 πηγή	1
4	3	2

Σχήμα 3: Ψηφιδωτό Κατεύθυνσης

(Πηγή: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z00000017000000.htm>)

Λειτουργία Κόστους Διαδρομής (“Cost Path”)

Χρησιμοποιώντας το Ψηφιδωτό Κόστους Απόστασης και το Ψηφιδωτό Κατεύθυνσης που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο στάδιο και επιλέγοντας τους χώρους οι οποίοι θα αποτελέσουν τον προορισμό της διαδρομής, σχηματίζονται οι Διαδρομές Ελαχίστου Κόστους (ΔΕΚ).

Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ένα ψηφιδωτό αρχείο (Raster) το οποίο μετατρέπεται σε γραμμικό (polyline) με τη βοήθεια του Conversion Tool: “*From Raster to Polyline*” του Arc Toolbox.

Στις περιπτώσεις σχηματισμού περισσοτέρων από ένα δίκτυα για την υλοποίηση του επόμενου σταδίου έγινε συνένωση τους (λειτουργία “Merge”) και στη συνέχεια καθαρισμός των ταυτόσημων καταγραφών (λειτουργία “Delete identical”).

2.2.4. Αξιολόγηση Δικτύων

Τέλος για την αξιολόγηση των προτεινόμενων δικτύων χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία “New Network Dataset” με την οποία προσδιορίζεται ο αριθμός των κόμβων (l) και ο αριθμός των συνδέσμων (v) για κάθε δίκτυο. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι δείκτες α , β και γ , οι οποίοι ορίζονται ως εξής:

Δείκτης α : Σχετίζεται με το ποσοστό του δικτύου που αποτελείται από κλειστά κυκλώματα (loops) [Zhang και Wang (2006), Kong et al. (2010)]

$$\alpha = \frac{\text{πραγματικός αριθμός κυκλωμάτων}}{\text{μέγιστος αριθμός κυκλωμάτων}} = \frac{l - v + 1}{2v - 5}$$

Δείκτης β : Ο Δείκτης β αφορά την πολυπλοκότητα του δικτύου. [Linehan et al. (1995), Zhang και Wang (2006), Rudd et al. (2002), Kong et al. (2010)]

$$\beta = \frac{\text{αριθμός συνδέσμων}}{\text{αριθμός κόμβων}} = \frac{l}{v}$$

Δείκτης γ : Ο Δείκτης γ υποδεικνύει τη συνδεσιμότητα (connectivity) του δικτύου [Linehan et al. (1995), Zhang και Wang (2006), Rudd et al. (2002), Kong et al. (2010)]

$$\gamma = \frac{\text{αριθμός συνδέσμων}}{\text{μέγιστος αριθμός συνδέσμων}} = \frac{l}{l_{\max}} = \frac{l}{3(v-2)}$$

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Τα αποτελέσματα των τεσσάρων διαφορετικών εκδοχών τα οποία διερευνήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικά η πηγή, ο προορισμός ο αριθμός των κόμβων και των συνδέσμων αλλά και οι τιμές των δεικτών α , β και γ για τα δίκτυα των 4 σεναρίων.

Εκδοχές	Πηγή	Προορισμός	ν	I	α	β	γ
I	όλοι ΧΠ > 1στρ.	όλοι ΧΠ < 1στρ	130	200	27,84	1,54	52,08
II	όλοι ΧΠ < 1στρ	όλοι ΧΠ > 1στρ.	69	102	25,56	1,48	50,75
III	περιαστικοί	όλοι ΧΠ > 1στρ.	70	130	45,19	1,86	63,73
	IIIα	όλοι ΧΠ < 1στρ.	109	164	26,29	1,50	51,09
	merge		179	294	32,86	1,64	55,37
IV	όλοι ΧΠ > 1στρ.	περιαστικοί	6	8	42,86	1,33	66,67
	IIIβ	όλοι ΧΠ < 1στρ.	107	212	50,72	1,98	67,30
	merge		113	220	48,87	1,95	66,07

3.1. Αποτελέσματα Εκδοχής I

Στην εκδοχή αυτή ως πηγή ορίζονται οι 28 χώροι πρασίνου που είναι μεγαλύτεροι από 1000 m² και ως προορισμοί οι 50 χώροι πρασίνου που είναι μικρότεροι από 1000 m². Δηλαδή, κάθε “μικρός” χώρος πρασίνου θα ενοποιηθεί με κάποιον από τους “μεγάλους” χώρους πρασίνου για τον οποίο θα σχηματιστεί μια ΔΕΚ.



Σχήμα 4: Εκδοχή I - Πηγή όλοι οι Χ.Π.>1000 m² και προορισμοί όλοι οι Χ.Π.<1000 m²

Το δίκτυο που προκύπτει μετά την εφαρμογή όλων των βημάτων της μεθοδολογίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Όπως ήταν αναμενόμενο δεν υπάρχει ενοποίηση μεταξύ των “μεγάλων” χώρων πρασίνου, αλλά δημιουργούνται πολλές διαδρομές μεταξύ των “μικρών” χώρων πρασίνου με τους μεγάλους. Παρατηρείται ότι σχηματίζονται διαδρομές οι οποίες διακλαδίζονται και ενοποιούν περισσότερους από δύο χώρους.

3.2. Αποτελέσματα Εκδοχής II

Σε αυτήν την εκδοχή αντιστρέφεται ο ρόλος πηγής και προορισμού σε σχέση με την εκδοχή I, με συνέπεια να ορίζονται ως πηγή οι 50 “μικροί” χώροι πρασίνου και ως προορισμοί οι 28 “μεγάλοι” χώροι πρασίνου. Δηλαδή κάθε “μεγάλος” χώρο πρασίνου θα ενοποιηθεί με κάποιον από τους “μικρούς” χώρους πρασίνου για τον οποίο θα σχηματιστεί μια ΔΕΚ.



Σχήμα 5: Εκδοχή II – Πηγή όλοι οι Χ.Π.<1000 m² και προορισμοί όλοι οι Χ.Π.>1000 m²

Το δίκτυο που προκύπτει παρουσιάζεται στο Σχήμα 5 και παρατηρείται ότι σχηματίζονται διάσπαρτες διαδρομές οι οποίες δεν παρουσιάζουν μεγάλο αριθμό διακλαδώσεων και έτσι δεν υπάρχει μια συλλογική ενοποίηση μεταξύ των χώρων πρασίνου παρόλο που ενοποιούνται μεταξύ τους σε μικρότερες ομάδες.

Συγκρίνοντας τις δύο αντίστροφες εκδοχές I και II παρατηρείται ότι το δίκτυο που σχηματίστηκε κατά την εφαρμογή της εκδοχής I έχοντας ως πηγή τους “μεγάλους” χώρους πρασίνου (28) και προορισμό τους “μικρούς” (50) έχει καλύτερα ποιοτικά στοιχεία (μεγαλύτερους δείκτες α, β και γ) από το δίκτυο που σχηματίστηκε κατά την εκδοχή II στο οποίο θεωρήθηκαν ως πηγή όλοι οι “μικροί” χώροι πρασίνου (50) και προορισμοί όλοι οι “μεγάλοι” χώροι πρασίνου (28). Στην εκδοχή I το προτεινόμενο δίκτυο ενοποιεί καλύτερα τους χώρους πρασίνου σχηματίζοντας μεγαλύτερους βραχίονες σε σχέση με το δίκτυο του σεναρίου II.

3.3. Αποτελέσματα Εκδοχής III

Για τον σχηματισμό του πρωτεύοντος δικτύου αυτής της εκδοχής θεωρούνται ως πηγή οι 5 εξωτερικοί χώροι πρασίνου και ως προορισμός όλοι οι χώροι πρασίνου με μέγεθος μεγαλύτερο από 1000 m². Στο δεύτερο στάδιο θεωρείται ως πηγή το δίκτυο που προκύπτει από την παραπάνω εφαρμογή της μεθοδολογίας και ως προορισμός όλοι οι χώροι έκτασης μικρότερης από 1000 m². Δηλαδή, θα ενοποιηθούν όλοι οι “μικροί” χώροι με το προηγούμενα σχηματισμένο πρωτεύον δίκτυο.



Σχήμα 6: Σενάριο IIIα – Πηγή εξωτερικοί χώροι πρασίνου και προορισμός όλοι οι Χ.Π.>1000 m².

Σενάριο IIIβ– Πηγή δίκτυο IIIα και προορισμός όλοι οι Χ.Π.<1000 m²

Τα δίκτυα που δημιουργήθηκαν απεικονίζονται στο Σχήμα 6. Το πρωτεύον δίκτυο από τους εξωτερικούς χώρους παρουσιάζει 5 μεγάλους βραχίονες με διακλαδώσεις που ενοποιούν τους μεγάλους χώρους πρασίνου. Στη συνέχεια το δευτερεύον δίκτυο παρουσιάζει διακλαδώσεις από διαφορετικά σημεία των βραχιόνων ενοποιώντας όλους τους χώρους πρασίνου της περιοχής.

Παρατηρείται ότι το τελικό δίκτυο που δημιουργήθηκε μετά τη συγχώνευση παρουσιάζει καλύτερους δείκτες α, β και γ σε σχέση με το δευτερεύον δίκτυο, αλλά χαμηλότερους δείκτες σε σχέση με το πρωτεύον δίκτυο.

3.4. Αποτελέσματα εκδοχής IV

Κατά το πρώτο στάδιο αυτής της εκδοχής πραγματοποιήθηκε η αντιστροφή πηγής

– προορισμού σε σχέση με την προηγούμενη εκδοχή. Ως πηγή θεωρήθηκαν όλοι οι χώροι πρασίνου με μέγεθος μεγαλύτερο από 1000 m², ενώ το ρόλο του προορισμού θα διαδραματίσουν οι εξωτερικοί χώροι πρασίνου, ως ξεχωριστή ζώνη ο καθένας. Στο δεύτερο στάδιο θεωρείται ως πηγή το δίκτυο που προκύπτει από την παραπάνω εφαρμογή της μεθοδολογίας και ως προορισμός όλοι οι χώροι με έκταση μικρότερη από 1000 m², δηλαδή κάθε μικρός χώρος πρασίνου θα ενοποιηθεί με το πρωτεύον δίκτυο.

Σχήμα 7: IVα – Πηγή: όλοι οι Χ.Π.> πρασίνου και προορισμός 1000 m²εξωτερικοί χώροι. Σενάριο



IVβ - Πηγή δίκτυο IVα και προορισμός όλοι οι Χ.Π.<1000 m²

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7 κατά το πρώτο στάδιο δημιουργήθηκαν 2 άξονες από τους μεγάλους χώρους πρασίνου που βρίσκονται εγγύτερα στους εξωτερικούς, προς τους εξωτερικούς χώρους πρασίνου. Στο δεύτερο στάδιο δημιουργήθηκαν από κάθε βραχίονα 2 ανεξάρτητα δίκτυα με πολλές διακλαδώσεις προς όλους τους μικρούς χώρους πρασίνου. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2 το δευτερεύον δίκτυο που δημιουργήθηκε με προορισμό τους “μικρούς” χώρους πρασίνου παρουσιάζει συγκριτικά με τα 3 δίκτυα αυτού του σεναρίου τους καλύτερους δείκτες.

Κατά την εφαρμογή των εκδοχών III και IV παρατηρείται ότι τα δίκτυα που σχηματίστηκαν κατά το πρώτο στάδιο και στις δύο εκδοχές δεν παρουσιάζουν μεγάλη πολυπλοκότητα. Στην εκδοχή III στο τελικό δίκτυο φαίνονται ενοποιημένοι και οι “μικροί” και οι “μεγάλοι” χώροι πρασίνου, ενώ στην εκδοχή IV υπάρχουν “μεγάλοι” χώροι πρασίνου που δεν συμπεριλαμβάνονται στο δίκτυο.

Επίσης παρατηρείται τόσο στην εκδοχή III όσο και στην εκδοχή IV ότι το τελικό συγχωνευμένο δίκτυο παρουσιάζει δείκτες με τιμή ενδιάμεση των αντιστοιχών τιμών των δεικτών του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος δικτύου τα οποία συγχωνεύτηκαν για τη δημιουργία του.

Συμπερασματικά η χρήση της λειτουργίας κόστους διαδρομής (“Cost Path”) μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό διαφορετικών εκδοχών δικτύων πρασίνου και μέσα από τις διαφορετικές λειτουργίες του GIS να είναι δυνατή η αντικειμενική σύγκριση τους η οποία θα οδηγήσει στην επιλογή της βέλτιστης λύσης κατά περίπτωση.

Abstract

The purpose of this study was to compare various green networks created using different combinations of sources and destinations in the urban area of Zografou Municipality using the “Cost Path” command of GIS.

Initially an impedance value was given at every green space, block and street of the study area. This impedance value represents the resistance that the future green network users will have while they cross any of these areas. Afterwards these impedance values were transformed to a cost raster that was used as a common base for all different versions of sources and destinations were tested in this study. For each of these versions, the GIS commands of “Cost Distance” and “Cost Path” were used to create a cost distance raster and a network.

Finally the evaluation of green networks was based on connectivity indices, using the “New Network Dataset” command that determines the number of nodes and links for each of the created green networks. The indices α , β and γ characterise each network and allow comparison among them

Βιβλιογραφία

- Ahern, J., 1995. *Greenways as a planning strategy*. Landscape and Urban Planning 33:131-155
- Kong, F., Yin, H., Nagagoshi, N. and Zong, Y., 2010. *Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling*, Landscape and Urban Planning 95: 16-27
- Linehan, J. Gross, M. and Finn, J. 1995. *Greenway planning: developing a landscape ecological network approach*. Landscape and Urban Planning, 33: 179-193.
- Μουγιάκου Ε., 2010. *Μεθοδολογικό πλαίσιο Αξιολόγησης & βελτιστοποίησης δικτύων Αστικού πρασίνου σε περιβάλλον Γ. Σ.Π. (G.I.S.) – Εφαρμογή ενός Ψηφιδωτού Υποδείγματος Ελαχίστου Κόστους στο Δήμο Κερατσινίου*. Μεταπτυχιακή διπλωματική Εργασία.
- Rudd, H., Vala, J. and Schaefer, V., 2002. *Importance of backyard in a comprehensive biodiversity conservation Strategy: A connectivity analysis of urban green spaces*. Restoration ecology, volume 10, issue 2: 368-375
- Searns, R.M., 1995. *The evolution of greenways as an adaptive urban landscape form*. Landscape and Urban Planning 33: 65-80
- Zhang, L., and Wang, H., 2006. *Planning an ecological network of Xiamen Island (China) using landscape metrics and network analysis*. Landscape and Urban Planning 78: 449-456.

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ GIS ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Κολιώτης Παναγιώτης-Τσαμπίκος *¹, Σιαβάλα Ευαγγελία *², Αρματάς Ηλίας ³, Μπαλατσινός Γεράσιμος ⁴, Κυρατζή Μαρία ⁵, Παπαχριστοφόρου Ελένη ⁶

1 Προπτυχιακός Φοιτητής, Σχολής Αγρονομών και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π, (pankoli@hotmail.com)

2 Προπτυχιακή Φοιτήτρια, Σχολής Αγρονομών και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π, (siavala_e@yahoo.gr)

3 Προπτυχιακός Φοιτητής, Σχολής Αγρονομών και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π, (iliasarm@hotmail.com)

4 Προπτυχιακός Φοιτητής, Σχολής Αγρονομών και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π, (b_gerasimos@hotmail.com)

5 Προπτυχιακή Φοιτήτρια, Σχολής Αγρονομών και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π, (maria_kyratzi@hotmail.com)

6 Προπτυχιακή Φοιτήτρια, Σχολής Αγρονομών και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π, (helena908@hotmail.com)

Περίληψη

Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) συμβάλει ουσιαστικά στον περιβαλλοντικά βέλτιστο σχεδιασμό, καθώς δίνεται η δυνατότητα διατύπωσης προτάσεων, δράσεων με ακρίβεια και αναφορά σε χωρική κλίμακα. Επιπλέον, η χωρική απεικόνιση μέσω των ΓΣΠ παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της περιοχής μελέτης, αλλά και τις αλληλεπιδράσεις της περιοχής μελέτης με την ευρύτερη περιοχή επιρροής. Η μεθοδολογική προσέγγιση περιλαμβάνει: 1) την επιλογή περιοχής μελέτης και την αποτύπωσή της σε περιβάλλον ΓΠΣ, 2) τη χαρτογραφική απεικόνιση του προτεινόμενου σχεδίου ανάπτυξης, 3) την ανάλυση των βασικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των παρεμβάσεων στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον (μήτρες επιπτώσεων-κατά Leopold), 4) την απεικόνισή τους σε περιβάλλον ΓΣΠ και τέλος 5) τις προτάσεις για διαχείριση της υλοποίησης. Για το σχεδιασμό της μελέτης, βασικός κατευθυντήριος άξονας, ο οποίος διέπει τη διαδικασία του σχεδιασμού είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός έργων και υποδομών υπό το πρίσμα της περιβαλλοντικής προστασίας και συνεκτικότητας, με σκοπό τη βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού και περιαστικού χώρου. Το τελικό αποτέλεσμα, αποτυπωμένο χαρτογραφικά, δίνει τη δυνατότητα στο μελετητή-σχεδιαστή να επιλέξει, βάσει των προτάσεων υλοποίησης, τη βέλτιστη εναλλακτική λύση για την περιοχή μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις περιβαλλοντικές όσο και τις κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές, οι οποίες αλληλοεπιδρούν με αυτή. Το γεγονός αυτό αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα σε μία μελέτη, καθώς ακόμη και στις μέρες μας, ο σχεδιασμός στον χώρο αλλά και οι

αναπτυξιακές κατευθύνσεις οποιουδήποτε παραγωγικού τομέα δεν είναι άρρηκτα συνδεδεμένες, με τις περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές της κάθε περιοχής μελέτης και τον τρόπο με τον οποίο την επηρεάζουν αλλά και επηρεάζονται από οποιαδήποτε αλλαγή.

Λέξεις-Κλειδιά: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), Κλιματική Αλλαγή, Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός, Παράκτιο Μέτωπο.

2. Υλικά και Μέθοδοι

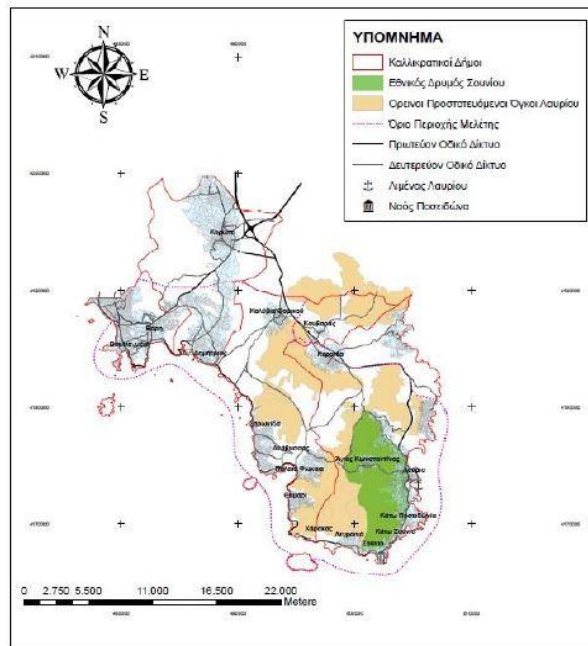
2.1. Περιοχή Μελέτης και Εφαρμογής σε GIS

Η Περιοχή Μελέτης αφορά στο παράκτιο μέτωπο της Αττικής από την Αγία Μαρίνα Κορωπίου έως το Σούνιο και το Ναό του Ποσειδώνα, με στόχο την τουριστική ανάπτυξη με περιβαλλοντικά κριτήρια. Δεδομένου ότι το παραλιακό μέτωπο δεν είναι ανεξάρτητο από την υπόλοιπη περιοχή δεν μπορεί να μελετηθεί αποσπασματικά. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε μία ευρύτερη περιοχή η οποία περιλαμβάνει τμήματα των Δήμων Κρωπίας, Σαρωνικού και Λαυρεωτικής.

Για την επιλογή της περιοχής λήφθηκαν υπόψη κάποια κριτήρια όπως τα διοικητικά όρια των Δήμων, τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, οι συνδέσεις της και η σχέση της με την ευρύτερη Μητροπολιτική περιοχή της Αττικής, η προσβασιμότητά της από και προς το Λιμένα του Λαυρίου και του Διεθνούς Αερολιμένα των Σπάτων, οι δυνατότητες για ανάπτυξη και σχεδιασμό παρεμβάσεων που δίνουν έτσι ώστε να επιτευχθεί η τουριστική ανάπτυξη της περιοχής λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή αλλά και την ταυτόχρονη διασφάλιση των φυσικών πόρων σύμφωνα με τις αρχές της αειφορίας.

2.2. Προτεινόμενο Σχέδιο Ανάπτυξης

Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και τη φυσιογνωμία της ευρύτερης περιοχής της Νότιας και Ανατολικής Αττικής, επιλέχθηκε η δημιουργία ενός Σχεδίου Ανάπτυξης που αφενός θα προωθεί την τουριστική ανάπτυξη, ειδικότερα στο παραλιακό μέτωπο, αφετέρου θα ενισχύει την ανάπτυξη του πρωτογενούς τομέα και τη σύνδεση της περιοχής μελέτης, με την ευρύτερη περιοχή των Μεσογείων. Παράλληλα ο σχεδιασμός έγινε σύμφωνα με τις αρχές της αειφορίας και της προστασίας του περιβάλλοντος.



Σχήμα 1: Οριοθέτηση Περιοχής Μελέτης.

2.2.1. Παρουσίαση του Προτεινόμενου Σχεδίου Ανάπτυξης- Χαρτογραφική Απεικόνιση σε Περιβάλλον GIS

Ως ευρύτεροι στόχοι του συγκεκριμένου σεναρίου είναι αρχικά η ενίσχυση της απασχόλησης, η αύξηση του εισοδήματος του παραγωγού και επιχειρηματία του αγροτοδιατροφικού τομέα. Εν συνεχεία, επιδιώκεται η διασύνδεση του αργοτικού και τουριστικού τομέα καθώς και η εξασφάλιση ισόρροπης σχέσης μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης και της προστασίας του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος διαμέσου και την αύξησης των ολοκληρωμένων βιολογικών παραγωγικών μονάδων χαμηλής όχλησης (Κ.Υ.Α. οικ. 3137/191/Φ.15). Παράλληλα, όμως ο πρωτογενής τομέας συνεισφέρει στην τοπική ανάπτυξη διαμέσου της διασύνδεσής του με τους υπόλοιπους τομείς, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο θέσεις εργασίας, επιχειρηματικότητα και προστιθέμενη αξία.

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης διαθέτει αρκετά μεγάλες εκτάσεις γεωργικής γης τόσο στην περιοχή της Αγ. Μαρίας Κορωπίου όσο και στο υπόλοιπο της περιοχής γύρω από τον ορεινό όγκο της Λαυρεωτικής. Ήδη σήμερα υπάρχουν αρκετές καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης καθώς επίσης και τα παραγόμενα αυτών ως τοπικά προϊόντα, όπως για παράδειγμα το λάδι, το κρασί τα παραδοσιακά ζυμαρικά και γλυκά.

Με δεδομένη την ανάγκη για ανάπτυξη του πρωτογενούς τομέα παραγωγής στη χώρα, η περιοχή μελέτης θα μπορούσε να μετατραπεί σε μία οργανωμένη παραγωγική περιοχή με κύριο συγκριτικό της πλεονέκτημα, τη μικρή απόσταση από την

Πρωτεύουσα της Χώρας (κέντρο εμπορικών συναλλαγών) αλλά και από τις κύριες εξαγωγικές πύλες (Λιμάνι Πειραιά και Διεθνές Αεροδρόμιο).

Το συγκριτικό πλεονέκτημα της περιοχής δίνει τη δυνατότητα για την εγκατάσταση στην περιοχή οργανωμένων παραγωγικών μονάδων καλλιέργειας, μειώνοντας το κόστος διακίνησης και διάθεσης των παραγόμενων προϊόντων.

Δεδομένου ότι οι κλασικές πρακτικές καλλιέργειας της υπαίθρου έχουν δημιουργήσει τη σταδιακή εγκατάλειψή της, η εφαρμογή νέων εναλλακτικών επιλογών οικολογικής και βιολογικής γεωργίας και κτηνοτροφίας θα επαναφέρει την ενασχόληση με την ύπαιθρο και την αντίστοιχη οικονομική ανταποδοτικότητα.

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Αττικής, επομένως και στην περιοχή μελέτης οι νέες καινοτόμες καλλιέργειες που μπορούν να αναπτυχθούν είναι το ρόδι, η συκιά, η φιστικιά, τα κηπευτικά, τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά τα οποία βρίσκουν όλο και περισσότερους ένθερμους υποστηρικτές τόσο στην παραγωγή τους όσο και στην κατανάλωσή τους, αφού τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία στροφή προς τη χρήση τους τόσο από φαρμακευτικές εταιρείες όσο και από εταιρείες κοσμετολογίας.

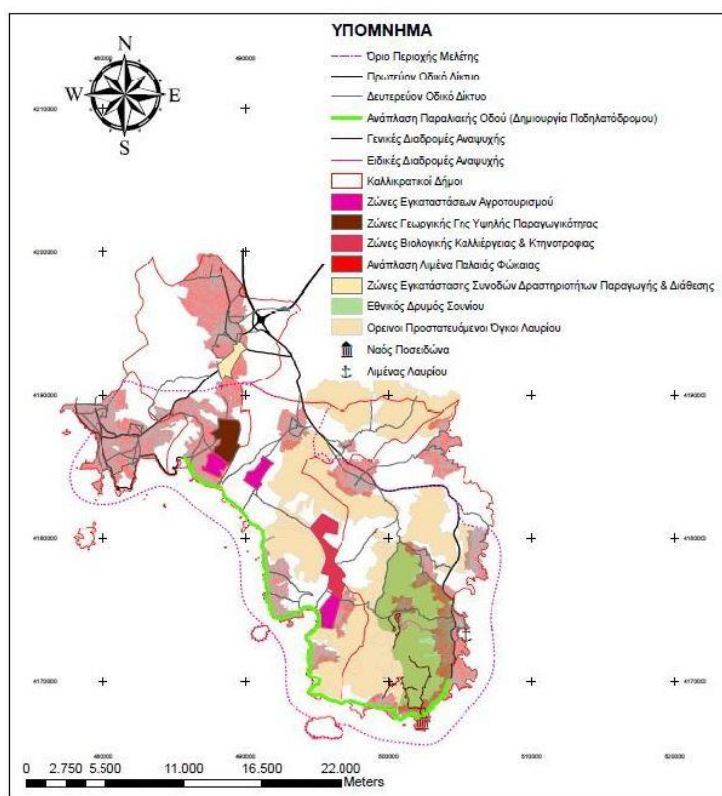
Η ανάπτυξη της γεωργίας, θα μπορούσε να οδηγήσει και στην εγκατάσταση μονάδων διαχείρισης των παραγόμενων προϊόντων, όπως συσκευαστήρια, ψυγεία αποθήκευσης κ.λπ. προκειμένου να μειωθεί το κόστος παραγωγής και διάθεσης.

Τέλος εφόσον η ανάπτυξη του πρωτογενούς τομέα γίνει με σεβασμό στο περιβάλλον και στην αειφορία, η περιοχή μπορεί να διατηρήσει τον υπάρχοντα εποχιακό τουριστικό χαρακτήρα, δίνοντας και μία άλλη εναλλακτική, εκείνη του αγροτουρισμού.

Με βάση τα παραπάνω τα προτεινόμενα έργα και δραστηριότητες που θα πρέπει να γίνουν στην περιοχή μελέτης είναι τα παρακάτω:

1. Καθορισμός Ζώνης Γεωργικής Γης Υψηλής Παραγωγικότητας
2. Καθορισμό Ζωνών για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων αγροτουρισμού
3. Καθορισμός Ζωνών για την χωροθέτηση μονάδων βιολογικής κτηνοτροφικής καλλιέργειας
4. Καθορισμός Ζωνών για την εγκατάσταση συνοδών δραστηριοτήτων παραγωγής και διάθεσης
5. Ανάπλαση του Λιμένα της Παλαιάς Φώκαιας
6. Ανάπλαση της Παραλιακής οδού με τη δημιουργία δικτύου ποδηλατοδρόμου

7. Δημιουργία Διαδρομών Περιπάτου-Ποδηλάτου ως δραστηριότητες αγροτουρισμού.



Σχήμα 2: Χαρτογραφική Απεικόνιση των Παρεμβάσεων- Δράσεων

2.2.2. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις σε Φυσικό και Ανθρωπογενές Περιβάλλον - Μήτρα Επιπτώσεων κατά LEOPOLD

Στη μήτρα εκτίμησης των επιπτώσεων, ή αλλιώς πίνακας διπλής εισόδου, αναφέρονται οι επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον των προτεινόμενων παρεμβάσεων- έργων. Η εκάστοτε περιβαλλοντική μεταβλητή βαθμολογείται με βάση κλίμακας, με τιμές από -3 έως 3. Δεδομένου του γεγονότος της έλλειψης ποσοτικών δεδομένων, η εν λόγω εκτίμηση των επιπτώσεων πραγματοποιήθηκε με μικρό εύρος τιμών, με στόχο την έμφαση της μεθοδολογικής προσέγγισης της αξιολόγησης των παρεμβάσεων.

Οι αρνητικές βαθμολογίες αντιπροσωπεύουν τις αρνητικές επιπτώσεις και οι θετικές βαθμολογίες τις θετικές επιπτώσεις των μεταβλητών, αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές από -3 έως -2, αντιπροσωπεύουν τις ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις- επιδράσεις των περιβαλλοντικών μεταβλητών. Η τιμή -1 αντιπροσωπεύει τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η μηδενική βαθμολογία (τιμή: 0) αντιπροσωπεύει τις μηδενικές επιπτώσεις. Εν συνεχεία, η τιμή +1 αντιπροσωπεύει τις

θετικές επιπτώσεις, ενώ οι τιμές από +2 έως +3, αντιπροσωπεύουν τις ιδιαίτερα θετικές επιπτώσεις.

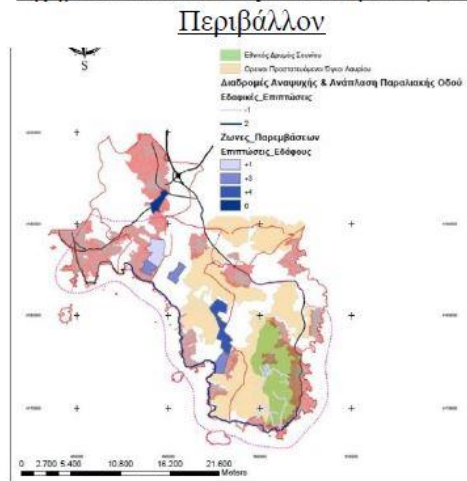
Πίνακας 1:Μήτρα Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ			ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ - ΕΡΓΑ- ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ						
(-3): Ιδιαίτερα Αρνητική Επίπτωση			Καθορισμός Ζώνης Γεωργικής Γης Υψηλής Παραγωγικότητας	Καθορισμός Ζωνών για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων αγροτουρισμού	Ανάπλαση του Λιμένα της Παλαιάς Φώκαιας	Δημιουργία διαδρομών Περιπάτου - Ποδηλάτου	Ανάπλαση της Παραλιακής οδού με τη δημιουργία δικτύου ποδηλατοδρόμου	Καθορισμός Ζωνών για την χωροθέτηση μονάδων βιολογικής κτηνοτροφικής καλλιέργειας	Καθορισμός Ζωνών για την εγκατάσταση συνοδών δραστηριοτήτων παραγωγής και διάθεσης
(-2 έως -1): Αρνητική Επίπτωση									
(0): Μηδενική Επίπτωση									
(+1 έως +2) : Θετική Επίπτωση									
(+3): Ιδιαίτερα Θετική Επίπτωση									
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ									
Φυσικό Περιβάλλον	Χλωρίδα		+1	+2	+1	+1	0	+2	-1
	Πανίδα		+1	+2	-1	-1	0	+2	-1
	Εδαφος	Παράκτια Ζώνη	0	0	+2	0	+1	0	0
		Χερσαίο Εδαφος	-1	+2	-1	-1	+1	+3	+2
	Τοπίο		+1	+1	+1	+3	+2	0	0
	Υδ. Πόροι	Θαλάσσια Υδατα	0	0	+1	0	0	0	0
		Χερσαία Υδατα	-1	+1	+1	0	0	-1	+2
	Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον		+1	+2	+1	+1	+2	+3	-1
	Θόρυβος- Ηχορύπανση		+1	+1	-1	+2	+2	+1	-1
	Προστατευόμενες Περιοχές		0	+2	0	-1	+1	0	0
Ανθρωπογενές Περιβάλλον	Οικονομία		+2	+2	+3	+2	+2	+3	+3
	Ανταγωνιστικότητα		0	0	0	+2	+3	+2	+2
	Πολιτιστικό Περιβάλλον		0	+2	+1	+2	+1	+1	0

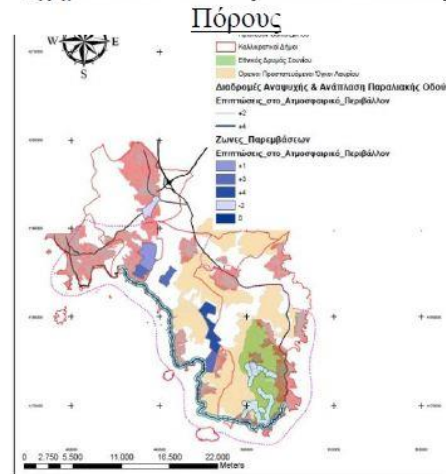
2.2.3. Απεικόνιση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων σε Περιβάλλον GIS

Οι βαθμολογίες των επιπτώσεων του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος εισάγονται σε βάση δεδομένων σε περιβάλλον ArcGIS με στόχο την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Για την καλύτερη χαρτογραφική απεικόνιση των επιπτώσεων, εφαρμόζεται χρωματική κλίμακα, στην οποία κάθε μία βαθμολογία αντιστοιχεί σε μία χρωματική απόχρωση.

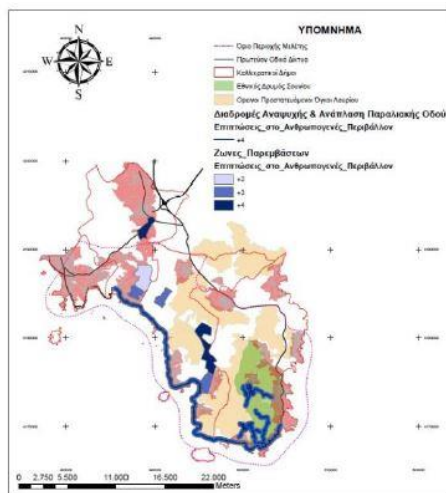
Σχήμα 3:Επιπτώσεις στο Αθρωπογενές



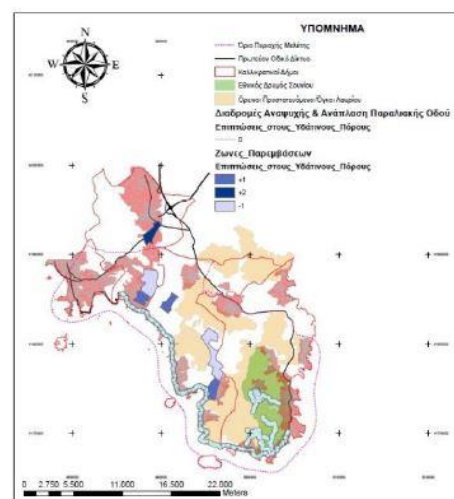
Σχήμα 4:Επιπτώσεις στον Υδάτινους



Σχήμα 5:Επιπτώσεις Εδάφους



Σχήμα 6: Επιπτώσεις στο Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον



3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποδεικνύονται ένα χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τα παραγόμενα χαρτογραφικά προϊόντα αποτελούν μια άμεση απεικόνιση μεταβλητών ακόμα και από ανθρώπους, οι οποίοι δεν έχουν τις προαπαιτούμενες χαρτογραφικές και περιβαλλοντικές γνώσεις.

Όσον αφορά στις επιπτώσεις των μεταβλητών, τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

Το έδαφος, το οποίο επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από την ανθρώπινη παρέμβαση, όπως για παράδειγμα οι εντατικές καλλιέργειες, επηρεάζεται λιγότερο από τις βιολογικές και κτηνοτροφικές καλλιέργειες.

Οι υδάτινοι πόροι επηρεάζονται περισσότερο από τις εγκαταστάσεις του αγροτουρισμού, λόγω άντλησης νερού και λιγότερο από τις βιολογικές καλλιέργειες.

Δραστηριότητες όπως ο αγροτουρισμός και οι βιολογικές καλλιέργειες προκαλούν θετικές επιπτώσεις στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, λόγω της χαμηλής όχλησης, ενώ αντίθετα δραστηριότητες παραγωγής επιδρούν αρνητικά σε αυτό.

Στο ανθρωπογενές περιβάλλον προκαλούνται σημαντικές θετικές επιπτώσεις, λόγω του γεγονότος της γενικής αναβάθμισης της περιοχής και της αύξησης του παραγόμενου πλούτου που περιέχει η εν λόγω περιοχή.

Όλα τα παραπάνω συμπεράσματα είναι εύκολο να γίνουν αντιληπτά με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων, καθώς η αρχικά πινακοποιημένη πληροφορία αποκτά χωρική υπόσταση. Παράλληλα η διαχείριση της πληροφορίας είναι πιο εύκολη και πιο ολοκληρωμένη καθώς μπορεί να επεξεργαστεί και συνδυαστικά στο χώρο. Μπορούν να γίνουν πράξεις ανάμεσα στα διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας, όπως για παράδειγμα η επίθεση (overlay) μεταξύ των επιπέδων των μεταβλητών επιτυγχάνοντας έτσι τον έλεγχο των επιπτώσεων των μεταβλητών για κάθε δραστηριότητα. Επίσης μπορούν να δημιουργηθούν ευρύτερες ζώνες (buffers) επηρεασμού από το εύρος της περιοχής κατασκευής και λειτουργίας των δραστηριοτήτων.

Οι δυνατότητες που παρέχουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι πάρα πολλές και αν χρησιμοποιηθούν με τον κατάλληλο δυνατό τρόπο μπορούν να δώσουν πολύ χρήσιμα και αξιόπιστα αποτελέσματα στα πλαίσια του περιβαλλοντικού σχεδιασμού.

4. Συμπεράσματα

Κατά την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα, τα οποία κρίνεται σκόπιμο να επισημανθούν. Τα συμπεράσματα αυτά αφορούν στον βαθμό ικανοποίησης του στόχου της μελέτης που ήταν η εκπόνηση ενός περιβαλλοντικού σχεδίου ανάπτυξης για το παράκτιο μέτωπο της Αττικής.

Αρχικά σε ότι αφορά το στόχο καθίσταται σαφές ότι μέσω της υλοποίησης του προτεινόμενου σεναρίου επιτυγχάνεται η αειφορική ανάπτυξη του παραλιακού μετώπου. Οι εκτιμώμενες επιπτώσεις των παρεμβάσεων χαρακτηρίζονται στο σύνολο τους θετικές ή ουδέτερες. Το σχέδιο δύναται να αναδείξει τη περιοχή μελέτης ως πόλο έλξης εναλλακτικού τουρισμού και δραστηριοτήτων μεγάλης εμβέλειας και λόγω αυτού θα έχει σημαντικές προεκτάσεις για την οικονομία της πόλης των Αθηνών, αλλά και της χώρας.

Σε ότι αφορά στη μεθοδολογική προσέγγιση, η οποία ακολουθήθηκε κρίνεται στο σύνολό της ικανοποιητική και αποτελεσματική. Η χωρική απεικόνιση κατέχει βαρύνουσα σημασία στη διαδικασία του σχεδιασμού, καθώς μέσω αυτής δίνεται η δυνατότητα της διατύπωσης προτάσεων, με ακρίβεια και αναφορά στη χωρική κλίμακα. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) ενδείκνυνται για την επίλυση σχεδιαστικών προβλημάτων, καθώς επιτρέπουν το βέλτιστο συνδυασμό των πληροφοριών, διαφορετικών πηγών, με στόχο την συνολική εκτίμηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των παρεμβάσεων.

THE CONTRIBUTION OF GIS TO THE ENVIRONMENTAL PLANNING OF COASTAL ATHENS WITHIN THE URBAN ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Koliotsis Panagiotis- Tsampikos ^{1*}, Siavala Evangelia ^{2*}, Armatas Hlias ³, Mpalatsinos Gerasimos ⁴, Kyratzi Maria ⁵, Papachristoforou Eleni ⁶

¹ Undergraduate student of School of Rural & Surveying Engineering at the National Technical University of Athens (NTUA), (pankoli@hotmail.com)

² Undergraduate student of School of Rural & Surveying Engineering at the National Technical University of Athens (NTUA), (siavala_e@yahoo.gr)

³ Undergraduate student of School of Rural & Surveying Engineering at the National Technical University of Athens (NTUA), (iliasarm@hotmail.com)

⁴ Undergraduate student of School of Rural & Surveying Engineering at the National Technical University of Athens (NTUA), (b_gerasimos@hotmail.com)

⁵ Undergraduate student of School of Rural & Surveying Engineering at the National Technical University of Athens (NTUA), (maria_kyratzi@hotmail.com)

⁶ Undergraduate student of School of Rural & Surveying Engineering at the National Technical University of Athens (NTUA), (helena908@hotmail.com)

Abstract

The use of Geographic Information Systems (GIS) contribute significantly to the environmental planning, giving the opportunity to express and plan proposals and actions with correctness and reference to the spatial scale. In addition, the spatial visualization, through a GIS environment, provides the ability of direct comparison of the study area's advantages and disadvantages and also the interactions with the surrounding area. The methodological approach contains: 1) the choice of the study area and the mapping in a GIS environment, 2) the mapping of the proposed development plan, 3) the analysis of the basic environmental impacts of the interventions in the physical and anthropogenic environment (impact assessment matrices- by Leopold), 4) mapping in a GIS environment and finally 5) the proposals for the management of the implementation. In order to be achieved the study, the main

axis which governs the whole progress of planning, is the environmental optimum planning of infrastructures and projects, in the light of the environmental protection and cohesion, with the purpose of the sustainable development of urban and suburban area. The final result provides to the designer the ability to choose, through the implementation proposals, the optimal alternative solution for the study area, taking into account both of the physical and socio-economic variables. This fact constitutes a comparative advantage of a study, the area planning and the developmental directions of any productive sector are not inextricably linked with the physical and socio-economic variables of each study area, and the way with which affects this and they are also affected by any change.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), Climate Change, Environmental Planning, Coastal Front.

Βιβλιογραφία

- Αλεξάκης Δ., Κούλης Μ., (2005), « Εργαστήριο Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών- GIS». Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος
- Αναστασιάδου Αικατερίνη, (2010), «Εντοπισμός και ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων παράκτιας ζώνης με χρήση περιβαλλοντικών δεικτών. Η περίπτωση του Δήμου Λαυρεωτικής» Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ
- Κασσιός Κ., (2006), «Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από έργα και προγράμματα. Απόψεις για την αντιμετώπισή τους», Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Κουτσόπουλος Κ., (2005α), « Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- Κουτσόπουλος Κ., (2005β), «Εφαρμογές του Λογισμικού ArcGIS 9x με Απλά Λόγια», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- Κωσταντινίδη Μ., (2010), «Λαυρεωτική: Οικιστική δομή – Προβλήματα – Προοπτικές», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

Κουρέτας Αθανάσιος* , Σταθάκης Δημήτρης

Εργασιακός χώρος: Εργαστήριο Χωρικής Ανάλυσης, Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και Θεματικής Χαρτογραφίας Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα ΜηΧΠΠΑ, Πεδίον Άρεως 38334, e-mail: dstath@uth.gr, Πόλη: Βόλος

1. Περίληψη

Βασικός στόχος είναι η μελέτη της χωροθέτησης των επιχειρήσεων στον Δήμο Πειραιά, την περίοδο της οικονομικής κρίσης 2009-2014. Πρόκειται για μια χωρο-χρονική ανάλυση της εξέλιξης του κλάδου του εμπορίου, που εξετάζεται μέσω του λιανικού, χονδρικού, μικτού εμπορίου καθώς και τους «μικρούς επαγγελματίες». Σε αρχικό στάδιο επιχειρείται μια αναφορά στον τομέα της οικονομικής γεωγραφίας ενώ στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία της συλλογής των δεδομένων, από το Εμπορικό-Βιομηχανικό Επιμελητήριο Πειραιά και το Επαγγελματικό Επιμελητήριο Πειραιά, η κωδικοποίηση σε 17 κατηγορίες και η γεωκωδικοποίηση ώστε να αποκτήσουν χωρική αναφορά. Ακολουθεί (αχωρική)-στατιστική ανάλυση μέσω πινάκων και διαγραμμάτων, που στη συνέχεια συμπληρώνει η χωρική ανάλυση των εμπορικών καταστημάτων με τη χρήση δεικτών χωρικής κεντρικότητας (χωρικός μέσος), εγγύτητας (ανάλυση πλησιέστερου γείτονα) και χωρικής παρεμβολής (IDW). Βασικό συμπέρασμα είναι ότι στην εξαιτία της κρίσης μια σταδιακή συνεχής μείωση της ίδρυσης νέων επιχειρήσεων ανεξαρτήτως της κατηγορίας τους, συνδυάζεται ταυτοχρόνως με την αύξηση του αριθμού των επιχειρήσεων που κλείνουν. Επιπλέον επιχειρήσεις που κάνουν έναρξη καθώς και οι επιχειρήσεις που κάνουν λήξη εργασιών συνολικά, είναι ομαδοποιημένες και διαχρονικά κατανεμημένες στο πολεοδομικό κέντρο του Δήμου.

Λέξεις κλειδιά: επιχειρήσεις, εμπόριο, χωρικά πρότυπα, χωρική ανάλυση

2. Εισαγωγή

Από τη δεκαετία του '80 οι κοινωνικές επιστήμες «ανακάλυψαν» τον χώρο και τις συνέπειές του στην αναπτυξιακή διαδικασία με τη χωροθέτηση του εμπορίου να είναι ένας πολύ σημαντικός τομέας της οικονομικής γεωγραφίας (Λαμπριανίδης, 2002). Οι πωλητές κυρίως του λιανικού εμπορίου συσπειρώνονταν στο κέντρο της πόλης για την προώθηση των προϊόντων τους όμως η τάση αυτή λόγω του κορεσμού έχει αλλάξει με την αυξανόμενη αποκέντρωση των δραστηριοτήτων που επιλέγουν εξωαστικές περιοχές, κυρίως τοπικά κέντρα και περιοχές κλίμακας γειτονιάς (Matsushima, 2003).

Η βιβλιογραφία σχετικά με το λιανικό εμπόριο έχει εξελιχθεί γύρω από τις κύριες θεωρίες της αστικής χωρικής δομής των H.Hotelling (1929), W.Christaller (1933) και της συμπεριφοράς των επιχειρήσεων του W.J. Reilly (1931). Στη συνέχεια εξετάζονται για τον δήμο Πειραιά και για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο α) το μέγεθος επιρροής της οικονομικής κρίσης στις εξεταζόμενες κατηγορίες, β) η διερεύνηση των πυκνοτήτων και συγκεντρώσεων των καταστημάτων και γ) η μετατόπιση του χωρικού μέσου των επιχειρήσεων.

3. Μεθοδολογική Προσέγγιση

3.1. Συλλογή δεδομένων

Η βάση δεδομένων για το χονδρικό και το μικτό εμπόριο δόθηκε από το Εμπορικό-Βιομηχανικό Επιμελητήριο Πειραιά, ενώ οι επιχειρήσεις λιανικού εμπορίου και οι «μικροί επαγγελματίες» από το Επαγγελματικό Επιμελητήριο Πειραιά. Και οι δύο βάσεις που δόθηκαν, αφορούν τα ίδια πεδία τα οποία είναι τα εξής: α) Επωνυμία, β) Διεύθυνση, γ) Πόλη, δ) Ταχυδρομικός Κωδικός, ε) Ημερομηνία Ίδρυσης, στ) Ημερομηνία Διαγραφής, ζ) Κωδικός Αριθμός Δραστηριότητας (ΚΑΔ), η) Περιγραφή.

Οι συνολικές εγγραφές ανήλθαν στις 1.382. Από τις εγγραφές αυτές οι επιχειρήσεις λιανικού καταλαμβάνουν το 65,7% (908 επιχειρήσεις), το χονδρικό εμπόριο 30,4% (420 επιχειρήσεις), ενώ το μικτό 3,9% (54 επιχειρήσεις).

3.2. Κωδικοποίηση

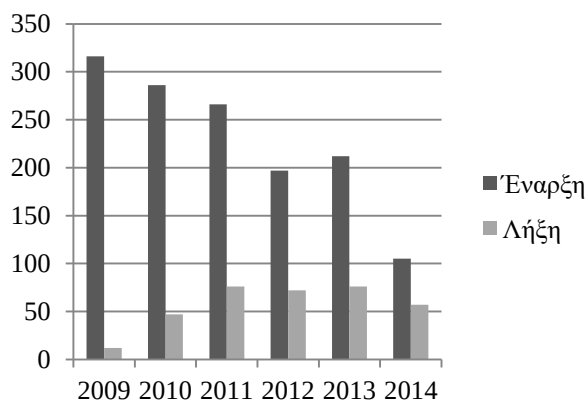
Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιούν τα Επιμελητήρια Πειραιά είναι η μέθοδος Σ.ΤΑ.Κ.Ο.Δ. 2008, (Στατιστική Ταξινόμηση Κωδικών Οικονομικών Δραστηριοτήτων) της ΕΛ.ΣΤΑΤ, η οποία είναι ίδια με την NACE (Nomenclature des Activités Économiques dans la Communauté Européenne) της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το μικτό, χονδρικό και λιανικό εμπόριο κωδικοποιούνται στις κατηγορίες (Σ.ΤΑ.Κ.Ο.Δ. 45), (Σ.ΤΑ.Κ.Ο.Δ. 46) και (Σ.ΤΑ.Κ.Ο.Δ. 47) αντίστοιχα (Σ.ΤΑ.Κ.Ο.Δ, 2008). Σύμφωνα με τις τρεις παραπάνω γενικές κατηγορίες της Σ.ΤΑ.Κ.Ο.Δ. και τις επιμέρους τάξεις της προκύπτει η ομαδοποίηση σε 17 κατηγορίες.

3.3. Γεωκωδικοποίηση

Η γεωκωδικοποίηση των διευθύνσεων έγινε χρησιμοποιώντας την Online υπηρεσία γεωκωδικοποίησης ArcGIS (ArcGIS Online geocode service). Η αντιστοίχιση έγινε με τα πεδία Διεύθυνση, Πόλη και ΤΚ. Με τη γεωκωδικοποίηση 1.354 εγγραφές (98,0%) αντιστοιχήθηκαν ενώ μόνο 28 (2,0%) τοποθετήθηκαν χειροκίνητα στον χώρο μέσω του Google Maps

4. Αποτύπωση της Χωροθέτησης των Επιχειρήσεων

4.1. Αχωρική- Στατιστική Ανάλυση



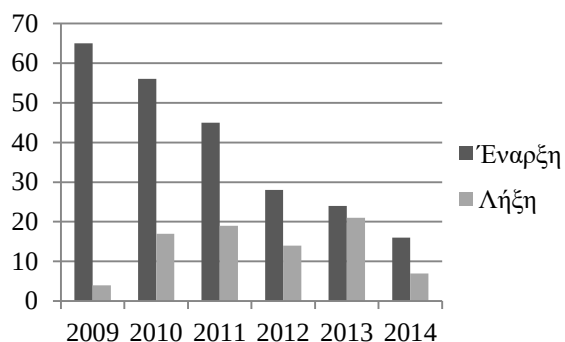
Διάγραμμα 4.1.1: Συνολικές επιχειρήσεις έναρξης και λήξης ετών 2009-2014, Πηγή: ΕΕΠ, ΕΒΕΠ, Ιδία επεξεργασία

Έτος	Έναρξη	Λήξη
2009	316	12
2010	286	47
2011	266	76
2012	197	72
2013	212	76
2014	105	57
Σύνολο	1.382	340

Πίνακας 4.1.2.: Συνολικές επιχειρήσεις έναρξης και λήξης ετών 2009-2014, Πηγή:

Μέχρι το έτος 2011 τη σταδιακή μείωση των ιδρυόμενων επιχειρήσεων ακολουθεί η σταδιακή αύξηση εκείνων που κάνουν λήξη εργασιών, ενώ από το 2012 και μετά, οι νέες επιχειρήσεις συνεχίζουν να μειώνονται σε αριθμό εκτός του 2013 και εκείνες που κάνουν λήξη κινούνται με έναν σταθερό ρυθμό μειώνοντας το ποσοστό τους το 2014, υποδεικνύοντας μια τάση συγκράτησης. Οι νέες επιχειρήσεις έχουν τη μέγιστη τιμή τους το 2009 ενώ οι κλειστές το 2011 που είναι το πρώτο έτος εφαρμογής των οικονομικών μέτρων λιτότητας.

4.1.3. Κατηγορία Κ3- Καταστήματα ψιλικών-περίπτερα

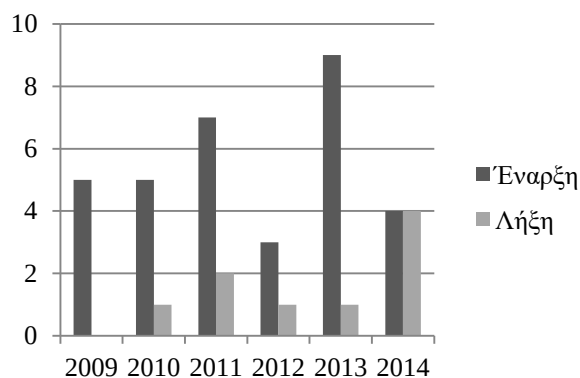


Διάγραμμα 4.1.3.2.: Συνολικές επιχειρήσεις έναρξης και λήξης Κ3 ετών 2009-2014,
Πηγή: ΕΕΠ, ΕΒΕΠ, Ιδία επεξεργασία

Έτος	Εν.	(%)	Λήξη	(%)
2009	65	20,6	4	33,3
2010	56	19,6	17	36,2
2011	45	16,9	19	25,0
2012	28	14,2	14	19,4
2013	24	11,3	21	27,6
2014	16	15,2	7	12,3
Σύνολο	234	16,9	82	24,1

Διάγραμμα 4.1.3.1.: Συνολικές επιχειρήσεις έναρξης και λήξης Κ3 ετών 2009-2014, Πηγή: ΕΕΠ, ΕΒΕΠ, Ιδία επεξεργασία

4.1.4. Κ5- Ποτά, καπνός, άλλα τρόφιμα



Διάγραμμα 4.1.4.1.: Συνολικές επιχειρήσεις έναρξης και λήξης Κ5 ετών 2009-2014, Πηγή: ΕΕΠ, ΕΒΕΠ, Ιδία επεξεργασία

Έτος	Εν.	(%)	Λήξη	(%)
2009	5	1,6	0	0,0
2010	5	1,7	1	2,1
2011	7	2,6	2	2,6
2012	3	1,5	1	1,4
2013	9	4,2	1	1,3
2014	4	3,8	4	7,0
Σύνολο	33	2,4	9	2,6

Διάγραμμα 4.1.4.2.: Συνολικές επιχειρήσεις έναρξης και λήξης Κ3 ετών 2009-2014, Πηγή: ΕΕΠ, ΕΒΕΠ, Ιδία επεξεργασία

Λίγες κατηγορίες στη γενική τους συμπεριφορά όπως η Κ3 (καταστήματα ψιλικώνπερίπτερα) και Κ9 (είδη ματισμού) ακολουθούν το μοτίβο του συνόλου των

επιχειρήσεων. Η Κ3 υπέστη την μεγαλύτερη επιρροή λόγω της κρίσης με ποσοστό 24,1% (82 επιχειρήσεις) επί του συνόλου των 340 επιχειρήσεων που έκλεισαν την ίδια χρονική περίοδο. Ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και για την έναρξη επιχειρήσεων, όπου η ίδια κατηγορία συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό της τάξης του 16,9% (234 επιχειρήσεις) επί του συνόλου των 1.382. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η Κ3 ενώ υπέστη τη μεγαλύτερη φθορά, ανήκει στις κατηγορίες μαζί με τις Κ1,Κ2,Κ4,Κ8,Κ15 όπου παρουσιάζουν μια μικρή συγκράτηση στις επιχειρήσεις που κλείνουν κυρίως το 2014.

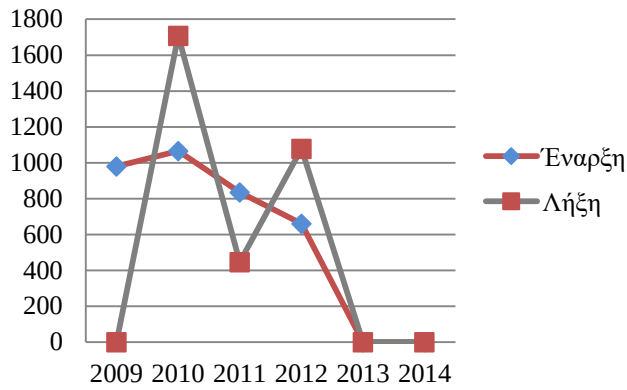
Μια κατηγορία με μικρότερο πλήθος είναι η Κ5 (ποτά, καπνός, άλλα τρόφιμα). Σύμφωνα με επίσημη μελέτη του IOBE του 2013, η Ελλάδα έχει τον υψηλότερο Ειδικό Φόρο Κατανάλωσης Οινοπνευματωδών Ποτών (ΕΦΚΟΠ) σε σχέση με τις γειτονικές χώρες με αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης, ενώ ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και στα είδη καπνιστού, όπου η αυξημένη φορολογία το 2013, οδήγησε στη μείωση πωλήσεων και σε έντονα φαινόμενα παρεμπορίου και διακίνησης τσιγάρων χωρίς φορολογία (IOBE, 2013).

Μια ομάδα κατηγοριών όπως οι Κ9,Κ10,Κ11,Κ12,Κ16,Κ17 μεγιστοποιούν το αριθμό των καταστημάτων που ιδρύονται το 2011, το έτος έξαρσης της οικονομικής κρίσης. Το γεγονός αυτό εντάσσεται σε ένα γενικότερο φαινόμενο που εκδηλώνεται την περίοδο αυτή, καθώς ενώ οι περισσότεροι εμπορικοί κλάδοι συρρικνώνονται, ορισμένες επιχειρήσεις ακμάζουν και παρουσιάζουν κερδοφορία. Τέλος 10 από τις 17 κατηγορίες (58,8%), υπάρχει μια καθυστέρηση στις επιχειρήσεις που κλείνουν κατά μέσο όρο το 2009.

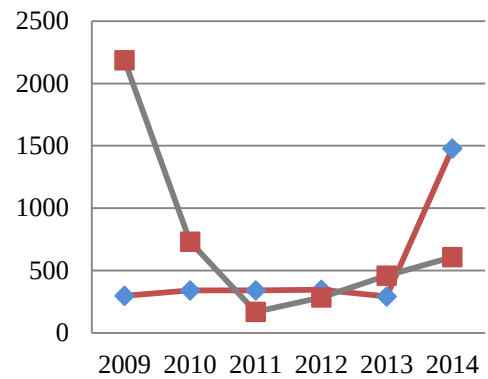
4.2. Ανάλυση Πλησιέστερου Γείτονα (Average Nearest Neighbor)

Η πιο βασική διαδικασία ανάλυσης εγγύτητας είναι αυτή που αναγνωρίζει το πλησιέστερο σημείο ή γραμμή από ένα άλλο συγκεκριμένο σημείο και υπολογίζει την απόσταση μεταξύ τους (Φώτης, 2010). Η μέθοδος εφαρμόστηκε για την έναρξη και λήξη επιχειρήσεων κάθε κατηγορίας με τη χρήση της Ευκλείδειας απόστασης για το σύνολο της έκτασης της περιοχής μελέτης που είναι 11,66 τ.χλμ και με διαβάθμιση ως προς την στατιστική σημαντικότητα: *p-value: 0,01 , **p-value: 0,05, ***p-value: 0,10.

Απόσταση Ομαδοποίησης (μ)



Διάγραμμα 4.2.1.: K8- Αθλητικά είδη, Πηγή: Ιδία επεξεργασία



Διάγραμμα 4.2.2.: K2- Εμπορικοί αντιπρόσωποι, Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Η μέση παρατηρούμενη απόσταση (Observed Mean Distance) είναι η απόσταση ομαδοποίησης των επιχειρήσεων και αποτελεί μια παράμετρο για το είδος του χωρικού προτύπου. Η K2 στις επιχειρήσεις έναρξης και λήξης ομαδοποιείται κατά μέσο όρο σε μικρή απόσταση σε όλα τα επιμέρους έτη της εξαετίας γεγονός που υποδηλώνει συγκέντρωση όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.2.3.. Η K8 είναι μια κατηγορία με μια αριθμητικά μεγάλη απόσταση ομαδοποίησης και έντονες διακυμάνσεις στα ενδιάμεσα έτη και για τον λόγο αυτό δημιουργεί τυχαίο χωρικό πρότυπο.

Χρωματική διαβάθμιση χωρικών προτύπων

Πίνακας 4.2.3.: Χωρικά πρότυπα έναρξης και λήξης επιχειρήσεων ανά κατηγορία, Πηγή: Ιδία επεξεργασία



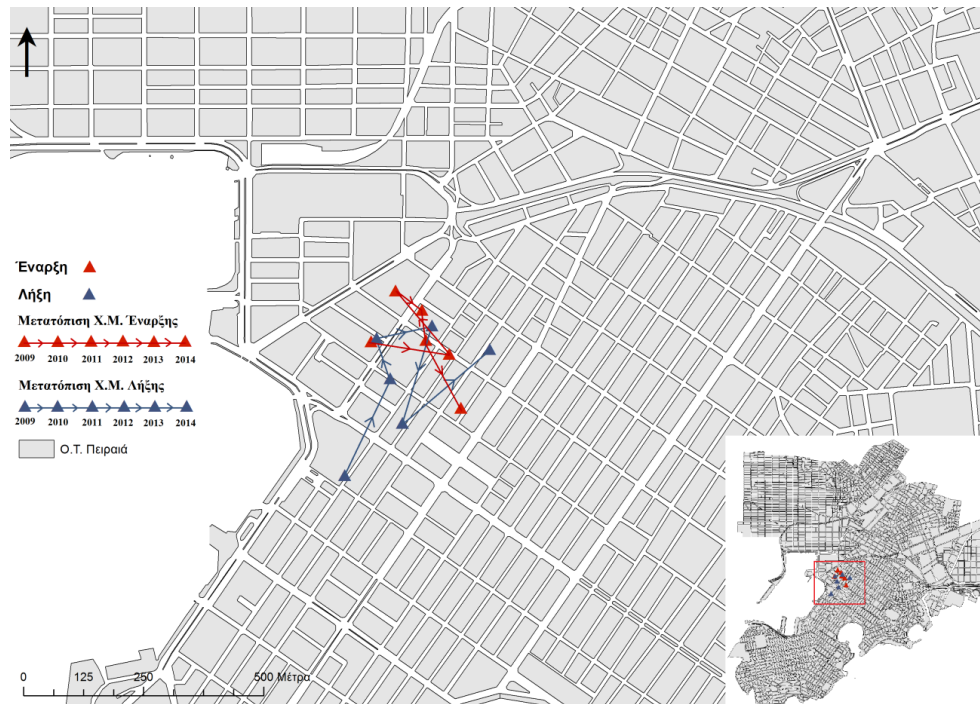
Έναρξη Επιχειρήσεων					Λήξη Επιχειρήσεων			
	Observed Mean Distance (μ)	p-value	Pattern		Observed Mean Distance (μ)	p-value	Pattern	
K1	95,62	0,00		*	197,53	0,00		*
K2	146,13	0,01		*	220,73	0,01		*
K3	69,60	0,00		*	135,26	0,00		*
K4	110,91	0,00		*	357,67	0,97		
K5	271,21	0,34			661,51	0,93		
K6	250,28	0,08		***	478,73	0,19		
K7	368,23	0,18			-	-		
K8	450,30	0,87			471,07	0,23		
K9	75,41	0,00		*	270,62	0,18		
K10	153,07	0,00		*	860,37	0,00		*
K11	228,86	0,13			631,78	0,15		
K12	141,46	0,00		*	352,85	0,14		
K13	253,83	0,39			459,02	0,27		
K14	366,98	0,03		**				
K15	228,15	0,06		***	456,63	0,59		
K16	243,59	0,05		**	915,96	0,03		**
K17	251,28	0,33			679,38	0,50		

Η K10 (κρεοπωλεία, ιχθυοπωλεία και οπωροπωλεία) είναι άξια αναφοράς καθώς στις επιχειρήσεις που ιδρύονται στην εξαιτία δημιουργεί ισχυρή ομαδοποίηση, ενώ εκείνες που κάνουν λήξη σημαντικά διασπαρμένο χωρικό πρότυπο. Η συσπείρωση τους είναι λογική και σε ένα βαθμό αναμενόμενη καθώς πρόκειται για αγαθά που αφορούν την ίδια ανάγκη του καταναλωτή ενώ οι περιοχές όπου κλείνουν είναι κλίμακας γειτονιάς, γεγονός που οφείλεται πιθανότατα στην αποδυνάμωση της

γειτονιάς λόγω της κρίσης και στις υψηλότερες τιμές των προϊόντων των επιχειρήσεων γειτονιάς σε σχέση με την κεντρική αγορά του Δήμου Πειραιά.

4.3. Χωρικός Μέσος (Mean Center)

Ο χωρικός μέσος είναι το γεωγραφικό κέντρο ενός νέφους σημείων και αποτελεί έναν εύκολο τρόπο να αποδοθεί συνοπτικά, με ένα μόνο σημείο, το που συγκεντρώνεται ένα φαινόμενο.



**Χάρτης 4.3.1.: Χωρικοί Μέσοι του συνόλου των επιχειρήσεων τη χρονική περίοδο 2009-2014,
Πηγή: Ιδία επεξεργασία**

Οι χωρικοί μέσοι των επιχειρήσεων έναρξης για κάθε έτος χωροθετούνται στο κεντρικό τμήμα του Δήμου (Β' Δ.Δ. Κέντρο Πόλης-Καστέλα), που αποτελεί και το πολεοδομικό κέντρο, χωρίς κάποια ιδιαίτερη κατεύθυνση. Αντίστοιχα, οι χωρικοί μέσοι των επιχειρήσεων που κάνουν παύση διαχρονικά χωροθετούνται επίσης στο κεντρικό τμήμα του Δήμου, με μια πολύ μικρή μετατόπιση προς τον Βορρά. Όλοι οι χωρικοί μέσοι για τις επιχειρήσεις έναρξης και λήξης, είναι τοποθετημένοι σε Ο.Τ. μεταξύ των οδών Σωτήρος Διός-Λεωφ. Ηρώων Πολυτεχνείου-Ελευθερίου Βενιζέλου-Γούναρη.

4.3.2. Χωρικοί Μέσοι κατηγοριών K3, K4, K11 στην εξαετία 2009-2014, Πηγή: Ιδία επεξεργασία.

Παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις κατηγοριών που μετατοπίζουν σε μικρό, μεσαίο και μεγάλο βαθμό τους χωρικούς μέσους στα ενδιάμεσα έτη προκειμένου να καταλήξουν στις τελικές τους θέσεις, με τη σειρά που απεικονίζονται.

Το γεγονός αυτό οφείλεται στο μικρό αριθμό των επιχειρήσεων τέτοιων κατηγοριών κάθε ενδιάμεσο έτος της εξαετίας καθώς και στις μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους με αποτέλεσμα να μετατοπίζουν τον Χ.Μ.. Επιπλέον ο μικρός αριθμός έχει άμεση σχέση με το είδος της επιχείρησης που αναλόγως μετατοπίζει τον Χ.Μ., καθώς είναι αναμενόμενο επιχειρήσεις όπως βιβλιοπωλεία ή τα ανθοπωλεία να είναι λιγότερα σε αριθμό από τα καταστήματα ψιλικών, τα παντοπωλεία και τα καταστήματα ρούχων.



Χάρτης 4.3.2.1.: K3- Καταστήματα ψιλικών-περίπτερα.



Χάρτης 4.3.2.2.: K4- Παντοπωλεία-super market.



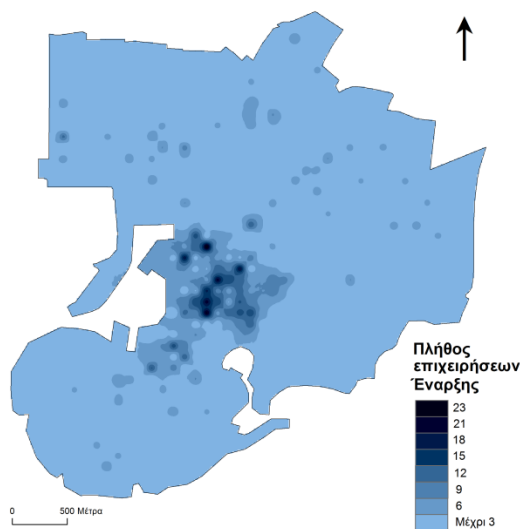
Χάρτης 4.3.2.3.: K11- Φυτά, ζώα.

4.4. Inverse Distance Weighted Interpolation (IDW)

Η χωρική παρεμβολή (spatial interpolation) είναι η διαδικασία που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη τιμών σε τοποθεσίες που δεν έχει γίνει δειγματοληψία (Childs, 2004). Η μέθοδος IDW στηρίζεται στο γεγονός ότι η επιρροή ενός γνωστού σημείου (που έχει γίνει δειγματοληψία) είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης του από την τοποθεσία που θα εκτιμηθεί η τιμή μέσω της χωρικής παρεμβολής. Επομένως οι κοντινές τιμές συμβάλλουν περισσότερο στις τιμές της χωρικής παρεμβολής από τις μακρινές παρατηρήσεις (Azpuruca και Dos Ramos, 2010).

Οι νέες επιχειρήσεις δημιουργούν μια ισχυρή πύκνωση μεταξύ των οδών 2ας Μεταρχίας - Φύλωνος - Ελ. Βενιζέλου - Λεωφ. Γρηγορίου Λαμπράκη όπου

περιλαμβάνονται οδοί κοντά στο λιμάνι με έντονες συγκεντρώσεις (καμπύλες πλήθους 9,12,15,18 επιχειρήσεων), ενώ σημαντικά μεγάλος αριθμός επιχειρήσεων ιδρύθηκε περιμετρικά από τις πλατείες Τερψιθέας και Κανάρη. Θύλακας υψηλής πυκνωσης σημειώνεται και μεταξύ των οδών Ακτή Ποσειδώνος-Εθνικής Αντιστάσεως-Κόνωνος με έντονη γραμμική συγκέντρωση εκατέρωθεν της οδού Γούναρη όπου τα Ο.Τ. συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο πλήθος καταστημάτων της περιοχής μελέτης (21 επιχειρήσεις). Η λήξη των επιχειρήσεων ακολουθεί την πυκνωση των ενεργών, αλλά περιορίζεται σε μικρότερη περιοχή μεταξύ Σωτήρος Διός-Καραϊσκού-Σκουζέ-Ακτή Μιαούλη.

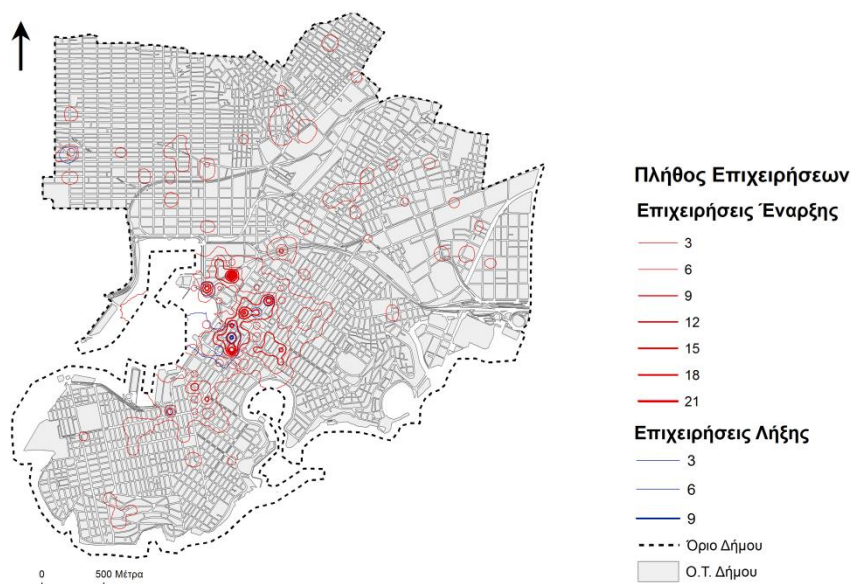


Χάρτης 4.4.1.: Πλήθος συνολικών επιχειρήσεων έναρξης, Πηγή: Ιδία επεξεργασία.



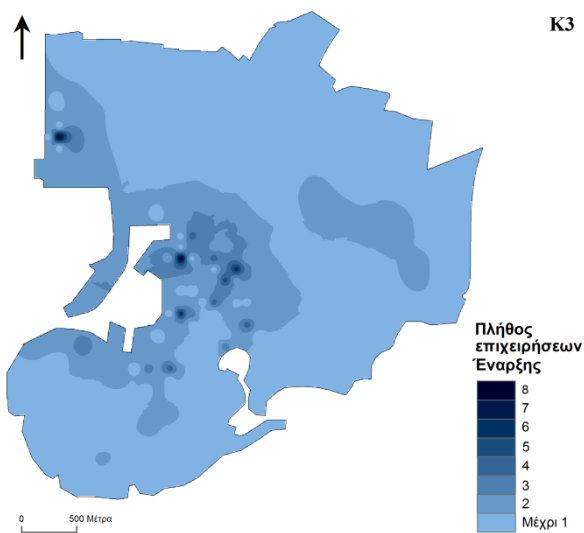
Χάρτης 4.4.2.: Πλήθος συνολικών επιχειρήσεων λήξης, Πηγή: Ιδία επεξεργασία.

Κατηγορίες όπως η Κ9 αντιπροσωπεύει και άλλες κατηγορίες (Κ5-ποτά, καπνός, Κ12-είδη προσωπικής φροντίδας, καλλυντικά) που ακολουθούν περισσότερο τη συμπεριφορά του συνόλου των επιχειρήσεων ιδρύοντας καταστήματα στο κέντρο, ενώ παράλληλα κλείνουν και σε περιοχές του κέντρου. Αυτές οι κατηγορίες αφορούν προϊόντα λιανικής πώλησης ρούχων, κοσμημάτων, καλλυντικών και τσιγάρων και από τη φύση τους είναι αγαθά που είναι αναμενόμενο να είναι καταναμεμημένα στην κεντρική ζώνη εμπορίου του Δήμου.

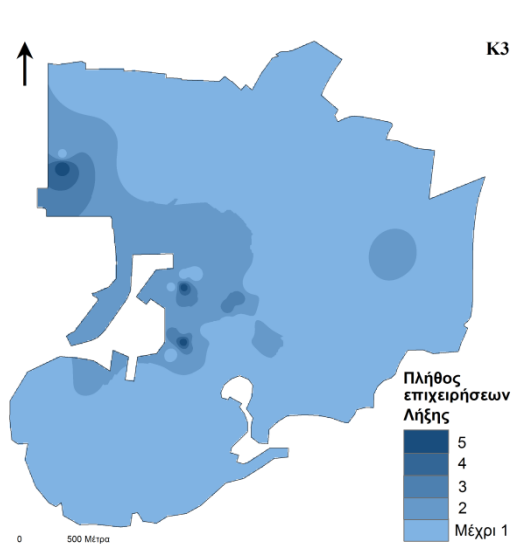


Χάρτης 4.4.3.: Καμπύλες πλήθους συνολικών επιχειρήσεων Έναρξής-Λήξης, περιόδου 2009-2014.

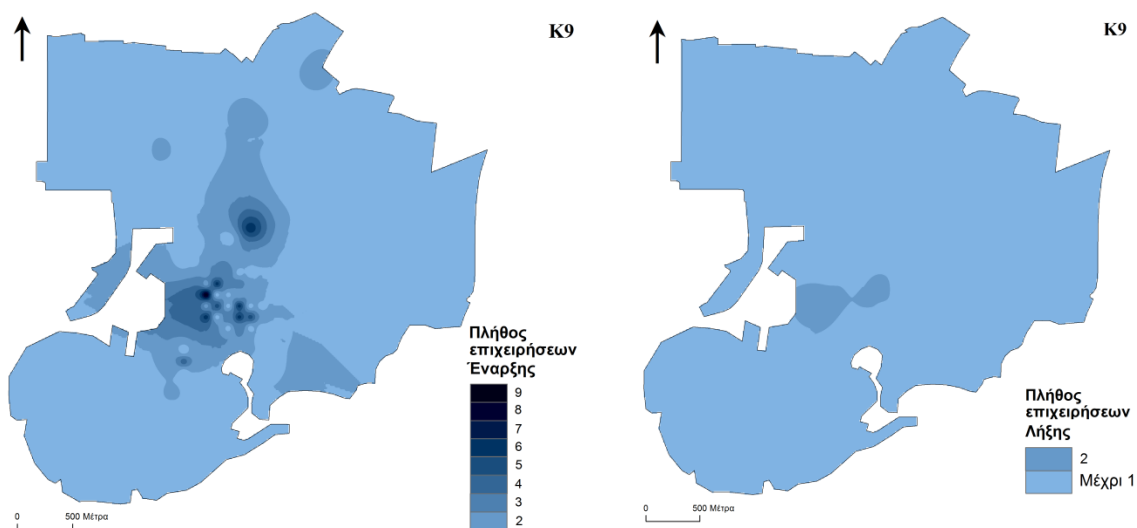
4.4.4. IDW Interpolation K3 και K9, Πηγή: Ιδία επεξεργασία



Χάρτης 4.4.4.1.: K3-Καταστήματα ψιλικών-περίπτερα, Έναρξη



Χάρτης 4.4.4.2.: K3-Καταστήματα ψιλικών-περίπτερα, Λήξη



Χάρτης 4.4.4.3.: K9-Είδη ιματισμού, Έναρξη

Χάρτης 4.4.4.4.: K9-Είδη ιματισμού, Λήξη

Ωστόσο πολλές κατηγορίες παρουσιάζουν μια συμπεριφορά με ίδρυση νέων επιχειρήσεων στο κέντρο του Δήμου και στην περιφέρεια, ενώ κλείνουν σε περιοχές του κέντρου και στην περιφέρεια κυρίως σε περιοχές κλίμακας γειτονιάς σύμφωνα με το Γ.Π.Σ. Πειραιά. Έτσι η περιφέρεια στην εξαετία 2009-2014 φιλοξενεί κυρίως εμπορικές χρήσεις κατηγοριών K1 (οικιακός εξοπλισμός), K3 (καταστήματα ψιλικών-περίπτερα), K4 (παντοπωλεία, super-market) και K10 (αρτοποιεία ζαχαροπλαστεία). Η K3 παρουσίασε πολλά νέα περίπτερα και καταστήματα ψιλικών στο κέντρο, στο Πασαλιμάνι, περιμετρικά της πλατείας Τερψιθέας, στο Δημοτικό Θέατρο και στη Ζέα, ενώ περιφερειακά υπάρχουν αραιότερες πυκνώσεις σε κέντρα γειτονιών στις πολεοδομικές ενότητες Βρυώνη, Υδραϊκά, Χατζικυριάκειο, στο Νέο Φάληρο και στον Άγιο Δημήτρη (Ταμπούρια). Οι παραπάνω κατηγορίες έχουν ως περιοχές λήξης αρκετές από τις περιοχές έναρξης σε μικρότερη κλίμακα, επαληθεύοντας το συμπέρασμα του συνόλου των επιχειρήσεων.

5. Συμπεράσματα

Η προσέγγιση που εφαρμόστηκε ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς χρησιμοποιεί πραγματικά δεδομένα (στοιχεία των Επιμελητηρίων) και αποτυπώνει την πραγματική κατάσταση της οικονομίας μέσω του κλάδου του εμπορίου. Κάποιες από τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν (N.N., IDW) δεν λειτούργησαν ορθά μόνο στις περιπτώσεις κατηγοριών με πολύ μικρό πλήθος δυσχεραίνοντας την τεχνική πλευρά της ενασχόλησης με την έρευνα και τη διεξαγωγή συμπερασμάτων που να αντιπροσωπεύουν μια συνολική συμπεριφορά.

STUDY OF THE RETAIL LOCATION CHANGES IN THE MUNICIPALITY OF PIRAEUS

Kouretas Athanasios* , Stathakis Dimitris

Workplace: Spatial Analysis, GIS and Thematic Mapping Laboratory, Department of Planning and Regional Development, University of Thessaly, School of Engineering, Pedion Areos 383 34, e-mail: dstath@uth.gr, City: Bolos

Abstract

The basic aim is the study of the retail location changes in the Municipality of Piraeus during the economic crisis 2009-2014. It entails a space-time analysis of the development of trade which is looked into through retail, wholesale and mixed trade as well as through 'small professionals'. The first part attempts to give a reference in the sector of economic geography, subsequently followed by a description of the process of assembling data from the Piraeus Chamber of Commerce and Industry and the Piraeus Chamber of Tradesmen, the codification into 17 categories and the geocodification so as to achieve space reference. Following that is (no-space) statistical analysis through charts and diagrams which is complemented by a spatial analysis of the shops using spatial centrality indices (spatial average), proximity (nearest neighbor analysis), and measuring spatial interpolation (IDW). The basic conclusion is that during the six-year crisis a gradual, continuous decrease in the number of businesses being founded is simultaneously combined with the increase in the number of businesses closing down. Moreover businesses both starting up and closing down as a whole are grouped and traditionally found in the urban center of the Municipality.

Key Words: businesses, trade, spatial patterns, spatial analysis

Βιβλιογραφία

- ΕΛ.ΣΤΑΤ., (2008): *Στατιστική ταξινόμηση οικονομικών δραστηριοτήτων: Δομή και Τίτλοι*. Διαθέσιμο στο http://www.anhma.gr/files/stakod_2008.pdf [πρόσβαση 15 Μαρτίου 2015]
- Ίδρυμα Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών (2013): “Αξιολόγηση του υφιστάμενου πλαισίου φορολόγησης των καπνικών προϊόντων στην Ελλάδα”, Αθήνα: IOBE.
- Φώτης, Γ. (2010): *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών*, Αθήνα: Γκοβοστή.
- Azpurua, M. και Dos Ramos, K. (2010): “A comparison of spatial interpolations methods for estimation of average electromagnetic field magnitude”, *Progress in Electromagnetic Research*, Vol. 14, pp. 135-145.
- Childs, C. (2004): “Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst”, Redlands: ESRI.
- Christaller, W. (1933): “Central Places in Southern Germany”, μεταφρασμένο από C.Baskin (1966), Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Hotelling, H. (1929): “Stability in competition”, *Economic Journal*, Vol. 39, pp. 41-57.
- Matsushima, N. και Matsumura, T. (2003): “Mixed oligopoly and spatial agglomeration”, *Canadian Journal of Economics*, Vol. 36, No. 1, pp. 62–87, Canadian Economics Association.
- Reilly, W.J. (1931): *The Law of Retail Gravitation*, New York: W.J. Reilly.

ΕΝΟΤΗΤΑ 3^η

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS

Πεντέρης Δημήτριος^{1*}, Καλογερόπουλος Κλεομένης², Χαλκιάς Χρίστος³

¹Γεωγράφος, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελευθ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα – Αθήνα 17671, email: gs20930@hua.gr

²Υποψήφιος Δρ. Εφαρμοσμένης Γεωπληροφορικής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελευθ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα – Αθήνα 17671, email: kalogeropoulos@hua.gr

³Αν. Καθηγητής στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και την Εφαρμοσμένη Γεωγραφία, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελευθ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα – Αθήνα 17671, email: xalkias@hua.gr

Περίληψη

Οι φυσικοί κίνδυνοι είναι ιστορικά μια ουσιαστική απειλή για την πρόοδο και την ανάπτυξη των ανθρώπινων κοινωνιών. Η μελέτη αυτή ασχολείται με την αξιολόγηση της πλημμύρας στη χειμναρική λεκάνη του Βουραϊκού ποταμού, ο οποίος βρίσκεται στη Βόρεια Πελοπόννησο. Ο Βουραϊκός ποταμός έχει συνολικό μήκος 36 χλμ, και αποστραγγίζει μια λεκάνη έκτασης 239.6km². Εκβάλλει στον Κορινθιακό κόλπο και ρέει μέσα από την παραλιακή πόλη του Διακοπτού. Το κύριο αντικείμενο της εργασίας αυτής, είναι η προσομοίωση της απορροής σε μια τυπική χειμναρική υπολεκάνη, με τη δημιουργία ενός συστήματος που βασίζεται σε τεχνολογία Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιούμε ένα χωρικά κατανομημένο μοντέλο βροχής-απορροής και αφορά την υδρολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής, στο εμπορικό λογισμικό ArcGIS (έκδοση 10.1). Ειδικότερα, εξετάστηκε ο ρόλος του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM), όσον αφορά στην υδρολογική απόκριση της υπό εξέταση λεκάνης απορροής. Για τον σκοπό αυτό, κατασκευάστηκαν δύο Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (5μ και 25μ μέγεθος ψηφίδας). Τα αποτελέσματα κατέδειξαν μια σημαντική διαφορά (10%) στην υδρολογική απόκριση (μεταξύ των δύο DEM) της λεκάνης, εξετάζοντας τα παραγόμενα υδρογραφήματα.

Λέξεις-κλειδιά: Πλημμυρικός κίνδυνος, Σύνθετο Μοναδιαίο Υδρογράφημα, Μοντέλα Βροχής-Απορροής, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Εισαγωγή

Ο «πλημμυρικός κίνδυνος», σχετίζεται τόσο με το ενδεχόμενο εκδήλωσης ενός πλημμυρικού επεισοδίου όσο και με τις δυνητικές επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Ουσιαστικά, αποτελεί παράγωγο τόσο των κοινωνικών όσο και των υδρομετεωρολογικών παραμέτρων. Κατά τη διερεύνηση του πλημμυρικού κινδύνου και των απωλειών λόγω πλημμυρών, οι μετεωρολογικές και υδρολογικές συνθήκες, η μορφή, η γεωμετρία και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά ενός

ποταμού και η γεωμορφολογία της λεκάνης του, οι συνθήκες χρήσεων γης, καθώς και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις είναι παράμετροι που θα πρέπει να εξετάζονται και να αξιολογούνται ξεχωριστά. Κάθε ένας από τους προαναφερθέντες παράγοντες δύναται να συμβάλλει στην αύξηση του πλημμυρικού κινδύνου, ιδιαίτερα εφόσον προκύψουν αρνητικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους (Bronster 2003, Μιμίκου και Μπαλτάς 2006, Κουργιαλάς 2010).

Στην παρούσα μελέτη, το μοντέλο που εφαρμόστηκε, βασίζεται στην ψηφιακή βάση δεδομένων που σχεδιάστηκε και στη χρήση ψηφιδωτών δεδομένων. Η γεωγραφική βάση δεδομένων, απαρτίζεται από βασικά θεματικά επίπεδα που περιλαμβάνουν ισοϋψείς καμπύλες, κλάδους υδρογραφικού δικτύου, λεκάνη απορροής, γεωλογικούς σχηματισμούς, χρήσεις γης, εδαφολογικά στοιχεία. Λόγω έλλειψης των απαραίτητων βροχομετρικών δεδομένων, επιτελέστηκε μια παραδοχή κατά την οποία μεταφέρεται το έντονο πλημμυρικό φαινόμενο που προξενήθηκε, στον παροδικής ροής ποταμό Ξηριά (Κόρινθος), στη λεκάνη απορροής του παραπόταμου του Βουραϊκού ποταμού, ο οποίος ευρίσκεται στην βορειοδυτική Πελοπόννησο και εκβάλλει στον Κορινθιακό κόλπο. Η προαναφερθείσα προσέγγιση επιτελείται και εφαρμόζεται για δύο διαφορετικά ΨΜΕ (DEM), ένα λεπτομερέστερης ανάλυσης (μέγεθος ψηφίδας 5x5μ) και ένα πιο γενικευμένης (μέγεθος ψηφίδας 25x25μ) για την ίδια περιοχή, προς διενέργεια συγκρίσεων και την εξαγωγή των κατάλληλων συμπερασμάτων όσον αφορά στην εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου.

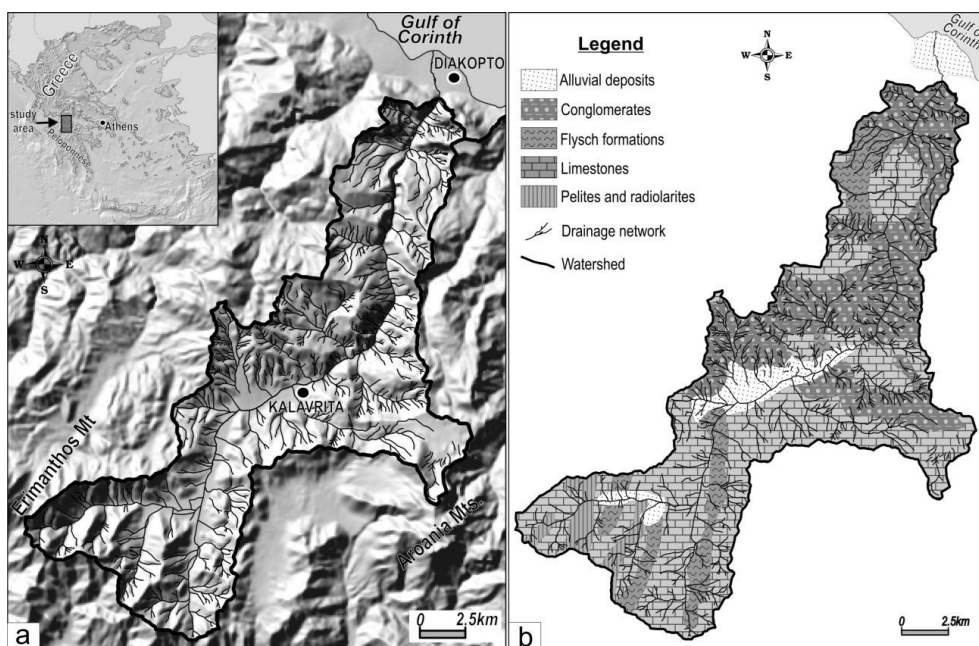
Υλικά και μέθοδοι

Περιοχή μελέτης

Ο Βουραϊκός είναι ένας ποταμός συνεχούς ροής, ο οποίος πηγάζει από το όρος Ερύμανθος, και στη συνέχεια διαρρέει το βορειοδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου, και πιο συγκεκριμένα τον νομό Αχαΐας. Έχει αναπτύξει μια επιμήκη λεκάνη απορροής, η οποία σύμφωνα με την εμβαδομέτρηση της, διαθέτει συνολική έκταση 239,6 km² ενώ η περίμετρος της είναι 144,18 km. Ο Χελμός, ο οποίος βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής, έχει μέγιστο υψόμετρο 2.320 m. Το κύριο κανάλι ακολουθεί μια Νότιο Νοτιοδυτική προς Βόρεια Βορειοανατολική διεύθυνση ροής για περίπου 36 km, εκβάλλοντας εν τέλει στις νότιες ακτές του Κορινθιακού Κόλπου. Στις εκβολές του ποταμού, λόγω της απόθεσης των φερτών υλών, έχει διαμορφωθεί ένα δελταϊκό ριπίδιο, έκτασης 5,3 km², όπου εντοπίζεται η πόλη του Διακοπτού, με πληθυσμό 2.300 ανθρώπους (Παυλόπουλος 2011, Kalogeropoulos κ.α. 2013).

Η υδρολογική λεκάνη του Βουραϊκού ποταμού, συνίσταται από Αλπικούς και μετααλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Οι Αλπικοί σχηματισμοί Μεσοζωικής ηλικίας ανήκουν στη γεωτεκτονική ενότητα Πίνδου και αποτελούνται κυρίως από έντονα παραμορφωμένους πελαγικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους, εναλλαγές από πηλίτες και ραδιολαρίτες Ιουρασικής και Κρητιδικής ηλικίας και αποθέσεις φλύσχη, και καταλαμβάνουν κυρίως το νότιο τμήμα της λεκάνης, ενώ μια προεξοχή ασβεστόλιθου και φλύσχη εμφανίζεται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης. Οι Πλειο-Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί (κυρίως κροκαλοπαγή) αναπτύσσονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης.

Η μορφή και το σχήμα του υδρογραφικού δικτύου αντικατοπτρίζει τις τεκτονικές και τις λιθολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, καθώς και τις κλίσεις του τοπογραφικού αναγλύφου. Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης του Βουραϊκού, θεωρείται μέτρια ανεπτυγμένο, συμμετρικής μορφής, ενώ δύναται να χαρακτηριστεί ως δενδριτικού τύπου. Η επιμήκυνση του κυρίως καναλιού είναι αποτέλεσμα της κατά βάθος και της οπισθοδρομούσας διάβρωσης, λόγω της τεκτονικής ανύψωσης της ευρύτερης περιοχής της Βόρειας Πελοποννήσου. Στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, οι σχετικά αδιαπέραστες μάζες, έχουν προξενήσει ένα πυκνό δίκτυο αποστράγγισης το οποίο διαθέτει έναν σημαντικό αριθμό κλάδων πρώτης και δεύτερης τάξης, ενώ αντίστοιχα η παρουσία διαπερατών ασβεστολιθικών σχηματισμών στο βόρειο και νότιο τμήμα της λεκάνης έχουν προξενήσει χαμηλότερη πυκνότητα αποστράγγισης (Kalogeropoulos κ.α. 2013).



Εικόνα 1. Η περιοχή μελέτης.

Δεδομένα Εισόδου

Η παρούσα εργασία αφορά στη μοντελοποίηση-προσομοίωση της επιφανειακής απορροής σε υπολεκάνη απορροής του Βουραϊκού ποταμού, σχεδιάζοντας ένα σύστημα βασισμένο σε τεχνολογία Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Για τον σκοπό αυτό, αξιοποιήθηκε ένα χωρικά κατανεμημένο μοντέλο βροχής-απορροής, το οποίο αναπτύχθηκε από τον Maidment (1993) και σχετίζεται με την υδρολογική ανάλυση μιας λεκάνης απορροής σε περιβάλλον ArcGIS 10.1, με τη χρήση ψηφιδωτών δεδομένων (raster grid) (Maidment 1993, Maidment κ.α. 1996). Ο κύριος στόχος είναι η κατασκευή ενός άμεσου συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος για μια ακραία βροχόπτωση, εκτιμώντας την απόκριση της ροής του ρέματος στην έξοδο της λεκάνης για διαφορετικού μεγέθους ψηφίδας του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Maidment 1996, Olivera και Maidment 1999, Kalogeropoulos κ.α. 2013, Gioti κ.α. 2013).

Η μοντελοποίηση της επιφανειακής απορροής, βασίζεται σε εφαρμογές των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, στην ανάλυση και επεξεργασία μιας σειράς δεδομένων που αφορούν την περιοχή μελέτης. Συνεπώς, σχεδιάστηκε μια ψηφιακή χωρική βάση δεδομένων, η οποία αποτελείται από τα παρακάτω επίπεδα:

- Δύο Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους με μέγεθος ψηφίδας 5x5 και 25x25μ.
- Δύο επίπεδα συντελεστή τραχύτητας κατά Manning με μέγεθος ψηφίδας 5x5 και 25x25, αντίστοιχα, τα οποία αντιστοιχούν στην αντίστοιχη κάλυψη γης.
- Βροχομετρικά δεδομένα: 300 mm σε 24 ώρες. Μεταφορά ακραίας βροχόπτωσης που έλαβε χώρα στον ποταμό Ξηριά (Κόρινθος-Βόρεια Πελοπόννησος), στις 12-13 Ιανουαρίου του 1997.

Περιγραφή & Εκτέλεση του υδρολογικού μοντέλου

Η παρούσα εργασία έχει ως βασικό αντικείμενο την ανάπτυξη ενός συστήματος, βάσει της τεχνολογίας των ΣΓΠ, για τη μοντελοποίηση της επιφανειακής απορροής η οποία συνδέεται άρρηκτα με πλημμυρικά καταστροφικά φαινόμενα. Κύριος στόχος και ζητούμενο της προσομοίωσης αποτελεί η εκτίμηση της αιχμής της πλημμυρικής παροχής, καθώς και του κρίσιμου χρόνου που μεσολαβεί προκειμένου να φθάσει την αιχμή αυτή αμέσως μετά τη βροχόπτωση. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ο σχεδιασμός της καμπύλης επιφάνειας-χρόνου από την έναρξη της βροχόπτωσης, ενώ έπειτα προκύπτει το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα για το σημείο εξόδου της λεκάνης απορροής της περιοχής μελέτης. Μέσω της καμπύλης (ή ιστόγραμμα) επιφάνειας-χρόνου υποδεικνύεται η χωρική και χρονική κατανομή της επιφανειακής

απορροής εντός της λεκάνης του παραπόταμου που εξετάζεται. Επίσης, η καμπύλη αυτή δύναται να εκφραστεί μέσω της επαναταξινόμησης του χρόνου απορροής σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, τα οποία καλούνται «ισόχρονες καμπύλες». Οι ισόχρονες καμπύλες αντιπροσωπεύουν εκείνα τα σημεία εντός της λεκάνης, όπου η απορροή ισαπέχει χρονικά από την έξοδο της λεκάνης (Maidment 1993, Ajward και Muzik 2000, Du κ.α. 2009, Καρύμπαλης κ.α. 2014).

Λαμβάνοντας υπόψη τη θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος καταλήγουμε στο συμπέρασμα, πως η διάρκεια της πλημμύρας θεωρείται ίδια για οποιαδήποτε ποσότητα ενεργού βροχής δεδομένης διάρκειας, ενώ οι τετμημένες του υδρογραφήματος της απορροής πάνω στην κοινή αυτή διάρκεια (χρόνος βάσης της πλημμύρας) είναι ανάλογες με την ποσότητα της βροχής. Παράλληλα, η απορροή στην έξοδο της λεκάνης είναι αποτέλεσμα, της υπέρθεσης (πρόσθεση) στιγμιαίων μοναδιαίων υδρογραφημάτων, τα οποία συνεπιφέρονται από την ενεργή βροχή σε κάθε χρονικό βήμα. Πρέπει να σημειωθεί, ότι σε σειρά περιπτώσεων, από τη μορφή του μοναδιαίου υδρογραφήματος αντικατοπτρίζεται μια σειρά από χαρακτηριστικά της λεκάνης, όπως π.χ. η κλίση, το ανάγλυφο, η γεωμετρία (σχήμα), η υφή των επιφανειακών της γεωλογικών σχηματισμών κ.α. (Μιμίκου και Μπατάς 2006, Kalogeropoulos κ.α. 2013).

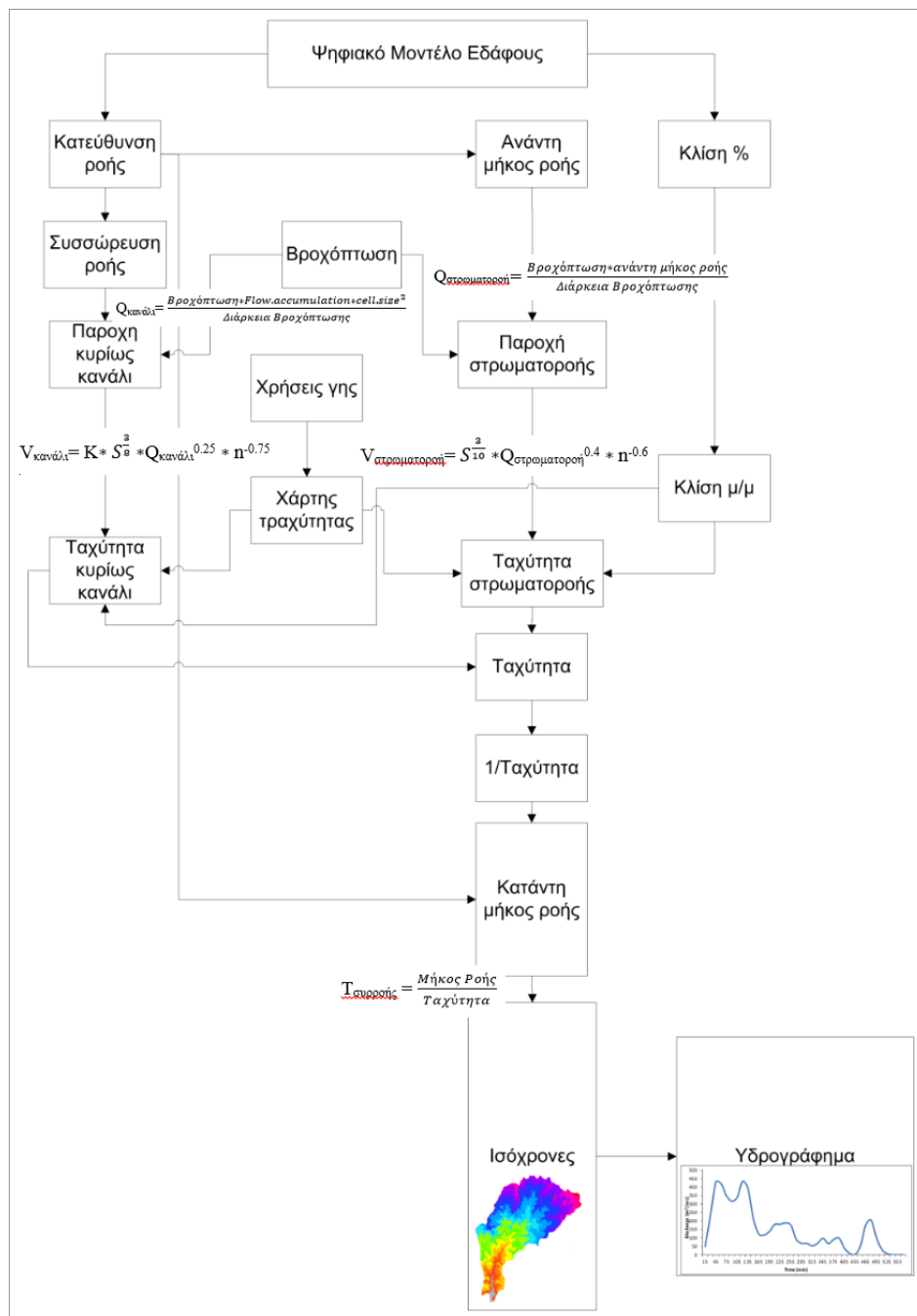
Η τοπογραφία της επιφάνειας του εδάφους (DEM), θεωρείται ως ένα από τα πρωτεύοντα στοιχεία για την προσομοίωση, καθώς η ανάλυση του αποτελεί το πρώτο στάδιο για την εκτέλεση του μοντέλου βροχής-απορροής. Το παρόν μοντέλο περιλαμβάνει τόσο τη βασική ανάλυση της επιφάνειας (surface analysis) όσο και την υδρολογική ανάλυση (hydrological analysis) του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.

Μετά την αναφορά και την προετοιμασία των δεδομένων προς επεξεργασία, επικεντρωνόμαστε στην περιγραφή του υδρολογικού μοντέλου διόδευσης το οποίο σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε, σε περιβάλλον ArcGIS 10.1, για την εκτίμηση της πλημμυρικής απορροής στην περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας.

Το τελικό στάδιο κατά την εκτέλεση του υδρολογικού μοντέλου, περιλαμβάνει τον σχεδιασμό του επιπέδου των ισόχρονων καμπυλών, δηλαδή εκείνων των καμπυλών που συνδέουν τις περιοχές της λεκάνης, όπου η απορροή χρειάζεται τον ίδιο χρόνο για να φθάσει στην έξοδο της λεκάνης. Η κατασκευή του επιπέδου των ισόχρονων, επιτυγχάνεται με την επαναταξινόμηση των τιμών του επιπέδου του χρόνου απορροής. Έτσι, μπορεί να εξαχθεί το διάγραμμα χρόνου-επιφάνειας, ενώ μελετώντας τους παλμούς του νερού που πέφτουν στη μονάδα του χρόνου (που έχει οριστεί στις

ισόχρονες καμπύλες), είναι εφικτή η δημιουργία του σύνθετου μοναδιαίου υδρογραφήματος για το υπό μελέτη πλημμυρικό φαινόμενο (Maidment 1993, Muzik 1996, Ajward και Muzik 2000, Melesse και Graham 2004, Du κ.α. 2009, Kalogeropoulos κ.α. 2013).

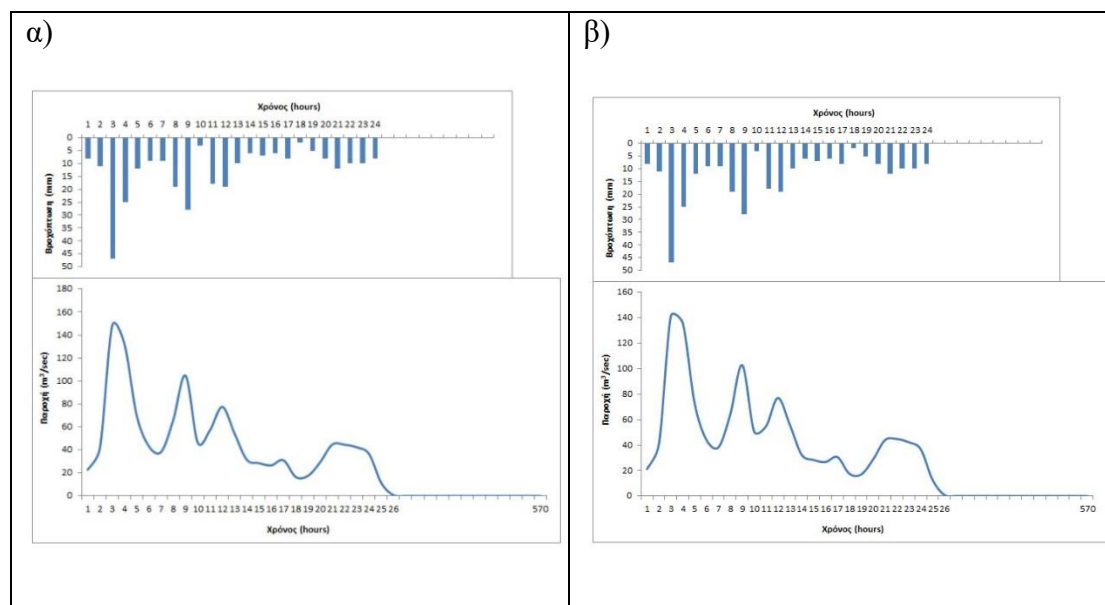
Η εννοιολογική αναπαράσταση και η ροή δεδομένων, καθώς και οι απαραίτητες εξισώσεις για τους υδραυλικούς υπολογισμούς του υδρολογικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 2. Εννοιολογικό διάγραμμα μοντέλου της προτεινόμενης μεθοδολογίας (Καρύμπαλης κ.α., 2014).

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Συνοψίζοντας, ο τελικός στόχος του μοντέλου βροχής-απορροής, που αξιοποιήθηκε για την προσομοίωση της επιφανειακής απορροής σε υπολεκάνη του Βουραϊκού ποταμού, είναι η κατασκευή του υδρογραφήματος της απορροής, για το σημείο εξόδου της λεκάνης για κάθε μια από τις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις. Αυτό επιτυγχάνεται, αν υπολογίσουμε τον όγκο του νερού που δέχεται ανά μία ώρα, κάθε μία κλάση των ισόχρονων καμπυλών, εκτιμώντας έτσι την παροχή στην έξοδο της λεκάνης και εν συνεχεία συνεκτιμώντας και ορίζοντας τις τιμές των παλμών.



Εικόνα 3. Συνθετικό μοναδιαίο άμεσο υδρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης απορροής του Βουραϊκού ποταμού α) DEM 5μ και β) DEM 25μ.

Η μορφή του εξαγόμενου υδρογραφήματος, θεωρείται τυπική, παρεπόμενο μιας αιφνίδιας πλημμύρας, ενώ από το διάγραμμα διαφαίνεται ότι η απόκριση της λεκάνης στην έντονη κατακρήμνιση είναι άμεση και πολύ γρήγορη. Στο (α) υδρογράφημα, διακρίνονται οι τρεις μεγαλύτερες πλημμυρικές παροχές (αιχμές), εκ των οποίων η μία είναι και μέγιστη ($148,1 \text{ m}^3/\text{s}$) και παρουσιάζεται την 3^η ώρα (κρίσιμος χρόνος). Η δεύτερη μεγαλύτερη παροχή, σημειώνεται 9 ώρες μετά την έναρξη της βροχόπτωσης και είναι της τάξης των $104,7 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ η τρίτη μεγαλύτερη παροχή τη 12^η ώρα και ανέρχεται στα $77,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Η μέση τιμή της παροχής είναι περίπου $45 \text{ m}^3/\text{s}$. Στο (β) υδρογράφημα η μέγιστη παροχή είναι $141,33 \text{ m}^3/\text{s}$ και λαμβάνει χώρα την 3^η ώρα (κρίσιμος χρόνος). Η δεύτερη μεγαλύτερη παροχή, σημειώνεται 9 ώρες μετά την έναρξη της βροχόπτωσης και είναι της τάξης των $102,8 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ η τρίτη παρουσιάστηκε τη 12^η ώρα και είναι της τάξης των $77,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Η μέση παροχή είναι περίπου $47 \text{ m}^3/\text{s}$. Γενικά, παρατηρώντας τα ιστόγραμμα βροχόπτωσης-χρόνου και τα

υδρογραφήματα, των δύο περιπτώσεων, συμπεραίνουμε πως η αιχμή της παροχής είναι μειούμενη, καθώς μειώνεται και η βροχόπτωση.

Συνοψίζοντας, από τα δύο σχήματα διαφαίνεται, ότι η καμπύλη της παροχής καθ' όλη τη διάρκεια του φαινομένου, ακολουθεί την πορεία της βροχόπτωσης, και είναι χαρακτηριστικό πως οι μεγαλύτερες τιμές της παροχής σημειώνονται, τις ίδιες ώρες με τα μέγιστα της βροχόπτωσης. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε η απόκριση της λεκάνης του χείμαρρου σε ακραία επεισόδια είναι άμεση, δυσχεραίνοντας τη λήψη μέτρων, αμέσως μετά την εκδήλωση της καταιγίδας.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, γίνεται μια προσπάθεια περιγραφής της διαδικασίας μοντελοποίησης της επιφανειακής απορροής στην υδρολογική λεκάνη του εξεταζόμενου παραπόταμου του Βουραϊκού ποταμού, μέσω της αξιοποίησης ενός χωρικά κατανεμημένου μοντέλου βροχής-απορροής, σε περιβάλλον Σ.Γ.Π, έτσι ώστε να γίνει η αποτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου για διαφορετικού μεγέθους ψηφίδας του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Μέσω της παραδοχής η οποία πραγματοποιήθηκε, για μεταφορά του πλημμυρικού γεγονότος που συνέβη στον Ξηριά (Κόρινθος, 12-13 Ιανουαρίου 1997), στη λεκάνη της περιοχής που μελετάται, αντλήθηκαν τα κατάλληλα δεδομένα βροχόπτωσης.

Γενικά, διαπιστώθηκε πως τα επίπεδα που παρήχθησαν, έχοντας ως βάση το DEM με μέγεθος ψηφίδας 5x5, διακρίνονται για τη μεγαλύτερη αξιοπιστία τους και την ποιοτικότερη αναπαράσταση και απεικόνιση της πληροφορίας, ενώ εκείνα που εξήχθησαν από το DEM χαμηλότερης ανάλυσης (μέγεθος ψηφίδας 25x25), χαρακτηρίζονται από πληθώρα εξομαλύνσεων που υποβαθμίζει την πληροφορία που αποτυπώνεται. Παρ' όλα αυτά, διαφαίνεται ότι για τη γενική αποτίμηση-προσομοίωση της απορροής στο σημείο εξόδου, τα εξαγόμενα υδρογραφήματα (από τα δύο DEM μέγεθος ψηφίδας 5x5, μέγεθος ψηφίδας 25x25), έχουν παρόμοια μορφή (λόγω της διασποράς της βροχόπτωσης), αλλά οι μέγιστες τιμές τους είναι διαφοροποιημένες κατά 10% (υψηλότερες μέγιστες τιμές παροχής το υδρογράφημα της πρώτης περίπτωσης). Συμπερασματικά, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι επιλογή της ανάλυσης του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, στην υδρολογική ανάλυση, είναι ανάλογη της ακρίβειας που επιζητείται κάθε φορά. Επί παραδείγματι, η ανάλυση 25x25 δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί επ' ουδενί στη διερεύνηση και διαστασιολόγηση γεφυρών, διότι λόγω της διαφοροποίησης της τάξης του 10% στις μέγιστες παροχές,

είναι βέβαιο πως θα υπάρξει αστοχία. Αντίστοιχα, για την υδρολογική ανάλυση των λεκανών απορροής όλης της Ελλάδας, η χρησιμοποίηση ενός Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους 5x5 θα ήταν υπερβολική, χρονοβόρα, δαπανηρή και άστοχη.

Η έλλειψη μετρήσεων της πλημμυρικής παροχής του υπό μελέτη υδρογραφικού δικτύου, για το συγκεκριμένο πλημμυρικό συμβάν, αποτέλεσε τροχοπέδη, στο να καταστεί εφικτός, ο άμεσος έλεγχος της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Ωστόσο έχει εκπονηθεί πληθώρα μελετών στις οποίες έχει αξιοποιηθεί η ίδια μεθοδολογία, απ' όπου έχουν αποδοθεί αξιόπιστα αποτελέσματα.

Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί, ότι οι υψηλές τιμές παροχών και ταχυτήτων που σημειώθηκαν, αποδίδονται σε παραδοχές που εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και εκτέλεσης του μοντέλου.

- Οι εξαιρετικά ακραίες τιμές βροχόπτωσης που εισήχθησαν, οι οποίες θεωρήθηκε ότι επικράτησαν σε όλη την έκταση της λεκάνης της περιοχής μελέτης.
- Όπως έχει τονιστεί, οι τιμές αυτές αφορούσαν στη λεκάνη του ποταμού Ξηριά, έπειτα από μετρήσεις που εκπονήθηκαν στον σταθμό του Ξυλοκάστρου.
- Παράλληλα καθ' όλη την εκτέλεση του υδρολογικού μοντέλου, δεν εφαρμόστηκε κάποιου είδους προσέγγιση, έτσι ώστε να συνεκτιμηθούν και να δηλωθούν οι απώλειες (λόγω πχ της κατείσδυσης ή της παραδοχής περί ομοιομορφίας της κατανομής βροχόπτωσης κλπ), καθώς και για να υπολογιστεί η ενεργός βροχόπτωση.

Εν κατακλείδι, θα μπορούσε να ειπωθεί πως η αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων, γενικότερα, και των πλημμυρών, ειδικότερα, μπορεί να οδηγήσει και σε νέες μεθόδους, αφενός μεν για τον έλεγχο των υδάτων που για παράδειγμα πλημμυρίζουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις και αφετέρου τη δημιουργία δομών (εσωποτάμιων ή εξωποτάμιων λιμνοδεξαμενών) που θα ενεργούσαν αντισταθμιστικά τόσο σε πλημμύρες όσο και σε ξηρασίες.

ESTIMATION OF FLOOD RISK USING GIS

Penteris Dimitrios^{1*}, Kalogeropoulos Kleomenis², Chalkias Christos³

¹Geographer, Department of Geography, Harokopio University, 70 El Venizelou str., Kallithea – Athens 17671, email: gs20930@hua.gr

²PhD Candidate in Applied Geoinformatics, Department of Geography, Harokopio University, 70 El Venizelou str, Kallithea – Athens 17671, email:

kalogeropoulos@hua.gr

³Associate Professor in Geographic Information Systems and Applied Geography, Harokopio University, 70 El Venizelou str, Kallithea – Athens 17671, email:

xalkias@hua.gr

Abstract

Natural hazards are historically a substantial threat to the progress and development of human communities. This study deals with the evaluation of flash flood in the torrential catchment of Vouraikos River, which is located in Northern Peloponnesus. It has a total main channel length of 36 km, and drains an area of 239.6km². It discharges into the Gulf of Corinth, flowing through the coastal town of Diakopto. The main object of this work, is the simulation of runoff in a typical sub-basin, which is directly related to catastrophic flood events, by creating a system based on GIS technology. For this purpose, we utilize a spatially distributed rainfall-runoff model, which concerns the hydrological analysis of a catchment, in ArcGIS 10.1 environment. Especially, we examine the role of DEM in hydrological analysis. For this purposes, we constructed two kind of DEM (5m & 25m cell size DEM). The results revealed a substantial difference in the hydrological response (between the two DEMs), by examining the manufactured direct unit hydrographs.

Keywords: Flood Risk, Synthetic Unit Hydrograph, Rainfall-Runoff Models, Geographic Information Systems

Βιβλιογραφία

- Ajward, AH. and I. Muzik. 2000. A Spatially Varied Unit Hydrograph Model. *Journal of Environmental Hydrology*. 8(7): 1-8.
- Bronster, A. 2003. Floods and Climate Change: Interactions and Impacts. *Risk Analysis*. 23: 545-557.
- Du, J., H. Xie, Y. Hu, Y. Xu and CY. Xu. 2009. Development and testing of a new storm runoff routing approach based on time variant spatially distributed travel time method. *Journal of Hydrology*. 369 (1-2): 44–54.
- Gioti, E, C. Riga, K. Kalogeropoulos and C. Chalkias. 2013. A GIS-based flash flood runoff model using high resolution DEM and meteorological data. 12(1): 33-43. *eProceedings EARsel*. 2013. Mykonos, Greece.

- Kalogeropoulos, K., S. Karalis, E. Karymbalis, C. Chalkias, G. Chalkias and P. Katsafados. 2013. Modelling flash floods in Vouraikos River mouth Greece. Proc. 11th MEDCOAST Conference. 01/2013. Marmaris, Turkey.
- Maidment, D.R. 1993. Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS Applications of geographic information systems in hydrology and water resources. 211: 181-192. Proc. of International conference. Vienna 1993. Austria.
- Maidment, D.R. 1996. GIS and Hydrologic Modeling-an Assessment of Progress. Third International Conference on GIS and Environmental Modeling. January 22-26 1996. Santa Fe, New Mexico.
- Maidment, D.R., F. Olivera, A. Calver, A. Eatherall and W. Fraczek. 1996. A Unit Hydrograph derived from a spatially distributed velocity field. Hydrological Processes. 10: 831-844.
- Melesse, A.M. and W.D. Graham. 2004. Storm runoff prediction based on a spatially distributed travel time method utilizing remote sensing and GIS. Journal of the American Water Resources Association. 40 (4): 863-879.
- Muzik, I. 1996. Flood modeling with GIS-derived distributed unit hydrographs. Hydrological Processes. 10 (10): 1401-1409.
- Olivera, F. and D. Maidment. 1999. Geographic information systems (GIS) - based spatially distributed model for runoff routing. Polygraph International 1. 35(4): 1155-1164.
- Καρύμπαλης, Ε., Π. Κατσαφάδος, Κ. Καλογερόπουλος, Σ. Καραλής και Χ. Χαλκιάς. 2014. Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου σε μικρές χειμαρρικές λεκάνες. Κεφ 7: 199-240. Στο Καρύμπαλης, Ε., Παπαδόπουλος, Α., Χαλκιάς, Χ.. (επιμ.) Η Γεωγραφία του Παράκτιου και Νησιωτικού Χώρου. Εκδ. Σταμούλη, Αθήνα.
- Κουργιάλας, Ν. 2010. Ολοκληρωμένη Διαχείριση-Πρόβλεψη & Αντιμετώπιση Πλημμυρικών Φαινομένων σε Σύνθετες Γεωμορφολογικά Περιοχές με Χρήση Μαθηματικών Μοντέλων και GIS. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Μιμίκου, Μ.Α και Ε.Α. Μπαλάς. 2006. Τεχνική Υδρολογία. Εκδ. Παπασωτηρίου. Αθήνα.
- Πανλόπουλος, Κ. 2011. Γεωμορφολογία: Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες. Εκδ. Ίων, Αθήνα.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΩΝ ΖΩΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΠΕΔΙΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS ΚΑΙ HEC-RAS

Πολυχρονοπούλου Αικατερίνη^{1*}, Βασιλείου Απόστολος², Μάρης Φώτιος³

¹ Μεταπτυχιακή φοιτήτρια, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δ.Π.Θ. Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου, Ορεστιάδα, e-mail: kate.polychron@windowslive.com

² Υποψήφιος Διδάκτορας, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δ.Π.Θ. Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου, Επιτροπή ερευνών ΔΠΘ, Αλεξανδρούπολη, e-mail: apovassi@gmail.com

³ Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δ.Π.Θ. Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου, Ορεστιάδα, e-mail: fmaris@fmenr.duth.gr

Περίληψη

Η επικινδυνότητα των ακραίων φαινομένων οφείλεται στην ικανότητά τους να προκαλούν σοβαρές ζημιές σε μικρό χρονικό διάστημα. Οι πλημμύρες δύνανται να απειλήσουν υπό προϋποθέσεις, τη ζωή, την υγεία του ανθρώπου, το περιβάλλον και τις υποδομές αυτού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πρόσφατη πλημμύρα του ποταμού Στρυμόνα της περιοχής του Ν. Σερρών που έπληξε τις παρακείμενες πεδινές και καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Παρόλο που η αποφυγή καταστροφής από ένα ακραίο γεγονός είναι πρακτικά αδύνατη, η αξιολόγηση και η διαχείριση της επικινδυνότητας των πλημμυρικών φαινομένων όμως είναι εφικτή. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται επιβεβλημένη η δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης των φαινομένων, ούτως ώστε να είναι εφικτός ο περιορισμός και η άμεση αποκατάσταση των προβλημάτων που προκύπτουν. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός και η οριοθέτηση των πιθανώς πλημμυρισμένων εκτάσεων για διαφορετικές εντάσεις των φαινομένων στην περιοχή του Ν. Σερρών, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60. Για τη δημιουργία των χαρτών πλημμύρας, χρησιμοποιήθηκαν το λογισμικό ESRI GIS σε συνδυασμό με το ελεύθερο λογισμικό HEC-RAS για τη βέλτιστη ανάλυση του προβλήματος. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρηστική βοήθεια των προαναφερθέντων λογισμικών, προσομοιώνουν το φαινόμενο απεικονίζοντας τις πλημμυρισμένες εκτάσεις.

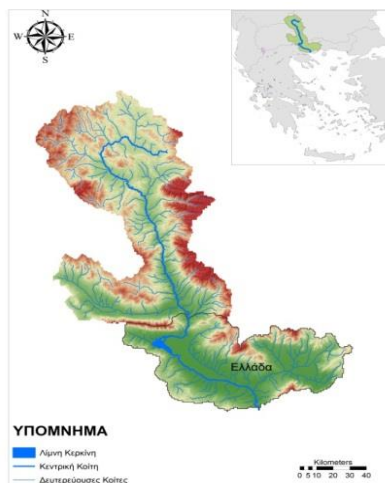
Λέξεις Κλειδιά: Πλημμυρική επικινδυνότητα, HEC-RAS, GIS, Χάρτες πλημμύρας, Στρυμόνας.

Εισαγωγή

Το κλίμα στον πλανήτη μας ουδέποτε υπήρξε σταθερό. Πολλοί είναι οι επιστήμονες που συναινούν ότι η γη έχει ήδη περάσει σε μια περίοδο κλιματικής αστάθειας, η οποία έχει ευρείες περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις (Mallinis, 2013). Η παραλλακτικότητα του κλίματος έχει ως απόρροια τη δημιουργία ακραίων φαινομένων. Η επικινδυνότητα των ακραίων φαινομένων οφείλεται στην ικανότητά τους να προκαλούν σοβαρές ζημιές σε μικρό χρονικό διάστημα (Rosenzweig et al., 2007). Κατά τους Downton και Pielke (2001) και τους Golian et al (2010) οι πλημμύρες επηρεάζουν το μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων και επιφέρουν τις περισσότερες ζημιές από όλες τις φυσικές καταστροφές σε ετήσια βάση. Επιτακτική είναι, λοιπόν, η ανάγκη ύπαρξης μηχανισμών αντιμετώπισης των πλημμυρών. Τα τελευταία χρόνια η διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου εστιάζει μέσω τεχνολογικά προηγμένων συστημάτων στην έγκαιρη πρόληψη τους με προσεγγίσεις όπως η πρόγνωση πλημμυρών (flood forecasting), η αποτύπωση της επικινδυνότητας σε χάρτες και η έγκαιρη προειδοποίηση τους (Golian et al 2010). Η ακριβής εκτίμηση της επικίνδυνης πλημμύρας και η πρόγνωση της πλημμυρικής κατάστασης στις κατάντη θέσεις του υδατορεύματος είναι στοιχεία απαραίτητα για την οριοθέτηση και γενικότερα για οποιασδήποτε επέμβαση στη δίαιτα του υδατορεύματος (Hunter, 2007, Georgakakos, 2006).

Περιοχή Μελέτης

Ένας από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Βαλκανικής Χερσονήσου είναι ο Στρυμόνας με συνολικό μήκος 360χλμ. Η συνολική έκταση της διακρατικής υδρολογικής λεκάνης του Στρυμόνα υπολογίστηκε στα 16.834 km². Στο ελληνικό τμήμα, ο ποταμός υπάγεται στο υδρολογικό διαμέρισμα της Ανατολικής Μακεδονίας. Η αβαθής φυσική κοίτη του ποταμού υπήρξε στο παρελθόν αιτία εκτεταμένων καταστροφών από πλημμύρες. Με σκοπό την αντιπλημμυρική προστασία της πεδιάδας των Σερρών καθώς και την άρδευση και συγκράτηση φερτών υλικών του ποταμού, δημιουργήθηκε η τεχνητή λίμνη της Κερκίνης το 1932. Έκτοτε, το 1982, στη θέση Λιθότοπος κατασκευάστηκε ένα νέο μεγαλύτερο φράγμα υδατοχωρητικότητας περίπου 350.000 m³ και έκταση περίπου 75.000 km². Στην παρούσα εργασία η περιοχή μελέτης επικεντρώνεται από την έξοδο του ταμιευτήρα στην περιοχή Λιθότοπος έως τις εκβολές του ποταμού, στον Στρυμονικό κόλπο. Η κοίτη του ποταμού στο τμήμα αυτό είναι τεχνητή, με αναχώματα και αρδευτικά κανάλια (EKBY, Έργο LIFE - STRYMON).



Εικόνα 1. Περιοχή Μελέτης.

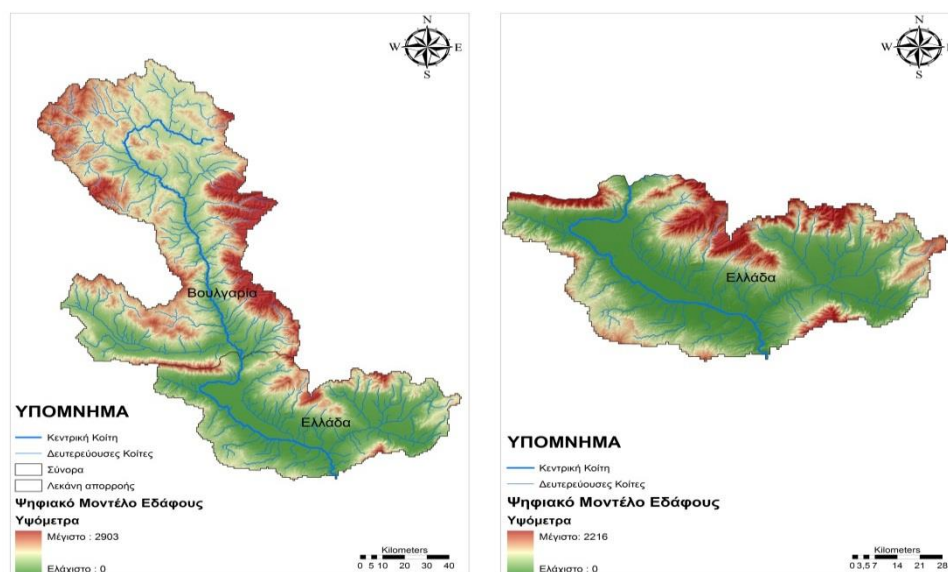
Υλικά και Μέθοδοι

Η λεκάνη απορροής του Στρυμόνα έχει την ιδιαιτερότητα ότι είναι διακρατική αφού εκτείνεται σε 4 χώρες (Βουλγαρία, Σκόπια, Σερβία, Ελλάδα). Το γεγονός αυτό καθίστα αδύνατη τη συλλογή τοπογραφικών στοιχείων και για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το ήδη υπάρχον ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) που προέρχεται από τον δορυφόρο ASTER ανάλυσης 30μ. Με τη βοήθεια του ArcGIS 9.3.1 και σε συνδυασμό με την επέκταση Arc Hydro1.1, υπολογίστηκαν τα γεωμορφομετρικά χαρακτηριστικά, ενώ, παράλληλα επιτυγχάνεται η διανυσματική απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου (Merwade et al, 2007). Για την οριοθέτηση των ζωνών πλημμυράς κρίνεται επιβεβλημένος ο διαχωρισμός της ροής εργασίας σε δυο μεθοδολογίες. Η πρώτη, αφορά τον υπολογισμό της μέγιστης υδατοπαροχής και η δεύτερη την υδραυλική προσομοίωση. Οι μεθοδολογίες που αφορούν τον προσδιορισμό της μέγιστης υδατοπαροχής διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες: α) εμπειρικές, β) ημι-εμπειρικές γ) στατιστικές και δ) κατασκευή υδρογραφημάτων από καταιγίδες σχεδιασμού (Viessman, 2011). Για τις εμπειρικές μεθόδους χρησιμοποιήθηκε το ανοικτό λογισμικό TORMIK του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης για τον υπολογισμό της παροχής Q_{max} . Στην υδραυλική ανάλυση είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) υψηλής ανάλυσης (Horr i tt, 2006). Για τον λόγο αυτό, στο Ελληνικό τμήμα χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικά διαγράμματα της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού σε κλίμακα 1:5000 και ισοδιάσταση υψομετρικών καμπυλών 4μ. Με τη βοήθεια του ArcGIS και Σαρωτή, έγινε ψηφιοποίηση των ισοϋψών της λεκάνης. Έπειτα, γεωπροσδιορίστηκαν τα παραγόμενα αρχεία σε ΕΓΣΑ 87 (Εθνικό Γεωδαιτικό

Σύστημα Αναφοράς 1987) για να μπορέσουν όλα τα στοιχεία να τοποθετηθούν στον χάρτη έχοντας ένα κοινό σύστημα αναφοράς. Με τη χρήση των ψηφιοποιημένων ισοϋψών και του 3D Analyst δημιουργήθηκε το απαραίτητο DEM. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια το πρόσθετου HEC-GeoRAS του ArcGIS, πραγματοποιήθηκε η προετοιμασία των δεδομένων για την υδραυλική διερεύνηση (Hydrologic Engineering Centre, 2008). Επιπλέον, για τον καθορισμό του συντελεστή Manning χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του Ευρωπαϊκού προγράμματος Land cover Corine 2000 (European Commission, 1993) και βιβλιογραφικών αναφορών (Dig, 2004, Hydrologic Engineering Center, 2008). Τα δημιουργούμενα αρχεία είναι η σχεδίαση της κεντρικής κοίτης, των πρηνών, της πλημμυρικής ροής και των διατομών που χρησιμοποιούνται ως αρχεία εισόδου στο πρόγραμμα HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center, 2002). Στο περιβάλλον του προγράμματος αυτού δημιουργείται η υδρολογική προσομοίωση και η διόδευση πλημμυρικού κύματος του ποταμού επιλύοντας τις εξισώσεις ενέργειας από διατομή σε διατομή. Τέλος, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το HEC-RAS και με τη βοήθεια του ArcGIS εμφανίζονται σε εξαγόμενους χάρτες.

Αποτελέσματα

Με τη χρήση των GIS πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση της λεκάνης απορροής καθώς και η εξαγωγή των γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών στο Ελληνικό τμήμα. Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζονται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, η λεκάνη απορροής και τα κύρια υδατόρρευματα.

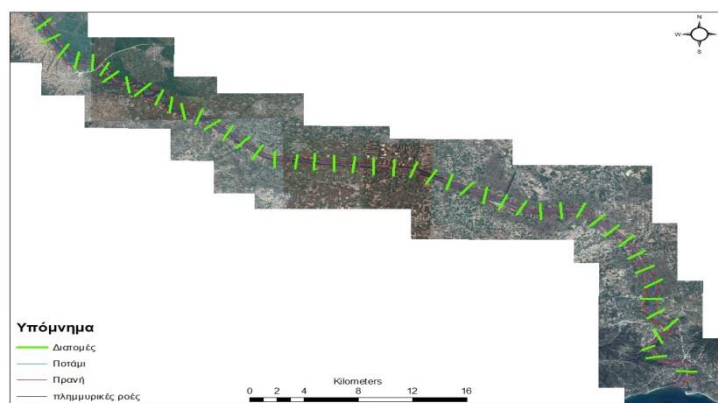


Εικόνα 2. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους DEM.

Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν είναι τα παρακάτω:

Λεκάνη Απορροής		Ελληνικό Τμήμα	Υπόλοιπες Χώρες
E	= η έκταση της λεκάνης (km ²)	5599,6	10867,3
P	= η περίμετρος της λεκάνης (km)	525,25	862,19
H _{max}	= το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης (m)	2212	2903
H _{min}	= το ελάχιστο υψόμετρο της λεκάνης (m)	0	16
H _m	= το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (m)	376,88	904,05
S	= μέση κλίση της λεκάνης απορροής (%)	11,17	15,32
J	= μέση κλίση της κύριας κοίτης (%)	0,35	0,54
L (km)	= το μέγιστο μήκος υδατορρεύματος της λεκάνης (km)	127,33	214,65

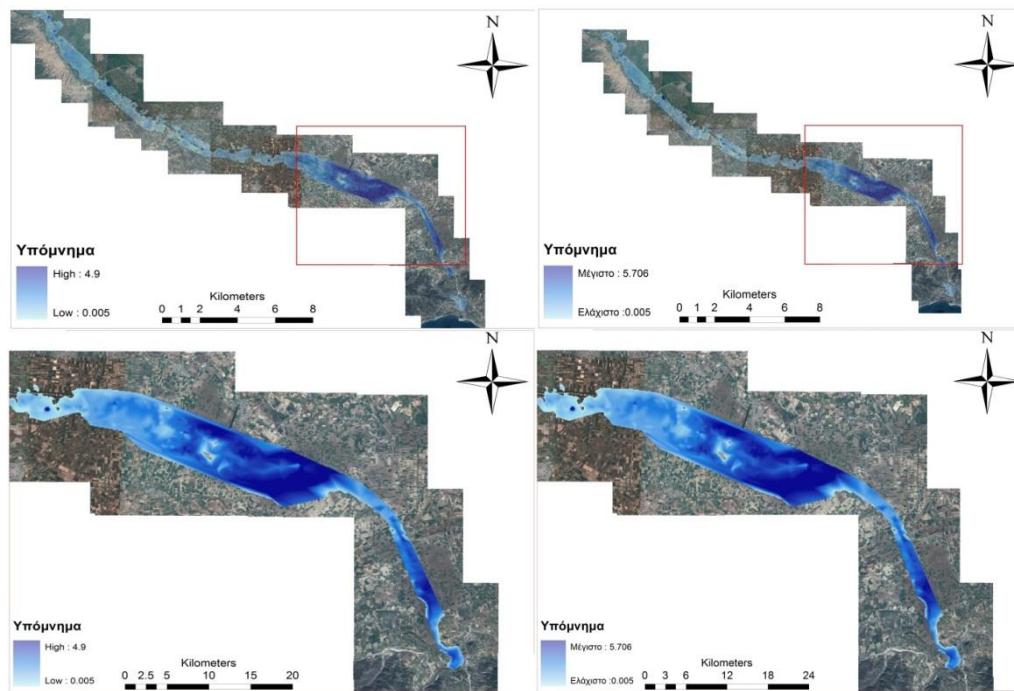
Με τη βοήθεια του ανοικτού λογισμικού προγράμματος TORMIK υπολογίστηκαν οι μέγιστες υδατοπαροχές (Q_{max}) οι οποίες εισέρχονται στον ταμιευτήρα της λίμνης Κερκίνης. Από τους 12 εμπειρικούς τύπους που διαθέτει το πρόγραμμα επιλέχθηκαν αυτοί που ταιριάζουν στην περιοχή μελέτης και πιο συγκεκριμένα του Wundt, του Vallentini, του Hoffbauer και του Friedrich με τιμές 3643,71 m³/sec, 3129,69 m³/sec, 2814,55 m³/sec και 2917,49 m³/sec αντίστοιχα. Οι παραπάνω τιμές είναι ορθές αφού η παροχή σχεδιασμού του υπερχειλιστή στο φράγμα του Λιθοτόπου είναι 3000 m³/sec (Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, 2013). Δυστυχώς, δεν κατέστη εφικτό να υπολογιστεί η μέγιστη υδατοπαροχή με επιπλέον μεθοδολογίες λόγω έλλειψης δεδομένων. Οι τιμές που προέκυψαν από τη χρήση των εμπειρικών μεθόδων, μας επιτρέπουν να τις θεωρήσουμε ως το δυσμενέστερο σενάριο που μπορεί να εμφανιστεί στην περιοχή έρευνας. Η εφαρμογή των τιμών αυτών όμως δεν έχει πρακτική αξία γιατί πρόκειται για την πιο ακραία τιμή που αντιστοιχεί σε θραύση του φράγματος. Στη συνέχεια, τα Γεωμετρικά χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν με χρήση του HEC-GeoRAS εμφανίζονται στον παρακάτω χάρτη.



Εικόνα 3. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά με χρήση HEC-RAS.

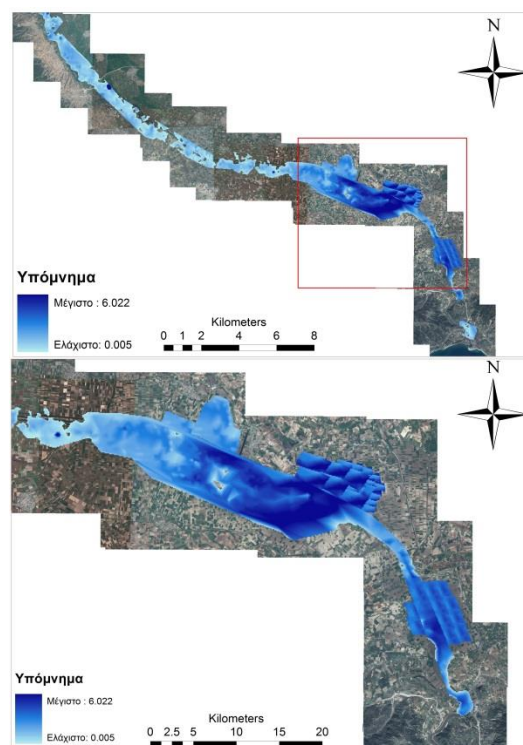
Επιπλέον, για τον ορθό καθορισμό των ζωνών πλημμύρας είναι απαραίτητος ο συντελεστής Manning ο οποίος ύστερα από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας παίρνει τιμές από 0,03 έως 0,06.

Οι μέγιστες υδατοπαροχές για τη διόδευση πλημμύρας προήλθαν από συνεντεύξεις με αρμόδιους φορείς (ΤΟΕΒ-ΓΟΕΒ-ΕΚΒΥ) και ανέφεραν ότι η μέγιστη παροχή κυμαινόταν από 400 έως 600 m³/sec. Επομένως, οι τιμές των 400 m³/sec, των 500 m³/sec και των 600 m³/sec καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ποταμού εισήχθησαν στο πρόγραμμα HEC-RAS. Λόγω του γεγονότος ότι έχουμε μέγιστες παροχές και όχι υδρογραφήματα εφαρμόσαμε την επίλυση με σταθερή ροή (steady flow). Στο επόμενο βήμα, ορίστηκαν οι οριακές συνθήκες, ως οριακή συνθήκη επιλέχθηκε το οριακό βάθος το οποίο ισούται με τη μέση κλίση του ποταμού εκφρασμένο σε ποσοστό επί τοις εκατό (Normal Depth) (Norbiato, 2008). Για τη διόδευση του πλημμυρικού κύματος, ορίστηκε η επίλυση των εξισώσεων ενέργειας ως υποκρίσιμη ποτάμια ροή (Subcritical). Τέλος, με τη χρήση του Ras Mapping στο ArcGIS εξήχθησαν οι παρακάτω χάρτες πλημμύρας.



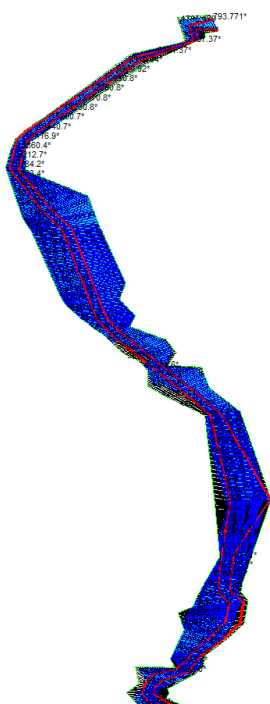
Εικόνα 4. Χάρτης Πλημμύρας 400 m³/sec.

Εικόνα 5. Χάρτης Πλημμύρας 500 m³/sec.

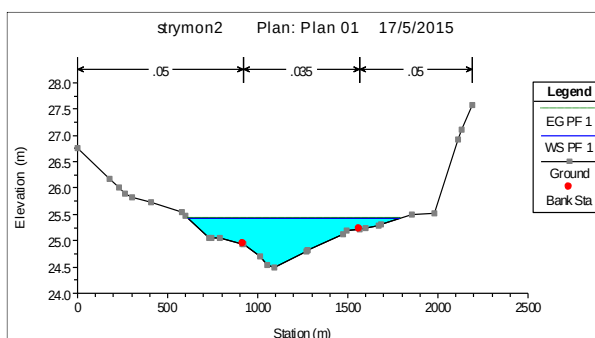
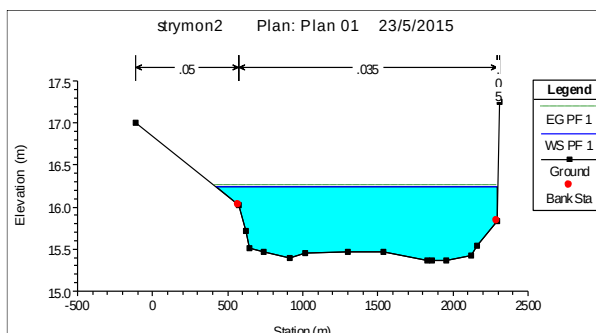


Εικόνα 6. Χάρτης Πλημμύρας 600 m³/sec.

Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζονται τα αποτελέσματα της διόδευσης της πλημμύρας κατά μήκος του του ποταμού και σε 2 ενδεικτικές διατομές.

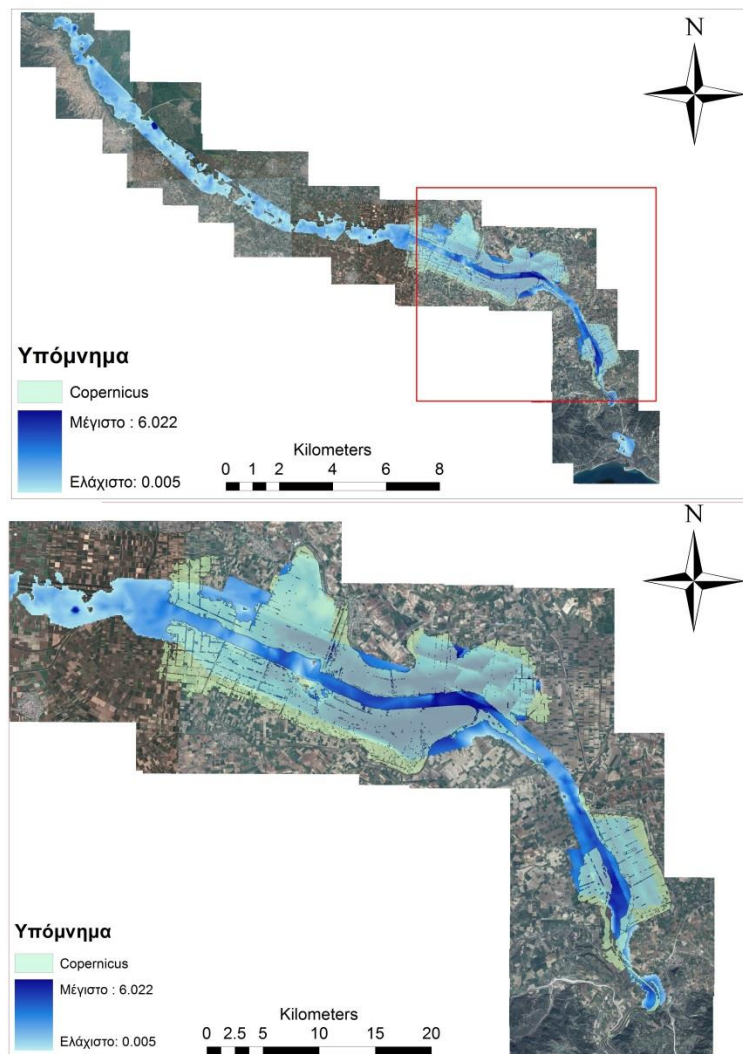


Εικόνα 7. Προφίλ μηκοτομής.



Εικόνα 8. Ενδεικτικές Διατομές.

Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του Προγράμματος Copernicus. Το οποίο εντάσσεται στην Υπηρεσία Διαχείρισης Καταστάσεων Έκτακτης Ανάγκης της Ε.Ε. και παρέχει πληροφορίες για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης σε σχέση με διαφόρων ειδών καταστροφών, συμπεριλαμβανομένων των μετεωρολογικών κινδύνων, των γεωφυσικών κινδύνων, των εσκεμμένων και τυχαίων ανθρωπογενών καταστροφών και άλλων ανθρωπιστικών καταστροφών καθώς και την πρόληψη, την ετοιμότητα, την αντιμετώπιση και τις δραστηριότητες αποκατάστασης. Τα χαρτογραφικά δεδομένα των πλημμύρων είναι ελεύθερα διαθέσιμα σε προβολικό σύστημα WGS84. Η ημερομηνία της αποτύπωσης της πλημμύρας είναι 03-04-2015. Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων η μέγιστη υδατοπαροχή των 600m³/sec δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 9. Σύγκριση Αποτελεσμάτων.

Συμπεράσματα-Συζήτηση

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του Hec Ras προκύπτουν ότι οι περιοχές που είναι ευαίσθητες σε πλημμύρα είναι οι οικισμοί Παραλίμνιο και Πεθέλινος καθώς και καλλιεργούμενες εκτάσεις στην ευρύτερη περιοχή. Επομένως, επιβάλλεται στις γειτονικές παραποτάμιες περιοχές να συντηρηθούν και να υψωθούν τα αναχώματα. Επιπλέον, είναι επιθυμητό να υπάρξουν έτοιμα σενάρια αντιμετώπισης των καταστροφών από πλημμύρες καθώς και ανάπτυξη μηχανισμών έγκαιρης προειδοποίησης.

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στη διαχείριση του φράγματος. Το φράγμα εκτός από τους αρδευτικούς σκοπούς που εξυπηρετεί παρέχει και προστασία από πλημμύρες. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να εκτιμηθεί η μέγιστη υδατοπαροχή που μπορεί να παροχετευτεί μέσω του ποταμού Στρυμόνα και να υπάρξει αντίστοιχη διαχείριση της ποσότητας εισερχόμενου και εξερχόμενου όγκου νερού του ταμιευτήρα.

Επίσης, ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η απουσία δεδομένων για την περιοχή μελέτης. Πιο συγκεκριμένα δεν εντοπίστηκαν αξιοποιήσιμες χρονοσειρές υδατοπαροχής αλλά ούτε κοινό διακρατικό δίκτυο βροχομετρικών σταθμών που θα επιτρέπουν την εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης και αντιμετώπισης ακραίων φαινομένων (Pilon, 2004).

Τέλος, η δημιουργία ενός Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους με χρήση Lidar (λόγω της γεωμορφολογίας της περιοχής) θα αποτελέσει τη βάση για τον ακριβή καθορισμό των ευπαθών σε πλημμύρα εκτάσεων καθώς θα αποτυπώνονται με ευκρίνεια και με τη μέγιστη λεπτομέρεια όλα τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής.

OOD HAZARD ASSESSMENT AND IDENTIFICATION OF POTENTIAL FLOOD ZONES IN THE LOWLAND ROUTE OF STRIMONAS RIVER USING GIS AND HEC-RAS

Polychronopoulou Aikaterini^{1*}, Vasileiou Apostolos², Maris Fotios³

¹ Msc Candidate, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Democritus University of Thrace, Lab of Mountainous Watersheds and Risk Management, Orestiada, E-mail: kate.polychron@windowslive.com

² PhD Candidate, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Democritus University of Thrace, Lab of Mountainous Watersheds and Risk Management, Research Committee Duth, Alexandroupoli, E-mail: apovassi@gmail.com

³ Associate Professor, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Democritus University of Thrace, Lab of Mountainous Watersheds and Risk Management, Orestiada, E-mail: fmaris@fmenr.duth.gr

Abstract

The riskness of extreme phenomena is due to their ability to cause serious damage in a short time. Flooding can, under certain conditions, threaten the human life and health, the environment and its infrastructure. A typical example is the recent flooding of the Strimonas River in the area of Serres prefecture that hit the adjacent plains and arable lands. Although totally avoiding any destruction due to an extreme event is practically impossible, the evaluation and management of flooding riskiness is feasible. For this reason, it is imperative to create predictive models of these phenomena, so that the reduction and the immediate restoration of the problems that may arise are attainable. The aim of the present paper is the identification and delineation of potentially flooded areas for different intensities of these phenomena in the prefecture of Serres, according to the European Directive 2007/60. In order to create the flood

maps, the Geographic Information Systems (GIS) were used, combined with the free HEC-RAS software for optimal resolution of the problem. The results stemming from the functional help of the aforementioned software simulate the phenomenon depicting flooded areas.

Key words: Flood Risk, HEC-RAS, GIS, Inundation map, Strymon River

Βιβλιογραφία

- Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, 2013. Τα φράγματα της Ελλάδας
- Ελληνικό κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων. Έργο LIFE STRYMON, 2005. Διαχείριση των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Στρυμόνα για τη μείωση των επιπτώσεων από τη γεωργία με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων
- Dai A., Washington M., Meehl G. A., Bettge T.W., Strand W. G. 2004. The ACPI Climate Change Simulations, *Climate Change* 62, 29–43
- Downton M., Pielke, Rajr. 2001 Discretion without accountability: politics, flood damage, and climate. *Nat Hazards Rev* 2(4):157–166
- European commission. 1993 CORINE land cover, guide technique, Report EUR 12585EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Georgakakos K. P. 2006 Analytical results for operational flash flood guidance. *Journal of Hydrology* 317:81–103
- Golian S., Saghafian B., Maknoon R., 2010. Derivation of Probabilistic Thresholds of Spatially Distributed Rainfall for Flood Forecasting. *Water Resour Manage*, doi: 10.1007/s11269-010-9619-7
- Horritt M.S., Bates P.D, Mattinson M.J., 2006. Effects of Mesh Resolution and Topographic Representation in 2D Finite Volume Models of Shallow Water Fluvial Flow. *Journal of Hydrology*, 329.1-2: 306-14
- Hunter N.M., Bates P.D., Horritt M.S., Wilson M.D., 2007. Simple Spatially-Distributed Models for Predicting Flood Inundation: A Review. *Geomorphology*, 90.3-4: 208-225
- Hydrologic Engineering Center, 2002. US Army Corps of Engineers, HEC-Ras Hydraulic reference manual
- Hydrologic Engineering Centre, 2008. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual
- Mallinis G., Gitas I.Z., Giannakopoulos V., Maris F., Tsakiri-Strat, M. 2013. An object-based approach for flood area delineation in a transboundary area using ENVISAT ASAR and LANDSAT TM data. *Int. J. Digit. Earth*, 6, 1–13
- Merwade V., Cook A., Coonrad J, 2007. GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environmental Modelling and Software*. 23:1300-1311

- Norbiato D., Borga M., Esposti S.D., Gaume E., Anquetin S., 2008. Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: an assessment for gauged and ungauged basins. *J Hydrology* 362:274–290
- Pilon P.J., 2004. Guidelines for reducing flood losses. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR), Palais des Nations, Ch 1211 Geneva, Switzerland
- Rosenzweig C., G. Casassa D.J. Karoly A. Imeson C. Liu A. Menzel S. Rawlins T.L. Root B., Seguin P., Tryjanowski, 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*
- Viessman W., 2011. Εισαγωγή στη υδρολογία, ISBN 960-411-716-5, 648

**ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ
ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΠΣ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΕΝΤΟΝΩΝ
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΡΤΑΣ ΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΔΟ 31/1-1/2/2015**

Παπακρίβου Αναστασία¹, Σκριμιζέας Παναγιώτης²

¹Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Ελ. Βενιζέλου 14 16777 Ελληνικό,

²Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Ελ. Βενιζέλου 14 16777 Ελληνικό,

Περίληψη

Ανεξάρτητα του βαθμού αποδοχής του ενδεχομένου της κλιματικής αλλαγής, ως αιτίου, δεν μπορεί να αμφισβητηθεί η παρατηρούμενη αύξηση των φυσικών καταστροφών, που αποδίδονται στον καιρό. Σε ένα περιβάλλον λοιπόν, που τα έντονα/ακραία καιρικά φαινόμενα κάνουν ολοένα και συχνότερα την εμφάνισή τους, οι προγνώσεις που εμπεριέχουν πληροφορίες σχετικές με τον βαθμό βεβαιότητας για την έκταση και την ένταση, με την οποία αυτά προβλέπεται να εκδηλωθούν, αποτελούν υψηλή προτεραιότητα για την μετεωρολογική κοινότητα και όχι μόνο.

Στην κατεύθυνση αυτή, η αξιοποίηση, ενός ώριμου πλέον, μετεωρολογικού προϊόντος, όπως είναι οι στοχαστικές (πιθανολογικές) προγνώσεις (προγνώσεις ensemble), αποδεικνύεται ότι μπορεί να αποτελέσει την αναγκαία προστιθέμενη αξία στην παρεχόμενη μετεωρολογική πληροφορία.

Παράλληλα δε, η παρουσία της πλατφόρμας ecCharts, ενός ειδικά δομημένου διαδραστικού περιβάλλοντος (Web-GIS), που αναπτύχθηκε από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπροθέσμων Προγνώσεων (ECMWF), στη βάση του πρωτοκόλλου WMS (Web Map Service), παρέχει την δυνατότητα για στοχευμένη ανάλυση και σύνθεση της μετεωρολογικής πληροφορίας και ως εκ τούτου την παραγωγή εξειδικευμένων προγνωστικών προϊόντων προσαρμοσμένων στις εκάστοτε επιχειρησιακές ανάγκες.

Στην παρούσα εργασία, οι έντονες και με καταστροφικές συνέπειες βροχοπτώσεις, που έπληξαν την ευρύτερη περιοχή της Άρτας, στην ΒΔ Ελλάδα, το χρονικό διάστημα μεταξύ 30 Ιανουαρίου και 1 Φεβρουαρίου 2015, θεωρήθηκαν ως μια καλή μελέτη περίπτωσης, για να παρουσιασθούν οι δυνατότητες του περιβάλλοντος ecCharts, να δοκιμασθεί η αποτελεσματικότητα των στοχαστικών προγνώσεων του ECMWF και να καταδειχθεί η χρησιμότητα της αξιοποίησης τους στα κέντρα λήψης αποφάσεων, υπό το κριτικό πάντα βλέμμα του προγνώστη μετεωρολόγου.

Λέξεις κλειδιά: μετεωρολογικές προγνώσεις, ακραία καιρικά φαινόμενα, στοχαστικές - πιθανολογικές προγνώσεις.

Εισαγωγή

Ανεξάρτητα του βαθμού αποδοχής του ενδεχομένου της κλιματικής αλλαγής (IPCC,2011) οφείλουμε να αποδεχθούμε την παρατηρούμενη αύξηση των φυσικών καταστροφών που αποδίδονται στον καιρό (WMO, 2013) και αποτελούν τροχοπέδη της προσπάθειας των κοινωνιών για την επίτευξη της πολυπόθητης βιώσιμης ανάπτυξης (UN,2015). Σε ένα περιβάλλον λοιπόν, που τα ακραία καιρικά φαινόμενα (IPCC,2011) κάνουν ολοένα και συχνότερα την εμφάνισή τους, οι προγνώσεις που εμπεριέχουν πληροφορίες σχετικές με τον βαθμό βεβαιότητας για την έκταση και την ένταση, με την οποία αυτά προβλέπεται να εκδηλωθούν, είναι προφανές ότι πρέπει να αποτελούν υψηλή προτεραιότητα για την μετεωρολογική κοινότητα και όχι μόνο. Πολλές είναι οι προσεγγίσεις στην υπάρχουσα βιβλιογραφία για τον χαρακτηρισμό ενός επικείμενου καιρικού φαινομένου, πάνω από μια περιοχή, ως πιθανώς ακραίου. Συχνά ο χαρακτηρισμός αυτός συνδέεται με το αν μία ή περισσότερες από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, που το προσδιορίζουν, προβλέπεται ότι θα υπερβούν κάποια προκαθορισμένα κατώφλια, τα οποία σχετίζονται άμεσα με τη συχνότητα εμφάνισής του με αυτή την ένταση στη συγκεκριμένη περιοχή και επομένως με την κλιματολογία της. Αυτό βεβαίως είναι θέμα που αφορά τους μετεωρολόγους.

Οι επιπτώσεις όμως, ενός τέτοιου «μετεωρολογικά» ακραίου φαινομένου, στις τοπικές κοινωνίες εξαρτάται και από άλλες, μη μετεωρολογικές, παραμέτρους, όπως π.χ. από την γεωγραφική θέση, την πληθυσμιακή πυκνότητα ή την ποιότητα των υφιστάμενων υποδομών. Συνδέεται δηλαδή τόσο με τον βαθμό έκθεσης (IPCC,2011), όσο και με την τρωτότητα (IPCC,2011) των επηρεαζόμενων κοινωνιών (IPCC,2011) και ο προβληματισμός στην περίπτωση αυτή μετατοπίζεται στους decisionmakers.

Σε κάθε περίπτωση μια ντετερμινιστική θεώρηση θα διευκόλυνε όλους. Καθώς όμως οι decisionmakers καλούνται να διαχειριστούν και να αξιοποιήσουν μετεωρολογικές πληροφορίες, εντός ενός πλαισίου, που βρίθει από κοινωνικούς, οικονομικούς και άλλους περιορισμούς, γίνεται προφανής η ανάγκη για μετεωρολογικές προγνώσεις που θα εμπεριέχουν επιπλέον πληροφορίες, ικανές να τους βοηθήσουν στον καθορισμό προτεραιοτήτων. Με την έννοια αυτή, για να αναδειχθεί η μετεωρολογική πρόγνωση σε αποτελεσματικό εργαλείο στοχευμένης αντιμετώπισης των επιπτώσεων τέτοιου είδους φαινομένων, κυρίως κατά τη φάση της προετοιμασίας (του κύκλου διαχείρισης καταστροφής), δεν αρκεί να είναι αυτή χωρικά και χρονικά ακριβής, αλλά οφείλει να εμπεριέχει και ποσοτικοποίηση του βαθμού επικινδυνότητας (IPCC,2011- Bazza,2013).

Την αναγκαιότητα αυτή διογκώνουν τα στοιχεία που μιλούν για σταθερή αύξηση των απωλειών που οφείλονται στις καταστροφές επιφέροντας τεράστιες οικονομικές, κοινωνικές, υγειονομικές, πολιτιστικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις παγκοσμίως και έχουν ως γενεσιουργό αίτιο τον μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης της έκθεσης ανθρώπων και περιουσιών σε σχέση με τον ρυθμό μείωσης της ευπάθειάς τους (UN,2015).

Στην κατεύθυνση αυτή, η αξιοποίηση, ενός ώριμου πλέον, μετεωρολογικού προϊόντος, των στοχαστικών προγνώσεων, αποδεικνύεται ότι μπορεί να αποτελέσει την αναγκαία προστιθέμενη αξία στην παρεχόμενη μετεωρολογική πληροφορία.

Παράλληλα δε, η παρουσία της πλατφόρμας ecCharts (ECMWF's web charts application), ενός ειδικά δομημένου διαδραστικού περιβάλλοντος (Web-GIS), που αναπτύχθηκε από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπροθέσμων Προγνώσεων (ECMWF), στη βάση του πρωτοκόλλου WMS (Web Map Services - <https://software.ecmwf.int/wiki/display/METV/Metview+WMS+Tutorial#MetviewWMS+Tutorial-WMSbasics>), παρέχει τη δυνατότητα για στοχευμένη ανάλυση και σύνθεση της μετεωρολογικής πληροφορίας και ως εκ τούτου την παραγωγή εξειδικευμένων προγνωστικών προϊόντων προσαρμοσμένων στις εκάστοτε επιχειρησιακές ανάγκες. Περιλαμβάνει όλα τα βασικά χαρακτηριστικά ενός λογισμικού χαρτογραφικής σύνθεσης, με το επίπεδο να αποτελεί τη βασική οντότητα σχεδίασης και συνεπώς το τελικό προϊόν να προκύπτει ως συνδυασμός πολλών επιπέδων. Φυσικά ανταποκρίνεται σε απαιτήσεις απεικόνισης μιας γεωγραφικής περιοχής σε διάφορα προβολικά συστήματα. Καθόσον προσφέρεται σαν «εργαλείο» για τους μετεωρολόγους διαχειρίζεται κυρίως gridded μετεωρολογικά δεδομένα, αλλά και χαρτογραφικά στοιχεία, όπως γεωγραφικούς χάρτες, ακτογραμμές, μάσκες ξηράς-θάλασσας, ορογραφία κλπ. (<https://software.ecmwf.int/wiki/display/ECCHA+RTS>).

Κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ 30 Ιανουαρίου - 1 Φεβρουαρίου 2015, ένα κύμα κακοκαιρίας συνοδευόμενο μεταξύ άλλων από έντονες βροχοπτώσεις επηρέασε τον Ελληνικό χώρο, δημιουργώντας σημαντικές καταστροφές κυρίως στην Ήπειρο, όπου νομοί κηρύχτηκαν σε έκτακτη ανάγκη και χωριά εκκενώθηκαν, καθώς υπερχείλισαν ποτάμια, κινδύνευσαν φράγματα και σημειώθηκαν πλημμύρες και κατολισθήσεις. Το αποκορύφωμα όμως ήταν η κατάρρευση του ιστορικού γεφυριού της Πλάκας στα Τζουμέρκα, που αποτελούσε μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς.

Στη παρούσα εργασία, οι έντονες και με καταστροφικές συνέπειες βροχοπτώσεις, που έπληξαν την ευρύτερη περιοχή της Άρτας, στη ΒΔ Ελλάδα, το χρονικό διάστημα μεταξύ 30 Ιανουαρίου - 1 Φεβρουαρίου 2015, θεωρήθηκαν ως μια καλή μελέτη

περίπτωσης για να δοκιμασθεί η αποτελεσματικότητα των στοχαστικών προγνώσεων του ECMWF, και να καταδειχθεί η χρησιμότητα της αξιοποίησης τους στα κέντρα λήψης αποφάσεων, πάντα υπό το κριτικό βλέμμα του προγνώστη μετεωρολόγου.

Υλικό και μέθοδος εργασίας

Στην παρούσα εργασία δεν εστιάζουμε στη μετεωρολογική διερεύνηση της συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης. Τη (μελέτη περίπτωσης) χρησιμοποιούμε ως μέσο για να καταδείξουμε πώς μπορούν οι στοχαστικές προγνώσεις να συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των φυσικών καταστροφών, που οφείλονται στα ακραία καιρικά γεγονότα. Επιχειρούμε δηλαδή να διερευνήσουμε πώς μπορούν αυτού του είδους οι προγνώσεις να ενισχύσουν τη διαδικασία καθορισμού των προτεραιοτήτων στα κέντρα λήψης αποφάσεων, ιδιαίτερα κατά την κρίσιμη φάση της προετοιμασίας, με προφανές όφελος την ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών, σε όλο τον κύκλο διαχείρισης της καταστροφής. Παρόλα αυτά καταρχάς επιχειρήσαμε στοιχειώδη ανάλυση της συνοπτικής (καιρικής) κατάστασης ώστε να τεκμηριωθεί η υπόθεση περί αναμονής έντονου καιρού.

Κατόπιν, αφού ως μετεωρολογική παράμετρο ενδιαφέροντος ορίσαμε το ύψος υετού, συμφωνήσαμε τις κρίσιμες τιμές (κατώφλια) για την κατηγοριοποίηση ενός γεγονότος ως ακραίου, ως προς αυτή την παράμετρο, στη δυτική Ελλάδα. Μάλιστα για να επιτρέπονται άμεσα οι συγκρίσεις επιλέξαμε ως χρονικό διάστημα αναφοράς το 12ωρο.

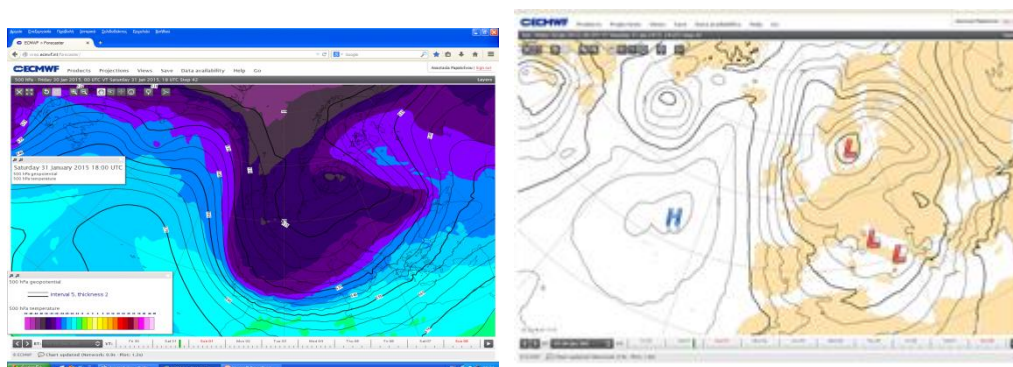
Με τη βοήθεια των εργαλείων και δυνατοτήτων που παρέχονται από την εφαρμογή eccharts του ECMWF, συνθέσαμε προγνωστικούς χάρτες που απεικονίζουν την πιθανότητα ο προβλεπόμενος 12ωρος υετός να υπερβεί τα κατώφλια που ορίσαμε για τη δυτική Ελλάδα. Δημιουργήσαμε αρχείο με τους χάρτες αυτούς, για κάθε ένα από τα δύο καθημερινά τρεξίματα του ECMWF (00UTC και 12UTC) για την 30^η και 31^η Ιανουαρίου 2015, ώστε να αποτυπωθεί η, τουλάχιστον θεωρητικά, αναμενόμενη σταδιακή βελτίωση όχι μόνο της χωροχρονικής ακρίβειας αυτών των προγνώσεων, αλλά και του βαθμού βεβαιότητάς τους.

Τέλος έγινε προσπάθεια αξιολόγησης αυτών των προγνώσεων, μέσα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με την πραγματική κατάσταση, έτσι όπως αυτή αποτυπώθηκε από τις αντικειμενικές εκτιμήσεις του ύψους υετού, που παρατηρήθηκε στη δυτική Ελλάδα, κατά τη διάρκεια εκδήλωσης του γεγονότος. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα 24ωρου αθροιστικού υετού (για 31/1 και 1/2) από 49 μετεωρολογικούς σταθμούς που υπερκαλύπτουν την ευρύτερη περιοχή. Από τους

σταθμούς αυτούς οι 13 είναι της EMY. Οι υπόλοιποι ανήκουν στο δίκτυο των σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου, και τα δεδομένα τους παρέχονται ελεύθερα στην ιστοσελίδα www.meteo.gr. Η χωρική ανάλυση της βροχόπτωσης έγινε σε περιβάλλον ΓΠΣ (ArcGIS), με εφαρμογή της Ordinary Kriging μεθόδου (Σκριμιζέας, 2014).

Ανάλυση συνοπτικής κατάστασης

Για την απεικόνιση της αναμενόμενης καιρικής κατάστασης ενδεικτικά παρατίθενται οι προγνωστικοί χάρτες για την 31^η Ιανουαρίου 2015 18UTC, που παρήχθησαν με αρχικές συνθήκες της Παρασκευής 30/1/2015 00UTC.



Εικόνα 1: Η ατμοσφαιρική κατάσταση 18UTC της 31^{ης} Ιανουαρίου 2015. Αριστερά χάρτης ανώτερης ατμόσφαιρας (500hPa) και δεξιά η ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια.

Στην ανώτερη ατμόσφαιρα (Εικόνα 1, Χάρτες 500hPa-αριστερά) εκτεταμένο χαμηλό με κέντρο στη βόρεια Ευρώπη προκαλεί ενισχυμένο βόρειο ρεύμα πάνω από τη δυτική Ευρώπη και τροφοδοτεί τη δυτική Μεσόγειο με ψυχρές αέριες μάζες, οι οποίες εμπλουτίζονται με υγρασία και με το ενισχυμένο νοτιοδυτικό ρεύμα, που διαμορφώνεται στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο, μεταφέρονται πάνω από την Ελλάδα. Το βράδυ της 31ης Ιανουαρίου η κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα εντείνει την κυκλωνική κυκλοφορία στην επιφάνεια (Εικόνα 1, Χάρτες επιφάνειας-δεξιά), στη Βορειοδυτική Ελλάδα.

Στοχαστικές (πιθανολογικές) προγνώσεις

Η χρονική εξέλιξη της ροής της ατμόσφαιρας, η οποία περιγράφεται από τη χωρική κατανομή του ανέμου, της θερμοκρασίας και άλλων μετεωρολογικών μεταβλητών, όπως η υγρασία και η επιφανειακή πίεση, μπορούν να εκτιμηθούν ολοκληρώνοντας αριθμητικά τις μαθηματικές διαφορικές εξισώσεις οι οποίες περιγράφουν το σύστημα. Αυτές οι εξισώσεις περιλαμβάνουν τους νόμους του Νεύτωνα και τους νόμους της

θερμοδυναμικής (Buizza, 2006). Η αριθμητική πρόγνωση του καιρού είναι ένα πρόβλημα αρχικών τιμών. Η ολοκλήρωση ξεκινά από τις αρχικές συνθήκες (initial conditions) του συστήματος, οι οποίες κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας τις μετεωρολογικές παρατηρήσεις που πραγματοποιούνται σε όλο τον κόσμο, ύστερα από μια πολύπλοκη διαδικασία αφομοίωσης. Τα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης του καιρού χάνουν σε απόδοση εξ' αιτίας της συσσώρευσης σφαλμάτων στις αρχικές συνθήκες (αρχική αβεβαιότητα) και επειδή τα αριθμητικά μοντέλα περιγράφουν τους φυσικούς νόμους προσεγγιστικά (αβεβαιότητες μοντέλων). Τα πράγματα γίνονται περισσότερο περίπλοκα καθώς η προγνωστικότητα (δηλ. η συσσώρευση του σφάλματος) εξαρτάται από τη «χρονική» ροή (Lorenz, 1993).

Κατά συνέπεια, η προσέγγιση της πρόγνωσης του καιρού που βασίζεται σε μία ενιαία ντετερμινιστική (αιτιοκρατική) πρόγνωση αποτελεί μόνον μια προσέγγιση του προβλήματος. Κάτω από το πρίσμα της γενικότερης εξέλιξης των αναγκών είναι σαφές ότι για να ενισχυθεί (και επιχειρησιακά) αυτή η προσέγγιση θα πρέπει να συμπεριλάβει και ένα μέτρο της προγνωστικής αβεβαιότητας, δηλαδή όχι μόνο ποιο είναι το πιο πιθανό σενάριο, αλλά και ποια είναι η πιθανότητα να λάβουν χώρα διαφορετικά καιρικά σενάρια. Ως εκ τούτου τα προϊόντα θα πρέπει να είναι πιθανολογικά (στοχαστικά). Η πλήρης περιγραφή του προβλήματος της πρόγνωσης καιρού μπορεί να τεθεί με όρους που αναφέρονται στη χρονική εξέλιξη μιας κατάλληλης συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας (probability density function – PDF) (Buizza, 2006). Η πρόγνωση τύπου “Ensemble”, όπως υλοποιείται στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Προγνώσεων (ECMWF), η οποία βασίζεται σε ένα πεπερασμένο αριθμό ντετερμινιστικών ολοκληρώσεων, φαίνεται ότι αποτελεί, επί του παρόντος, τη μόνη εφικτή μέθοδο για την προσέγγιση αυτής της συνάρτησης. Έτσι εκτός από τη ντετερμινιστική πρόγνωση 10-ημερών του ECMWF που παρέχεται σε υψηλή ανάλυση πλέγματος (TL1279/16km και 137 κατακόρυφα επίπεδα), διατίθενται και 51 προγνώσεις 10-ημερών σε χαμηλότερη ανάλυση πλέγματος (TL639/32km, 91 κατακόρυφα επίπεδα) (ECMWF, 2013).

Κατώφλια

Ποικίλοι ορισμοί-διαδικασίες εφαρμόζονται παγκοσμίως για τον καθορισμό των κρίσιμων τιμών-κατωφλίων, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των extreme weather events (IPCC, 2011). Στην εν λόγω μελέτη περίπτωσης, χρησιμοποιούνται τα κατώφλια που έχουν θεσπισθεί από το meteoalarm για τη δυτική Ελλάδα. Το

meteoalarm, είναι μια συνεργασία των Εθνικών Μετεωρολογικών Υπηρεσιών περισσότερων από τριάντα

Green	Weather report	Usual phenomena		Usual phenomena	(Examples)
Yellow	Be aware!	Caution with exposed activities	Exposed objects (avoidable)	>30 per year	>54 mm/12h
Orange	Be prepared!	Keep informed in detail and follow advice of authorities	General damage (not avoidable)	1 to 30 per year	>80 mm/12h
Red	Take action!	Follow order or advice of authorities under all circumstances and be prepared for extraordinary measures	Extreme damage and/or casualties (mostly) on large areas, threatening life and property (not avoidable, even in otherwise safe places)	less than 1 per year + <i>large scale phenomena</i>	>140 mm/12h

Εικόνα 8: Χρωματικός κώδικας επικινδυνότητας με βάση την συχνότητα εμφάνισης του καιρικού γεγονότος (www.meteoalarm.eu).

Ευρωπαϊκών χωρών, οι οποίες στην ηλεκτρονική διεύθυνση www.meteoalarm.eu παρέχουν πληροφορίες για τον κίνδυνο εξ' αιτίας έντονων καιρικών φαινομένων, σε εθνική αλλά και τοπική κλίμακα, για περισσότερες από 650 περιοχές. Για κάθε μία μετεωρολογική παράμετρο, όπως π.χ. τον άνεμο ή τη βροχή έχουν θεσπισθεί κατώφλια, από τις κατά τόπους Εθνικές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες, για την κατηγοριοποίηση του επικείμενου φαινομένου ως προς τον βαθμό επικινδυνότητας. Η κατηγοριοποίηση αυτή εποπτικά περιγράφεται από ένα κοινό χρωματικό κώδικα τεσσάρων διαβαθμίσεων (πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί, κόκκινο).

Όπως ο χρησιμοποιούμενος χρωματικός κώδικας, έτσι και η φιλοσοφία που διέπει τον καθορισμό αυτών των κατωφλίων είναι κοινή για όλες τις χώρες και επιχειρεί και τη σύνδεσή τους με τις πιθανές επιπτώσεις του αναμενόμενου έντονου καιρού στις τοπικές κοινωνίες. Αυτή η στρατηγική διασφαλίζει σχετική ομοιογένεια και ομοιομορφία μεταξύ των χωρών και μάλιστα επί της ουσίας, αφού για παράδειγμα ο κόκκινος συναγερμός για βροχή σε μια περιοχή της Γερμανίας έχει πάνω κάτω την ίδια σημασία με τον κόκκινο συναγερμό σε μια περιοχή της Ελλάδας.

Αυτή όμως η κοινή φιλοσοφία που εφαρμόζεται στον καθορισμό των κατώφλιων είναι και η αιτία που αυτά διαφέρουν από χώρα σε χώρα ή ακόμη και σε διαφορετικές περιοχές της ίδιας χώρας. Για παράδειγμα διαφορετικά είναι τα κατώφλια για καύσωνα στη Δανία όπου οι 30 βαθμοί Κελσίου μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στις τοπικές κοινωνίες και διαφορετικά στην Κύπρο, όπου οι κάτοικοι μπορεί να είναι καλά

Greece (Different areas – Different thresholds)

		Green	Yellow	Orange	Red
Wind		$W < 60 \text{ km/h}$ (<88)	$60 \leq W < 80 \text{ km/h}$ ($=88$)	$80 \leq W < 100 \text{ km/h}$ ($=98$)	$W \geq 100 \text{ km/h}$ (≥ 108)
Wind Gust		$G < 80 \text{ km/h}$	$80 \leq G < 110 \text{ km/h}$	$110 \leq G < 130 \text{ km/h}$	$G \geq 130 \text{ km/h}$
Rain (24h)	West Greece-NE Aegean-Dodekanisa	$H < 20 \text{ mm}$	$20 \leq H < 60 \text{ mm}$	$60 \leq H < 100 \text{ mm}$	$H \geq 100 \text{ mm}$
	N. Greece-E. Sterea-Thessalia-Peloponnisos-Kyklades-Kriti	$H < 15 \text{ mm}$	$15 \leq H < 40 \text{ mm}$	$40 \leq H < 75 \text{ mm}$	$H \geq 75 \text{ mm}$
Rain (12h)	West Greece-NE Aegean-Dodekanisa	$H < 15 \text{ mm}$	$15 \leq H < 50 \text{ mm}$	$50 \leq H < 80 \text{ mm}$	$H \geq 80 \text{ mm}$
	N. Greece-E. Sterea-Thessalia-Peloponnisos-Kyklades-Kriti	$H < 10 \text{ mm}$	$10 \leq H < 30 \text{ mm}$	$30 \leq H < 60 \text{ mm}$	$H \geq 60 \text{ mm}$
Extreme High Temperature	North Greece-Epirus	$T_{\text{max}} < 35^\circ\text{C}$	$35^\circ\text{C} \leq T_{\text{max}} < 39^\circ\text{C}$	$39^\circ\text{C} \leq T_{\text{max}} < 42^\circ\text{C}$	$T_{\text{max}} \geq 42^\circ\text{C}$
	Central & South Greece	$T_{\text{max}} < 37^\circ\text{C}$	$37^\circ\text{C} \leq T_{\text{max}} < 41^\circ\text{C}$	$41^\circ\text{C} \leq T_{\text{max}} < 44^\circ\text{C}$	$T_{\text{max}} \geq 44^\circ\text{C}$
	Islands	$T_{\text{max}} < 33^\circ\text{C}$	$33^\circ\text{C} \leq T_{\text{max}} < 37^\circ\text{C}$	$37^\circ\text{C} \leq T_{\text{max}} < 40^\circ\text{C}$	$T_{\text{max}} \geq 40^\circ\text{C}$
Extreme Low Temperature	North Greece-Epirus-Thessalia	$T_{\text{min}} > -5^\circ\text{C}$	$-5^\circ\text{C} \geq T_{\text{min}} > -8^\circ\text{C}$	$-8^\circ\text{C} \geq T_{\text{min}} > -15^\circ\text{C}$	$T_{\text{min}} \leq -15^\circ\text{C}$
	Central & South Greece	$T_{\text{min}} > -1^\circ\text{C}$	$-1^\circ\text{C} \geq T_{\text{min}} > -4^\circ\text{C}$	$-4^\circ\text{C} \geq T_{\text{min}} > -8^\circ\text{C}$	$T_{\text{min}} \leq -8^\circ\text{C}$
	Islands	$T_{\text{min}} > 0^\circ\text{C}$	$0^\circ\text{C} \geq T_{\text{min}} > -2^\circ\text{C}$	$-2^\circ\text{C} \geq T_{\text{min}} > -5^\circ\text{C}$	$T_{\text{min}} \leq -5^\circ\text{C}$
Snow		No Snow Cover	rural areas: height $\leq 5 \text{ cm}$ urban areas: height $\leq 2 \text{ cm}$	rural areas: 5cm<height $\leq 25 \text{ cm}$ urban areas: 2cm<height $\leq 10 \text{ cm}$	rural areas: height $> 25 \text{ cm}$ urban areas: height $> 10 \text{ cm}$
Thunderstorm		Not predicted	Isolated cells: Wind gust $\leq 40 \text{ kts}$, Hail (with diameter $\leq 1 \text{ cm}$)	When predicted: 40kts<Wind gust $> 60 \text{ kts}$, 1cm<hail diameter $\leq 2 \text{ cm}$, possibility of flood effect	When predicted: Wind gust $> 60 \text{ kts}$, hail diameter $> 2 \text{ cm}$, flood effect, tornados
Fog		Visibility $\geq 500 \text{ m}$	100m $\leq$ Visibility $< 500 \text{ m}$ in extended area	Visibility $< 100 \text{ m}$ in extended area	Visibility $< 50 \text{ m}$ in extended area
Forecast fire		This parameter is predicted by the Civil Protection Authority			

Εικόνα 9: Τα, ανά γεωγραφική περιοχή, ελληνικά «κατώφλια» της εφαρμογής Metealarm (Παπακρίβου,2010)

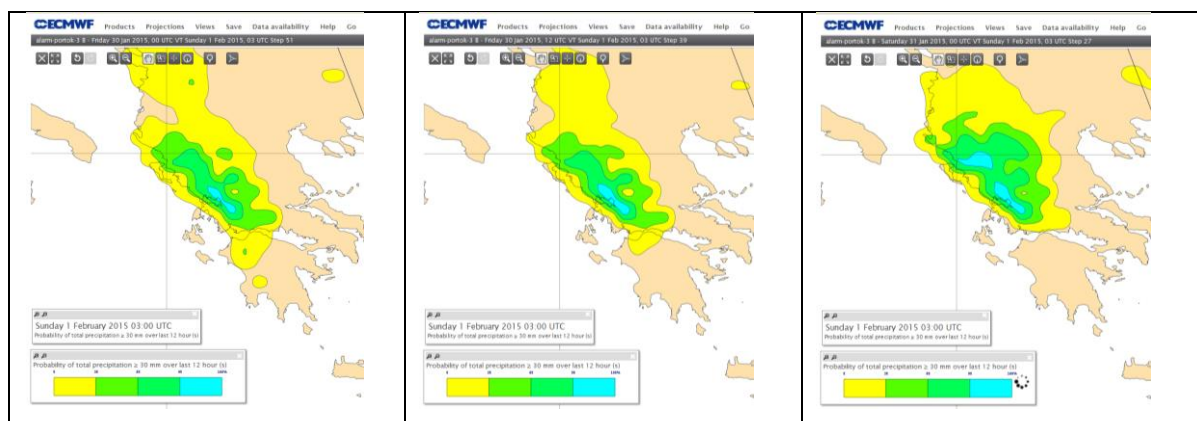
προσαρμοσμένοι ακόμη και σε υψηλότερες τιμές. Για κάθε γεωγραφική περιοχή λοιπόν ο μέσος χρόνος επαναφοράς (climatological return periods) των μετεωρολογικών παραμέτρων αποτελούν το κλειδί στον καθορισμό των κατώφλιων.

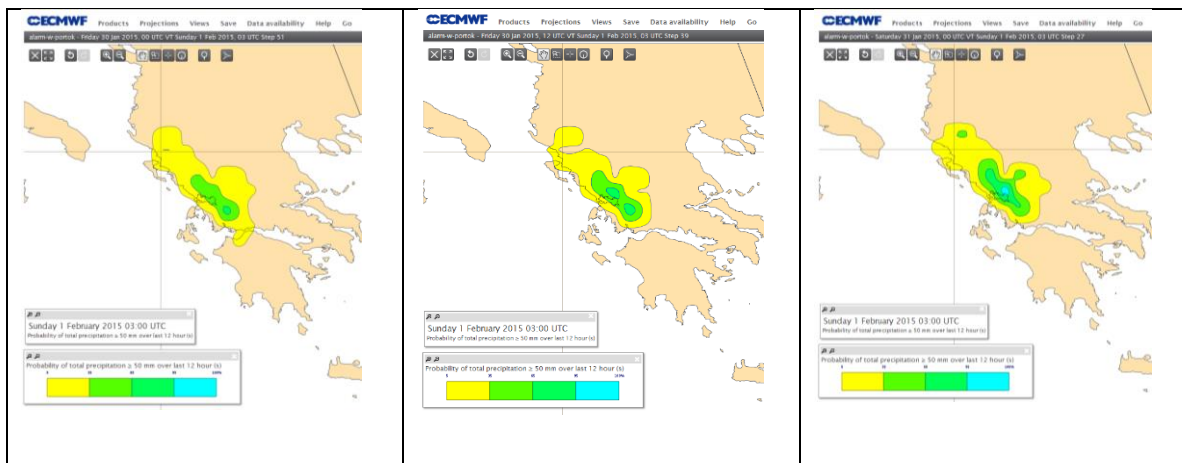
Για τη μελέτη περίπτωσης αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε ως εργαλείο διαχείρισης της κατάστασης, κατά τη φάση της προετοιμασίας, τους προγνωστικούς χάρτες που απεικονίζουν την πιθανότητα το ύψος 12ώρου υετού να είναι υπερβαίνει τα 50mm, που είναι το κατώφλι για πορτοκαλί συναγερμό στη Δυτική Ελλάδα (Εικόνα 3). Καθόσον όμως είχε προηγηθεί ένα διάστημα, κατά το οποίο σημαντικά ύψη βροχής είχαν παρατηρηθεί στην εν λόγω περιοχή, και θεωρήσαμε προφανή την αύξηση της τρωτότητάς της ως προς αυτή την παράμετρο, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε παράλληλα και τους προγνωστικούς χάρτες με την πιθανότητα το ύψος 12ώρου υετού να υπερβεί τα 30mm, τιμή αρκετά χαμηλότερη από την κρίσιμη τιμή του πίνακα της Εικόνας 3. Στον Πίνακα 1, βλέπουμε την πιθανότητα ο 12ωρος αθροιστικός υετός να

ξεπεράσει τα όρια που έχουμε θέσει, μέχρι την χρονική στιγμή που αναφέρεται στο αριστερό μέρος του πίνακα, σε τρεις προγνωστικές περιόδους 36, 24 και 12 ώρες πριν το γεγονός. Σε μία, τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφη, ανάγνωση προκύπτει ότι χρονικά, τουλάχιστον 36 ώρες νωρίτερα, έχει δοθεί εικόνα της έντασης και της χρονικής στιγμής της έξαρσης του γεγονότος. Στους μετεωρολογικούς χάρτες της Εικόνας 4, απεικονίζεται η χωρική κατανομή των πιθανοτήτων του Πίνακα 1 για την προγνωστική ώρα 1/2 – 03UTC. Η χρωματική κλίμακα από τα αριστερά προς τα δεξιά αναφέρεται σε πιθανότητα α) 5-35%, β) 35-65%, γ) 65-95% και δ) 95-100%.

Πίνακας 1. Η πιθανότητα ο 12ωρος αθροιστικός υετός να υπερβεί τα όρια των 30 και 50mm σε τρεις προγνωστικές περιόδους.

	P(%) > 30mm			P(%) > 50mm		
	Time before the event					
Forecast	36hr	24hr	12hr	36hr	24hr	12hr
31/1- 18UTC	35-65	65-95	100	0-35	0-35	0-35
31/1- 21UTC	65-95	100	100	35-65	0-35	35-65
1/2- 00UTC	100	100	100	35-65	35-65	65-95
1/2- 03UTC	100	100	100	65-95	65-95	100
1/2- 06UTC	100	100	100	35-65	35-65	65-95
1/2- 09UTC	65-95	100	100	35-65	35-65	35-65
1/2- 12UTC	65-95	65-95	65-95	0-35	0-35	0-35
Based on run	30/00UTC	30/12UTC	31/00UTC	30/00UTC	30/12UTC	31/00UTC



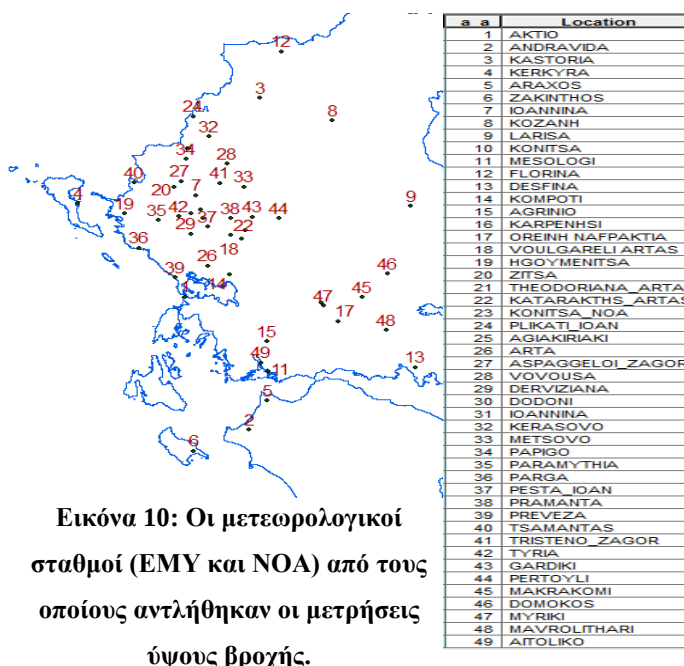


Εικόνα 4: Χωρική κατανομή των πιθανοτήτων του Πίνακα 1 για την προγνωστική ώρα 1/2 – 03UTC. Στην άνω σειρά η χωρική κατανομή της πιθανότητας για νετό τουλάχιστον 30mm το προηγούμενο 12ωρο και στην κάτω σειρά η πιθανότητα για νετό τουλάχιστον 50mm το προηγούμενο 12ωρο.

Αξιολόγηση

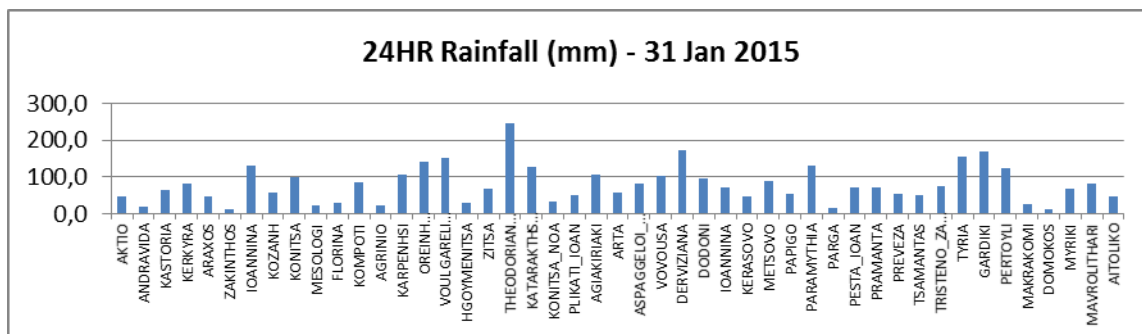
Η Εικόνα 5 δίνει την γεωγραφική κατανομή της θέσης των σταθμών μέτρησης (EMY και Εθνικού Αστεροσκοπείου) που χρησιμοποιήθηκαν για αξιολόγηση. Στα Διαγράμματα 1 και 2 απεικονίζονται τα αθροιστικά ύψη βροχής για τις 31 Ιανουαρίου και 1 Φεβρουαρίου του παραπάνω δικτύου

σταθμών. Είναι εμφανές ότι τα μέγιστα ύψη έχουν καταγραφεί στην περιοχή ενδιαφέροντος. Στο διάγραμμα 3 από τα διαθέσιμα δεδομένα τρίωρου ύψους βροχής, του δικτύου των σταθμών της EMY, επιβεβαιώνονται δύο μέγιστα βροχόπτωσης ένα το βράδυ της 31^{ης} Ιανουαρίου (18UTC) και το δεύτερο το ξημέρωμα της 1^{ης} Φεβρουαρίου (06UTC). Από τις ίδιες παρατηρήσεις προσδιορίστηκε ότι το ποσοστό πάνω από το 60% της αντίστοιχης αθροιστικής ημερήσιας βροχόπτωσης έπεσε το δεύτερο δωδεκάωρο της 31^{ης} Ιανουαρίου και το πρώτο της 1^{ης} Φεβρουαρίου.

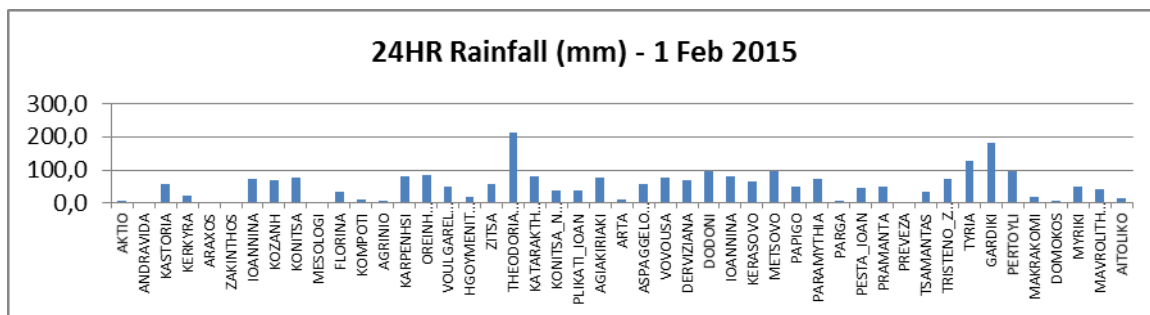


Εικόνα 10: Οι μετεωρολογικοί σταθμοί (EMY και NOA) από τους οποίους αντλήθηκαν οι μετρήσεις ύψους βροχής.

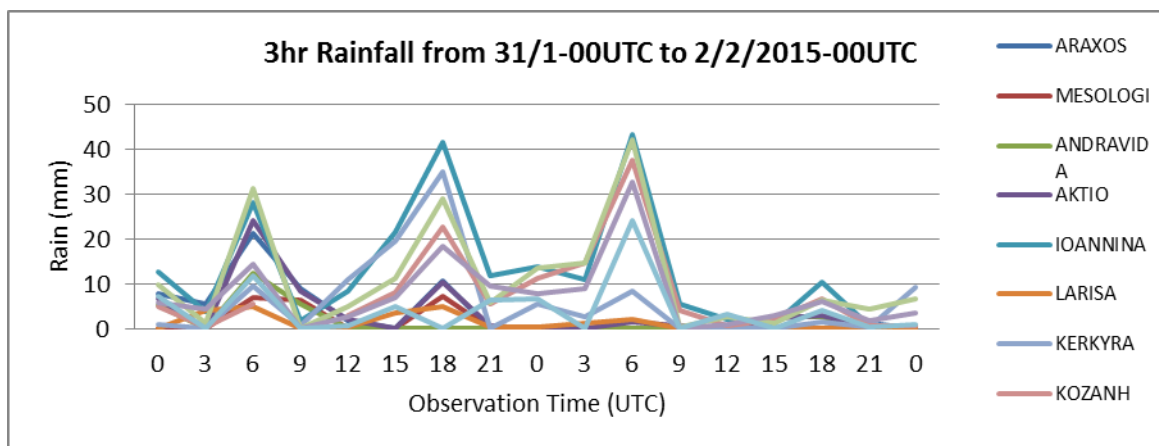
Με την εφαρμογή της μεθόδου Ordinary Kriging επιχειρήθηκε η χωρική ανάλυση και χαρτογράφηση των 24ωρων βροχοπτώσεων, της 31^{ης} Ιανουαρίου και 1^{ης} Φεβρουαρίου, από όπου απεικονίζονται γραφικά οι περιοχές που δέχτηκαν τα μεγαλύτερα ύψη βροχής (Εικόνα 6).



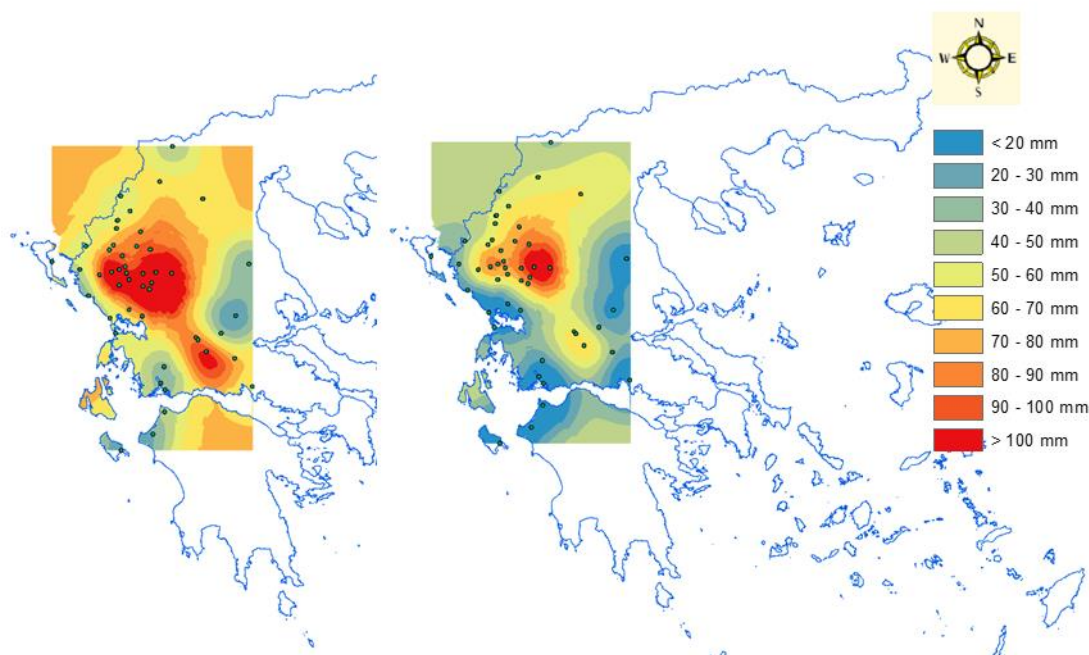
Διάγραμμα 1: Ύψος βροχής εικοσιτετράωρου (σε mm) από το δίκτυο σταθμών EMY και NOA την 31^η Ιανουαρίου 2015



Διάγραμμα 2: Ύψος βροχής εικοσιτετράωρου (σε mm) από το δίκτυο σταθμών EMY και NOA την 1^η Φεβρουαρίου 2015



Διάγραμμα 3: Χρονική εξέλιξη του τριώρου ύψους βροχής (σε mm) από 31/1 – 00UTC μέχρι 2/2/- 00UTC από το δίκτυο σταθμών της EMY



Εικόνα 6: Χωρική ανάλυση του 24ωρου ύψους βροχής της 31^{ης} Ιανουαρίου (αριστερά) και 1^{ης} Φεβρουαρίου (δεξιά) στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Συμπεράσματα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η παρούσα εργασία δεν εστιάζει στη μετεωρολογική διερεύνηση της συγκεκριμένης περίπτωσης, αλλά χρησιμοποιεί το γεγονός για να καταδείξει πως τα διαθέσιμα σύγχρονα μέσα μπορούν να συμβάλλουν στην ανάδειξη πληροφορίας που μπορεί να οδηγήσει σε αποτελεσματικότερη διαχείριση των φυσικών καταστροφών, που οφείλονται στα ακραία καιρικά γεγονότα. Τα διαγράμματα 1 και 2 καταδεικνύουν τα 24ωρα ύψη βροχής που καταγράφηκαν από ένα σύνολο θέσεων παρατήρησης και για τις δύο ημέρες. Με τη χρήση και σταθμών περιφερειακά της περιοχής μελέτης και τη χωρική ανάλυση της Εικόνας 6, εντοπίζονται τα μέγιστα των καταγραφών. Συμπληρωματικά οι τριώρες καταγραφές των σταθμών του δικτύου της ΕΜΥ (Διάγραμμα 3) εμφανίζει τα μέγιστα της βροχόπτωσης το βράδυ της 31^{ης} Ιανουαρίου μέχρι τις πρώτες πρωινές ώρες της 1^{ης} Φεβρουαρίου. Παρατηρούμε ότι έχουμε δύο τρίωρα, το τρίωρο πριν την 18UTC (20.00 τοπική ώρα) και την 06UTC (08.00 τοπική ώρα). Τα παραπάνω συνηγορούν στη θετική αξιολόγηση των προγνωστικών βοηθημάτων, τόσο της ανάλυσης προγνωστικά της συνοπτικής κατάστασης (παρ. 2.1 - Εικόνα 1), όσο και των προϊόντων που παρήχθησαν με βάση τις στοχαστικές προγνώσεις και την εφαρμογή ecCharts. Έτσι, η προγνωστική καθοδήγηση για την πιθανότητα να ξεπεραστούν τα «κατώφλια» που είχαν τεθεί (Πίνακας 1) αξιολογείται θετικά. Επίσης θετικά αξιολογείται και η χωρική κατανομή

αυτών των πιθανοτήτων της Εικόνας 4, καθόσον επιβεβαιώνεται από τη χωρική ανάλυση των παρατηρήσεων της Εικόνας 6. Ειδικά για την τελευταία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εγγενείς αδυναμίες χωρικής ανάλυσης της εν λόγω παραμέτρου όπως, η ακανόνιστη δομή του διαθέσιμου δικτύου, η ασυνέχεια της παραμέτρου ή η εξάρτησή της και από παράγοντες που δεν είναι σαφώς προσδιορισμένοι (Σκριμιζέας, 2014). Εν κατακλείδι, το εγχείρημα κρίνεται θετικό με την έννοια ότι, εκμεταλλευόμενοι σύγχρονα εργαλεία ανάλυσης της πληροφορίας, μπορούμε να παράγουμε, σε επιχειρησιακό χρόνο, προϊόντα που μπορούν να συμβάλλουν στη διαδικασία καθορισμού των προτεραιοτήτων στα κέντρα λήψης αποφάσεων, ιδιαίτερα κατά την κρίσιμη φάση της προετοιμασίας, με προφανές όφελος την ελαχιστοποίηση των συνολικών απωλειών, σε όλο τον κύκλο διαχείρισης μιας καταστροφής.

SPATIOTEMPORAL PREDICTION OF SEVERE WEATHER PAENOMENA USING STOHAISTICS FORECASTS: THE CASE STUDY OF INTENSE AND DEVASTATING RAINS OVER THE EXTENDED TERRITORY OF ARTA DURING THE PERIOD JANUARY 30 – FEBRUARY 1 2015

Papakrivou Anastasia¹, Skrimizeas Panagiotis²

¹Hellenic National Meteorological Service, El. Venizelou 14 16777 Elliniko
apapakrivou@hnms.gr,

²Hellenic National Meteorological Service, El. Venizelou 14 16777 Elliniko
pskrim@hnms.gr

Abstract

Nowadays there is a profound increase in the number of natural disasters attributed to severe weather events. Under these circumstances, it is the meteorologists' top priority to develop forecasts containing information concerning the degree of certainty with which these extreme events' severity and spatial footprint are predicted.

Towards this direction, the use of a mature forecasting meteorological product, such as stochastic (ensemble) forecasts, is proved to be the necessary added value to the till now supplied meteorological information.

Furthermore, ecCharts, a specially structured interactive environment (Web-GIS), developed by the European Centre for Medium Forecasts (ECMWF), provides the ability for targeted analysis and synthesis of meteorological information and thus for tailor made products to fit operational needs.

In this paper, by taking advantage of the possibilities ecCharts offers, we test the effectiveness of the ECMWF stochastic weather forecasts and demonstrate their utility in decision-making, under the supervision of an experienced weather forecaster. To do

so, we use as case study the region of Arta in northwest Greece, which experienced intense and devastating rains during the January 30 to February 1 2015 period.

Keywords: weather forecasts, weather extremes, stochastic - probabilistic forecasts

Βιβλιογραφία

- Bazza, Mohamed, 2013: “Drought preparedness, mitigation and responses” 2nd Regional Workshop for Latin America and the Caribbean, UN-Water (WMO, FAO et al) December 4-6, 2013, Fortaleza, Brazil (http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/571/mod_page/content/85/FAO.pdf - Last visit 09/05/2015).
- Buizza, R., 2006: The ECMWF Ensemble Prediction System. In: Predictability of Weather and Climate (Eds. Palmer T, Hagedorn R), Cambridge University Press, Cambridge, 459-488.
- ECMWF, 2013: “User guide to ECMWF forecast products” (http://old.ecmwf.int/products/forecasts/guide/user_guide.pdf - Last visit 11/05/2015)
- IPCC, 2011: “Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation”, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Kampala, Uganda. (https://www.ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-All_FINAL.pdf - Last visit 05/05/2015).
- Lorenz, E. N., 1993: The essence of chaos. UCL Press, pp 227.
- UN, 2015: “Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030”. UN World Conference on Disaster Risk Reduction, Sendai, Japan. (http://www.wcdrr.org/uploads/Sendai_Framework_for_Disaster_Risk_Reduction_2015-2030.pdf- Last visit 05/05/2015).
- WMO, 2013: “The Global Climate 2001-2010 – A Decade of Climates Extremes – Summary Report “. WMO No.1119, Geneva, Switzerland. (http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1119_en.pdf - Last visit 05/05/2015).
- Παπακρίβου Α., 2010: «Early Warnings for Extreme Weather Phenomena», 1st Interregional Conference “Regional Policies on Disaster Prevention” INTERREG IVC – ΓΤΠΣ, Αθήνα 24-25 Νοεμβρίου 2010.
- Σκριμιζέας Π., 2014: Εφαρμογές χωρικής ανάλυσης κλιματικών δεδομένων. Χαρτογράφηση βροχομετρικών δεδομένων στον ελληνικό χώρο. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωγραφίας, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου – Γεωπληροφορική, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ IRRIGATION ESTIMATION.

Α. Βουλγαράκης¹, Δ. Καλύβας¹

¹ Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα,
voulgarakisaua@yahoo.gr, kalivas@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε νερό καθιστούν το θέμα της εξοικονόμησης αρδευτικού νερού και της ορθολογικής άρδευσης μείζον θέμα για τη γεωργία. Σε αυτή την κατεύθυνση βασική αρχή αποτελεί η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών. Ωστόσο η διαφορετικότητα στις καλλιεργητικές πρακτικές, τα είδη των καλλιεργειών και στα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, δημιουργεί την ανάγκη για μεγάλο πλήθος μοντέλων και τεχνικών για την εκάστοτε εκτίμηση των αναγκών. Στην παρούσα μελέτη επιχειρείται μια συνδυαστική χρήση διεθνών προτύπων εκτίμησης αναγκών με γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα. Βασικό τμήμα της μελέτης αποτέλεσε η συλλογή και οργάνωση δεδομένων στο βασικό δομικό υλικό των GIS, τις γεωβάσεις. Μέσω γλώσσας προγραμματισμού VBA σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μέσα σε περιβάλλον GIS μία αυτοματοποιημένη μέθοδος απλή και φιλική προς τον χρήστη που επιτρέπει την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών. Η εφαρμογή IRrigation Estimation εφαρμόστηκε σε τμήμα του δικτύου ελεύθερης ζήτησης του τοπικού οργανισμού εγγείων βελτιώσεων Βαρυπέτρου Χανίων. Η χρήση τέτοιου είδους εφαρμογών σε αντίστοιχούς ΤΟΕΒ και οργανισμούς διαχείρισης αρδευτικού νερού θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο σχεδιασμού στρατηγικής και διαχείρισης δεδομένων.

Λέξεις-κλειδιά: Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών, IRE, VBA-GIS.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

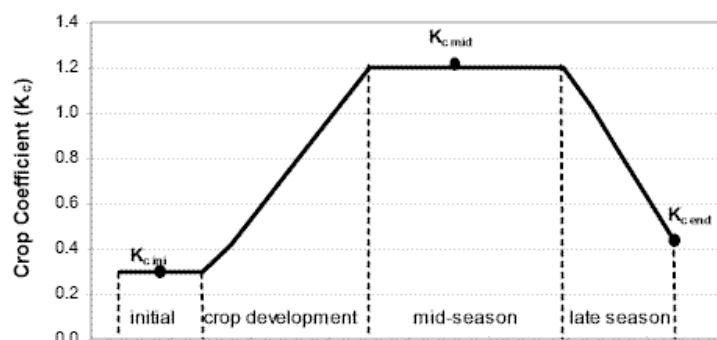
Η παρούσα μελέτη αποτελεί προσέγγιση του μείζονος θέματος της παγκόσμιας γεωργίας, της εξοικονόμησης υδατικών πόρων. Τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα αποτελούν μια σύγχρονη αξιόπιστη και αποτελεσματική βάση για τη δημιουργία εφαρμογών που συνδυάζουν πλήθος μεθόδων προτύπων και μοντέλων. Η χρήση των Γ.Π.Σ. στην εκτίμηση αρδευτικών αναγκών (Tzai-Hung Wen et al, 2004), (Heinemann et al, 2002) καθώς επίσης στην κατάρτιση αρδευτικών προγραμμάτων (Satti et al 2004), (Biju et al, 2004), (Georgoussis et al, 2009), (Fortes et al, 2005) αλλά και άλλων πρακτικών που σχετίζονται με την ορθολογική άρδευση (Todorovic et al,

2003), διαρκώς αυξάνει και αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι για μία ολοκληρωμένη αρδευτική μελέτη. Τα Γ.Π.Σ. μπορούν επίσης να αποτελέσουν ιδανικό περιβάλλον, ανάπτυξης αυτοματοποιημένων εφαρμογών για υπολογισμούς αρδευτικών παραμέτρων μέσω χρήσης γλωσσών προγραμματισμού συνδυάζοντας με αυτό τον τρόπο τα πλεονεκτήματα της χωρικής ανάλυσης (Papageorgiou et al, 2005). Η παρούσα μελέτη βασίστηκε σε διεθνή πρότυπα με αναγνωρισμένη εγκυρότητα καθώς επίσης και σε βιβλιογραφία με προσαρμοσμένα στα ελληνικά δεδομένα πρότυπα. Ο FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), το USDA (United States Department of Agriculture), το JRC (European Commission Joint Research Centre), αποτέλεσαν τη βάση στην οποία ξεκίνησε η δόμηση του ΓΠΣ μοντέλου υπολογισμού αρδευτικών αναγκών. Στη δόμηση του μοντέλου, πρωταρχικής σημασίας παράγοντες αποτέλεσαν το κλίμα, το έδαφος, η καλλιέργεια και η ήδη υπάρχουσα άρδευση. Οι παραπάνω παράμετροι σε συνδυασμό με τις βασικές δομές και τις διεργασίες των ΓΠΣ καθώς επίσης μαθηματικά μοντέλα και πειραματισμός αποτέλεσαν τα βασικά δομικά συστατικά για την ολοκλήρωση της εφαρμογής εκτίμησης αρδευτικών αναγκών.

1.1. Είδος καλλιέργειας

Τα φυτικά είδη διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά την περίοδο ανάπτυξης, την πυκνότητα του φυλλώματος, το ύψος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος. Οι διαφορές αυτές σε συνδυασμό με τις συνθήκες του περιβάλλοντος μπορεί να διαφοροποιήσουν το μέγεθος της εξατμισοδιαπνοής και την κατανομή της στον χώρο από είδος σε είδος. Κατά τους Doorenbos και Pruitt (1977), οι φυτικοί συντελεστές αντιπροσωπεύουν τον λόγο της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας προς την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς χορτοτάπητα. Τα μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την έρευνα βασίστηκαν σε φυτικούς συντελεστές οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς για τον υπολογισμό των αναγκών σε νερό των διαφόρων καλλιεργειών. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή των φυτικών συντελεστών, είναι τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, η εποχή σποράς ή φύτευσης, ο ρυθμός ανάπτυξης της καλλιέργειας, η διάρκεια της βλαστικής περιόδου, οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες. Για τις περιοχές μελέτης χρησιμοποιήθηκαν φυτικοί συντελεστές προσαρμοσμένοι στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδος για τη συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε διάγραμμα κατανομής (Σχήμα 1) του φυτικού συντελεστή K_c που δείχνει τη μεταβολή

του φυτικού συντελεστή κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου (Παπαζαφειρίου 1999).



Σχήμα 1: Διάγραμμα κατανομής φυτικού συντελεστή κατά τη περίοδο της βλαστικής περιόδου

1.2. Κλίμα

Το κλίμα είναι η παράμετρος η οποία προσδίδει τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα στα δεδομένα υπολογισμού του αρδευτικού νερού. Μεταβάλλεται τόσο ανά περιοχή όσο και κατά την πάροδο του χρόνου. Μέσω όλων των παραμέτρων που συμμετέχουν για τον καθορισμό του κλίματος υπολογίζουμε δύο πολύ βασικές μεταβλητές οι οποίες συμμετέχουν στην εκτίμηση των αναγκών. Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας η οποία εκφράζει την ποσότητα του νερού που απομακρύνεται από το σύστημα έδαφος-φυτό μέσω εξάτμισης και διαπνοής και την ωφέλιμη βροχόπτωση που εκφράζει το μέρος της ολικής βροχής που αποθηκεύεται στο έδαφος στο βάθος του ριζοστρώματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των αναγκών σε νερό.

Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής κάθε καλλιέργειας αρχικά είναι απαραίτητη η εύρεση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_r). Η μέθοδος η οποία επιλέχθηκε για τον συγκεκριμένο προσδιορισμό είναι η συνδυασμένη μέθοδος Penman-Monteith κατά FAO. Υπό τις υφιστάμενες σήμερα συνθήκες η ET_r που υπολογίζεται με τη συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO πρέπει να θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει την εξατμισοδιαπνοή από χλοοτάπητα κατά τη διαδικασία προσδιορισμού των φυτικών συντελεστών των καλλιεργειών. Αυτό αποτελεί τη σύσταση της Επιτροπής Ειδικών του FAO και βασίζεται στην ανάγκη ύπαρξης ενός τυποποιημένου ορισμού της ET_r, με βάση τον οποίο θα γίνονται όλες οι συγκρίσεις. Η μορφή της εξίσωσης είναι η ακόλουθη (Allen et al. 1998):

$$ET_r = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

Όπου: ETr η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς χορτοτάπητα σε [mm/ day], Rn η καθαρή ακτινοβολία και G η αισθητή θερμότητα εδάφους σε [MJ/m² day], T η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε [°C], u₂ η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m σε [m/ s], e_s e_a πίεση κορεσμού και πραγματική πίεση υδρατμών είναι σε [kPa], Δ είναι η κλίση της γραμμής στη σχέση πίεσης κορεσμού υδρατμών θερμοκρασίες και γ είναι η ψυχομετρική σταθερά σε [kPa /°C].

Η ωφέλιμη βροχόπτωση μπορεί να υπολογιστεί με μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης εφόσον υπάρχει επάρκεια ημερησίων δεδομένων όπως ημερήσια μεταβολή εδαφικής υγρασίας, εξάτμισης, διηθητικότητας και σχέσεις εδαφικής υγρασίας και ETr. Στην περίπτωση απουσίας στοιχείων ημερήσιας βάσης για τη χρήση τέτοιων μοντέλων η USDA Soil Conservation Service έδωσε μία σχέση η οποία υπολογίζει τη μηνιαία ωφέλιμη βροχόπτωση ως σχέση της ολικής βροχόπτωσης.

$$P_{eff} = \frac{P_{month} * (125 - 0,6 * P_{month})}{125} \text{ for } P_{month} \leq 250\text{mm} \quad (2)$$

$$P_{eff} = \frac{125}{3 + 0,1 * P_{month}} \text{ for } P_{month} > 250\text{mm} \quad (3)$$

Όπου, P_{eff} η ωφέλιμη βροχόπτωση

και P_{month} η συνολική μηνιαία βροχόπτωση

Η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους σε νερό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους στη ζώνη των ριζών, το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από την προηγούμενη βροχή ή άρδευση και το επίπεδο υποβιβασμού της εδαφικής υγρασίας. Γενικότερα η ωφέλιμη βροχή αυξάνει ως ποσοστό της ολικής βροχής όταν η εξατμισοδιαπνοή είναι αυξημένη και η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους είναι μεγάλη (Dastane, 1974).

1.3. Έδαφος

Η ωφέλιμη υγρασία του εδάφους εκφράζει το νερό που συγκρατείται από το έδαφος στη ζώνη του ριζοστρώματος, μεταξύ υδατοϊκανότητας και μόνιμου σημείου μάρανσης. Είναι δηλαδή η ποσότητα του νερού, η οποία μπορεί ευχερώς να προσλαμβάνεται από την καλλιέργεια. Ο προσδιορισμός της ελάχιστης επιτρεπόμενης υγρασίας είναι ανέφικτος από πρακτικής απόψεως λόγω των άπειρων συνδυασμών των χαρακτηριστικών εδάφους-καλλιέργειας-κλίματος που μπορεί να διαμορφώνονται σε κάθε περίπτωση. Για τον λόγο αυτό έχει υιοθετηθεί η πρακτική η ωφέλιμη υγρασία να εκφράζεται ως ποσοστό της διαθέσιμης υγρασίας. Το ποσοστό αυτό αναφέρεται σαν

συντελεστής ωφελιμότητας F. Η παρακάτω σχέση προσδιορίζει την εδαφική υγρασία στο βάθος ριζοστρώματος.

$$USM = F * \frac{FC-PWP}{100} * p_b * RD \quad (4)$$

Όπου USM η ωφέλιμη εδαφική υγρασία, F είναι ο συντελεστής ωφελιμότητας, FC είναι η υδατοϊκανότητα του εδάφους, PWP είναι το σημείο μόνιμης μάρανσης που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο εδάφους, p_b είναι η φαινόμενη ειδική πυκνότητα του εδάφους και RD είναι το βάθος ριζοστρώματος της καλλιέργειας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι για τους υπολογισμούς θεωρήσαμε ότι κατά τη σπορά ή την έναρξη της αρδευτικής περιόδου, η διαθέσιμη εδαφική υγρασία στο έδαφος είναι ίση με την υδατοϊκανότητα, δηλαδή στο ριζόστρωμα η αποθηκευμένη υγρασία είναι ίση με την ωφέλιμη. Επομένως οι παραπάνω παράγοντες σχετίζονται άμεσα με τη μηχανική σύσταση του εδάφους (Παπαζαφειρίου 1999).

1.4. Αποδοτικότητα άρδευσης

Τα αρδευτικά δίκτυα, ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του νερού, διακρίνονται σε επιφανειακά και υπό πίεση. Ένα τυπικό αρδευτικό έργο αποτελείται από το δίκτυο των αγωγών μεταφοράς ή δίκτυο μεταφοράς και από τους αγωγούς από τους οποίους το νερό παροχετεύεται στο χωράφι και λέγεται δίκτυο εφαρμογής. Μέθοδος άρδευσης είναι ο τρόπος με τον οποίο το νερό εφαρμόζεται στο χωράφι. Οι μέθοδοι άρδευσης μπορεί να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: τις επιφανειακές, τις μεθόδους καταιονισμού και τη στάγδην άρδευση. Η αποδοτικότητα άρδευσης εκφράζεται ως το γινόμενο δύο συντελεστών διανομής και εφαρμογής. Η αποδοτικότητα διανομής E_d εκφράζει τον βαθμό πού ένα αρδευτικό δίκτυο διανέμει το νερό στους αγωγούς μεταφοράς. Ο βαθμός αυτός αυξάνει με το κατά πόσο ικανοποιητικά λειτουργεί το δίκτυο. Η αποδοτικότητα εφαρμογής E_f εκφράζει τον βαθμό με τον οποίο η μέθοδος άρδευσης εφαρμόζει το νερό στην αρδευτική περίμετρο (Doorenbos et al. 1977).

Πίνακας 1. Αποδοτικότητα διανομής και εφαρμογής σύμφωνα με τον τύπο δικτύου και τη μέθοδο άρδευσης

ΤΥΠΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑ	ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Ed
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ - ΑΡΙΣΤΗ	0,60-0,75
	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	0,50-0,60
	ΕΛΛΙΠΗΣ	0,35-0,50
	ΚΑΚΗ	0,20-0,35
ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ ΔΙΚΤΥΑ	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ - ΑΡΙΣΤΗ	0,80-0,90
ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ		ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ Ef
ΚΑΤΑΚΛΥΣΗ (ΛΕΚΑΝΕΣ)		0,60-0,80
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΔΙΑΧΥΣΗ (ΛΩΡΙΔΕΣ)		0,60-0,75
ΑΥΛΑΚΙΑ		0,50-0,75
ΚΑΤΑΙΟΝΙΣΜΟΣ		0,60-0,80
ΜΙΚΡΟΑΡΔΕΥΣΗ		0,80-0,95

1.5. Τελικοί υπολογισμοί

Στους τελικούς υπολογισμούς των εκτιμώμενων αρδευτικών απαιτήσεων των καλλιεργειών θα έπρεπε να υπολογιστούν τρεις βασικές παράμετροι οι οποίες εισάγονται στην τελική εξίσωση. Η ωφέλιμη εδαφική υγρασία, η εξατμισοδιαπνοή των φυτών και η αποδοτικότητα άρδευσης. Και οι τρεις αυτές παράμετροι υπολογιστήκαν σε περιβάλλον ΓΣΠ με απλές αλγεβρικές πράξεις μεταξύ των πινάκων των περιγραφικών χαρακτηριστικών των δεδομένων.

Στον πίνακα των αγροτεμαχίων ο οποίος έχει προκύψει από τις παραπάνω διαδικασίες έλαβαν χώρα οι τελικές υπολογιστικές πράξεις. Υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή δεκαημέρου για κάθε φυτικό είδος ως γινόμενο της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και του αντίστοιχου φυτικού συντελεστή Kc. Επόμενο βήμα αποτέλεσε ο υπολογισμός της ωφέλιμης εδαφικής υγρασίας. Για τον συγκεκριμένο υπολογισμό χρησιμοποιήθηκαν τα εδαφικά χαρακτηριστικά τα οποία έχουν αντιστοιχιστεί σε κάθε αγροτεμάχιο. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τον συγκεκριμένο υπολογισμό θεωρήθηκε ότι το έδαφος βρίσκεται στην υδατοϊκανότητα δηλαδή έχει τη μέγιστη αποθηκευμένη ποσότητα νερού στο έδαφος. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι καθαρές αρδευτικές ανάγκες οι οποίες ουσιαστικά προκύπτουν από την αφαίρεση της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας, της ωφέλιμης βροχόπτωσης και της ωφέλιμης εδαφικής υγρασίας. Για το πρώτο δεκαήμερο το οποίο χρήζει αρδευτικής εφαρμογής αφαιρείται η ωφέλιμη εδαφική υγρασία ενώ στη συνέχεια απλά αφαιρείται η ωφέλιμη βροχόπτωση.

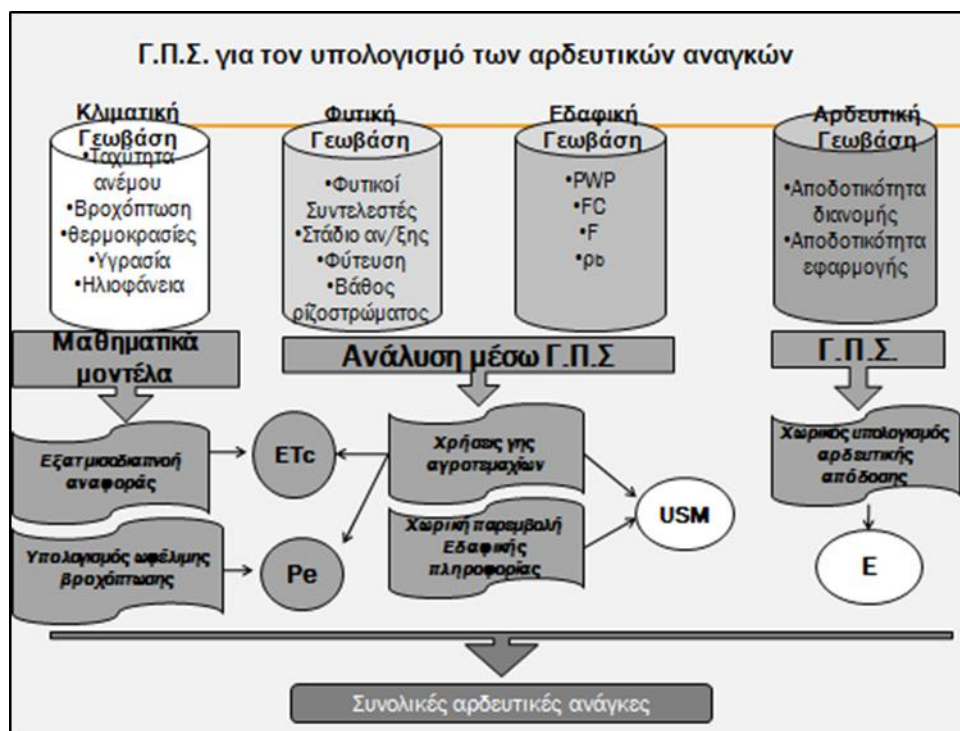
$$IR_n = ET_c - (P_e + UMS) \quad (5)$$

Επόμενη παράμετρος η οποία υπολογίστηκε ήταν η αποδοτικότητα άρδευσης η οποία υπολογίζεται σαν γινόμενο της αποδοτικότητας της μεθόδου άρδευσης και της αποδοτικότητας της διανομής από την πηγή των υδάτων. Συνεπώς οι συνολικές ολικές αρδευτικές ανάγκες εκτιμώνται για κάθε εκμετάλλευση ξεχωριστά μέσω του παρακάτω τύπου ο οποίος επίσης εφαρμόζεται μέσα σε περιβάλλον πινάκων στο ΓΣΠ.

$$IR_t = IR_n / (E_d * E_f) \quad (6)$$

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η δομή του μοντέλου για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών βασίστηκε στα θεμελιώδη δομικά υλικά ενός Γ.Π.Σ., τις γεωβάσεις μέσω των οποίων υπολογίστηκαν βασικοί παράμετροι για την υλοποίηση της μελέτης καθώς επίσης και σε διεργασίες γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων οι οποίες επέτρεψαν την εις βάθος ανάλυση του ζητήματος. Η μοντελοποίηση όλων των παραπάνω παραμέτρων μας οδήγησε στη δημιουργία ενός Γ.Π.Σ. το οποίο υπολογίζει τις αρδευτικές ανάγκες των αγροτεμαχίων στην περιοχή του αρδευτικού μας δικτύου σε περίοδο δεκαημέρου. Για την ολοκλήρωση του συστήματος κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία ενός παραθυρικού προγράμματος εντός περιβάλλοντος Γ.Π.Σ. το οποίο θα επέτρεπε στον χρήστη να φτάσει στον στόχο του υπολογισμού των αναγκών μέσω απλών βημάτων. Για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του προγράμματος χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού VBA (Visual Basic for Applications) η οποία βρίσκεται ενσωματωμένη στο λογισμικό του Γ.Π.Σ. που χρησιμοποιήσαμε και μας επέτρεψε την άριστη συνεργασία μεταξύ GIS διεργασιών και μοντελοποίησης με γλώσσα προγραμματισμού.



Σχήμα 2: Μοντέλο υπολογισμού αρδευτικών αναγκών σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων- IRrigationEstimation

2.1. Γενικά περί Γεωβάσεων

Το λογισμικό ArcGIS λειτουργεί με γεωγραφική πληροφορία οργανωμένη σε γεωβάσεις όπως και σε άλλου είδους διαμορφώσεις συμβατές με γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα. Η γεωβάση αποτελεί τη βασική δομή πληροφορίας για την επεξεργασία και διαχείριση δεδομένων. Η συγκεκριμένη δομή πληροφορίας λειτουργεί σε ένα μεγάλο φάσμα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, συστημάτων αρχείων, υποστηρίζει δομές διαφόρων μεγεθών και διαχειρίζεται από έναν ή περισσότερους χρήστες. Η γεωβάση αποτελεί μία συλλογή γεωγραφικών δεδομένων διαφόρων μορφών που είναι δομημένα σε συγκεκριμένα συστήματα διαχείρισης αρχείων, όπως σε αρχεία Microsoft Access ή σε βάσεις δεδομένων πολλαπλών χρηστών. Η γεωβάση περιέχει τρεις βασικούς τύπους δεδομένων: α) διανυσματικά δεδομένα, β) πλεγματικά δεδομένα και γ) πίνακες. Η δημιουργία μίας συλλογής με τους παραπάνω τύπους δεδομένων είναι το πρώτο βήμα στον σχεδιασμό και στη δημιουργία της γεωβάσης. Οι χρήστες συνήθως ξεκινούν με την απλή εισαγωγή τέτοιων δεδομένων και στην συνέχεια προσθέτουν στοιχεία που σχετίζονται με την τοπολογία, τα δίκτυα καθώς επίσης και τη μοντελοποίηση του Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος.

2.1.1. Κλιματική Γεωβάση

Η κλιματική γεωβάση αποτέλεσε το πρώτο κομμάτι στη γενική σχεδίαση του Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος εκτίμησης αρδευτικών αναγκών. Αρχικά

αναζητήθηκε και δημιουργήθηκε ένα σημειακό διανυσματικό αρχείο με πληροφορία για τη χωρική θέση καθώς επίσης και το όνομα του κάθε σταθμού. Για τη χωρική απεικόνιση των σημείων χρησιμοποιήθηκε το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν πίνακες με τα μετεωρολογικά δεδομένα από τον κάθε σταθμό. Πίνακες δημιουργήθηκαν για τη μέση μέγιστη θερμοκρασία δεκαημέρου, για τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία δεκαημέρου, για τη μέση σχετική υγρασία δεκαημέρου, για τη μέση ταχύτητα ανέμου στα 2m ανά δεκαήμερο, για τη μηνιαία βροχόπτωση και για τη μέση ηλιακή ακτινοβολία δεκαημέρου. Η παραπάνω οργάνωση δεδομένων αποτέλεσε τη βάση για τον υπολογισμό των δύο βασικών παραμέτρων που συμμετέχουν στην εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών σε νερό: α) την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και β) την ωφέλιμη βροχόπτωση. Ο υπολογισμός τους έγινε για κάθε σημείο στο οποίο αντιστοιχούσε ο σταθμός παρατήρησης. Στη συνέχεια με μεθόδους χωρικής παρεμβολής, δημιουργήθηκε για κάθε μία μεταβλητή, από τα σημειακά δεδομένα, συνεχής επιφάνεια η οποία έχει σε κάθε σημείο του χώρου τιμή για τη συγκεκριμένη ιδιότητα. Συνεχείς επιφάνειες δημιουργήθηκαν για τις τιμές της εξατμισοδιαπνοής ανά δεκαήμερο και για τις τιμές της ωφέλιμης βροχόπτωσης ανά δεκαήμερο. Τέλος με διαδικασίες ΓΠΣ έγινε μετατροπή των συνεχών επιφανειών σε διανυσματικά δεδομένα για την καλύτερη επεξεργασία τους και εισαγωγή αυτών στο Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα.

Συνοπτικά μετά την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε γεωβάση με τα εξής δεδομένα: 1) Μέση, ελάχιστη, μέγιστη θερμοκρασία δεκαημέρου, 2) Μέση ταχύτητα ανέμου στα 2m δεκαημέρου, 3) Μέση ηλιακή ακτινοβολία δεκαημέρου, 4) Μέση σχετική υγρασία δεκαημέρου, 5) Βροχόπτωση δεκαημέρου, 6) Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς δεκαημέρου, 7) Ωφέλιμη βροχόπτωση δεκαημέρου.

2.1.2. Εδαφική Γεωβάση

Η εδαφική γεωβάση περιέχει εδαφικά χαρακτηριστικά από τις εδαφολογικές αναλύσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο εδαφολογίας και γεωργικής Χημείας του Γ.Π.Α. και τους εδαφολογικούς χάρτες της περιοχής ώστε να οργανώσει τα εδαφολογικά δεδομένα σε μορφή αξιοποιήσιμη από το Γ.Π.Σ. Επίσης μέσω διεργασιών Γ.Π.Σ. (χωρική παρεμβολή) προέκυψαν συνεχείς επιφάνειες πλεγματικών δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό προσδόθηκαν τιμές εδαφολογικών παραμέτρων σε όλα τα αγροτεμάχια τα οποία μετείχαν στην έρευνα. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν πίνακες με στοιχεία που σχετίζονται με την κοκκομετρία του εδάφους και συμμετέχουν στον υπολογισμό της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας. Οι πίνακες που δημιουργήθηκαν ήταν

πίνακες με την υδατοϊκανότητα του κάθε εδάφους, το σημείο μόνιμης μάρανσης και με τη φαινόμενη ειδική πυκνότητα.

Συνοπτικά μετά την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε γεωβάση με τα εξής δεδομένα: 1) Κοκκομετρική σύσταση εδάφους από 0-30 cm, 2) Κοκκομετρική σύσταση εδάφους από 30-60 cm, 3) pH, 4) Παρουσία ανθρακικών αλάτων, 5) Υδατοϊκανότητα, 6) Σημείο μόνιμης μάρανσης, 7) Φαινόμενη ειδική πυκνότητα.

2.1.3. Φυτική Γεωβάση

Στη φυτική γεωβάση δημιουργήθηκαν πίνακες οι οποίοι περιείχαν πληροφορίες σχετικά με τις επικρατούσες καλλιέργειες, τις καλλιεργητικές τεχνικές, τις ημερομηνίες φύτευσης, τα στάδια ανάπτυξης του κάθε είδους, το βάθος ριζοστρώματος και τον συντελεστή ωφελιμότητας. Στον συγκεκριμένο πίνακα προστεθήκαν τιμές του φυτικού συντελεστή Kc ο οποίος υπολογίστηκε για κάθε φυτό ξεχωριστά. Στον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκαν φυτικοί συντελεστές καλλιεργειών προσαρμοσμένοι στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδος, για χρήση με την τροποποιημένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO. Σε κάθε καλλιέργεια προσδόθηκε μία τιμή φυτικού συντελεστή ανά δεκαήμερο, ξεκινώντας από το πρώτο δεκαήμερο Απριλίου και καταλήγοντας στο τρίτο δεκαήμερο Οκτωβρίου, πάντα λαμβάνοντας υπόψη τις ημερομηνίες φύτευσης και τις ημερομηνίες εμφάνισης των φαινολογικών σταδίων κάθε φυτού.

Συνοπτικά μετά την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε γεωβάση με τα εξής δεδομένα: 1) Στάδιο ανάπτυξης, 2) Βάθος ριζοστρώματος, 3) Φυτικός συντελεστής Kc δεκαημέρου.

2.1.4. Αρδευτική Γεωβάση

Στην αρδευτική γεωβάση καταχωρήθηκαν στοιχεία σχετικά με τον τύπο του αρδευτικού δικτύου και τη μέθοδο εφαρμογής των υδάτων. Σημαντικό σημείο που διαφοροποιεί τους δείκτες είναι η κατάσταση και η συντήρηση του δικτύου.

Συνοπτικά μετά την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε γεωβάση με τα εξής δεδομένα: 1) Τύπος αρδευτικού δικτύου, 2) Μέθοδος εφαρμογής.

2.1.5. Γεωβάση Αγροτεμαχίων

Η συγκεκριμένη Γεωβάση αποτελεί το υπόβαθρο πάνω στο οποίο γίνονται όλοι οι τελικοί υπολογισμοί και συνδέει όλα τα παραπάνω δεδομένα μεταξύ τους. Προέκυψε από ενδελεχή καταγραφή όλων των αγροτεμαχίων που αρδεύονται από το υπό μελέτη δίκτυο, μέσω έρευνας στο πεδίο με τη χρήση φορητού συστήματος καταγραφής και ψηφιοποίησης. Περιέχει πληροφορίες σχετικά με την ακριβή θέση του αγροτεμαχίου, την έκταση, την τοπογραφία του, την διάταξη και τα χαρακτηριστικά του αρδευτικού

υποδικτύου, το είδος της καλλιέργειας και την κατανάλωση αρδευτικού νερού σε προηγούμενες αρδευτικές περιόδους. Σημαντικό στοιχείο αποτελεί επίσης η υδροληψία από την οποία υδροδοτείται καθώς αποτελεί το κομμάτι σύνδεσης με τα στοιχεία του δικτύου άρδευσης.

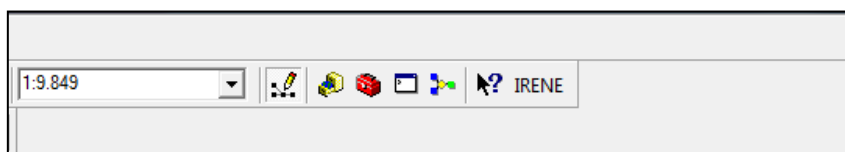
Συνοπτικά μετά την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε γεωβάση με τα εξής δεδομένα: 1) Θέση, 2) Έκταση, 3) Τοπογραφικά χαρακτηριστικά, 4) Αρδευτικό υποδίκτυο, 5) Καλλιέργεια, 6) Ιστορικό αρδευτικής κατανάλωσης.

2.3. Η Εφαρμογή IRrigation Estimation

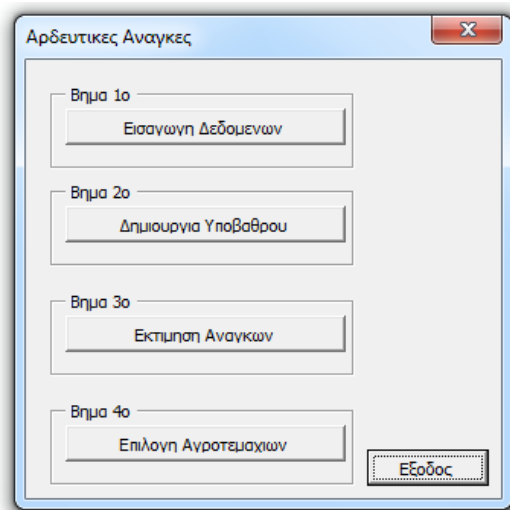
Η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών αποτελεί ένα πολύπλοκο ζήτημα και ως εκ τούτου η απλότητα και η ευκολία στη χρήση από κάποιο άπειρο αποτέλεσαν οδηγό κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση της εφαρμογής. Η εύρεση, συλλογή και οργάνωση των δεδομένων αποτελεί μια απαιτητική σε χρόνο και γνώση εργασία. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε μια απλοποιημένη φόρμα η οποία καθοδηγεί τις ενέργειες του χρήστη μέχρι τον τελικό στόχο, δηλαδή την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών. Για να μπορεί να είναι διαχειρίσιμη και επεξεργάσιμη από τον χρήστη παρέχονται όλα τα απαιτούμενα εργαλεία. Έτσι επιλέχθηκε η δημιουργία ενός παραθυριακού υποπρογράμματος το οποίο εκτελεί διεργασίες GIS και οδηγεί τον χρήστη με απλά βήματα στον τελικό στόχο.

Το πρόγραμμα στο οποίο πραγματοποιήθηκε η ανάλυση επεξεργασία και οργάνωση των δεδομένων είναι το ArcMap 9.3 της ESRI. Στο περιβάλλον του ίδιου προγράμματος μέσω της γλώσσας προγραμματισμού VBA επιχειρήθηκε να δημιουργηθεί ένα παραθυρικό πρόγραμμα-εφαρμογή για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών.

Για την εκτέλεση της εφαρμογής ορίζεται σαν προϋπόθεση η ύπαρξή τριών επιπέδων πληροφορίας, τα οποία προέκυψαν από τις παραπάνω διεργασίες Γ.Π.Σ. Συγκεκριμένα ένα επίπεδο πληροφορίας με κλιματικά δεδομένα, ένα με εδαφολογικά δεδομένα και ένα τελευταίο με δεδομένα από τις καλλιέργειες. Τα παραπάνω δεδομένα αποθηκεύθηκαν στους αντίστοιχους φακέλους με τα μη επεξεργασμένα στοιχεία και τις γεωβάσεις



Εικόνα 1: Η θέση του IRENE στη βασική εργαλειομπάρα του προγράμματος ArcMap



Εικόνα 2: Φόρμα εκτίμησης Αρδευτικών Αναγκών

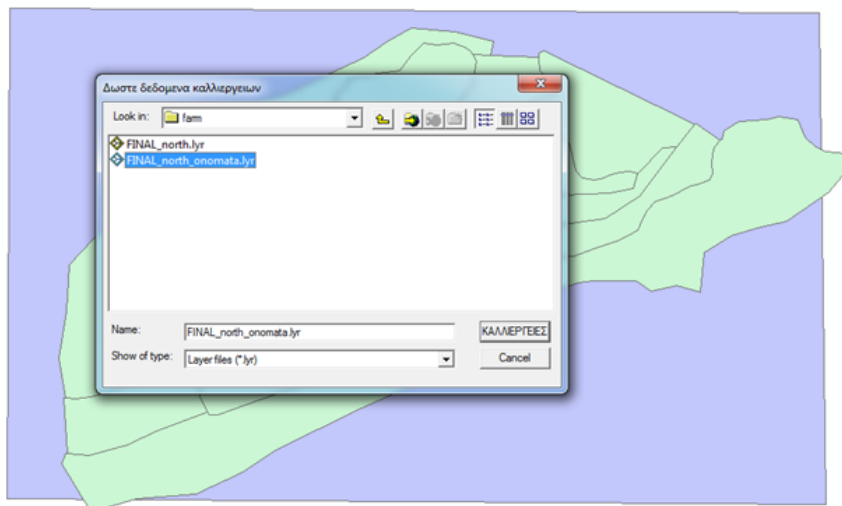
2.3.1. Βήμα 1^ο

Η “Εισαγωγή Δεδομένων” ουσιαστικά αποτελεί το τμήμα του προγράμματος το οποίο εξυπηρετεί στο να δομηθεί έτσι η παρεχόμενη πληροφορία ώστε να λειτουργήσει το πρόγραμμα και να δώσει αποτελέσματα. Το πρώτο μήνυμα που εμφανίζεται προειδοποιεί τον χρήστη να απομακρύνει όλα τα επίπεδα πληροφορίας από το ενεργό data frame ώστε να συνεχίσει.

Αφού απομακρυνθούν όλα τα layer από το ενεργό data frame ζητείται να εισάγουμε α) το κλιματικό επίπεδο πληροφορίας. Επιλέγοντας ότι συμφωνούμε με την υπόδειξη του συστήματος οδηγούμαστε αυτόματα και χωρίς διαδικασίες αναζήτησης και εισαγωγής δεδομένων στην κλιματική γεωβάση όπου έχουμε επεξεργαστεί τα κλιματικά μας δεδομένα. Επιλέγουμε το επίπεδο πληροφορίας για τη περιοχή που μας ενδιαφέρει και το εισάγουμε στο σύστημα. Στη συνέχεια ζητείται να εισάγουμε β) το εδαφολογικό επίπεδο πληροφορίας. Με τον ίδιο τρόπο το σύστημα μας παραπέμπει στην ήδη επεξεργασμένη εδαφική γεωβάση και συνεχίζουμε επιλέγοντας το εδαφικό layer που μας ενδιαφέρει.

Τέλος γ) το επίπεδο πληροφορίας των καλλιεργειών. Η παραπομπή γίνεται στην επεξεργασμένη γεωβάση των αγροτεμαχίων η οποία έχει ενημερωθεί και με τα στοιχεία των καλλιεργειών από τη φυτική γεωβάση αλλά και τους συντελεστές άρδευσης από την αρδευτική γεωβάση.

Στην οθόνη του υπολογιστή εμφανίζονται τρία πολυγωνικά επίπεδα πληροφορίας τα οποία περιέχουν όλο τον απαιτούμενο όγκο δεδομένων για να συνεχιστεί η ανάλυση μας.



Εικόνα 3: Παράθυρο διαλόγου για την πρόσθεση του επιπέδου πληροφοριών των καλλιεργειών (αυτόματο άνοιγμα του αντίστοιχου φακέλου “farm”)

2.3.2. Βήμα 2ο

Για να προχωρήσουμε στους τελικούς υπολογισμούς απαραίτητη προϋπόθεση είναι η δημιουργία του τελικού υποβάθρου το οποίο θα περιλαμβάνει όλη την απαιτούμενη πληροφορία σε ένα layer. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του 2^{ου} βήματος όπου μέσω διεργασιών Γ.Π.Σ. και συγκεκριμένα δυο χωρικών ενώσεων διανυσματικών αρχείων (spatial join) φτάνουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Με τον όρο χωρική ένωση δηλώνουμε μια διαδικασία ένωσης στην οποία τα πεδία ενός πίνακα χαρακτηριστικών ενός επιπέδου πληροφορίας, προσδίδονται στον πίνακα ενός άλλου επίπεδου πληροφορίας βασιζόμενα στη σχετική θέση αυτών των δύο επιπέδων. Αρχικά εκτελείται μια χωρική ένωση μεταξύ κλιματικών και εδαφολογικών δεδομένων κατά την οποία προκύπτει ένα υπό-επίπεδο πληροφορίας που περιέχει την εδαφοκλιματική πληροφορία. Το αρχείο αυτό αποθηκεύεται, στη συνέχεια ενώνεται χωρικά με το επίπεδο πληροφορίας των καλλιεργειών, για να προκύψει το τελικό επίπεδο πληροφορίας.

Αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι ένα πολυγωνικό διανυσματικό αρχείο το οποίο χωρικά απεικονίζει τα αγροτεμάχια της περιοχής μελέτης και περιέχει εκτός των άλλων τα κλιματολογικά δεδομένα που επηρεάζουν το συγκεκριμένο αγροτεμάχιο καθώς και τα εδαφολογικά του χαρακτηριστικά.

2.3.3. Βήμα 3ο

Στον επεξεργασμένο και ενημερωμένο πίνακα των αγροτεμαχίων βρίσκεται το σύνολο της απαιτούμενης πληροφορίας, ώστε να υπολογιστούν όλες οι παράμετροι που θα μας οδηγήσουν στον τελικό υπολογισμό των συνολικών αρδευτικών αναγκών. Η μεθοδολογία και οι μαθηματικοί τύποι που έχουν αναφερθεί προηγουμένως απαιτούν

έναν σύνθετο υπολογισμό παραμέτρων που θα συνθέσουν τους παράγοντες που θα συμμετάσχουν στους τελικούς υπολογισμούς του συστήματος. Κατά τον προγραμματισμό με τη χρήση της VBA έπρεπε να οριστούν πάνω από 70 παράμετροι οι οποίοι θα λειτουργούσαν ταυτόχρονα και συνδυαστικά ώστε να προκύψει τελικό αποτέλεσμα. Κάποιοι από τους επιμέρους υπολογισμούς του συστήματος υπολόγισαν τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία USM, την αποτελεσματικότητα άρδευσης E, την εξατμισοδιαπνοή καλλιεργειών ETc, την ωφέλιμη βροχόπτωση Peff και τις καθαρές αρδευτικές ανάγκες IRn. Επιλέγοντας από το πρόγραμμα “Εκτίμηση Αναγκών” προστίθεται αυτόματα σε κάθε εγγραφή (που αντιστοιχεί σε κάθε αγροτεμάχιο) ένα πεδίο στο οποίο βάσει των παραπάνω έχει υπολογιστεί η Συνολική Αρδευτική Απαίτηση για το χρονικό διάστημα που έχει οριστεί. Στον πίνακα του υποβάθρου για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών, ο οποίος έχει προκύψει από τις παραπάνω διαδικασίες, θα λάβουν χώρα οι τελικές υπολογιστικές πράξεις. Αρχικά θα υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή του κάθε φυτικού είδους για κάθε δεκαήμερο. Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της ωφέλιμης εδαφικής υγρασίας. Για τον συγκεκριμένο υπολογισμό χρησιμοποιήθηκαν τα εδαφικά χαρακτηριστικά τα οποία έχουν αντιστοιχιστεί σε κάθε αγροτεμάχιο. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τον συγκεκριμένο υπολογισμό θεωρήθηκε ότι το έδαφος βρίσκεται στην υδατοϊκανότητα δηλαδή έχει τη μέγιστη αποθηκευμένη ποσότητα νερού στο έδαφος.

Ακολούθως υπολογίστηκαν οι καθαρές αρδευτικές ανάγκες οι οποίες ουσιαστικά προκύπτουν από την αφαίρεση της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας, της ωφέλιμης βροχόπτωσης και της ωφέλιμης εδαφικής υγρασίας.

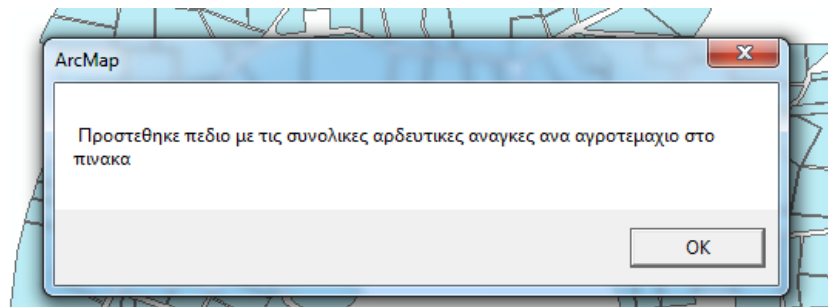
Επόμενη παράμετρος η οποία υπολογίστηκε ήταν η αποδοτικότητα άρδευσης η οποία υπολογίζεται σαν το γινόμενο της αποδοτικότητας της μεθόδου άρδευσης και της αποδοτικότητας της διανομής από την πηγή των υδάτων.

```

Dim intPosW15 As Integer
intPosW15 = pFields.FindField("W15")
Dim intPosW25 As Integer
intPosW25 = pFields.FindField("W25")
Dim intPosW35 As Integer
intPosW35 = pFields.FindField("W35")
Dim intPosW16 As Integer
intPosW16 = pFields.FindField("W16")
Dim intPosW26 As Integer
intPosW26 = pFields.FindField("W26")
Dim intPosW36 As Integer
intPosW36 = pFields.FindField("W36")
Dim intPosW17 As Integer
intPosW17 = pFields.FindField("W17")
Dim intPosW27 As Integer
intPosW27 = pFields.FindField("W27")
Dim intPosW37 As Integer
intPosW37 = pFields.FindField("W37")
Dim intPosW18 As Integer
intPosW18 = pFields.FindField("W18")
Dim intPosW28 As Integer
intPosW28 = pFields.FindField("W28")
Dim intPosW38 As Integer
intPosW38 = pFields.FindField("W38")
Dim intPosW19 As Integer
intPosW19 = pFields.FindField("W19")
Dim intPosW29 As Integer
intPosW29 = pFields.FindField("W29")
Dim intPosW39 As Integer
intPosW39 = pFields.FindField("W39")
Dim intPosF As Integer
intPosF = pFields.FindField("F")
Dim intPosRD As Integer
intPosRD = pFields.FindField("RD")
Dim intPosFC1_FWP1 As Integer
intPosFC1_FWP1 = pFields.FindField("FC1_FWP1")
Dim intPospb1 As Integer

```

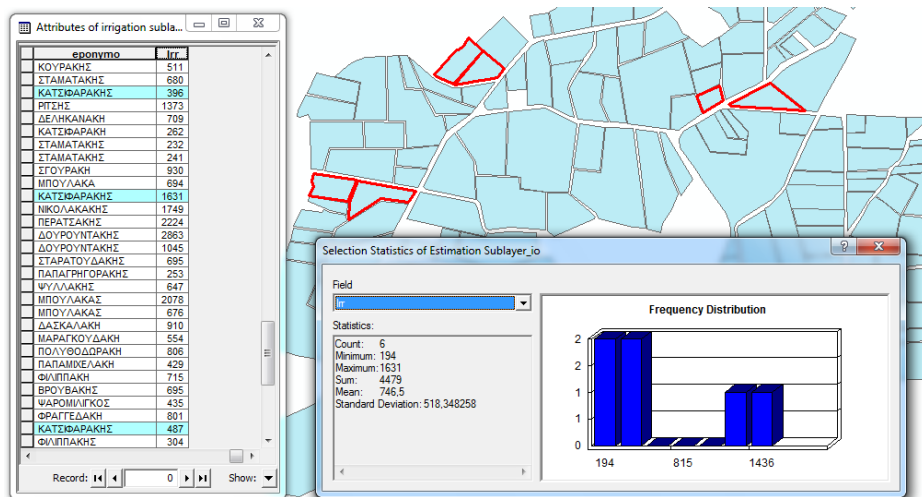
Εικόνα 4: Τμήμα του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε κατά τον ορισμό των μεταβλητών για τους τελικούς υπολογισμούς των συνολικών αρδευτικών αναγκών των αγροτεμαχίων



Εικόνα 5: Το μήνυμα που εμφανίζεται με την ολοκλήρωση της διεργασίας, που επιβεβαιώνει τον τελικό υπολογισμό και την ενημέρωση του πίνακα

2.3.4. Βήμα 4^ο

Το τελευταίο βήμα ουσιαστικά εξυπηρετεί στην παρουσίαση και περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων και αποσκοπεί στο να δώσει στον χρήστη τη δυνατότητα διαχείρισης της βάσης. Μέσω της επιλογής “επιλογή αγροτεμαχίων” μπορούμε να επιλέξουμε αγροτεμάχια βάσει κριτηρίων. Τα κριτήρια μπορούν να διαφέρουν και να καθορίζονται ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη σε χωρικά, αριθμητικά ή περιγραφικά.



Εικόνα 6: Επιλογή αναζήτησης αγροτεμαχίων βάσει της επιλογής “Επώνυμο καλλιεργητή”. Χωρική απεικόνιση αποτελέσματος αναζήτησης, επιλογή στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών και στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων συνολικών αρδευτικών αναγκών των αγροτεμαχίων.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσω της εφαρμογής IRrigation Estimation επιχειρήθηκε να δημιουργηθεί μία εφαρμογή εκτίμησης αρδευτικών αναγκών η οποία λειτουργεί σε περιβάλλον Γ.Π.Σ. και επιτρέπει στον χρήστη να αξιοποιεί τις δυνατότητες ενός τέτοιου συστήματος με απλές και συγκεκριμένες οδηγίες. Η ανάπτυξη της εφαρμογής μέσα στο σύστημα έγινε μέσω γλώσσας προγραμματισμού VBA και το αποτέλεσμα είναι ένα παραθυρικό πρόγραμμα πλήρως αυτοματοποιημένο και φιλικό προς τον χρήστη. Οι απαιτήσεις για την ορθή λειτουργία του IRE αφορούν την ποιότητα των δεδομένων (ακρίβεια και πλήθος) και τη σωστή οργάνωση τους όπως αυτή έχει περιγραφεί. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής είναι εύκολα διαχειρίσιμα και η χωρική απεικόνιση τους προσφέρουν στον χρήστη μια πιο γενικευμένη εικόνα. Επιπλέον με την επιλογή βάσει κριτηρίων ο χρήστης μπορεί να προσαρμόσει τα αποτελέσματα και τη στατιστική ανάλυση του θέματος στις απαιτήσεις του. Η χρήση του συγκεκριμένου προγράμματος απευθύνεται, εκτός από ερευνητές που μελετούν παρόμοια ζητήματα, και σε οργανισμούς και φορείς διαχείρισης αρδευτικού νερού. Η σωστή χρήση και αξιοποίηση του προγράμματος μπορεί να συμβάλει στην ορθολογική χρήση των αρδεύσεων και στην εξοικονόμηση αρδευτικών πόρων.

ABSTRACT

Constantly increasing global irrigation water needs, make water saving techniques and rational use of irrigation water a major agricultural issue. Precondition for this kind of applications is irrigation water estimation. The diversity between cultivation techniques, crop characteristics and land characteristics lead scientists to develop

variant models and applications. In this study a combination of worldwide prototypes for water estimation and geographic information systems is attempted. GIS's fundamental building materials are geodatabases. Collecting and organizing data in geodatabases constitutes principle of a GIS study. Visual Basic for Application (VBA) was used in order to design and build an automated, user friendly, window application. IRrigation Estimation application (IRE) was tested in "TOEB Varypetroy" irrigation network area. This kind of applications can be used as a tool for making policy and data management by several organizations or individual farmers.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. "Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements." FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Biju A. George , Raghuwanshi N.S., Singh R., 2004, Development and testing of a GIS integrated irrigation scheduling model, *Agricultural Water Management* 66: 221–237.
- Dastane, N.G. 1974. "Effective Rainfall." FAO Irrigation and Drainage Paper No. 25. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Doorenbos, J. and P.W. Pruitt. 1977. "Crop Water Requirements. "FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24 (revised). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fortes P.S., Platonov A.E., Pereira L.S., 2005, GISAREG—A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use, *Agricultural Water Management* 77: 159–179.
- Georgoussis H, Babajimopoulos C, Panoras A, Arampatzis G, Hatzigiannakis E, Ilias A, Papamichail D, 2009, Regional scale irrigation scheduling using a mathematical model and GIS, *Desalination* 237: 108–116.
- Heinemann A.B., Hoogenboom G., de Faria R.T., 2002, Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS An example for the state of Parana, Brazil, *Agricultural Water Management*, 52: 177-196.
- Papageorgiou A., Latinopoulos P. , Mallios Z., 2005, A visual Basic Toolbar for Evapotranspiration Estimation in a GIS application. *Proceeding of the 9th International Conference in Environmental Science and Technology, Rhodes island-Greece.*
- Satti Sudheer R., Jacobs Jennifer M., Irmak Suat, 2004, Agricultural water management in a humid region: sensitivity to climate, soil and crop parameters, *Agricultural Water Management* 70: (2004) 51–65.
- Todorovic Mladen, Steduto Pasquale, 2003, A GIS for irrigation management, *Physics and Chemistry of the Earth* 28: 163–174.
- Tzai-Hung Wen, Ming-Daw Su, Yih-Lung Yeh, 2004, A GIS-based framework of regional irrigation water demand assessment, *Paddy Water Environ* 2:33–39.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1999, Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ
ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΩΝ (STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX -
SPI) ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ 1989-1990 ΜΕ ΤΗ
ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
(ΓΠΣ)**

**Χρίστος Α. Καραβίτης^{1✉}, Δημήτριος Ε. Τσεσμελής^{1,2}, Νικόλαος Α. Σκόνδρας^{1,2},
Παναγιώτης Δ. Οικονόμου³, Δημήτριος Β Σταματάκος^{1,2}, Κωνσταντίνα Γ.
Βασιλάκου^{1,2}, Ιπποκράτης Ι. Γκώτσης^{1,2}, Βασιλεία Φασούλη¹, Σταύρος
Αλεξανδρόης¹**

1. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, Αθήνα 11855 ✉ ckaravitis@aua.gr
2. Water Research & Application, Ιωνίας, Καρλόβασι Σάμου, 83200.
3. Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Co. 80523, USA

Περίληψη:

Η ξηρασία είναι ένα ακραίο φυσικό φαινόμενο, που μπορεί να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε περιοχή ανεξάρτητα από τις συνήθεις κλιματολογικές της συνθήκες και να προκαλέσει πλήθος κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων είκοσι ετών, η Ελλάδα επλήγει τέσσερις φορές από το συγκεκριμένο φαινόμενο (1989-1990, 1992-1993, 2000 και 2007-2008). Το μεγαλύτερο σε διάρκεια και ένταση φαινόμενο, άρχισε να παρατηρείται από τον Δεκέμβριο του 1989 και η ένταση του κορυφώθηκε τον Ιούνιο του 1990. Αρχικά, δημιούργησε σοβαρά προβλήματα στην άρδευση των καλλιεργειών και την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ενώ τον Οκτώβριο του 1990, η μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας διέθετε νερό μόνο για 56 ημέρες. Ωστόσο, οι βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν τον ίδιο μήνα άμβλυναν το πρόβλημα ύδρευσης. Στην παρούσα εργασία, περιγράφεται η εκδήλωση του συγκεκριμένου φαινομένου και αναλύονται τα χαρακτηριστικά του (ένταση και διάρκεια – χωρική και χρονική κατανομή) με την εφαρμογή του SPI (Standardized Precipitation Index). Για τον υπολογισμό του δείκτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα κατακρημνισμάτων που προήλθαν από 78 βροχομετρικούς σταθμούς κατανεμημένους σε όλη την ελληνική επικράτεια. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν χάρτες ξηρασίας για όλους τους μήνες (από την έναρξη έως και την λήξη) με την εφαρμογή της γεωστατιστικής μεθόδου Kriging. Το χρονικό βήμα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό και τη χαρτογράφηση του δείκτη SPI επιλέχθηκε στους 6 και τους 12 μήνες. Τα αποτελέσματα, αναλύονται και αξιολογούνται και γίνεται αναφορά στον ρόλο και τη σημασία του προληπτικού σχεδιασμού στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων των φαινομένων ξηρασίας στην Ελλάδα.

Λέξεις Κλειδιά: Ξηρασία, Διαχείριση Υδατικών πόρων, Δείκτες Ξηρασίας, SPI, Γεωστατιστική, Προληπτικός Σχεδιασμός.

1. Εισαγωγή

Η ξηρασία είναι ένα ακραίο μετεωρολογικό φαινόμενο, το οποίο μπορεί να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, σε οποιαδήποτε περιοχή ανεξάρτητα από τις κλιματικές της συνθήκες και με απροσδιόριστη διάρκεια (Grigg 1996; Karavitis 1999; Bordi et al. 2006; Eriyagama et al. 2009; Karavitis et al. 2012). Το συγκεκριμένο φαινόμενο, έλκει τόσο το επιστημονικό όσο και το γενικό ενδιαφέρον καθώς προκαλεί πλήθος κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Wilhite et al. 2000; Ding et al. 2010).

Ο ακριβής ορισμός των λειψυδριών παρουσιάζει πολλές δυσκολίες για μία αντικειμενική παραδοχή του (Yevjenich V. et al 1983; Vlachos, E.C. and Grigg, N.S. 1990; Karavitis, C.A., 1998). Γενικότερα υπάρχουν πολλοί αντιφατικοί και αμφιλεγόμενοι ορισμοί που συντείνουν στο να δημιουργείται μία σχετικά ασαφής κατάσταση. Κατ' αυτό τον τρόπο η λειψυδρία μπορεί να σημαίνει διαφορετικά πράγματα, τόσο στο ευρύ κοινό, όσο και στις διάφορες επιστημονικές ειδικότητες. Οι λειτουργικοί ορισμοί επιτρέπουν τον προσδιορισμό της αρχής και του τέλους καθώς επίσης και του βαθμού δριμύτητας μιας λειψυδρίας. Αυτοί οι ορισμοί κατηγοριοποιούνται από την άποψη τεσσάρων βασικών προσεγγίσεων για να προσδιορίσουν και να περιγράψουν τα γεγονότα λειψυδρίας: μετεωρολογική, υδρολογική, γεωργική, και κοινωνικοοικονομική λειψυδρία. Οι τρεις πρώτες προσεγγίσεις θεωρούν τη λειψυδρία ως ένα φυσικό φαινόμενο. Η τελευταία εξετάζει ένα γεγονός λειψυδρίας σε σχέση με την ανθρωποκεντρική ζήτηση και παροχή, ακολουθώντας τα αποτελέσματα του ελλείμματος νερού μέσω του κοινωνικοοικονομικού συστήματος. Για να υπερπηδηθούν αυτά τα εμπόδια, ένας γενικός ορισμός της ξηρασίας μπορεί να είναι η κατάσταση αντίξοων και εξαπλωμένων, υδρολογικών, περιβαλλοντολογικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων, εξ' αιτίας μικρότερων από τις γενικά αναμενόμενες ποσότητες νερού (Karavitis C.A. 1992, Karavitis, C.A., 1999). Τέτοιες ελλείψεις νερού μπορεί να προέρχονται από τη μείωση των βροχοπτώσεων, φυσικές ή τεχνικές ελλείψεις στον εφοδιασμό νερού και από λανθασμένους τρόπους διαχείρισης των υδατικών συστημάτων. Συμπερασματικά λοιπόν, η ξηρασία δεν είναι μόνο η έλλειψη βροχής, όπως πολλές φορές πιστεύεται, αλλά ως ένα πιο πολύπλοκο φαινόμενο που απαιτεί ολοκληρωμένη ανάλυση, αποτίμηση των ενεργειών και στοχευόμενες δράσεις. Είναι

σημαντικό να διαφοροποιείται η ξηρότητα, που περιορίζεται σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις, ως μακροπρόθεσμο χαρακτηριστικό γνώρισμα από την ξηρασία που δείχνει μια απόκλιση από τη μέση κατάσταση, αλλά βρίσκεται ακόμα μέσα στη φυσική μεταβλητότητα του οικοσυστήματος. Επίσης πρέπει να διακρίνεται μεταξύ των παροδικών περιόδων ανεπάρκειας ύδατος, η αιτία των εξαιρετικών λειψυδριών και των μακροπρόθεσμων δυσαναλογιών των διαθέσιμων υδατικών πόρων και της ζήτησης, όπως απεικονίζεται (Εικόνα 1). Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC 2013), η συχνότητα εμφάνισης, η ένταση και η διάρκεια της ξηρασίας αναμένεται να αυξηθεί σε διάφορες περιοχές ανά την υφήλιο, συμπεριλαμβανομένης και της Λεκάνης της Μεσογείου. Ωστόσο, σύμφωνα με τους Sheffield et al. (2012), η αναφερόμενη αύξηση της συχνότητας εμφάνισης της ξηρασίας δεν παρατηρείται, καθώς τα τελευταία εξήντα χρόνια δεν έχουν σημειωθεί σημαντικές μεταβολές στη συγκεκριμένη συχνότητα. Ανεξάρτητα όμως από αυτό, έχει αποδειχθεί ότι για μια δεδομένη χρονική περίοδο σε μια συγκεκριμένη περιοχή, η εμφάνιση ενός αβέβαιου γεγονότος, όπως η ξηρασία, μπορεί να θεωρηθεί βέβαιη (Karavitis 1999; Zou et al. 2005; Woodhouse et al. 2010). Υπό αυτές τις συνθήκες, ειδικά σχέδια διαχείρισης της ξηρασίας πρέπει να εκπονούνται και να αναθεωρούνται τακτικά.

Η μεγαλύτερη πρόκληση για κάθε πολιτική που έχει ως στόχο την άμβλυνση των επιπτώσεων της ξηρασίας είναι η ανάπτυξη ολοκληρωμένων και αποτελεσματικών σχεδίων διαχείρισης. Αυτά τα σχέδια πρέπει να στηρίζονται σε βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες στρατηγικές πρόληψης περιλαμβάνοντας χρονικά διαφοροποιημένες δράσεις – πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την ξηρασία– (Grigg and Vlachos 1990; Karavitis 1999; Τσεσμελής, 2010; Karavitis et al. 2012; Karavitis et al. 2014). Η ανάπτυξη των συγκεκριμένων σχεδίων, στηρίζεται στην τακτική παρατήρηση και επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων και κυρίως στη χρήση σχετικών δεικτών.

Ως προς το τελευταίο, στη διεθνή βιβλιογραφία έχει εμφανιστεί μεγάλος αριθμός δεικτών παρακολούθησης και αξιολόγησης της ξηρασίας. Η επιλογή του καταλληλότερου δείκτη ανά περίπτωση στηρίζεται στη φύση των διαθέσιμων δεικτών, στη διαθεσιμότητα και πιστοποίηση των δεδομένων (Nardo et al. 2005; Singh et al. 2009). Ωστόσο, ο συχνότερα χρησιμοποιούμενος είναι, ο Δείκτης Κανονικοποιημένων Κατακρημνισμάτων (Standardized Precipitation Index – SPI - McKee et al. 1993).



Εικόνα 1. Τυπολογία των καταστάσεων έλλειψης νερού.

Η ξηρασία του 1989 – 1990 ήταν η μεγαλύτερη του είδους της που έπληξε την Ελλάδα τα τελευταία είκοσι έτη. Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, στόχος της παρούσας εργασίας είναι η περιγραφή της εκδήλωσης του συγκεκριμένου φαινομένου και η ανάλυση των χαρακτηριστικών του (ένταση και διάρκεια – χωρική και χρονική κατανομή) με την εφαρμογή του SPI με τη χρήση περιβάλλοντος Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (Geographical Information Systems - GIS).

2. Μεθοδολογία

2.1. Εφαρμογή του SPI

Σύμφωνα με τους Tsakiris and Vangelis (2004), Wu et al. (2007) και Karavitis et al. (2012), η επιλογή του SPI με χρονική κλίμακα 6 μηνών (SPI6) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντιπροσωπεύσει τις γεωργικές συνθήκες και πιο συγκεκριμένα τη διαθεσιμότητα του νερού άρδευσης ενώ η επιλογή του SPI με χρονική κλίμακα 12 μηνών (SPI12) μπορεί να αντιπροσωπεύσει τη διαθεσιμότητα του νερού για άλλες δραστηριότητες όπως η αστική κατανάλωση (συμπεριλαμβανομένου και του τουρισμού). Επομένως, η ταυτόχρονη εφαρμογή του SPI στις δύο αυτές χρονικές κλίμακες μπορεί να αποδώσει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των υδρολογικών συνθηκών, της διακύμανσής τους και των σχετικών επιπτώσεων.

Στη συγκεκριμένη εργασία, οι τιμές των SPI6 και 12 υπολογίζονται για όλη τη χώρα. Για τον συγκεκριμένο σκοπό, χρησιμοποιήθηκαν βροχομετρικά δεδομένα από 78 μετεωρολογικούς σταθμούς για τη χρονική περίοδο 1980 – 2013. Για να υπολογιστεί ο μηνιαίος δείκτης SPI των μετεωρολογικών σταθμών αρχικά έγινε με χρήση αντιστοίχου λογισμικού (DMCSEE, 2009). Τέλος, οι τιμές αυτές κατανεμήθηκαν

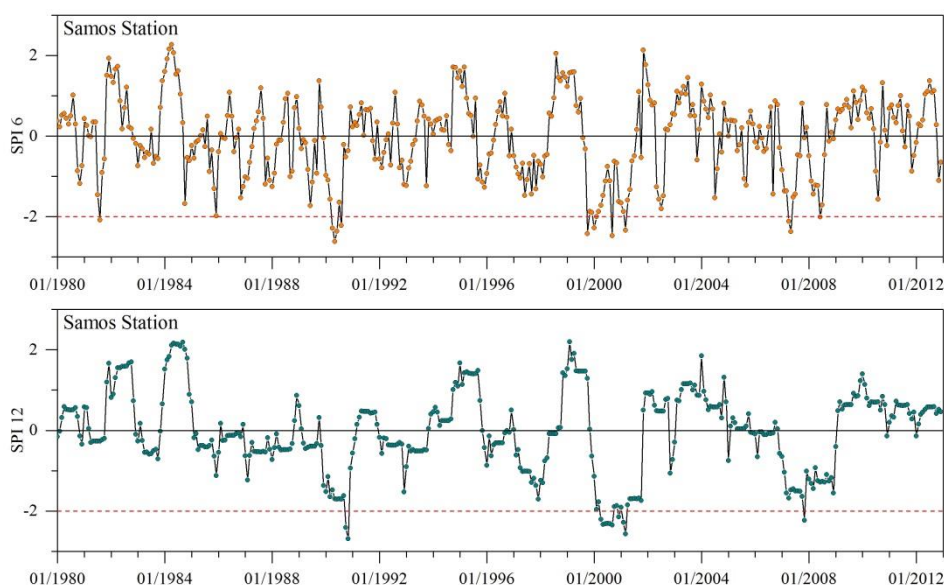
χωρικά με τη χρήση γεωστατιστικών μεθόδων και πιο συγκεκριμένα με την εφαρμογή της μεθόδου “kriging” σε περιβάλλον GIS.

2.2. Περιοχή μελέτης

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με έκταση 131.957 km², με ακτογραμμές μήκους 13.676 km και 10.815.197 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ 2013). Οι κλιματικές της συνθήκες κυμαίνονται από θερμά και ξηρά καλοκαίρια σε κρύους και βροχερούς χειμώνες. Αυτό, σε συνδυασμό με τον ορεινό χαρακτήρα της χώρας και την υψηλή χωρική διασπορά της (εξαιτίας του μεγάλου αριθμού νησιών), υποστηρίζει την ανάπτυξη μεγάλης ποικιλίας μικρό-κλιματικών συνθηκών, οικοσυστημάτων και τοπίων. Αυτή η ανομοιομορφία, προάγει υψηλό τουρισμό – ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των καλοκαιριών περιόδων – ο οποίος αποτελεί και μία από τις κύριες οικονομικές δραστηριότητες της χώρας. Η γεωργία, αποτελεί τη δεύτερη σημαντικότερη δραστηριότητα καταλαμβάνοντας περίπου 38.540 km² ή το 20.38% της συνολικής χερσαίας επιφάνειας.

Οι συγκεκριμένες δραστηριότητες εξαρτώνται άμεσα από τα διαθέσιμα υδατικά αποθέματα της χώρας τα οποία εκτιμώνται κατά μέσο όρο περίπου σε 58x10⁹ m³/έτος. Ωστόσο, η ετήσια κατανάλωση νερού ανέρχεται μόνο στο 12% του συγκεκριμένου όγκου (Barraque et al. 2008). Το τελευταίο αυτό στοιχείο θα μπορούσε ιδανικά να σημαίνει ότι η Ελλάδα δεν κινδυνεύει από έλλειψη νερού ή άλλους σχετιζόμενους με το νερό κινδύνους. Παρ' όλα αυτά, η χώρα δεν διαθέτει το απαραίτητο επίπεδο σχετικών υποδομών, ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί σε μεγαλύτερο βαθμό το σημαντικό δυναμικό των διαθέσιμων επιφανειακών της αποθεμάτων ενώ αντίθετα, υπερ-εκμεταλλεύεται τα περιορισμένα υπόγεια ύδατα με συνέπεια αυτά να υποβαθμίζονται συνεχώς. Αυτό το γεγονός, έχει καταστήσει τη χώρα άμεσα εξαρτώμενη από το ετήσιο ύψος της βροχόπτωσης. Αυτό σημαίνει ότι το έλλειμμα νερού οποιασδήποτε έντασης και διάρκειας, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις στην οικονομία, την κοινωνία και το περιβάλλον. Μια σειρά τέτοιων ελλειμμάτων έχει εμφανιστεί τις τελευταίες δεκαετίες (π.χ. 1989–90, 1993, 2000, 2003 και 2007) χαρακτηρίζοντας τη χώρα ως ευάλωτη στην ξηρασία, θέτοντας την οικονομία σε κίνδυνο και αφήνοντας τη χώρα εκτεθειμένη σε απώλειες (Livada and Assimakopoulos 2007; Loukas et al. 2007). Η Εικόνα 2 παρουσιάζει τη συχνότητα εμφάνισης του συγκεκριμένου φαινομένου σύμφωνα με τα δεδομένα που προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό της Σάμου που καλύπτει τη περίοδο 1980 – 2013.

Κάποιες από αυτές της ξηρασίες, έπληξαν ολόκληρη τη χώρα ενώ άλλες περιορίστηκαν σε μικρότερη έκταση.



Εικόνα 2. Η συχνότητα εμφάνισης της ξηρασίας βάσει των δεδομένων του σταθμού της Σάμου.

3. Αποτελέσματα

3.1. Η Ξηρασία του 1989 – 1990

Η ξηρασία του 1989 – 1990 ήταν η μεγαλύτερη του είδους της που έπληξε την Ελλάδα τα τελευταία είκοσι έτη. Το 1989 μία μείωση της βροχόπτωσης της τάξης του 57% υποδήλωνε την έλευση μιας ξηρασίας. Ωστόσο, δεν κινήθηκαν οι μηχανισμοί αντιμετώπισης της ξηρασίας, και η ζήτηση ικανοποιήθηκε πλήρως, όπως κάθε κανονικό υδρολογικό έτος (Karavitis, 1992; 1998). Το συνολικό ύψος βροχόπτωσης, για τον Ιανουάριο του 1990, ήταν μόνο το 9% της μέσης τιμής. Μηδέν βροχόπτωση καταγράφηκε στην Αθήνα αντί για έναν μέσο όρο 38,4 mm (σταθμός Ελληνικού - Μαρτίος 1990). Το συγκεκριμένο φαινόμενο, θεωρήθηκε αρχικά ότι είχε περίοδο επαναφοράς χιλιετίας με βροχόπτωση που πλησίασε μόλις το 43% της μέσης ετήσιας της χώρας (Karavitis, 1992; 1998). Ωστόσο, οι ξηρασίες που ακολούθησαν (π.χ. 1993, 2000, 2003 και 2007) άμβλυναν τη συγκεκριμένη θεώρηση. Ως αποτέλεσμα του ελλείμματος των βροχοπτώσεων, οι εισροές σε λίμνες, ποτάμια, ταμιευτήρες και υπόγειους υδροφορείς ήταν μειωμένες σε όλη την Ελλάδα. Αρχικά, η ξηρασία δημιούργησε σοβαρά προβλήματα στην άρδευση των καλλιεργειών και την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στην αρχή του έτους. Τον Μάρτιο του 1990, προεβλέπετο ότι μόνο το 10% των καλλιεργειών θα επιβίωνε. Συνολικά, το κόστος των επιπτώσεων

που προκλήθηκαν από την ξηρασία το 1990 άγγιξε το 1,5 δισ. Αμερικανικά δολάρια (USD) (Karavitis, 1992; 1998).

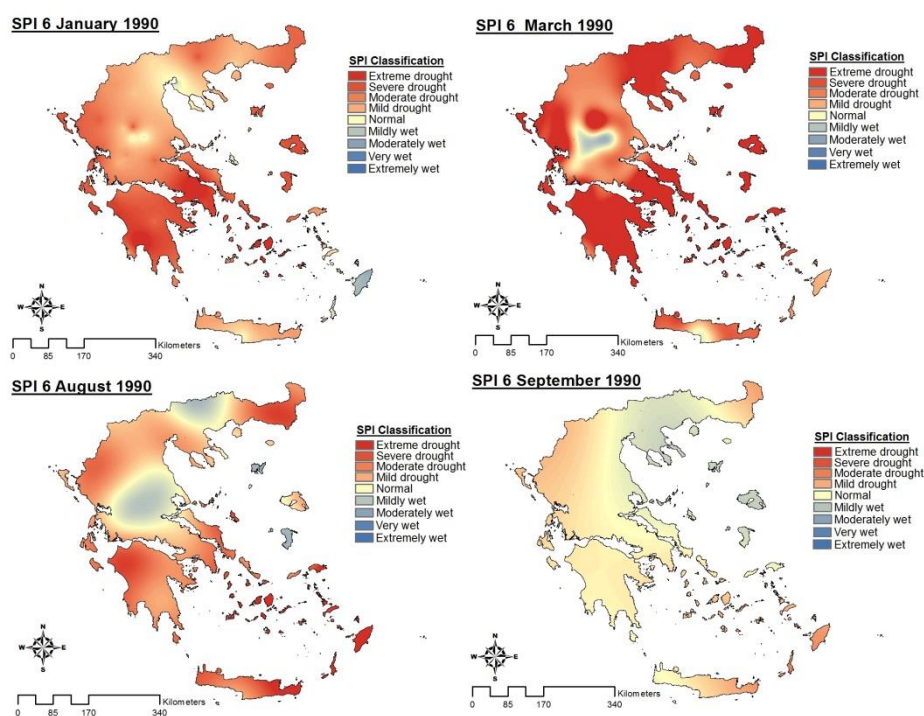
Οι επιπτώσεις της ξηρασίας στο σύστημα υδροδότησης της Αθήνας ήταν επίσης μεγάλες. Τον Ιούνιο προτάθηκε ακόμη και η μεταφορά νερού με πλοία από τον Αχελώο και την Τριχωνίδα με στόχο την άμβλυνση του ελλείμματος που παρατηρήθηκε στην ύδρευση της Μητροπολιτικής περιοχής Αθηνών. Τον Οκτώβριο του 1990, η εισροή στην παροχή των ταμιευτήρων είχε φτάσει στα χαμηλότερα επίπεδα και η μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας διέθετε νερό μόνο για 56 ημέρες (Karavitis, 1992; 1998). Ωστόσο, οι βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν στο τέλος του ίδιου μήνα άμβλυναν το πρόβλημα ύδρευσης. Ο Πίνακας 1 περιγράφει συνοπτικά τη κατάσταση που επικρατούσε κατά τη διάρκεια του φαινομένου.

Πίνακας 1. Συνοπτική παρουσίαση των συνθηκών που επικρατούσαν κατά τη ξηρασία του 1990 (Karavitis, 1992; 1998; Τσεσμελής, 2010)

Τοποθεσία	Πηγή	Ημερ/νια	Άρθρο
Ελλάδα	Εφ. Τα Νέα	8/3/1990	Η ξηρασία απειλεί την άρδευση, την υδροηλεκτρική ενέργεια και την ύδρευση
Αθήνα	Εφ. Έθνος	29/3/1990	Η γεωργική παραγωγή θα υποστεί σοβαρές ζημιές. Μόνο το 10% αναμένεται να επιβιώσει.
Θεσσαλονίκη	Εφ. Μακεδονία	31/3/1990	Κηρύχτηκε δελτίο άμεσης ανάγκης για το νερό στη πόλη της Θεσσαλονίκης
Ελλάδα	Εφ. Ελεύθερος	3/4/1990	Η βροχόπτωση μειώθηκε κατά 40% από τον μέσο όρο
Μακεδονία	Εφ. Express	5/5/1990	Το Γεωτεχνικό Επιμελητήριο προτείνει λύσεις για την ξηρασία στη Μακεδονία
Ελλάδα	Εφ. Ταχυδρόμος	14/6/1990	Απουσιάζει η διαχείριση υδατικών πόρων από τις πολιτικές
Ελλάδα	Ναυτεμπορική	26/7/1990	Ανακοινώθηκαν εξακόσια εκ. δολάρια USD για τα έργα ύδρευσης και αποχέτευσης
Ελλάδα	Εφ. Έθνος	8/8/1990	Διαφωνίες και συγκρούσεις μεταξύ των αγροτών για το νερό άρδευσης
Αθήνα	Εφ. Κέρδος	1/11/1990	Τα έργα περιλαμβάνουν: τη στεγάνωση των ασβεστολίθων της Υλίκης, τη συντήρηση του υδραγωγείου Μόρνου, γεώτρησης στον Β. Κηφισό και την επέκταση των διυλιστηρίων ύδατος

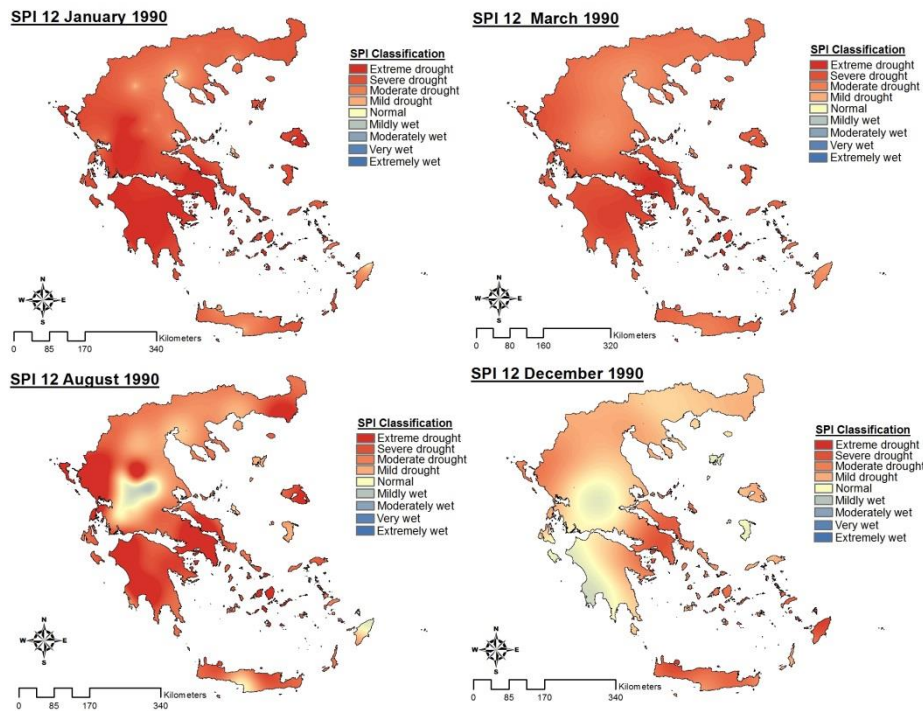
3.2. Χαρτογράφηση του Φαινομένου

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που υιοθετήθηκε, παρήχθησαν οι μηνιαίοι χάρτες που απεικονίζουν τη χωρική κατανομή των τιμών του αντίστοιχου SPI. Η Εικόνα 3 παρουσιάζει τους χάρτες του SPI6 για τους μήνες Ιανουάριο, Μάρτιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Αντίστοιχα, η Εικόνα 4 παρουσιάζει τους χάρτες του SPI12 για τους μήνες Ιανουάριο, Μάρτιο, Αύγουστο και Δεκέμβριο. Η διαφορά στον τελευταίο μήνα των δύο εικόνων προκύπτει εξαιτίας της διαφοράς του μεγέθους της χρονικής περιόδου που καλύπτει ο κάθε δείκτης, και κατ' επέκταση της διαφοροποιημένης διάρκειας του φαινομένου ανά χρονικό βήμα του δείκτη.



Εικόνα 3. Η μηνιαία χωρική κατανομή του SPI6 για την ξηρασία του 1990.

Σύμφωνα με τον SPI6, το φαινόμενο άρχισε να αναπτύσσεται από τον Δεκέμβριο του 1989 και η ένταση του κορυφώθηκε τον Ιούνιο του 1990. Η ένταση του φαινομένου παρέμεινε σχεδόν σταθερή μέχρι και τον Οκτώβριο. Ωστόσο, οι μικρές βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν από τον Νοέμβριο μέχρι και τον Δεκέμβριο μείωσαν την ένταση του. Το φαινόμενο έλαβε τέλος τον Δεκέμβριο του 1990 αλλά η σταδιακή μείωση της έντασης του παρατηρείται στους αντίστοιχους χάρτες κατά τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο.



Εικόνα 4. Η μηνιαία χωρική κατανομή του SPI12 για τη ξηρασία του 1990.

Ο SPI6 του Μαρτίου του 1990, ο οποίος ουσιαστικά καλύπτει μεγάλο τμήμα της χειμερινής περιόδου (Οκτώβριος 1989 – Μάρτιος 1990) είναι ενδεικτικός της έντασης του φαινομένου και των επιπτώσεων που αυτό είχε για τις γεωργικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του ίδιου έτους.

Αντίθετα, ο SPI12 (εξαιτίας της μεγαλύτερης χρονικής περιόδου που καλύπτει) παρουσιάζει διαφοροποιημένη εικόνα. Σύμφωνα με τον συγκεκριμένο δείκτη, το φαινόμενο αρχίζει να αναπτύσσεται από τον Νοέμβριο του 1989 και τελειώνει τον Ιανουάριο του 1991. Επίσης, σε αντίθεση με τον SPI6, ο SPI12 παρουσιάζει το φαινόμενο ως εντονότερο και μεγαλύτερο σε διάρκεια. Ως προς την ένταση, παράδειγμα αποτελούν οι χάρτες του Ιανουαρίου και του Αυγούστου όπου οι συνθήκες παρουσιάζονται εντονότερες συγκριτικά με τους αντίστοιχους χάρτες του SPI6. Ως προς τη διάρκεια, παράδειγμα αποτελεί η διαφοροποίηση στον τελευταίο μήνα των δύο εικόνων (Σεπτέμβριος και Δεκέμβριος για τον SPI6 και SPI12 αντίστοιχα).

4. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας και της Εικόνας 2, η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που εμφανίζεται στην Ελλάδα αρκετά συχνά. Στη περίπτωση της ξηρασίας του 1990, το πρόβλημα της χώρας αποτέλεσε η έλλειψη τόσο των σχετικών υποδομών όσο και η έλλειψη των ειδικών τεχνικών για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση του φαινομένου. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την περίπτωση της

τελευταίας εμφάνισης του φαινομένου το 2007 όπου το μεγαλύτερο πρόβλημα της χώρας εντοπίστηκε στην έλλειψη ολιστικών στρατηγικών, μέσω των οποίων η διαδικασία λήψης αποφάσεων και των τρόπων αντιμετώπισης θα μπορούσε να είναι αποτελεσματικότερη και κοινωνικά δικαιότερη.

Ο αυξανόμενος αριθμός περιοχών, με σχεδιασμό αντιμετώπισης της ξηρασίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί ένα δείκτη της έμφασης και της προσοχής που δίνεται στην προετοιμασία και προσαρμογή ενάντια στο συγκεκριμένο φαινόμενο. Προκειμένου να είναι αυτή η μετάβαση επιτυχής, πρέπει να εξεταστούν και να αναλυθούν με συστηματικό τρόπο οι ανεπάρκειες των προηγούμενων προσπαθειών αντιμετώπισης της ξηρασίας. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης πολιτικής και ενός σχεδίου θα αποτελούσαν ένα σημαντικό πρώτο βήμα. Αυτή η πολιτική πρέπει να προωθήσει την έννοια της διαχείρισης κινδύνου, αν και δεν μπορεί να αγνοήσει την ανάγκη για κυβερνητική βοήθεια κατά τη διάρκεια εκτεταμένων περιόδων έντονης ξηρασίας. Η πολιτική πρέπει να προωθεί την αυτάρκεια προστατεύοντας συγχρόνως τη φυσική και γεωργική βάση των πόρων. Υπάρχει επίσης ανάγκη να συντονιστούν οι δράσεις που είναι σχετικές με την ξηρασία (δηλ. πρόβλεψη, έλεγχος, αξιολόγηση επιπτώσεων, αντιμετώπιση και αποκατάσταση, σχεδιασμός). Αυτή η πολιτική πρέπει επίσης να ενσωματώσει κίνητρα που θα αναπτύξουν σχέδια τα οποία προωθούν μια πιο δυναμική προσέγγιση στη διαχείριση ξηρασίας για όλες τις τρωτές περιοχές.

APPLICATION OF THE STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI) FOR THE ANALYSIS OF THE DROUGHT EVENT OF 1989 – 1990 USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS)

Christos A. Karavitis^{1✉}, Demetrios E. Tsismelis^{1,2}, Nikolaos A. Skondras^{1,2}, Panagiotis D. Oikonomou³, Demetrios V. Stamatakos^{1,2}, Constantina G. Vasilakou^{1,2}, Ippokratis I. Gkotsis^{1,2}, Vassilia Fassouli¹, Stavros Alexandris¹

1. Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Development & Agricultural Engineering, 75 Iera Odos Av., 11855 Athens, Greece.
✉ ckaravitis@aua.gr
2. Water: Research & Application, Ionias, Karlovassi Samos Island, 83200, Greece
3. .Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Co. 80523, USA

Abstract

Drought is an extreme natural phenomenon that may occur in a number of regions worldwide regardless of their usual climatic conditions and cause a plethora of social, economic and environmental impacts. During the last twenty years, Greece faced that phenomenon four times (1989-1990, 1992-1993, 2000 και 2007-2008). The longest and

most intense of those occurrences started appearing on the December of 1989 and peaked on June of 1990. Initially, severe deficits in irrigation and hydro electrical energy production were observed while on the October of 1990, the available water in Metropolitan Athens could last for 56 days. However, the precipitation that occurred during that month mitigated that issue. In the present attempt, the occurrence of that event is analyzed in terms of severity and duration – (spatial and temporal distribution) with the application of the Standardized Precipitation Index (SPI). The calculation of the SPI is fed with data that derive from 78 meteorological stations throughout the country. Continuing, drought maps are developed via the Geostatistical method of Kriging. The SPI6 and SPI12 have been selected to be calculated and mapped. The results are assessed while the importance of contingency planning in terms of drought impacts mitigation in Greece is highlighted.

Key words: Drought, Drought Indices, SPI, Geostatistics, Contingency Planning

Βιβλιογραφία

- Barraque, B., Karavitis, C. and Katsiardi, P. 2008. The range of existing circumstances in the Water Strategy Management (WSM) case studies. In: Koundouri, P. (ed.) *Coping with Water Deficiency: From Research to Policymaking*. Environment and Policy 48, Springer, Heidelberg, pp. 45–112.
- Bordi, I., Fraedrich, K., Petitta, M. and Sutera, A. 2006. Large scale assessment of drought variability based on NCEP/NCAR and ERA-40 re-analyses. *Water Resources Management* 20, 889–915.
- Ding, Y., Hayes, M. and Widhalm, M. 2010. Measuring economic impacts of drought: a review and discussion. *Papers in Natural Resources*. Paper 196. <http://digitalcommons.unl.edu/natrespapers/196>.
- DMCSEE Project, 2009. Drought Management Centre for South Eastern Europe. European Commission Funded project, EU. Available at: <http://www.dmcsee.eu/>.
- Ελληνική Στατιστική Αρχή – ΕΛΣΤΑΤ, 2013. Δελτίο Τύπου: Ανακοίνωση δημογραφικών και κοινωνικών χαρακτηριστικών του Μόνιμου Πληθυσμού της Χώρας σύμφωνα με την Απογραφή Πληθυσμού - Κατοικιών 2011. http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/General/nws_SAM01_GR.PDF
- Eriyagama, N., Smakhtin, V. and Gamage, N. 2009. Mapping Drought Patterns and Impacts: a Global Perspective. IWMI Research Report 133, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 31 pp.
- Grigg, N. S. 1996. *Water Resources Management: Principles, Regulations, and Cases*. McGraw-Hill, New York.
- Grigg, N. S. and Vlachos, E. C. (eds), 1990. *Drought Water Management*. International School for Water Resources, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 48 pp.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. Final Draft Report. Working Group I contribution to the IPCC 5th Assessment Report 'Climate Change 2013: The Physical Science Basis'. 7 June, 2013.
- Karavitis, C. A. (1992). Drought management strategies for urban water supplies: The case of metropolitan Athens. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, CO, USA, p.192.
- Karavitis, C.A., 1998. Drought and urban water supplies: the case of metropolitan Athens. *Water Policy* 1(5), 505–524.
- Karavitis, C. A. (1999). Decision support systems for drought management strategies in metropolitan Athens. *Water International*, 24(1), 10–21.
- Karavitis, C.A., Chortaria, C., Alexandris, S., Vasilakou, C.G. and Tsesmelis, D.E. 2012. Development of the standardized precipitation index for Greece. *Urban Water Journal* 9(6), 401–417.
- Karavitis, C.A., Tsesmelis, D.E., Skondras, N.A., Stamatakis, D., Alexandris, S., Fassouli, V., Vasilakou, C.G., Oikonomou, P.D., Gregorič, G., Grigg, N.S., Vlachos, E.C. 2014. Linking Drought Characteristics to Impacts on a Spatial and Temporal Scale. *Water Policy* 16: 1172 – 1197
- Livada, I. and Assimakopoulos, V.D. 2007. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the standardized precipitation index (SPI). *Theoretical and Applied Climatology* 89, 143–153.
- Loukas, A., Vasiliades, L. and Tzabiras, J. 2007. Evaluation of climate change on drought impulses in Thessaly, Greece. *European Water* 17/18, 17–28.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, 17–22 January, Anaheim, California, pp. 179–184.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A. & Giovannini, E. 2005. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. OECD Statistics Working Paper STD/DOC 3. Paris. www.oecd.org/std/42495745.pdf.
- Sheffield, J., Wood, E.F. and Roderick, M.L. 2012. Little change in global drought over the past 60 years. *Nature International Weekly Journal of Science* 491(7424), 435–438. <http://www.nature.com/nature/journal/v491/n7424/full/nature11575.html>, 8 April 2013.
- Singh, R.K., Murty, H.R., Gupta, S.K. and Dikshit, A.K. 2009. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators* 9, 189–212.
- Τσεσμελής, Δ. 2010. Εφαρμογή του SPI στον Ελλαδικό Χώρο για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Λειψυδριών. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Wilhite, D.A., Hayes, M.J. and Svoboda, M.D. 2000. Drought monitoring and assessment: status and trends in the United States. In: *Drought and Drought Mitigation in Europe*. Vogt, J. V. & Somma, F. (eds). Kluwer Academic Publishers, Springer, Netherlands, pp. 149–160.

- Woodhouse, C.A., Meko, D.M., MacDonald, G.M., Stahle, D.W. and Cook, E.R. 2010. A 1,200-year perspective of 21st century drought in southwestern North America. *PNAS* 107(50), 21283–21288.
- Wu, H., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., Wilhite, D.A. and Wen, F. 2007. Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology* 27, 65–79.
- Zou, X., Zhai, P. and Zhang, Q. 2005. Variations in droughts over China: 1951–2003. *Geophysical Research Letters* 32, L04707.

ΕΝΟΤΗΤΑ 4^η

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

**ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΔΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ ΕΤΗΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ RAPID EYE. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ:
ΡΗΝΑΝΙΑ ΠΑΛΑΤΙΝΑΤΟ, GERMANIA**

Τσιμέκα Ευαγγελία*

*MSc Environmental Planning, Technische Universität Berlin, Fakultät VI , Institute
of Landscape Architecture and Environmental Planning, Geoinformation in
Environmental Planning Lab, Βερολίνο
Κωνσταντίνου Αθανάτου 81, Α. Γλυφάδα, Αθήνα, 16562 , tsimeka_ev@yahoo.gr

Περίληψη

Η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων στο πλαίσιο του γεω-χωρικού περιβάλλοντος είναι απαραίτητη για την περιβαλλοντική παρακολούθηση, σχετικά με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες για τους οικοτόπους και τις προστατευόμενες περιοχές στο δίκτυο Natura 2000. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην ταξινόμηση ειδών δένδρων, με τη χρήση ετήσιας ανάλυσης χρονοσειρών δορυφορικών εικόνων Rapid Eye. Η περιοχή μελέτης ορίζεται το Saarburg ως ομόσπονδο κρατίδιο της Ρηνανίας - Παλατινάτο (Rheinland Palatinate) της περιφερειακής ενότητας της Δυτικής Γερμανίας.

Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη αξιολογεί είδη δένδρων (κωνοφόρα και φυλλοβόλα), στις περιοχές του δάσους καθώς και στις ειδικά προστατευόμενες περιοχές σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ για τους «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» (Sites of Community Importance - SCI) για την Ορνιθοπανίδα και της Οδηγίας 79/409/ΕΚ για τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (Special Protection Areas - SPA). Συνεπώς, η αξιολόγηση των ειδών δένδρων σε αυτή τη μελέτη συμβάλει στην παρακολούθηση του δικτύου Natura 2000 και στην Προστασία των Ειδών στους Οικοτόπους.

Τα είδη δένδρων που πρόκειται να αναλυθούν κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης είναι τα εξής: οξιά (*Fagus sylvatica*), ερυθρελάτη (*Picea abies*), δρυς (*Quercus petraea*, *Quercus robur*), κοινή πεύκη (*Pinus sylvestris*) και έλατο Douglas (*Pseudotsuga menziesii*). Η ανάλυση πραγματοποιείται με εικονοστραφή ταξινόμηση (pixel based classification) από μια χρονολογική σειρά έξι δορυφορικών εικόνων RapidEye.

Τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης επικεντρώνονται στην επίδραση της ποσότητας των σκηνών για την ακρίβεια της ταξινόμησης τύπων δένδρων αλλά και στην ακρίβεια απόδοσης της εικονοστραφούς ταξινόμησης. Επομένως ο στόχος, είναι όχι μόνο να βρεθεί η βέλτιστη ημερομηνία παρατήρησης των διαφορετικών ειδών δένδρων, αλλά και ο καλύτερος συνδυασμός ημερομηνιών για την ταξινόμηση των διαφόρων τύπων δένδρων, λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικά φαινολογικά και χαρακτηριστικά της υφής τους.

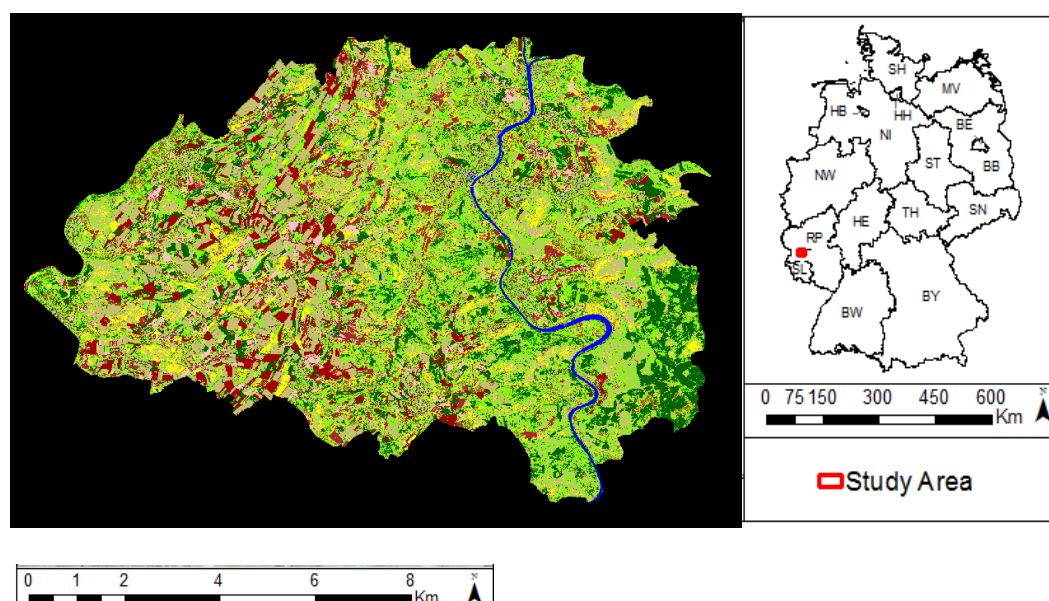
Λέξεις κλειδιά: Ταξινόμηση ειδών δένδρων, Προστατευόμενες περιοχές, Natura 2000, Οικότοποι.

Εισαγωγή

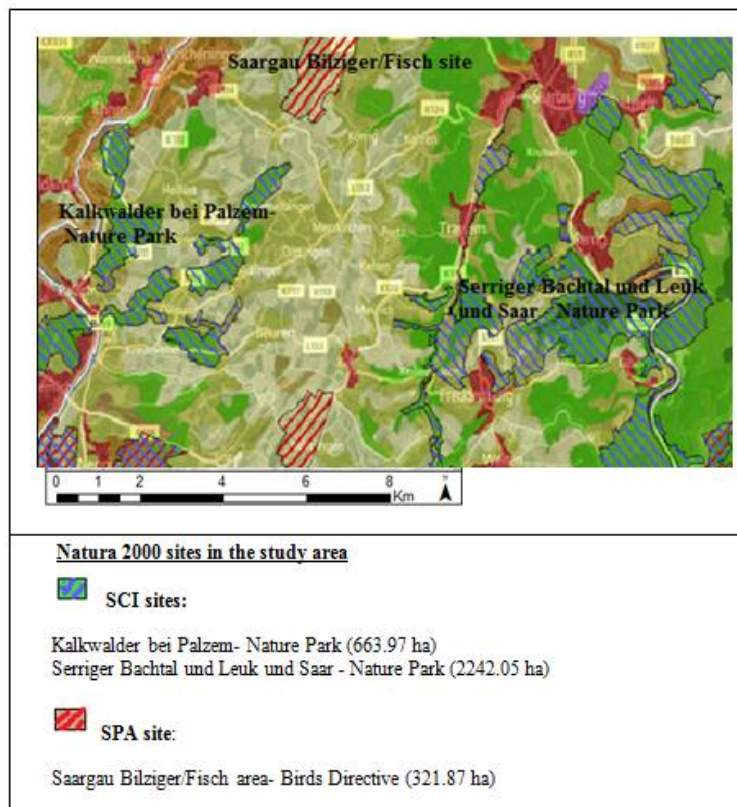
Η κατανόηση και πρόβλεψη των αλλαγών στα μοντέλα δασικής κάλυψης και πιο συγκεκριμένα στα είδη δένδρων, αποτελεί μια ενδιαφέρουσα διαδικασία, κυρίως λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ κλίματος και τοπογραφίας του εδάφους (Ustin, S., 2004). Η προσέγγιση αυτής της μελέτης, στηρίζεται στην οδηγία 92/43/ΕΟΚ για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων. Το άρθρο 11 της οδηγίας αυτής, απαιτεί από τα κράτη μέλη να αναλάβουν την εποπτεία των φυσικών οικοτόπων και των προστατευόμενων ειδών, υποβάλλοντας τα αποτελέσματα τους κάθε έξι χρόνια.

Συνακόλουθα, η μελέτη αυτή συνεισφέρει στην πληροφόρηση και ενημέρωση σχετικά με τα οφέλη που παρέχουν τα δένδρα στο οικοσύστημα, συμβάλλοντας στην ενίσχυση και αποκατάσταση του υφιστάμενου δικτύου χαρτογράφησης των βιοτόπων και των περιοχών προστασίας Natura 2000 της Ρηνανίας Παλατινάτο.

Η περιοχή μελέτης, βρίσκεται στην πόλη Saarburg της Ρηνανίας Παλατινάτο, καλύπτοντας έκταση 29.894,4 εκταρίων (Εικόνα 1). Η περιοχή αυτή αποτελεί μια από τις πιο δασωμένες εκτάσεις της Ομοσπονδιακής Δημοκρατίας της Γερμανίας. Οι Τόποι Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ), στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, αποτελούν το Saar-Hunsrück, Saartal-Leuckbachtal και το Kalkwalder bei Palzem Naturparks - Φυσικά Πάρκα, που βρίσκονται στο νοτιοανατολικό και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, στο βόρειο τμήμα της περιοχής οριοθετείται και μια Ζώνη ειδικής προστασίας (ΖΕΠ) - Saargau Bilziger / Fisch (Εικόνα 2).



Εικόνα 1: Περιοχή μελέτης - Saarburg της Ρηνανίας – Παλατινάτου.



Εικόνα 2: Τόποι Κοινοτικής Σημασίας -ΤΚΣ (Sites of Community Importance-SCI) & Ζώνη ειδικής προστασίας -ΖΕΠ (Special Protected Areas-SPA).

Υλικά και Μέθοδοι

Το Ινστιτούτο Agroeconomie της Rheinland Palatinate σε συνεργασία με το Εργαστήριο Γεωπληροφορικής και Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού του TU Berlin, υποστηρίζει αυτή τη διπλωματική εργασία, με δεδομένα που αναλύονται στον πίνακα 1. Κατά τη διάρκεια της μεταπτυχιακής εργασίας, έγινε χρήση εμπορικά διαθέσιμων πακέτων λογισμικού όπως το ERDAS imagine και ENVI για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων ακρίβειας.

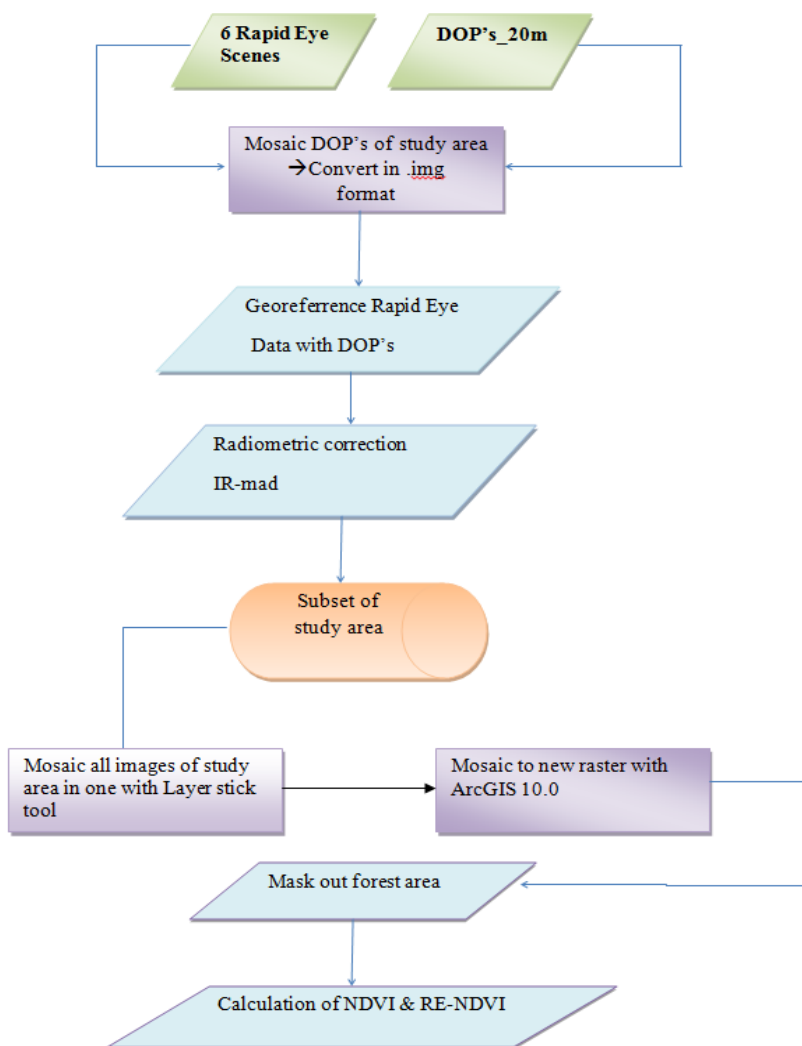
Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν έξι δορυφορικές εικόνες RapidEye με ημερομηνίες λήψης: 22-02-2012, 25-05-2012, 24-07-2012, 10-08-2012, 16-09-2012 και 21-10-2012. Οι δορυφορικές εικόνες, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της προκαταρκτικής επεξεργασίας των αρχικών δεδομένων (Εικόνα 3) διορθώθηκαν από ατμοσφαιρικές επιδράσεις.

Πίνακας 1: Χάρτες και shapefiles για την επεξεργασία δεδομένων και μετά-δεδομένων.

Record	Date	Covering	Accuracy	Source	Use
Τοπογραφικός Χάρτης	2006	Ομοσπονδιακό κράτος Rheinland Palatinate	1:1.000.000	Technische Universität Berlin-	Ορισμός τοπίου και ανάγλυφου για τις μετρήσεις του NDVI
Σχηματικό αρχείο (shp) δασικής περιοχής μελέτης	2009	Study area-Saarburg	1:100.000	Institute of Agroeconomie, Rheinland Palatinate	Περιοχές Ενδιαφέροντος για AOI
Σχηματικό αρχείο (shp) των ειδών δένδρων της περιοχής μελέτης	2009	Study area-Saarburg	1:100.000	Institute of Agroeconomie, Rheinland Palatinate	Περιοχές Ενδιαφέροντος για AOI
Σχηματικό αρχείο (shp) βλάστησης της περιοχής μελέτης	2009	Study area-Saarburg	1:100.000	Institute of Agroeconomie, Rheinland Palatinate	Επικύρωση αποτελεσμάτων
Natura 2000 χάρτης	2011	Study area-Saarburg	1:10.000	Rheinland-Pfalz-Landesamt Fur Umwelt	Ορισμός ΤΚΣ και ΖΕΠ περιοχής μελέτης

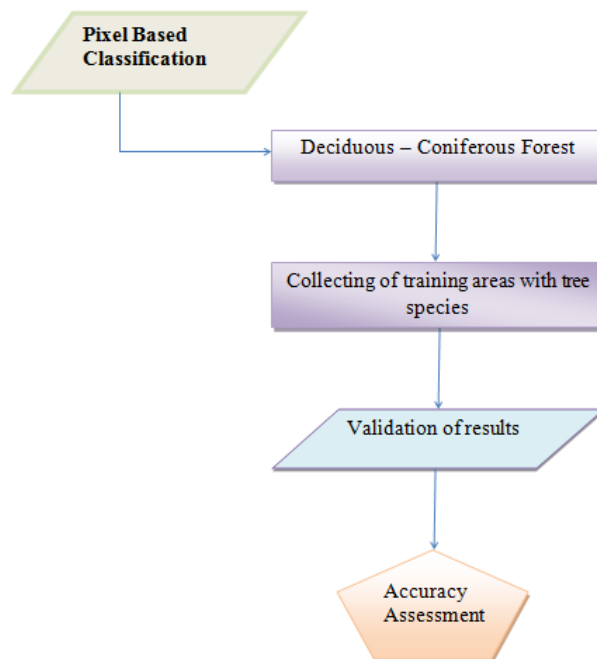
Για τη ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση επιλέχθηκε μια αυτόματη διαδικασία, με τη χρήση του IR-MAD αλγόριθμου του υπολογιστικού προγράμματος ENVI. Ο αλγόριθμος Πολυπαραγοντικών Τροποποιήσεων Ανίχνευσης- Multivariate Alteration Detection (MAD) χρησιμεύει για την εξομάλυνση των χρονοσειρών των πολλαπλών φασματικής απεικόνισης για περιοχές με διαφορετικά τοπία, πλαγιές, σκιές ή λοφώδεις περιοχές (Canty M, Allan A, Nielsen, 2008). Η αυτοματοποιημένη αυτή μέθοδος εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες των αναλλοίωτων pixel σε συνδυασμό με την ορθογώνια γραμμική παλινδρόμηση για την κανονικοποίηση των εικόνων.

Μετά τη γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων ένα υποσύνολο της δασικής περιοχής δημιουργήθηκε, τόσο στην κάθε εικόνα, όσο και στο μωσαϊκό αυτών (layer stack). Στην συνέχεια, υπολογίστηκε ο κανονικοποιημένος δείκτης διαφοράς βλάστησης- normalized difference vegetation index (NDVI) για την περιοχή μελέτης. Ο δείκτης αυτός, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση διαφορών βιοφυσικών και περιβαλλοντικών μεταβλητών για την αξιολόγηση των διαφορών στη χρήση γης σε όλες τις χρονοσειρές εικόνων (Stephen R.,et al 2003).



Εικόνα 3: Διάγραμμα προκαταρκτικής επεξεργασίας των αρχικών δεδομένων.

Στη διαδικασία επεξεργασίας των μεταδεδομένων (Εικόνα 4), για τη δασική ταξινόμηση επιλέχθηκε η μέθοδος της επιβλεπόμενης εικονοστραφούς ταξινόμησης (pixel based classification). Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την επίτευξη υψηλού επιπέδου ακρίβειας σε επίπεδο εικονοστοιχείου - pixel. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση έγινε αρχικά στη δασική περιοχή ώστε να κατηγοριοποιηθούν τα δένδρα ως κωνοφόρα και φυλλοβόλα.



Εικόνα 4: Διάγραμμα επεξεργασίας μετά-δεδομένων μελέτης.

Μετά την ολοκλήρωση των πρώτων επιβλεπόμενων ταξινομήσεων στη δασική περιοχή, πραγματοποιήθηκαν επιβλεπόμενες ταξινομήσεις για τα ακριβή είδη δένδρων που πρόκειται να ταξινομηθούν. Τα είδη δένδρων αυτών είναι: η οξιά ή φηγός (*Fagus sylvatica*), η ερυθρελάτη (*Picea abies*), η Αγγλική βελανιδιά-δρυς (*Quercus petraea*, *Quercus robur*), η δασική πεύκη (*Pinus sylvestris*) και το έλατο της ποικιλίας Douglas Fir, (*Pseudotsuga menziesii*).

Οι επιβλεπόμενες ταξινομήσεις διεξάγονται σε κάθε μια από τις έξι σκηνές αλλά και στο μωσαϊκό αυτών, με τη βοήθεια του Spectral Correlation Mapper αλγόριθμου του λογισμικού ERDAS imagine. Ο αλγόριθμος αυτός αξιολογεί ποσοτικά τόσο τη διακύμανση όσο και την συνδιακύμανση της κατηγορίας των φασματικών σχεδίων κατά την ταξινόμηση ενός άγνωστου pixel (Bokhary, M, Marwa, A., 2007). Έτσι, ένα απροσδιόριστο pixel χαρακτηρίζεται από τον υπολογισμό της πιθανότητας της τιμής του εικονοστοιχείου που ανήκει σε κάθε κατηγορία. Μετά την αξιολόγηση της πιθανότητας σε κάθε κατηγορία, το pixel θα ανατεθεί σε αυτό με την υψηλότερη τιμή πιθανότητας ή κάτω από το όριο που θέτει η αναλυτής (Leeuw, J. et al 2006). Αυτό έχει μεγάλη σημασία για την παρούσα μελέτη, και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο έχει επιλεγεί προσέγγιση που βασίζεται σε pixel.

Για κάθε ταξινόμηση τα ίδια σημεία ενδιαφέροντος (AOI - Area of Interest) έχουν χρησιμοποιηθεί για όλες τις εικόνες, αλλά με διαφορετικά αρχεία υπογραφής

(Signature File) σε κάθε εικόνα. Με αυτόν τον τρόπο συσχετίζονται τα διαφορετικά εικονοστοιχεία κάθε σκηνής στα ίδια σημεία κατάρτισης.

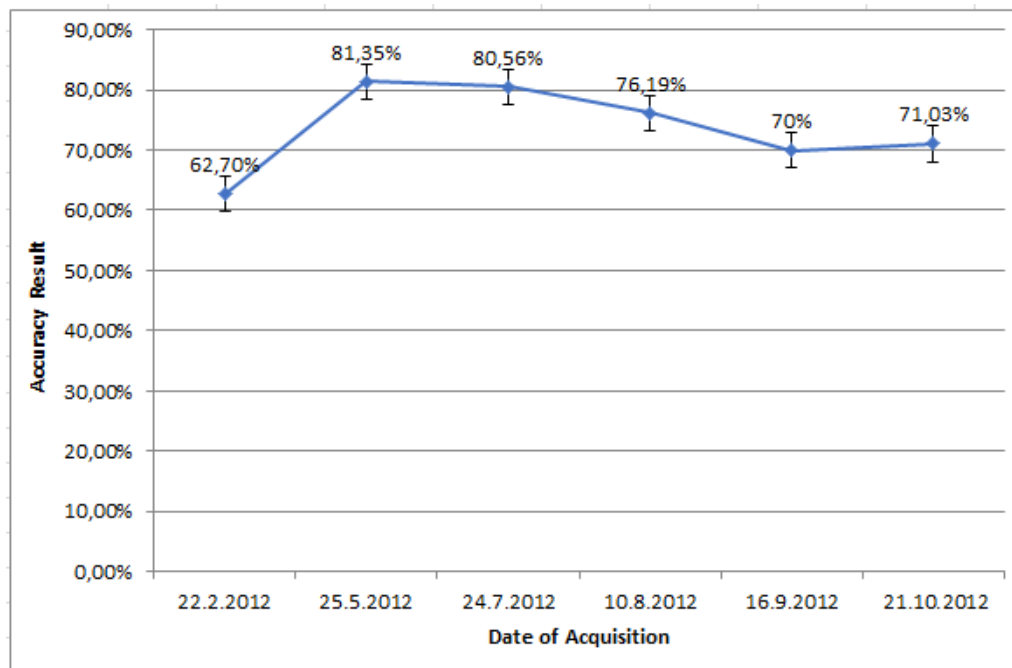
Για την επιλογή των περιοχών ενδιαφέροντος (AOI - Area of Interest) κάθε μιας από τις διαφορετικές τάξεις δένδρων, το 70% των ταξινομημένων σημείων επιλέχθηκαν ως χαρακτηριστικά σημεία ενδιαφέροντος (training points) και το 30% ως σημεία επικύρωσης (test points). Αυτό σημαίνει ότι τουλάχιστον 30 σημεία ανά κατηγορία χρησιμοποιήθηκαν δειγματοληπτικά για την απεικόνιση κάθε διαφορετικής κατηγορίας δένδρου.

Για τη συλλογή και επικύρωση δειγμάτων των διαφορετικών ειδών δένδρων, ένα σχηματικό αρχείο (shapefile) των δένδρων που καλύπτει την περιοχή χρησιμοποιήθηκε, καθώς και χρήση Ψηφιακών ορθοφωτογραφιών (20μ ανάλυσης) και τοπογραφικού χάρτη της περιοχής.

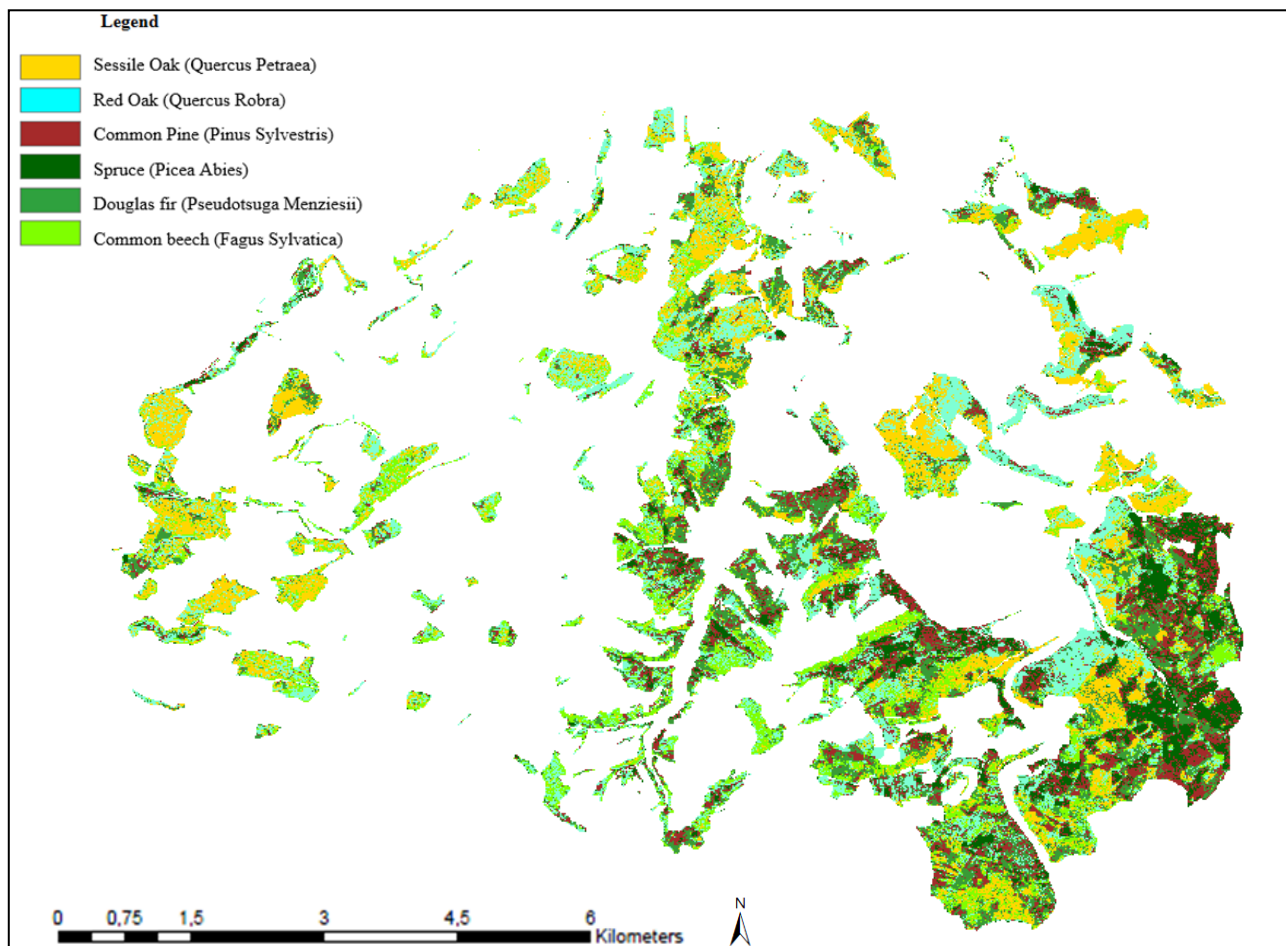
Η επικύρωση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης έγινε με τη χρήση αξιολόγησης ακρίβειας (Accuracy Assessment) καθώς και με σύγκριση των αποτελεσμάτων ακρίβειας με την αντίστοιχη κατάταξη μηχανής διανυσμάτων (support vector machines) με την υποστήριξη της Mc Nemar δοκιμής (Schuster C et al. 2015). Η σύγκριση αυτή επιτρέπει τη διεξαγωγή στατιστικών δοκιμών σχετικά με την εύρεση της πιο κατάλληλης σκηνής της χρονοσειράς για την παρατήρηση των διαφορετικών ειδών δένδρων αλλά και των φαινολογικών χαρακτηριστικών αυτών.

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης είναι οπτικώς ρεαλιστικά. Τα φυλλοβόλα δένδρα (Αγγλική βελανιδιά -*Quercus Robur*, *Quercus Petrae*, Οξιά- φήγος -*Fagus Sylavtica*) μπορούν να παρατηρηθούν καλύτερα στις σκηνές του Μαΐου, Ιουλίου, Αυγούστου και Σεπτεμβρίου. Αντίστοιχα ,τα κωνοφόρα δένδρα (έλατο-*Pseudotsuga menziesii*, Ερυθρελάτη- *Picea Abies* και δασική πεύκη- *Pinus Sylvestris*) έχουν ικανοποιητικά οπτικά αποτελέσματα στις σκηνές του Ιουλίου, Αυγούστου και Σεπτεμβρίου.



Εικόνα 5: Στατιστικά αποτελέσματα ακρίβειας των διαφορετικών σκηνών



Εικόνα 6: Αποτέλεσμα επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε μωσαϊκό εικόνων.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι συγκεκριμένων είδη δένδρων εμφανίζονται καλύτερα σε μεμονωμένες σκηνές, όπως για παράδειγμα η κοινή οξιά- *Fagus Sylvatica* παρατηρείται καλύτερα στη σκηνή του Σεπτεμβρίου. Αυτό σημαίνει ότι για συγκεκριμένα είδη δένδρων δεν μπορούμε να βασιζόμαστε σε μία μόνο σκηνή, αλλά στη συμβολή περισσότερων σκηνών. Αντιθέτως στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση του μωσαϊκού των έξι σκηνών μπορεί κανείς να δει με σχετική ακρίβεια (0,25 του εικονοστοιχείου), τα περισσότερα είδη δένδρων με ρεαλιστική απεικόνιση, διότι το μωσαϊκό περιλαμβάνει όλες τις πολύτιμες πληροφορίες που προστίθενται επί της κάθε σκηνής (ανάγλυφο, χρήσεις γης, στοιχεία τοπίου, σκιές), όπως φαίνεται και στην εικόνα 6 που ακολουθεί.

Η επικύρωση του αποτελέσματος ακριβείας κάθε επιβλεπόμενης ταξινόμησης καθορίζεται με βάση την ακρίβεια της αξιολόγησης (Accuracy Assessment). Τα αποτελέσματα των αξιολογήσεων ακριβείας, δείχνουν ότι η προσθήκη περισσότερων σκηνών στη διαδικασία της ταξινόμησης των διαφορετικών ειδών δένδρων είναι επικερδή ως προς την ακρίβεια της ταξινόμησης. Η συνολική ακρίβεια αυξάνεται από 71 τοις εκατό (σκηνή του Φεβρουαρίου), χρησιμοποιώντας μια σκηνή σε 83,75 τοις εκατό χρησιμοποιώντας και τις έξι σκηνές.

Τα αποτελέσματα του στατιστικού Mac nemar test, έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των αξιολογήσεων ακριβείας (Accuracy Assessment), καθώς δείχνουν ότι η σκηνή με το καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης είναι η σκηνή του Μαΐου. Σύμφωνα με τους στατιστικούς ελέγχους, η σκηνή αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε όλους τους συνδυασμούς των διαδικασιών επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Αυτό δίνει ως αποτέλεσμα ακρίβεια της τάξης του ποσοστού ακριβείας 81,35% για τη σκηνή του Μαΐου. Αντίστοιχα, η δεύτερη πιο πολύτιμη σκηνή που συμβάλλει στην ακρίβεια της ταξινόμησης, είναι η σκηνή του Ιουλίου, που έχει χρησιμοποιηθεί 5 φορές στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων της κατάταξης με τη μέθοδο SVM (Support Vector Machine), με ποσοστό ακριβείας 80,56%.

Σύμφωνα με την Εικόνα 5, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση στη σκηνή του Μαΐου έδωσε το καλύτερο αποτέλεσμα ακριβείας ποσοστού 81,35% συνολικής ακριβείας. Οι αμέσως επόμενες καλύτερες σκηνές, σύμφωνα με τις μοναδιαίες επιβλεπόμενες ταξινομήσεις είναι οι σκηνές του Ιουλίου και Αυγούστου (με ποσοστό 80,56% και 76,19% αντίστοιχα).

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι με την αύξηση του αριθμού των σκηνών, η ακρίβεια ταξινόμησης χαρακτηρισμού διαφορετικών ειδών δένδρων βελτιώνεται. Η χρήση πολυ-χρονικών δορυφορικών δεδομένων για την παρακολούθηση του δικτύου Natura 2000 και την Προστασία των Ειδών στους Οικοτόπους μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμη. Συνολικά, συμπεραίνουμε ότι οι καταλληλότερες σκηνές για τη διάκριση συγκεκριμένων ειδών δένδρων, σύμφωνα με τη μέθοδο της εικονοστροφούς επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε κάθε σκηνή αλλά και στο μωσαϊκό όλων, είναι οι ανοιξιάτικες και καλοκαιρινές σκηνές.

Abstract

The collection and processing of data in the geospatial context is essential for environmental monitoring concerning the European habitat directive. This study focuses on tree species classification using intra annual time series data. The research area is the district of Saarburg in the Federal state of Rheinland Palatinate. More specifically, the study assesses tree species (coniferous and deciduous), not only in forest areas but also on special protected areas of the selected study area. These are the SCI's- Sites of Community Importance according to the European Directive 92/43 / EEC and on SPA's- Special Protection Areas for Birds, according to the European Directive 79/409 / EK. The evaluation of tree species in this study, could therefore contribute to the monitoring of the Natura 2000 network of Rheinland Palatinate. The main tree species that are going to be analyzed during the classification process are the following: beech (*Fagus sylvatica*), spruce (*Picea abies*), oak (*Quercus petraea*, *Quercus robur*), common pine (*Pinus sylvestris*) and spruce Douglas (*Pseudotsuga menziesii*). The classification method that has been selected for identifying these tree species is a pixel based classification, with the use of six intra annual time series of Rapid Eye satellite images. The research questions of this study focus on the effect of the amount of scenes on the accuracy of the classification, but also in the accuracy performance of the pixel based classification. The main objective for this research was not only to find the best date but also the best date combination for classifying the different tree species types, considering their different phenological and texture characteristics.

Βιβλιογραφία

- Bokhary M., Marwa A. (2007), 'Comparison between Pixel Based Classification and Object Base Feature Extraction Approaches For a Very High Resolution Remote Sensed Image', pp. 134-136.
- Canty M., Nielsen A. (2008), 'Automatic radiometric normalization of multi temporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation', Remote Sensing of Environment 112, pp. 1025–1036.
- Cortes, C., Vapnik V. (1995), 'Support-vector networks. In Machine Learning', 20 (3), pp. 273–297.
- Franklin J., Spies T., (2002), 'Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example', Forest Ecology and Management 155, pp. 399-423.
- Koch B. (2008), 'Forestry applications', Advances in photogrammetry, remote sensing and spatial information- ISPRS Congress Book. Taylor & Francis Group, London, pp. 439-465.
- Leeuw J., Jia H., Yamg L., Liu X., Schmidt K., Skidmore A. K., (2006): Comparing accuracy assessments to infer superiority of image classification methods. In International Journal of Remote Sensing 27 (1), pp. 223–232.
- Waser LT., Ginzer C., (2009), 'Semiautomatic prediction of main tree species using multi-temporal ADS40 data', Extending Forest Inventory and Monitoring over space and time, Quebec City, Canada, pp.1-6
- Stephen R. Hale B., Barret N. Rock., (2003); 'Impact of Topographic Normalization on Land-Cover Classification Accuracy', Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 69, No. 7, pp. 785–791.
- Schuster C., Schmidt T., Schuster C., Kleinschnit B., Foster M., (2015): 'Grassland habitat mapping by intra-annual time series analysis – Comparison of RapidEye and TerraSAR-X satellite data', International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 34 ,pp.25–34
- Tigges J., Lakes T., Hostert P., (2013) 'Urban vegetation classification: Benefits of multitemporal Rapid Eye satellite data. In Remote Sensing of Environment', 136, pp. 66–75.
- Ustin S., 'Remote sensing for natural resource management and environmental monitoring', Manual of Remote Sensing. 3d edition, volume 4, pp.148

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ LANDSAT ΕΙΚΟΝΩΝ

¹Καρπούζας Σωτήρης*, ²Παρχαρίδης Ισαάκ, ³Καλογερόπουλος Κλεομένης,
⁴Νεοκοσμίδης Σπύρος, ⁵Χαλκιάς Χρίστος

¹ MSc. Δασολόγος - Δασοπόνος, Διεύθυνσης Δασών Δυτικής Αττικής, Τμήμα Δασικών Χαρτογραφήσεων, Παλληκαρίδη 19-21, Αιγάλεω 12243, email: gp212313@hua.gr

² Αν. Καθηγητής Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελευθ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα – Αθήνα 17671, email: parchar@hua.gr

³ Υποψήφιος Δρ. Εφαρμοσμένης Γεωπληροφορικής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελευθ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα – Αθήνα 17671, email: kalogeropoulos@hua.gr

⁴ MSc. Γεωλόγος – Γεωπεριβαλλοντολόγος, Επιστημονικός συνεργάτης Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, Ι. Μεταξά και Βασ. Παύλου, Πεντέλη 15236, email: s.neokosmidis@noa.gr

⁵ Αν. Καθηγητής στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και την Εφαρμοσμένη Γεωγραφία, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελευθ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα – Αθήνα 17671, email: xalkias@hua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία είχε ως κύριο στόχο, αφενός, τη χαρτογράφηση των αλλαγών κάλυψης γης στο Δήμο Μεγαρέων για το χρονικό διάστημα 1993 – 2010, και αφετέρου, τη δημιουργία ενός μοντέλου ροής διεργασιών, το οποίο να είναι εφαρμόσιμο και σε άλλες περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά με τη χρήση προηγμένων τεχνικών τηλεπισκόπησης. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε πιλοτικά ο Δήμος Μεγαρέων (ο οποίος βρίσκεται στο δυτικότερο τμήμα της Αττικής) και τα βασικά λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι το ENVI 5.2 και το ArcGIS 10.1. Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τρεις δορυφορικές εικόνες Landsat (1993, 2001 & 2010), οι οποίες διορθώθηκαν ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά και κόπηκαν στα όρια της περιοχής μελέτης. Τα εξαγόμενα προϊόντα στη συνέχεια ταξινομήθηκαν με την μέθοδο ISODATA και ανιχνεύθηκαν οι αλλαγές κάλυψης γης μεταξύ των 3 εικόνων της μελέτης. Για την πιστοποίηση της ταξινόμησης, πραγματοποιήθηκαν εργασίες πεδίου κατά τις οποίες ελήφθησαν δεδομένα, καθορίστηκαν οι κλάσεις ταξινόμησης και εφαρμόστηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση με το ταξινομητή της Μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood). Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για τα τρία έτη αναφοράς, αποδόθηκαν χαρτογραφικά με τη δημιουργία χαρτών κάλυψης γης. Η ακρίβεια της ταξινόμησης αξιολογήθηκε με τη δημιουργία πίνακα Confusion Matrix και έδωσε ικανοποιητικές τιμές ολικής ακρίβειας και στατιστικού δείκτη Kappa. Τελικά δημιουργήθηκαν έξι χάρτες αλλαγών κάλυψης γης (δύο για κάθε συνδυασμό δύο ετών αναφοράς) και από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι και στα τρία έτη αναφοράς το σύνολο των εκτάσεων της περιοχής μελέτης που διέπονται από τις διατάξεις της Δασικής Νομοθεσίας (Δάση Χαλεπίου πεύκης, Κεφαλληνιακής ελάτης και Δασικές εκτάσεις) ξεπερνά οριακά το 50% και εμφανίζει μια ελαφριά πτωτική τάση. Το τμήμα

του ελατόδασους της Ελατιάς που βρίσκεται στα όρια του δήμου, εμφανίζει μια αυξητική τάση, ενώ σημαντική είναι και η αύξηση των αστικών εκτάσεων την περίοδο 2001 – 2010 λόγω κυρίως της κατασκευής του άξονα του Προαστιακού Σιδηρόδρομου το έτος 2004.

Λέξεις - Κλειδιά: Remote sensing, Δήμος Μεγάρων, Change detection, Landsat Image Analysis.

Εισαγωγή

Με τη χρήση της τηλεπισκόπησης επιτυγχάνεται η χαρτογράφηση, η διερεύνηση και η τελική καταγραφή των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης. Η τηλεπισκόπηση δεν αντικαθιστά πλήρως τις παρατηρήσεις υπαίθρου. Όμως η συλλογή δεδομένων στην ύπαιθρο απαιτεί πολύ χρόνο και μεγάλο κόστος, ενώ τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης μπορεί να καταγράφουν δεδομένα σε πολύ μικρό σχετικά χρόνο και κόστος. Ο χρήστης μπορεί με τη βοήθεια των δεδομένων παρακολούθησης της γης να αποκτήσει μία ολοκληρωμένη και γρήγορη εικόνα της ευρύτερης περιοχής που μελετά, σε σχέση με αυτή που μπορεί να έχει στην ύπαιθρο, μειώνοντας έτσι σημαντικά τον χρόνο και το κόστος που απαιτείται κατά τις εργασίες υπαίθρου. Επίσης, τα δεδομένα τηλεπισκόπησης μπορούν να δώσουν πληροφόρηση για δύσβατες περιοχές, οι οποίες δύσκολα μπορούν να προσεγγιστούν (Μίγκιρος κ.α. 2003).

Η διερεύνηση της ανίχνευσης αλλαγών στις χρήσεις γης ξεκίνησε πριν από αρκετά χρόνια. Μελέτες με τη χρήση εικόνων Landsat υπάρχουν εδώ και περίπου 4 δεκαετίες (Angelici κ. α. 1977) και μελέτες για μεταβολή στη βλάστηση (Allum και Dreisinger 1987).

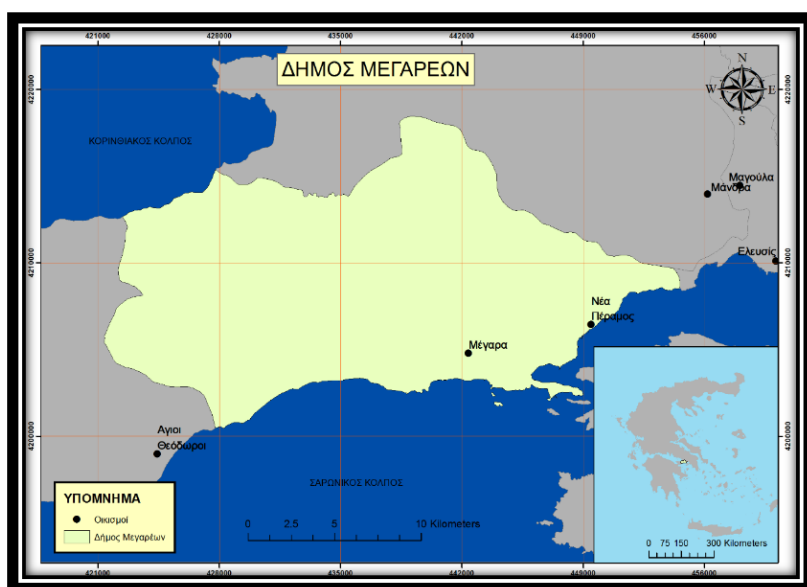
Μεταξύ των πιο πρόσφατων μελετών και σε σχέση και με την παρούσα εργασία αναφέρονται αυτές κατά τις οποίες χρησιμοποιήθηκε ταξινόμηση των εικόνων με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (Zha και Ni 2003, Lu κ.α. 2004, Yuan κ.α. 2005, DiGirolamo 2006, Mancino κ.α. 2012, Al-Razzaq και Alnajjar 2013). Στη Δασολογική επιστήμη, διαχρονικά πολλές έρευνες χρησιμοποίησαν δορυφορικά δεδομένα, και ιδιαίτερα του καταγραφέα Landsat TM, στον προσδιορισμό και καταγραφή των χρήσεων γης (Fuller κ.α., 1994, Vogelmann κ.α., 1998, Muller κ.α. 1999). Από δασικής άποψης η πιο σημαντική ίσως εφαρμογή των δορυφορικών δεδομένων είναι η διάκριση και χαρτογράφηση των δασών και δασικών εκτάσεων, καθώς και ο υπολογισμός της έκτασης που καταλαμβάνουν με ακρίβεια που καθορίζεται από τη χωρική διακριτική ικανότητα των διαθέσιμων εικόνων (William και Nelson 1986, Wolter κ.α. 1995). Οι Καρτέρης και Μελιάδης (1992), χρησιμοποίησαν το συνδυασμό φασματικών καναλιών

3-4-5 του δορυφόρου Landsat TM για τη διάκριση των κλάσεων μακί, πλατυφύλλων, αστικών περιοχών και ελαιώνων. Ο διαχωρισμός κατά τη ταξινόμηση των δασοπονικών ειδών σε πολλές μελέτες αποδείχτηκε προβληματικός και στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν πολύ δύσκολη η αναγνώριση των ειδών (Hopkins κ.α. 1988, Martin κ.α. 1998).

Υλικά και Μέθοδοι

Περιοχή Μελέτης

Ο Δήμος Μεγαρέων είναι δήμος της περιφέρειας Αττικής που προέκυψε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης από τη συνένωση των προ υπαρχόντων δήμων Μεγαρέων και Νέας Περάμου. Έδρα του δήμου είναι τα Μέγαρα. Ο δήμος Μεγαρέων βρίσκεται στο δυτικότερο τμήμα της Αττικής. Βρέχεται στα βόρεια από τα νερά του Κορινθιακού κόλπου και στα νότια από τον Σαρωνικό.



Εικόνα 1. Η περιοχή μελέτης.

Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου είναι: α) Οι δορυφορικές εικόνες Landsat TM με ημερομηνίες λήψης τον Αύγουστο των ετών 1993, 2001 και 2010 από το ιστότοπο της E.S.A. - European Space Agency (<https://earth.esa.int/web/guest/eoli>).

β) Οι δορυφορικές εικόνες του Google Earth για τις χρονικές στιγμές 28-7-2010 και 23-8-2002, γ) Οι ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Γεωργίας έτους 1996 και της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. έτους 2007, δ) Οι αεροφωτογραφίες ετών 1987, 1995 και 2001 της Δ/σης Δασών Δυτικής Αττικής, ε) Τα δεδομένα του ευρωπαϊκού προγράμματος Corine Land Cover έτους 2000, στ) Τα δεδομένα πεδίου, ζ) Τα όρια του Δήμου Μεγάρων σε διανυσματικό αρχείο (shp) από τον διαδικτυακό χώρο geodata.gov.gr.

Μεθοδολογία

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η δημιουργία ενός μοντέλου ροής εργασιών, με τη χρήση προηγμένων τεχνικών τηλεπισκόπησης, το οποίο θα αποδώσει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή των χρήσεων/κάλυψης γης του Δήμου Μεγάρων για τη χρονική περίοδο 1993 έως 2010, με έμφαση στη διαχρονική εξέλιξη των δασικών οικοσυστημάτων της περιοχής μελέτης. Το μοντέλο ροής εργασιών παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.

Η μέθοδος προσέγγισης στηρίζεται στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση διαχρονικής σειράς δορυφορικών εικόνων Landsat, με βάση τις διακρίσεις της δασικής βλάστησης από τη δασική νομοθεσία σε συνδυασμό με τη διάκριση χρήσεων γης που δόθηκαν από το πρόγραμμα Corine Land Cover. Οι εργασίες πραγματοποιήθηκαν στα λογισμικά ENVI 5.2 και ArcGIS 10.1.

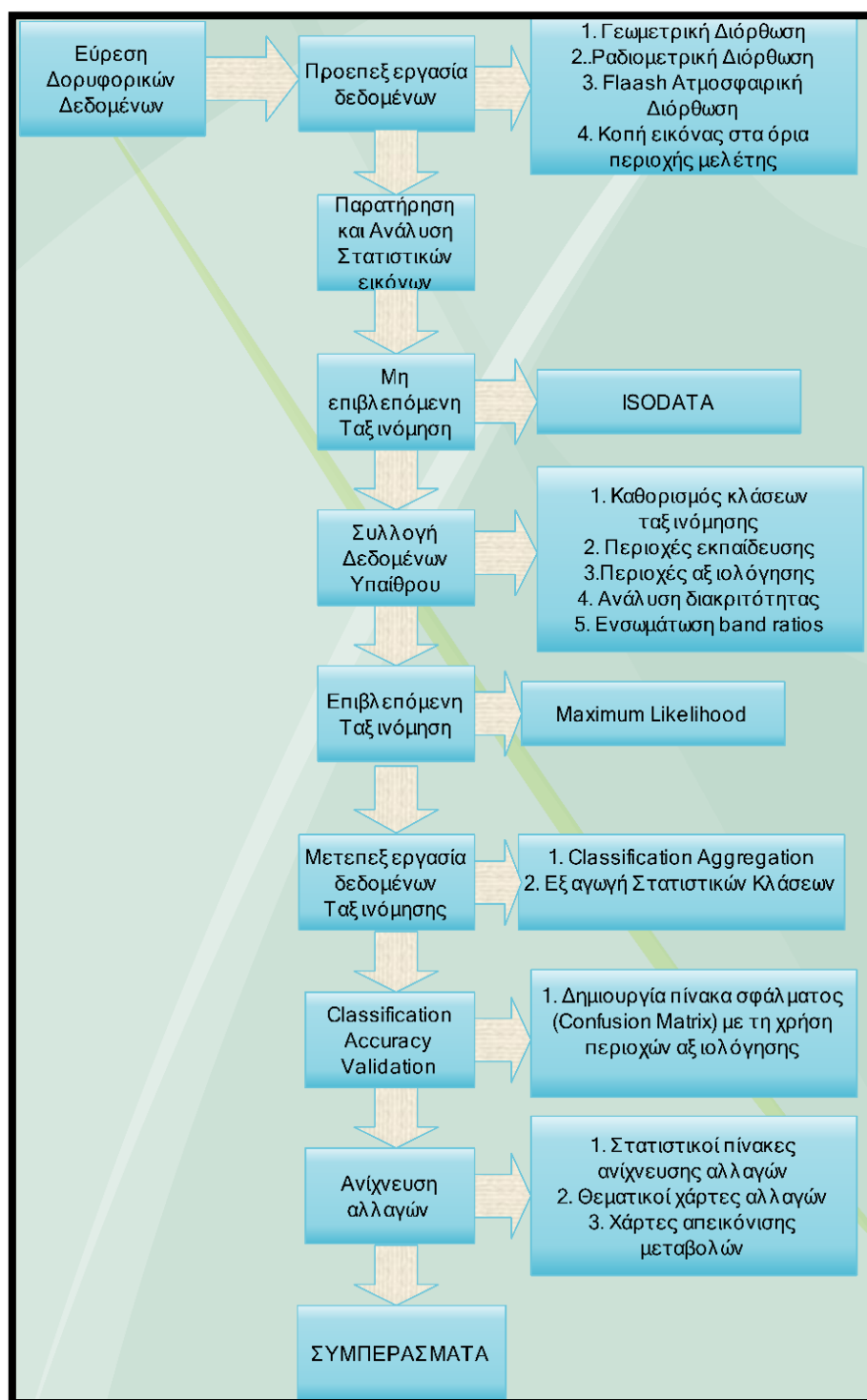
Προεπεξεργασία δεδομένων

Με τη βοήθεια του λογισμικού ENVI οι δορυφορικές εικόνες διορθώθηκαν ραδιομετρικά και στη συνέχεια ατμοσφαιρικά με τη μέθοδο FLAASH. Τέλος οι εικόνες «κόπηκαν» στα όρια της περιοχής μελέτης.

Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Πριν από την εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, πραγματοποιήθηκε επιτόπια αυτοψία στη μελετώμενη περιοχή. Σκοπός της αυτοψίας ήταν η οπτική παρατήρηση και η φωτογράφιση των περιοχών χρήσης/κάλυψης γης, όμοιων με τις οριζόμενες κλάσεις. Παράλληλα με τη φωτογράφιση, σημειώθηκαν και οι συντεταγμένες κατά ΕΓΣΑ 87 οι οποίες στη συνέχεια μετετράπησαν στο WGS84. Για να ορισθούν οι τάξεις χρήσης/κάλυψης γης, στις οποίες θα ταξινομηθούν τα εικονοστοιχεία των δεδομένων της παρούσας μελέτης, συνδυάστηκε η μεθοδολογία Corine Land Cover 2000 (CLC2000) και η δασική νομοθεσία και το σύστημα των

Anderson κ.α. (1976). Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι κλάσεις της παρούσας μελέτης.



Εικόνα 2. Μοντέλο ροής διαδικασιών μελέτης.

Πίνακας 1. Κλάσεις ταξινόμησης μελέτης.

A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ
1	Υδατα (Water)	Θάλασσες – λίμνες – ποτάμια
2	Αστικές εκτάσεις (Urban)	Κτήρια, δρόμοι, βιομηχανικές κατασκευές, θερμοκήπια
3	Γυμνό έδαφος (Bare lands)	Έδαφος γυμνό ανεκμετάλλευτο, φυσικά βράχια, παλιά λατομεία.
4	Δάση Χαλεπίου πεύκης (Pine forests)	Δάση Χαλεπίου πεύκης σε αμιγή ή μικτή μορφή με θαμνώνες αειφύλλων πλατυφύλλων
5	Δάσος ελάτης (Fir forests)	Δάσος ελάτης σε μικτή μορφή με μαύρη πεύκη
6	Δασικές εκτάσεις (Brush lands)	Εκτάσεις με αραιή δασική βλάστηση, φρυγανώνες και θαμνώνες.
7	Λιβάδια (Meadows)	Εκτάσεις με ποώδη βλάστηση, εγκαταλελειμμένοι αγροί με χορτολιβαδική βλάστηση.
8	Καμένες εκτάσεις (Burnt areas)*	Δασικές και γεωργικές εκτάσεις πρόσφατα καμένες
9	Καλλιέργειες (Crops)	Αροτραίες – Δενδρώδεις καλλιεργήσιμες εκτάσεις

Με βάση τις ανωτέρω κλάσεις ταξινομήθηκαν όλες οι εκτάσεις στη περιοχή των Μεγάρων.

Αποτελέσματα

Για τον καθορισμό των εκπαιδευτικών πεδίων στις 3 διαθέσιμες εικόνες Landsat χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα:

- Για την εικόνα του 1993, χρησιμοποιήθηκαν οι ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Γεωργίας έτους 1996 και οι αναλογικές αεροφωτογραφίες της περιοχής Μεγάρων 1987 και 1995 του αρχείου Δ/νσης Δασών Δυτικής Αττικής.
- Για την εικόνα του 2001, χρησιμοποιήθηκαν οι αναλογικές αεροφωτογραφίες της περιοχής Μεγάρων του έτους 2001 από το αρχείο της Δ/νσης Δασών Δυτικής Αττικής και η εικόνα 28 του Google Earth για τη χρονική στιγμή 23-8-2002.
- Για την εικόνα του 2010, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα υπαίθρου από την επιτόπια αυτοψία στην περιοχή μελέτης, οι ορθοφωτοχάρτες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. έτους 2007 και η εικόνα 29 του Google Earth για τη χρονική στιγμή 28-7-2010.

Η μέθοδος που επιλέχτηκε για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι αυτή της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood), διότι αντιπροσωπεύει ακριβώς τον τρόπο εκπαίδευσης που εφαρμόστηκε στην εν λόγω μελέτη, γεγονός το οποίο συνάγεται και από τη βιβλιογραφία (Hasmadi κ.α. 2009, Vorovencii και Muntean 2013, Al-Ahmadi και Hames 2009).

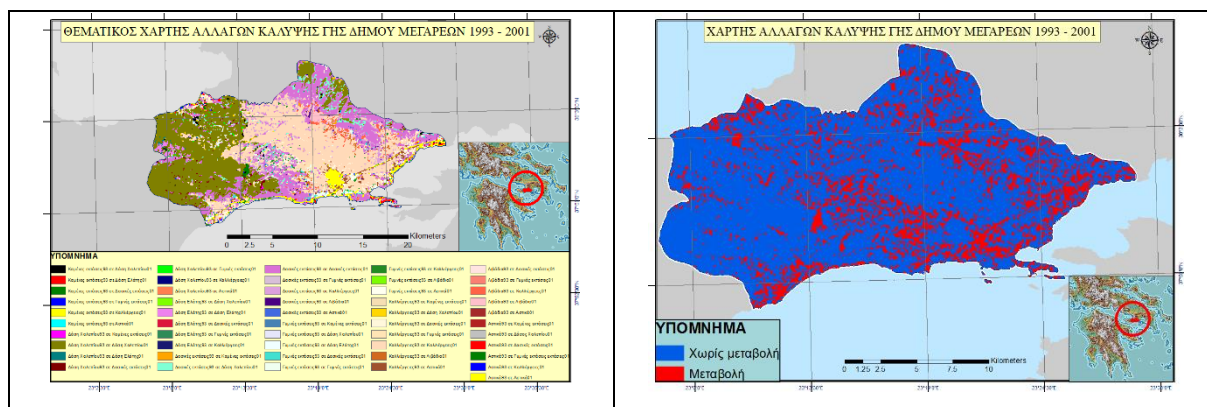
Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης για τις τρεις χρονικές στιγμές παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

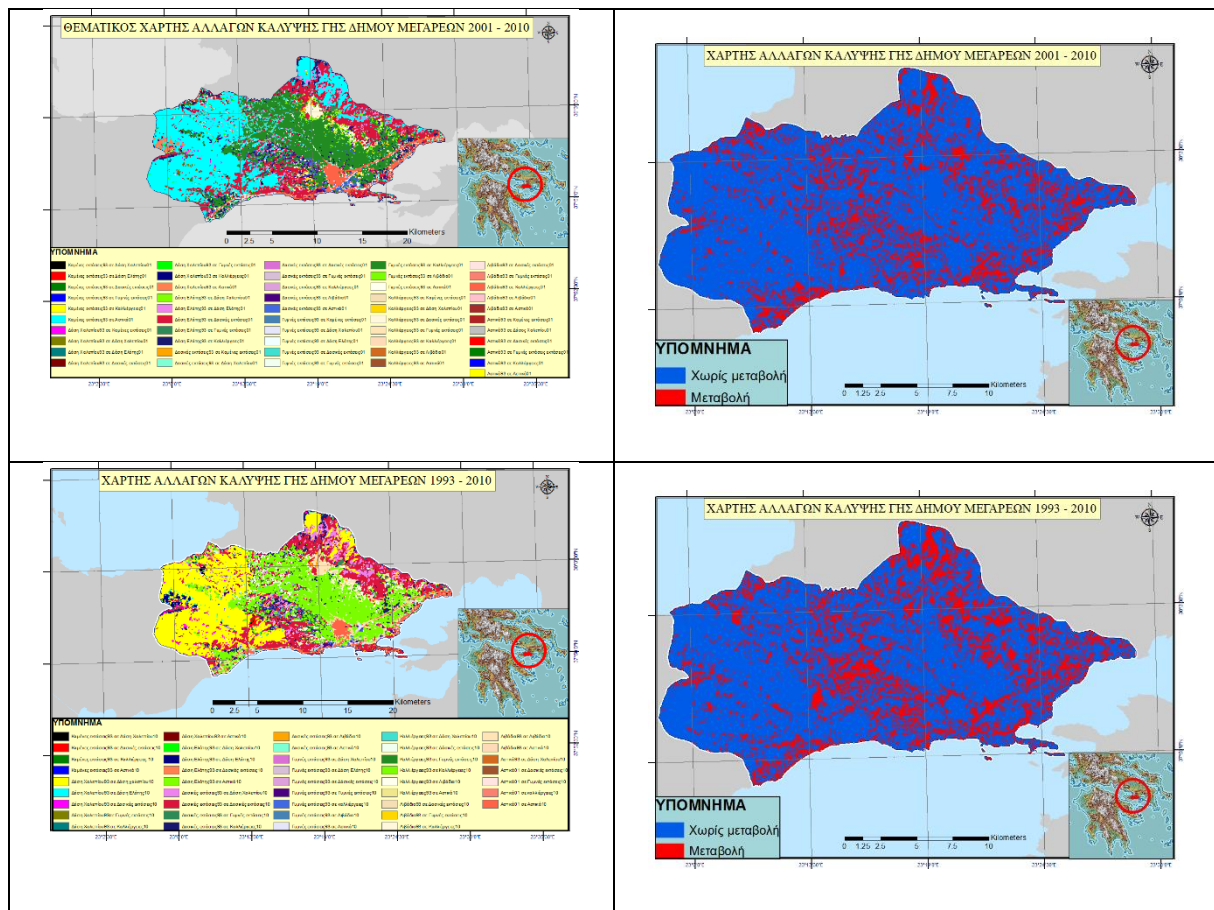
Πίνακας2 Αποτελέσματα ταξινόμησης για τις τρεις υπό εξέταση χρονικές στιγμές.

ΚΛΑΣΗ	1993		2001		2010	
	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)
Καμένες εκτάσεις	1.52%	5016.6	0.51%	1675.8	0.00%	0
Δάση Χαλεπίου	26.14%	86366.7	28.66%	94671.9	29.80%	98454.6
Δάση Ελάτης	0.67%	2199.6	0.77%	2558.7	0.98%	3234.6
Δασικές εκτάσεις	25.47%	84130.2	23.77%	78526.8	21.70%	71673.3
Γυμνές εκτάσεις	8.46%	27952.2	10.23%	33782.4	5.88%	19415.7
Αγροτικές εκτάσεις	29.28%	96714.9	26.87%	88753.5	27.42%	90572.4
Λιβάδια	4.22%	13951.8	3.57%	11806.2	4.12%	13610.7
Αστικές εκτάσεις	4.24%	14015.7	5.61%	18532.8	10.11%	33402.6
ΣΥΝΟΛΟ	100.00%	330347.7	100.00%	330308.1	100.00%	330363.9

Η Ολική ακρίβεια της ταξινόμησης για τις εικόνες του 1993, 2001 και 2010 εμφάνισε τιμές αντίστοιχα 89,8526%, 91,0093% και 90,2439% και ο στατιστικός συντελεστής (K) εμφάνισε αντίστοιχα τιμές 0,8813, 0,8959 και 0,8842 οι οποίες προσεγγίζουν τη μονάδα, γεγονός που υποδηλώνει άριστη συμφωνία μεταξύ ταξινόμησης και δεδομένων αναφοράς.

Οι χάρτες επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας των Μεγάρων, καθώς και οι αλλαγές στην κάλυψη γης παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες.





Εικόνα 3. Χάρτες επιβλεπόμενης ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας & οι αλλαγές στην κάλυψη γης

Συμπεράσματα

Το 1993, κυριαρχούσα κλάση είναι οι αγροτικές καλλιέργειες με ποσοστό 29,28%, το 2001 και το 2010 τα δάση Χαλεπίου πεύκης αποτελούν την κυρίαρχη κλάση με ποσοστά 28,66 και 29,80 % αντίστοιχα.

Οι εκτάσεις που διαχειρίζονται από τη δασική νομοθεσία, το 1993 αντιπροσωπεύουν το 52,28%, το 2001 το 53,2% και το 2010 φθάνει στο 52,48%.

Τα δάση της Χαλεπίου πεύκης αυξάνονται σταθερά (26.14% το 1993, 28.66% το 2001 και 29,8 το 2010 της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης). Σχετικά με την προέλευση των εκτάσεων οι οποίες μετετράπησαν σε Δάση Χαλεπίου πεύκης, κατά κύριο λόγο πρόκειται για δασικές εκτάσεις οι οποίες απέκτησαν μεγαλύτερη πυκνότητα βλάστησης (κυρίως λόγω αύξησης της φυσικής αναγέννησης) και κατά δεύτερο λόγο από κάποιες αγροτικές εκτάσεις οι οποίες εγκαταλείφθηκαν και δασώθηκαν φυσικά, καθώς και από κάποιες γυμνές εκτάσεις οι οποίες με το πέρασμα του χρόνου επίσης δασώθηκαν φυσικά.

Το δάσος της Ελατιάς με την Κεφαλληνιακή Ελάτη σε μίξη με την Μαύρη και τη Χαλέπιο πεύκη σε ότι αφορά το τμήμα εντός της περιοχής μελέτης, εμφανίζει σταδιακή

αύξηση διαχρονικά, το 1993 καταλαμβάνει 2199,6 στρέμματα (0,67%), το 2001 καλύπτει 2558,7 στρέμματα (0,77%), τελικά το 2010 ανέρχεται στα 3234,6 στρέμματα (0,98%). Τα αίτια αυτής της αύξησης είναι πέρα από τους κλιματικούς παράγοντες, η έλλειψη καλού οδικού δικτύου, η μείωση της αιγοβοσκής και φυσικά η απουσία αξιοσημείωτων περιστατικών πυρκαγιάς για το χρονικό διάστημα αναφοράς της μελέτης. Όλες σχεδόν οι εκτάσεις, που αυξήθηκαν τα Δάση της Κεφαλληνιακής ελάτης προέρχονται από Δάση της Χαλεπίου πεύκης. Επιστημονική τεκμηρίωση: Σε υψόμετρα > 800 μέτρα ευνοείται η ανάπτυξη της κεφαλληνιακής ελάτης, ειδικότερα δε οι βόρειες εκθέσεις στα Γεράνεια, λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών, της μικρότερης ηλιοφάνειας και της αυξημένης υγρασίας, δημιουργούν ένα σημαντικό πλεονέκτημα του ημισκιάφυτου κεφαλλονίτικου έλατου, έναντι της φωτόφιλης Χαλεπίου πεύκης, με τελικό αποτέλεσμα τη διαχρονική κυριαρχία και εξάπλωσή του πρώτου στη μίξη με τη Χαλέπιο πεύκη.

Οι καλλιέργειες δεν παρουσιάζουν διαχρονικά κάποια αξιόλογη μεταβολή, συνολικά μάλιστα εμφανίζουν μια πολύ μικρή μείωση, η οποία ίσως και να οφείλεται στην έλλειψη κινήτρων στους νέους για να ασχοληθούν με το συγκεκριμένο κομμάτι πρωτογενούς παραγωγής.

Σχετικά με τις αστικές ανθρωπογενείς εκτάσεις, ενώ από το 1993 στο 2001 παρουσιάζουν μια μικρή σχετικά αύξηση (από 4,24 σε 5,61%), το 2010 παρουσιάζουν μια θεαματική αύξηση, περίπου 90%, καλύπτοντας 33402,6 στρέμματα (10,11%), γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στον άξονα του προαστιακού Αθηνών – Κορίνθου, ο οποίος παραδόθηκε στη κυκλοφορία το 2004, αλλά και την επέκταση των παραθεριστικών οικισμών κατά μήκος του βόρειου και του νότιου τμήματος της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης. Οι εκτάσεις από τις οποίες προέρχεται η μεγάλη αύξηση των αστικών εκτάσεων την περίοδο 2001 – 2010, προέρχονται κυρίως από τις κλάσεις Δασικές εκτάσεις, Γυμνές εκτάσεις και Καλλιέργειες.

Σε γενικές γραμμές η συγκεκριμένη μελέτη απέδωσε σαφή και σχετικά ακριβή αποτελέσματα σχετικά με τις αλλαγές στην κάλυψη γης της περιοχής μελέτης. Τόσο οι βιβλιογραφικές πηγές, όσο και οι σχεδιαζόμενες μελέτες στρατηγικού σχεδιασμού καθώς και τα στοιχεία των Δασικών υπηρεσιών της περιοχής τεκμηριώνουν την εξαγόμενη εξέλιξη των χρήσεων γης, η οποία εναρμονίζεται πλήρως με τον οικονομικό της χαρακτήρα και τα κυρίαρχα φυσικά οικοσυστήματα της περιοχής.

LAND COVER CHANGES MAPPING METHODOLOGY USING LANDSAT IMAGES

¹Karpouzas Sotiris*, ²Parcharidis Isaak, ³Kalogeropoulos Kleomenis,
⁴Neokosmidis Spiros, ⁵Chalkias Christos

¹ MSc. Forest Engineer, Division of Forestry Western Attica, Department of Forest Mapping, Palikaridi 19-21, Egaleo 12243, email: gp212313@hua.gr

² Associate Professor in Remote Sensing, Department of Geography, Harokopio University, 70 El. Venizelou Str., Kallithea- Athens 17671, email: parchar@hua.gr

³ PhD Candidate in Applied Geoinformatics, Department of Geography, Harokopio University, 70 El. Venizelou Str., Kallithea- Athens, email: kalogeropoulos@hua.gr

⁴ Msc Geologist – Geoenvironmentalist, Research Associate, National Observatory of Athens, I. Metaxa & Vas. Pavlou, Penteli 15236, email: s.neokosmidis@noa.gr

⁵ Associate Professor in Geographic Information Systems and Applied Geography, Department of Geography, Harokopio University, 70 El. Venizelou Str., Kallithea- Athens, email: xalkias@hua.gr

Abstract

This paper has as main objective, firstly, the mapping of land use/land cover changes in the municipality of Megara during the period 1993 - 2010, and secondly, the creation of a process flow model, using advanced remote sensing techniques, which will be applicable to other areas with similar characteristics. As a pilot study area the municipality of Megara (in the westernmost part of Attica) was chosen, while the used software were ENVI 5.2 and ArcGIS 10.1. For the needs of this thesis, three Landsat satellite images (1993, 2001 & 2010) have acquired. They have radiometrically and atmospherically corrected and cut at the limits of the study area. Then, the exported products were classified, using the ISODATA method, and the land use/land cover changes between the three images were detected. In order to validate the classification in situ research was carried out in which data were obtained, while the classification classes were established. Then, a supervised classification method applied using the Maximum Likelihood. The results of the classification for the three reference years, were visualized as land use/land cover maps. The classification accuracy was evaluated by creating a Confusion Matrix which has satisfactory overall accuracy values and statistical index Kappa. Eventually, six land use/land cover changes maps were created and the results showed that at the three reference years the total area (of the study area) covered by the provisions of the Forestry Acts (Forests of Aleppo pine and fir and woodland) marginally exceeds 50% and shows a slight downward trend. The part of the Fir forest (Elatia Forest) which is located in the municipality boundaries, showing an upward trend, while important is the growth of urban areas in the period 2001 - 2010 mainly due to the construction of the Suburban Railway in 2004.

Βιβλιογραφία

- Al-Ahmadi, F.S. and A.S. Hames. 2009. Comparison of Four Classification Methods to Extract Land Use and Land Cover from Raw Satellite Images for Some Remote Arid Areas, Kingdom of Saudi Arabia. *Earth Sci.* 20(1): 167-191.
- Allum, J.A.E. and R. Dreisinger. 1987. Remote sensing of vegetation change near Inco's Sudbury mining complexes. *International Journal of Remote Sensing.* 8: 399– 416.
- Anderson, J.R., E.E. Hardy, J.T. Roach and R.E. Witmer. 1976. A land use and land cover classification for use with remote sensing data. USGS professional paper 964. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Angelici, G., N. Brynt, and S. Friendman. 1977. Techniques for land use change detection using Landsat imagery. pp. 217–228. Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the American Society of Photogrammetry and Joint Symposium on Land Data Systems, Falls Church, VA, USA (Bethesda, MD: American Society of Photogrammetry).
- DiGirolamo, P.A. 2006. A Comparison of Change Detection Methods in an Urban Environment Using LANDSAT TM and ETM+ Satellite Imagery: A Multi-Temporal, Multi-Spectral Analysis of Gwinnett County, GA 1991-2000. Theses. Paper 18, Department of Anthropology at Digital Archive at GSU.
- Fuller, R.M., G.B. Groom, A.R. Jones. 1994. Land cover map of Great Britain. An automated classification of Landsat Thematic Mapper data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60(5): 553-562.
- Al-Razzaq, A. and H.A. Alnajjar. 2013. Maximum Likelihood for Land-Use/Land-Cover Mapping and Change Detection Using Landsat Satellite Images: A Case Study “South Of Johor”. Geo-spatial Information Science Research Center (GIS RC). Faculty of Engineering, University Putra Malaysia, 43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia. *International Journal of Computational Engineering Research.* 3(6): 26 -33.
- Lu, D., P. Mausel, E. Brondizios and E.Moran. 2004. Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12): 2365-2407.
- Mancino, G., A. Nolè, F. Ripullone and A. Ferrara. 2012. Landsat TM imagery and NDVI differencing to detect vegetation change: assessing natural forest expansion in Basilicata, southern Italy. *IForest – Biogeosciences and Forestry.* 75-84.
- Hasmedi, M., H.Z. Pakhriazad and M.F Shahrin. 2009. Evaluating supervised and unsupervised techniques for land cover mapping using remote sensing data. *Malaysian Journal of Society and Space.* 5(1): 1 – 10.
- Muller, S.V., A.E. Racoviteanu and D.A. Walker. 1999. Landsat MSS-derived land-cover map of northern Alaska: extrapolation methods and a comparison with photo-interpreted and AVHRR-derived maps. *International Journal for Remote Sensing.* 20(15-16): 2921-2946.
- Vorovencii, I. and M.D Muntean. 2013. Evaluation of supervised classification algorithms for Landsat 5 TM image. *RevCAD* 14: 197-206.
- Wolter, P.T., D.J. Mladenoff, G.E. Host and T.R. Crow. 1995. Improved forest classification in the northern lake states using multi-temporal Landsat imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* 61: 1129–1143.

- Yuan, F., K. Sawaya and B. Loeffelholz. 2005. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 98: 317 – 328.
- Zha, Y., J. Gao and S. Ni. 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 24(3): 583-594.
- Αργιαλάς, Δ. 1999. Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση. ΕΜΠ. Αθήνα.
- Καρτέρης, Μ.Α. και Ι.Μ. Μελιάδης. 1992. Ταξινόμηση δασικών εκτάσεων με δορυφορικά δεδομένα. σσ. 347-353. Ελληνική Δασολογική Εταιρεία. Πρακτικά Ε΄ Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου "Έρευνα και Πράξη στα Ελληνικά Δάση., Καλαμάτα.
- Τσακίρη-Στρατή, Μ. 2010. Τηλεπισκόπηση - Πανεπιστημιακές παραδόσεις Α.Π.Θ. Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Τομέας Κτηματολογίου Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

**ΧΩΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ NATURA ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1984-2014 ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΕΙΚΟΝΩΝ**

Καραθανάσης Νικόλαος¹, Κολιός Σταύρος^{1*}

¹Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών.

*Υπεύθ. Επικοινωνίας: Δρ. Σταύρος Κολιός, Λευκωσία (Κύπρος), email:
stavros.kolios@ouc.ac.cy (stavroskolios@yahoo.gr)

Περίληψη

Στη συγκεκριμένη μελέτη γίνεται χωρική σύγκριση προϊόντων ταξινόμησης που προέκυψαν από την ανάλυση δορυφορικών εικόνων της σειράς των δορυφόρων Landsat. Οι αρχικές δορυφορικές εικόνες που επιλέχθηκαν, αναφέρονται στις ημερομηνίες 01/07/1984, 19/06/2000 και 04/07/2014. Σκοπός της μελέτης είναι η ανάδειξη των αλλαγών των τύπων βλάστησης και χρήσεων γης σε μια περίοδο 30 ετών για μία περιβαλλοντικά προστατευόμενη περιοχή που περιλαμβάνει το Κεντρικό Ζαγόρι και ανατολικό τμήμα όρους Μιτσικέλι στο νομό Ιωαννίνων [Natura 2000 (GR2130011)]. Ύστερα από τις απαραίτητες ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις, τον υπολογισμό δεικτών βλάστησης και τύπων κάλυψης γης και σε συνδυασμό με σχετικά αρχεία υψομετρικής πληροφορίας, αναπτύχθηκαν δέντρα αποφάσεων βάσει των οποίων ταξινομήθηκαν οι πολυφασματικές εικόνες στις διαθέσιμες ημερομηνίες. Μελετώντας την πολυφασματική πληροφορία και παρατηρώντας τα εδαφικά χαρακτηριστικά της περιοχής ενδιαφέροντος ορίστηκαν έξι ευδιάκριτες κλάσεις («Πλατύφυλλα», «Κωνοφόρα», «Χαμηλή βλάστηση», «Καλλιέργειες», «Γυμνό έδαφος», «Τεχνητές/πετρώδεις επιφάνειες»). Η συνολική ακρίβεια των ταξινομημένων εικόνων ξεπέρασε το 90%. Στα κύρια συμπεράσματα συγκαταλέγεται ότι οι περιοχές με πλατύφυλλα και κωνοφόρα δέντρα παρουσιάζουν μικρή αύξηση, η χαμηλή βλάστηση και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις μειώθηκαν σημαντικά ενώ οι εκτάσεις που αφορούν τεχνητές/πετρώδεις επιφάνειες αυξηθήκαν. Οι έντονες μεταβολές που παρατηρήθηκαν, οφείλονται εν μέρει σε τεχνικές προσεγγίσεις όπως η επιλογή και το μέγεθος των κλάσεων αλλά και σε φυσικά αίτια όπως η πιθανή αλλαγή των καλλιεργειών, η συστηματική υπερβόσκηση αλλά και η σταδιακή εγκατάλειψη των μικρών καλλιεργήσιμων εκτάσεων της περιοχής που οδηγούν σε σημαντική μείωση της χωρικής έκτασης των κλάσεων. Μέσα από την συγκεκριμένη μελέτη αναδεικνύονται, οι γενικές χωρικές μεταβολές που σημειώθηκαν σε μια περίοδο 30 ετών σε μια περιβαλλοντικά σημαντική περιοχή με απώτερο σκοπό

τη μελλοντική προστασία και τη βιώσιμη παραγωγική και οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

Λέξεις-Κλειδιά: Δορυφορική Τηλεπισκόπηση, Τύποι εδαφοκάλυψης, Landsat, NATURA, Ήπειρος.

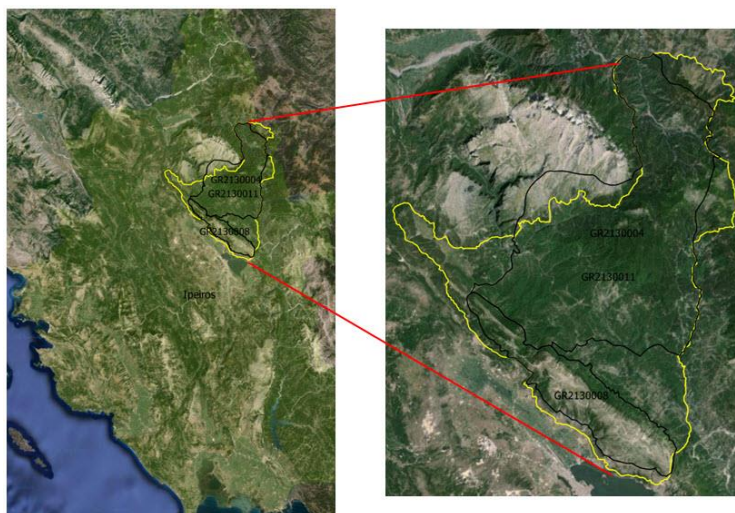
Εισαγωγή

Η μελέτη των χωροχρονικών αλλαγών της κάλυψης γης αποτελεί κύριο αντικείμενο έρευνας τα τελευταία χρόνια, γεγονός στο οποίο συντελεί θετικά η διαρκής πρόοδος στην ποιότητα και τη διαθεσιμότητα δορυφορικών δεδομένων. Απώτερος σκοπός των μελετών αυτού του είδους είναι η ανάδειξη του μεγέθους των αλλαγών που πραγματοποιούνται στο φυσικό αλλά και αστικό περιβάλλον, ο εντοπισμός των μεταβολών στους τύπους βλάστησης και χρήσης γης αλλά και τα πιθανά αίτια που προκαλούν τέτοιες μεταβολές. Σημαντικός αριθμός ερευνητικών μελετών που έχουν γίνει στο αντικείμενο των διαχρονικών αλλαγών κάλυψης γης (π.χ. Kolios & Stylios, 2013; Julien κ.α, 2011, Petropoulos κ.α, 2011), βασίζεται στη χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης με τη χρήση δορυφορικών εικόνων που αποτυπώνουν με ικανοποιητική λεπτομέρεια τη γήινη επιφάνεια, αξιοποιώντας πολυφασματικούς αισθητήρες (παθητικούς ή/και ενεργητικούς). Για μελέτες περιοχικής κλίμακας τα δεδομένα των δορυφόρων σειράς Landsat θεωρούνται από τα πλέον αξιόπιστα και ευρέως χρησιμοποιούμενα (π.χ. Yuan κ.α., 2005; Mahmoodzadeh H., 2007; Liying κ.α., 2009; Julien κ.α., 2011; Petropoulos κ.α., 2011). Τα συγκεκριμένα δεδομένα είναι πολυφασματικά, διαθέτουν μια ικανοποιητική χωρική ανάλυση της τάξεως των 30 m και διατίθενται δωρεάν καλύπτοντας εκτεταμένες χρονοσειρές που ξεκινούν πρακτικά από τη δεκαετία του 1980 και φθάνουν σήμερα με την παροχή δορυφορικών εικόνων από τον δορυφόρο Landsat 8, μέσω του δορυφορικού οργάνου “OLI” (Operational Land Imager).

Στην συγκεκριμένη μελέτη συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν δορυφορικές εικόνες από τη σειρά των δορυφόρων Landsat για την ανάδειξη των αλλαγών των τύπων βλάστησης και χρήσεων γης σε μια περίοδο 30 ετών για μία περιβαλλοντικά προστατευόμενη περιοχή που περιλαμβάνει το Κεντρικό Ζαγόρι και ανατολικό τμήμα όρους Μιτσικέλι στο νομό Ιωαννίνων. Η περιοχή μελέτης (Εικόνα 1) αποτελεί περιοχή Natura 2000 (GR2130011) χαρακτηρισμένη ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) από το 2010. Σε αυτή εμπεριέχονται δύο Τόποι Κοινοτικής Σημασίας, οι περιοχές του όρους «Μιτσικέλι» και το κεντρικό τμήμα Ζαγορίου. Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει ακόμη,

ένα Καταφύγιο Άγριας Ζωής ενώ το μεγαλύτερο τμήμα της ΖΕΠ βρίσκεται εντός του Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου. Στην περιοχή μελέτης υπάρχει σημαντική δασοκάλυψη καθώς επίσης αγροδοσικά και λιβαδικά οικοσυστήματα που αποτελούν σημαντικούς οικοτόπους για πολλά σπάνια είδη αρπακτικών πτηνών. Οι κύριες ανθρώπινες δραστηριότητες στην περιοχή είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία και η δασοκομία. Σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές πιέσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή, αυτές έγκειται κυρίως στην ανεξέλεγκτη υλοτομία (κυρίως η κοπή των μεγάλων δέντρων), στην οικιστική ανάπτυξη και στην αυξημένη διαταραχή από τους επισκέπτες, η οποία αναμένεται να ενταθεί στα επόμενα χρόνια (ΕΕΑ, 2015). Επίσης, ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα για τα ενδιαφέροντα της περιοχής είναι η εγκατάλειψη των παραδοσιακών χρήσεων γης (κτηνοτροφία και γεωργία) που έχουν διαμορφώσει το τοπίο για αιώνες.

Για την ανάδειξη των αλλαγών χρήσεων γης και εδαφοκάλυψης επιλέχθηκαν εικόνες Landsat στις ημερομηνίες 01/07/1984 (Landsat 5), 19/06/2000 (Landsat 7) και 04/07/2014 (Landsat 8). Ύστερα από τις απαραίτητες ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις, υπολογίστηκαν δείκτες βλάστησης και τύπων κάλυψης γης όπως ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) καθώς επίσης ο δείκτης φωτεινότητας (BI: Brightness Index) και σε συνδυασμό με σχετικά αρχεία υψομετρικής πληροφορίας, αναπτύχθηκαν δέντρα αποφάσεων βάσει των οποίων ταξινομήθηκαν οι πολυφασματικές εικόνες στις επιλεγμένες ημερομηνίες.



Εικόνα 1. Αριστερά απεικονίζεται με ανοικτό κίτρινο η Περιφέρεια της Ηπείρου ενώ δεξιά σε κίτρινο πλαίσιο παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης.

Υλικά και Μέθοδοι

Για τις ανάγκες της μελέτης συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες από τις τρεις σκηνές της σειράς των δορυφόρων Landsat στις ημερομηνίες 01/07/1984 (Landsat 5), 19/06/2000 (Landsat 7) και 04/07/2014 (Landsat 8). Στον Πίνακα 1 αναφέρονται αναλυτικά τα κανάλια των οποίων οι αντίστοιχες εικόνες χρησιμοποιήθηκαν. Επισημαίνεται ότι όλες οι δορυφορικές εικόνες που προέρχονται από τα αντίστοιχα κανάλια διαθέτουν χωρική διακριτική ικανότητα 30 m.

Συλλέχθηκαν ακόμη ψηφιακά αρχεία με το υψόμετρο της περιοχής που αξιοποιήθηκαν επιπρόσθετα στη διαμόρφωση κριτηρίων κατά τις διαδικασίες ταξινόμησης. Τα δεδομένα προέρχονται από το όργανο ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) των δορυφόρων TERRA και AQUA και διαθέτουν την ίδια χωρική ανάλυση με τα δεδομένα Landsat (Global Digital Elevation Model).

Πίνακας 1. Φασματικές περιοχές των καναλιών από όπου προέκυψαν οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.

Φασματική περιοχή (μm)	Landsat 5 (01/07/1984)	Landsat 7 (19/06/2000)	Φασματική περιοχή (μm)	Landsat 8 (04/07/2014)
	Αριθμός καναλιού ETM (<i>Enhanced Thematic Mapper</i>)	Αριθμός καναλιού ETM+ (<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>)		Αριθμός καναλιού OLI (<i>Operational Land Imager</i>)
0.45-0.52	1	1	0.45 - 0.51	2
0.52-0.60	2	2	0.53 - 0.59	3
0.63-0.69	3	3	0.64 - 0.67	4
0.76-0.90	4	4	0.85 - 0.88	5
1.55-1.75	5	5	1.57 - 1.65	6
2.09-2.35	7	7	2.11 - 2.29	7

Από τη στιγμή που συλλέχθηκαν όλα τα προηγούμενα ψηφιακά αρχεία (εικόνες), πραγματοποιήθηκαν όλες οι απαραίτητες ραδιομετρικές διορθώσεις (μετατροπή ψηφιακών τιμών σε τιμές ακτινοβολίας) και μείωση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων με την κλασική και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο του σκοτεινότερου σημείου. Για τις διαδικασίες αυτές ακολουθήθηκαν οι μαθηματικές σχέσεις και οι μέθοδοι όπως περιγράφονται αναλυτικά στην μελέτη των Kolios και Stylios (2013).

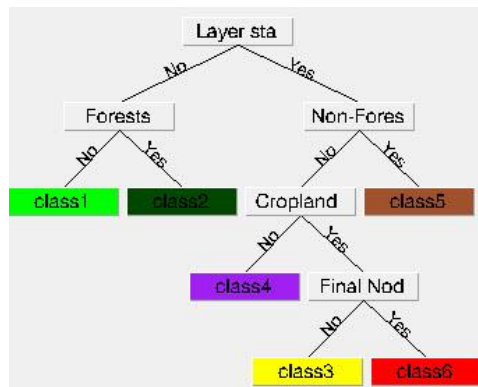
Ύστερα από την ολοκλήρωση των προαναφερόμενων διαδικασιών, υπολογίστηκαν οι δείκτες “Normalized Difference Vegetation Index” και “Brightness Index” σύμφωνα με τις μαθηματικές σχέσεις.

$$NDVI = (L_{nir} - L_{red}) / (L_{nir} + L_{red}) \quad (1)$$

$$B.I = [(L_{red})^2 + (L_{green})^2 + (L_{red})^2]^{1/2} / (3)^{1/2} \quad (2)$$

Ύστερα από τη βασική προεπεξεργασία των αρχείων των εικόνων, πραγματοποιήθηκε ενδεδειγμένη οπτική μελέτη των τελικών εικόνων με σκοπό να οριστούν διακριτές κλάσεις που αντιπροσωπεύουν τους διάφορους τύπους κάλυψης γης. Τελικά ορίστηκαν έξι κλάσεις και για κάθε μία από αυτές, συλλέχτηκε ένα σύνολο αντιπροσωπευτικών εικονοστοιχείων («εκπαιδευτικά δείγματα»). Με βάση το σύνολο των εικονοστοιχείων του δείγματος σε κάθε διαφορετική κλάση και λαμβάνοντας υπόψη τη συνδυασμένη πληροφορία από τις αποκρίσεις των διαφόρων τύπων εδαφοκάλυψης στα διάφορα μήκη κύματος (εύρη τιμών εικονοστοιχείων και κέντρα κλάσης σε κάθε κανάλι και δείκτη) αλλά και το επιπρόσθετο πληροφοριακό υλικό από το υψόμετρο, ορίστηκαν τα ακριβή κριτήρια (τιμές κατωφλίων και συνθήκες αποδοχής/απόρριψης) που διαχωρίζουν ευκρινέστερα τους διακριτούς τύπους εδαφών αλλά και το δέντροδιάγραμμα για την ταξινόμηση.

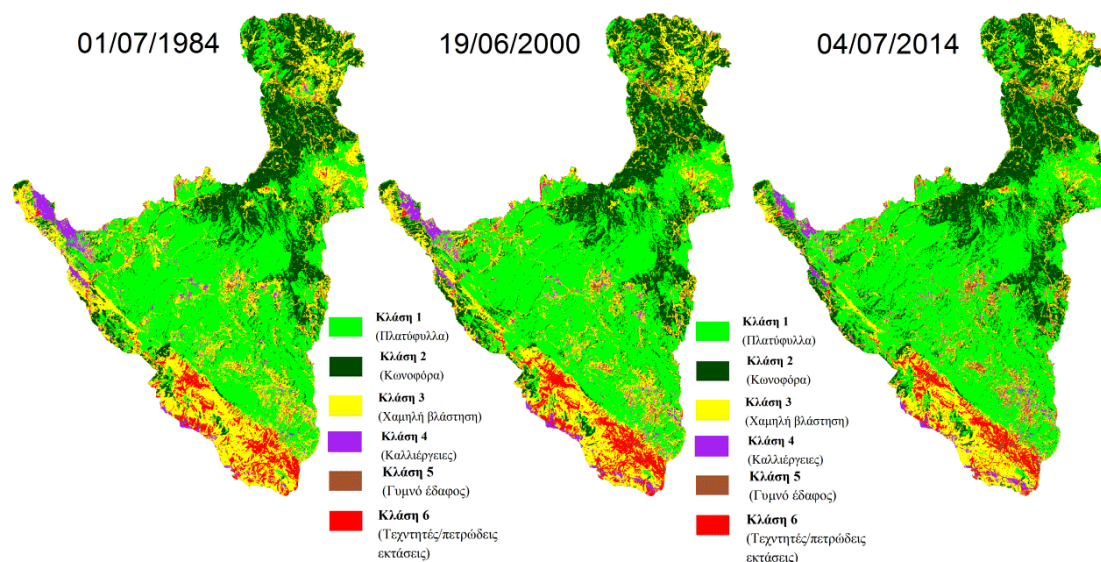
Επισημαίνεται ότι ως πρώτη κλάση ορίστηκαν τα «Πλατύφυλλα» (πράσινο ανοικτό), τη δεύτερη κλάση αποτελούν τα «Κωνοφόρα» (σκούρο πράσινο), ως τρίτη κλάση ορίστηκε η «Χαμηλή βλάστηση» (κίτρινο), ως τέταρτη η κλάση «Καλλιέργειες» (μωβ), Πέμπτη κλάση αποτελεί το «Γυμνό έδαφος» (καφέ), και ως έκτη, η κλάση «Τεχνητές/πετρώδεις επιφάνειες» (κόκκινο). Επιβάλλεται ακόμη να αναφερθεί ότι ως εικόνα εισαγωγής για τη λειτουργία του δέντρου αποφάσεων (Εικόνα 2) ορίζεται το τελικό προϊόν που αποτελεί συνένωση όλων των επιπέδων πληροφορίας που χρησιμοποιούνται ως κριτήρια (εικόνες στα διάφορα κανάλια, λόγοι, δείκτες και αρχείο υψομέτρου).



Εικόνα 2. Σχήμα του δέντρου αποφάσεων που χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των εικόνων.

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Με την αξιοποίηση των κριτηρίων που δημιουργήθηκαν και του δεντροδιαγράμματος της Εικόνας 2, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των εικόνων στις τρεις ημερομηνίες των ετών 1984, 2000, 2014 (Εικόνα 3). Η συνολική ακρίβεια της εικόνας ταξινόμησης που επιτεύχθηκε μέσω του δέντρου αποφάσεων και των σχετικών κριτηρίων είναι 91.72% το έτος 1984, 92.81% το έτος 2000 και 93.37% για το έτος 2014.

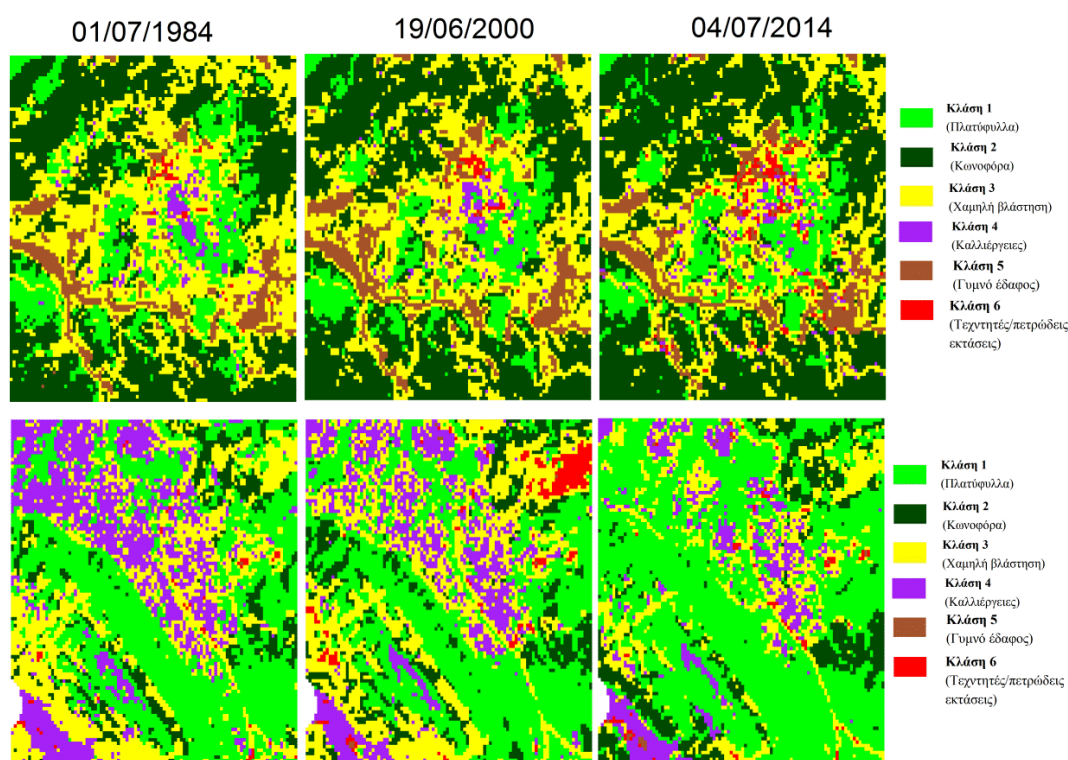


Εικόνα 3. Προϊόντα ταξινόμησης σε ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος για τις ημερομηνίες που μελετώνται.

Στην Εικόνα 3 παρατηρείται μείωση της κλάσης των καλλιεργήσιμων εκτάσεων αλλά και της χαμηλής βλάστησης. Αντιθέτως, κυρίως στις απομονωμένες και δύσβατες

περιοχές που έχουν τη μεγαλύτερη κλίση εδάφους και υψόμετρο υπάρχει μια μικρή αλλά αυξητική τάση των δασικών εκτάσεων. Το ίδιο δεν συμβαίνει όμως σε περιοχές που είναι περισσότερο προσβάσιμες και γειτνιάζουν με οδικό δίκτυο. Αυξητικές τάσεις παρατηρούνται επίσης στις κλάσεις που αντιπροσωπεύουν τα γυμνά εδάφη (χωμάτινες επιφάνειες και έδαφος με χαμηλή και πολύ αραιή βλάστησης) αλλά και τις τεχνητές/πετρώδεις επιφάνειες.

Στην συνέχεια (Εικόνα 4) παρέχονται δυο μικρότερες περιοχές τις αντίστοιχες ημερομηνίες όπου αναδεικνύονται οι χωρικές μεταβολές που έχουν υποστεί την διάρκεια 1984 - 2014. Χαρακτηριστική στην Εικόνα 4 (επάνω μέρος) είναι η σταδιακή αύξηση της έκτης κλάσης που αντιπροσωπεύει τεχνητές επιφάνειες και συμπεριλαμβάνει οικίες και οδικό δίκτυο. Χαρακτηριστική είναι ακόμη η μείωση της χαμηλής βλάστησης και η μικρή αύξηση της κλάσης των κωνοφόρων. Στο κάτω μέρος της ίδιας Εικόνας παρατηρείται ότι σε μια άλλη υπο-περιοχή υπάρχει σημαντικό τμήμα που ανήκει στην κλάση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων αλλά σταδιακά μειώνεται ενώ αυξάνονται σημαντικά οι κλάσεις που αντιπροσωπεύουν τις δασικές εκτάσεις (κλάσεις 1 και 2).



Εικόνα 4. Χωρικές αλλαγές δύο διαφορετικών υπο-περιοχών στο βόρειο (επάνω) και ανατολικό (κάτω) τμήμα της περιοχής μελέτης.

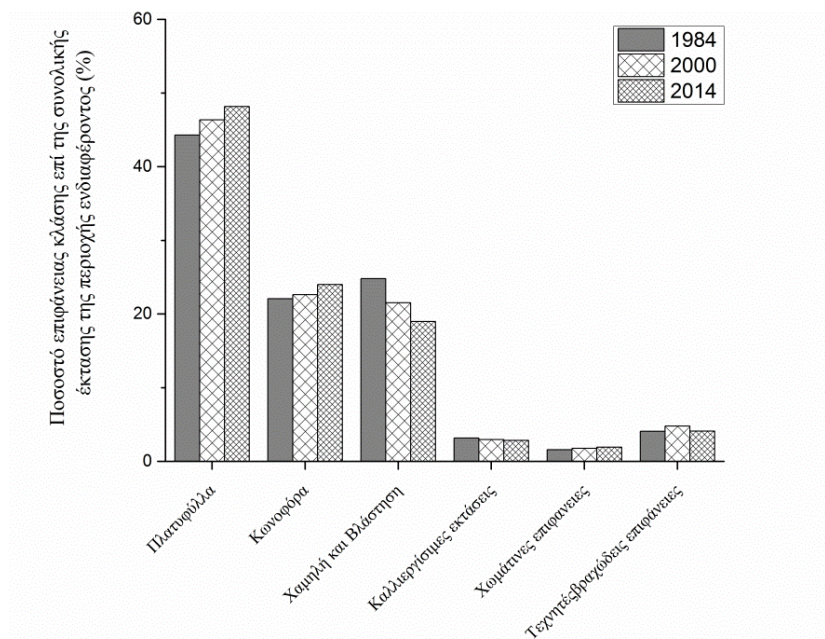
Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα ποσοτικά αποτελέσματα (σε ποσοστά) των αλλαγών που σημειώνονται σε κάθε κλάση και εικόνα αλλά και οι χωρικές διακυμάνσεις κάθε κλάσης ύστερα από τη σύγκριση των ταξινομημένων εικόνων μεταξύ τους.

Πίνακας 2. Στατιστικά σύγκρισης των ταξινομημένων εικόνων μεταξύ 1984-2000, 2000-2014 και 1984-2014. Το ποσοστό εκφράζει τα εικονοστοιχεία που άλλαξαν κλάσεις στην τελική εικόνα ενώ η διακύμανση εκφράζει το ποσοστό αύξησης (ή μείωσης) μίας κλάσης στην τελική εικόνα.

Αριθμός κλάσεων	1984 → 2000		2000 → 2014		1984 → 2014	
	Ποσοστό (%)	Διακύμανση (%)	Ποσοστό (%)	Διακύμανση (%)	Ποσοστό (%)	Διακύμανση (%)
Κλάση 1	8.16	4.62	7.42	3.91	9.8	8.7
Κλάση 2	19.22	2.47	16.42	5.99	22.1	8.62
Κλάση 3	31.19	-13.79	31.72	-11.8	42.07	-23.43
Κλάση 4	46.3	-6.09	46.22	-3.58	54.29	-9.46
Κλάση 5	22.2	10.87	23.75	36.23	26.9	21.1
Κλάση 6	22.66	17.03	9.19	-14.29	23.58	0.29

Στον Πίνακα 2 φαίνεται ότι συγκρίνοντας τις ταξινομημένες εικόνες μεταξύ 1984 και 2000 (Εικόνα 3) η τέταρτη κλάση (καλλιέργειες) μεταβλήθηκε κατά ένα σημαντικό ποσοστό (46.3%) και ακολουθεί η τρίτη κλάση (χαμηλή βλάστηση) με ποσοστό 31.2%. Ίδιας τάξεως αλλαγές σημειώνονται επίσης, κατά τη σύγκριση των ταξινομημένων εικόνων μεταξύ των ετών 2000 και 2014. Κατά συνέπεια, οι πιο ευμετάβλητες κλάσεις με τις μεγαλύτερες αλλαγές, είναι η χαμηλή βλάστηση και η καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Οι πιο σταθερές από αυτές (σε μέγεθος και διακυμάνσεις) είναι οι κλάσεις που αντιστοιχούν σε δασικές εκτάσεις (κλάσεις 1 και 2) και καλύπτουν στο σύνολό τους το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης (πάνω από 60%). Από τον Πίνακα 2 παρατηρείται ακόμη ότι τόσο μεταξύ 1984 και 2000, όσο μεταξύ 2000 και 2014, οι κλάσεις της χαμηλής βλάστησης και των καλλιεργήσιμων εκτάσεων μειώνονται σε σημαντικά ποσοστά (13.79% και 23.43% για την περίοδο 1984-2000 ενώ 6.09% και 9.46% την περίοδο 2000-2014). Οι υπόλοιπες κλάσεις αυξάνονται χωρικά, αλλά σε μικρότερα ποσοστά με εξαίρεση την κλάση των τεχνητών/πετρωδών επιφανειών (κλάση 6) που δεν παρουσιάζει σταθερό ρυθμό μεταβολής.

Στην Εικόνα 5 παρέχονται τα συνολικά ποσοστά κάλυψης κάθε κλάσης στις τρεις διαφορετικές ημερομηνίες που εξετάζονται. Η κλάση με τα πλατύφυλλα είναι η μεγαλύτερη καταλαμβάνοντας ένα ποσοστό που αντιστοιχεί στη μισή σχεδόν έκταση της περιοχής ενδιαφέροντος. Ακολουθούν οι κλάσεις των κωνοφόρων και της χαμηλής βλάστησης ενώ μικρότερο από 10% της συνολικής έκτασης της περιοχής ενδιαφέροντος καταλαμβάνει κάθε μία από τις υπόλοιπες κλάσεις.



Εικόνα 5. Ποσοστό έκτασης που καταλαμβάνει κάθε κλάση σε σχέση με τη συνολική έκταση της περιοχής ενδιαφέροντος, στις τρεις ταξινομημένες εικόνες.

Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποίηση των τύπων εδαφοκάλυψης σε τρεις διαφορετικές ημερομηνίες (01/07/1984, 19/06/2000 και 04/07/2014) σε μια περιβαλλοντικά πολύ σημαντική περιοχή που ανήκει στο δίκτυο NATURA. Ο τελικός σκοπός της μελέτης είναι να εντοπιστούν με ακρίβεια και να αναδειχθούν οι χωρικές αλλαγές που έχει υποστεί η προστατευόμενη περιοχή στη διάρκεια 30 ετών ώστε να αποτελέσει ένα οδηγό για την περαιτέρω βελτίωσης της προστασίας της βιοποικιλότητας η οποία να είναι ταυτόχρονα σε αρμονική σχέση με τις ανθρώπινες δραστηριότητες των κατοίκων της περιοχής. Για την κατηγοριοποίηση των τύπων εδαφοκάλυψης, χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat και αρχεία υψομέτρου ASTER χωρικής διακριτικής ικανότητας 30 m ως αρχικής πληροφορία. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε αύξηση των δασικών εκτάσεων σε επίπεδο 8% (Πίνακας 2) και σημαντική μείωση εκτάσεων χαμηλής βλάστησης (-23.43%) και καλλιεργειών (-9.46%). Οι μειώσεις αυτές που

προκύπτουν από τις συγκρίσεις μεταξύ των αρχικών εκτάσεων μεταξύ 1984 και 2014 (Πίνακας 2), αναδεικνύουν ως πιθανά αίτια τις πυρκαγιές που σημειώθηκαν στην περιοχή (πχ 1993 και 2000), την εγκατάλειψη της γεωργίας, την ενίσχυση της κτηνοτροφίας που επιδρά αρνητικά στη χαμηλή βλάστηση και την αύξηση της ενασχόλησης με τον τουρισμό. Τα συμπεράσματα αυτά συνδέονται ακόμη, με την αύξηση που παρατηρείται στις κλάσεις «γυμνό έδαφος/χωμάτινες επιφάνειες» (21.1%) και «τεχνητές/πετρώδεις εκτάσεις» (0.29%). Η σύγκριση με άλλες αλγοριθμικές διαδικασίες ταξινόμησης, η αναπροσαρμογή των κλάσεων (τόσο στη διάκριση όσο και στα μεγέθη δείγματος κάθε κλάσης) είναι βασικά στοιχεία που θα ληφθούν υπόψη ως συνέχεια της συγκεκριμένης μελέτης ώστε να διασφαλίσουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα αποτελέσματα και αναδειχθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια οι χωρικές αλλαγές τόσο σε μέγεθος όσο και στα είδη εδαφοκάλυψης της συγκεκριμένης περιοχής.

SPATIOTEMPORAL CHANGES IN A NATURA REGION OF IOANNINA PREFECTURE DURING 1984-2014 PERIOD USING SATELLITE IAMGEY

Karathanasis Nikolaos¹, Kolios Stavros^{1*}

¹Open University of Cyprus, Faculty of Pure and Applied Sciences.

*Corresponding author: Dr. Stavros Kolios, email: stavros.kolios@ouc.ac.cy
(stavroskolios@yahoo.gr)

Abstract

This study comprises a first effort to highlight spatial changes in six discrete land use/land cover (LULC) classes (“broadleaves”, “conifers”, “low vegetation”, “cropland”, “Bare ground”, “Artificial/rocky surfaces”) of a NATURA region in the Prefecture of Ioannina (Greece) using Landsat multispectral satellite images and ASTER Digital Elevation Models (DEM). Satellite datasets at three dates (01/07/1984, 19/06/2000 and 04/07/2014) were selected, pre-processed and classified using as additional information the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Brightness Index (BI). The results show that the more spatially stable classes were the larger ones (“broadleaves” and “conifers”). The largest spatial changes were detected in the “low vegetation” and “cropland” classes which are due to the relative frequent fires in the greater area, the abandonment of the cultivation and the overgrazing due to livestock. Future steps include the examination of other classifier in order to conclude to stable results about the size and thy types of spatial changes in a such environmental sensitive and significant geographic area.

Βιβλιογραφία

- EEA (European Environment Agency), 2015. Natura 2000 – Standard Data Form, GR2130011, Kentriko Zagori kai Anatoliko Tmima Orous Mitsikeli.
- Julien, Y., Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J-C., 2011. Land use classification from multitemporal Landsat imagery using the Yearly Land Cover Dynamics (YLCD) method. *International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation* 13, 711-720.
- Kolios, S., Stylios C., 2013. Identification of land cover/land use changes in the greater area of the Preveza peninsula in Greece using Landsat satellite data. *Applied Geography*, 40, 150-160.
- Liyang, G., Daolong, W., 2009; Jianjun, Q., Ligang, W., Yiu, L., 2009. Spatio-temporal patterns of land use change along the Bohai Rim in China during 1985-2005. *Journal of Geographical Sciences*, 19, 568-576.
- Mahmoodzadeh, H., 2007. Digital change detection using remotely sensed data for monitoring green space destruction of Tabriz. *International Journal of Environmental Research* 1, 35-41.
- Petropoulos, P.G., Kontoes, C., Keramitsoglou, I., 2011. Burnt area delineation from a uni-temporal perspective based on Landsat TM imagery classification using Support Vector Machines. *International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation* 13, 70-80.
- Yuan, F., Sawaya E.K., Loeffelholz, C.B., Bauer, E.M., 2005. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 98, 317-328.

ΕΝΟΤΗΤΑ 5^η

ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Η ΧΛΩΡΙΔΙΚΗ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΩΡΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΗΣ ΟΞΑΛΙΔΑΣ ΣΕ ΕΛΑΙΩΝΕΣ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

**Δήμου Παρασκευή^{1*}, Βαχαμίδης Πέτρος², Καλύβας Διονύσιος¹, Οικονόμου
Γαρυφαλλιά²**

¹ Ερευνητική Μονάδα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων Τομέας
Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων &
Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών Ιερά Οδός 75, Βοτανικός
11855 Αθήνα, Τηλ. 2105294088, E-mail: dimou_e@aua.gr

² Εργαστήριο Γεωργίας, Σχολή Αγροτικής Παραγωγής Υποδομών και
Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο
Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855

Περίληψη

Για τη διερεύνηση και καταγραφή της Βιοποικιλότητας της χλωρίδας σε ελαιώνες της Νότιας Ελλάδας πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες το χειμώνα του 2013 και 2014 αντίστοιχα σε τρεις περιοχές μελέτης. Η καταγραφή της βλάστησης έγινε με τη χρήση δειγματοληπτικών πλαισίων διαστάσεων (0,16 m²), σε διαδρομές τεθλασμένης γραμμής (ζιγκ-ζάγκ) μέσα στα όρια του κάθε ελαιώνα. Τα πεδία μελέτης εντοπίζονται στις περιοχές Πεζά (βορειοανατολική Κρήτη), Μεραμβέλλο (βορειοανατολική Κρήτη) και Χώρα Τριφυλίας (νοτιοανατολική Πελοπόννησος). Σε κάθε περιοχή μελέτης σχεδιάστηκε η καταχώριση και οργάνωση όλων των πληροφοριών σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) βασιζόμενο στις πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τις αντίστοιχες δράσεις και δειγματοληψίες. Η εκτίμηση της χλωριδικής ποικιλότητας σε κάθε περιοχή γενικότερα, αλλά και ειδικότερα στους επιλεγμένους ελαιώνες της κάθε περιοχής για τις δύο περιόδους, έγινε με τη βοήθεια του δείκτη Shannon – Wiener. Ο συγκεκριμένος δείκτης ενώ παρουσίασε μία αύξηση μεταξύ του 2013 και 2014 κατά περίπου 25,5% στα Πεζά, στην Χώρα Τριφυλίας μειώθηκε κατά 13,6% και αυξήθηκε μόλις κατά 10% στο Μεραμβέλλο. Η βιοποικιλότητα εκφρασμένη μέσω του δείκτη Shannon - Wiener επηρεάστηκε θετικά από την αύξηση της αφθονίας των φυτικών ειδών που καταγράφηκε από τις επισκοπήσεις του 2014 σε σχέση με το 2013. Στο Μεραμβέλλο ωστόσο, η σημαντική αύξηση της αφθονίας των φυτικών ειδών το 2014 σε σχέση με το 2013, δεν προκάλεσε και αντίστοιχη σημαντική αύξηση στο δείκτη Shannon – Wiener και αυτό σε μεγάλο ποσοστό οφείλεται στην κυριαρχία της Οξαλίδας (*Oxalis pes-caprae* L.).

Λέξεις – Κλειδιά: ΓΠΣ, Βιοποικιλότητα, Ζιζάνια, Οξαλίδα (*Oxalis pes-caprae* L.)

Εισαγωγή

Η ελαιοκαλλιέργεια διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αγροτική ανάπτυξη σαν μια από τις κύριες πηγές εισοδήματος και απασχόλησης στις σχετικά ξηρές περιοχές της Μεσογείου και στην Ελλάδα ειδικότερα. Επίσης οι ελαιώνες λόγω της έκτασης που καταλαμβάνουν είναι η κύρια βλάστηση σε μερικές περιοχές ώστε να θεωρούνται οικοσυστήματα που πλησιάζουν τα φυσικά, ανάλογα βέβαια και με τις παρεμβάσεις που γίνονται από τον καλλιεργητή. Οι ελαιώνες προσφέρουν τροφή και προστασία σε πολυάριθμα είδη εντόμων, πτηνών και άλλων σπονδυλωτών, ενώ στους ελαιώνες αναπτύσσονται πολλά φυτικά είδη και άλλοι ωφέλιμοι οργανισμοί, συμβάλλοντας αποφασιστικά στη διατήρηση της βιοποικιλότητας των περιοχών τους. Αποτελούν οικοσυστήματα σύνθετα και μεταβαλλόμενα κατά τόπους, εξαιτίας κύρια των ανθρώπινων δραστηριοτήτων οι οποίες επεμβαίνουν δραστικά στη βιοποικιλότητά τους (De Graaff and Errpink, 1999; Θεριός, 2009).

Από τις αρχές του 20ου αιώνα, η ποικιλία και η αφθονία της χλωρίδας ζιζανίων σε όλη την Ευρώπη μειώθηκε απότομα (Baessler and Klotz, 2006). Αυτή η απώλεια των φυτικών ειδών στα αγρό-οικοσυστήματα μπορεί να προκαλέσει σημαντικές μεταβολές στις συσχετιζόμενες βιοτικές κοινότητες μέσω των μεταβολών που συμβαίνουν στο φυσικό τους περιβάλλον (Albrecht, 2003) και ως εκ τούτου τα ζιζάνια θεωρούνται όλο και περισσότερο ως μια σημαντική πηγή βιολογικής ποικιλότητας (Marshall et al., 2003). Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να εκτιμήσει την χλωριδική ποικιλότητα σε ελαιώνες της νότιας Ελλάδας κυρίως μέσω του δείκτη Shannon – Wiener και να εξακριβώσει την επίδραση που ασκεί σε αυτήν η ολοένα και μεγαλύτερη εξάπλωση του βιολογικού εισβολέα *Oxalis pes-caprae* L., το οποίο προέρχεται από τη Νότια Αφρική.

Υλικά και Μέθοδοι

Δειγματοληψία

Πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες το χειμώνα του 2013 και 2014 αντίστοιχα σε τρεις περιοχές μελέτης. Η καταγραφή της βλάστησης έγινε με τη χρήση δειγματοληπτικών πλαισίων διαστάσεων (0,16 m²), σε διαδρομές τεθλασμένης γραμμής (ζιγκ-ζάγκ) μέσα στα όριά του κάθε ελαιώνα. Σε κάθε στάση αυτής της διαδρομής πραγματοποιούνταν ταυτοποίηση των φυτικών ειδών που ήταν εντός του δειγματοληπτικού πλαισίου και εκτίμηση της πυκνότητας του κάθε είδους. Τα πεδία

μελέτης εντοπίζονται στις περιοχές Πεζά (βορειοανατολική Κρήτη), Μεραμβέλλο (βορειοανατολική Κρήτη) και Χώρα Τριφυλίας (νοτιοανατολική Πελοπόννησος).

Εκτίμηση της βιοποικιλότητας

Η εκτίμηση της βιοποικιλότητας έγινε με τη βοήθεια του δείκτη Shannon – Wiener (Shannon index) και υπολογίστηκε ως εξής:

$$H' = \sum p_i \times \ln p_i$$

Όπου p_i είναι η αναλογία των ατόμων που βρέθηκε για το i -οστό είδος. Ουσιαστικά ο δείκτης Shannon – Wiener (Shannon index) μετρά την αβεβαιότητα για την πρόβλεψη του είδους, στο οποίο ανήκει ένα τυχαίο άτομο δείγματος. Όσο μεγαλύτερη η αβεβαιότητα, τόσο μεγαλύτερη και η ποικιλότητα.

Για να ολοκληρωθεί η αξιολόγηση της σημασίας κάθε είδους σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη, υπολογίστηκε ο δείκτης της σχετικής αφθονίας (RA). Ο συγκεκριμένος δείκτης προκύπτει από το άθροισμα τριών άλλων σχετικών δεικτών για το κάθε είδος (συχνότητα RF, ομοιομορφία RU και μέση πυκνότητα RD) σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη. Ο δείκτης αυτός εφαρμόζεται με την παραδοχή ότι οι τρεις παραπάνω δείκτες παρουσιάζουν ταυτόσημη σημασία και δίνεται από τον τύπο (Saavedra et al., 1989):

$$RA_k = RF_k + RU_k + RD_k$$

Όπου RA_k είναι η σχετική αφθονία (Relative Abundance) του είδους k

$$RF_k = \frac{\text{Συχνότητα του είδους } (k) \cdot 100}{\text{Άθροισμα της συχνότητας όλων των ειδών}}$$

$$RU_k = \frac{\text{Ομοιομορφία του είδους } (k) \cdot 100}{\text{Άθροισμα της ομοιομορφίας όλων των ειδών}}$$

$$RD_k = \frac{\text{Μέση πυκνότητα του είδους } (k) \cdot 100}{\text{Άθροισμα της συχνότητας όλων των ειδών}}$$

Η συχνότητα, η ομοιομορφία και η μέση πυκνότητα για το κάθε είδος υπολογίστηκε όπως περιγράφεται από τον Thomas (1985).

Ανάπτυξη γεωβάσης Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) αποτύπωσης και χωρικής ανάλυσης των καταγραφών των ζιζανίων

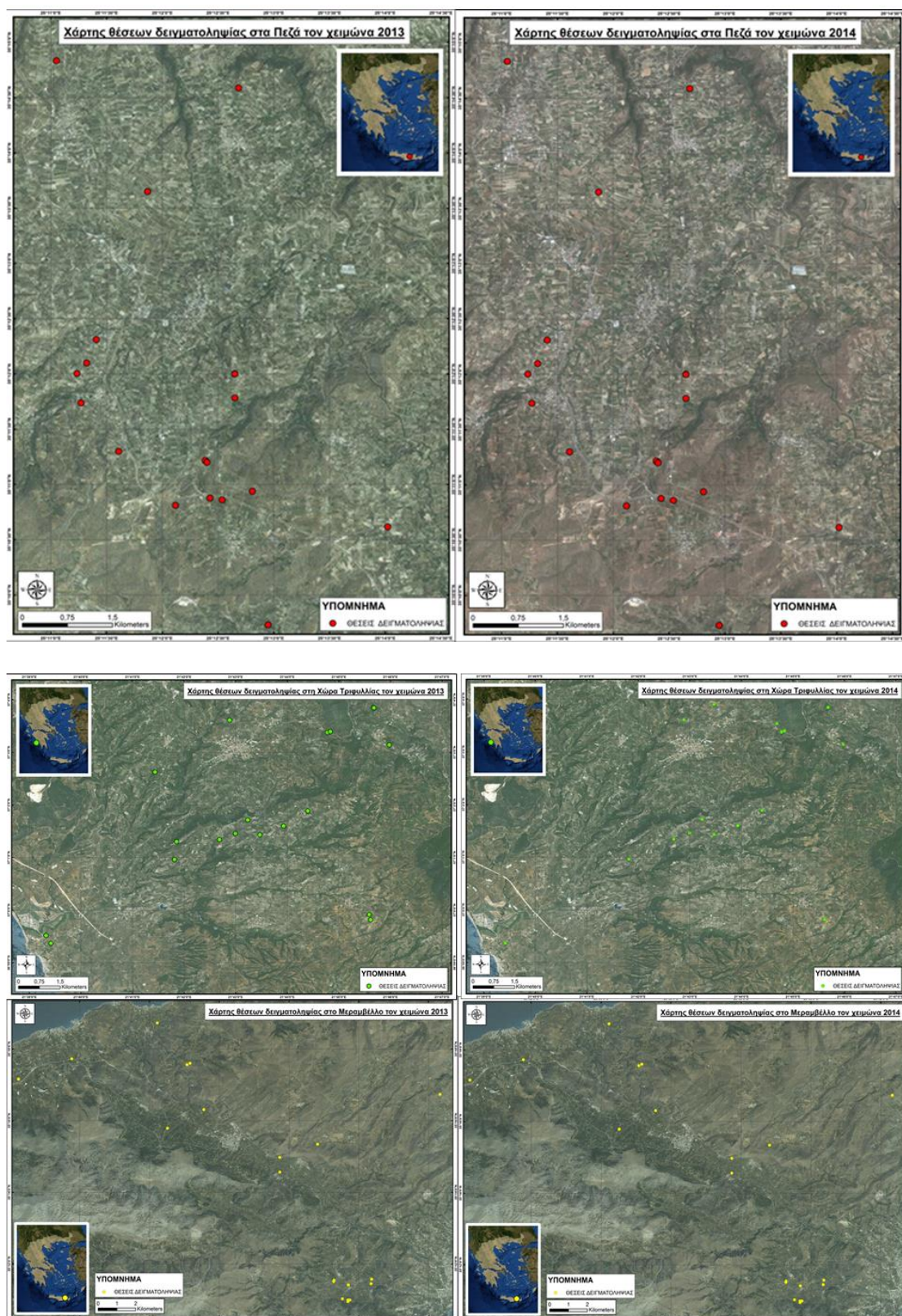
Στις τρεις περιοχές μελέτης, έγινε ανάπτυξη Γεωβάσης, Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) αποτύπωσης και χωρικής ανάλυσης των καταγραφών των ζιζανίων καθώς και του φυσικού περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα

πραγματοποιήθηκαν διαδικασίες μετατροπών αναλογικών αρχείων σε ψηφιακή μορφή, γεωαναφοράς αυτών και μετατροπών συστημάτων συντεταγμένων καθώς επίσης διαδικασίες ψηφιοποίησης υλικού σε αναλογική μορφή ή ακόμη και σε ψηφιακή αλλά όχι σε μορφή άμεσα χρησιμοποιήσιμη από ΓΣΠ. Η υλοποίηση της όλων των επεξεργασιών πραγματοποιήθηκε μέσα σε περιβάλλον λογισμικού ArcMap v.10.1. και ArcCatalog v.10.1.

Σχεδιάστηκε η καταχώριση και οργάνωση όλων των πληροφοριών σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) βασιζόμενο στις πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τις αντίστοιχες δράσεις και δειγματοληψίες. Δημιουργήθηκαν ψηφιακά επίπεδα γεωγραφικών πληροφοριών εμφάνισης αυτοφυών ειδών στα οποία καταχωρήθηκαν καταγραφή των ζιζανίων και η αντίστοιχη πυκνότητα εμφάνισης αυτών.

Δημιουργήθηκε γεωβάση τοπογραφικών χαρακτηριστικών με χρήση τριγωνομετρικών υψομετρικών σημείων καθώς και ισοϋψών ισοδιάστασης 20μ.. Πιο συγκεκριμένα για κάθε μία από τις περιοχές ενδιαφέροντος δημιουργήθηκαν συνεχείς τοπογραφικές επιφάνειες υψηλής ανάλυσης με επεξεργασίες σε περιβάλλον ΓΣΠ. Στις τοπογραφικές ιδιότητες που υπολογίστηκαν συμπεριλαμβάνονται ιδιότητες υψομέτρου, κλίσεων και έκθεσης προσανατολισμού.

Πραγματοποιήθηκε χωρική ανάλυση και στατιστική διερεύνηση των δεδομένων. Τα δεδομένα των γεωβάσεων χρησιμοποιήθηκαν για χωρική ανάλυση της εμφάνισης των αυτοφυών ειδών σε σχέση με τοπογραφικά χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος. Τέλος αποθηκεύτηκαν και χρησιμοποιήθηκαν επί πλέον δεδομένα όπως αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες για κάθε μία από τις περιοχές.

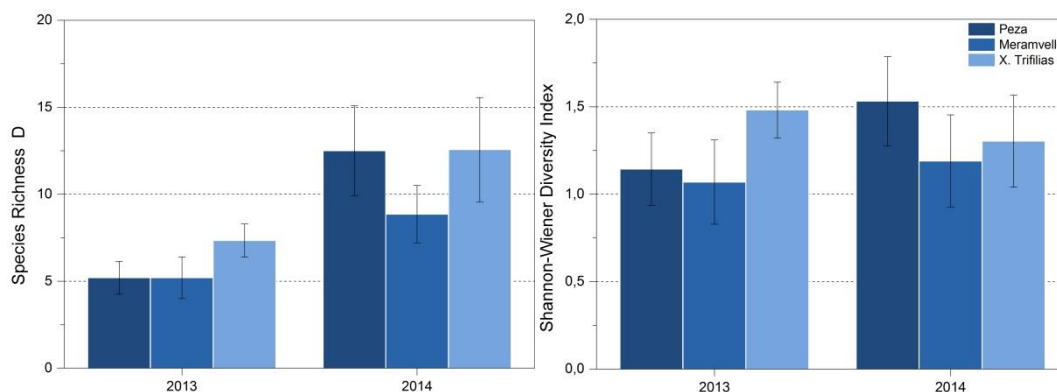


Εικόνα 1. Χάρτης θέσεων δειγματοληψίας .

Αποτελέσματα και Συζήτηση

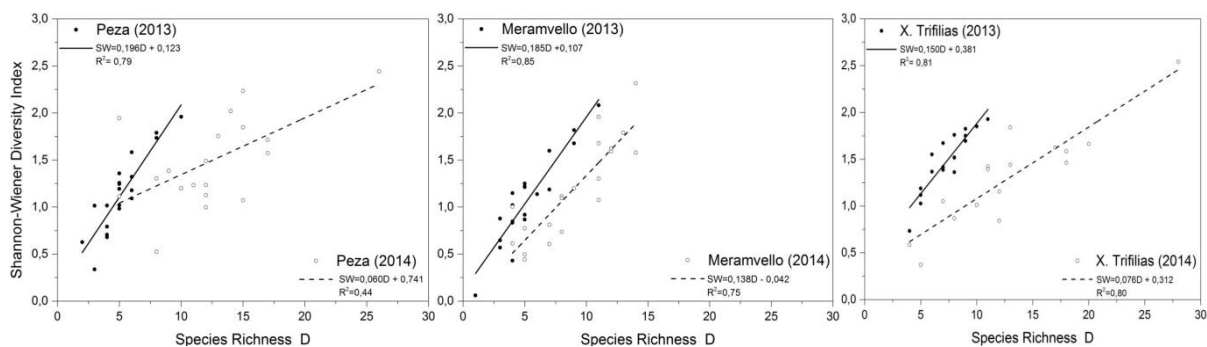
Η εκτίμηση της φυτικής βιοποικιλότητας σε κάθε περιοχή γενικότερα, αλλά και ειδικότερα στους επιλεγμένους ελαιώνες της κάθε περιοχής για τις δύο περιόδους, έγινε με τη βοήθεια του δείκτη Shannon – Wiener. Υψηλός αριθμός ειδών και όσο το δυνατόν πιο ισομερής αναλογία των διαφορετικών ειδών ενός φυτικού πληθυσμού σε μια περιοχή, αυξάνουν την ποικιλότητα που υπολογίζεται μέσω του δείκτη Shannon – Wiener. Με εξαίρεση την Χώρα Τριφυλίας, οι μέσες τιμές που ελήφθησαν από το δείκτη Shannon – Wiener ήταν υψηλότερες το 2014 σε σχέση με αυτές που προέκυψαν από τις επισκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν το 2013. Πιο συγκεκριμένα, οι μέσες τιμές του δείκτη Shannon – Wiener κατά τη διάρκεια του 2013 ήταν 1,14 για τα Πεζά, 1,07 για το Μεραμβέλλο και 1,48 για την Χώρα Τριφυλίας. Οι αντίστοιχες τιμές κατά τη διάρκεια του 2014 ήταν 1,53 για τα Πεζά, 1,19 για το Μεραμβέλλο και 1,30 για την Χώρα Τριφυλίας (Διάγραμμα 1).

26 διαφορετικά φυτικά είδη ταυτοποιήθηκαν συνολικά στους επιλεγμένους ελαιώνες των Πεζών κατά τη διάρκεια των επισκοπήσεων του 2013 και 45 το 2014. Οι αντίστοιχες τιμές για το Μεραμβέλλο ήταν 30 το 2013 και 42 κατά τη διάρκεια του 2014. Αρκετά μικρότερη ωστόσο ήταν διαφορά των φυτικών ειδών που ταυτοποιήθηκαν στην Πύλο το 2013 σε σχέση με το 2014, καθώς το 2013 εντοπίστηκαν 43 φυτικά είδη και 44 το 2014. Οι μέσες τιμές για τους ελαιώνες της κάθε περιοχής ήταν 5,20 και 12,50 για τα Πεζά το 2013 και 2014 αντίστοιχα, 5,25 και 8,85 για το Μεραμβέλλο και 7,33 και 12,56 για την Χώρα Τριφυλίας (Διάγραμμα 1). Στα Πεζά τα παραπάνω φυτικά είδη άνηκαν σε 16 και 31 βοτανικές οικογένειες, αντίστοιχα κατά το 2013 και 2014. Στο Μεραμβέλλο καταγράφηκαν 16 βοτανικές οικογένειες το 2013 και 32 το 2014, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για την Χώρα Τριφυλίας ήταν 19 και 24.



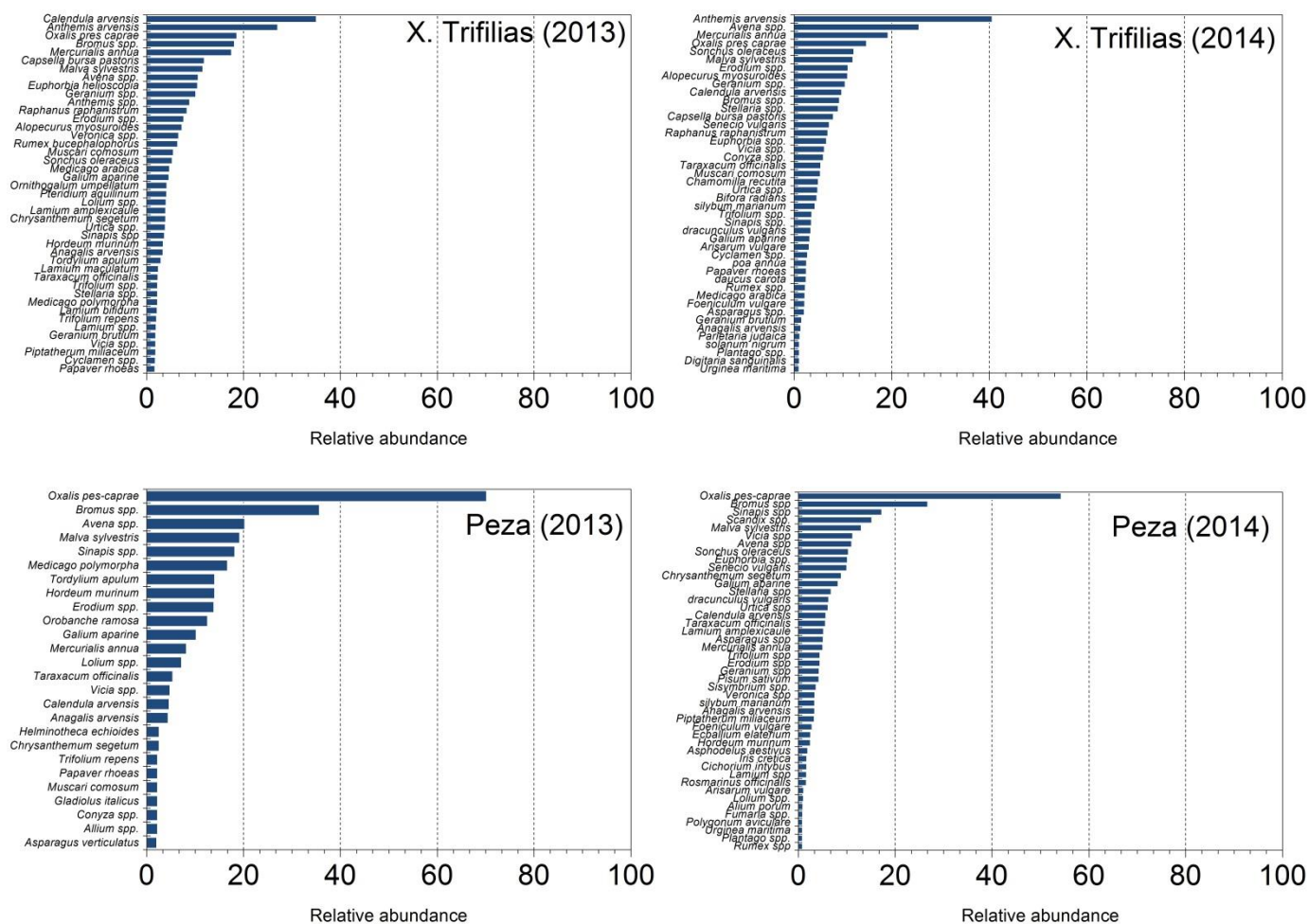
Διάγραμμα 1. Η βιοποικιλότητα των φυτικών ειδών σύμφωνα με την αφθονία των ειδών (Species Richness) και τον δείκτη Shannon – Wiener (μέσες τιμές των ελαιώνων κάθε περιοχής). Οι κάθετες μπάρες συμβολίζουν την τυπική απόκλιση.

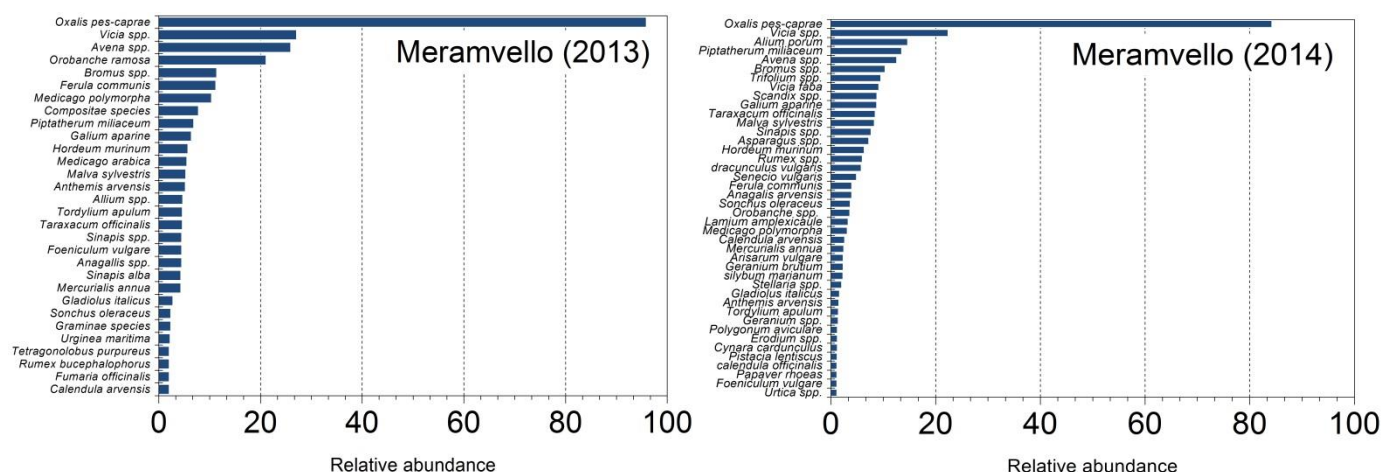
Όπως φάνηκε από την ανάλυση των δεδομένων, η βιοποικιλότητα εκφρασμένη μέσω του δείκτη Shannon Wiener επηρεάζεται θετικά από την αύξηση του αριθμού των φυτικών ειδών σε κάθε ελαιώνα. Ειδικότερα ο αριθμός των φυτικών ειδών εξήγησε στα Πεζά το 79% και 44% της συνολικής παραλλακτικότητας του δείκτη Shannon Wiener το 2013 και 2014, αντίστοιχα. Στο Μεραμβέλλο εξήγησε το 85% και 75% της συνολικής παραλλακτικότητας του δείκτη Shannon Wiener και για τη Χώρα Τριφυλίας το 81% και 80% (Διάγραμμα 2). Σημειώνεται επίσης ότι το 2014 σε σχέση με το 2013 η σχέση μεταξύ του δείκτη Shannon Wiener και της αφθονίας των φυτικών ειδών γίνεται σχετικά πιο ασθενής και επιπλέον καταγράφεται μία μείωση του ρυθμού αύξησης του δείκτη Shannon- Wiener μέσω της αύξησης του αριθμού των φυτικών ειδών ανά ελαιώνα. Αυτό, ως ένα ποσοστό, εξηγεί το γεγονός ότι παρόλο που το 2014 παρουσιάστηκε μια σημαντική αύξηση της αφθονίας των ειδών, δεν εμφανίστηκαν οι αναμενόμενες αυξήσεις και στις τιμές του δείκτη Shannon- Wiener.



Διάγραμμα 2. Η σχέση μεταξύ της αφθονίας των ειδών (Species Richness) και του δείκτη Shannon – Wiener για τις τρεις περιοχές και τις δύο περιόδους των επισκοπήσεων.

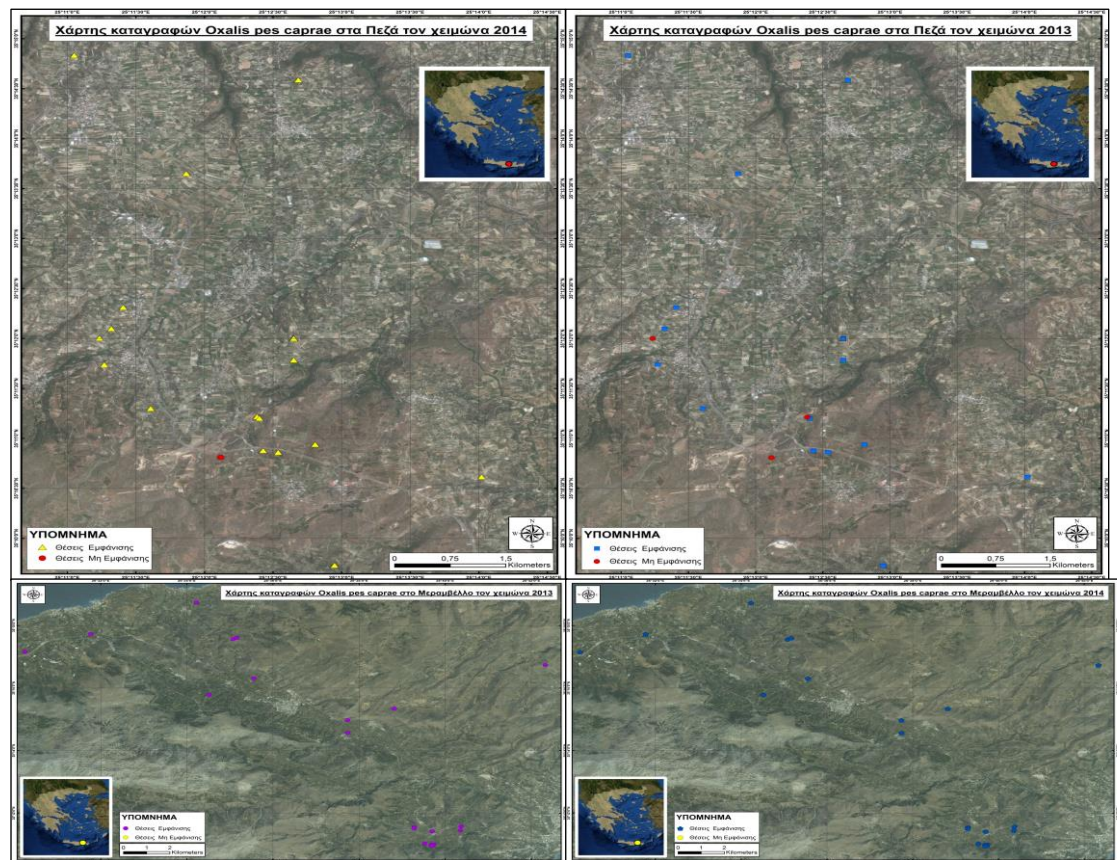
Τα συνηθέστερα φυτικά είδη, όσον αφορά τη σχετική τους αφθονία, σε κάθε περιοχή και καλλιεργητική περίοδο, ήταν η *Oxalis pes-caprae* στα Πεζά (70,16 το 2013 και 54,27 το 2014) και στο Μεραμβέλλο (95,90 το 2013 και 84,25 το 2014), η *Calendula arvensis* (35,05) στην Χώρα Τριφυλίας το 2013 και η *Anthemis arvensis* (40,56) στην Χώρα Τριφυλίας το 2014 (Διάγραμμα 3).



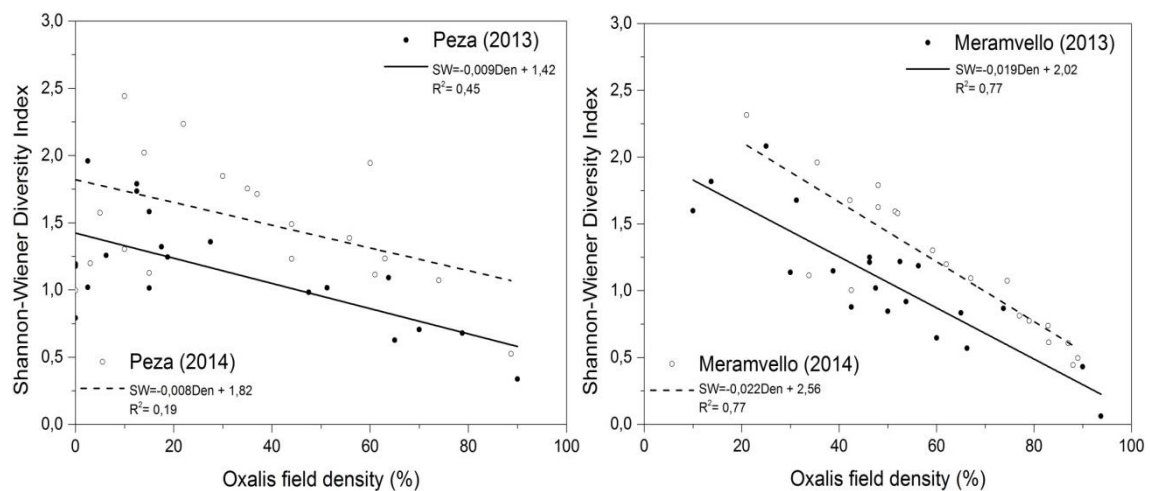


Διάγραμμα 3. Η σχετική αφθονία (Relative abundance) των φυτικών ειδών για τις τρεις περιοχές και τις δύο περιόδους των επισκοπήσεων.

Από το διάγραμμα 4 φαίνεται ότι η κυριαρχία της οξαλίδας στους ελαιώνες των Πεζών και ειδικά του Μεραμβέλλο, είναι ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας υποβάθμισης της χλωριδικής βιοποικιλότητας. Και στις δύο περιοχές η αύξηση της πυκνότητας του συγκεκριμένου είδους οδήγησε σε γραμμική και σημαντική μείωση του δείκτη Shannon – Wiener. Ειδικότερα, οι μεταβολές στην πυκνότητα της οξαλίδας εξήγησαν το 77% της συνολικής παραλλακτικότητας του δείκτη Shannon – Wiener στο Μεραμβέλλο, τόσο για τις δειγματοληψίες του 2013, όσο και για τις δειγματοληψίες του 2014. Σύμφωνα με την ανάλυση παλινδρόμησης, η αύξηση της πυκνότητας της οξαλίδας κατά 1% οδηγεί σε μια μείωση της τιμής του δείκτη Shannon – Wiener κατά περίπου 0,02 (Διάγραμμα 4). Στην εικόνα 2 παρουσιάζονται οι θέσεις στις οποίες ταυτοποιήθηκε η ύπαρξη της οξαλίδας στα Πεζά και το Μεραμβέλλο, τόσο κατά τις επισκοπήσεις του 2013, όσο και κατά τις επισκοπήσεις του 2014.



Εικόνα 2. Χάρτης καταγραφών *Oxalis pes-caprae* στα Πεζά και το Μεραμβέλλο κατά τα έτη 2013 και 2014.



Διάγραμμα 4. Η σχέση μεταξύ της πυκνότητας της οξαλίδας (*Oxalis pes-caprae*) και του δείκτη Shannon – Wiener στα Πεζά και το Μεραμβέλλο, για τις δύο περιόδους των επισκοπήσεων.

Βιβλιογραφία

- Albrecht, H., 2003. Suitability of arable weeds as indicator organisms to evaluate species conservation effects of management in agricultural ecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98: 201-211.
- Baessler, C., Klotz, S., 2006. Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agric. Ecosyst. Environ.* 115: 43-50.
- De Graaff, J. and Eppink, L.A.A.J. 1999. Olive oil production and soil conservation in Southern Spain in relation to EU subsidy policies. *Land Use Policy* 16:259-267.
- Marshall, E.J.P., Brown, V.K., Boatman, N.D., Lutman, P.J.W., Squire, G.R., Ward, L.K., 2003. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Res.* 43: 77-89.
- Saavedra M., J. Cuevas, J. Mesa Garcia and L. Garcia Torres 1989. Grassy weeds in winter cereals in southern Spain. *Crop Prot.* 8: 181-187.
- Thomas, A. G. 1985. Weed survey systems used in Saskatchewan for cereal and oilseed crops. *Weed Sci.* 33: 34-43.
- Θερίος, Ι. 2009. Ελαιοκομία. Εκδ. Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, 409 σελ.

ΕΝΟΤΗΤΑ 6^η

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΓΡΟΥ – ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΜΠΕΛΟΥ
ΣΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΦΥΛΛΩΜΑΤΟΣ**

**Αναστασίου Ε.^{1,2,✉}, Φουντάς Σ.^{1,2}, Μπαλαφούτης Α.^{1,2}, Κουνδουράς Σ.³,
Θεοχάρης Σ.³, Θεοδώρου Ν.³**

¹ Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Έρευνας και
Τεχνολογίας Θεσσαλίας, Δημητριάδος 95, 38333, Βόλος,
✉ evangelos_anastasiou@aua.gr

² Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων &
Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

³ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας, Τομέας
Οπωροκηπευτικών και Αμπέλου, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

Περίληψη

Η Αμπελουργία Ακριβείας είναι η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας σε αμπελώνες. Τελικός σκοπός της αμπελουργίας ακριβείας είναι η διαχείριση της χωρικής παραλλακτικότητας σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου με τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης. Στα οиноποιήσιμα αμπέλια ο επιτυχής καθορισμός ζωνών διαχείρισης εξαρτάται από τη συσχέτιση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Σκοπός της μελέτης ήταν η αξιολόγηση ενός αισθητήρα φυλλώματος στην πρόβλεψη της ποσότητας και της ποιότητας παραγωγής δύο οиноποιήσιμων ποικιλιών που δέχονται διαφορετικό αριθμό μεταχειρίσεων. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε έναν αμπελώνα στη Βόρεια Ελλάδα το 2014. Ο αμπελώνας ήταν φυτεμένος με τις ποικιλίες *Vitis vinifera* cvs. Sauvignon Blanc και Syrah σε 25 και 17 στρέμματα αντίστοιχα. Η ποικιλία Sauvignon blanc λαμβάνει μεγάλο αριθμό μεταχειρίσεων κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης ενώ η ποικιλία Syrah περιορισμένο αριθμό μεταχειρίσεων. Οι μετρήσεις φυλλώματος πραγματοποιήθηκαν με τη μέτρηση του δείκτη βλάστησης NDVI χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα φυλλώματος σε 5 διαφορετικά στάδια της ανάπτυξης της αμπέλου. Η κάθε ποικιλία χωρίστηκε σε κελιά έκτασης 1 στρέμματος για τη μέτρηση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών μέχρι την ωρίμανση. Οι μετρήσεις NDVI παρακολούθησαν επιτυχώς τις μεταβολές της ευρωστίας των φυτών και στις δυο ποικιλίες. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια ισχυρή επίδραση της ποικιλίας της αμπέλου και του αριθμού των μεταχειρίσεων στην αποτελεσματικότητα των αισθητήρων φυλλώματος στη χωρική παραλλακτικότητα του αμπελώνα ποσοτικά και ποιοτικά. Ο δείκτης βλάστησης NDVI συσχετίστηκε ισχυρά με τα ποσοτικά χαρακτηριστικά στην ποικιλία Syrah ενώ δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχη συσχέτιση στην ποικιλία Sauvignon blanc. Προτείνεται ότι η χαμηλή ικανότητα του δείκτη NDVI να συσχετιστεί με την παραγωγή και την ποιότητα στο Sauvignon blanc οφείλεται στον αυξημένο αριθμό μεταχειρίσεων που δέχεται σε σχέση με την ποικιλία Syrah με αποτέλεσμα να μειώνεται η αρχική παραλλακτικότητα που οφείλεται σε συνθήκες του μικροκλίματος.

Λέξεις-κλειδιά: NDVI, αμπελουργία ακριβείας, διαχείριση αμπελώνων, αισθητήρες φυλλώματος.

Εισαγωγή

Η Αμπελουργία Ακριβείας είναι η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας σε αμπελώνες. Η αμπελουργία ακριβείας όπως και η γεωργία ακριβείας είναι μια συνεχής κυκλική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων, την ανάλυση των δεδομένων, τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης και την αποτίμηση των εφαρμοσμένων πρακτικών (Bramley et al., 2003). Σκοπός της αμπελουργίας ακριβείας είναι η διαχείριση της χωρικής παραλλακτικότητας σε επίπεδο αμπελοτεμαχίου με τον καθορισμό ζωνών διαχείρισης. Σε κάθε ζώνη διαχείρισης παράγοντες όπως το έδαφος καθώς και παράμετροι της αμπέλου όπως απόδοση, ευρωστία και σύσταση της ράγας θεωρούνται όμοιοι (Kitchen et al., 2005).

Οι ζώνες διαχείρισης μπορούν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας ένα πλήθος δεδομένων. Χρονικά σταθερές ζώνες σχηματίζονται με τη χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (ECa) με παράλληλη μέτρηση της τοπογραφίας με τη χρήση RTK-GPS (Kitchen et al., 2005). Όμως, οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν συσχετίζονται πάντα με τις παραμέτρους της αμπέλου και επιπρόσθετες μετρήσεις απαιτούνται για την εξήγηση της χωρικής παραλλακτικότητας (Corwin and Plant, 2005) ενώ έχουν παρουσιαστεί μέθοδοι καθορισμού ζωνών διαχείρισης με τη χρήση αλγορίθμων ασαφούς ομαδοποίησης στην αμπελουργία ακριβείας (Tagarakis et al., 2013a).

Η οπτική τηλεπισκόπηση μπορεί να παρέχει πληροφορίες υψηλής χωρικής ανάλυσης στην παραλλακτικότητα της φυσιολογίας της αμπέλου (Hall et al., 2002). Η αξιολόγηση της παραλλακτικότητας αυτής μπορεί να γίνει με τη χρήση επίγειων τεχνικών όπως με τη χρήση σαρωτή λέιζερ για την εκτίμηση του όγκου του φυλλώματος και της πυκνότητας των κληματίδων (Tagarakis et al., 2013b) ή με τη χρήση οπτικών αισθητήρων για την εκτίμηση των δεικτών βλάστησης (Stamatiadis et al., 2010). Ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης βλάστησης είναι ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI) ο οποίος χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών του φυλλώματος καθώς έχει συσχετιστεί με ιδιότητες της βλάστησης όπως η συγκέντρωση της χλωροφύλλης των φύλλων, η βιομάζα και η φυλλική επιφάνεια (Hansen and Schoerring, 2003). Η περισσότερη έρευνα με τη χρήση

δεικτών βλάστησης σε αμπελώνες έχει πραγματοποιηθεί με την ανάλυση πολυφασματικών δορυφορικών ή εναέριων εικόνων (Hall et al., 2011).

Όμως, κύριος σκοπός της αμπελουργίας ακριβείας είναι η διασφάλιση ότι οι ζώνες διαχείρισης παρουσιάζουν μεταξύ τους διαφορές στην ποιότητα του σταφυλιού και ότι σε κάθε ζώνη η ποιότητα του συγκομιζόμενου προϊόντος ανταποκρίνεται στις προσδοκίες του οινοποιού (Keller, 2010). Ο δείκτης βλάστησης NDVI μπορεί να προσφέρει μια έμμεση πληροφορία σε σημαντικές ποσοτικές και ποιοτικές παραμέτρους της αμπέλου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μεταβολές στην κόμη οδηγούν σε σημαντικές μεταβολές στο μικροκλίμα της αμπέλου και κατά συνέπεια στην ωρίμανση της ράγας του σταφυλιού (Hall et al., 2002). Πολλές έρευνες έχουν διαπιστώσει θετική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και των ποσοτικών παραμέτρων της αμπέλου (Hall et al., 2011) ενώ τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της αμπέλου όπως τα φαινολικά και το χρώμα παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με τον δείκτη βλάστησης NDVI (Baluzá et al., 2012). Έτσι, αμπέλι με υψηλό δείκτη βλάστησης NDVI παρουσιάζει υψηλό δυναμικό στην παραγόμενη ποσότητα αλλά με χαμηλής ποιότητας παραγωγή σε αντίθεση με αμπέλι χαμηλού δείκτη NDVI με χαμηλό δυναμικό στην παραγόμενη ποσότητα αλλά με υψηλής ποιότητας παραγωγή.

Όμως, ο καθορισμός ζωνών διαχείρισης με βάση τον δείκτη βλάστησης NDVI δεν συσχετίζεται πάντα με τη χωρική παραλλακτικότητα των χαρακτηριστικών του σταφυλιού (Acevedo-Orpazo et al., 2008). Αυτό οφείλεται στην πολυπλοκότητα των σχέσεων ανάμεσα στα χαρακτηριστικά της κόμης της αμπέλου και της απόδοσης. Έτσι, οι αλλαγές στη σύσταση της ράγας δεν επηρεάζονται μόνο από το μικροκλίμα που επικρατεί κατά την ανάπτυξη της αμπέλου (Chaves et al. 2010) αλλά και από τις εδαφικές και τοπογραφικές συνθήκες (Fountas et al., 2014a). Επιπλέον, οι Kazmierski et al. (2011) παρατήρησαν μια μείωση στη σταθερότητα του δείκτη NDVI ανάμεσα στα έτη όταν πραγματοποιούνταν σημαντικές αλλαγές στην κόμη όπως κορυφολόγημα, βλαστολόγημα ή άρδευση. Οι Fountas et al. (2014b) αναφέρουν ότι αυτή η μεταβολή οφείλεται στο γεγονός ότι η αρχική παραλλακτικότητα που οφείλεται σε εδαφικούς και τοπογραφικούς παράγοντες εξαλείφεται με αυξανόμενο αριθμό των γεωργικών πρακτικών. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση των αισθητήρων φυλλώματος στην πρόβλεψη της ποσότητας και της ποιότητας παραγωγής διαφορετικών οινοποιήσιμων ποικιλιών αμπέλου οι οποίες δέχονται διαφορετικό βαθμό γεωργικών πρακτικών. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκαν δύο αμπελοτεμάχια με διαφορετικές ποικιλίες. Το ένα είναι φυτεμένο με την κόκκινη

οινοποιήσιμη ποικιλία Syrah η οποία δέχεται περιορισμένο αριθμό γεωργικών μεταχειρίσεων και περιορισμένη άρδευση, και το άλλο είναι φυτεμένο με τη λευκή οινοποιήσιμη ποικιλία Sauvignon blanc η οποία δέχεται μεγάλο αριθμό γεωργικών μεταχειρίσεων και υψηλή ποσότητα νερού.

Υλικά και Μέθοδοι

Η μελέτη διεξήχθη σε έναν εμπορικό αμπελώνα στη Βόρεια Ελλάδα το 2014. Ο αμπελώνας ήταν φυτεμένος με τις οινοποιήσιμες ποικιλίες *Vitis vinifera* cvs. Sauvignon Blanc (41° 5.5' N, 23° 55.8' E, Δράμα, Ελλάδα) και Syrah (41° 5.8' N, 23° 56.7' E, Δράμα, Ελλάδα) σε 25 και 17 στρέμματα, αντίστοιχα. Η ποικιλία Sauvignon blanc φυτεύτηκε σε αμμοπηλώδες έδαφος το 2005 ενώ η ποικιλία Syrah φυτεύτηκε σε αμμοαργιλοπηλώδες έδαφος το 2006. Τα αμπέλια και των δύο ποικιλιών έχουν φυτευτεί σε υποκείμενο Paulsen 1103, σε γραμμικό σχήμα διαμόρφωσης και έχουν αποστάσεις φύτευσης 1.2 x 2.2 m. Όμως, οι απαιτήσεις σε μεταχειρίσεις των δύο ποικιλιών διαφέρουν. Τα αμπέλια της ποικιλίας Sauvignon Blanc λαμβάνουν πολλές μεταχειρίσεις που περιλαμβάνουν κορυφολογήματα και βλαστολογήματα με εκτενή άρδευση, ενώ τα αμπέλια της ποικιλίας Syrah λαμβάνουν μόνο ένα περιορισμένο αριθμό καλλιεργητικών πρακτικών με περιορισμένη άρδευση.

Τα αμπελοτεμάχια χωρίστηκαν σε πλέγμα με κελιά έκτασης 1 στρέμματος για τη διερεύνηση και την εφαρμογή των μεθόδων της αμπελουργίας ακριβείας. Ο σκοπός ήταν να αξιολογηθεί η απόδοση των σταφυλιών κατά τη συγκομιδή καθώς και οι παράμετροι ποιότητας των σταφυλιών κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης για κάθε ποικιλία σύμφωνα με τις μεθόδους της αμπελουργίας ακριβείας. Έτσι, η ποικιλία Sauvignon blanc χωρίστηκε σε 24 κελιά και η ποικιλία Syrah σε 17.

Στα κελιά που χωρίστηκαν τα αμπελοτεμάχια πραγματοποιήθηκαν μια σειρά μετρήσεων που μπορούν να ταξινομηθούν σε μετρήσεις φαινοτυπικών παραμέτρων, μετρήσεις φυσιολογίας καθώς και μετρήσεις ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών καθ' όλη τη διάρκεια του ετήσιου βιολογικού κύκλου της αμπέλου.

Οι ιδιότητες του φυλλώματος μετρήθηκαν με τη χρήση του δείκτη κανιονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI) ο οποίος έχει συσχετιστεί με παραμέτρους της ανάπτυξης των φυτών όπως τη βιομάζα, την ευρωστία των φυτών, την περιεκτικότητα των φυτών σε χλωροφύλλη, την παραγωγή κ.ά. (Ghorbani et al., 2012). Ο δείκτης NDVI υπολογίζεται από τον τύπο 1:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

226

Όπου ρ_{NIR} είναι η τιμή ανάκλασης στο υπέρυθρο φάσμα και ρ_R είναι η τιμή ανάκλασης στο ερυθρό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας φυλλώματος CropCircle ACS-210 (Holland Scientific, Lincoln, USA). Ο αισθητήρας CropCircle ACS-210 είναι ένας ενεργός αισθητήρας μέτρησης του φυλλώματος. Αυτό σημαίνει ότι δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες φωτεινότητας κατά τη διάρκεια της μέτρησης σε αντίθεση με έναν παθητικό αισθητήρα μέτρησης του φυλλώματος. Ο αισθητήρας ήταν κάθετα τοποθετημένος σε έναν αμπελουργικό ελκυστήρα σε απόσταση 1.2 m από την επιφάνεια του φυλλώματος της αμπέλου και σε απόσταση 1.2 m ύψους από το έδαφος με σκοπό τη μέτρηση όλου του φυλλώματος. Οι μετρήσεις του δείκτη βλάστησης NDVI πραγματοποιήθηκαν σε πέντε διαφορετικά στάδια της καλλιεργητικής περιόδου της αμπέλου. Στο παραπάνω όργανο υπήρχε η δυνατότητα συνεχούς καταγραφής μετρήσεων σε συνδυασμό με την καταγραφή της θέσης μέσω της χρήσης GPS. Έτσι, υπήρξε συνεχόμενη μέτρηση ολόκληρων των αμπελοτεμαχίων με τη χρήση του αμπελουργικού ελκυστήρα.

Από τον περκασμό και έπειτα γίνονταν εβδομαδιαία λήψη δειγμάτων 200 ραγών από κάθε κελί από τα οποία προσδιορίστηκαν το μέσο βάρος ράγας, τα διαλυτά στερεά (με σακχαροδιαθλασίμετρο) και η ολική οξύτητα του γλεύκους (με τιτλοδότηση με NaOH 0.1 N) καθώς και τα φαινολικά συστατικά με τη μέθοδο Glories and Augustin (1993). Για τη τελευταία, οι ράγες πολτοποιήθηκαν σε μίξερ για 2 λεπτά και 50 ml από τον παραγόμενο πολτό αναμείχθηκαν με 50 ml διάλυμα τρυγικού οξέος pH=1 (για τον προσδιορισμό ολικών ανθοκυανών Αολ). Τα δείγματα παρέμειναν επί 4 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου (25 °C). Έπειτα ακολούθησε φιλτράρισμα για την παραγωγή διαυγούς διαλύματος. Από το διαυγές διάλυμα έγινε ο προσδιορισμός των ανθοκυανών με τη μέθοδο Ribereau-Gayon and Stonestreet (1965). Επίσης υπολογίστηκε ο δείκτης φαινολικών ουσιών με τη μέθοδο Ribereau-Gayon (1970) στα 280 nm. Η συγκομιδή των σταφυλιών έγινε στις 23/8/2014 για την ποικιλία Sauvignon blanc και στις 28/8/2014 για την ποικιλία Syrah. Κατά τη διάρκεια της συγκομιδής μετρήθηκαν η παραγωγή σε κιλά, ο αριθμός στάφυλων ανά πρέμνο και ο αριθμός στάφυλων ανά βλαστό.

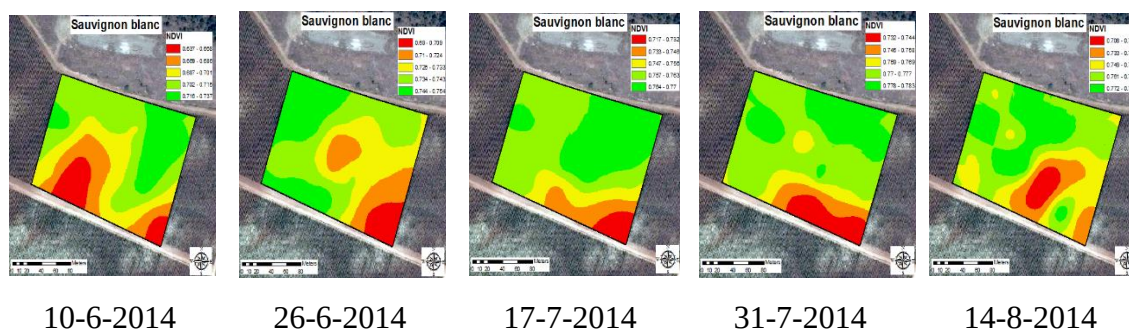
Στη συνέχεια αφού τα δεδομένα όλων των μετρήσεων συλλέχτηκαν, τότε εισήχθησαν στο λογισμικό Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corp., Redmont, USA) όπου πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί όπως η εύρεση των μέσων τιμών κάθε κελιού

για κάθε μέτρηση. Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιήθηκε το φιλτράρισμα των τιμών του οργάνου μέτρησης της ευρωστίας των φυτών CropCircle όπου έγινε δεκτό το εύρος τιμών 0.400 έως 0.800 το οποίο αντιστοιχεί στο εύρος τιμών της βλάστησης. Αυτό έγινε εξαιτίας της ικανότητας του αισθητήρα να μετράει και τιμές μικρότερες ή μεγαλύτερες από αυτό το εύρος το οποίο αντιστοιχεί σε έδαφος και σε ουρανό αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό IBM SPSS Statistics 20 (IBM Corp., New York, USA) για την περαιτέρω στατιστική τους ανάλυση και πιο συγκεκριμένα η συσχέτιση όλων των μετρήσεων μεταξύ τους για κάθε ποικιλία ξεχωριστά. Ακόμη, στο ίδιο λογισμικό υπήρξε η ανάλυση των περιγραφικών στατιστικών των μετρήσεων για κάθε ποικιλία ξεχωριστά.

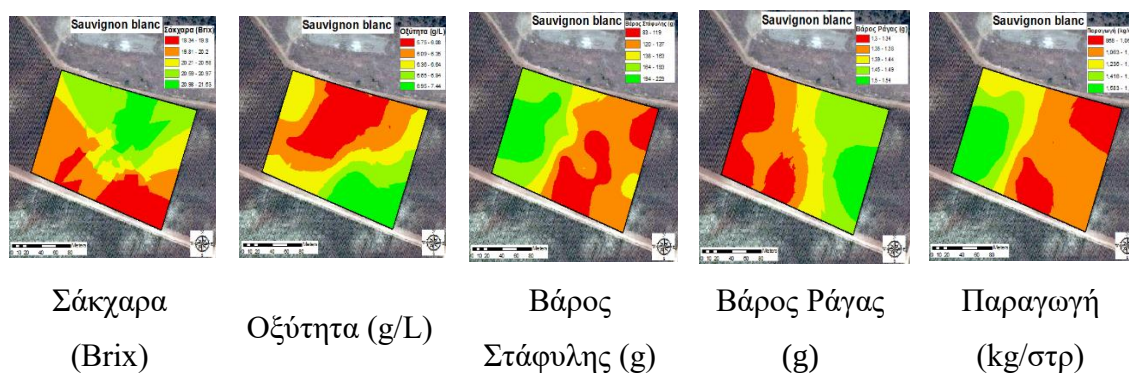
Για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS 10.2.2 (ESRI, Redlands, USA). Στο λογισμικό αυτό έγινε εισαγωγή των γεωαναφερόμενων περιοχών μελέτης όπως και του πλέγματος που δημιουργήθηκε για την κάθε περιοχή. Στη συνέχεια εισήχθησαν στο λογισμικό τα δεδομένα των μέσω τιμών όλων των μετρήσεων για κάθε κελί και για κάθε ποικιλία για τη δημιουργία των χαρτών. Στο λογισμικό αυτό έγινε η απεικόνιση των πληροφοριών σε χάρτες μετά την εισαγωγή των δεδομένων και την ταξινόμηση της απεικόνισής τους σε πέντε κλάσεις σύμφωνα με τη μεθοδολογία Natural Breaks (Jenks).

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Ο δείκτης NDVI παρουσιάζει σταθερό μοτίβο κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της καλλιέργειας και στις δύο ποικιλίες με την ποικιλία Syrah να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συνοχή (Σχήμα 1 και 3). Επιπλέον, το NDVI στην ποικιλία Sauvignon blanc παρουσίασε μικρότερη παραλλακτικότητα σε όλες τις μετρήσεις σε σχέση με τις μετρήσεις στην ποικιλία Syrah η οποία ήταν σχεδόν διπλάσια σε όλες τις μετρήσεις (Πίνακας 3).



Σχήμα 1. Χάρτες δείκτη NDVI της ποικιλίας Sauvignon blanc.



Σχήμα 2. Χάρτες ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων της ποικιλίας Sauvignon blanc κατά τη συγκομιδή.

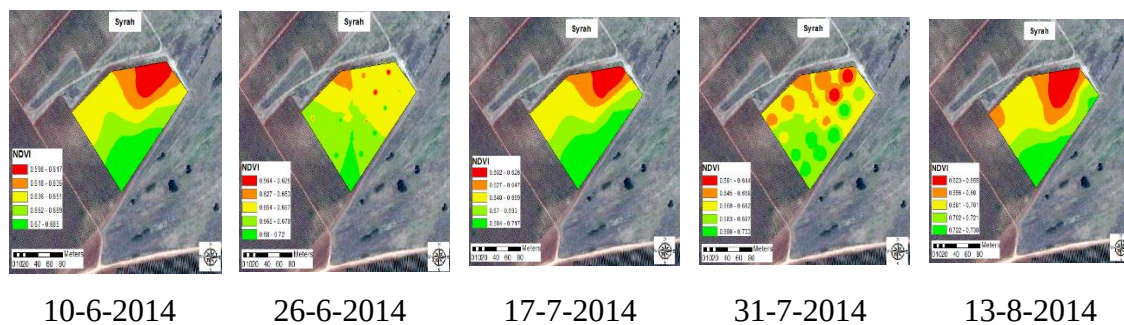
Ο δείκτης NDVI συσχετίστηκε μερικώς με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ($r=-0.564$ στις 13-8-2014 για οξύτητα και $r=0.488$ στις 17-7-2014 για σάκχαρα) κατά τη συγκομιδή στην ποικιλία Sauvignon blanc ενώ με τα ποσοτικά χαρακτηριστικά συσχετίστηκε αρνητικά με το βάρος της ράγας ($r=-0.437$). Ο δείκτης NDVI δεν παρουσίασε συσχέτιση με τις άλλες ποσοτικές παραμέτρους που μετρήθηκαν (βάρος στάφυλης, αριθμός στάφυλων ανά πρέμνο και παραγωγή) (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Συσχέτιση κατά Pearson μεταξύ του δείκτη βλάστησης NDVI και των ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων της ποικιλίας Sauvignon blanc κατά τη συγκομιδή.

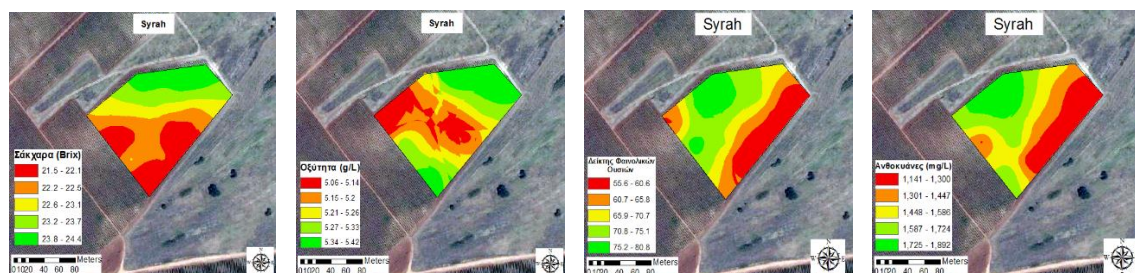
	NDVI 10-6- 2014	NDVI 26- 6-2014	NDVI 17- 7-2014	NDVI 31- 7-2014	NDVI 13- 8-2014
Οξύτητα (g/l)	-0.008	0.014	-0.215	-0.446*	-0.564**
Σάκχαρα (°brix)	0.236	0.036	0.488*	0.464*	0.075
Βάρος Ράγας (g)	0.024	-0.437*	0.036	0.057	-0.065
Βάρος Στάφυλης (g)	-0.204	0.396	0.104	0.348	0.392
Αριθμός Στάφυλων/Πρέμνο	-0.077	-0.122	-0.054	-0.017	-0.360
Παραγωγή (kg/στρ)	-0.275	0.357	0.085	0.344	0.263

****.** Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας $p<0.01$

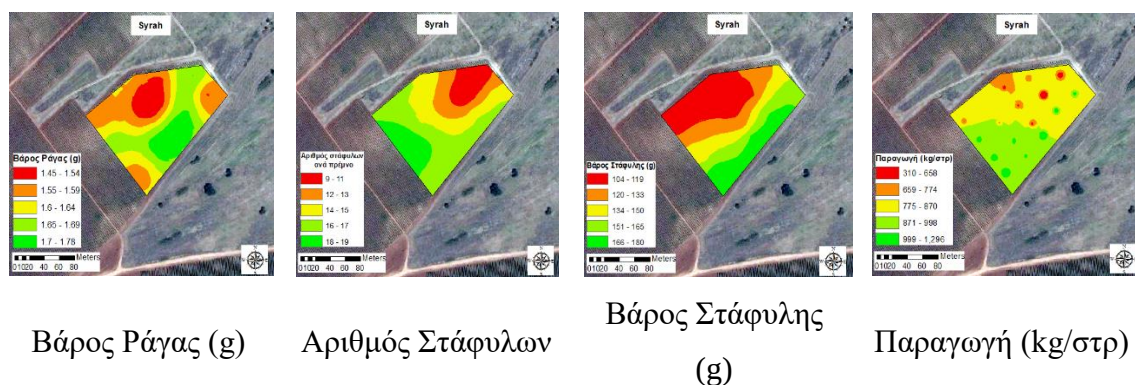
*****. Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας $p<0.05$



Σχήμα 3. Χάρτες δείκτη NDVI της ποικιλίας Syrah.



Σχήμα 4. Χάρτες ποιοτικών παραμέτρων της ποικιλίας Syrah κατά τη συγκομιδή.



Σχήμα 5. Χάρτες ποσοτικών παραμέτρων της ποικιλίας Syrah κατά τη συγκομιδή.

Στο Syrah, παρουσιάστηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και τη συγκέντρωση σε σάκχαρα ($r=-0.561$ στις 26-6-2014) ενώ αυτή ήταν θετική με την οξύτητα ($r=0.517$ στις 13-8-2014). Ενώ δεν παρουσίασε καμία συσχέτιση με τον δείκτη φαινολικών ουσιών και με τη συγκέντρωση σε ανθοκυάνες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης βλάστησης παρουσίασε ισχυρή θετική συσχέτιση με όλα τα ποσοτικά χαρακτηριστικά της ποικιλίας Syrah εκτός από το βάρος ράγας σε όλες τις μετρήσεις NDVI (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Συσχέτιση κατά Pearson μεταξύ του δείκτη βλάστησης NDVI και των ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων της ποικιλίας Syrah.

	NDVI 10-6- 2014	NDVI 26-6- 2014	NDVI 17-7- 2014	NDVI 31-7- 2014	NDVI 13-8- 2013
Σάκχαρα (%brix)	-0.495*	-0.561*	-0.552*	-0.547*	-0.450
Δείκτης Φαινολικών Ουσιών	-0.339	-0.379	-0.416	-0.391	-0.303
Οξύτητα (g/l)	0.030	0.016	0.044	0.029	0.517*
Ανθοκυάνες (mg/L)	-0.099	-0.158	-0.226	-0.236	-0.121
Βάρος Ράγας (g)	0.027	0.071	0.057	0.119	-0.107
Βάρος Στάφυλης (g)	0.671**	0.676**	0.708**	0.714**	0.635**
Αριθμός Σταφυλών/Πρέμνο	0.695**	0.721**	0.709**	0.704**	0.722**
Παραγωγή (kg/στρ.)	0.843**	0.862**	0.885**	0.888**	0.834**

****.** Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.01$

*****. Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$

Παρατηρήθηκε χαμηλή ικανότητα του δείκτη NDVI στη συσχέτιση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής τόσο στο Sauvignon blanc όσο και στο Syrah. Αυτό έχει παρατηρηθεί επιπλέον από τους Fountas et al. (2014b). Από τους χάρτες στην ποικιλία Syrah επιβεβαιώνεται ότι οι ζώνες χαμηλής ευρωστίας παράγουν υψηλής ποιότητας σταφύλια όπως αναφέρουν οι Cortell et al. (2005) (Σχήμα 3 και 4). Ενώ αυτό δεν παρατηρείται στην ποικιλία Sauvignon blanc (Σχήμα 1 και 2). Σύμφωνα με τα ευρήματα, ο καθορισμός ζωνών διαχείρισης με τη χρήση του NDVI θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ποικιλία Syrah με πολύ καλά αποτελέσματα για την παραγόμενη ποσότητα και την ποιότητά της. Ενώ ο καθορισμός ζωνών διαχείρισης με βάση το NDVI θα είχε περιορισμένα αποτελέσματα στην ποικιλία Sauvignon blanc. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο ότι ο μεγάλος αριθμός μεταχειρίσεων (άρδευση, κορυφολόγημα κ.ά.) που λαμβάνει στη διάρκεια των ετών η ποικιλία Sauvignon blanc οδήγησε στη μείωση της παραλλακτικότητας που προκαλούν οι συνθήκες μικροκλίματος σε σχέση με την ποικιλία Syrah που λαμβάνει μικρότερο αριθμό μεταχειρίσεων.

Πίνακας 3. Περιγραφικά στατιστικά των παραμέτρων των ποικιλιών Sauvignon blanc και Syrah που μετρήθηκαν στο πείραμα.

	Sauvignon blanc				Syrah			
	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέση Τιμή	CV (%)	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέση Τιμή	CV (%)
NDVI 10-6-2014	0.636	0.738	0.697	3.4	0.554	0.699	0.647	6.5
NDVI 26-6-2014	0.684	0.759	0.731	2.3	0.556	0.724	0.663	7.5
NDVI 17-7-2014	0.703	0.774	0.758	2.1	0.562	0.728	0.668	7.3
NDVI 31-7-2014	0.732	0.783	0.769	1.8	0.589	0.734	0.676	6.6
NDVI 14-8-2013	0.708	0.786	0.76	2.7	0.616	0.738	0.69	5.1
Σάκχαρα (°brix)	16.6	23.8	20.18	11.4	20.4	25	22.71	5.5
Οξύτητα (g/l)	4.95	9.3	6.46	15.4	4.2	6.15	5.25	10.0
Δείκτης Φαινολικών Ουσιών	-	-	-	-	52.2	83	68.26	13.9
Ανθοκυάνες (mg/L)	-	-	-	-	1071	1920	1508	17.2
Βάρος Ράγας (g)	1.08	1.72	1.41	11.0	1.26	1.92	1.62	10.2
Αριθμός Στάφυλων/Πρέμνο	16	25	20	10.5	7	21	15	21.9
Βάρος Στάφυλης (g)	83	222	148	27.1	88	201	136	26.1
Παραγωγή (kg/στρ)	671	1862	1269	26.2	290	1308	869	36.1

Συμπεράσματα

Οι τιμές του δείκτη βλάστησης NDVI έδειξαν μια σταθερή χωρική μεταβολή και στις δύο ποικιλίες υποδεικνύοντας ότι ο δείκτης NDVI μπορεί να παρακολουθήσει τις αλλαγές στο φύλλωμα και στην ευρωστία του φυλλώματος κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της αμπελούς. Όμως, τα αποτελέσματα έδειξαν διαφορετική ικανότητα του δείκτη βλάστησης NDVI στην περιγραφή της χωρικής παραλλακτικότητας, στην παραγωγή και στην ποιότητά της ανάμεσα στις δύο διαφορετικές ποικιλίες το οποίο σχετίστηκε με την εκάστοτε διαχείριση του αμπελώνα. Η ποικιλία Syrah είχε χαμηλότερο αριθμό μεταχειρίσεων με αποτέλεσμα το NDVI να συσχετιστεί με τα χαρακτηριστικά της παραγωγής αλλά και με ποιοτικά χαρακτηριστικά (περιεκτικότητα σε σάκχαρα) ενώ στη ποικιλία Sauvignon blanc που είχε μεγαλύτερο αριθμό μεταχειρίσεων δεν παρατηρήθηκαν συσχετίσεις ανάμεσα στα ποσοτικά χαρακτηριστικά και το NDVI. Προτείνεται ότι η χαμηλή ικανότητα του δείκτη NDVI να συσχετιστεί με την παραγωγή και την ποιότητα στο Sauvignon blanc οφείλεται στον

αυξημένο αριθμό μεταχειρίσεων που δέχεται σε σχέση με την ποικιλία Syrah με αποτέλεσμα να μειώνεται η αρχική παραλλακτικότητα που οφείλεται σε συνθήκες του μικροκλίματος. Αυτή η μελέτη υποδεικνύει ότι η μεταχείριση του αμπελώνα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη μέτρηση του δείκτη βλάστησης NDVI με σκοπό τη βελτίωση της πρακτικής σημασίας του δείκτη στην υιοθέτηση μεθόδων της αμπελουργίας ακριβείας.

THE INFLUENCE OF VINE VARIETY AND FIELD TREATMENTS IN THE YIELD AND QUALITY PREDICTION WITH THE USE OF CANOPY SENSORS

Anastasiou E.^{1,2,✉}, Fountas S.^{1,2}, Balafoutis A.^{1,2}, Koundouras S.³, Theoharis S.³, Theodorou N.³

¹ Center for Research and Technology, Hellas. Institute of Research and Technology Thessaly, Dimitriadou 95, 38333 Volos, Greece

✉ evangelos_anastasiou@aia.gr

² Agricultural University of Athens, Department of Natural Resource Management and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece

³ Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agriculture, University campus, 54124 Thessaloniki, Greece

Abstract

Precision Viticulture is the application of precision agriculture techniques in vineyards. The ultimate aim of precision is to manage vineyards at sub-field scale delineating management zones. In winegrapes, successful zoning depends on the relevancy of management zones in terms of grape quality to justify selective handling of grapes. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of a canopy sensor in predicting grape yield and quality variability under different varieties and vineyard conditions. The study was conducted in a commercial vineyard in Northern Greece in the 2014 vintage. The vineyard was planted with *Vitis vinifera* cvs. Sauvignon Blanc and Syrah in 2.5 and 1.7 ha respectively. Sauvignon blanc received many operations for summer training techniques while Syrah only received a limited number of manual operations. Canopy properties in terms of NDVI values were taken at 5 different stages of the vine growing period. A 0.1 ha regular grid was formed to assess grape yield at harvest and grape composition parameters throughout ripening. NDVI measurements successfully monitored canopy growth variations within the vineyard in both varieties. The results showed a strong influence of grape variety and vineyard management decisions on the effectiveness of canopy sensors in describing the spatial variability in grape yield and quality. NDVI was strongly correlated with yield parameters in Syrah, while there was no correlations between NDVI and yield parameters in Sauvignon blanc. It is proposed that the lower effectiveness of NDVI in predicting yield and quality in Sauvignon Blanc, as opposed to Syrah, was related to the increased number of

management practices, reducing the initial variability induced by soil and topography factors.

Keywords: NDVI, precision viticulture, vineyard management, canopy sensors

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (Γ.Γ.Ε.Τ.) στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Green Vineyard».

Βιβλιογραφία

- Acevedo-Opazo, C., Tisseyre, B., Guillaume, S., and H. Ojeda. 2008. The potential of high spatial resolution information to define within-vineyard zones related to vine water status. *Precision Agriculture* 9: 285–302.
- Baluja, J., Diago, M.P., Goovaerts, P., and J. Tardaguila. 2012. Assessment of the spatial variability of anthocyanins in grapes using a fluorescence sensor Relationships with vine vigour and yield. *Precision Agriculture* 13: 457–472.
- Bramley, R.G.V., Pearse, B., and P. Chamberlain. 2003. Being profitable precisely - a case study of precision viticulture from Margaret River. *Australian and New Zealand Grape grower and Winemaker – Annual Technical Issue* 473(a): 84-87.
- Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., and M.L. Rodrigues. 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of botany* 105: 661-676.
- Cortell, J. M., Halbleib, M., Gallagher, A. V., Righetti, T. L., and J.A. Kennedy. 2005. Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) and wine proanthocyanidins. *J. Agric. Food Chem.* 53: 5798–5808.
- Corwin, D. L., and R.E. Plant. 2005. Applications of apparent soil electrical conductivity in precision agriculture. Editorial. *Computers and Electronics in Agriculture* 46: 1–10.
- Fountas, S., Anastasiou E., Balafoutis A., Koundouras, S., Theoharis, S., and N. Theodorou. 2014b. The influence of vine variety and vineyard management on the effectiveness of canopy sensors to predict winegrape yield and quality. *International Conference of Agricultural Engineering, AgEng 2014, Zurich, July 6-10, 2014.*
- Fountas, S., Balafoutis, A., Anastasiou, E., Kotseridis, G., Kallithraka, E., Kyrleou, M., and S. Koundouras. 2014a. Site-specific variability of grape composition and wine quality. *12th International Conference of Precision Agriculture, Sacramento California, USA July 20-24, 2014.*
- Ghorbani, A., Mossivand, A. M., and A.E. Ouri. 2012. Utility of the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) for land/canopy cover mapping in Khalkhal County (Iran). *Annals of Biological Research* 3(12): 5494-5503.

- Glories, Y., and M. Augustin. 1993. Maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques: application aux millésimes 1991 et 1992. *Compte Rendu Colloque Journée Techn. CIVB, Bordeaux*. pp., 56-61.
- Hall, A., Lamb, D., Holzapfel, B., and J. Louis. 2002. Optical remote sensing applications in viticulture - A review. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 8: 36-47.
- Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel, B.P., and J.P. Louis. 2011. Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield. *Precision Agriculture* 12: 103-117.
- Hansen, P.M., and J.K. Schoerring. 2003. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote Sensing Environment* 86: 542-553.
- Kazmierski M., Glemas P., Rousseau J., and B. Tisseyre. 2011. Temporal stability of within field patterns of NDVI in non irrigated Mediterranean vineyards. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 45: 61-73.
- Keller, M. 2010. Managing grapevines to optimize fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16: 56-69.
- Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Myers, D. B., Drummond, S. T., and S.Y. Hong. 2005. Delineating productivity zones on claypan soil fields apparent soil electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture* 46: 285-308.
- Maxwell K., and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll Fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.
- Ribereau-Gayon P (1970), Le dosage des composés phénoliques totaux dans le vins rouge. *Chim. Anal.* 52: 627-631.
- Ribèreau-Gayon, P., and E. Stonestreet. 1965. Le dosage des anthocyanes dans le vins rouge. *Bull. Soc. Chim.* 9: 2649.
- Stamatiadis, S., Taskos, D., Tsadilas, C., Christofides, C., Tsadila, E., and J.S. Schepers. 2010. Comparison of passive and active sensors for the estimation of vine biomass production. *Precision Agriculture* 11: 306-315.
- Tagarakis, A., Liakos, S., Fountas, S., Koundouras, S., and T.A. Gemtos. 2013a. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. *Precision Agriculture* 14(1): 18-39.
- Tagarakis, A., Liakos, V., Chatzinikos, T., Koundouras, S., and S. Fountas. 2013b. Using laser scanner to map pruning wood in vineyards. pp. 633-639. *European Conference of Precision Agriculture*, Wageningen Academic Press, Edited by J. Stafford.

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΚΑΙ RGB ΚΑΜΕΡΑΣ

Μικρούλης Α.^{1✉}, Αναστασίου Ε.¹, Φουντάς Σ.¹, Τραυλός Η.², Τσιρόπουλος Ζ.¹,
Μπαλαφούτης Α.¹

¹ Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων &
Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

✉ alex.mikro@hotmail.gr

² Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Ιερά
Οδός 75, 11855, Αθήνα

Περίληψη

Η αυξανόμενη ανάγκη για μεγιστοποίηση της παραγωγής οδηγεί στην αναζήτηση νέων μεθόδων και τεχνικών διαχείρισης της κάθε καλλιέργειας. Η εντατικοποίηση της παραγωγής μπορεί να ωφεληθεί από τη χρήση μεθόδων της γεωργίας ακριβείας για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής με την αποτελεσματικότερη χρήση των εισροών. Για το σκοπό αυτό απαιτείται η εφαρμογή των τεχνολογιών και των πρακτικών οι οποίες δεν είναι μόνο αποτελεσματικές ως προς την κατεύθυνση αυτή, αλλά και οικονομικά προσιτές. Στην παρούσα εργασία μελετάται η ανάπτυξη τριών ψυχανθών (βίκος, λαθούρι, κουκιά), με χρήση τεχνικών φασματοσκοπίας, με σκοπό να καταγραφεί η ανάπτυξή τους και να διαπιστωθεί η αξιοπιστία των δεικτών ευρωστίας NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge) και NGRDI (Normalized Green Red Difference) καθώς και η ικανότητά τους να ερμηνεύσουν την εξέλιξη των σταδίων του βιολογικού κύκλου των φυτικών ειδών. Έγινε συσχέτιση όλων των δεικτών με τα φαινοτυπικά χαρακτηριστικά του ύψους και του αριθμού των φύλλων των φυτών. Και οι τρεις δείκτες βρέθηκαν ικανοί να ερμηνεύσουν την ανάπτυξη των φυτών με τα κουκιά να επηρεάζονται λιγότερο από εξωγενείς παράγοντες και να παρουσιάζουν ομαλότερη εξέλιξη των τριών δεικτών. Ο δείκτης NGRDI συσχετίστηκε και με τους άλλους δύο δείκτες NDVI και NDRE, αλλά μόνο κατά το κύριο στάδιο ανάπτυξης των φυτών (μετά τη βλάστηση και την πρώτη ανάπτυξη και πριν από την άνθηση). Στα κουκιά διαπιστώθηκε καλύτερος συσχετισμός του δείκτη NGRDI με τους δείκτες NDVI και NDRE με βαθμό συσχέτισης κατά Pearson να κυμαίνεται από $r=0.770$ (NDRE) έως και $r=0.927$ (NDVI). Χαμηλότερες συσχετίσεις είχε ο βίκος του οποίου ο βαθμός συσχέτισης κυμάνθηκε σε επίπεδα από $r=0.710$ μέχρι $r=0.825$ για τον δείκτη NDVI. Συμπερασματικά, η χρήση απλής ψηφιακής κάμερας RGB μπορεί να αντικαταστήσει επαρκώς τα φασματοσκοπικά όργανα εκτίμησης της ευρωστίας αλλά μόνο για ορισμένα στάδια του βιολογικού τους κύκλου.

Εισαγωγή

Η Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture) μπορεί να ορισθεί ως μια νέα μέθοδος γεωργικής πρακτικής η οποία χρησιμοποιεί πληθώρα πληροφοριών ως προς τον χρόνο και τον χώρο προκειμένου να μεγιστοποιήσει την απόδοση των καλλιεργειών μεγιστοποιώντας τις εισροές και ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Καρυδάς, 2000). Η Γεωργία Ακριβείας είναι ένας πολυεπιστημονικός γεωργικός κλάδος που ενσωματώνει πληθώρα επιστημονικών πεδίων, τεχνολογιών και «εργαλείων» (Συλλαίος, 1999). Τέτοια είναι: χάρτες αποδόσεων, εργαστηριακές αναλύσεις, συστήματα εντοπισμού θέσης, τηλεπισκόπηση με τη χρήση αισθητήρων, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S), καθώς και συστήματα μεταβλητής εφαρμογής εισροών για σπορά, λίπανση και φυτοπροστασία (σπαρτικές μεταβλητής ποσότητας σπόρου και βάθους σποράς, λιπασματοδιανομείς μεταβλητής δόσης λίπανσης και ψεκαστήρες μεταβλητής δόσης ψεκασμού). Ακριβώς λόγω της ευρύτητας των πεδίων και των εφαρμοζόμενων μεθόδων που χρησιμοποιούνται στη Γεωργία Ακριβείας δεν είναι δυνατόν να δοθεί, ένας, επακριβής ορισμός (Brase, 2009).

Στη γεωργία ακριβείας χρησιμοποιούνται πληθώρα τεχνολογιών αιχμής, προγραμμάτων και εργαλείων προκειμένου να γίνει καταγραφή των δεδομένων ανάλυση και στοχευμένη επέμβαση ανάλογα με τις εξειδικευμένες ανάγκες του κάθε αγροτεμαχίου. Τέτοια εργαλεία είναι το GPS (Global Positioning System), ή αλλιώς σύστημα εντοπισμού θέσης, το GIS (Geographical Information Systems), ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό να ενσωματώσει, να αποθηκεύσει, να προσαρμόσει, να αναλύσει και να παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες (geographically-referenced), πληροφορίες, καθώς και πλήθος οργάνων τηλεπισκόπησης όπως RGB κάμερες, κάμερες τύπου Lidar, κάμερες Time-of-Flight, κουρτίνες φωτός, υπερφασματικές κάμερες, θερμικές κάμερες, φασματικοί αισθητήρες κ.α. (Αναστασίου, 2014).

Οι Μαυρομάτης κ.α. (2012) χρησιμοποίησαν τον ενεργό αισθητήρα βλάστησης Crop Circle ACS-210 (Holland Scientific, NE, USA), το φασματικό όργανο μέτρησης της χλωροφύλλης SPAD-502 (Konica Minolta, Osaka, Japan) και το υπερφασματικό ραδιόμετρο GER 1500 (Spectra Vista Corp., Poughkeepsie, USA) σε μελέτη φαινοτυπικής παραλλακτικότητας ποικιλιών βίκου και φακής. Ενώ οι Andrade-Sanchez et al. (2014) χρησιμοποίησαν τον ενεργό αισθητήρα βλάστησης Crop Circle ACS-470 (Holland Scientific, NE, USA) για να αξιολογήσουν τη ζωνρότητα 25

ποικιλιών βάμβακος. Οι Rosell et al. (2009) χρησιμοποίησαν τον αισθητήρα LIDAR SICK LMS 200 (SICK AG, Waldkirch, Germany) με τον οποίο κατέγραψαν τρισδιάστατα μοντέλα οπωροφόρων δένδρων όπως αχλαδιάς, μηλιάς, πορτοκαλιάς, μανταρινιάς σε πραγματικούς οπωρώνες. Η συσχέτιση που παρουσίασαν τα τρισδιάστατα μοντέλα με τα πραγματικά ήταν έως $r^2=0.976$. Αναφέραν δε ότι από στα τρισδιάστατα μοντέλα μπορούν να υπολογιστούν το ύψος, ο όγκος, το πάχος, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας του δέντρου και άλλα χαρακτηριστικά. Οι Paulus et al. (2014) χρησιμοποίησαν τον αισθητήρα ScanWorks v5 Perceptron (Hexagon Metrology Inc., Plymouth, USA) για να απεικονίσουν τρισδιάστατα φυτά και όργανα από κριθάρι. Με αυτόν τον τρόπο μέτρησαν τη φυλλική επιφάνεια, το ύψος του στελέχους, το ύψος και το πάχος του φυτού. Οι Hosoi and Omasa (2009) χρησιμοποίησαν τον αισθητήρα TDS-130L (Pulstec Industrial Co., Ltd., Japan) για να υπολογίσουν την πυκνότητα φυτών μαλακού σιταριού σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης με πολύ καλά αποτελέσματα ($r^2=0.95$). Από το ίδιο πείραμα υπολόγισαν τη βιομάζα των οργάνων του φυτού με $r^2=0.94-0.96$.

Αλλά οι παραπάνω αισθητήρες αποτελούν μια ακριβή λύση τόσο για την έρευνα όσο και για την εμπορική εφαρμογή τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού όσο και επίπεδο γνώσης. Οι RGB κάμερες αποτελούν έναν εναλλακτικό τρόπο με φτηνό κόστος κτήσης και με μεγάλη εξοικείωση λειτουργίας από όλους. Μελέτη πάνω στον φαινότυπο ποικιλιών σόγιας μέσω της ψηφιακής ανάλυσης εικόνας έδειξε σημαντική συσχέτιση του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε της ψηφιακής φωτογραφίας με το περιεχόμενο της πρωτεΐνης των φυτών σόγιας (Vollmann et al., 2011). Οι Wang and Li (2014) χρησιμοποίησαν την RGB κάμερα του αισθητήρα Kinect (Microsoft Inc., Seattle, USA) για να μετρήσουν τη διάμετρο από δύο ποικιλίες κρεμμυδιών και βρήκαν συσχέτιση $r^2=0.94$.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η ανάπτυξη 3 ειδών ψυχανθών συνεχούς ανάπτυξης (βίκος, λαθούρι, κουκιά) με τη μέθοδο της οπτικής τηλεπισκόπησης χρησιμοποιώντας τον φασματικό αισθητήρα RapidSCAN CS-45 (Holland Scientific, Lincoln, USA) που έχει τη δυνατότητα να παράγει τους δείκτες βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge). Επιπλέον ελήφθησαν φωτογραφίες με την απλή εμπορική κάμερα Coolpix S600 (Nikon, Tokyo, Japan) μαζί με τις μετρήσεις των άνωθεν δεικτών. Έπειτα οι εικόνες που πάρθηκαν αναλύθηκαν ψηφιακά για να καταρτιστεί ο δείκτης βλάστησης NGRDI (Normalized Green Red Difference). Ο δείκτης NGRDI όπως και οι παραπάνω δείκτες

σχετίζεται με την ευρωστία των φυτών. Ο δείκτης NGRDI εν συνεχεία συσχετίστηκε με τους δείκτες NDRE και NDVI προκειμένου διαπιστωθεί αν μπορεί να τους αντικαταστήσει δίνοντας αξιόπιστες πληροφορίες για την ευρωστία των φυτών αυτών. Τέλος, έγινε συσχέτιση όλων των δεικτών με τα φαινοτυπικά χαρακτηριστικά του ύψους και του αριθμού των φύλλων των φυτών.

Υλικά και Μέθοδοι

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε πειραματικό αγρό του εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (37°59'N, 23°42'E), για τη χειμερινή καλλιεργητική περίοδο 2014-2015. Κατά την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο στον αγρό είχε καλλιεργηθεί ηλίανθος, φυτό γνωστό για την αλληλοπάθεια του με φυτά της επόμενης καλλιέργειας. Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά μονοποικιλιακά φυτικά είδη ψυχανθών, Βίκος (*Vicia sativa* L. Subsp. *Sativa*), Λαθούρι (*Lathyrus sativus* L. *cicera*), και Κουκιά (*Vicia faba* L. var. *faba*). Το τμήματα του αγρού ήταν χωρισμένο σε 12 διαφορετικά πειραματικά τεμάχια (Plots) σε διάταξη 4 x 3 κάθε ένα από τα οποία ήταν χωρισμένο στις ίδιες διαστάσεις περιέχοντας κάθε ένα από τα φυτικά είδη. Οι διαστάσεις του κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 2,4m x 3m και με κάθε φυτικό είδος να καταλαμβάνει χώρο 1m x 2,4m στο ίδιο πειραματικό τεμάχιο.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν ένας φασματικός αισθητήρας και μια απλή εμπορική κάμερα. Ο φασματικός αισθητήρας RapidSCAN CS-45 (Holland Scientific, Lincoln, USA), έχει την ικανότητα να εκτιμά την ευρωστία των φυτών μέσω δεικτών βλάστησης. Συγκεκριμένα, εκτιμά τον δείκτη κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI), και τον δείκτη κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης κοντά στο ερυθρό φάσμα (NDRE). Ο δείκτης NDVI (1) είναι ένας δείκτης που υποδεικνύει την κατάσταση της βλάστησης. Βασίζεται στη διαφορά μεταξύ της μέγιστης απορρόφησης της ακτινοβολίας στην ερυθρή φασματική ζώνη και τη μέγιστη αντανάκλαση της ακτινοβολίας στην εγγύς υπέρυθρη φασματική ζώνη. Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται μεταξύ -1.0 και +1.0, αλλά είναι συνήθως θετικές για το έδαφος και τη βλάστηση. Πυκνότερη ή / και υγιής βλάστηση θα έχουν υψηλότερες τιμές.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1), \text{ όπου:}$$

NIR= τιμές ανακλώμενου φάσματος κοντά στην υπέρυθρη περιοχή και

RED = τιμές απορροφώμενου κόκκινου φάσματος.

Ο δείκτης NDRE (2) είναι ένας αντίστοιχος με τον NDVI δείκτης ευρωστίας που μετρά τα φάσματα απορρόφησης και ανάκλασης πολύ κοντά στο υπέρυθρο φάσμα. Οι τιμές του NDRE κυμαίνονται επίσης από -1 έως +1 αλλά σε απόλυτη μορφή οι τιμές που δίνει ο δείκτης είναι χαμηλότερες από αυτές του NDVI. Το πραγματικό εύρος τιμών του συνήθως κυμαίνεται μεταξύ -0.1 έως 0.3.

$$NDRE = \frac{NIR-RE}{NIR+RE} (2), \text{ όπου:}$$

NIR = τιμές ανακλώμενου φάσματος κοντά στην υπέρυθρη περιοχή

RE = τιμές απορροφώμενου υπέρυθρου φάσματος

Η απλή εμπορική RGB κάμερα Coolpix S600 (Nikon, Tokyo, Japan) ανάλυσης 10 Megapixel, χρησιμοποιήθηκε για λήψη φωτογραφιών από τις οποίες έπειτα από επεξεργασία και ανάλυση, με το πρόγραμμα Image J (National Institute of health, USA) καταρτίστηκε ο δείκτης NGRDI (3). Ο δείκτης αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσδιορισμό της ευρωστίας φυτών υπολογίζοντας το πηλίκο του αθροίσματος και της διαφοράς μεταξύ του πρασίνου και κόκκινου φάσματος (3). Το εύρος τιμών του κυμαίνεται από -1.0 μέχρι +1.0 με τιμές κοντά στο 0.2-0.35 να υποδεικνύουν πυκνή ή/και υγιή βλάστηση.

$$NGRDI = \frac{GreenDN-RedDN}{GreenDN+RedDN} (3), \text{ όπου:}$$

$GreenDN$ = Ψηφιακή τιμή πράσινου χρώματος της εικόνας

$RedDN$ = Ψηφιακή τιμή κόκκινου χρώματος της εικόνας

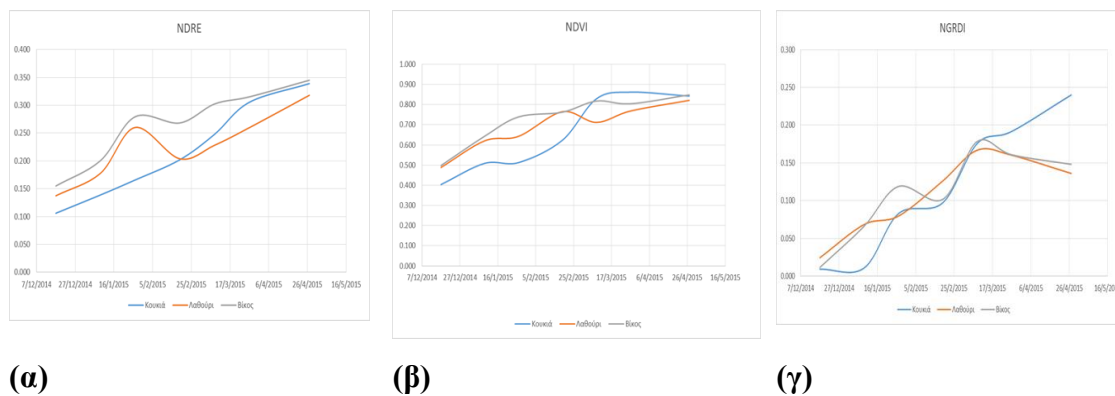
Προκειμένου οι εικόνες από την κάμερα να είναι πανομοιότυπες και κάθετες προς τη φυτοκαλυμμένη επιφάνεια ώστε η γωνία λήψης να μην επηρεάσει τα αποτελέσματα, η κάμερα τοποθετήθηκε σε ιδιόχειρη κατασκευή σχήματος Γ από σωλήνες PVC με διαστάσεις: 3μ ύψος και προέκταση 1.2μ έτσι ώστε κάθε λήψη να περιλαμβάνει ένα ολόκληρο Plot. Κατά την επεξεργασία των εικόνων, αυτές περικόπηκαν ώστε να περιέχεται η περιοχή από κάθε ένα φυτικό είδος ξεχωριστά. Από τις καταλλήλως περικομμένες εικόνες καταρτίστηκε ο δείκτης NGRDI ανά Plot και φυτικό είδος.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων του δείκτη NDVI και NDRE χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό RapidTALK (Holland Scientific, Lincoln, USA), ενώ για την επεξεργασία των ψηφιακών εικόνων και την κατάρτιση του δείκτη NGRDI χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Image J (National Institute of health, USA).

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων και παρουσίασή τους χρησιμοποιήθηκαν τα στατιστικά προγράμματα SPSS Statistics 20 (IBM, New York, USA), και το πακέτο εφαρμογών γραφείου Office 2013 (Microsoft, California, USA) και πιο συγκεκριμένα τα προγράμματα Word, Excel και PowerPoint.

Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 26-11-2014. Πριν τη σπορά πραγματοποιήθηκε όργωμα και καλλιεργητής προκειμένου να προετοιμαστεί ο αγρός. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν την ίδια ημερομηνία ανά χρονικό διάστημα 2 εβδομάδων. Οι μετρήσεις παίρνονταν ξεχωριστά ανά φυτικό είδος και Plot. Εν συνεχεία αναλύονταν και κατηγοριοποιούνταν ανά δείκτη (NDVI & NDRE), ανά φυτικό είδος και ημερομηνία. Οι φωτογραφίες λαμβάνονταν τις ίδιες ημερομηνίες ανά πειραματικό τεμάχιο (Plot) και εν συνεχεία περικόπτονταν κατάλληλα δημιουργώντας 12 εικόνες ανά φυτικό είδος (μια για κάθε Plot), με σύνολο 36 εικόνες ανά μέτρηση. Από κάθε μια εικόνα και έπειτα από ανάλυση καταρτιζόταν ο δείκτης NGRDI. Για την τελική στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι των τιμών του κάθε πειραματικού τεμαχίου. Παράλληλα με τις άνω μετρήσεις παίρνονταν μετρήσεις ύψους και αριθμού φύλλων.

Αποτελέσματα και Συζήτηση



Σχήμα 1. Εξέλιξη των δεικτών βλάστησης (α) NDRE, (β) NDVI και (γ) NGRDI κατά τη βλαστική ανάπτυξη της καλλιέργειας κουκιών (μπλε γραμμή), λαθουριού (πορτοκαλί γραμμή) και βίκου (γκρι γραμμή).

Ο δείκτης NDRE (Σχήμα 1α) παρουσιάζει σχετικά ομαλή εξέλιξη και στα 3 φυτικά είδη. Η απότομη αύξηση που παρουσιάζει ο δείκτης στην μέτρηση στις 27/1/2015 οφείλεται στην ύπαρξη ζιζανίων, που επηρεάζουν τις τιμές του δείκτη στο λαθούρι και τον βίκο όχι όμως στα κουκιά. Οι τιμές στον βίκο κυμαίνονται μεταξύ 0.155 και 0.345, στο λαθούρι μεταξύ 0.137 και 0.318 και στα κουκιά μεταξύ 0.106 και 0.339.

Ο δείκτης NDVI (Σχήμα 1β) παρουσιάζει σχετικά ομαλή εξέλιξη και στα 3 φυτικά είδη. Φαίνεται πώς τα ζιζάνια δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα τον δείκτη όπως συμβαίνει με τον NDRE. Οι τιμές στον βίκο κυμαίνονται μεταξύ 0.498 και 0.848, στο λαθούρι μεταξύ 0.488 και 0.821 και στα κουκιά μεταξύ 0.862. Το μεγαλύτερο εύρος στις τιμές του δείκτη και επομένως καλύτερη ερμηνεία της ανάπτυξης παρουσιάζεται στα κουκιά.

Ο δείκτης NGRDI (σχήμα 1γ) παρουσιάζει αυξανόμενη εξέλιξη και στα 3 φυτικά είδη εξηγώντας επαρκώς την ανάπτυξή τους. Τα ζιζάνια στις 27/1/2015 επηρεάζουν ιδιαίτερα τον βίκο και όχι τα κουκιά και το λαθούρι. Κατά το στάδιο τις συγκομιδής παρατηρούμε εμφανή μείωση των τιμών στον βίκο και το λαθούρι εν αντίθεση με τα κουκιά στα οποία οι τιμές του δείκτη συνεχίζουν να αυξάνονται. Οι τιμές στον βίκο κυμαίνονται μεταξύ 0.011 και 0.178, στο λαθούρι μεταξύ 0.024 και 0.168 και στα κουκιά μεταξύ 0.009 και 0.204.

Οι συσχετίσεις του NGRDI για τον βίκο (Πίνακας 1), με τους δείκτες NDRE και NDVI είναι στατιστικώς σημαντικές μόνο κατά το στάδιο ανάπτυξης μετά τη βλάστηση και Α' ανάπτυξη και πριν την άνθηση στο χρονικό διάστημα από 27/1 μέχρι και 19/2. Κατά τα στάδια αυτά τις ανάπτυξης ο δείκτης NGRDI μπορεί να υποκαταστήσει επαρκώς τους δείκτες NDRE και NDVI.

Πίνακας 1. Συσχέτιση δείκτη NGRDI με NDVI και NDRE για τον βίκο.

<i>HMEPOMHNI</i>	<i>NGRDI-NDRE</i>	<i>NGRDI-NDVI</i>
17/12/2014	0.15	0.26
9/1/2015	-0.13	0.11
27/1/2015	0.80 *	0.83 *
19/2/2015	0.74 *	0.71 *
9/3/2015	0.16	-0.17
27/3/2015	0.24	0.28
27/4/2015	0.34	0.31

**Η συσχέτιση είναι σημαντική για $P < 0.01$.*

Οι συσχετίσεις του δείκτη NGRDI για το λαθούρι (πίνακας 2), με τους δείκτες NDRE και NDVI είναι στατιστικώς σημαντικές κατά Pearson μόνο κατά το στάδιο ανάπτυξης μετά τη βλάστηση και Α' ανάπτυξη και πριν την άνθηση στο χρονικό διάστημα από 27/1 μέχρι και 9/3. Κατά τα στάδια αυτά τις ανάπτυξης ο δείκτης NGRDI μπορεί να υποκαταστήσει επαρκώς τους δείκτες NDRE και NDVI.

Πίνακας 2. Συσχέτιση δείκτη NGRDI, με NDVI και NDRE για το λαθούρι.

<i>HMEPOMHNI</i>	<i>NGRDI-NDRE</i>	<i>NGRDI-NDVI</i>
17/12/2014	-0.10	0.22
9/1/2015	0.30	0.45
27/1/2015	0.71 *	0.72 *
19/2/2015	0.88 *	0.90 *
9/3/2015	0.88 *	0.88 *
27/3/2015	0.66	0.67
27/4/2015	0.46	0.57

**Η συσχέτιση είναι σημαντική για $P < 0.01$.*

Οι συσχετίσεις του δείκτη NGRDI για τα κουκιά (πίνακας 3), με τους δείκτες NDRE και NDVI είναι στατιστικώς σημαντικές κατά Pearson μόνο κατά το στάδιο ανάπτυξης μετά τη βλάστηση και Α' ανάπτυξη και πριν την άνθηση στο χρονικό διάστημα από 27/1 μέχρι και 9/3. Κατά τα στάδια αυτά τις ανάπτυξης ο δείκτης NGRDI μπορεί να υποκαταστήσει επαρκώς τους δείκτες NDRE και NDVI.

Όσον αφορά τα φαινοτυπικά χαρακτηριστικά του ύψους φυτών και του αριθμού των φύλλων τους δεν παρουσιάστηκε καμία συσχέτιση κανενός δείκτη σε κανένα φυτό.

Πίνακας 3. Συσχέτιση δείκτη NGRDI με NDVI και NDRE για τα κουκιά.

<i>HMEPOMHNI</i>	<i>NGRDI-NDRE</i>	<i>NGRDI-NDVI</i>
17/12/2014	0.46	0.57
9/1/2015	0.51	0.63
27/1/2015	0.90 *	0.93 *
19/2/2015	0.88 *	0.90 *
9/3/2015	0.81 *	0.77 *
27/3/2015	-0.11	0.07
27/4/2015	0.01	0.09

**Η συσχέτιση είναι σημαντική για $P < 0.01$.*

Συμπεράσματα

Οι τρεις δείκτες (NDVI, NDRE, NGRDI), κατάφεραν να εξηγήσουν επαρκώς την ανάπτυξη των τριών ψυχανθών μέχρι την άνθησή τους, με εμφανή αύξηση των δεικτών παράλληλα με την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Τα πιο εμφανή αποτελέσματα

παρατηρούνται στα κουκιά, πιθανών λόγο του τρόπου ανάπτυξής τους (ορθόκλαδα). Παρατηρείται ότι οι τιμές των τριών δεικτών επηρεάζονται από την ύπαρξη ζιζανίων, η οποία (ύπαρξη ζιζανίων) προκαλεί αύξηση στις τιμές των δεικτών. Τα κουκιά επηρεάζονται πολύ λιγότερο από την ύπαρξη ζιζανίων σε σχέση με τον βίκο και το λαθούρι. Αυτό συμβαίνει διότι τα ζιζάνια αναπτύσσονται κάτω από το φύλλωμα των φυτών και έτσι δεν πειράζουν ιδιαίτερα τις μετρήσεις των φασματικών οργάνων και της RGB κάμερας. Ο δείκτης NGRDI παρουσιάζει μειωμένες τιμές κατά την άνθηση των φυτών του βίκου και του λαθουριού ενώ δεν ισχύει το ίδιο στα κουκιά. Ο δείκτης NGRDI παρουσιάζει συσχετίσεις με τους δείκτες NDRE και NDVI μόνο κατά τα στάδια που έχουμε ανάπτυξη των φυτών, ενώ δεν κατάφερε να παρουσιάσει συσχετίσεις κατά τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης και κατά την άνθηση. Υψηλότερες συσχετίσεις παρουσιάζονται στα κουκιά, ενώ λιγότερο υψηλές στον βίκο και στο λαθούρι. Γενικότερα διαπιστώθηκε ότι ο δείκτης NGRDI ερμηνεύει καλύτερα την ανάπτυξη ορθόκλαδων φυτών όπως τα κουκιά και παρουσιάζει καλύτερες συσχετίσεις με τους άλλους δείκτες ευρωστίας. Επίσης ο συσχετισμός του με τους δείκτες NDRE NDVI περιορίζεται στο στάδιο της κυρίας ανάπτυξης του φυτού μέχρι πριν την άνθηση. Τέλος παρατηρούμε ότι δεν παρουσιάστηκε καμία αξιολογη συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των φύλλων και του ύψους των φυτών με κανέναν από τους 3 δείκτες. Αυτό είναι πιθανό να συμβαίνει διότι οι φασματικοί αυτοί δείκτες επηρεάζονται κατά βάση από τη φυλλική επιφάνεια και όχι από τον αριθμό των φύλλων και το ύψος τους. Αυτό γίνεται αντιληπτό από το γεγονός ότι στα ορθόκλαδα φυτά (κουκιά), έχουμε καλύτερα αποτελέσματα.

CROP GROWTH MONITORING WITH THE USE OF MULTISPECTRAL AND RGB CAMERAS

Mikroulis A.^{1✉}, Anastasiou E.¹, Fountas S.¹, Travlos I.²

Tsiropoulos Z.¹, Balafoutis A.¹

¹ Agricultural University of Athens, Department of Natural Resource Management and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece

✉ alex.mikro@hotmail.gr

² Agricultural University of Athens, Department of Crop Science, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece

Abstract

The growing need to maximize production leads to the research of new methods and management techniques for each crop. The intensification of production can benefit from the use of precision agriculture techniques to maximize production with efficient use of inputs. For this purpose, it is required the application of new technologies and practices that are not only effective in this direction, but also affordable. This paper studies the crop development of three legumes (vetch, chickling vetch, beans), using methods of spectroscopy in order to monitor their development and to evaluate the spectral vegetation indices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge) and NGRDI (Normalized Green Red Difference) along with the ability to recognize crop stages of their biological cycle. All indices were correlated with plant phenotypic characteristics such as height and number of leaves. All three indices were able to interpret the development of plants with broad beans less affected by external factors and present smooth development of all three indices. The NGRDI index was correlated with the other two indices NDVI and NDRE, but only at the stage of plant growth (after germination and first growth and before flowering). NGRDI index was best correlated with NDVI and NDRE indices in beans compared to the other crops, with Pearson correlation coefficients vary from $r = 0.770$ (NDRE) up to $r = 0.927$ (NDVI). Lower correlations among the three vegetation indices were found in vetch whose correlation levels ranged from $r = 0.710$ to $r = 0.825$ for the NDVI index. In conclusion, the use of simple digital camera RGB can adequately replace spectral canopy sensors, but only for certain stages of their biological cycle.

Keywords: NGRDI, NDVI, NDRE, precision agriculture, RGB camera

Βιβλιογραφία

- Brase Terry A. 2009. Γεωργία Ακριβείας. Μετάφραση: Αλεξάνδρα Γ. Τσετσενέκου. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα 415 σελ.
- Hosoi, F. and K. Omasa. 2009. Estimating vertical plant area density profile and growth parameters of a wheat canopy at different growth stages using three-dimensional portable lidar imaging. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 64:151-158.
- Paulus, S., Behmann, J., Mahlein, A.-K., Plumer, L. and H. Kuhlmann. 2014. Low-Cost 3D Systems: Suitable Tools for Plant Phenotyping. *Sensors* 14(22): 3001-3018.

- Rosell, J.R., Llorens, J., Sanz, R., Arno, J., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Escola, A., Camp, F., Solanelles, F., Gracia, F., Gil, E., Val, L., Planas, S. and J. Palacin. 2009. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149:1505-1515.
- Vollmann, J., Walter, H., Sato, T. and P. Schweiger. 2011. Digital image analysis and chlorophyll metering for phenotyping the effects of nodulation in soybean. *Computers and Electronics in Agriculture*. 75:190-195.
- Wang, W. and C. Li. 2014. Size estimation of sweet onions using consumer-grade RGB-depth sensor. *Journal of Food Engineering*, 142:153-162.
- Αναστασίου Ε. 2014. Μελέτη φαινοτυπικής παραλλακτικότητας με την χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας 149 σελ.
- Καρυδάς, Χ. Γ. 2000. Γεωργία Ακριβείας: Ανάλυση - Φασματικά μοντέλα καλλιέργειας σίτου. Μεταπτυχιακή διατριβή, Α.Π.Θ., 61, 119-126.
- Μαυρομάτης, Α., Βλαχοστέργιος, Δ., Φουντάς, Σ., Συκκάς, Δ., Καραθανάση, Β., και Θ. Γέμτος. 2012. Συνδυαστική μέθοδος φαινοτυπικής αποτύπωσης και αξιολόγησης σε ποικιλίες βίκου και φακής. Περιλήψεις 14ου Πανελλήνιου Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρίας Γενετικής Βελτίωσης Φυτών, 10-12 Οκτωβρίου 2012, Θεσσαλονίκη, Σελ. 11.
- Συλλαίος, Ν, 1999. Αειφορική Διαχείριση Εδαφικών Πόρων - Εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη χαρτογράφηση και αξιολόγηση των εδαφών. Α.Π.Θ.-Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ., 136, 143, 143, 142.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΟΙΝΟΥ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΓΡΟΥ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΑ ΑΓΙΩΡΓΙΤΙΚΟΥ ΣΤΗ ΝΕΜΕΑ

Φούντας Σ.^{1,2}, Μπαλαφούτης Α.², Αναστασίου Ε.², Κουνδουράς Σ.³, Κοτσερίδης Γ.⁴, Καλλίθρακα Σ.⁴, Παναγόπουλος Κ.⁴, Καλύβας Δ.⁵

¹Εργαστήριο Γ. Μηχανολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα (sfountas@aua.gr)

²Ινστιτούτο Έρευνας και Τεχνολογίας Θεσσαλίας, Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογίας, Δημητριάδος 95 & Παύλου Μελά, 38333, Βόλος (abalafoutis@aua.gr)

³Εργαστήριο Αμπελουργίας, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124, Θεσσαλονίκη (skoundou@agro.auth.gr)

⁴Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας & Συντήρησης Γ. Προϊόντων, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα (ykotseridis@aua.gr)

⁵Εργαστήριο Εδαφολογίας & Γεωργικής Χημείας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα (kalivas@aua.gr)

Περίληψη

Με την αμπελουργία ακρίβειας επιχειρείται η οριοθέτηση ζωνών διαχείρισης σε αμπελώνες στοχεύοντας στη διαφοροποίηση των εισροών ή της διαχείρισης της παραγωγής. Η πλειοψηφία των μελετών σε αμπελώνες οινοπαραγωγής επικεντρώνονται στη σχέση των χωρικών δεδομένων με τη χημική σύσταση των σταφυλιών κατά τη συγκομιδή. Αντίθετα, συσχετίσεις της χωρικής παραλλακτικότητας του αγρού με την ποιότητα του οίνου είναι πολύ σπάνιες στη βιβλιογραφία. Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων του εδάφους του αμπελώνα στη χημική σύσταση των σταφυλιών και των οίνων. Η μελέτη διεξήχθη σε αμπελώνα της Νεμέας κατά το έτος 2014. Ο αμπελώνας χωρίστηκε σε πλέγμα 18 κελιών, μεγέθους 400-550 m². Έγινε δειγματοληψία σταφυλιών από κάθε κελί σε πέντε χρονικές στιγμές μέχρι τη συγκομιδή και τα σταφύλια αναλύθηκαν για ολικά διαλυτά στερεά, pH, ολική οξύτητα, και φαινολικές ενώσεις. Κατά τη συγκομιδή, τα σταφύλια του κάθε κελιού απορραγίστηκαν, συνθλίφθηκαν και οινοποιήθηκαν χωριστά, εφαρμόζοντας τυπική διαδικασία ερυθρής οινοποίησης. Οι 18 οίνοι αναλύθηκαν ως προς τον αλκοολικό τίτλο, το pH, την ολική οξύτητα, την ένταση και την απόχρωση του χρώματος και τις φαινολικές ενώσεις. Η παραγωγή και η ECa έδειξαν την υψηλότερη παραλλακτικότητα, με υψηλότερες τιμές στην κατώτερο ανατολική πλευρά του αγρού. Επίσης, η παραγωγή έχει θετική συσχέτιση με την ECa και αρνητική με το υψόμετρο και την κλίση. Το βάρος ραγών παρουσίασε ένα σταθερό χωρικό μοτίβο και κατά την ωρίμανση έδειξε υψηλότερες τιμές στο κατώτερο ανατολικό τμήμα του αμπελώνα. Χαμηλή παραλλακτικότητα μέσα στον αμπελώνα παρατηρήθηκε για τον αλκοολικό τίτλο, την οξύτητα και το pH του

οίνου. Οι φαινολικές ενώσεις των σταφυλιών έδειξαν την υψηλότερη (2-3 φορές) παραλλακτικότητα εντός αμπελώνα, αλλά μικρότερη στον οίνο, παρότι υψηλότερη μεταξύ των συστατικών του οίνου. Η οξύτητα των σταφυλιών και των οίνων παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με το υψόμετρο και την κλίση, ενώ το αντίθετο συνέβη με το pH. Οι φαινολικές ενώσεις των σταφυλιών έδειξαν θετική συσχέτιση με την παραγωγή. Αυτή η τάση δεν παρατηρήθηκε στον οίνο.

Λέξεις-κλειδιά: αμπελουργία ακριβείας, παραλλακτικότητα εδάφους, ωρίμανση σταφυλιών, χημική σύσταση οίνου, φαινολικές ενώσεις.

1. Εισαγωγή

Η καλλιέργεια της αμπέλου είναι μία από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες παγκοσμίως καλύπτοντας 7.694.000 ha γεωργικής γης το 2009 (OIV 2009). Η άμπελος καλλιεργείται για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων (οίνος, επιτραπέζια σταφύλια και σταφίδες) που χρησιμοποιούνται καθημερινά στην ανθρώπινη διατροφή.

Αμπελουργία Ακρίβειας (PrecisionViticulture - PV) είναι η εφαρμογή πρακτικών Γεωργίας Ακρίβειας στην αμπελουργία (Bramley 2003). Η εφαρμογή PV απαιτεί συλλογή λεπτομερών στοιχείων σχετικά με τις επιδόσεις της αμπέλου σε υψηλή χωρική ανάλυση (Bramley και Hamilton 2004). Ο απώτερος στόχος της PV είναι η εφαρμογή στοχευμένων γεωργικών πρακτικών σε ζώνες διαχείρισης που δημιουργούνται από την αξιολόγηση των συλλεχθέντων δεδομένων πεδίου (Bramley 2001).

Έχει τεκμηριωθεί επιστημονικά ότι η χωρική παραλλακτικότητα του έδαφους οδηγεί σε σημαντικές διαφορές στην ανάπτυξη και την παραγωγικότητα της αμπέλου στην Αυστραλία (Bramley και Hamilton 2004) και την Χιλή (Ortega et al 2003). Τα χαρακτηριστικά του εδάφους που συνήθως μετρώνται στο πλαίσιο της PV είναι η δομή, η υφή, η περιεκτικότητα σε νερό και θρεπτικά συστατικά, το βάθος και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECa). Η ECa είναι μια παράμετρος που εκφράζει μια συνολική εκτίμηση των ιδιοτήτων του εδάφους και μετριέται με τη χρήση αισθητήρων ηλεκτρικής αντίστασης (Arno et al. 2009). Έχουν αναφερθεί σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ της ECa του εδάφους και των ιδιοτήτων της αμπέλου (Imre et al. 2012, Trought 2005). Επιπλέον, το βάθος του εδάφους, βρέθηκε επίσης να συσχετίζεται σημαντικά με την ευρωστία και την απόδοση της αμπέλου (Bramley 2001, 2003, Bramley και Lanyon 2002), αφού τα τεμάχια του αμπελώνα που είχαν ρηχό έδαφος παρουσίαζαν τα λιγότερο ζωνηρά πρέμνα και τη χαμηλότερη παραγωγή.

Εκτός από τη χαρτογράφηση του εδάφους, η χαρτογράφηση παραγωγής με αισθητήρες στις μηχανές συγκομιδής έδωσε σημαντική ώθηση στην εφαρμογή της PV (Arno et al. 2005). Η παραγωγή μπορεί να παρουσιάσει μεταβολή έως και κατά 10 φορές στον ίδιο αμπελώνα, ενώ οι ζώνες απόδοσης είναι σχετικά σταθερές στο πέρας του χρόνου (Bramley και Hamilton 2004). Ωστόσο, στους περισσότερους ελληνικούς αμπελώνες τα σταφύλια συγκομίζονται χειρωνακτικά και η χαρτογράφηση παραγωγής εκτελείται μετρώντας και γεωαναφέροντας τις κλούβες των σταφυλιών που συγκομίζονται (Tagarakis et al. 2006, Tagarakis, 2013a) ή διεξάγοντας μέτρηση απόδοσης ενός δείγματος σε συγκεκριμένα κελιά του αμπελώνα (Hall et al. 2011).

Η κύρια διαφορά της αμπελοκαλλιέργειας σε σύγκριση με άλλες καλλιέργειες είναι ότι η κερδοφορία ως επί το πλείστον εξαρτάται από την ποιότητα σταφυλιών και του οίνου. Ως εκ τούτου, η έρευνα της χωρικής παραλλακτικότητας της σύστασης των σταφυλιών είναι κρίσιμη για την επιτυχή υιοθέτηση της PV. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον μεταξύ των συστατικών των σταφυλιών παρουσιάζουν οι ανθοκυάνες και οι ταννίνες που βρίσκονται στο φλοιό και τα γίγαρτα των ραγών των ερυθρών ποικιλιών, οι οποίες είναι υπεύθυνες για το χρώμα και τις γευστικές ιδιότητες των ερυθρών οίνων (Ribéreau-Gayón και Glories 1986). Συσχετίσεις μεταξύ της ποιότητας των σταφυλιών και της βλαστικής και αναπαραγωγικής αύξησης της αμπέλου έχουν παρατηρηθεί στο παρελθόν (Cortell et al. 2005, Bramley και Hamilton 2007, Reynolds et al. 2007). Όμως, έχει παρατηρηθεί μικρότερη χωρική παραλλακτικότητα της σύστασης των σταφυλιών σε σύγκριση με την παραλλακτικότητα της απόδοσης (Bramley και Hamilton 2004, Tagarakis 2013b). Επιπλέον, τα χωρικά μοτίβα των χημικών συστατικών των σταφυλιών δεν είναι τόσο σταθερά με την πάροδο του χρόνου, διότι οι βιολογικές διεργασίες που ελέγχουν την ωρίμανση των σταφυλιών είναι αρκετά περίπλοκες (Santesteban et al. 2013, Tagarakis 2014). Παρόλα αυτά, η επιλεκτική συγκομιδή που βασίζεται σε ζώνες παρόμοιων χαρακτηριστικών εδάφους ή αμπέλου έχει αποδειχθεί ότι είναι ιδιαίτερα κερδοφόρα για τα οινοποιεία και τους αμπελοκαλλιεργητές (Bramley et al. 2005).

Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι η ποιότητα των σταφυλιών κρίνεται τελικά από τις ιδιότητες του παραγόμενου οίνου, η πλειονότητα των μελετών PV αξιολογούν τη χωρική παραλλακτικότητα της χημικής σύστασης των σταφυλιών κατά τη συγκομιδή και σχεδόν καθόλου των ποιοτικών χαρακτηριστικών του οίνου. Ως εκ τούτου, ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η διερεύνηση της επίδραση της παραλλακτικότητας

του εδάφους και των ιδιοτήτων της αμπέλου τόσο στη χημική σύσταση των σταφυλιών όσο του οίνου, στις ξηροθερμικές συνθήκες της Μεσογειακής αμπελουργίας.

2. Υλικά & Μέθοδοι

2.1 Πειραματικός Αμπελώνας

Το πείραμα διεξήχθη σε ένα μη αρδευόμενο αμπελώνα 8,3 στρεμμάτων στο δημοτικό διαμέρισμα Ασπροκάμπου του Δήμου Νεμέας (γεωγραφικό πλάτος 37.54°, γεωγραφικό μήκος 22.33°), κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2014. Ο αμπελώνας είναι φυτεμένος με την οινοποιήσιμη ποικιλία Αγιωργίτικο (*Vitis vinifera* L.). Η φύτευση έχει γίνει σε αποστάσεις 1,0 x 2,5 m και το σύστημα στήριξης είναι πρωτοπόρο για την περιοχή (σύστημα Λύρα). Ο αμπελώνας βρίσκεται σε πλαγιά και χωρίστηκε σε πλέγμα 18 κελιών παρόμοιου μεγέθους (400-550 m²), προκειμένου να αναλυθεί η χωρική παραλλακτικότητα των συστατικών του σταφυλιού και του οίνου.

2.2 Συλλογή Δεδομένων & Ανάλυση

Τα δεδομένα υψομέτρου και κλίσης εξασφαλίστηκαν από δορυφόρο SRTM μέσω του GlobalMapper14. Η παραλλακτικότητα του εδάφους εκτιμήθηκε μέσω μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) που διεξήχθη στον αμπελώνα χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή EM-38. Η μέτρηση ελήφθη περπατώντας τον αμπελώνα μεταξύ των γραμμών, ενώ παράλληλα ένα DGPS κατέγραφε τη θέση του οργάνου. Τα δύο όργανα ήταν συνδεδεμένα σε έναν καταγραφέα δεδομένων Allegro CX, ο οποίος κατέγραφε το σήμα τους κάθε δευτερόλεπτο. Η μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) του κάθε κελιού υπολογίστηκε στο ArcMap 10.1 εντάσσοντας τα δεδομένα των σημείων μέτρησης στα αντίστοιχα κελιά. Για τη δημιουργία χαρτών των παραπάνω μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Surfer 11.

Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε με το χέρι και η απόδοση μετρήθηκε μετρώντας και γεωαναφέροντας τις κλούβες των σταφυλιών ανά κελί. Δείγματα 300 ραγών ελήφθησαν από κάθε κελί σε πέντε χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης. Στο δείγμα αυτό μετρήθηκε το νωπό βάρος 50 ραγών από κάθε κελί, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του γλεύκους και αναλύθηκε για ολικά διαλυτά στερεά (°Brix) χρησιμοποιώντας τη διαθλαστική μέθοδο, την ολική οξύτητα βάσει τιτλοδότησης με 0,1 N NaOH και το pH μέσω ενός εργαστηριακού πεχάμετρου.

Για τον προσδιορισμό των ολικών ανθοκυανών και των ολικών φαινολικών ουσιών της ράγας χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν από τους Hland et al. (2000)

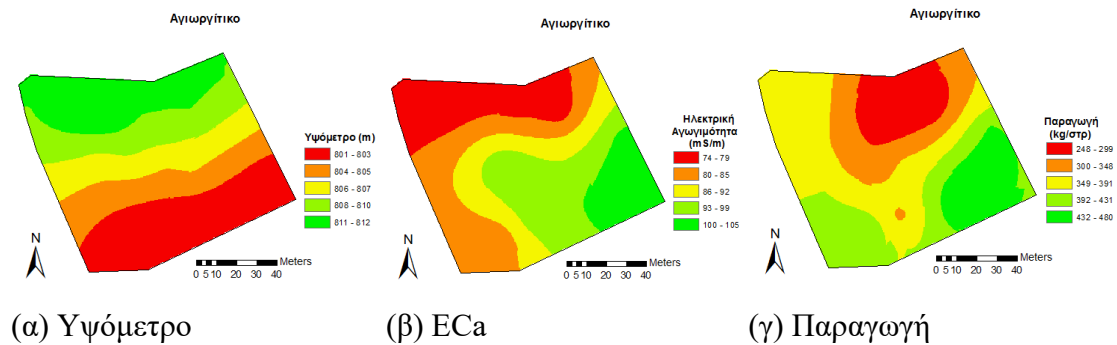
και Sarneckis et al. (2006). Για την εκτίμηση ταννινών των σταφυλιών, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος καταβύθισης μεθυλικής κυτταρίνης (MCP) (Sarneckis et al. 2006).

Περίπου 20 κιλά σταφύλια από κάθε κελί μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Οινολογίας του ΓΠΑ για να είναι γίνει οινοποίησή τους. Αρχικά, τα σταφύλια του κάθε κελιού αποραγίσθηκαν, συνθλίφθηκαν και προστέθηκαν 60 mg/L SO₂ (σε μορφή μεταδιθειώδους καλίου). Στη συνέχεια, προστέθηκαν 3 g/hL πηκτινολυτικά ένζυμα, καθώς και 20 g/hL λυοφιλοποιημένες ζύμες του εμπορικού στέλεχος SC 22, οι οποίες είχαν προηγουμένως ενυδατωθεί σε νερό (15 min, 38°C). Αρχίζοντας από τη δεύτερη ημέρας ζύμωσης, και για τις επόμενες ημέρες, διεξήχθησαν δύο διατρήσεις ανά ημέρα για την εκχύλιση των φαινολικών ενώσεων. Μετά από 7 ημέρες διαβροχής, οι οίνοι από κάθε κελί διαχωρίστηκαν με αποστράγγιση και μεταφέρθηκαν σε άλλες δεξαμενές όπου ολοκληρώθηκε η μηλογαλακτική ζύμωση μετά από περίπου 3 εβδομάδες. Οι οίνοι συμπληρώθηκαν με 50 mg/L SO₂ (σε μορφή μεταδιθειώδους καλίου), διηθήθηκαν και εμφιαλώθηκαν μέχρι τη στιγμή της ανάλυσης.

Στους τελικούς οίνους, προσδιορίστηκαν ο αλκοολικός τίτλος και η οξύτητα σύμφωνα με τις μεθόδους OIV (1990). Επίσης, μετρήθηκαν η ένταση και απόχρωσης χρώματος των οίνων μετρώντας τις απορροφήσεις στα 420, 520 και 620 nm με οπτική οδό 1 mm (Glories 1984). Οι συνολικές ανθοκυάνες καθορίστηκαν με τη μέθοδο λεύκανσης με SO₂ σε οπτική πυκνότητα 520 nm σε μέσο HCl (Ribereau-Gayónetal. 1999). Η συγκέντρωση ταννινών μετρήθηκε με δύο μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος μετρά την περιεκτικότητα σε ταννίνες μετά από θέρμανση σε όξινο περιβάλλον (Ribereau-Gayón et al., 1999) και μετατροπή τους σε μόρια κυανιδίνης, ενώ η δεύτερη μετρά τις ταννίνες μετά την κατακρήμνισή τους με μεθυλοκυτταρίνη (Sarneckis et al. 2006). Τα αποτελέσματα της δεύτερης ανάλυσης συσχετίζονται έντονα με την στυπτικότητα (στυφάδα) του οίνου (Mercurio και Smith 2008). Τα συνολικά φαινολικά συστατικά του οίνου προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu (Singleton και Rossi 1965). Όλες οι αναλύσεις διεξήχθησαν εις τριπλούν. Η στατιστική ανάλυση περιελάμβανε πίνακες αντιστοιχίας και περιγραφική στατιστική για όλες τις μετρούμενες παραμέτρους χρησιμοποιώντας το λογισμικό SPSS 20

3. Αποτελέσματα & Συζήτηση

Αρχικά παράχθηκαν χάρτες υψομέτρου και ECa του εδάφους ώστε να προκύψει μια οπτική αναπαράσταση της παραλλακτικότητας σε όλο τον αμπελώνα (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Χάρτες υψομέτρου, ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) και Παραγωγής του πειραματικού αμπελώνα.

Το υψόμετρο κυμαίνεται μεταξύ 785 και 803 m, ενώ η κλίση είναι 11,82%. Η παραγωγή και η ECa έδειξαν την υψηλότερη παραλλακτικότητα εντός του αμπελώνα με υψηλότερες τιμές στην κάτω ανατολική πλευρά του αγρού. Η ECa κυμάνθηκε μεταξύ 70.4 και 106.91 mS/m, ενώ η παραγωγή παρουσίασε μεγάλη διακύμανση αλλά με υψηλότερες τιμές στην κάτω ανατολική πλευρά του αγρού (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Περιγραφική Στατιστική των παραμέτρων του αμπελώνα.

	N	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσο	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Υψόμετρο	18	801,25	811,63	805,86	3,73	0,5%
Κλίση (%)	18	10,93	12,71	11,83	0,53	5%
Παραγωγή (kg/str)	18	204,6	523,6	360,92	86,79	24%
ECa	18	70,40	106,91	89,62	11,67	13%

Η ECa παρουσίασε σημαντική αρνητική συσχέτιση τόσο με το υψόμετρο όσο και με την κλίση (Πίνακας 2). Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι η τοπογραφία επέδρασε στις ιδιότητες του εδάφους κυρίως λόγω της διάβρωσης, αφού το έδαφος από το ανώτερο μέρος του αμπελώνα μεταφέρθηκε προς το κατώτερο με πιθανό αποτέλεσμα την αυξημένη περιεκτικότητα σε νερό (Tardaguila et al 2011) σε σχέση με την ανώτερη περιοχή με το πιο επιφανειακό έδαφος. Χαρακτηριστικό είναι επίσης ότι η παραγωγή έχει θετική συσχέτιση με την ECa και αρνητική με το υψόμετρο και την κλίση που αποδεικνύει επίσης ότι το αυξημένο βάθος ωφέλιμου εδάφους είχε ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη παραγωγή.

Πίνακας 2: Μήτρα συσχετίσεων Pearson για τις παραμέτρους του αμπελώνα.

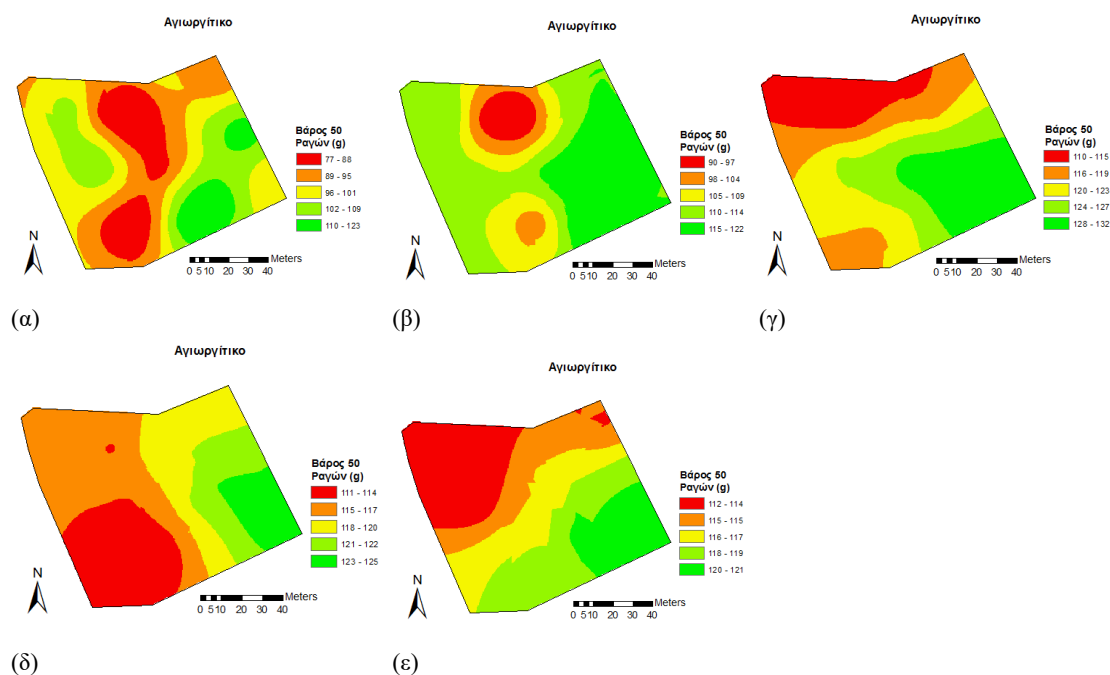
	Υψόμετρο	Κλίση	Παραγωγή (kg/str)	ECa
Υψόμετρο	1,000			
Κλίση (%)	0.977**	1,000		
Παραγωγή (kg/str)	-0.523*	-0.602*	1,000	
ECa	-0.638**	-0.701**	0.508*	1,000

** . Συσχέτιση σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 (2-tailed).

* . Συσχέτιση σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (2-tailed).

Το βάρος 50 ραγών παρουσίασε ένα συνεκτικό χωρικό μοτίβο κατά την ωρίμανση, που συνδέεται με την παραλλακτικότητα του εδάφους, με συνεχώς υψηλότερες τιμές στο χαμηλότερο ανατολικό τμήμα του αμπελώνα (Εικόνα 2).

Το μέγεθος ράγας θεωρείται σημαντικός δείκτης ποιότητας των οινοποιήσιμων σταφυλιών. Τα σταφύλια με μικρές ράγες ευνοούν την ποιότητα του οίνου διότι η μεγαλύτερη αναλογία της επιφάνειας φλοιού προς τον όγκο του γλεύκους προκαλεί τη μεγαλύτερη συμπύκνωση των συστατικών του φλοιού στον τελικό οίνο (Walker et al. 2005).



Εικόνα 2. Χωρική διασπορά βάρους 50 ραγών εντός του αμπελώνα σε 5 δειγματοληψίες (α) 17 Αυγούστου 2015 (β) 25 Αυγούστου 2015 (γ) 5 Σεπτεμβρίου 2015 (δ) 15 Σεπτεμβρίου 2015 (ε) 25 Σεπτεμβρίου 2015.

Τα συστατικά του γλεύκους ήταν τα λιγότερο μεταβλητά στον αμπελώνα, σε όλες τις δειγματοληψίες (Πίνακας 3). Ομοίως, χαμηλή παραλλακτικότητα μέσα στον αμπελώνα παρατηρήθηκε στην περιεχόμενη αλκοόλη, την οξύτητα και το pH του

οίνου, οι οποίες συνδέονται άμεσα με τη χημική σύσταση του γλεύκους (Πίνακας 4). Οι φαινολικές ενώσεις των σταφυλιών (ανθοκυάνες και ολικές φαινόλες) έδειξαν την υψηλότερη (2-3 φορές) παραλλακτικότητα εντός αμπελώνα (Πίνακας 3). Ωστόσο, αυτή η παραλλακτικότητα στις φαινολικές ενώσεις μειώθηκε στον οίνο, αν και παραμένει η υψηλότερη μεταξύ των συστατικών του οίνου (Πίνακας 4).

Πίνακας 3 Περιγραφική στατιστική των παραμέτρων σύνθεσης του γλεύκους κατά τη συγκομιδή.

	N	Ελάχιστο	Μέγιστο	Εύρος	Μέσο	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Βάρος 50 ραγών	18	92,40	130,50	38,10	114,70	11,37	10
Ολικάδιαλυτά στερεά (brix)	18	17,65	21,65	4,00	19,26	1,24	6
Οξύτητα (g tart./l)	18	3,15	4,65	1,50	3,91	0,40	10
pH	18	3,20	3,80	0,60	3,54	0,19	5
Ανθοκυάνες (mg/ράγα)	18	0,26	1,01	0,76	0,45	0,18	39
Ανθοκυάνες (mg/g ράγας)	18	0,12	0,36	0,24	0,22	0,07	32
Ολικά φαινολικά συστατικά (au/ράγα)	18	0,39	1,33	0,94	0,70	0,22	32
Ολικά φαινολικά συστατικά (au/gράγα)	18	0,18	0,51	0,33	0,34	0,09	27

Η οξύτητα και το pH του γλεύκους ήταν οι πιο ευαίσθητες παράμετροι σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του αμπελώνα. Η οξύτητα παρουσίασε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το υψόμετρο και την κλίση (Πίνακας 5). Το αντίθετο συνέβη με το pH, το οποίο έδειξε θετική συσχέτιση με το υψόμετρο και την κλίση (Πίνακας 5). Η ίδια τάση ακολουθείται και στον παραγόμενο οίνο (Πίνακας 6). Επιπλέον, η οξύτητα έδειξε σημαντική θετική συσχέτιση με την παραγωγή και την ECa, ενώ το pH κινήθηκε αντίστροφα (Πίνακας 5).

Πίνακας 4 Περιγραφική στατιστική των παραμέτρων σύνθεσης του οίνου.

	N	Ελάχιστο	Μέγιστο	Εύρος	Μέσο	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Ένταση	18	8,19	12,52	4,33	10,16	1,43	14
Απόχρωση	18	0,45	0,58	0,14	0,51	0,04	8
Ολικές ανθοκυάνες	18	149,65	388,66	239,01	214,08	56,63	26
Ολικά φαινολικά (g/Lkatehin)	18	1,07	1,61	0,54	1,41	0,17	12
Ταννίνες από βρασμό (g/L)	18	2,12	3,39	1,27	2,83	0,40	14
Μεθυλοκυτταρίνη (mg/L)	18	109,55	265,83	156,28	165,12	44,69	27
Αλκοόλη (%)	18	12,35	13,37	1,02	13,03	0,34	3
pH	18	3,30	3,70	0,40	3,49	0,12	3
Οξύτητα(g tartaric acid/L)	18	4,50	7,20	2,70	6,06	0,72	12

Είναι φανερό ότι στα χαμηλότερα σημεία του αμπελώνα, όπου είναι αυξημένο το βάθος του εδάφους και κατακρατείται μεγαλύτερη ποσότητα νερού (όπως δείχνει και

η αυξημένη ECa), το γλεύκος παρουσιάζει μεγαλύτερη οξύτητα και χαμηλότερο pH, λόγω βραδύτερης ωρίμανσης, αποτέλεσμα τόσο της υψηλότερης παραγωγής όσο και της πιθανής ζωηρότερης ανάπτυξης των πρέμων. Ενδιαφέρον παρουσίασε το γεγονός ότι οι φαινολικές ενώσεις των σταφυλίων (ανθοκυάνες και ολικές φαινόλες) έδειξαν θετική συσχέτιση με την παραγωγή, καθώς παρουσιάστηκαν αυξημένες στο χαμηλότερο μέρος του αμπελώνα (Πίνακας 5). Αυτή η τάση δεν ακολουθείται όμως στον οίνο (Πίνακας 6).

Πίνακας 5 Συσχετίσεις Pearson μεταξύ των παραμέτρων του αμπελώνα και του γλεύκους.

	Υψόμετρο	Κλίση	Παραγωγή (kg/str)	ECa
Βάρος 50 ραγών	-0,414	-0,467	0,222	0,296
Ολικά διαλυτά στερεά (brix)	0,125	-0,001	0,028	-0,051
Οξύτητα (g tart./l)	-0.630**	-0.685**	0.483*	0.530*
pH	0.706**	0.732**	-0.510*	-0.566*
Ανθοκυάνες (mg/ράγα)	-0,049	-0,072	0,351	0,060
Ανθοκυάνες (mg/g ράγας)	-0,121	-0,155	0.473*	0,137
Ταννίνες	-0,042	-0,001	0,310	0,264
Ολικά φαινολικά συστατικά (au/ράγα)	-0,229	-0,243	0,468	0,279
Ολικά φαινολικά συστατικά (au/g ράγα)	-0,331	-0,354	0.611**	0,404

******. Συσχέτιση σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 (2-tailed).

*****. Συσχέτιση σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (2-tailed).

Επίσης, διαφάνηκε μια σημαντική θετική συσχέτιση της απόχρωσης του οίνου ανάλογα με το υψόμετρο και την κλίση του αμπελώνα, αλλά και αρνητική συσχέτιση με την παραγωγή (Πίνακας 6).

Πίνακας 6 Συσχετίσεις Pearson μεταξύ των παραμέτρων του αμπελώνα και του οίνου.

	Υψόμετρο	Κλίση	Παραγωγή (kg/str)	ECa
Ένταση	0,008	0,025	-0,061	-0,244
Απόχρωση	0.601**	0.627**	-0.741**	-0,426
Ολικές ανθοκυάνες	0,116	0,037	0,134	0,109
Ολικά φαινολικά (g/Lkatehin)	-0,380	-0,353	0,411	0,315
Ταννίνες από βρασμό (g/L)	0,166	0,195	-0,114	-0,468
Μεθυλοκυτταρίνη (mg/L)	0,207	0,198	0,113	-0,252
Αλκοόλη (%)	-0,240	-0,222	0,001	0,132
pH	0.646**	0.726**	-0.540*	-0.495*
Οξύτητα(g tartaric acid/L)	-0.492*	-0.481*	0,284	0,362

******. Συσχέτιση σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 (2-tailed).

*****. Συσχέτιση σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (2-tailed).

4. Συμπεράσματα

Οι περισσότεροι αμπελώνες στην Ελλάδα είναι μικροί, αλλά παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις στις εδαφικές συνθήκες, κυρίως λόγω των μεταβολών στην τοπογραφία. Μια βασική πτυχή της αμπελουργίας ακρίβειας είναι η οριοθέτηση ζωνών διαχείρισης που να αντικατοπτρίζουν αντίστοιχες διαφορές ποιότητας στα σταφύλια κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα σταφύλια που συγκομίζονται ανά ζώνη να παρουσιάζουν ομοιόμορφα χαρακτηριστικά. Μεταξύ των παραμέτρων της χημικής σύστασης των σταφυλιών, τα σάκχαρα, η οξύτητα και οι φαινολικές ουσίες είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες παράμετροι για να περιγραφεί η ποιότητα των ερυθρών σταφυλιών στη συγκομιδή. Ωστόσο, η ποιότητα των σταφυλιών κρίνεται τελικά από τις ιδιότητές του οίνου και ως εκ τούτου, ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να διερευνηθεί η άμεση επίδραση της χωρικής παραλλακτικότητας στη σύσταση του οίνου, με τη διενέργεια χωριστών οινοποιήσεων ανά κελί του αμπελώνα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η χημική σύσταση του σταφυλιού και του οίνου δεν ήταν έντονα χωρικά δομημένες με την εξαίρεση της οξύτητας και του pH που είχαν σημαντική συσχέτιση με το έδαφος και την τοπογραφία. Επιπλέον, παρατηρήθηκε περιορισμένη σύνδεση μεταξύ της χωρικής κατανομής των ιδιοτήτων των σταφυλιών και της σύνθεσης του οίνου ιδιαίτερα για τις φαινολικές ενώσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι η επιλεκτική συγκομιδή που βασίζεται αποκλειστικά στα χαρακτηριστικά των σταφυλιών δεν προσδιορίζει απαραίτητα τις ζώνες που θα παρέχουν οίνους διαφορετικής ποιότητας.

SITE-SPECIFIC VARIABILITY OF GRAPE COMPOSITION AND WINE QUALITY

**S. Fountas^{1,2}, A. Balafoutis², E. Anastasiou², S. Koundouras³, Y. Kotseridis⁴,
S.Kallithraka⁴, K.Panagopoulos⁴, D. Kalivas⁵**

¹Laboratory of Agricultural Mechanization, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece (sfountas@aua.gr)

²Institute for Research and Technology Thessaly, Center for Research and Technology – Hellas, Dimitriadou 95 & Pavlou Mela, 383 33, Volos
(abalafoutis@aua.gr)

³Laboratory of Viticulture, Aristotle University of Thessaloniki, University Campus, 54124, Thessaloniki, Greece (skoundou@agro.auth.gr)

⁴Laboratory of Food Process Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece (ykotseridis@aua.gr)

⁵Laboratory of Soil Science & Agricultural Chemistry, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece (kalivas@aua.gr)

Abstract

Precision viticulture aims at the delineation of management zones in vineyards to diversify applications of chemicals and practices or to selectively harvest grapes. The majority of studies in winegrapes focus on the relationship of spatial data with grape composition at harvest. However, correlation of vineyard variability with wine quality is very rare in literature. The purpose of this study was to investigate the effect of the spatial variability of vineyard properties on the composition of both grape and wine quality. The study was conducted in a vineyard in Nemea PDO area in 2014. The vineyard was divided into 18 grid cells, sized 400-550 m². Grape sampling from each cell was conducted five times from veraison until harvest and samples were analyzed for total soluble solids, pH, total acidity, and phenolic compounds. Grapes were then destemmed, crushed and vinified for each cell, using classical wine making process for red wine. The 18 wines were analyzed for alcohol, pH, acidity, color intensity and hue and phenolic compounds. Yield and ECa showed the highest variability with higher values in the lower east side of the vineyard. In addition, yield showed a positive correlation with ECa and a negative one with altitude and slope. Berry weight showed a consistent spatial pattern during berry maturation, with higher values in the lower eastern part of the vineyard. Low variability within the vineyard was observed for alcohol, acidity and pH of the wine. Phenolic compounds of the grapes showed the higher (2-3 times) variability within the vineyard. This variability declined in the produced wine, although still remaining the highest among wine attributes. Grape and wine acidity showed a negative correlation with altitude and slope, while the opposite occurred for pH. Phenolic compounds of the grapes showed a positive correlation with yield but this trend was not observed in wine.

Keywords: Precision Viticulture, soil variability, berry ripening, wine composition, phenolic compounds.

Βιβλιογραφία

- Arno, J., X. Bordes, M. Ribes-Dasi, R. Blanco, J.R. Rosell, and J. Esteve. 2005. "Obtaining grape yield maps and analysis of within-field variability in Raimat (Spain)." Fifth European Conference on Precision Agriculture, Wageningen.
- Arnó, J., J. A. Martínez-Casasnovas, M. Ribes-Dasi, and J. R. Rosell. 2009 "Review. Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management." Spanish Journal of Agricultural Research 7 (4):779-790.
- Bramley, R.G.V. 2001. "Progress in the development of precision viticulture – Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards." In Precision tools for improving land management, edited by Currie LD and

Loganathan P. Palmerston North:Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University.

- Bramley, R.G.V. 2003. "Smarter thinking on soil survey." Australian and New Zealand Wine Industry Journal 18:88-94.
- Bramley, R.G.V., R.P. Hamilton. 2004. "Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages." Australian Journal of Grape and Wine Research 10:32-45.
- Bramley, R.G.V., and R.P. Hamilton. 2007. "Terroir and Precision Viticulture: Are they compatible?" Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin 41:1-8.
- Bramley, R.G.V., and D.M. Lanyon. 2002. Evidence in support of the view that vineyards are leaky - Indirect evidence and food for thought from precision viticulture research. In Vineyard 'leakiness', edited by Bramley R.G.V. and Lanyon D.M. Adelaide, SA.: CSIRO Land and Water/Grape and Wine Research and Development Corporation.
- Bramley, R.G.V., A.P.B. Proffitt, C.J. Hinze, B. Pearce, and R.P. Hamilton. 2005. "Generating benefits from Precision Viticulture through selective harvesting." 5th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen, the Netherlands.
- Cortell, J.M., M. Halbleib, A.V. Gallagher, T.L. Righetti, and J.A. Kennedy. 2005. "Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins." Journal of Agricultural and Food Chemistry 53:5798-5808.
- Glories, Y. 1984. "La couleur des vins rouges. II. Mesure, origine et interprétation." *Conn. Vigne Vin* 18:253-271.
- Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel B.P., Louis J.P. 2011. "Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield." Precision Agriculture 12 (1):103-117. doi: 10.1007/s11119-010-9159-4.
- Iland, P., A. Ewart, J. Sitters, A. Markides, and N. Bruer. 2000. "Techniques for chemical analysis and quality monitoring during winemaking." Patrick Iland Wine Promotions Campbell town, Adelaide, Australia.
- Imre, S. P., J. L. Mauk, S. Bell, and A. Dougherty. 2012. "Mapping grapevine vigour, topographic changes and lateral variation in soils." Journal of Wine Research 24 (1):1-18. doi: 10.1080/09571264.2012.712811.
- Mercurio, M., Smith P.A. 2008. "Tannin quantification in red grapes and wine: comparison of polysaccharide- and protein-based tannin precipitation techniques and their ability to model wine astringency technical review." Journal of Agricultural and Food Chemistry 164:1-10.
- Ortega, R.A., Esser A., and Santibanez O. 2003. "Spatial variability of wine grape yield and quality in Chilean vineyards: economic and environmental impacts." Fourth European Conference on Precision Agriculture, Wageningen.
- Reynolds, A.G., I.V. Senchuk, C. van der Reest, and C. de Savigny. 2007. "Use of GPS and GIS for elucidation of the basis for terroir: Spatial variation in an Ontario Riesling vineyard." American Journal of Enology and Viticulture 58:145-162.

- Ribéreau-Gayon, P., and Y. Glories. 1986. "Phenolics in grape and wines." Sixth Australian Wine Industry Technical Conference, Winetitles, Adelaide, South Australia.
- Ribereau-Gayon, P., Y. Glories, A. Maujean, and D. Dubourdieu. 1999. "Handbook of Enology." In, edited by Ltd John Wiley & sons, 141-203. Chichester.
- Santesteban, L. G., Guillaume S., Royo J. B., Tisseyre B. 2013. "Are precision agriculture tools and methods relevant at the whole-vineyard scale?" *Precision Agriculture* 14 (1):2-17. doi: 10.1007/s11119-012-9268-3.
- Sarneckis, C. J., R. G. Damberg, P. Jones, M. Mercurio, M. J. Herderich, and P. A. Smith. 2006. "Quantification of condensed tannins by precipitation with methyl cellulose: development and validation of an optimised tool for grape and wine analysis." *Australian Journal of Grape and Wine Research* 12 (1):39-49. doi: 10.1111/j.1755-0238.2006.tb00042.x.
- Singleton, V.L., and J.A. Rossi. 1965. "Colourimetry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagent." *Am. J. Enol. Vitic.* 16:144-158.
- Tagarakis, A., A. Chatzinikos, S. Fountas, and T. Gemtos. 2006. "Delineation of management zones in precision viticulture." International Conference HAICTA, Volos, Greece.
- Tagarakis, A., Liakos, S., Fountas, S., Koundouras, S. & Gemtos T.A. 2013a. "Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines." *Precision Agriculture* 14 (1), 18-39.
- Tagarakis, A., Liakos, V., Chatzinikos, T., Koundouras, S. & Fountas, S. 2013b. "Using laser scanner to map pruning wood in vineyards." European Conference of Precision Agriculture, Wageningen Academic Press, Edited by J. Stafford, 633-639.
- Tagarakis, A., Koundouras, S., Papageorgiou, E. I., Dikopoulou, Z., Fountas, S. & Gemtos, T.A. 2014. "A fuzzy inference system to model grape quality in vineyards." *Precision Agriculture*, DOI: 10.1007/s11119-014-9354-9
- Tardaguila, J., J. Baluja, L. Arpon, P. Balda, and M. Oliveira. 2011. "Variations of soil properties affect the vegetative growth and yield components of "Tempranillo" grapevines." *Precision Agriculture* 12 (5):762-773. doi: 10.1007/s11119-011-9219-4.
- Trought, M. 2005. "Fruitset - possible implications on wine quality." Australian Society of Viticulture and Oenology, Adelaide, SA.
- Walker, R.R., D.H. Blackmore, P.R. Clingeleffer, G.H. Kerridge, E.H. Rühl, and P.R., Nicholas. 2005. "Shiraz berry size in relation to seed number and implications for juice and wine composition." *Australian Journal of Grape and Wine Research* 11:2-8.

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ NDVI ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟΥ ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

**Καββαδίας Α.^{1,✉}, Αναστασίου Ε.², Γκαλά Ε.¹, Φουντάς Σ.², Μίχας Σ.¹,
Αλεξανδρή Σ.²**

¹ Εν Αγροίς Α.Ε., Εύβοιας 3, 15125, Μαρούσι, Αθήνα
info@enagris.gr

² Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων &
Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

Περίληψη

Η παρακολούθηση των καλλιεργειών σε όλη τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου είναι πολύ σημαντική για την επίτευξη των στόχων της παραγωγής, καθώς συμβάλλει στην αποφυγή σημαντικών προβλημάτων, όπως η έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, η προσβολή από έντομα και ασθένειες, η υδατική καταπόνηση κ.ά. Μέχρι τώρα οι πιο διαδεδομένοι τρόποι παρακολούθησης ήταν οι επιτόπιες μετρήσεις στους αγρούς και η χρήση δορυφορικών εικόνων. Ωστόσο, και στις δύο μεθόδους έχουν παρατηρηθεί σοβαρά μειονεκτήματα. Τη λύση στα παραπάνω προβλήματα δίνει σήμερα μια νέα πολλά υποσχόμενη τεχνολογία. Αυτή η τεχνολογία είναι τα μη επανδρωμένα αεροχήματα (Μ.Ε.Α.) ή UAV όπως είναι ευρύτερα γνωστά. Πρόκειται για διαφόρων τύπων ιπτάμενα οχήματα (τύπου ελικοπτέρου με έναν ή περισσότερους έλικες, αεροπλάνα σταθερών πτερύγων κ.ά.), τα οποία αποτελούν χαμηλού κόστους πλατφόρμες και έχουν τη δυνατότητα να φέρουν όργανα μέτρησης όπως κάμερες (πολυφασματικές ή υπερφασματικές), λέιζερ σκάννερ (LIDAR), σπεκτροραδιόμετρα κ.ά. Οι παραπάνω πληροφορίες μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης του κάθε αγροτεμαχίου για την πραγματοποίηση μεταβλητών δόσεων εφαρμογής σύμφωνα με τις μεθόδους της γεωργίας ακριβείας. Σκοπός της εργασίας ήταν η σύγκριση των καμερών που τοποθετήθηκαν σε UAV με επίγειους αισθητήρες καθώς και η χρήση διαφορετικών δεικτών βλάστησης (NDVI, NGRDI, θερμοκρασία) για τη λήψη των πληροφοριών της ευρωστίας των φυτών και την παρακολούθηση της πορείας ανάπτυξης των καλλιεργειών. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών που βρίσκεται στην Αλίαρτο (23.09° N, 38.39° E) στο οποίο ήταν εγκατεστημένες διαφορετικές καλλιέργειες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων στην παρακολούθηση καλλιεργειών μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στον παραγωγό ενώ η συστηματική παρακολούθηση των αγροτεμαχίων με εγκατεστημένες

καλλιέργειες ή χωρίς εγκατεστημένες καλλιέργειες μπορεί να προσφέρει τοπική αντιμετώπιση των προβλημάτων στα πλαίσια της γεωργίας ακριβείας, ωστόσο απαιτείται περισσότερη έρευνα για τη μεγαλύτερη αξιοποίησή της.

Λέξεις-κλειδιά: UAV, NDVI, γεωργία ακριβείας, διαχείριση αγρού, θερμική κάμερα, τηλεπισκόπηση

Εισαγωγή

Τα χαρακτηριστικά των φυτών όπως το ύψος τους, ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, το περιεχόμενο τους σε άζωτο ή η φυλλική επιφάνεια χρησιμοποιούνται ευρέως στην έρευνα, για να διαπιστωθεί η ευρωστία των φυτών κάτω από περιβαλλοντικές πιέσεις όπως έλλειψη νερού, προσβολή από εχθρούς και ασθένειες κ.ά. Αλλά αυτές οι μετρήσεις για να πραγματοποιηθούν απαιτούν χρήση καταστροφικών μεθόδων οι οποίες είναι χρονοβόρες και κοστοβόρες (Homolova et al., 2013). Η τηλεπισκόπηση καλείται να λύσει αυτά τα προβλήματα παρέχοντας μια γρήγορη και φτηνή λύση για τον προσδιορισμό αυτών των χαρακτηριστικών σε επίπεδο φυτού και σε επίπεδο καλλιέργειας.

Η τηλεπισκόπηση είναι η λήψη ψηφιακών δεδομένων που αντιστοιχούν στις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που σχετίζονται με την ανάκλαση, τη θερμότητα και τα μικροκύματα. Κύριο χαρακτηριστικό της τηλεπισκόπησης είναι η μη καταστροφική λήψη αυτών των πληροφοριών (Van Niel and McVicar, 2001). Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται μαθηματικοί τύποι που βασίζονται στην ανάκλαση των φυτών σε διαφορετικά φάσματα της ακτινοβολίας, οι οποίοι αποκαλούνται φασματικοί δείκτες βλάστησης (Vina et al., 2011). Ο πιο γνωστός φασματικός δείκτης βλάστησης είναι ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI) ο οποίος έχει συσχετιστεί με πολλά χαρακτηριστικά των φυτών όπως βιομάζα, συγκέντρωση χλωροφύλλης στα φύλλα, δείκτη φυλλικής επιφάνειας κ.ά. (Ghorbani et al., 2012). Επιπλέον πολλοί διαφορετικοί τύποι οργάνων μέτρησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη γεωργία όπως οι πολύ-/υπερ-φασματικοί αισθητήρες (Yang et al., 2010), θερμικές κάμερες (Zarco-Tejada, 2012), σπεκτροραδιόμετρα (Rallo et al., 2014), σαρωτές λέιζερ (Eitel et al., 2014) κ.ά.

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να πραγματοποιηθεί από δορυφορικά, εναέρια ή επίγεια μέσα (Van Niel and McVicar, 2001). Οι έρευνες με τη χρήση δορυφόρων περιλαμβάνουν την παρακολούθηση των καλλιεργειών κατά την περίοδο ανάπτυξης με σκοπό (i) την κάλυψη των αναγκών σε άρδευση (Gonzales-Dugo et al., 2013), (ii) την

παρακολούθηση των μεταβολών των χαρακτηριστικών των φυτών (Duveiller et al., 2012) και (iii) την πρόβλεψη της παραγωγής (Bhattacharya et al., 2011). Αν και οι δορυφόροι έχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης μεγάλων εκτάσεων, παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα, όπως αδυναμία παρακολούθησης των καλλιεργειών από οπτικούς αισθητήρες αν υπάρχει νεφοκάλυψη, χαμηλής ανάλυσης δεδομένα, υψηλό κόστος κ.ά.

Η επίγεια τηλεπισκόπηση μπορεί να χωριστεί σε σταθερή ή κινητή. Η σταθερή επίγεια τηλεπισκόπηση μπορεί να είναι μόνιμη με τη μορφή σκαλωσιάς ή ανυψωτικής πλατφόρμας, ενώ η κινητή επίγεια τηλεπισκόπηση πραγματοποιείται με φορητούς αισθητήρες, με αισθητήρες προσαρμοσμένους σε γεωργικούς ελκυστήρες, με τη χρήση αυτόνομων ρομπότ και με τη χρήση άλλων μέσων. Τα μειονεκτήματα της επίγεια τηλεπισκόπησης είναι η μικρή επιφάνεια κάλυψης και το υψηλό κόστος των μετρήσεων καθώς απαιτούν μέσα και άτομα για τον χειρισμό των αισθητήρων (Deery et al., 2014).

Τα προβλήματα που αναφέρονται στην επίγεια και στη δορυφορική τηλεπισκόπηση έρχεται να λύσει η χρήση μη επανδρωμένων εναέριων συστημάτων (UAV ή drone). Πρόκειται για εναέρια μέσα διαφόρων τύπων (ελικοφόρα, σταθερών πτερυγίων κ.ά.) και με διαφορετικές δυνατότητες (βάρος φορτίου, περιοχή κάλυψης κ.ά.) τα οποία μπορούν με μικρό κόστος να πραγματοποιήσουν μετρήσεις σε μεγάλες περιοχές με υψηλή ανάλυση, χωρίς κίνδυνο για τον χρήστη και με τη δυνατότητα μεταφοράς διαφορετικού τύπου αισθητήρων κάθε φορά (Αναστασίου, 2014).

Σημαντική είναι η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στη γεωργία ακριβείας, σκοπός της οποίας είναι η βέλτιστη διαχείριση μιας καλλιέργειας που αναπτύσσεται σε αγρό που παρουσιάζει παραλλακτικότητα (Bouma, 2007). Η χρήση αυτής της τεχνολογίας μπορεί να βρει εφαρμογή στη χαρτογράφηση και στην καταπολέμηση των ζιζανίων, μέσω μεταβλητών δόσεων ζιζανιοκτονίας σε σιτηρά (Torres-Sanchez et al., 2014), στην παραγωγή χαρτών για μεταβλητές δόσεις μυκητοκτόνων (Picard et al., 2011), στις μεταβλητές δόσεις άρδευσης (Gago et al., 2015), στην πρόβλεψη της παραγωγής (Bendig et al., 2015) και σε άλλες χρήσεις.

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η αξιοποίηση ενός UAV στην παρακολούθηση των καλλιεργειών μιας γεωργικής εκμετάλλευσης. Για τον λόγο αυτό, διενεργήθηκε πείραμα εφαρμογών γεωργίας ακριβείας σε διαφορετικές καλλιέργειες που βρίσκονται στην πειραματική περιοχή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στην Αλίαρτο σε τρεις διαφορετικές ημερομηνίες.

Υλικά και Μέθοδοι

Η παρούσα μελέτη εφαρμογών γεωργίας ακριβείας διενεργήθηκε στην πειραματική περιοχή των γεωργικών εκτάσεων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στην Αλίαρτο (23.09° N, 38.39° E). Το αγρόκτημα είναι έκτασης 1100 στρεμμάτων και την εποχή των μετρήσεων ήταν καλλιεργημένο με σιτάρι μαλακό (*Triticum aestivum*), σιτάρι σκληρό (*Triticum durum*), βρώμη (*Avena sativa*) και μηδική (*Medicago sativa*). Επιπλέον, υπήρχαν αγροτεμάχια τα οποία είχαν υποστεί κατεργασία του εδάφους με σκοπό τη σπορά εαρινών καλλιεργειών όπως βαμβάκι (*Gossypium hirsutum*) και καλαμπόκι (*Zea mays*).

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του εναέριου μη επανδρωμένου οχήματος (UAV) eBee (SenseFly, Lausanne, Switzerland), το οποίο έφερε την τροποποιημένη πολυφασματική κάμερα Canon S110 NIR 12 MP, την IXUS (RGB) 16 MP (Canon, Tokyo, Japan) και τη θερμική κάμερα thermoMAP (SenseFly, Lausanne, Switzerland), σε διαφορετικές πτήσεις. Οι μετρήσεις του UAV επαληθεύτηκαν με τη χρήση του επίγειου οργάνου υπολογισμού δείκτη βλάστησης (NDVI) RapidScan CS-45 (Holland Scientific, Lincoln, USA) και του υπέρυθρου θερμομέτρου Digitron D202A.

Οι πτήσεις που σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν μέσω του λογισμικού eMotion (Pix4D, Lausanne, Switzerland) ήταν τρεις και έγιναν στις 16/1/2015, 3/3/2015 και στις 19/3/2015. Και τις τρεις μέρες πτήσεων χρησιμοποιήθηκε η κάμερα Canon S110 NIR, με σκοπό τον υπολογισμό του NDVI, για την εκτίμηση της βλάστησης των καλλιεργειών στα τρία αυτά στάδια. Τη δεύτερη και την τρίτη μέρα πτήσεων χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον οι κάμερες Canon IXUS και ThermoMAP αντίστοιχα, με σκοπό την ανίχνευση ζιζανίων με την πρώτη και τη μέτρηση της θερμοκρασίας με τη δεύτερη. Για την κάλυψη των καλλιεργειών με την κάμερα Canon S110 NIR και την Canon IXUS ορίστηκε η ανάλυση των 11 εκατοστών ενώ με την κάμερα thermoMAP ορίστηκε ανάλυση 28 εκατοστών.

Η επεξεργασία των πληροφοριών και των εικόνων πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα Postflight Terra 3D (Pix4D, Lausanne, Switzerland) και το ArcGIS 10.2 (ESRI, California, USA) με σκοπό τη συσχέτιση των πληροφοριών και την παραγωγή χαρτών NDVI, NGRDI, RGB και θερμοκρασίας.

Στο πρόγραμμα Postflight Terra 3D υπολογίστηκε:

- Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης NDVI με την εξίσωση:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

Ο δείκτης αυτός είναι η αναλογία της διαφοράς της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο και στο κόκκινο, που διαιρείται με το άθροισμα αυτών και λαμβάνει τιμές από -1 (καθόλου βλάστηση) μέχρι +1 (πλούσια βλάστηση). Είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό της κατάστασης της υγείας των φυτών, τον εντοπισμό φαινολογικών αλλαγών, την εκτίμηση της πράσινης βιομάζας και της απόδοσης των καλλιεργειών, καθώς και για άλλες εφαρμογές.

- Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς πράσινου κόκκινου NGRDI με την εξίσωση:

$$NGRDI = \frac{(Green - Red)}{(Green + Red)} \quad (2)$$

Ο δείκτης NGRDI προκύπτει από τις μετρήσεις στο πράσινο και στο κόκκινο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ως εκ τούτου πρόκειται για έναν δείκτη που μπορεί να προκύψει από μία απλή εμπορική κάμερα. Διάφοροι ερευνητές (Torres-Sanchez et al., 2014; Saberioon et al., 2014) έχουν συσχετίσει αυτόν τον δείκτη με το ποσοστό της εδαφοκάλυψης της καλλιέργειας και τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης στα φύλλα.

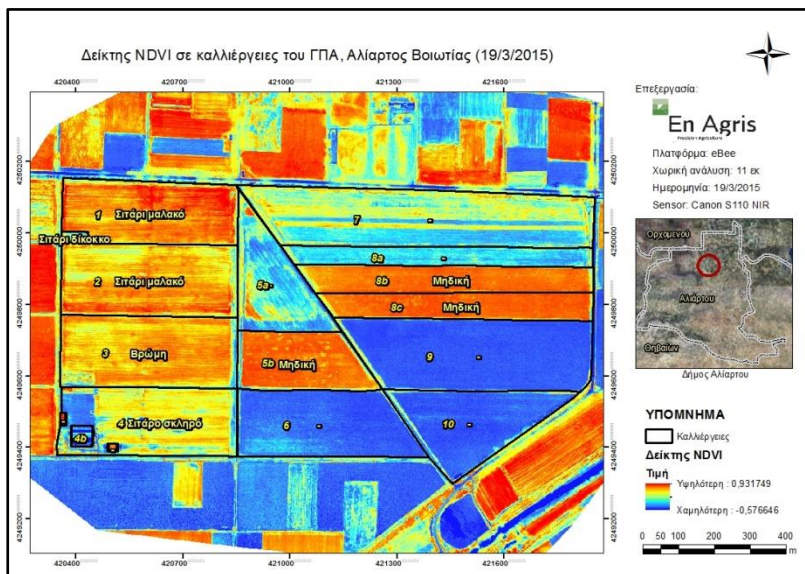
Στο πρόγραμμα ArcGis 10.2 έγινε η επεξεργασία των τιμών των παραπάνω Δεικτών, αλλά και των τιμών της thermoMap, ώστε να συσχετιστούν και να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την ευρωστία των φυτών. Αρχικά, έγινε η επεξεργασία των εικόνων raster όπου δημιουργήθηκαν κελιά διαστάσεων 100 τ.μ, στα οποία υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών των δεικτών. Τα αρχεία raster μετατράπηκαν σε αρχεία vector (shps με points), ώστε να δημιουργηθούν τα attribute tables των αρχείων και να μεταφερθούν στο excel για επιπλέον επεξεργασία.

Η στατιστική ανάλυση των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στο SPSS 20 (IBM, Armonk, USA). Η στατιστική ανάλυση περιλάμβανε συσχετίσεις των τιμών και δημιουργία περιγραφικών στατιστικών ανά αγρό. Ενώ χρησιμοποιήθηκε και το paired sample t-test για τη σύγκριση των τιμών του δείκτη NDVI και της θερμοκρασίας των καμερών του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος με τις αντίστοιχες τιμές των αισθητήρων.

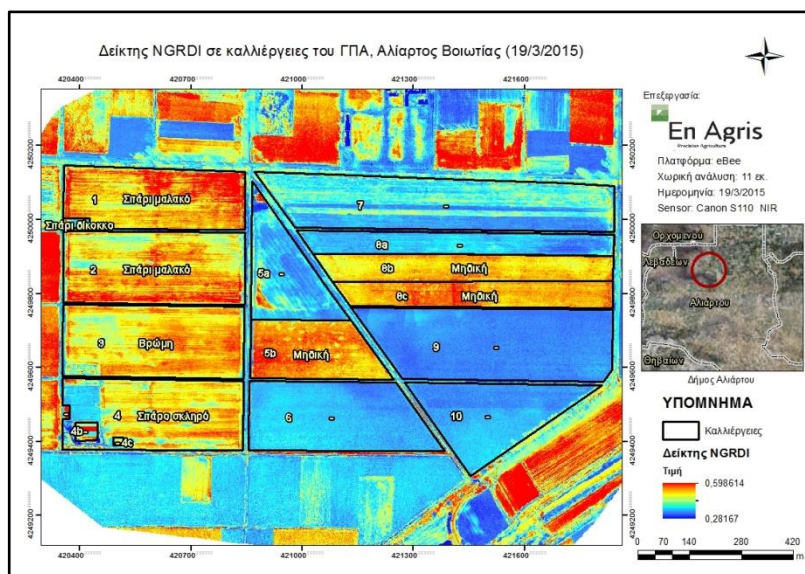
Αποτελέσματα και Συζήτηση

Στη σύγκριση μεταξύ των επίγειων αισθητήρων και των καμερών με τη χρήση του paired sample t-test προέκυψε ότι οι τιμές δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, με $p=0.605$ για το NDVI και $p=0.581$ για τη θερμοκρασία σε επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$. Έτσι, οι κάμερες που χρησιμοποιούνται στο UAV θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν ικανοποιητικά τους επιγείους αισθητήρες, προσφέροντας γρήγορη και φτηνή παρακολούθηση των καλλιεργειών με τη χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης.

Από την επεξεργασία και την απεικόνιση των τιμών στο ArcGis, αλλά και τη στατιστική ανάλυση, προκύπτει ότι ο δείκτης βλάστησης NDVI παρουσιάζει υψηλές τιμές στα αγροτεμάχια που έχουν εγκατεστημένη καλλιέργεια και χαμηλές τιμές σε αγροτεμάχια που έχουν υποστεί κατεργασία του εδάφους (χάρτης 1) και στις 3 ημερομηνίες. Το ίδιο παρατηρείται και στο δείκτη βλάστησης NGRDI (χάρτης 2).



Χάρτης 1. Δείκτης NDVI, 19/3/2015

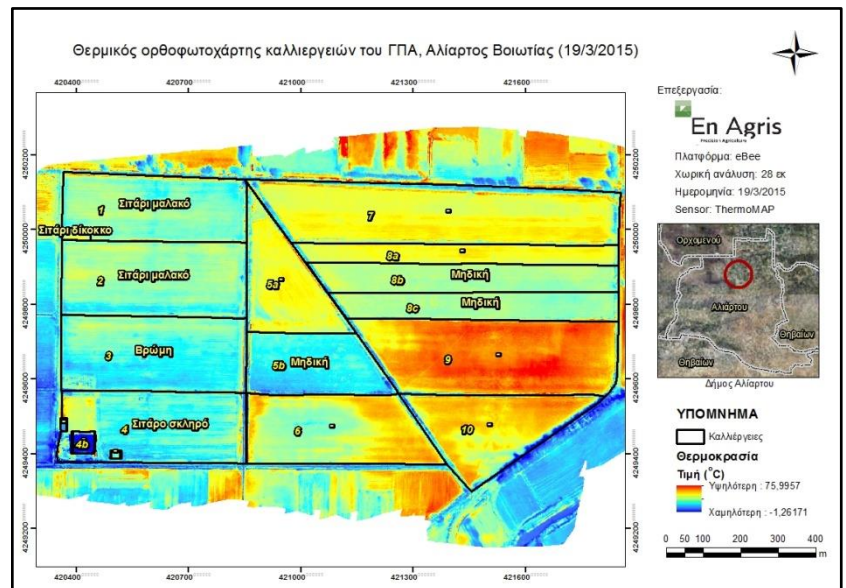


Χάρτης 2. Δείκτης NGRDI, 19/3/2015

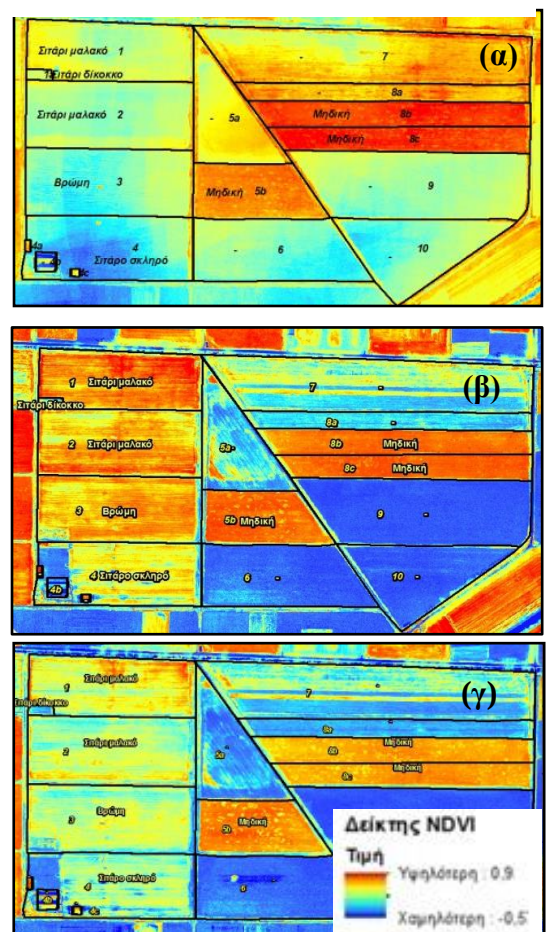
Συγκεκριμένα, οι υψηλότερες τιμές των δεικτών βλάστησης NDVI και NGRDI εμφανίζονται στα αγροτεμάχια που καλλιεργείται η μηδική, ενώ οι μικρότερες στα αγροτεμάχια όπου δεν έχουν εγκατασταθεί ακόμη οι καλλιέργειες. Επιπλέον, στα ακαλλιέργητα εδάφη παρατηρούνται διαφορές στις τιμές NDVI και NGRDI με τις υψηλότερες τιμές σε αυτήν την περίπτωση να

εμφανίζονται στα αγροτεμάχια 5α, 7 και 8α. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη ζιζανίων εκεί όπου δεν πραγματοποιήθηκε κατεργασία εδάφους για την καταπολέμησή τους, υποδεικνύοντας τη δυνατότητα χρήσης για χαρτογράφηση των ζιζανίων με σκοπό τη στοχευμένη αντιμετώπιση στα πλαίσια της γεωργίας ακριβείας. Από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας προκύπτει ότι τα αγροτεμάχια που έχουν εγκατεστημένη καλλιέργεια έχουν μικρότερη τιμή σε σχέση με τα αγροτεμάχια που δεν έχουν εγκατεστημένη καλλιέργεια (χάρτης 3), το οποίο συμφωνεί με τους Holzman et al. (2014).

Η χρήση χαρτών ανά τακτά χρονικά διαστήματα μπορεί να προσφέρει παρακολούθηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών, αλλά και την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων, τα οποία μπορούν να αντιμετωπιστούν τοπικά στα πλαίσια της



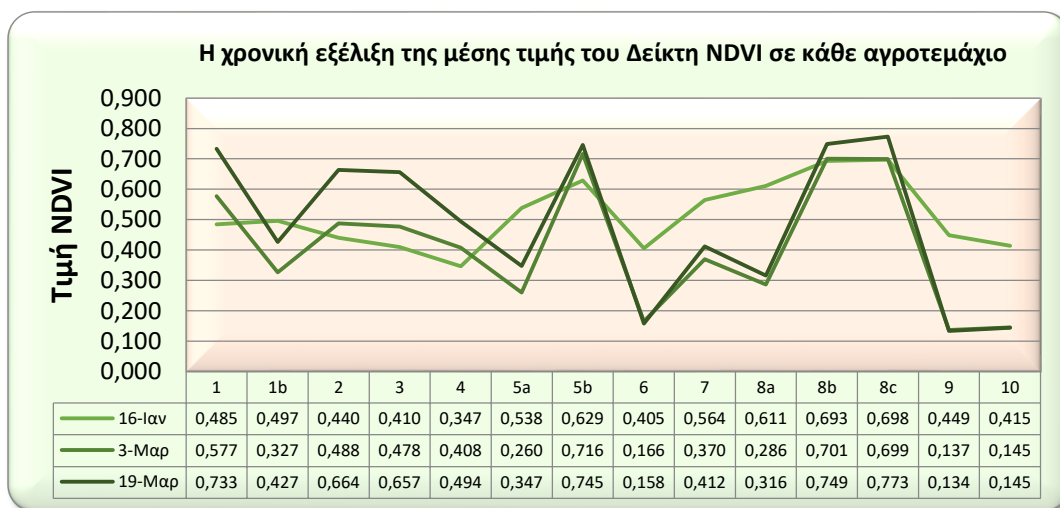
Χάρτης 3. Θερμικός χάρτης, 19/3/2015



Εικόνα 1, Χρονική εξέλιξη του NDVI: α) 16/1/2015, β) 3/3/2015, γ) 19/3/2015

γεωργίας ακριβείας με εφαρμογή μεταβλητής δόσης (άρδευση, λίπανση, φυτοπροστασία).

Κατά την περίοδο των μετρήσεων έγιναν 3 πτήσεις σε 3 διαφορετικές ημερομηνίες, με σκοπό την πειραματική εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν την αναμενόμενη ανοδική πορεία της τιμής του NDVI στα περισσότερα σημεία, λόγω της ανάπτυξης των καλλιεργειών, αλλά και την καθοδική σε σημεία όπου κατά την περίοδο της πρώτης πτήσης (Ιανουάριος 2015) υπήρχαν ζιζάνια σε πλήρη ανάπτυξη, και μέχρι την περίοδο της δεύτερης και τρίτης πτήσης (Μάρτιος 2015) είχε πραγματοποιηθεί η μηχανική καταστροφή τους.



Διάγραμμα 1. Η χρονική εξέλιξη του Δείκτη NDVI στα αγροτεμάχια

Ο δείκτης NGRDI εμφάνισε το μεγαλύτερο ποσοστό παραλλακτικότητας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων σε όλα τα αγροτεμάχια κάτι που ίσως να οφείλεται στη μεγαλύτερη ευαισθησία του δείκτη στο έδαφος όπως φαίνεται και από τα ποσοστά παραλλακτικότητας ανά αγροτεμάχιο (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Περιγραφικά στατιστικά των μετρήσεων ανά αγρό

Είδος Καλλιέργειας	Μέτρηση	N	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
Σιτάρι Μαλακό 1	NDVI 19-3	787	0.51	0.87	0.73	0.06	8%
	NGRDI 19-3	787	0.02	0.24	0.14	0.04	26%
	TEMPERATURE 19-3	787	14.64	20.12	17.20	0.75	4%
	NDVI 16-1	787	0.40	0.61	0.49	0.04	7%
	NDVI 3-3	787	0.34	0.84	0.58	0.08	14%
Σιτάρι Δίκοκκο	NDVI 19-3	21	0.27	0.71	0.43	0.13	31%
	NGRDI 19-3	21	-0.01	0.14	0.03	0.04	125%
	TEMPERATURE 19-3	21	16.29	20.30	18.97	1.31	7%

	NDVI 16-1	21	0.47	0.56	0.50	0.03	5%
	NDVI 3-3	21	0.21	0.60	0.33	0.11	32%
Σιτάρι Μαλακό 2	NDVI 19-3	933	0.36	0.84	0.66	0.08	12%
	NGRDI 19-3	933	0.02	0.23	0.13	0.04	30%
	TEMPERATURE 19-3	933	14.35	19.30	17.30	0.80	5%
	NDVI 16-1	933	0.39	0.55	0.44	0.03	6%
	NDVI 3-3	933	0.28	0.72	0.49	0.07	14%
Βρώμη 3	NDVI 19-3	951	0.26	0.77	0.66	0.08	12%
	NGRDI 19-3	951	-0.01	0.19	0.12	0.03	30%
	TEMPERATURE 19-3	951	13.94	19.09	16.24	0.90	6%
	NDVI 16-1	951	0.33	0.56	0.41	0.05	11%
	NDVI 3-3	951	0.21	0.63	0.48	0.07	14%
Σιτάρι Σκληρό 4	NDVI 19-3	904	0.08	0.75	0.49	0.14	27%
	NGRDI 19-3	904	-0.11	0.19	0.09	0.05	52%
	TEMPERATURE 19-3	904	9.44	22.52	16.26	1.43	9%
	NDVI 16-1	904	0.18	0.55	0.35	0.07	19%
	NDVI 3-3	904	-0.02	0.66	0.41	0.11	26%
Κατεργασμένο Έδαφος 5a	NDVI 19-3	506	0.15	0.79	0.35	0.11	33%
	NGRDI 19-3	506	-0.06	0.18	0.01	0.04	577%
	TEMPERATURE 19-3	506	15.83	21.66	19.81	0.79	4%
	NDVI 16-1	506	0.43	0.65	0.54	0.03	6%
	NDVI 3-3	506	0.13	0.73	0.26	0.10	37%
Μηδική 5b	NDVI 19-3	534	0.33	0.82	0.75	0.07	9%
	NGRDI 19-3	534	-0.03	0.21	0.15	0.03	23%
	TEMPERATURE 19-3	534	12.21	18.20	15.64	0.72	5%
	NDVI 16-1	534	0.57	0.68	0.63	0.02	3%
	NDVI 3-3	534	0.29	0.82	0.72	0.09	13%
Κατεργασμένο Έδαφος 6	NDVI 19-3	857	0.10	0.42	0.16	0.05	32%
	NGRDI 19-3	857	-0.03	0.03	-0.01	0.01	181%
	TEMPERATURE 19-3	857	13.65	22.98	19.20	1.91	10%
	NDVI 16-1	857	0.33	0.57	0.41	0.04	11%
	NDVI 3-3	857	0.02	0.61	0.17	0.05	28%

Κατεργασμένο Έδαφος 7	NDVI 19-3	1271	0.21	0.66	0.41	0.11	26%
	NGRDI 19-3	1271	-0.04	0.09	0.01	0.02	183%
	TEMPERATURE 19-3	1271	14.13	22.08	19.88	1.08	5%
	NDVI 16-1	1271	0.42	0.68	0.56	0.05	9%
	NDVI 3-3	1271	0.17	0.73	0.37	0.11	29%
Κατεργασμένο Έδαφος 8a	NDVI 19-3	513	0.20	0.58	0.32	0.06	18%
	NGRDI 19-3	513	-0.04	0.08	0.00	0.02	1078%
	TEMPERATURE 19-3	513	17.36	21.05	19.96	0.54	3%
	NDVI 16-1	513	0.55	0.68	0.61	0.03	5%
	NDVI 3-3	513	0.19	0.60	0.29	0.11	37%
Μηδική 8b	NDVI 19-3	553	0.52	0.81	0.75	0.04	5%
	NGRDI 19-3	553	0.03	0.17	0.12	0.02	16%
	TEMPERATURE 19-3	553	15.94	19.70	17.98	0.44	2%
	NDVI 16-1	553	0.65	0.73	0.69	0.01	2%
	NDVI 3-3	553	0.43	0.78	0.70	0.04	6%
Μηδική 8c	NDVI 19-3	522	0.56	0.81	0.77	0.03	4%
	NGRDI 19-3	522	0.06	0.20	0.15	0.02	13%
	TEMPERATURE 19-3	522	16.19	19.08	17.67	0.41	2%
	NDVI 16-1	522	0.66	0.74	0.70	0.01	2%
	NDVI 3-3	522	0.31	0.78	0.70	0.06	9%
Κατεργασμένο Έδαφος 9	NDVI 19-3	1237	0.10	0.51	0.13	0.04	32%
	NGRDI 19-3	1237	-0.04	0.04	-0.03	0.01	32%
	TEMPERATURE 19-3	1237	15.11	25.91	22.99	1.54	7%
	NDVI 16-1	1237	0.37	0.65	0.45	0.04	9%
	NDVI 3-3	1237	0.11	0.45	0.14	0.04	28%
Κατεργασμένο Έδαφος 10	NDVI 19-3	675	0.04	0.49	0.14	0.04	30%
	NGRDI 19-3	675	-0.03	0.10	-0.01	0.02	161%
	TEMPERATURE 19-3	675	10.71	23.71	20.65	1.90	9%
	NDVI 16-1	675	0.32	0.61	0.41	0.04	11%
	NDVI 3-3	675	0.05	0.55	0.15	0.05	37%

Οι συσχετίσεις ανάμεσα στον δείκτη NDVI και τη θερμοκρασία ήταν αρνητικές, κάτι το οποίο παρατηρήθηκε και από άλλους (Raynolds et al., 2008; Sruthi and Aslam, 2015). Ακόμη παρουσιάστηκε υψηλή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και του

δείκτη NGRDI κατά την ίδια ημερομηνία των μετρήσεων, υποδεικνύοντας την πιθανή αντικατάσταση των ακριβών πολυφασματικών καμερών με φτηνές εμπορικές κάμερες για τη δημιουργία χαρτών ευρωστίας. Ο δείκτης NDVI παρουσίασε διαφορετικό βαθμό συσχέτισης ανά ημερομηνία, αποδεικνύοντας ότι ο δείκτης δεν ανταποκρίνεται γραμμικά στην ανάπτυξη της καλλιέργειας αλλά επηρεάζεται από την ευρωστία της ανά ημερομηνία.

Πίνακας 2. Συσχετίσεις κατά Pearson μεταξύ των δεικτών βλάστησης και της θερμοκρασίας για $p<0.05$ (*) και για $p<0.01$ ().**

Είδος Καλλιέργειας	Μέτρηση	NDVI 19-3	NGRDI 19-3	TEMPERATURE 19-3	NDVI 16-1	NDVI 3-3
Σιτάρι Μαλακό 1	NDVI 19-3	1.000	0.967**	-0.796**	-0.169**	0.724**
	NGRDI 19-3	0.967**	1.000	-0.777**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.796**	-0.777**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	-0.169**	-	-	1.000	-0.038
	NDVI 3-3	0.724**	-	-	-0.038	1.000
Σιτάρι Δίκοκκο	NDVI 19-3	1.000	0.995**	-0.948**	0.560**	0.820**
	NGRDI 19-3	0.995**	1.000	-0.950**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.948**	-0.950**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	0.560**	-	-	1.000	0.886**
	NDVI 3-3	0.820**	-	-	0.886**	1.000
Σιτάρι Μαλακό 2	NDVI 19-3	1.000	0.975**	-0.698**	0.059	0.840**
	NGRDI 19-3	0.975**	1.000	-0.729**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.698**	-0.729**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	0.059	-	-	1.000	0.022
	NDVI 3-3	0.840**	-	-	0.022	1.000
Βρώμη 3	NDVI 19-3	1.000	0.948**	-0.435**	-0.127**	0.785**
	NGRDI 19-3	0.948**	1.000	-0.475**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.435**	-0.475**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	-0.127**	-	-	1.000	-0.100**
	NDVI 3-3	0.785**	-	-	-0.100**	1.000
Σιτάρι Σκληρό 4	NDVI 19-3	1.000	0.907**	-0.409**	0.000	0.849**
	NGRDI 19-3	0.907**	1.000	-0.293**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.409**	-0.293**	1.000	-	-

	NDVI 16-1	0.000	-	-	1.000	0.060
	NDVI 3-3	0.849**	-	-	0.060	1.000
Κατεργασμένο Έδαφος 5a	NDVI 19-3	1.000	0.903**	-0.537**	0.148**	0.762**
	NGRDI 19-3	0.903**	1.000	-0.566**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.537**	-0.566**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	0.148**	-	-	1.000	0.091*
	NDVI 3-3	0.762**	-	-	0.091*	1.000
Μηδική 5b	NDVI 19-3	1.000	0.914**	-0.295**	0.531**	0.823**
	NGRDI 19-3	0.914**	1.000	-0.292**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.295**	-0.292**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	0.531**	-	-	1.000	0.626**
	NDVI 3-3	0.823**	-	-	0.626**	1.000
Κατεργασμένο Έδαφος 6	NDVI 19-3	1.000	0.701**	-0.546**	0.559**	0.527**
	NGRDI 19-3	0.701**	1.000	-0.703**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.546**	-0.703**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	0.559**	0.428**	-0.422**	1.000	0.155**
	NDVI 3-3	0.527**	0.491**	-0.200**	0.155**	1.000
Κατεργασμένο Έδαφος 7	NDVI 19-3	1.000	0.943**	-0.506**	-0.197**	0.772**
	NGRDI 19-3	0.943**	1.000	-0.416**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.506**	-0.416**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	-0.197**	-	-	1.000	-0.198**
	NDVI 3-3	0.772**	-	-	-0.198**	1.000
Κατεργασμένο Έδαφος 8a	NDVI 19-3	1.000	0.788**	-0.599**	0.590**	0.718**
	NGRDI 19-3	0.788**	1.000	-0.316**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.599**	-0.316**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	0.590**	-	-	1.000	0.498**
	NDVI 3-3	0.718**	-	-	0.498**	1.000
Μηδική 8b	NDVI 19-3	1.000	0.846**	-0.508**	0.038	0.763**
	NGRDI 19-3	0.846**	1.000	-0.471**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.508**	-0.471**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	0.038	-	-	1.000	0.323**
	NDVI 3-3	0.763**	-	-	0.323**	1.000

Μηδική 8c	NDVI 19-3	1.000	0.758**	-0.523**	-0.109*	0.670**
	NGRDI 19-3	0.758**	1.000	-0.280**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.523**	-0.280**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	-0.109*	-	-	1.000	0.006
	NDVI 3-3	0.670**	-	-	0.006	1.000
Κατεργασμένο Έδαφος 9	NDVI 19-3	1.000	0.708**	-0.599**	0.689**	0.676**
	NGRDI 19-3	0.708**	1.000	-0.519**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.599**	-0.519**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	0.689**	-	-	1.000	0.450**
	NDVI 3-3	0.676**	-	-	0.450**	1.000
Κατεργασμένο Έδαφος 10	NDVI 19-3	1.000	0.467**	-0.451**	0.583**	0.684**
	NGRDI 19-3	0.467**	1.000	-0.804**	-	-
	TEMPERATURE 19-3	-0.451**	-0.804**	1.000	-	-
	NDVI 16-1	0.583**	-	-	1.000	0.469**
	NDVI 3-3	0.684**	-	-	0.469**	1.000

Συμπεράσματα

Η χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων στην παρακολούθηση καλλιεργειών μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στον παραγωγό. Αυτά περιλαμβάνουν την παρακολούθηση της ευρωστίας των φυτών, την παρακολούθηση της υδατικής καταπόνησης, μέσω της μέτρησης της θερμοκρασίας των καλλιεργειών, τη χαρτογράφηση των ζιζανίων κ.ά. Η συστηματική παρακολούθηση, όμως, των αγροτεμαχίων, είτε με εγκατεστημένες καλλιέργειες, είτε χωρίς εγκατεστημένες καλλιέργειες, μπορεί να προσφέρει τοπική αντιμετώπιση των προβλημάτων στα πλαίσια της γεωργίας ακριβείας. Αυτό μπορεί να γίνει γιατί οι μετρήσεις αυτές δεν διαφέρουν σημαντικά από τις μετρήσεις επίγειων μέσων τηλεπισκόπησης. Η παρούσα εργασία απέδειξε ότι η χρήση των UAV στη γεωργία αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη, γρήγορη και φτηνή λύση για την παρακολούθηση των καλλιεργειών, ωστόσο απαιτείται περισσότερη έρευνα για τη μεγαλύτερη αξιοποίησή της.

Abstract

Crop growth monitoring throughout crop's biological cycle is very important for achieving yield targets as it helps prevent major problems, such as lack of nutrients, infestation by insects and diseases, water stress, etc. Until now the most common ways

of monitoring were the field based remote sensing and the satellite remote sensing. However, both methods have serious drawbacks. Nowadays, the solution to these problems gives a new promising technology. This technology is the Unmanned Airborne Vehicle (UAV). These flying vehicles are of different types (helicopter type with one or more propellers, fixed wing etc.) and are low-cost platforms which are able to carry scientific instruments such as cameras (multispectral or hyperspectral), laser scanners (LIDAR), spektroradiometers etc. The information acquired from the above instruments is needed for the delineation of management zones in the creation in each field parcel for making variable rate applications in accordance with the methods of precision agriculture. The purpose of this study was the comparison of cameras placed in a UAV with ground sensors and the use of different spectral vegetation indices (NDVI, NGRDI, temperature) for crop vigor assessment and the crop growth monitoring. The experiment was carried out at the farm of the Agricultural University of Athens located in Aliartos (23.09° N, 38.39° E) in which various crops were planted. The results showed that the use of unmanned aerial vehicles to monitor crops can provide many advantages to the producer while the systematic monitoring of parcels in established crops or not can address site specific problems according to precision agriculture framework, but more research is needed for greater exploitation.

Key-Words: UAV, NDVI, precision agriculture, field management, thermal camera, remote sensing

Βιβλιογραφία

- Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Gnyp, M.L., and G. Bareth. 2015. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 39: 79-87.
- Bhattacharya, B.K., Mallick, K., Nigam, R., Dakore, K., and A.M. Shekh. 2011. Efficiency based wheat yield prediction in a semi-arid climate using surface energy budgeting with satellite observations. *Agricultural and Forest Meteorology* 151(10): 1394-1408.
- Deery, D., Jimenez-Berni, J., Jones, H., Sirault, X. and R. Furbank. 2014. Proximal Remote Sensing Buggies and Potential Applications for Field-Based Phenotyping. *Agronomy* 5:349-379.
- Duveiller, G., Baret, F., and P. Defourny. 2012. Remotely sensed green area index for winter wheat crop monitoring: 10-Year assessment at regional scale over a fragmented landscape. *Agricultural and Forest Meteorology* 166-167: 156-168.

- Eitel, J.U.H., Magney, T.S., Vierling, L.A., Brown, T.T., and R. Huggins. 2014. LiDAR based biomass and crop nitrogen estimates for rapid, non-destructive assessment of wheat nitrogen status. *Field Crops Research* 159: 21-32.
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R.E., Gallego, P.P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., Escalona, J., and H. Medrano. 2015. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management* 153: 9-19.
- Ghorbani, A., Mossivand, A. M., and A.E. Ouri. 2012. Utility of the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) for land/canopy cover mapping in Khalkhal County (Iran). *Annals of Biological Research* 3(12): 5494-5503.
- Homolova, L., Malenovsky, Z., Clevers, J.G.P.W., Garcia-Santos, G. and M.E. Schaepman. 2013. Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping. *Ecological Complexity* 15: 1-16.
- Picard, R., Rabe, N., and J. Van der Sluijs. 2011. Using aerial imagery for site specific fungicide application. 10th Annual WestMan GIS Users' Group Meeting, March 18 2011, Brandon, MB
- Rallo, G., Minacapilli, M., Ciraolo, G., and G. Provenzano. 2014. Detecting crop water status in mature olive groves using vegetation spectral measurements. *Biosystems Engineering* 128: 52-68.
- Torres-Sanchez, J., Pena, J.M., de Castro, A.I., and F. Lopez-Granados. 2014. Multi-Temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computer and Electronics in Agriculture* 103: 104-113.
- Van Niel, T.G., and T.R. McVicar. 2001. Remote sensing of rice-based irrigated agriculture: a review. Cooperative Research Centre for Sustainable Rice Production, P1105-01/01, Yanco, NSW, Australia, 2001.
- Vina, A., Gitelson, A.A., Nguy-Robertson, A.L., and Y. Peng. 2011. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sensing of Environment* 115(12): 3468-3478.
- Yang, C., Everitt, J.H., and C.J. Fernandez. 2010. Comparison of airborne multispectral and hyperspectral imagery for mapping cotton root rot. *Biosystems Engineering* 107(2): 131-139.
- Αναστασίου Ε. 2014. Μελέτη φαινοτυπικής παραλλακτικότητας με την χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 149 σελ.
- Saberioon, M.M., Amin, M.S.M., Anuar, A.R., Gholizadeh, A., Wayayok, A., and S. Khairunniza-Bejo. 2014. Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 32: 35-45.
- Sruthi, S., and M.A.M. Aslam. 2015. Agricultural Drought Analysis Using the NDVI and Land Surface Temperature Data; a Case Study of Raichur. *Aquatic Procedia* 4:1258-1264.
- Zarco-Tejada, P.J., Gonzalez-Dugo, V., and J.A.J. Berni. 2012. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment* 117: 322-337.

- Raynolds, M.K., Comiso, J.C., Walker, D.A., and D. Verbyla. 2008. Relationship between satellite-derived land surface temperatures, arctic vegetation types, and NDVI. *Remote Sensing of Environment* 112(4): 1884-1894.
- Gonzales-Dugo, M.P., Escuin, S., Cano, F., Padilla, F.L.M., Tirado, J.L., Oyonarte, N., Fernandez, P., and L. Mateos. 2013. Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. II. Application on basin scale. *Agricultural Water Management* 125: 92-104.
- Bouma, J. 2007. Precision Agriculture: Introduction to the Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality. In *Ciba Foundation Symposium 210 - Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality* (eds J. V. Lake, G. R. Bock and J. A. Goode), John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, UK.

**ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΝΕΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ
ΜΕΣΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ (UAV)**

Καββαδίας Αντώνης¹, Ψωμιάδης Εμμανουήλ^{2*}, Χανιώτη Μαρουλιώ³,

Γκαλά Ελένη¹, Μίχας Σπύρος¹

¹En Agri LLC, Ευβοίας 3 15125, Μαρούσι, info@enagris.gr

²Εργαστήριο Ορυκτολογίας & Γεωλογίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων &
Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855,
Αθήνα, mpsomiadis@aua.gr

³Inforest Research o.c, Γλαράκη 10B, 11145, Αθήνα, mchanioti@inforest.gr

Περίληψη

Η Γεωργία Ακριβείας περιλαμβάνει πρώτιστα τη χρήση γεωχωρικής τεχνολογίας για τη χαρτογράφηση των χωρικών μεταβολών στις φυτικές και εδαφικές συνθήκες ενός αγροτεμαχίου και τη συσχέτισή τους με τις γεωργικές εισροές, όπως νερό, λίπασμα κλπ, σε χωρική βάση.

Τα τελευταία χρόνια ο αυξανόμενος αριθμός των δορυφορικών συστημάτων, η βελτίωση τόσο της διακριτικής ικανότητας όσο και της επαναληψιμότητας λήψης των εικόνων τους, αλλά και η ολοένα αυξανόμενη χρήση μη επανδρωμένων αεροχημάτων (Unmanned Aerial Vehicle-UAV), έχουν διευκολύνει την παρατήρηση και παρακολούθηση ορισμένων στοιχείων διαχείρισης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, όπως η ανίχνευση και η διαχείριση των ζιζανίων, που απαιτούν εικόνες με χωρική ανάλυση της τάξης των εκατοστών, καθώς και περιπτώσεις γρήγορα εξελισσόμενες, όπως η παρακολούθηση του φυτικού στρες ή διαφόρων ασθενειών, που απαιτούν μια χρονική ανάλυση μικρότερη από 24 ώρες.

Ένα μη επανδρωμένο αερόχημα χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα εργασία, προκειμένου να αναδειχθεί η χρησιμότητα και αποτελεσματικότητα αυτών των νέων αερομεταφερόμενων μέσων στην παρατήρηση των καλλιεργειών. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το μη επανδρωμένο αερόχημα eBee της SenseFly. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα ελεύθερα δεδομένα του δορυφόρου Landsat-8.

Σαν περιοχή παρατήρησης επιλέχθηκε η περιοχή των κτημάτων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στην Αλίαρτο Βοιωτίας.

Με το ειδικό λογισμικό Postflight Terra 3D της Pix4D δημιουργήθηκε ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοροποίησης της Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index), ενώ ταυτόχρονα δημιουργήθηκε ο ίδιος δείκτης βλάστησης από τα δεδομένα του δέκτη OLI του δορυφόρου Landsat-8 με χρήση του λογισμικού ENVI της EXELIS Visual Information Solutions .

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση και αξιολόγηση των δεικτών από τα δύο τηλεπισκοπικά μέσα παρατήρησης, προκειμένου να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα των δεδομένων που λαμβάνονται από την κάμερα του UAV.

Λέξεις Κλειδιά: Γεωργία Ακριβείας, UAV, Landsat 8, NDVI

Εισαγωγή

Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture) ονομάζεται η μέθοδος γεωργικής πρακτικής, που χρησιμοποιεί πληροφορία με σαφήνεια προσδιορισμένη ως προς τον χώρο ή και τον χρόνο, προκειμένου να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα των εισροών, ή και να ελαχιστοποιήσει τις βλαβερές τους συνέπειες (Καρύδας & Συλλαίος 2000). Η τεχνική της Γεωργίας Ακριβείας βασίζεται στην Τηλεπισκόπηση, στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τη Γεωργική Μηχανική, τις Μετρήσεις στο Πεδίο και τα Συστήματα Εντοπισμού Θέσης (Blackmore 1994, Blackmore et al. 2006).

Μέχρι πρόσφατα, η χρησιμότητα της τηλεπισκόπησης για τους καλλιεργητές περιοριζόταν από τους αρκετά μεγάλους χρόνους περάσματος των τηλεπισκοπικών μέσων, τη νεφοκάλυψη, το κόστος, τη μικρή χωρική ανάλυση και τα ανεπαρκή ή ακριβά μέσα για την επεξεργασία εικόνων για γεωργικές εφαρμογές. Αυτές οι απαιτήσεις δεν είναι εύκολο να επιτευχθούν από μέσης ανάλυσης δορυφορικά συστήματα, όπως ο Landsat-8 ή ο Earth Observation-1, που διαθέτουν μέση χωρική διακριτική ικανότητα 10-15 μέτρων ή από υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας δορυφόρους όπως ο WorldView-2 & 3 ή ο GeoEye-1, που διαθέτουν επαναληψιμότητα λήψης κοντά στις 3 μέρες (Seelan et al. 2003, Mulla 2013).

Τα τελευταία χρόνια η δημιουργία προηγμένων δορυφορικών συστημάτων και επανδρωμένων αεροχημάτων (UAV), που παρουσιάζουν βελτίωση τόσο της διακριτικής ικανότητας όσο και της επαναληψιμότητας λήψης των εικόνων τους, έχουν διευκολύνει την παρατήρηση και παρακολούθηση ορισμένων στοιχείων διαχείρισης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Με τη χρήση αυτών των αισθητήρων είναι δυνατό να προσδιοριστούν συγκεκριμένα στοιχεία του χωροφαινομένου, όπως η ανίχνευση των ζιζανίων, που απαιτούν εικόνες με χωρική ανάλυση της τάξης των εκατοστών, καθώς και περιπτώσεις γρήγορα εξελισσόμενες, όπως η παρακολούθηση του φυτικού στρες ή διαφόρων ασθενειών, που απαιτούν μια χρονική ανάλυση μικρότερη από 24 ώρες, έτσι ώστε να εστιαστεί η επέμβαση σε αυτά τα συγκεκριμένα σημεία μόνο, μειώνοντας την ποσότητα των χημικών ή λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται και το κόστος της

εφαρμογής, προστατεύοντας παράλληλα και το περιβάλλον (El Nahry et al. 2011, Li et al. 2014).

Πριν μερικά χρόνια η χρήση μη επανδρωμένων αεροχημάτων UAV δεν ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένη. Την τελευταία δεκαετία όμως, υπήρξε μία αλματώδη εξέλιξη της τεχνολογίας που οδήγησε στη δημιουργία πιο εξελιγμένων UAV. Οι βελτιωμένες κάμερες καταγραφής που φέρουν (σε ορατό, υπέρυθρο και θερμικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος), καθώς και τα βελτιωμένα λογισμικά χρήσης και επεξεργασίας των εικόνων που δίνουν, έχουν οδηγήσει στην ολοένα και μεγαλύτερη χρήση τους, δημιουργώντας και κίνητρα πειραματισμού για την καταλληλότερη και εντατικότερη χρήσης τους στη γεωργία ακριβείας (Xiang & Tian 2011, Mesas-Carrascosa et al. 2014, Torres-Sánchez et al. 2014, Rokhmana 2015).

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το μη επανδρωμένο αερόχημα eBee της SenseFly, με την κάμερα CANON S110 NIR. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν τα ελεύθερα δεδομένα του δέκτη OLI που φέρει ο δορυφόρος Landsat-8. Η σειρά των δορυφόρων Landsat και ιδιαίτερα ο Landsat-8, αποτελεί ένα από τα πλέον δοκιμασμένα, μελετημένα και αξιόπιστα δορυφορικά συστήματα, παρόλο που η χωρική ανάλυση των 15m που παρέχει δεν θεωρείται απόλυτα ικανοποιητική για την σύγκριση τιμών pixel προς pixel με τον αερομεταφερόμενο καταγραφέα (UAV). Για τον λόγο αυτό έγινε προσπάθεια σύγκρισης της τάση μεταβολής βασικών δεικτών βλάστησης όπως ο NDVI. Τα δύο συστήματα καταγραφής, όργανο OLI του Landsat-8 και UAV, παρέχουν τις καταγραφές στο κόκκινο και κοντινό υπέρυθρο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έτσι ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του δείκτη NDVI.

Σαν περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η περιοχή της Αλιάρτου, όπου ανήκει στο ΓΠΑ και περιλαμβάνει γεωργικές καλλιέργειες έκτασης 1100 στρεμμάτων, με στάρι μαλακό, στάρι σκληρό, βρώμη, μηδική καθώς και χέρσες ακαλλιέργητες εκτάσεις (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Περιοχή μελέτης και οι καλλιέργειες που βρίσκονται εντός αυτής

Δεδομένα και Μέθοδοι

1. Δεδομένα

Πραγματοποιήθηκαν δύο λήψεις με το UAV, στις 14 Ιανουαρίου και 19 Μαρτίου 2015, ημερομηνίες που αντίστοιχα προκαθορίστηκαν με βάση τα περάσματα του δορυφορικού συστήματος Landsat-8, από την περιοχή μελέτης (path/row:183/33), καθώς και με βάση την ανάγκη να γίνει μία λήψη χειμωνιάτικη και μία ανοιξιάτικη, προκειμένου να υπάρχει διαφοροποίηση στο στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών.

ι) Δεδομένα Landsat-8

Το όργανο Operational Land Imager (OLI) του Landsat-8 καταγράφει την αντανάκλαση του ορατού και υπέρυθρου (κοντινό, μέσο και θερμικό) τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ενώ υπάρχει και παγχρωματική καταγραφή στα 500-680nm. Κάθε σκηνή καλύπτει μια επιφάνεια 170x185km με ανάλυση 30m για το όργανο OLI (το παγχρωματικό καταγράφει στα 15m). Οι εικόνες διανέμονται στους τελικούς χρήστες με ανάλυση 16 bit σε μορφή GeoTIFF και ελήφθησαν από τη διαδικτυακή υπηρεσία Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) (Σχήμα 2).

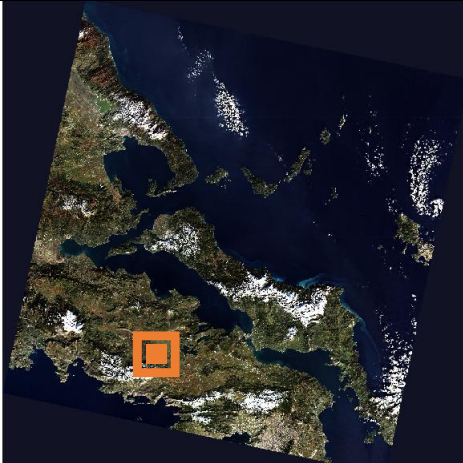
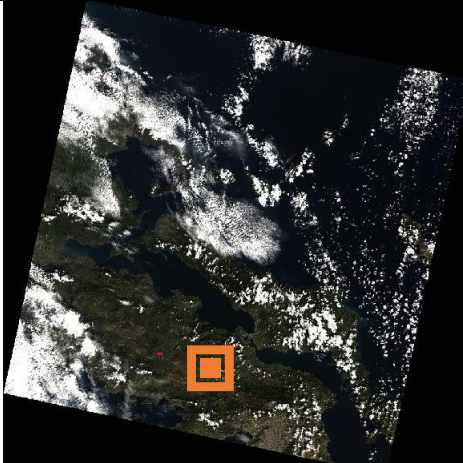
Τα δεδομένα αυτού του οργάνου που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία μας για την εκτίμηση των δεικτών βλάστησης, ήταν το φασματικό κανάλι 4 στο κόκκινο τμήμα του ορατού (Red), το φασματικό κανάλι 5 στο κοντινό υπέρυθρο (Near Infrared-NIR), καθώς και το παγχρωματικό κανάλι, όπως φαίνονται στον Πίνακα 1.

Από τα μεταδεδομένα των εικόνων γίνεται αντιληπτό ότι οι λήψεις είναι πολύ καλής ποιότητας, ενώ η μεγάλη νεφοκάλυψη της σκηνής στις 19 Μαρτίου δεν επηρέασε την περιοχή μελέτης.

Πίνακας 1. Τα φασματικά κανάλια του Landsat-8 που χρησιμοποιήθηκαν.

Κανάλι	Μήκος Κύματος (micrometers)	Ανάλυση (meters)
Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15

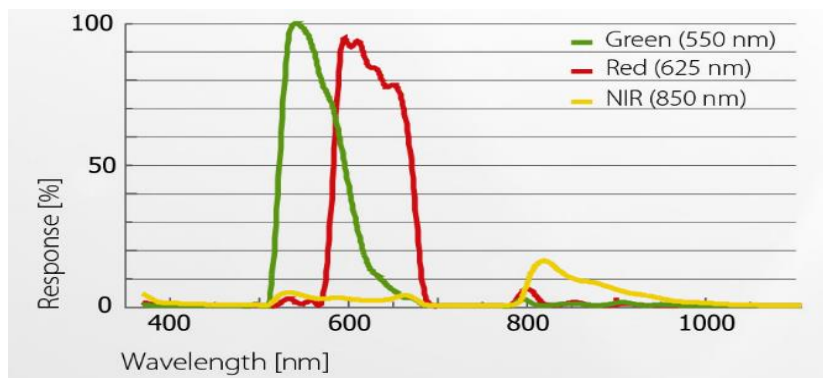
Οι δορυφορικές σκηνές Landsat-8 (OLI) που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι παρακάτω:

LC81830332014363LGN00, 2015-01-14 09:04:46.1363636Z CLOUD_COVER = 2.53%	LC81830332015078LGN00, 2015-03-19 09:04:18.8025035Z CLOUD_COVER = 23.14
	

Σχήμα 2. Τα quicklooks των δορυφορικών εικόνων του Landsat-8 που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.

ii) Δεδομένα UAV

Ο αισθητήρας της κάμερας Canon NIR S110 που επιλέχθηκε προσέφερε τιμές ανάκλασης σε τρεις περιοχές του φάσματος: Πράσινο (G), Κόκκινο (R) και Κοντινό Υπέρυθρο (NIR) σε εικόνες RAW μορφής αρχείου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι φασματικές περιοχές που καλύπτουν οι μπάντες που προσφέρει ο αισθητήρας.



Σχήμα 3. Οι φασματικές περιοχές που καλύπτουν τα κανάλια του αισθητήρα της κάμερας Canon NIR S110 του UAV.

2. Μεθοδολογία.

i) Landsat-8

Για τα δεδομένα OLI των σκηνών που χρησιμοποιήθηκαν, αρχικά πραγματοποιήθηκε γεωμετρική διόρθωση των εικόνων, χρησιμοποιώντας ως σύστημα αναφοράς το UTM Z34, ενώ εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων (Parente 2013).

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση πραγματοποιήθηκαν τα εξής:

(α) Διόρθωση των σκηνών για top of Atmosphere reflectance (ToA Reflectance). Η διόρθωση έγινε με το εργαλείο Radiometric calibration του λογισμικού ENVI (version 5.2) (Σχήμα 4α).

(β) Η δεύτερη μέθοδος είναι αυτή που παρέχει πληροφορία που αντιστοιχεί στην αντανακλαστικότητα στο έδαφος. Για την ατμοσφαιρική διόρθωση χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο ατμοσφαιρικής διόρθωσης FLAASH του ENVI (Σχήμα 4β).

Αφού δημιουργήθηκαν και τα διορθωμένα προϊόντα της σκηνής Landsat-OLI (α και β) και εξάχθηκαν οι δείκτες NDVI με τη χωρική ανάλυση 30m, στη συνέχεια έγινε επεξεργασία panchromatic sharpening με χρήση του πολυφασματικού τμήματος της εικόνας και του παγχρωματικού με χωρική ανάλυση 15m έτσι ώστε τα φασματικά κανάλια να προσαρμοσθούν σε χωρική ανάλυση 15m. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος NNDiffuse PanSharpening του ENVI (Sun et al., 2014).

Με το πέρας αυτής της διαδικασίας και για τα δύο παραπάνω προϊόντα της σκηνής με ToA Reflectance και την ατμοσφαιρικά διορθωμένη σκηνή, υπολογίστηκε ξανά ο NDVI των σκηνών με εικονοστοιχείο πλέον 15m.

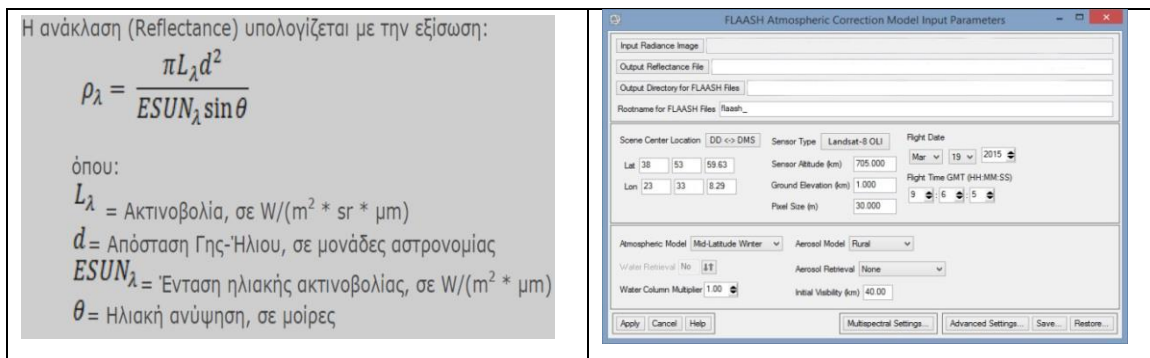
Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοροποίησης της Βλάστησης ή NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) είναι ένας ευρέως αποδεκτός δείκτης και

χρησιμοποιείται προς εκτίμηση την ευρωστίας της βλάστησης. Λαμβάνει τιμές μεταξύ -1 και 1 οι οποίες είναι ανάλογες με την παρουσία έντονης ανάπτυξης βλάστησης, δηλαδή τιμές που πλησιάζουν το 1 αφορούν σε φυτά που χαρακτηρίζονται από ζωηρή και υγιή ανάπτυξη, ενώ το κοινό εύρος για την πράσινη βλάστηση είναι από 0.2 έως 0.8. Η εξίσωση από την οποία υπολογίζεται δίνεται παρακάτω:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Όπου, NIR (Near Infrared) = Κοντινό υπέρυθρο

Red = Ορατό-κόκκινο



Σχήμα 4α. Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται η ακτινοβολία για την ατμοσφαιρική διόρθωση Top of Atmosphere.

Σχήμα 4β. Το μοντέλο του FLAASH με το οποίο πραγματοποιήθηκε η δεύτερη μορφή ατμοσφαιρικής διόρθωσης.

ii) UAV

Μέσω του λογισμικού eMotion της SenseFly SA, για τις δύο μέρες μελέτης, πραγματοποιήθηκαν σχέδια δύο όμοιων πτήσεων του μη επανδρωμένου αεροσκάφους σε γεωργικές εκτάσεις στην περιοχή της Αλιάρτου. Για την πτήση σχεδιάστηκαν παράλληλες γραμμές κάλυψης της έκτασης με πλευρική κάλυψη εικόνων 65% και κατά μήκος κάλυψη 80%. Επίσης, το ύψος της πτήσης ορίστηκε στα 315m για να επιτευχθεί, μέσω της λήψης των εικόνων, μία ανάλυση στα 11cm/px. Κάθε ημέρα μελέτης πραγματοποιήθηκε μια πτήση διάρκειας 25 λεπτών.

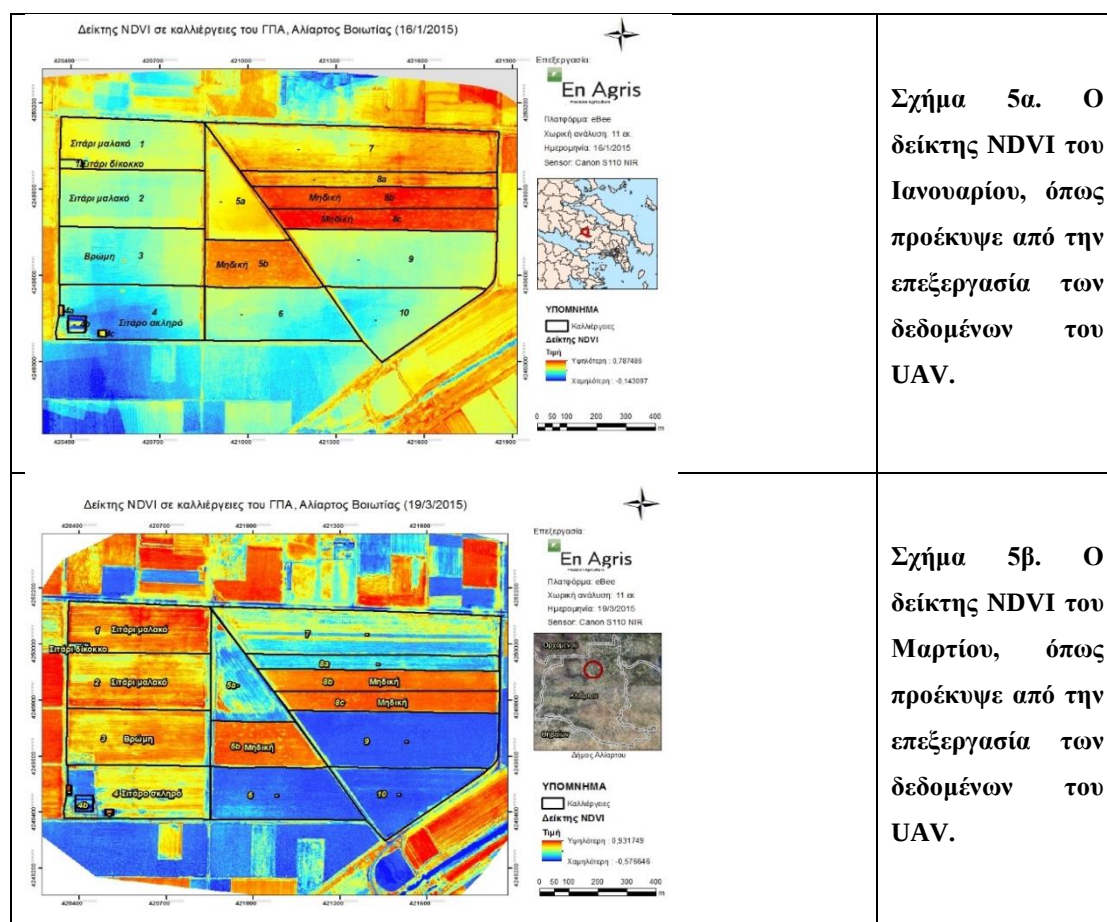
Κατά τη μετεπεξεργασία των εικόνων στο λογισμικό Postflight Terra 3D της Pix4D δημιουργήθηκε ορθοφωτομωσαϊκό της έκτασης και παρήχθησαν χάρτες ανακλαστικότητας. Μέσω των φασματικών καναλιών των περιοχών του (R) και του (NIR) που διέθεσε η κάμερα και με το ίδιο λογισμικό, υπολογίστηκε ο δείκτης NDVI (Σχήματα 5α & 5β).

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Από τα προϊόντα του Landsat-8 για κάθε ημερομηνία λήψης επιλέχθηκαν εκείνα όπου εφαρμόστηκε ατμοσφαιρική διόρθωση με το FLAASH του ENVI, διότι εξαλείφει την επίδραση της ατμόσφαιρας και έτσι οι τιμές που λαμβάνονται πλησιάζουν περισσότερο τις αντίστοιχες τιμές του UAV. Με βάση αυτές, πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των τιμών που δίνουν οι δείκτες βλάστησης NDVI για τις 2 χρονικές περιόδους (Ιανουάριο και Μάρτιο) για κάθε μέσο παρατήρησης (eBee και Landsat-8).

Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε ένα πλέγμα τιμών (fishnet) με τέτοιο τρόπο, ώστε να περιλαμβάνεται κάθε μορφή χωραφιού. Έτσι τα σημεία 1-2-5 επιλέχθηκαν σε γυμνό από βλάστηση έδαφος, τα σημεία 0-3-6 σε σπαρμένο χωράφι τον Ιανουάριο και στο οποίο έχει αναπτυχθεί η βλάστηση των Μάρτιο (Σιτάρι μαλακό, Σιτάρι σκληρό και Βρώμη) και τα σημεία 4-7-8 σε χωράφι με διαφορετική ανάπτυξη βλάστησης σε κάθε περίοδο (Μηδική) (Εικόνες 6α-δ).

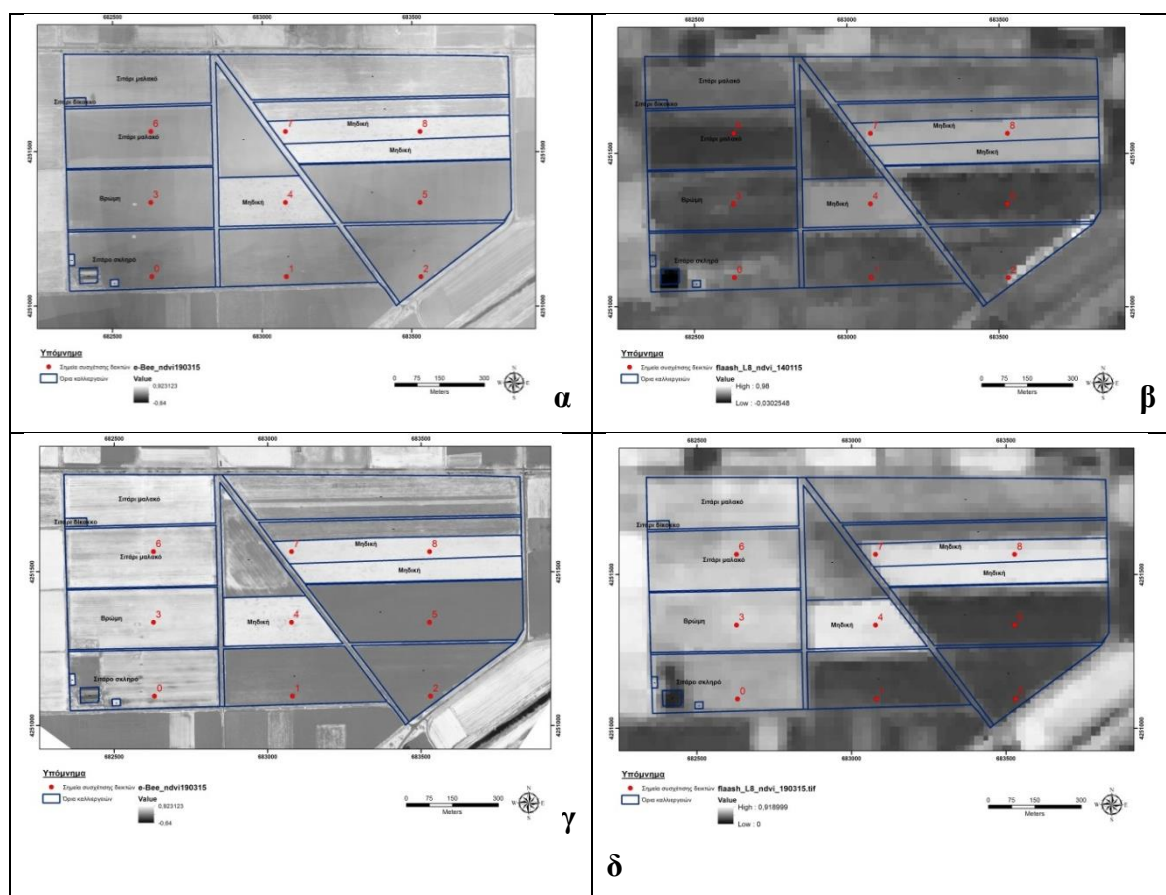
Έπειτα, έγινε εξαγωγή των τιμών NDVI των εικόνων και αποτυπώθηκαν σε διάγραμμα για κάθε χρονική περίοδο, προκειμένου να πραγματοποιηθεί σύγκριση της τάση μεταβολής των τιμών κάθε μέσου παρατήρησης (Διάγραμμα 1: Ιανουάριος, Διάγραμμα 2: Μάρτιος).



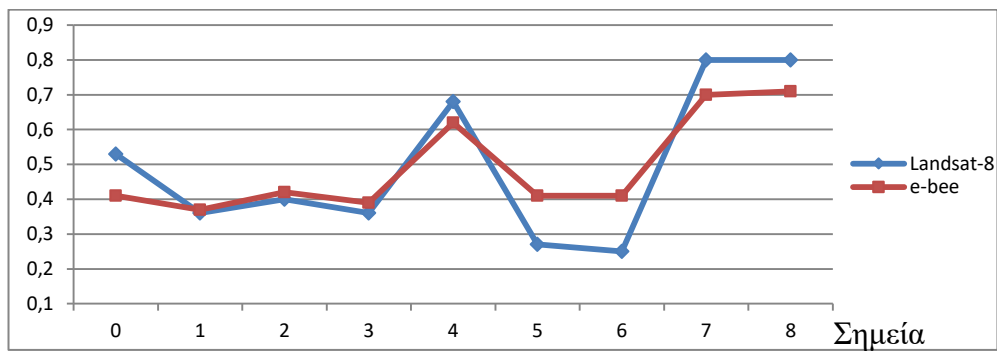
Η σύγκριση των τιμών στα διαγράμματα έδειξε μία πάρα πολύ καλή ταύτιση της κατανομής (τάσης) των τιμών των δύο μέσων παρατήρησης στις δύο περιόδους. Οι μικρές αποκλίσεις σε ορισμένα σημεία, όπως το σημείο 0 στο διάγραμμα του Ιανουαρίου, πιθανά να οφείλονται στη διαφορά της χωρικής ανάλυσης μεταξύ των εικόνων.

Επίσης, για να γίνει πιο εμφανής η ταύτιση των τιμών του NDVI, μεταξύ των δύο μέσων παρατήρησης, δημιουργήθηκε το χωρικό προφίλ (spatial profile) μίας γραμμικής τομής που επιλέχθηκε σε όλες τις εικόνες (Σχήμα 7), με τέτοιο τρόπο ώστε να περιλαμβάνει, όσο το δυνατόν περισσότερες διαφορετικές μορφές βλάστησης (από γυμνό έδαφος έως χωράφι με πλήρη βλάστηση) (Σχήματα 8 α-δ).

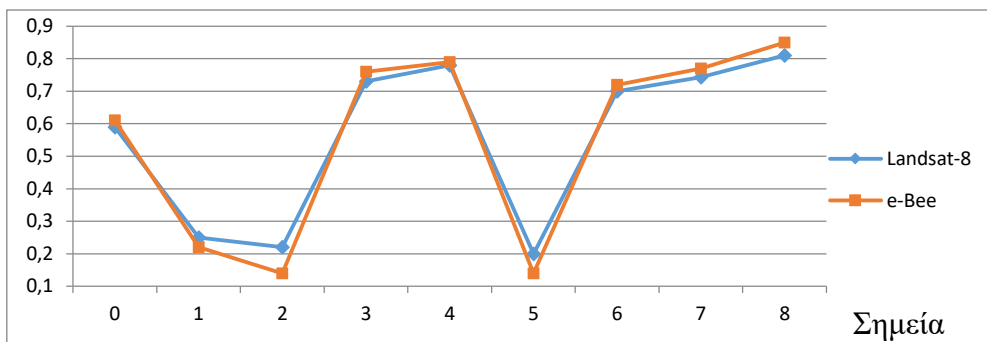
Η σύγκριση των χωρικών προφίλ έδωσε το ίδιο αποτέλεσμα με τα διαγράμματα και επιβεβαίωσε την πολύ καλή ταύτιση της κατανομής (τάσης) των τιμών των δύο μέσων παρατήρησης στις δύο περιόδους. Οι μικρές αποκλίσεις σε ορισμένα σημεία, οφείλονται στη διαφορά της χωρικής ανάλυσης μεταξύ των εικόνων.



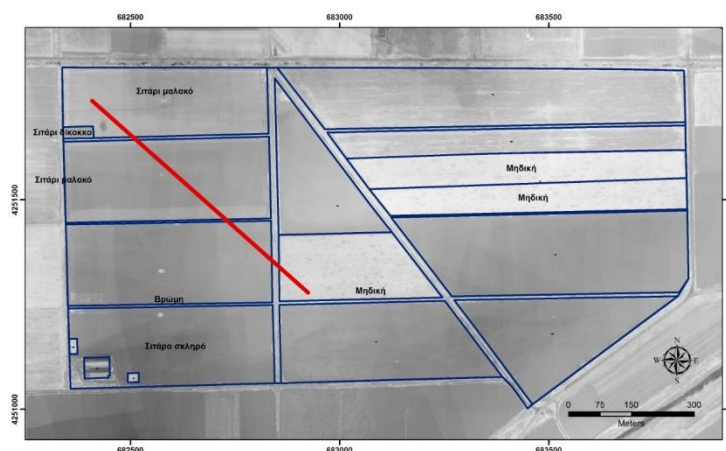
Σχήματα 6α-δ. Το πλέγμα των επιλεγμένων σημείων σύγκρισης στις 4 εικόνες, (α) UAV-Ιανουάριος, (β) Landsat-8 Ιανουάριος, (γ) UAV-Μάρτιος και (δ) Landsat-8 Μάρτιος.



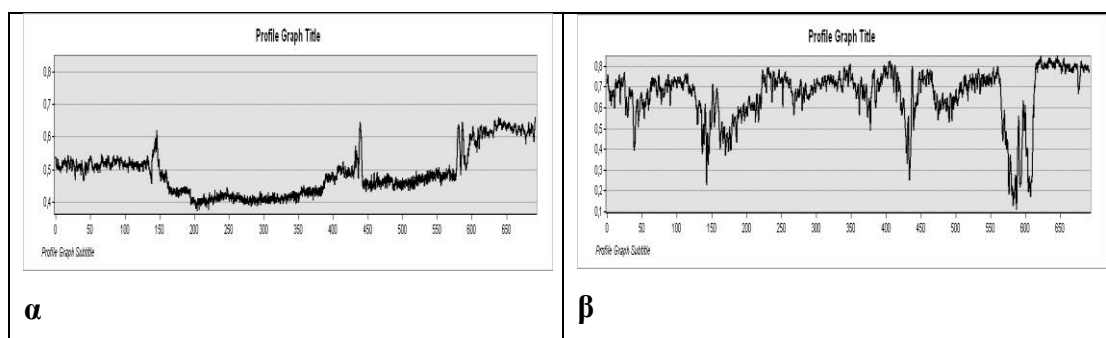
Διάγραμμα 1. Η κατανομή των τιμών του NDVI τον Ιανουάριο, για τα 2 μέσα παρατήρησης.

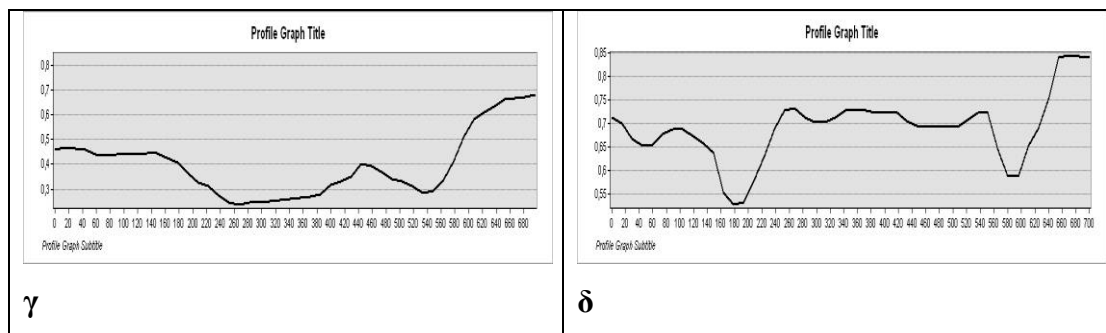


Διάγραμμα 2. Η κατανομή των τιμών του NDVI τον Μάρτιο, για τα 2 μέσα παρατήρησης.



Σχήμα 7. Η τομή (κόκκινη γραμμή) που επιλέχθηκε για να σχεδιαστεί το χωρικό προφίλ των εικόνων NDVI.





Σχήμα 8. Το χωρικό προφίλ των εικόνων του UAV (α,β) και Landsat-8 (γ,δ) για Ιανουάριο & Μάρτιο αντίστοιχα.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των τιμών του δείκτη NDVI των δύο μέσω παρατήρησης, έδειξαν ότι υπάρχει μία αρκετά καλή σύμπτωση της διακύμανσης των τιμών μεταξύ τους, γεγονός που αποδεικνύει την πολύ καλή ποιότητα των δεδομένων του UAV, αναδεικνύοντας ταυτόχρονα τη χρησιμότητα του για ευρύτερη και συστηματικότερη χρήση στη Γεωργία Ακριβείας.

Φυσικά είναι αναγκαίο και αποτελεί στόχο περαιτέρω μελέτης στο εγγύς μέλλον και η σύγκριση του UAV με κάποιο τηλεπισκοπικό μέσω παρατήρησης με παρόμοια χωρική διακριτική ικανότητα.

Abstract

Precision Agriculture primarily involves the use of geospatial technology for the spatial changes mapping in plant and soil conditions of a field and its correlation with agricultural inputs like water, fertilizer, etc., in a spatial basis. In recent years the increasing number of satellite systems, the improvement both of the resolution and the repeatability of their images, but also the increasing use of unmanned aerial vehicles (UAV), have facilitated the observation and monitoring of certain farm management data such as detection and management of weeds, requiring images with a spatial resolution of few centimeters, but also rapidly evolving situations, such as monitoring of plant stress or various diseases, that require a temporal resolution of less than 24 hours. In order to demonstrate the utility and the effectiveness of these new airborne instruments in the observation of crops, an unmanned airborne vehicle was used.

The UAV that was used is eBee of SenseFly SA. The corresponding free data of satellite Landsat-8 were used as well. The area that was chosen to be observed is the crops of the Agricultural University of Athens placed in Aliartos of Viotia Region (Greece). Using the software Postflight Terra 3D of Pix4D for the eBee data and the software ENVI of EXELIS Visual Information Solutions for the OLI receiver data of Landsat-8 satellite, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was created in two ways. The results were compared and evaluated, in order to examine and calibrate the results obtained from the camera of the UAV.

Βιβλιογραφία

- Blackmore, S., 1994. Precision Farming; an introduction, *Outlook on Agriculture*, Vol. 23, No 4, 275-280.
- Blackmore, S., H.W. Griepentrog, S.M. Pedersen, and S. Fountas, 2006. Precision Farming in Europe. In «Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications», The Haworth Press Inc., USA, 567-614.
- El Nahry, A.H., Ali R.R., El Baroudy A.A., 2011. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. *Agricultural Water Management*, Volume 98, Issue 4, 517-531.
- Li, F., Mistele B., Hu Y., Chen X., Schmidhalter U., 2014. Optimising three-band spectral indices to assess aerial N concentration, N uptake and aboveground biomass of winter wheat remotely in China and Germany. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 92, 112-123.
- Mesas-Carrascosa, F. J., Notario-García, M.D., Meroño de Larriva, J.E., Sánchez de la Orden, M., García-Ferrer Porras, A., 2014. Validation of measurements of land plot area using UAV imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 33, 270-279.
- Mulla, D., 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystem Engineering*, 114, 358-371.
- Parente, C., 2013. TOA reflectance and NDVI calculation for Landsat 7 ETM+ images of Sicil. Department of Sciences and Technologies University of Naples “Parthenope”, Italy - The 2nd Electronic International Interdisciplinary Conference, 351 – 354.
- Rokhmana, C. A., 2015. The Potential of UAV-based Remote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia, *Proc. Environmental Sciences*, Vol. 24, 245-253.
- Seelan, S.K., Laguette, S., Casady, G.M., Seielstad, G.A., 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88, 157-169.
- Sun, W., Chen, B., Messinger, D.W., 2014. Nearest neighbor diffusion based pan-sharpening algorithm for spectral images. *Optical Engineering*, 53, no 1.
- Torres-Sánchez, J., Peña, J.M., de Castro, A.I., López-Granados, F., 2014. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 103, 104-113.
- Xiang, H., Tian, L., 2011. Development of a low-cost agriculture remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems Engineering*, 108, 174-190.
- Καρυδάς, Χ. Γ., Συλλαίος, Ν. Γ, 2000. Γεωργία Ακριβείας: Περιγραφή της μεθόδου - Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές. 2^ο Ειδικό Συνέδριο Πληροφοριακών Συστημάτων στη Γεωργία, Χανιά, Οκτώβριος 2000, 2, 8.

ΕΝΟΤΗΤΑ 7^η

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

**ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ
ΒΟΣΚΟΝΤΩΝ ΖΩΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ
ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΒΟΣΚΟΜΕΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.**

**Χατζηγεωργίου Ιωάννης¹, Μακρυνιώτης Κων/νος¹, Γιαννακή Βασιλεία¹,
Καλύβας Διονύσιος²**

¹Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής και Υδατοκαλλιεργειών, Εργαστήριο
Φυσιολογίας Θρέψεως και Διατροφής, Γ.Π.Α.

² Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο
Γεωργικής Χημείας, Γ.Π.Α.

Περίληψη

Οι βοσκόμενες εκτάσεις στη χώρα μας αποτελούν τη μεγαλύτερη κατηγορία των χρήσεων γης και η βοσκήσιμη ύλη τον πιο εκτεταμένο χερσαίο πόρο. Η βόσκηση όμως των αγροτικών ζώων συνδέεται στενά με την κατά τόπους απαντώμενη βιοποικιλότητα, η οποία στη χώρα μας είναι ιδιαίτερα πλούσια. Η οικονομική και περιβαλλοντική σημασία των εκτάσεων που βόσκονται αποτυπώνεται και στις πρόνοιες της νέας Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) της Ε.Ε. Η ορθή διαχείριση των εκτάσεων αυτών απαιτεί τη χρήση των σύγχρονων «εργαλείων» που παρέχει η τεχνολογία, και ειδικότερα των λογισμικών διαχείρισης χώρου (GIS) και των εφαρμογών τηλεπισκόπησης.

Με στόχο την αποτύπωση των μεταβολών της χωρικής κατανομής των βοσκόντων ζώων στη χώρα μας τις τελευταίες δεκαετίες, δημιουργήθηκαν κατάλληλοι χάρτες με τη χρήση Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος (GIS). Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία για τους πληθυσμούς των κυριότερων βοσκόντων ζώων (πρόβατα και αίγες), κατά Δημοτικό Διαμέρισμα, τα οποία αντλήθηκαν από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία ως αποτελέσματα των απογραφών 1991, 1999 καθώς και της ετήσιας στατιστικής του 2008 και έγιναν οι σχετικές συγκρίσεις οι οποίες αποτυπώθηκαν ως κλάσεις. Διαπιστώθηκαν σημαντικές μεταβολές των πληθυσμών των προβάτων και των αιγών με μείωση σε πολλά Δημοτικά Διαμερίσματα το διάστημα 1991-1999, αν και το διάστημα 1999-2008 οι πληθυσμοί αυτοί φαίνεται ότι επανέκαμψαν.

Με σκοπό την εκτίμηση των αδρών μεταβολών της φυτοκάλυψης, από τη δραστηριότητα των ζώων σε βοσκόμενο οικοσύστημα, χρησιμοποιήθηκαν 22 αεροφωτογραφίες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και 34 δορυφορικές εικόνες από το Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Η επεξεργασία των εικόνων με τη χρήση Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος (GIS), ειδικότερα του λογισμικού ERDAS IMAGE

(1997) για την παραγωγή θεματικών χαρτών, έδειξε ότι οι εκτάσεις με ποώδη βλάστηση αποτελούσαν το 37%, 35%, 21% και 28% της συνολικής έκτασης ενώ της θαμνώδους βλάστησης το 33%, 35%, 48% και 39% κατά τα έτη 1960, 1970, 1980 και 2000 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με απογραφικά στοιχεία του ζωικού κεφαλαίου που απογράφονταν στην περιοχή. Παρατηρήθηκε συσχέτιση των μεταβολών του ζωικού κεφαλαίου με τις μεταβολές της φυτοκάλυψης. Συμπεραίνεται ότι οι αλλαγές στη φυτοκάλυψη μεγάλων εκτάσεων βοσκοτόπων συσχετίζονται και με την ασκούμενη κτηνοτροφική δραστηριότητα και η αξιοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας επιτρέπει την αξιολόγηση (με λειτουργικά ικανοποιητική συχνότητα) των εκτάσεων των βοσκοτόπων ώστε να επιτυγχάνεται η καλή διαχείρισή τους που θα συνεισφέρει θετικά στην αύξηση της παραγωγής και στη διατήρηση της βιοποικιλότητας.

Λέξεις κλειδιά: βόσκηση, βιοποικιλότητα, χωρική ανάλυση, τηλεπισκόπηση.

Εισαγωγή

Η διερεύνηση της λειτουργίας των οικοσυστημάτων έχει απορροφήσει μεγάλη ερευνητική προσπάθεια τα τελευταία χρόνια. Οι σχετικές έρευνες εστιάστηκαν ιδιαίτερα στους παράγοντες εκείνους που επηρεάζονται από τις μεταβολές στις χρήσεις γης. Η κατανόηση των αντιδράσεων των οικοσυστημάτων στις μεταβολές των χρήσεων γης είναι ζωτικής σημασίας για την κατάρτιση των σχεδίων διαχείρισης των αγροτικών περιοχών γενικότερα και ειδικότερα για όσες από αυτές χρησιμοποιούνται για τη βόσκηση των αγροτικών ζώων (Balent et al., 1998, Beaufoy et al., 1994).

Πολλά από τα πλούσια σε βιοποικιλότητα οικοσυστήματα τα οποία απαντώνται στον Ευρωπαϊκό χώρο, δημιουργήθηκαν στη διάρκεια του πρόσφατου βιολογικού παρελθόντος ως παράπλευρο αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας και κυρίως εκείνης που αφορούσε τις παραδοσιακές αγροτικές πρακτικές (MacDonald et al. 2000, Plieninger et al. 2006). Τα οικοσυστήματα αυτά απειλούνται σήμερα είτε από την εντατικοποίηση, είτε από την εγκατάλειψη των παραδοσιακών χρήσεων της γης (Plieninger et al. 2006, Stoate et al. 2009, van Swaay et al. 2010). Στα αγροοικοσυστήματα, η βιοποικιλότητα προσφέρει ποικίλες οικολογικές υπηρεσίες, εκτός της παραγωγής τροφίμων και ζωοτροφών, όπου περιλαμβάνονται η ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών, η ρύθμιση του μικροκλίματος και των τοπικών υδρολογικών διαδικασιών, η καταστολή της εξάπλωσης ανεπιθύμητων οργανισμών και η αδρανιοποίηση επιβλαβών χημικών ουσιών (Grice and Martin 2006).

Όμως, χωρίς τη χρήση απτών στοιχείων, συχνά υποεκτιμάται η κλίμακα των αλλαγών στις χρήσεις γης (και κατά συνέπεια οι επιδράσεις στη βιοποικιλότητα) καθώς οι άνθρωποι εύκολα ξεχνούν πως ήταν το τοπίο παλαιότερα (όταν ήταν νεότεροι) και συνεπώς οι «ζώσες μαρτυρίες» αποτελούν αναξιόπιστη πηγή πληροφοριών για το τοπίο. Επιπλέον, τα νεότερα μέλη του πληθυσμού θεωρούν ότι συμβαίνει μικρή αλλαγή στην ποικιλότητα του τοπίου, λόγω της βραχύχρονης εμπειρίας τους και της έλλειψης επικοινωνίας με τις παλιότερες γενιές. Και οι δύο αυτές καταστάσεις περιέχονται στον όρο «Σύνδρομο μεταβαλλόμενης γραμμής βάσης» (Papworth et al. 2009).

Τα βοσκόμενα οικοσυστήματα περιέχουν ένα σημαντικό τμήμα της Ευρωπαϊκής βιοποικιλότητας δεδομένου ότι εξασφαλίζουν ιδανικές συνθήκες για μια τεράστια ποικιλία βιοτόπων και ειδών, και είναι ιδιαίτερα σημαντικά για τα πουλιά, τα έντομα και τα ασπόνδυλα, παρέχοντας ζωτικό χώρο για την αναπαραγωγή και τη διαβίωσή τους. Οι βοσκότοποι και οι λειμώνες διαμορφώνουν ένα συγκεκριμένο τύπο τοπίου και αποτελούν βίοτοπο για πολλά είδη φυτών και ζώων, με συνέπεια τη σύνδεσή τους με υψηλή βιοποικιλότητα (van Wieren and Bakker et al, 2006; Hadjigeorgiou et al., 2005). Είναι βέβαια αποδεδειγμένο ότι τα βιολογικά και τα χαμηλών-εισροών παραγωγικά συστήματα υποστηρίζουν τη μεγαλύτερη γενετική και βιολογική ποικιλομορφία στα γεωργικά οικοσυστήματα (Reidsma et al., 2006). Εκτός από πολύ περιορισμένες περιοχές ιδιαίτερων ειδών φυσικών λειμώνων, οι περισσότεροι Ευρωπαϊκοί βοσκότοποι διατηρούνται στην τρέχουσα μορφή τους μέσω της βόσκησης ή/και της κοπής της βοσκήσιμης ύλης. Ωστόσο, οι αλλαγές στις γεωργικές πρακτικές και οι πιέσεις στη χρήση γης έχουν σαν αποτέλεσμα οι λειμώνες να εξαφανίζονται με ανησυχητικό ρυθμό και να είναι σήμερα μεταξύ των πλέον απειλούμενων οικοσυστημάτων της Ευρώπης (Mac Donald et al. 2000, Papanastasis, 2009, de Bello et al. 2010).

Στην Ευρώπη οι ποότοποι και οι θαμνότοποι, οι οποίοι αποτελούν τα κυριότερα βοσκόμενα οικοσυστήματα, έχουν υποστεί μεγάλες μεταβολές στην έκταση και τη σύνθεσή τους, λόγω των κοινωνικοοικονομικών συνθηκών που επικράτησαν στις αγροτικές περιοχές, ιδιαίτερα μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Οι μεταβαλλόμενες δυναμικές οδήγησαν σε ορισμένες περιπτώσεις σε εντατικοποίηση της αγροτικής παραγωγής, με τη μετατροπή των εκτάσεων σε δυναμικά καλλιεργούμενες, ενώ σε άλλες σε ευρείας έκτασης εγκατάλειψη των αγροτικών περιοχών και σε παύση της βόσκησης σε αυτές (Roeder et al., 2007; Hoft, 2010; Dover et al., 2010).

Οι εκτατικοί βοσκότοποι παραδοσιακά έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των ανθρώπινων κοινωνιών και της γης στην οποία κατοικούσαν, ιδιαίτερα στις περιοχές της Μεσογείου (Jouven et al., 2010). Οι εκτατικοί βοσκότοποι στη σημερινή εποχή λειτουργούν για την παραγωγή μιας σειράς από τρόφιμα ποιότητας (Boyazoglu and Morand-Fehr, 2001) και την παροχή ενός μεγάλου φάσματος περιβαλλοντικών υπηρεσιών. Η βόσκηση των ζώων ασκεί ισχυρή επίδραση στη βλάστηση όχι μόνο ως προς την ποσότητα και την ποιότητα της χλωρομάζας (Bailey et al 1998), αλλά και ως προς τη δυναμική της βλάστησης (Kramer et al. 2003), την ποικιλία των ειδών και των βιοκοινωνιών (Olff and Ritchie 1998, Sternberg et al. 2000) και, τέλος, το τοπίο (Adler et al. 2001). Συνολικά, η δραστηριότητα της βόσκησης συμβάλλει σημαντικά σε ένα ιδιαίτερα πλούσιο μωσαϊκό βλάστησης (Perevolotsky 2005) και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία και τη διατήρηση όλων των διαστάσεων της βιοποικιλότητας (Rook et al. 2004, Clergue et al. 2005).

Οι βοσκότοποι αποτέλεσαν θεμελιώδη φυσικό πόρο του αγροτικού χώρου στην Ελλάδα, υποστηρίζοντας την πλειονότητα των εκτρεφόμενων ζώων για χιλιετίες. Ο Καραντούνιας στο εγχειρίδιο, του τότε Υπουργείου Γεωργίας, με τίτλο «Βοσκότοποι και Βόσκησις Ζώων» (1958) αναφέρει ότι «Άπασα σχεδόν η έκτασις της χώρας χρησιμοποιείται δια βοσκήν των ζώων.» Εκτιμά δε τις εκτάσεις των κατά κύρια χρήση βοσκών «πεδινών και ορεινών μέτριων» εις 51.806 τετρ. χιλιόμετρα και των «πτωχών» εις 23.000 τετρ. χιλιόμετρα, δηλαδή συνολικά 56,4% του Ελληνικού χώρου. Τέλος υπολογίζει ότι «τα 75-80% των εις θρεπτικά στοιχεία αναγκών των ζώων μας καλύπτονται εκ της παραγωγής των βοσκών».

Σήμερα η χώρα μας είναι ελλειμματική σε προϊόντα ζωικής προέλευσης αλλά και σε ζωοτροφές. Εκτιμάται ότι εισάγονται κάθε χρόνο ζωικά προϊόντα και ζωοτροφές αξίας πάνω από 1,2 δις ευρώ. Το έλλειμμα μπορεί να μειωθεί σημαντικά με πλήρη αξιοποίηση και ορθολογική χρήση των διαθέσιμων βοσκήσιμων πόρων, καθόσον η ετήσια παραγωγή των βοσκοτόπων υπολογίζεται σε 6 έως 7 εκατομμύρια τόνους ξηράς ουσίας βοσκήσιμης ύλης, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί από αιγοπρόβατα και βοοειδή με απευθείας βόσκηση (Παπαναστάσης και Πήττας, 1984). Η παραγωγή αυτή ισοδυναμεί με 5 έως 5,5 εκατομμύρια τόνους σανού μηδικής ετησίως. Ο Ζέρβας με τους συνεργάτες του (2003) υπολόγισαν ότι η κτηνοτροφία της χώρας προσπορίζεται 18,5 εκατομμύρια Mj KEΓ από τη βόσκηση κάθε είδους έκτασης, όπου το ποσό αυτό αντιστοιχεί στις ετήσιες ανάγκες συντήρησης 8,5 εκατομμυρίων κεφαλών αιγών και προβάτων.

Η Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) στοχεύει στη ρύθμιση των οικονομικών ισορροπιών των διαφόρων κλάδων του Γεωργικού τομέα αλλά και στην κατεύθυνση της Γεωργικής Παραγωγής προς τις ανάγκες και τις επιδιώξεις της πλειονότητας των κατοίκων της, όμως έχει αναγνωρισθεί παράλληλα ως ισχυρός μοχλός αλλαγών της βιοποικιλότητας. Αν και περιέχονται αγρο-περιβαλλοντικές πολιτικές στην ΚΑΠ, είναι εμφανές ότι μέχρι τώρα οι πολιτικές αυτές έχουν φανεί αναποτελεσματικές στη διατήρηση μερικών από τις πιο αξιόλογες από άποψη βιοποικιλότητας γεωργικές περιοχές καθώς και στις γειτονικές τους φυσικές περιοχές (Kleijn and Sutherland, 2003; van Swaay et al., 2010). Το γεγονός αυτό αποδίδεται κυρίως στην αδυναμία στόχευσης που με τη σειρά της προκύπτει από την αδυναμία κατανόησης διαφόρων σχέσεων στον χώρο. Η οικονομική και περιβαλλοντική σημασία των εκτάσεων που βόσκονται αποτυπώνεται σήμερα στις πρόνοιες της νέας ΚΑΠ (2014-2020) της Ε.Ε. Όμως η ορθή διαχείριση των εκτάσεων αυτών απαιτεί τη χρήση των σύγχρονων «εργαλείων» που παρέχει η τεχνολογία, και ειδικότερα των λογισμικών διαχείρισης χώρου (GIS) και των εφαρμογών τηλεπισκόπησης.

Μεταβολές των αριθμών και της κατανομής του ζωικού κεφαλαίου στη χώρα

Για την αποτύπωση των μεταβολών της χωρικής κατανομής των βοσκόντων ζώων στην Ελλάδα έγινε χρήση Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος (Arc GIS) στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν τα διαχρονικά στοιχεία για τους πληθυσμούς των δυνητικά βοσκόντων αγροτικών ζώων (πρόβατα, αίγες και βοοειδή), κατά Δημοτικό Διαμέρισμα. Τα στοιχεία προήλθαν από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος ως αποτέλεσμα των απογραφών 1991, 1999 καθώς και της ετήσιας στατιστικής του 2008. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής πρωτογενή αρχεία της ΕΣΥΕ:

- Απογραφική έρευνα χρήσεων γης κατά Δημοτικό και Κοινοτικό διαμέρισμα έτους 1990/1991.
- Απογραφική έρευνα χρήσεων γης κατά Δημοτικό και Κοινοτικό διαμέρισμα έτους 1999/2000
- Απογραφική έρευνα χρήσεων γης κατά Δημοτικό και Κοινοτικό διαμέρισμα έτους 2008/2009 και
- Διοικητικές Μεταβολές από 1/1/2001 μέχρι 31/12/2007, λόγω των διοικητικών αλλαγών που επήλθαν στην ονοματολογία και την κατανομή των διαμερισμάτων εξ'

αιτίας της εφαρμογής του Σχεδίου Καποδίστριας (νόμος 2539/97 για τη «Συγκρότηση της Πρωτοβάθμιας Τοπικής Αυτοδιοίκησης»).

Πίνακας 1. Διαφοροποίηση του αριθμού κεφαλών και των εκμεταλλεύσεων βοοειδών εντός του Δημοτικού διαμερίσματος κατά τα διαστήματα 1991-1999 και 1999-2008, κατά κατηγορίες και ο αντίστοιχος αριθμός Δημοτικών διαμερισμάτων στο σύνολο της χώρας (στοιχεία ΕΣΥΕ).

		Δημοτικά διαμ/τα	Κεφαλές βοοειδών
Διάστημα (1991-1999)	Μείωση > 30 κεφαλές	1062	231415
	Μείωση 1 - 30 κεφαλές	1074	11097
	Μηδενική αλλαγή	1804	0
	Αύξηση 1-30 κεφαλές	722	7509
	Αύξηση > 30 κεφαλές	954	241963

Διάστημα (1999-2008)	Μείωση > 30 κεφαλές	1029	250144
	Μείωση 1 - 30 κεφαλές	837	8702
	Μηδενική αλλαγή	2041	0
	Αύξηση 1-30 κεφαλές	726	8011
	Αύξηση > 30 κεφαλές	983	256813

		Δημοτικά διαμ/τα	Εκμ/σεις βοοειδών
Διάστημα (1991-1999)	Μείωση > 10 εκμ/σεις	753	25335
	Μείωση 1 - 10 εκμ/σεις	1743	5932
	Μηδενική αλλαγή	2026	0
	Αύξηση 1-10 εκμ/σεις	939	2501
	Αύξηση > 10 εκμ/σεις	155	4745

Από τα αρχεία αυτά αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία για τους πληθυσμούς και τις εκμεταλλεύσεις βοοειδών, προβάτων και αιγών, τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν και έγιναν οι σχετικές συγκρίσεις οι οποίες αποτυπώθηκαν ως κλάσεις σε κατάλληλους χάρτες. Οι κλάσεις που επιλέχθηκαν ήταν για κάθε Δημοτικό Διαμέρισμα για τα βοοειδή 1 έως 30 κεφαλές ή > 30 κεφαλές καθώς και 1-10 εκμεταλλεύσεις ή > 10 εκμεταλλεύσεις. Αντίστοιχα για τα πρόβατα και τις αίγες οι κλάσεις για τις διαφορές των κεφαλών αντιστοιχούσαν σε 1 έως 400 ή > 400 καθώς και για τις εκμεταλλεύσεις 1 έως 10 ή > 10.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το σύνολο της χώρας παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 & 2. Γίνεται εμφανές ότι τα Δημοτικά Διαμερίσματα που είχαν μείωση του αριθμού των βοοειδών ήταν αρκετά περισσότερα αυτών που σημείωσαν αύξηση (2136

έναντι 1676 κατά το διάστημα 1991-1999 και 1866 έναντι 1709 κατά το διάστημα 1999-2008) και την ίδια τάση ακολουθούν οι εκμεταλλεύσεις με βοοειδή. Παρόμοια είναι η εξέλιξη για τα πρόβατα όπου τα Δημοτικά Διαμερίσματα που είχαν μείωση του αριθμού των προβάτων ήταν πολύ περισσότερα αυτών που σημείωσαν αύξηση (3223 έναντι 2265 κατά το διάστημα 1991-1999 και 3045 έναντι 2369 κατά το διάστημα 1999-2008) ενώ έντονη ήταν και η μείωση του αριθμού των εκμεταλλεύσεων. Για τις αίγες όμως το πρώτο διάστημα επικράτησαν τα Διαμερίσματα με μείωση του αριθμού κεφαλών ενώ στο δεύτερο διάστημα παρατηρήθηκε μεγαλύτερος αριθμός με αύξηση (3317 έναντι 2197 κατά το διάστημα 1991-1999 και 2548 έναντι 2903 κατά το διάστημα 1999-2008) αν και ως προς τον αριθμό των εκμεταλλεύσεων η πορεία ήταν πτωτική.

Πίνακας 2. Διαφοροποίηση του αριθμού κεφαλών και των εκμεταλλεύσεων προβάτων και αιγών εντός του Δημοτικού διαμερίσματος κατά τα διαστήματα 1991-1999 και 1999-2008, κατά κατηγορίες και ο αντίστοιχος αριθμός Δημοτικών διαμερισμάτων στο σύνολο της χώρας (στοιχεία ΕΣΥΕ).

		Δημοτικά διαμ/τα	Κεφαλές προβάτων	Δημοτικά διαμ/τα	Κεφαλές αιγών
Διάστημα (1991-1999)	Μείωση > 400 κεφαλές	1739	3455129	1421	2286761
	Μείωση 1 - 400 κεφαλές	1484	232042	1896	255977
	Μηδενική αλλαγή	127	0	102	0
	Αύξηση 1-400 κεφαλές	1006	154725	1207	156359
	Αύξηση > 400 κεφαλές	1259	3869261	990	2484070
Διάστημα (1999-2008)	Μείωση > 400 κεφαλές	1673	2862237	1067	2155559
	Μείωση 1 - 400 κεφαλές	1372	163281	1481	186884
	Μηδενική αλλαγή	163	0	155	0
	Αύξηση 1-400 κεφαλές	1098	206677	1642	216884
	Αύξηση > 400 κεφαλές	1271	3776856	1261	2378153
		Δημοτικά διαμ/τα	Εκμ/σεις προβάτων	Δημοτικά διαμ/τα	Εκμ/σεις αιγών
Διάστημα (1991-1999)	Μείωση > 10 εκμ/σεις	1881	74835	2445	103802
	Μείωση 1 - 10 εκμ/σεις	1746	8100	1408	7087
	Μηδενική αλλαγή	322	0	228	0
	Αύξηση 1-10 εκμ/σεις	943	3940	796	3396
	Αύξηση > 10 εκμ/σεις	724	42210	739	45400

Εκτίμηση των αδρών μεταβολών της φυτοκάλυψης, από τη δραστηριότητα των ζώων σε βοσκόμενο οικοσύστημα.

Σκοπός της μελέτης ήταν η διαπίστωση των μεταβολών στην κάλυψη της γης της έκτασης 2 ημιορεινών κοινοτήτων, (Δαμάσι και Βλαχογιάννι στον Νομό Λάρισας), μεταξύ των ετών 1960 και 2000 και ειδικότερα των εκτάσεων με φυσική ποώδη και θαμνώδη βλάστηση που αποτελούν τους βοσκοτόπους των κοινοτήτων αυτών. Οι κοινότητες αυτές είναι κατά κύριο λόγο κτηνοτροφικές με σημαντικό αριθμό βοσκόντων ζώων που διαχρονικά αξιοποιούν τις εκτάσεις των βοσκοτόπων.

Για την υλοποίηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία:

- 22 ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες, διαστάσεων 23x23cm ,που απεικονίζουν την εδαφική περιοχή των κοινοτήτων Βλαχογιάννι και Δαμάσι του νομού Λάρισας σε 3 συνεχόμενες δεκαετίες. Συγκεκριμένα 5 από αυτές έχουν ληφθεί το 1960, 7 το έτος 1969 και τέλος 10 λήφθηκαν το 1980 (πηγή: Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, Τμήμα Χορήγησης Δεδομένων).
- 34 δορυφορικές εικόνες, σε ψηφιακή μορφή αρχείου .TIFF. που καλύπτουν τις κοινότητες Βλαχογιάννι και Δαμάσι του νομού Λάρισας το έτος 2000. Κάθε μία από αυτές καλύπτει έκταση περίπου 4250×3250 μέτρων (πηγή: Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών).
- Σε ψηφιακή μορφή αρχείων .SHAPEFILE διατέθηκαν α) τα όρια του νομού Λάρισας και β) τα όρια των δύο κοινοτήτων (πηγή: Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών).
- Με τη χρήση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS) δημιουργήθηκαν χάρτες χρήσης/κάλυψης γης, από 4 σειρές αεροφωτογραφιών (1960, 1969, 1980, 2000). Οι αεροφωτογραφίες διορθώθηκαν γεωμετρικά, ενώθηκαν και τελικά σχηματίστηκαν τα φωτομωσαϊκά, για κάθε δεκαετία. Κάθε φωτομωσαϊκό, με τη σειρά του, ερμηνεύθηκε με τα κριτήρια του συστήματος κατάταξης CORINE.
- Στατιστικά στοιχεία που αφορούν στον πληθυσμό των διαφορετικών ειδών ζώων που δυνητικά αξιοποιούν τους βοσκοτόπους και εκτρέφονται στις εν λόγω κοινότητες (πρόβατα, αίγες, βοοειδή), από το 1960 έως και το 2000, συλλέχθηκαν από τη Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης Λάρισας.

Για τους σκοπούς της μελέτης καταγράφηκαν χωριστά οι εκτάσεις με ποώδη φυσική βλάστηση, οι εκτάσεις με ξυλώδη σκληροφυλλική βλάστηση (θαμνώδης) και οι υπόλοιπες κατηγορίες εδαφικής κάλυψης συνολικά. Οι εκτάσεις οι οποίες σε ένα ή

περισσότερα από τα έτη σύγκρισης καλύπτονταν με νέφη ή δεν διακρίνονταν η εδαφοκάλυψή τους εξαιρέθηκαν από τη διαχρονική σύγκριση και εμφανίζονται στους πίνακες ως «έκταση που δεν συγκρίθηκε».

Η χρήση διαδοχικών σειρών χωρικών δεδομένων (είτε σε αναλογική, είτε σε ψηφιακή μορφή) έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τον εντοπισμό των αλλαγών στις χρήσεις γης (Mas, 1999; Bender et al., 2005). Τα αριθμητικά αποτελέσματα των συγκρίσεων της παρούσας μελέτης παρουσιάζονται στους Πίνακες 3 και 4 ως ποσοτικά δεδομένα και ως ποσοστά. Η συνολική επιφάνεια της υπό μελέτη περιοχής ήταν 184.826 στρέμματα.

Σε απογραφή του έτους 2000 της Διεύθυνσης Αγροτικής Ανάπτυξης Ν. Λάρισας, η έκταση των φυσικών βοσκοτόπων των δύο υπό μελέτη κοινοτήτων καταγράφηκε ως 134.752 στρέμματα συνολικά, ενώ στοιχεία για την έκταση των διαφόρων τύπων βλάστησης δεν υπάρχουν. Στη εικόνα του 2000 η έκταση των φυσικών βοσκοτόπων υπολογίστηκε σε 123.972 στρέμματα. Γίνεται αντιληπτό ότι μεταξύ του πραγματικού δεδομένου (134.752 στρέμματα) και του ερευνητικού αποτελέσματος (123.972 στρέμματα) υπάρχει διαφορά 10.780 στρεμμάτων (ή απόκλιση της τάξης του 8%). Όμως η «έκταση που δεν συγκρίθηκε» για το έτος 2000 καλύπτει επιφάνεια 8.868 στρεμμάτων για την οποία δεν παρατίθεται καμία πληροφορία. Επομένως μπορούμε εύλογα να θεωρήσουμε ότι η πραγματική απόκλιση είναι αρκετά μικρότερη (κατ' ελάχιστο 1972 στρέμματα ή 1,5%) και ως αποτέλεσμα πολύ θετικό.

Γίνεται φανερό ότι οι εκτάσεις με σκληροφυλλική και ποώδη βλάστηση αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης των δύο κοινοτήτων αθροίζοντας από 128.390 έως 130.390 στρέμματα μεταξύ των ετών 1960 και 1980 ενώ το έτος 2000 μειώνονται σημαντικά (κατά τουλάχιστον 4500 στρέμματα) φθάνοντας τα 123.872 στρέμματα. Επιπλέον παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση της συμμετοχής του κάθε είδους έκτασης στο σύνολο με τη γενικότερη τάση της αύξησης της «σκληροφυλλικής βλάστησης» με την πάροδο των ετών (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Οι εκτάσεις σε στρέμματα των κυριότερων κατηγοριών εδαφοκάλυψης στην εδαφική περιοχή των κοινοτήτων Δαμασίου και Βλαχογιαννίου του Ν. Λάρισας όπως προσδιορίστηκαν για τα έτη 1960, 1970, 1980 και 2000.

Κατηγορίες εδαφοκάλυψης	Έτος 1960	Έτος 1970	Έτος 1980	Έτος 2000
Σκληροφυλλική βλάστηση	61278	65347	89643	71595
Ποώδης βλάστηση	68052	65045	38746	52277
Λοιπές κατηγορίες επιφάνειας	46628	45567	47570	52086
Έκταση που δεν συγκρίθηκε	8868	8868	8868	8868
ΣΥΝΟΛΟ	184826	184827	184827	184826

Πίνακας 4. Οι αναλογίες (%) των κυριότερων κατηγοριών εδαφοκάλυψης στην εδαφική περιοχή των κοινοτήτων Δαμασίου και Βλαχογιαννίου του Ν. Λάρισας όπως προσδιορίστηκαν για τα έτη 1960, 1970, 1980 και 2000.

Κατηγορίες εδαφοκάλυψης	Έτος 1960	Έτος 1970	Έτος 1980	Έτος 2000
Σκληροφυλλική βλάστηση	33,2%	35,4%	48,5%	38,7%
Ποώδης βλάστηση	36,8%	35,2%	21,0%	28,3%
Λοιπές κατηγορίες επιφάνειας	25,2%	24,7%	25,7%	28,2%
Έκταση που δεν συγκρίθηκε	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
ΣΥΝΟΛΟ	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Τα στοιχεία που αφορούν στον συνολικό πληθυσμό των διαφορετικών ειδών ζώων που δυνητικά αξιοποιούν τους βοσκοτόπους και εκτρέφονται στις εν λόγω κοινότητες (πρόβατα, αίγες, βοοειδή), από το 1960 έως και το 2000 παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 ως ζωϊκές μονάδες (ΖΜ), ενώ στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται τα στοιχεία των αντίστοιχων πληθυσμών σε ΖΜ που είναι μετακινούμενοι δηλαδή εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη βόσκηση.

Πίνακας 5. Συνολικός πληθυσμός (ΖΜ) των φυτοφάγων αγροτικών ζώων (πρόβατα, αίγες, βοοειδή) στην περιοχή των κοινοτήτων Δαμασίου και Βλαχογιαννίου του Ν. Λάρισας κατά τα έτη 1960, 1970, 1980 και 2000.

	Έτος 1960	Έτος 1970	Έτος 1980	Έτος 2000
Σύνολο ΖΜ προβάτων	9.900,0	9.200,0	9.300,0	6.615,2
Σύνολο ΖΜ αιγών	3.860,0	3.550,0	3.390,0	3.896,4
Σύνολο ΖΜ βοοειδών	3.300,0	2.900,0	2.600,0	2.603,0
ΣΥΝΟΛΟ ΖΜ	17.060,0	15.650,0	15.290,0	13.114,6

Πίνακας 6. Πληθυσμός (ΖΜ) των μετακινούμενων αγροτικών ζώων (πρόβατα, αίγες, βοοειδή) στην περιοχή των κοινοτήτων Δαμασίου και Βλαχογιαννίου του Ν. Λάρισας κατά τα έτη 1960, 1970, 1980 και 2000.

	Έτος 1960	Έτος 1970	Έτος 1980	Έτος 2000
Σύνολο ΖΜ μετακ. προβάτων	6.100,0	5.800,0	6.300,0	3.810,0
Σύνολο ΖΜ μετακ. αιγών	2.450,0	2.230,0	1.560,0	2.052,0
Σύνολο ΖΜ μετακ. βοοειδών	850,0	650,0	540,0	340,0
ΣΥΝΟΛΟ ΖΜ	9.400,0	8.680,0	8.400,0	6.202,0

Παρατηρήθηκε γενικότερα μείωση των εκτρεφόμενων ΖΜ καθώς και εκείνων που είναι μετακινούμενα στο διάστημα της μελέτης. Βέβαια η μείωση δεν ήταν ομοιόμορφη μεταξύ των ετών και μεταξύ των ειδών ζώων με συνέπεια μεταξύ των ετών 1970 και 1980 να σημειώνονται μικρές διαφορές στο σύνολο των ΖΜ αλλά και στα μετακινούμενα σε αντίθεση με το διάστημα 1960-1970 και εκείνο του 1980-2000 όπου σημειώθηκαν μειώσεις κατά περίπου 2000 ΖΜ αντίστοιχα. Οι μειώσεις αυτές δεν αφορούσαν τον πληθυσμό των αιγών που παρέμεινε σχετικά σταθερός.

Τις τελευταίες δεκαετίες κυριάρχησε στον χώρο της κτηνοτροφίας η τάση δημιουργίας μεσαίων και μεγάλων εκμεταλλεύσεων ενσταβλισμένης εντατικής μορφής και υψηλής παραγωγικότητας για την αξιοποίηση των διατιθέμενων στο εμπόριο χονδροειδών και συμπυκνωμένων τροφών. Κατά το σύστημα αυτό τα φυτοφάγα ζώα δεν εξαρτώνται για τη διατροφή τους από τις βοσκές αλλά παραμένουν στους χώρους σταβλισμού όπου τους χορηγούνται σιτηρέσια συγκομιζόμενων συμπυκνωμένων και χονδροειδών ζωοτροφών (Zervas, 1998; Hadjigeorgiou, 2011).

Ο λόγος που επικεντρώνουμε το ενδιαφέρον μας στο ζωικό κεφάλαιο είναι ότι η άσκηση βόσκησης είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επιδρά στη βλάστηση των εκτάσεων που βόσκονται και προκαλεί μακροχρόνιες και βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις αυτής (Gordon et al., 2004). Εκτός όμως από το συνολικό αριθμό των εκτρεφόμενων ζώων σε μία περιοχή, έχει σημασία η παραγωγικότητα των ζώων, το σύστημα διατροφής (εκτατικό, ημιεκτατικό, εντατικό) με τις αντίστοιχες διαφοροποιήσεις στις χρησιμοποιούμενες εισκομιζόμενες ζωοτροφές, η εποχή και η διάρκεια βόσκησης και οι αβιοτικοί παράγοντες που χαρακτηρίζουν την περιοχή (έδαφος και κλίμα).

Η βλάστηση των βοσκοτόπων δεν παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια του χρόνου, αλλά εμφανίζει διακυμάνσεις συνεχώς. Οι μεταβολές αυτές αφορούν και τη σύνθεση της φυτοκάλυψης, είναι δε μεγάλης σημασίας, καθώς έχουν επιπτώσεις στην ποσότητα και στην ποιότητα της διαθέσιμης βοσκήσιμης ύλης και στον τρόπο μεταχείρισης των ζώων όσο και στον καθορισμό της ενδεδειγμένης φορτίσεως των βοσκοτόπων κατά χρόνο και χώρο. Κατ' αυτή την έννοια συνιστούν τεράστιο πρόβλημα για τον διαχειριστή των βοσκοτόπων, επειδή δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί το μέγεθός τους με τις κλασσικές τεχνικές.

Σε αυτή την αδυναμία υπολογισμού των ποιοτικών μεταβολών των βοσκοτόπων, τη λύση έρχεται να δώσει η χαρτογράφηση της περιοχής με την ταυτόχρονη παραγωγή θεματικών χαρτών. Το βασικό πλεονέκτημα από τη χρήση των διαχρονικών

αναλύσεων είναι το αυξανόμενο ποσό πληροφόρησης για την περιοχή μελέτης. Η χρήση των διαχρονικών εικόνων έχει αναγνωριστεί σαν ένα σημαντικό εργαλείο στη φωτοερμηνεία (Arnon et al., 2007).

Τα προβλήματα της εκτατικής και εντατικής γεωργίας όπως αυτή εφαρμόζεται σήμερα συνοψίζονται στο υψηλό κόστος παραγωγής, την υποβαθμισμένη ποιότητα γεωργικών προϊόντων, την υπερβολική χρήση εισροών και τις άκαιρες και υπερβολικές επεμβάσεις, με τις γνωστές περιβαλλοντικές συνέπειες. Τα προβλήματα αυτά σε συνδυασμό με τη μεγάλη χωρική παραλλακτικότητα των εδαφών και την άγνοια των παραγωγών για τις δυνατότητες των νέων τεχνολογιών, δημιουργούν την ανάγκη δημιουργίας μηχανισμών μεταφοράς και προσαρμογής της υψηλής τεχνολογίας (διαστημική, πληροφορική, ηλεκτρονική, μηχανική, ρομποτική) σε παραδοσιακούς κλάδους της γεωργικής βιομηχανίας και την προώθηση σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης με τη «Γεωργία ακριβείας».

Βιβλιογραφία

- Adler P.B., Raff D.A., Lauenroth W.K. (2001). The effect of grazing on the spatial heterogeneity of vegetation. *Oecologia*, 128 (4): 465-479
- Arnon, A.I., Ungar, E.D., Svoray, T., Shachak, M., Blankman, J., Perevolotsky, A. (2007). The application of remote sensing to study shrub-herbaceous relations at a high spatial resolution. *Israel Journal of Plant Sciences*, 55 (1), pp. 73-82.
- Bailey, DW, B Dumont, and MF WallisDeVries. (1998). Utilization of heterogeneous grasslands by domestic herbivores: Theory to management. *Animal Research*, 47 (5-6): 321-333.
- Bakker E.S., Ritchie M.E., Olff H., Milchunas D.G., Knops J.M.H. (2006). Herbivore impact on grassland plant diversity depends on habitat productivity and herbivore size. *Ecology Letters*, 9 (7): 780-788.
- Balent G., Alard D., Blanfort V., Gibon A. (1998). Grazing systems, landscape patterns and biodiversity. *Annales De Zootechnie*, 47 (5-6): 419-429
- Beaufoy G., Baldock D., Clark J., (1994). The Nature of Farming. Low intensity farming systems in nine European countries. IEEP publication, (ISBN 1-873906-01-3).
- de Bello F., Lavorel S., Gerhold P., Reier U., Partel M. (2010). A biodiversity monitoring framework for practical conservation of grasslands and shrublands. *Biological Conservation* 143: 9–17.
- Bender O., Boehmer H.J., Jens D., Schumacher K.P. (2005). Analysis of land-use change in a sector of Upper Franconia (Bavaria, Germany) since 1850 using land register records. *Landscape Ecology*, 20 (2) : 149-163
- Boyazoglu, J and P Morand-Fehr. (2001). Mediterranean dairy sheep and goat products and their quality. A critical review. *Small Ruminant Research*, 40: 1-11.

- Dover, J.W., Spencer, S., Collins, S., Hadjigeorgiou, I., Rescia, A. (2010). Grassland butterflies and low intensity farming in Europe. *Journal of Insect Conservation*, pp. 1-9. (in Press).
- E.E.A. (European Environment Agency, 2000). CORINE land cover technical guide- Addendum 2000. Bossard M., Feranec J., Otahel J.
- ERDAS® IMAGINE: Field Guide. (1997). Fourth Edition. ERDAS®, Inc. Atlanta, Georgia. Smith C., Brown N.
- Gordon I.J., Hester A.J., Festa-Bianchet M. (2004). The management of wild large herbivores to meet economic, conservation and environmental objectives. *Journal of Applied Ecology*, 41(6): 1021-1031
- Grice A.C. and Martin T.G. (2006). Rangelands, weeds and biodiversity. *Rangeland Journal*, 28 (1): 1-2.
- Hadjigeorgiou I., Osoro K., J.P., de Almeida F., Molle G. (2005). Southern European grazing lands: Production, environmental and landscape management aspects. *Livestock Production Science* 96: 51–59.
- Hadjigeorgiou, I. (2011). Past, present and future of pastoralism in Greece. Available online: <http://www.pastoralismjournal.com/content/1/1/24>.
- Jouven, M, P Lapeyronie, C-H Moulin and F Bocquier. (2010). Rangeland utilization in Mediterranean farming systems. *Animal*, 4 (10): 1746-1757.
- Hoft A., Muller J., Gerowitt B. (2010). Vegetation indicators for grazing activities on grassland to be implemented in outcome oriented agrienvironmental payment schemes in North East Germany. *Ecological Indicators* 10: 719–726.
- Kleijn D. and Sutherland W.J. (2003). How effective are European agri-environment schemes in conserving and promoting biodiversity? *Journal Of Applied Ecology*, 40 (6) : 947-969
- MacDonald, D., Crabtree, JR., Wiesinger, G., Dax, T., Stamou, N., Fleury, P., Lazpita, JG., Gibon, A. (2000). Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *Journal of Environmental Management*, 59:47-69.
- Mas, J.F., (1999). Monitoring land cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 20 (1): 139-152.
- M.E.A. (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC. <<http://www.maweb.org/en/index.aspx>>.
- Oloff, H and ME Ritchie. (1998). Effects of herbivores on grassland plant diversity. *Trends in Ecology and Evolution*, 13 (7): 261-265.
- Papanastasis V., (2009). Restoration of Degraded Grazing Lands through Grazing Management: Can It Work? Editorial Opinion. *Restoration Ecology*. Vol. 17, No. 4, pp. 441–445
- Papworth S.K., Rist J., Coad L., Milner-Gulland E.J. (2009). Evidence for shifting baseline syndrome in conservation. *Conservation Letters*, 2:93-100.
- Perevolotsky, A. (2005). Integrating landscape ecology in the conservation of Mediterranean ecosystems: The Israeli experience. *Israel Journal of Plant Sciences*, 53 (3-4), pp. 203-213.

- Plieninger T., Hocht F., Spek T. (2006). Traditional land-use and nature conservation in European rural landscapes. *Environment Science Policy*, 9:317-321.
- Reidsma P., Tekelenburg T., van den Berg M., Alkemade R. (2006). Impacts of land-use change on biodiversity: An assessment of agricultural biodiversity in the European Union. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 114 (1): 86-102.
- Roeder, N., Hennessy, T., Stilmant, D. (2007). Impact of the CAP-reform of 2003 on the use of pastoral land in Europe; In de Vliegheer A. and Carlier A. (eds.): *Permanent and Temporary Grassland - Plant, Environment and Economy*; Grassland Science in Europe; Vol. 12, pp. 445-462.
- Rook A.J., Dumont B., Isselstein J., Osoro K., WallisDeVries M.F, Parente G., Mills J. (2004). Matching type of livestock to desired biodiversity outcomes in pastures-a review. *Biological Conservation* 119: 137–150.
- Sternberg, M, Gutman, M., Perevolotsky, A., Ungar, ED., Kigel, J. (2000). Vegetation response to grazing management in a Mediterranean herbaceous community: A functional group approach. *Journal of Applied Ecology* 37: 224-237.
- Stoate C., Baldi A., Beja P., Boatman N.D., Herzon I., van Doorn A., de Snoo G.R., Rakosy L., Ramwell C. (2009). Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe - A review. *Environmental Management*, 91:22-46.
- van Swaay C., Cuttelod A., Collins S., Maes D., Munguira M.L., Ššić M., Verovnik R., Verstrael T., Warren M.S., Wiemers M., Wynhoff I. (2010). European red list of butterflies. *Publications Office of the European Union*, Luxembourg.
- van Wieren, S.E., Bakker, JP. (2008). The Impact of Browsing and Grazing Herbivores on Biodiversity. In: I.J. Gordon and H.H.T. Prins (eds) *The Ecology of Browsing and Grazing*, Ecological Studies Volume 195, 2008, pp 263-292
- Zervas, G., (1998). Quantifying and optimizing grazing regimes in Greek mountain systems. *Journal of Applied Ecology*, 35: 983-986.

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΥ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ, ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ,
ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ, ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟ ΚΑΙ
ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑΣ**

Δούκας Ιωάννης¹, Ντάσιου Κωνσταντίνα^{2*}, Παπαδόπουλος Ιάκωβος³

¹Καθηγητής Γεωδαισίας και Γεωματικής, Τμ. Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ,
Θεσσαλονίκη, e-mail: jdoukas@civil.auth.gr

²Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός, Δρ. Τμ. Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, Νέο
Περιβόλι Λάρισα TK41500, e-mail: kntassiou@gmail.com

³Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος Α.Π.Θ., Μεταπτυχιακό Βιολογίας Α.Π.Θ.,
Διεύθυνση Δασών Νομού Χαλκιδικής, Πολύγυρος, Δασικό Κτίριο - 63100
Πολύγυρος
e-mail: iakwvospap@gmail.com

Περίληψη

Σε μια εποχή ενεργειακής και οικονομικής κρίσης, όπως είναι αυτή που διανύουμε, είναι επιτακτική η ανάγκη για την αξιοποίηση των υπαρχόντων πόρων και την ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων που στηρίζονται στις αρχές της πράσινης ενέργειας. Μια δραστηριότητα αυτού του είδους, με ιστορικές καταβολές πολλών αιώνων, είναι η μετακινούμενη κτηνοτροφία. Στην παρούσα εργασία επιδιώκεται η ανάδειξη αυτής της παραδοσιακής δραστηριότητας αλλά και του τρόπου με τον οποίο εξελίσσεται αυτή στον χώρο, με τη συμβολή σύγχρονων εργαλείων της τεχνολογίας, όπως είναι τα γεωπληροφορικά συστήματα. Συγκεκριμένα, προτείνεται μια διαδικτυακή εφαρμογή Web-GIS, βασισμένη στο λογισμικό ArcGIS™, σε ένα περιβάλλον όπου μπορούν να έχουν πρόσβαση πολλοί χρήστες, χωρίς να είναι απαραίτητη η ανάλογη τεχνογνωσία σχετικά με τα εμπλεκόμενα λογισμικά. Μέσω της εν λόγω διαδικασίας χαρτογραφικής απεικόνισης για τη βέλτιστη διάθεση της πληροφορίας, αξιοποιούνται πηγές χαρτογραφικών δεδομένων και δημιουργείται ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον συλλογής, επεξεργασίας, διάθεσης, αξιοποίησης και απόδοσης της χωρικής πληροφορίας.

Λέξεις κλειδιά: Μετακινούμενη κτηνοτροφία, Διαδικτυακά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Web-GIS), διαδρομές κοπαδιών, αειφορία.

Εισαγωγή

Η μετακινούμενη κτηνοτροφία είναι ένα σύστημα εκτροφής αιγοπροβάτων και βοοειδών, διαδεδομένο τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες της μεσογειακής Ευρώπης. Αποτελεί περίπτωση της λεγόμενης «εκτατικής κτηνοτροφίας», δηλαδή εκείνης που στηρίζεται στην υπαίθρια βόσκηση των ζώων και στην αξιοποίηση των

φυσικών βοσκότοπων (Λάγκα κ.α., 2003). Ουσιαστικά, εξυπηρετεί την εξεύρεση τροφής για τα κοπάδια και την προστασία τους από τις δυσμενείς εποχιακές μετεωρολογικές συνθήκες, όπως π.χ. είναι το βαρύ ψύχος του χειμώνα, για τα ορεινά βοσκοτόπια και αντίστοιχα, οι υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού, για τα πεδινά βοσκοτόπια (Ispikoudis I., Soliou M.K., and Papanastasis V.P., 2002). Οι εποχικές μετακινήσεις κοπαδιών και ανθρώπων που πραγματοποιούνται στα πλαίσια αυτής της τακτικής έχουν ιστορικό και παραδοσιακό χαρακτήρα, οι δε αντίστοιχες διαδρομές ακολουθούνται ‘με τα πόδια’ από πολλά κοπάδια ακόμη και σήμερα. Από το παρελθόν ήδη, οι διαδρομές και οι θέσεις διανυκτέρευσης ή ανάπαυλας, που είναι γνωστές ως *κονάκια*, καθοριζόταν και από τις ανάγκες του κοπαδιού αλλά και από τους νόμους της φύσης, περιγράφουν δε την προκαθορισμένη διαδρομή που ακολουθούνταν από τους κτηνοτροφικούς πληθυσμούς στον χώρο (Ντάσιου, 2014).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση της ανάπτυξης ενός GIS εργαλείου, το οποίο αναδεικνύει τις διαδρομές που ακολουθούν εποχικά μετακινούμενα κοπάδια αιγοπροβάτων. Ως «πειραματικοί χώροι» (δηλ. ως περιοχή μελέτης), επιλέχθηκαν αφενός ένας ορεινός οικισμός της Νοτιοδυτικής Μακεδονίας και αφετέρου η περιοχή διαχείμησης της Θεσσαλίας, μεταξύ των οποίων πραγματοποιούνται οι μετακινήσεις την άνοιξη και το φθινόπωρο. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε ο οικισμός *Περιβόλι* της σημερινής Περιφερειακής Ενότητας Γρεβενών, από τον οποίο ξεκινούν τα εποχικά μετακινούμενα κοπάδια και οι κτηνοτρόφοι στις αρχές του φθινοπώρου, με σκοπό να καταλήξουν σε διαφορετικούς τόπους διαχείμησης της Θεσσαλίας, τόσο στην πεδιάδα του Τιταρήσιου ποταμού όσο και στην πεδιάδα του Πηνειού ποταμού. Οι τόποι αυτοί είναι γνωστοί ως *χειμαδιά* και δεν είναι κοινοί για το σύνολο του κτηνοτροφικού πληθυσμού του Περιβολίου. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν ως προορισμοί δύο οικισμοί – *χειμαδιά*, προς τα οποία πραγματοποιούνταν οι εποχικές μετακινήσεις με την παραδοσιακή μέθοδο (με τα πόδια) μέχρι το πρόσφατο παρελθόν (δεκαετία 1980) ή και μέχρι σήμερα. Πρόκειται για τους οικισμούς *Αργυροπούλι* της πεδιάδας του Τιταρήσιου και *Βελεστίνο* της ανατολικής πεδιάδας του Πηνειού, αντίστοιχα.

Μεταξύ αυτών των γεωγραφικών περιοχών (Δυτική Μακεδονία – Θεσσαλία) πραγματοποιούνται οι εποχικές μετακινήσεις των κοπαδιών, ακολουθώντας διαδρομές και τακτικές με τις οποίες εξασφαλίζεται αφενός μεν η αποδοτική βόσκηση για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών των ζώων και η ασφαλής μεταφορά στον αντίστοιχο προορισμό, αφετέρου δε η αξιοποίηση της διαθέσιμης φυσικής βλάστησης.

Η χάραξη της κάθε πορείας και οι κατάλληλες θέσεις για κονάκι συνθέτουν τον ιδιότυπο χαρακτήρα αυτής της παραδοσιακής δραστηριότητας. Είναι ευνόητο πως η χαρτογραφική τους απεικόνιση σε ένα διαδικτυακό περιβάλλον άμεσα προσβάσιμο από τους ενδιαφερόμενους δημιουργεί πολύ πιο ευοίωνες προοπτικές για τη διατήρηση και εξέλιξή της.

Υλικά και Μέθοδοι

Χωρικά και περιγραφικά δεδομένα

Τα χωρικά και περιγραφικά δεδομένα που σχετίζονται με τις εποχικές μετακινήσεις των κοπαδιών στην περιοχή μελέτης (π.χ. χαρτογραφικό υλικό, διαδρομές, κονάκια, οικισμοί κ.λπ.), αντλήθηκαν από κατάλληλα διαμορφωμένη και ενημερωμένη γεωβάση (geo-database), η οποία αφορά μια ευρύτερη περιοχή μελέτης και η οποία οργανώθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGis10™ (Ντάσιου, 2014).

Συγκεκριμένα οι διαδρομές και τα κονάκια που είναι αποθηκευμένα στην εν λόγω γεωβάση, έχουν καταγραφεί μέσα από τις μαρτυρίες κτηνοτρόφων που βίωσαν συστηματικά την παραδοσιακή διαδικασία της μετακίνησης ή εξακολουθούν να την πραγματοποιούν και σήμερα. Οι λεπτομερείς περιγραφές της κάθε πορείας και των τοπωνυμίων όπου πραγματοποιούνταν η διανυκτέρευση έδωσαν τα στοιχεία χάραξής τους στο γεωγραφικό χώρο. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν οι περιγραφές των διαδρομών από εκείνους τους κτηνοτρόφους του Περιβολίου που διαχειμάζουν στο Αργυροπούλι και το Βελεστίνο.

Η ψηφιοποίηση των γραμμικών και σημειακών οντοτήτων (διαδρομές και κονάκια αντίστοιχα), οι οποίες αποδίδουν τις εποχικές μετακινήσεις των κοπαδιών του Περιβολίου, πραγματοποιήθηκε στο ArcMap™ και σε χαρτογραφικό υπόβαθρο που ορίζεται από 14 χάρτες του αμερικανικού στρατού (περιόδου 1953-1955). Χαρακτηριστικά αυτής της σειράς χαρτών είναι: (α). Η ευκρίνεια δρόμων και μονοπατιών, τόσο της περιόδου στην οποία αναφέρονται (αεροφωτογραφήσεις του 1945), όσο και προγενέστερων χρόνων (β). Τα αναλυτικά τοπωνύμια τα οποία συχνά συμπίπτουν με καταγεγραμμένες τοποθεσίες των κονακίων.

Η χάραξη της διαδρομής Περιβόλι – Αργυροπούλι έγινε με υψηλή ακρίβεια, καθώς ακολουθήθηκε ένα κοπάδι κατά τη φθινοπωρινή μετάβασή του στο Αργυροπούλι. Κατά την παρακολούθηση της πορείας έγινε καταγραφή των θέσεων από τις οποίες διέρχεται το κοπάδι και των αντίστοιχων κονακίων, με τη βοήθεια του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS) και με σχετική συσκευή της

GARMIN (της σειράς eTrex), για τη λήψη των αντίστοιχων συντεταγμένων. Επίσης, λήφθηκε φωτογραφικό υλικό σε χαρακτηριστικά σημεία της διαδρομής, ώστε να αποτυπωθούν οι λεπτομέρειες της παραδοσιακής διαδρομής που την τοποθετούν στο σύγχρονο γεωγραφικό χώρο.

Δημιουργία του διαδικτυακού γεωπληροφοριακού συστήματος

Τα Διαδικτυακά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (*Web-GIS*, *Web-ΓΣΠ*) στην απλούστερή τους μορφή αποτελούν δομημένα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (*ΓΣΠ* ή *GIS*) που καθίστανται διαθέσιμα μέσω διαδικτυακών υπηρεσιών, κατόπιν επικοινωνίας μεταξύ συγκεκριμένου και ορισμένου δικτυακού Διακομιστή (*server*) και του εκάστοτε αιτούντα χρήστη (*client*). Σε γενικές γραμμές, η λειτουργία των *Web-ΓΣΠ* βασίζεται στην εξής δομή (Fu, P. and Sun, J., 2010):

- Καθορισμός Ενιαίου Εντοπιστή Πόρου (διεύθυνση *URL*) του Δικτυακού Διακομιστή (*server*) που παρέχει τη διαθέσιμη πληροφορία στους ενδιαφερομένους χρήστες (*clients*).
- Ο εκάστοτε χρήστης βασίζεται σε προδιαγραφές πρωτοκόλλων *HTTP* για να αιτηθεί τις πληροφορίες από τον Διακομιστή.
- Ακολούθως ο Διακομιστής επεξεργάζεται τα αιτούμενα δεδομένα και στοιχεία του διαθέσιμου *ΓΣΠ* και ανταποκρίνεται στον ενδιαφερόμενο μέσω επίσης πρωτοκόλλων *HTTP*.
- Η μορφή των διακινούμενων δεδομένων δύναται να έχει διαφορετική κωδικοποίηση (*HTML*, *XML*, *JSON*, κ.λπ.).

Μέσω της ανωτέρω διαδικασίας, ο κάθε ενδιαφερόμενος χρήστης μπορεί να λάβει οπτικοποιημένα στοιχεία των δεδομένων και να αποκτήσει πρόσβαση τόσο στη χωρική πληροφορία (*spatial*) όσο και στην περιγραφική (*attributes*). Με τον τρόπο αυτό, δομείται ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον συλλογής, επεξεργασίας, διάθεσης, αξιοποίησης και απόδοσης της χωρικής και περιγραφικής πληροφορίας των δεδομένων (Παπακωνσταντίνου, Α. *et. al.* 2014). Επιπροσθέτως, τίθενται οι προϋποθέσεις για την ανάδειξη των δυνατοτήτων των διαδικτυακών Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ως μέσο προώθησης της ουσιαστικής συμμετοχής του κοινού στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και στην παροχή υψηλού επιπέδου υπηρεσιών σε περιβάλλον διαμοιρασμού και συνεργασίας (Τζιμόπουλος, κ.ά., 2013).

Στην παρούσα εργασία η μεταφόρτωση των δεδομένων έγινε στο ArcGis-Online της εταιρείας Esri. Για τον ορισμό του γεωγραφικού υπόβαθρου χρησιμοποιήθηκαν οι

διαθέσιμοι χάρτες (basemaps), ανάλογα με την επιθυμητή πληροφορία σε κάθε αναζήτηση. Πρόκειται για πληροφορίες που αφορούν: τους άξονες των διαδρομών, τις θέσεις διανυκτέρευσης (κονάκια), τους ορεινούς οικισμούς, τις περιοχές διαχείμασης, οι οποίες συνολικά περιγράφουν το φαινόμενο των εποχικών μετακινήσεων των κοπαδιών του Περιβολίου.

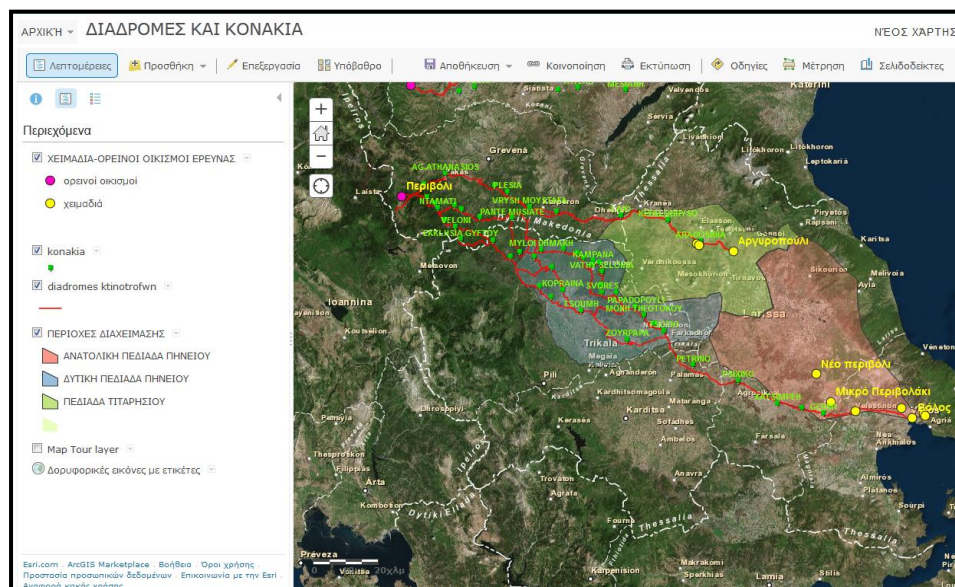
Τα δεδομένα διαμορφώθηκαν και εξορθολογίστηκαν κατάλληλα, ώστε να εμφανιστούν οι επιθυμητές πληροφορίες κατάλληλα ταξινομημένες. Αρχικά, στο περιβάλλον του ArcMap, πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά των επιλεγμένων για απεικόνιση δεδομένων, σε σύστημα αναφοράς συμβατό με εκείνο του ArcGis-Online, ώστε να εμφανιστούν στην πραγματική τους θέση. Συγκεκριμένα έγινε η μετατροπή τους από το σύστημα συντεταγμένων GCS_GGRS_1987 στο WGS 1984 Web Mercator και δημιουργήθηκαν περισσότερα του ενός αρχεία (shapefiles), σε μορφή zip. Κατόπιν, αυτά τα αρχεία εισήχθησαν στο περιβάλλον του ArcGis-Online, όπου και αποτέλεσαν διαφορετικά θεματικά επίπεδα.

Τα θεματικά επίπεδα που δημιουργήθηκαν αφορούν:

- Τις διαδρομές
- Τα κονάκια
- Τους οικισμούς μεταξύ των οποίων γίνονται οι μετακινήσεις
- Τις ευρύτερες περιοχές διαχείμασης, όπως αυτές ορίστηκαν σύμφωνα με τις λεκάνες απορροής

Από τα διαθέσιμα υπόβαθρα ιδιαίτερα χρήσιμο είναι το μωσαϊκό ορθοφωτοχαρτών (Imagery και Imagery with labels), που δίνει τη δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης του γεωφυσικού χώρου με λεπτομερείς πληροφορίες του ανάγλυφου του εδάφους, τους οικισμούς, τους δρόμους. Ταυτόχρονα σημειώνονται οι διοικητικές περιφέρειες και ονόματα οικισμών, με αποτέλεσμα να καθίσταται εφικτός ο σαφής προσδιορισμός των περιοχών που εμπλέκονται σε αυτό το φαινόμενο των εποχικών μετακινήσεων.

Τα θεματικά επίπεδα των δεδομένων έχουν τη μορφή υπομνήματος και είναι άμεσα επεξεργάσιμα στο περιβάλλον του διαδικτυακού ΓΣΠ, ενώ και οι ονομασίες των οικισμών και των θέσεων διανυκτέρευσης (κονάκια) εμφανίζονται στη διεπαφή (interface) (Εικ. 1). Στο γραφικό περιβάλλον οι διαδρομές παρουσιάζονται ως ένα πλέγμα γραμμών, αφού στην περίπτωση της μετακίνησης Περιβόλι – Βελεστίνο υπήρχαν εναλλακτικές θέσεις διέλευσης, και τα κονάκια ως σημειακά αντικείμενα (Εικ.1).



Εικόνα1. Η γραφική διεπαφή (interface) του διαδικτυακού γεωπληροφοριακού συστήματος με τα δεδομένα των εποχικών μετακινήσεων των κοπαδιών.

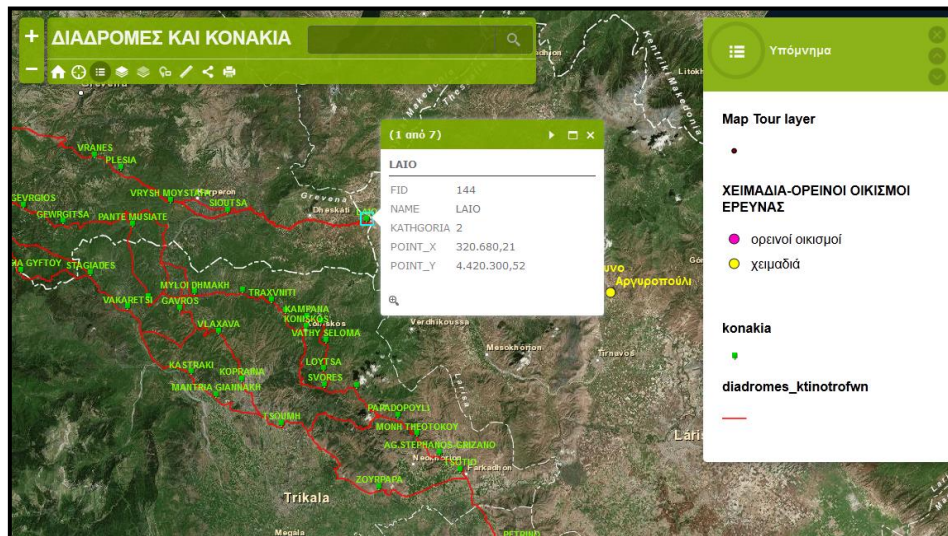
Αποτελέσματα και Συζήτηση

Το διαδικτυακό ΓΣΠ που δημιουργήθηκε παρέχει δυνατότητες για επιπλέον διαδικτυακές εφαρμογές χρήσιμες τόσο στους μετακινούμενους κτηνοτρόφους, όσο και στο ευρύ κοινό που ενδιαφέρεται για την ιστορική και πολιτιστική σημασία της τακτικής των εποχικών μετακινήσεων των κοπαδιών. Πολλών ειδών παραμετροποιήσιμα πρότυπα εφαρμόζονται για να εξυπηρετήσουν κάθε φορά διαφορετικές ανάγκες, είτε πρόκειται για προβολή κατάλληλων πληροφοριών είτε για λήψη αποφάσεων, από την πλευρά των εποχικά μετακινούμενων κτηνοτρόφων. Σημαντικό στοιχείο στη διαδικασία προβολής πληροφοριών που οδηγούν στη λήψη αποφάσεων είναι ο έλεγχος της βιωσιμότητας του συστήματος της εποχικής μετακίνησης ενός κοπαδιού με την παραδοσιακή μέθοδο, ώστε να εξακολουθεί να εφαρμόζεται επιτυχώς στη σύγχρονη πραγματικότητα.

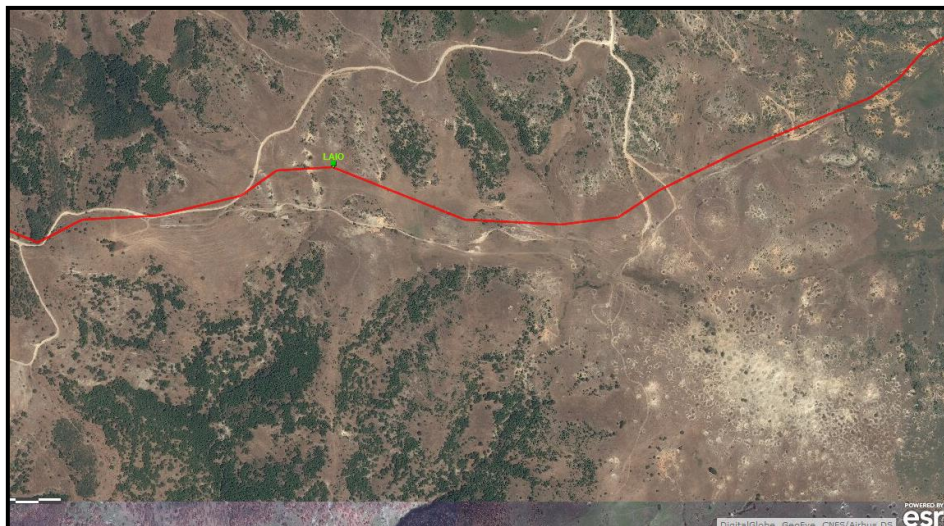
Εντοπισμός των στοιχείων της εποχικής μετακίνησης σε πραγματικό χρόνο

Σε έναν απλό χάρτη θέασης των πληροφοριών και με τη βοήθεια του υπόβαθρου των ορθοφωτοχαρτών (Imagery) εντοπίζονται οι θέσεις διανυκτέρευσης (κονάκια) στον πραγματικό χώρο και με επιλογή ενός σημείου εμφανίζεται η ονομασία του τοπωνύμιου και οι συντεταγμένες του (Εικ. 2). Επίσης, ανάλογα με τη χρήση γης στη θέση όπου σημειώνεται το σημειακό σύμβολο κρίνεται η καταλληλότητα της περιοχής για να χρησιμοποιηθεί στη δεδομένη χρονική στιγμή. Συγκεκριμένα αποφεύγονται οι θέσεις με εκτεταμένη δασοκάλυψη ή καλλιέργειες και θεωρούνται ιδανικές οι

χορτολιβαδικές εκτάσεις, σε συνδυασμό με την ύπαρξη πηγών νερού και στοιχειώδους ξυλείας. Έτσι, ο σύγχρονος εποχικά μετακινούμενος κτηνοτρόφος αποφασίζει για την ακριβή θέση διανυκτέρευσης, παρατηρώντας τις συνθήκες στην περιοχή γύρω από το προτεινόμενο σημείο (Εικ. 3).



Εικόνα2. Εμφάνιση των πληροφοριών για τις θέσεις διανυκτέρευσης (κονάκια).

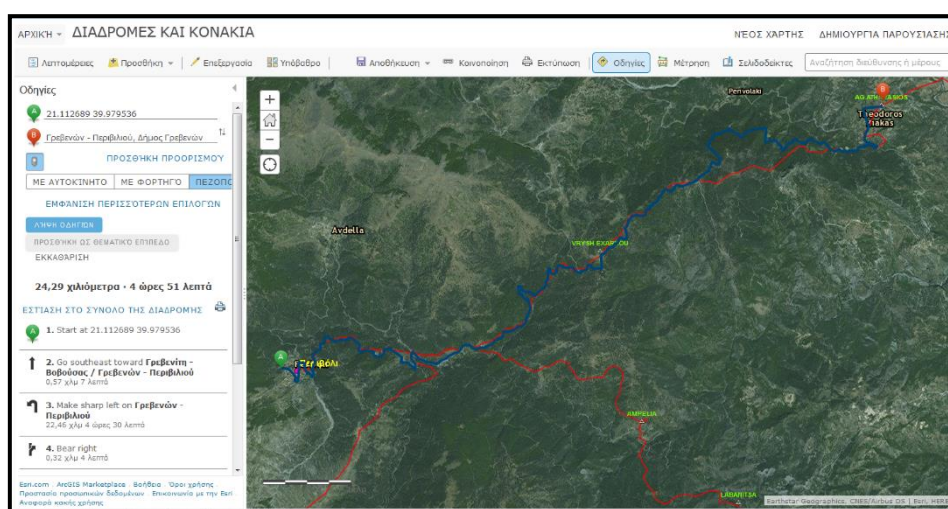


Εικόνα 3. Η εμφάνιση της θέσης διανυκτέρευσης (κονάκι) στο υπόβαθρο του Imagery, με δυνατότητα παρατήρησης της κάλυψης γης στην ευρύτερη περιοχή.

Παρόμοια, οι διαδρομές των κτηνοτρόφων αντιπαραβάλλονται με δρόμους και μονοπάτια που διακρίνονται ως αντικείμενα ορθοφωτοχαρτών, στο σημερινό γεωγραφικό υπόβαθρο (Εικ. 3). Γενικότερα, οι δυνατότητες ικανοποιητικής ανάλυσης που παρέχει το υπόβαθρο των ορθοφωτοχαρτών (Imagery), συνδέουν τα δεδομένα με τη σημερινή πραγματικότητα και τα καθιστούν κατανοητά σε κάθε χρήση.

Εύρεση σύντομης διαδρομής

Χαρακτηριστική περίπτωση χρήσιμης εφαρμογής, σε αυτό το διαδικτυακό περιβάλλον, είναι η εύρεση της διαδρομής από μια αφετηρία σε ένα σημείο προορισμού, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα μετακίνησης και τους προτεινόμενους οδικούς άξονες (εντολή ‘direction’ ή ‘οδηγίες’). Η προτεινόμενη (από το σύστημα) διαδρομή μεταξύ επιλεγμένων θέσεων εμφανίζεται γραφικά και ταυτόχρονα σημειώνονται οδηγίες που κατευθύνουν τον ενδιαφερόμενο (Εικ. 4). Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να συγκρίνει τη χάραξη μιας παραδοσιακής διαδρομής με τον προτεινόμενο δρόμο και αφού παρατηρήσει τη σημερινή χρήση γης εκατέρωθεν του άξονα, να κινηθεί ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες (που σχετίζονται με τη φυτοκάλυψη και το οδικό δίκτυο).



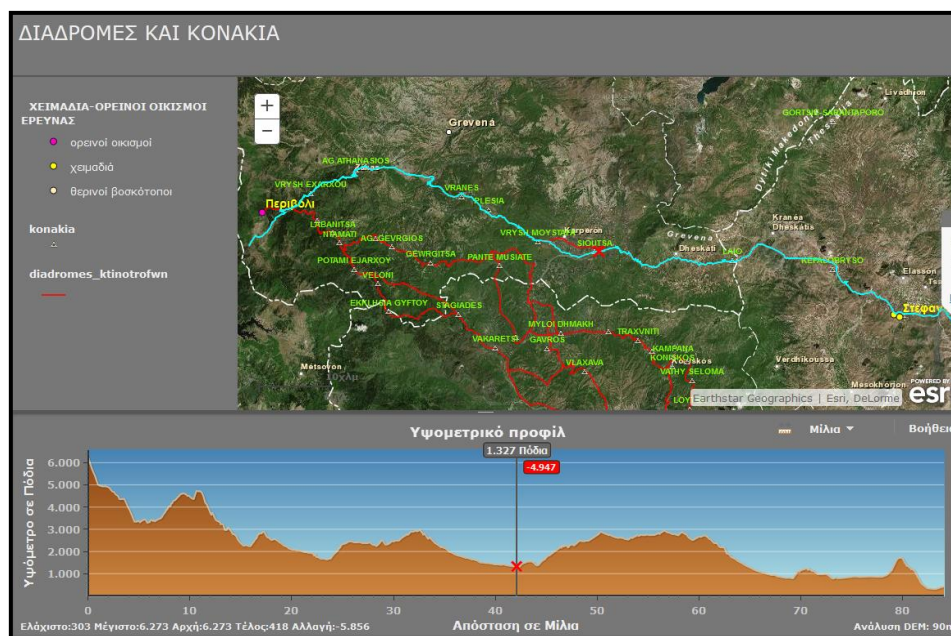
Εικόνα 4. Εύρεση σύντομου δρόμου και αντιπαραβολή με παραδοσιακή διαδρομή.

Υψομετρικός χάρτης και χάρτης αφήγησης

Οι χρήστες της εφαρμογής έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν της μεταβολές στην υψομετρία κατά την πορεία του κοπαδιού, από τα ορεινά στα πεδινά και αντίστροφα, με τη χρήση χάρτη που εμφανίζει το υψομετρικό προφίλ της κάθε διαδρομής. Επιπλέον ο χάρτης δίνει το υψόμετρο κάθε θέσης, αφού προηγηθεί η επιλογή της στη γραφική διεπαφή (Εικ. 5).

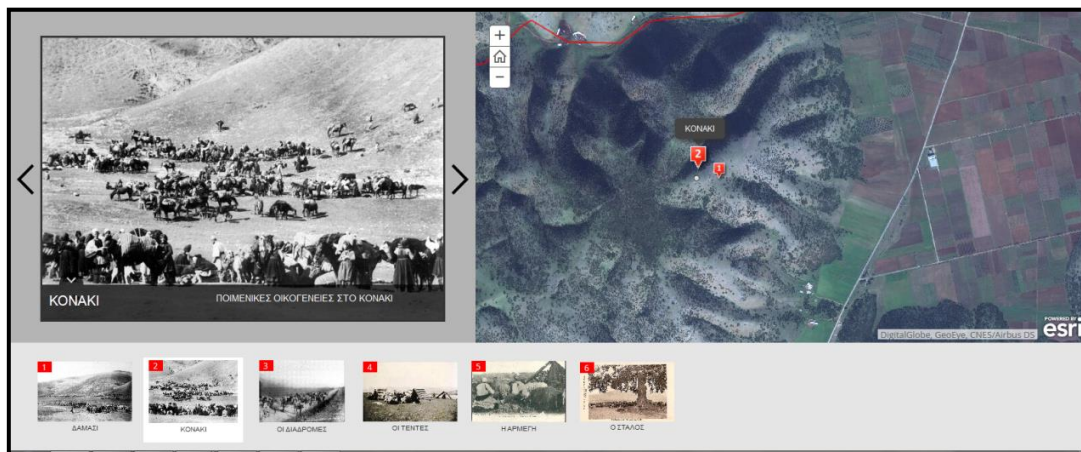
Ένα ενδιαφέρον στοιχείο της εφαρμογής είναι η χρήση ενός ‘χάρτη αφήγησης’, ο οποίος χρησιμοποιεί τη γεωγραφία ως μέσο για την οργάνωση και παρουσίαση των πληροφοριών και στην περίπτωση των εποχικών μετακινήσεων των κοπαδιών στην περιοχή μελέτης αυτό επιτυγχάνεται σε ικανοποιητικό βαθμό. Ο γεωγραφικός χώρος χρησιμοποιείται για την αφήγηση της ιστορίας μιας εποχικής μετακίνησης που αναφέρεται είτε στο παρελθόν είτε στο παρόν.

Συγκεκριμένα, με επιλογή κατάλληλου ιστορικού φωτογραφικού υλικού (όπως π.χ. των αρχών του 20^{ου} αιώνα) είναι εφικτή η διαμόρφωση μιας ‘οπτικοποίησης’ του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιούνταν η διαδικασία αυτής της τακτικής μετακίνησης κοπαδιών και ποιμενικών οικογενειών, στο παρελθόν (Εικ.6).

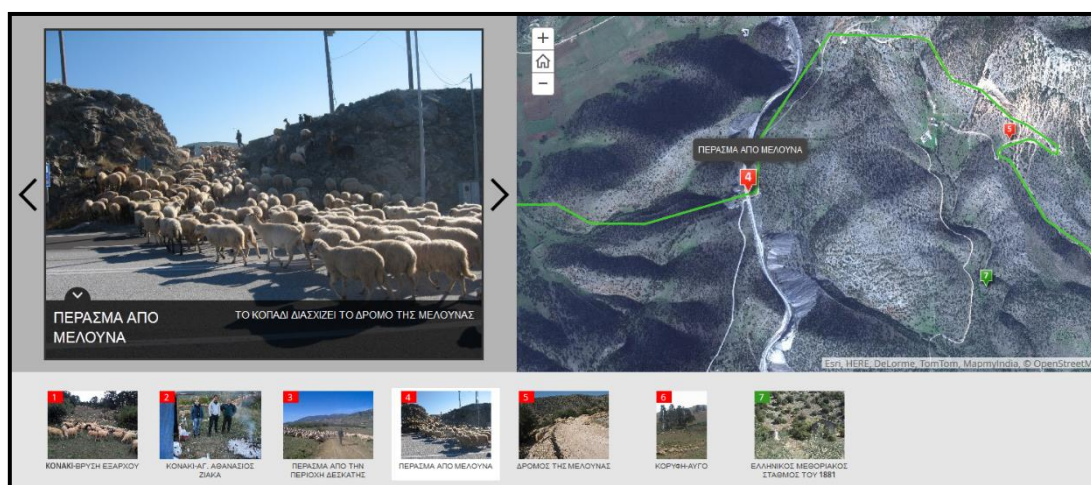


Εικόνα 5. Χάρτης υψομετρικού προφίλ της διαδρομής Περιβόλι – Αργυροπούλι.

Με αυτόν τον τρόπο οπτικοποιούνται οι αναλυτικές περιγραφές των ξένων περιηγητών του 19ου και των αρχών του 20ού αιώνα (Pouqueville 1995, Bérard 1987, Wace και Thompson, 1989) για τις μετακινήσεις και τις διαδρομές των κοπαδιών και κτηνοτροφικών οικογενειών (Pouqueville 1995, Bérard 1987, Wace και Thompson, 1989). Μια σύγχρονη διαδρομή, όπως αποτυπώθηκε κατά τη συμμετοχή σε αυτήν τη διαδικασία, περιγράφεται με το ανάλογο φωτογραφικό υλικό που αναφέρεται σε συγκεκριμένες θέσεις, οι οποίες επισημαίνονται στη γραφική διεπαφή (Εικ.7). Έτσι προκύπτει μια ιδιότυπη αφήγηση των παραδοσιακών και σύγχρονων διαδρομών των εποχικά μετακινούμενων κοπαδιών.



Εικόνα 6. Χάρτης αφήγησης μιας ιστορικής εποχικής μετακίνησης στον σύγχρονο γεωγραφικό χώρο.



Εικόνα 7. Χάρτης αφήγησης μιας σύγχρονης εποχικής μετακίνησης στον τρισδιάστατο γεωγραφικό χώρο.

Συμπεράσματα-Προτάσεις

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε παρέχει δυνατότητες παρατήρησης αλλά και αξιοποίησης των πληροφοριών, οι οποίες αναδεικνύουν τον ιστορικό και βιώσιμο χαρακτήρα της μεθόδου των εποχικών μετακινήσεων των κοπαδιών με την παραδοσιακή τακτική (δηλ. με τα πόδια). Πρόκειται για μια εφαρμογή που δύναται να ενταχθεί στα πλαίσια μιας προσπάθειας για τη στήριξη και εξέλιξη, τόσο της σημερινής ομάδας των εποχικά μετακινούμενων κτηνοτρόφων όσο και της ίδιας της μεθόδου, η οποία πληροί τις προϋποθέσεις της αειφορίας και εύλογα αποτελεί μέρος της πράσινης ανάπτυξης.

Ειδικότερα, παρέχει στους νέους κτηνοτρόφους ‘εύκολα’ και αποδοτικά εργαλεία που απλοποιούν ζητήματα, τα οποία προκύπτουν κατά την πραγματοποίηση μιας διαδρομής με την παραδοσιακή μέθοδο. Για τους μετακινούμενους, καθίστανται

εφικτά τόσο ο προσανατολισμός σε κάθε σημείο της διαδρομής όσο και η επιλογή της κατάλληλης θέσης διανυκτέρευσης (για εκείνους και το κοπάδι). Ακόμη και αν εκλείψουν οι παλαιότεροι που διασώζουν την παράδοση του συστήματος, η διαδικτυακή εφαρμογή δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες για τα στοιχεία που αφορούν τον δρόμο της μετακίνησης.

Επίσης, δημιουργούνται προοπτικές και για την πολιτιστική ανάδειξη του συστήματος, καθώς αυτό έχει τις ρίζες της στο μακρινό παρελθόν, αλλά και για την αξιοποίησή του σε οικολογικές δραστηριότητες (π.χ. οικότουρισμός). Το γεγονός ότι για έναν και μόνο προορισμό ακολουθούνταν διαφορετικές εναλλακτικές διαδρομές δείχνει την ιδιοτυπία αυτής της παραδοσιακής τακτικής που λάμβανε σημαντικές διαστάσεις στον γεωγραφικό χώρο. Αυτός ο ιδιότυπος χαρακτήρας μπορεί να αναδειχθεί και να διαφυλαχθεί ως στοιχείο πολιτιστικής κληρονομιάς, το οποίο θα εναρμονίζεται με το μέλλον.

DEVELOPMENT OF A SPECIALIZED WEB GIS SYSTEM FOR THE STUDY, SUSTAINABILITY DOCUMENTATION, MODERNIZATION AND PROMOTION OF MOVING LIVESTOCK

Doukas John¹, Ntassiou Kostantina², Papadopoulos Iakovos³

¹ Professor of Geodesy and Geomatics, Dept. of Civil Engineering, A.U.Th.,
Thessaloniki, e-mail: jdoukas@civil.auth.gr

² Surveyor Engineer, MSc., PhD., Dep. of Civil Engineering A.U.Th., Neo Perivoli
Larissa 41500, e-mail: kntassiou@gmail.com

³ Forester A.U.TH., M.Sc. Biology A.U.TH., Forest Directorate of Chalkidiki,
Polygyros 63100, e-mail: iakwvospap@gmail.com

Abstract

In an energy and economic crisis era such as the current one, it is imperative to utilize existing resources and develop economic activities based on green energy principles. An activity of this kind, with a historical background dating many centuries ago, is moving livestock. In the present study it is sought to highlight this kind of traditional activity with respect to the way in its spatial evolution, via the contribution of modern technology tools such as GIS systems. In particular, a Web-GIS application is proposed, build on ArcGIS™ software, in an accessible by many users interface, without the need for related expertise on the software involved. Throughout this process of cartographic visualisation for optimal allocation information, sources of cartographic data are being utilized and a comprehensive environment of collecting, processing, distributing, developing and performing spatial information, is set.

Βιβλιογραφία

- Αμερικανική Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (AMS). Χάρτες κλίμακας 1:50,000, περιόδου 1953 – 1955: 14 φύλλα χάρτη: «TSOTION», «KALAMBAKA», «DESKATI» κ.α.
- Bérard, V. 1987. Τουρκία και Ελληνισμός: οδοιπορικό στη Μακεδονία, (μετάφρ. Μ. Λυκούδης). Τροχαλία, Αθήνα.
- Fu, P., and Sun, J. 2010. Web GIS: Principles and Applications. Esri's GIS Bookstore.
- Ispikoudis I., Soliou M.K., and Papanastasis V.P. 2002. Transhumance in Greece: Past, present and future prospects. p. 211-226. In R.G.H. Bunce, M. Pérez-Soba, R.H.G. Jongman, A. Gómez Sal, F. Herzog and I. Austad (eds.) Transhumance and Biodiversity in European mountains. IALE Publ., Wageningen, The Netherlands.
- Λάγκα, Β., Χατζημηνάογλου, Ι., Κάτανος, Ι. και Άμπας, Ζ. 2003. Η μετακινούμενη αιγοπροβατοτροφία στη Δυτική Μακεδονία. Έρευνα ζωοτεχνικών - οικονομικών - κοινωνικών παραμέτρων. Θεσσαλονίκη.
- Ντάσιου, Κ. 2014. Εφαρμογή Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την καταγραφή και μελέτη ιστορικών συγκοινωνιακών δικτύων: η περίπτωση της νοτιοδυτικής Μακεδονίας, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πολυτεχνικής Σχολής ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Παπακωνσταντίνου, Α., Αθανάσης, Ν., Κοψαχείλης, Β. και Σουλακέλλης, Ν. 2014. Νεογεωγραφία και Χαρτογραφική Διαδικτυακή Απεικόνιση. Η χρήση Ελεύθερων Γεωγραφικών Δεδομένων και Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα σε Φορητές Συσκευές. Χαρτογραφική Επιστημονική Εταιρεία Ελλάδας. Χαρτογραφία στο Διαδίκτυο. Σύγχρονες Τάσεις και Προοπτικές. Πρακτικά 13ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Πάτρα, 22-24 Οκτωβρίου 2014.
- Pouqueville, F.C.H. 1995. Ταξίδι στην Ελλάδα, Μακεδονία Θεσσαλία (μετάφρ. Ν. Μολφέτα). Αφοί Τολίδη, Αθήνα.
- Τζιμόπουλος, Κ., Τσομπάνογλου Σ., και Φώτης, Γ.Ν. 2013. Ανάπτυξη διαδικτυακών εφαρμογών GIS ως εργαλείο της ανοικτής διακυβέρνησης σε επίπεδο Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Ομιλία στο 11ο Τακτικό Επιστημονικό Συνέδριο 2013 (ERSA - GR). Πάτρα 14-15 Ιουνίου 2013.
- Wace, A. και Thompson, M. 1989. Οι Νομάδες των Βαλκανίων: Περιγραφή της Ζωής και των Εθίμων των Βλάχων της Βόρειας Πίνδου (μετάφρ. Π. Καραγιώργος, εισαγωγή - σχόλια Ν. Κατσάνης). Κυριακίδης, Θεσσαλονίκη.

ΧΩΡΙΚΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Στέλιος Ροζάκης^{1*}, Νίκος Μπορέτος², Δημήτριος Κρεμμύδας³

¹Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα, email: rozakis@aua.gr

²Τμήμα Δικτύων και Πληροφορικής, ΜΑΙΧ, Αλσύλλιο Θερμοκήπιο 73431 Χανιά

³Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα επενδυτικά σχέδια για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα έχουν γίνει ελκυστικά χάρη στις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για να αντιμετωπίσουν ποικίλες προκλήσεις. Τα βιο-ενεργειακά προβλήματα έχουν ισχυρή χωρική διάσταση λόγω της φύσης της τεχνολογίας και του μικρού ειδικού βάρους της βιομάζας. Η κερδοφορία εξαρτάται από τα αγροτικά συστήματα παραγωγής καθώς οι ποσότητες που πρέπει να παραχθούν είναι μεγάλες. Έτσι εργαλεία ανάλυσης και υποστήριξης αποφάσεων είναι απαραίτητα για επενδυτές αλλά και διαμορφωτές πολιτικής. Εργαλεία υποστήριξης χωρικής απόφασης έχουν αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό. Αντίστοιχο εργαλείο και υποδείγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσα από το διαδίκτυο παρουσιάζεται στο κείμενο που ακολουθεί, με παράδειγμα μια εφαρμογή στη Θεσσαλία και ειδικά σε πρώην καπνοπαραγωγικές κοινότητες.

Λέξεις-Κλειδιά: Διαδικτυακή υποστήριξη αποφάσεων, Χωρική Ανάλυση, Μαθηματικός Προγραμματισμός, Ενεργειακές καλλιέργειες, Θεσσαλία.

Εισαγωγή

Οι αυξομειώσεις και η μεταβλητότητα των τιμών των ορυκτών καυσίμων καθώς επίσης και η πολιτική για μείωση των αερίων θερμοκηπίου έχουν συντείνει σε momentum για την ανάπτυξη της βιο-ενέργειας στην Ευρώπη. Αρκετές οδηγίες έχουν εκδοθεί από το 2004 που συνθέτουν μια φιλόδοξη πολιτική υποστήριξης της βιο-ενέργειας και επιπλέον η Κοινή Αγροτική Πολιτική που από το 2006 αποδέσμευσε τις επιδοτήσεις από την παραγωγή συντέινει στη μείωση του κόστους ευκαιρίας για νέες καλλιέργειες. Ειδικά στην Ελλάδα όπου η μεταρρύθμιση του 1992 γνωστή ως Mc Sharry δεν υποχρέωσε σε αγρανάπαυση λόγω του μικρού μεγέθους των εκμεταλλεύσεων, το 2006 ήταν η πρώτη φορά που οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να γίνουν ανταγωνιστικές σε σχέση με βασικές καλλιέργειες όπως σιτάρι, βαμβάκι και καπνός. Το κόστος πρώτης ύλης είναι το σημαντικότερο στοιχείο κόστους

των ενεργειακών προϊόντων βιομάζας φτάνοντας τα 2/3 του συνολικού κόστους, κατά συνέπεια η μείωση του κόστους ευκαιρίας επηρεάζει σημαντικά την ανταγωνιστικότητα της βιοενέργειας. Αυτή η υπόθεση έχει επιβεβαιωθεί για τη Θεσσαλία από τους Lychnaras & Rozakis (2006) που εκτίμησαν την αθροιστική καμπύλη προσφοράς πολυετών ενεργειακών φυτειών με αναλυτικές τεχνικές μαθηματικού προγραμματισμού με βάση στατιστικά στοιχεία από το FADN (Farm Accounting Data Network).

Ελλείπει χωρικής πληροφορίας τα συμπεράσματα αυτά έχουν περιορισμένη αξία για λήψη αποφάσεων επενδυτικά σχέδια μονάδων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Πράγματι αν εξαιρέσει κανείς τον ηλίανθο για βιοντίζελ με μερικές εκατοντάδες συμβόλαια δεν υπάρχει αυτή τη στιγμή άλλη αλυσίδα βιοενέργειας που να τροφοδοτείται από ενεργειακές καλλιέργειες.

Με σκοπό τη βελτίωση της πληροφορίας για το κόστος της βιομάζας, ένα λογισμικό χωρικής λήψης αποφάσεων που περιέχει υποδείγματα βελτιστοποίησης και τεχνική, οικονομική και χωρική πληροφορία έχει αναπτυχθεί και λειτουργεί μέσω web για να προσφέρει στους ενδιαφερόμενους εξειδικευμένη πληροφορία για την προσφορά ενεργειακής βιομάζας. Το εργαλείο λειτουργεί μέσω διαδικτύου¹ όπου ο χρήστης έχει πρόσβαση στα δεδομένα, εισάγει τις τιμές των παραμέτρων στο υπόδειγμα και έχει τη δυνατότητα να δει χάρτες και να διερευνήσει τα αποτελέσματα με δια-δραστικό τρόπο. Η αρχιτεκτονική του λογισμικού και η οργάνωση των λειτουργιών βελτιστοποίησης και προσομοίωσης περιγράφονται στη συνέχεια και δίνεται διευκρινιστικό παράδειγμα.

Από τα κλασσικά GIS στο Web-SDSS: Επισκόπηση και εφαρμογές στη γεωργία

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΓΠΣ ή GIS) έχουν εφαρμοστεί για να χαρτογραφήσουν το δυναμικό της δασικής, γεωργικής βιομάζας, παραπροϊόντων βιομηχανικής ή κτηνοτροφικής προέλευσης και έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα σε μεγάλο αριθμό μελετών με θέμα τη βιο-ενέργεια. Για παράδειγμα ένα υπόδειγμα για την εκτίμηση κόστους παραγωγής, συγκομιδής και μεταφοράς βιομάζας από φυτείες μικρού περίτρουπου χρόνου αναπτύχθηκε στη Χαβάη με ΓΠΣ (Liu, 1992).

¹ <http://aoatools.aua.gr/pilotec/webgis.php>

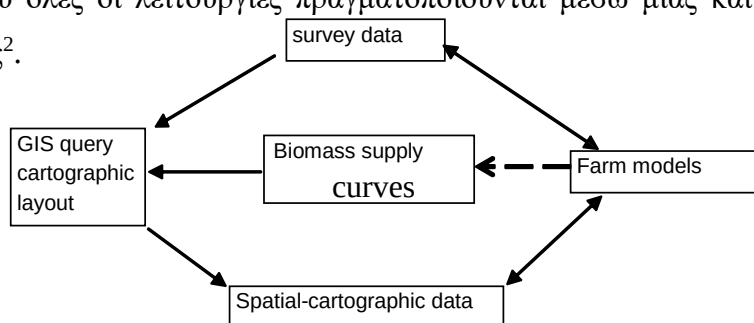
Πιο φιλόδοξες εργασίες επιχείρησαν να υποστηρίξουν λήψη αποφάσεων για πολιτικές σε εθνικό επίπεδο θέτοντας στη διάθεση των διαμορφωτών πολιτικής ποσοτική οικονομική και περιβαλλοντική πληροφορία για το δυναμικό προσφοράς ενεργειακών καλλιεργειών στο Ηνωμένο Βασίλειο (Cole et al., 1996) και τις Η.Π.Α. (Graham et al., 2000).

Ενώ τα ΓΠΣ διαθέτουν τη γεωγραφική ποικιλομορφία που επηρεάζει την παραγωγή, το κόστος και εν τέλει την προσφορά βιομάζας, περιορίζονται μάλλον σε ντετερμινιστικές αναλύσεις της χωρικής διερεύνησης. Η αξία τους πολλαπλασιάζεται όταν συμπληρωθούν από συστήματα λήψης αποφάσεων (DSS), καθώς έτσι αξιοποιούνται τα διαθέσιμα στοιχεία και εικονογραφούν αποτελεσματικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Αντίστοιχα ως περιορισμοί των υποδειγμάτων απόφασης αναφέρονται σχετικά με τη δυνατότητα τους να επεξεργαστούν χωρικά στοιχεία κάτι που διορθώνεται με τη σύνδεσή τους με ΓΠΣ. Η γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων συμβάλλει στην οπτική πρόσληψη των αποτελεσμάτων διευκολύνοντας τον διάλογο και την αντιπαράθεση απόψεων. Η σύνδεση υποδειγμάτων απόφασης και ΓΠΣ έφερε στο φώς ένα νέο τύπο DSS γνωστό ως χωρικό DSS (SDSS). Τα SDSS ορίζονται από τους Sugumaran & Sugumaran (2005) ως «ευέλικτα ολοκληρωμένα συστήματα χτισμένα πάνω σε πλατφόρμα ΓΠΣ για να διαχειριστούν χωρικά στοιχεία και υπολογισμούς παράλληλα με υποδείγματα μαθηματικής ανάλυσης υποστηρίζουν ανάλυση ‘what if’ και βοηθούν τον χρήστη να κατανοήσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης». Αν και ακούγεται πολύ ελκυστικό, τα SDSS που βασίζονται σε GIS απαιτούν περίπλοκο και ακριβό εξοπλισμό, προϋποθέσεις που εμπόδισαν την εξάπλωσή τους. Με την ανάπτυξη του internet, τα Web-based SDSS αναπτύχθηκαν μέσω διαδικτυακών διεπαφών συνδέοντας υπολογιστικά εργαλεία με βάσεις γεωγραφικών δεδομένων με σκοπό την υποστήριξη λήψης αποφάσεων μέσω διαδικτύου.

Το Web-SDSS εφαρμόζει είτε πελατοκεντρική (client-side) διαδικασία είτε μηχανοκεντρική (server-side processing). Η πρώτη προσέγγιση προσδιορίζεται από ένα “thick” πελάτη ο οποίος «κατεβάζει» το GIS στον υπολογιστή του αντλώντας μόνο τα γεωγραφικά δεδομένα από το διαδίκτυο. Οι απαιτήσεις σε λογισμικό είναι μικρότερες από την περίπτωση stand-alone SDSS με κλασσικό GIS ενώ προσφέρει τυποποιημένο menu και πλήκτρα ελέγχου και επιτρέπει στον κατασκευαστή (developer) να δώσει τις εφαρμογές διατηρώντας τον έλεγχο των δεδομένων. Αντίθετα στη μηχανοκεντρική προσέγγιση ο χρήστης απλά χρησιμοποιεί την οθόνη του καθώς έχει πρόσβαση στα

μοντέλα και τα στοιχεία από απόσταση και του δίνεται η δυνατότητα να βλέπει τους χάρτες με τα αποτελέσματα, να υποβάλλει ερωτήματα σε χωρικές ή μη βάσεις δεδομένων, να εκτελεί εντολές για να τρέξουν τα μοντέλα και να διαμορφώνει τα αρχεία με τις εκθέσεις των αποτελεσμάτων.

Στην περίπτωση των ενεργειακών καλλιεργειών υπάρχει προγενέστερη έρευνα που έχει αποτυπωθεί σε μορφή πρακτική για λήψη αποφάσεων σε επίπεδο μονάδας μεταποίησης και όχι μεμονωμένης γεωργικής εκμετάλλευσης, οι Rozakis et al., 2001 παρουσίασαν ένα ολοκληρωμένο σύστημα με λογισμικό GIS συνδεδεμένο με υπόδειγμα γεωργικών εκμεταλλεύσεων (σε κώδικα GAMS). Σύμφωνα με την ταξινόμηση του Laaribi (2000) αυτό το σύστημα κατατάσσεται μάλλον στο δεύτερο επίπεδο ολοκλήρωσης όπου όλες οι λειτουργίες πραγματοποιούνται μέσω μιας και μοναδικής οθόνης διεπαφής².



Διάγραμμα 1. GIS – υπόδειγμα βελτιστοποίησης και ροές δεδομένων.

Σχετική έρευνα έχει πραγματοποιηθεί μέσω συνεργασίας σε Ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα όπου το στατικό SDSS εξελίσσεται σε υπόδειγμα πολυκριτηριακής ανάλυσης (Rozakis et al., 2001), ξεκινώντας από "thick client" προσέγγιση με ARC-IMS web-SDSS και καταλήγοντας σε web-SDSS με ανοιχτό λογισμικό GIS με σύστημα **thin client**. Είναι προσαρμοσμένο σε προβλήματα και προκλήσεις εστιασμένες στο πρόβλημα απόφασης μεταξύ εναλλακτικών ενεργειακών αλυσίδων.

² Ο Laaribi περιγράφει τρεις τύπους ολοκλήρωσης:

- a. πρώτο στάδιο : Το GIS και το λογισμικό βελτιστοποίησης είναι ανεξάρτητα.
- b. δεύτερο στάδιο : Το GIS και το λογισμικό βελτιστοποίησης είναι μεν ανεξάρτητα αλλά ελέγχονται από την ίδια οθόνη, εκείνη του GIS. Η δυνατότητα διάδρασης περιορίζεται σε προσχεδιασμένες λειτουργίες.
- c. πλήρης ολοκλήρωση: ένα και μοναδικό λογισμικό ικανό για χωρική διαχείριση δεδομένων και βελτιστοποίηση.

Αρχιτεκτονική SDDS και σχεδιασμός λογισμικού

Η αλληλουχία των βημάτων στο Web GIS/DSS έχει ως εξής:

- Ο χρήστης δημιουργεί μια φόρμα εισαγωγής και την υποβάλλει στον web server
- Ο Web server προωθεί τα στοιχεία στο πρόγραμμα ή στο script που εκτελεί το υπόδειγμα DSS.
- Το DSS λύνει το πρόβλημα και προωθεί τα αποτελέσματα στον Map server.
- Ο Map server τροποποιεί τα χωρικά χαρακτηριστικά και στοιχεία με βάση τα αποτελέσματα, και τρέχει όποια επιπρόσθετη χωρική ανάλυση ζητά ο χρήστης.
- Ο Map server δημιουργεί τους χάρτες και μεταφράζει αυτούς σε αρχείο bitmapped, συνήθως GIF ή JPEG αρχείο και το στέλνει πίσω στον web server.
- Ο Web server επιστρέφει την εικόνα και τα αποτελέσματα στην οθόνη του χρήστη μέσω HTML.

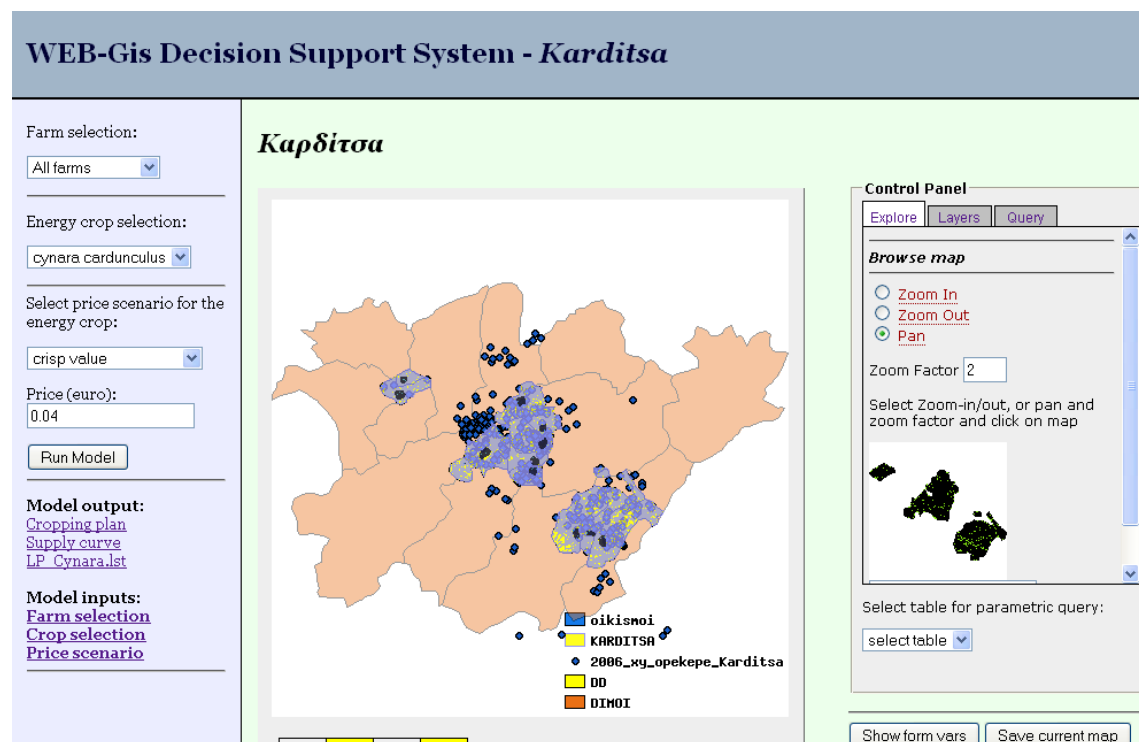
Η λογική του εργαλείου είναι να χρησιμοποιήσει χωρικά δεδομένα και στατιστική πληροφορία, στη συνέχεια να αξιοποιήσει οικονομικά δεδομένα και χάρτες παραγωγικότητας φυτών για να μεγιστοποιήσει το ακαθάριστο κέρδος κάθε οικονομικής παραγωγικής μονάδας (φάρμες) και να εκτιμήσει (αθροιστικά) την προσφορά βιομάζας. Η κύρια οθόνη στο διάγραμμα 2 δείχνει τα χωρικά χαρακτηριστικά της άριστης λύσης, στο αριστερό μέρος τα στοιχεία και εντολές για το μαθηματικό υπόδειγμα και στο δεξί το μενού του GIS explorer.

Οι διαθέσιμες λειτουργίες είναι:

Επιλογή σεναρίου και έλεγχος υποδείγματος: Ο χρήστης κατασκευάζει το σενάριο επιλέγοντας τιμές για τις παραμέτρους και στη συνέχεια εκτελεί το μαθηματικό αλγόριθμο. Η άριστη λύση απεικονίζεται σε μορφή πίνακα και γραφήματος. Τα αποτελέσματα με χωρική διάσταση ενσωματώνονται στη βάση δεδομένων.

Οθόνη απεικόνισης χάρτη: Στη μέση της οθόνης φαίνονται οι χαρτογραφικές επιλογές.

Τομέας πρόσβασης στη χωρική πληροφορία: Ο χρήστης μπορεί να εξετάσει τα στρώματα "map layers" και να υποβάλλει ερωτήματα στη βάση δεδομένων με χωρικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες. Οι βασικές λειτουργίες GIS είναι διαθέσιμες έτσι ώστε να διευκολυνθεί η διερεύνηση της λύσης και η ανάλυση της.



Διάγραμμα 2. Η πρώτη σελίδα στο DSS: χάρτης Καρδίτσας στη Θεσσαλία.

Τα αποτελέσματα της προσέγγισης από την πλευρά του χρήστη ήταν εντυπωσιακά. Η εφαρμογή ανταποκρίνεται ταχύτατα, ή τουλάχιστον παρόμοια με συνήθεις εμπειρίες από το διαδίκτυο. Ενώ η οθόνη διεπαφής δεν είναι ιδιαίτερα «πλούσια», ούτε και πολύ φορτωμένη και περίπλοκη, οι βασικές λειτουργίες είναι διαθέσιμες, περιλαμβανομένων των *zoom* και *pan* εντολών καθώς και παραμετρικών ερωτημάτων. Επιπλέον, όταν υποβάλλονται τα δεδομένα και η εντολή εκτέλεσης δίνεται μια αρκετά ακριβής ένδειξη στον χρήστη για τους χρόνους επίλυσης καθώς και για την εξέλιξή της. Όταν υπάρχουν bugs, οι διορθώσεις και επεμβάσεις γίνονται εύκολα στον server χωρίς να ενοχλείται ο χρήστης. Επειδή έχει επιλεγθεί η προσέγγιση με scripts, οι αλλαγές γίνονται “on the fly”, στο σύστημα που βρίσκεται σε λειτουργία [Ousterhout (1997)].

Τα οικονομικά τομεακά υποδείγματα είναι έντασης πόρων, με αποτέλεσμα να φορτώνουν τον μοναδικό server που πρέπει να ανταποκριθεί σε όλες τις κλήσεις από πολλούς πιθανούς χρήστες και να τρέξει το υπόδειγμα και τη χωρική βάση δεδομένων. Μια προσέγγιση κατά προτεραιότητα “Service Oriented” έχει εφαρμοστεί στη για ταυτόχρονη χρήση πολλών Η/Υ για να αυξηθεί η απόδοση και ταχύτητα. Αυτό μπορεί να γίνει με διαμοιρασμένη υπολογιστική Cross-platform με βάση XML/RPC, ένα σύστημα πρωτοκόλλου που χρησιμοποιεί XML για encoding και HTTP για μεταφορά (XML/RPC).

Μοντέλο βελτιστοποίησης :περιγραφή και μεθοδολογία

Το κόστος της ενεργειακής βιομάζας δίνεται από την καμπύλη προσφοράς που ενσωματώνει την παραγωγικότητα της γης, τις δομές των γεωργικών εκμεταλλεύσεων και σενάρια πολιτικής. Είναι κατάλληλο για την αξιολόγηση της διείσδυσης της παραγωγής βιομάζας για ενέργεια στα υφιστάμενα αγροτικά συστήματα. Διαδεδομένο λογισμικό βελτιστοποίησης (GAMS) εγκιβωτίζεται στο περιβάλλον GIS επιτρέποντας διαδραστική διαδικασία σε πραγματικό χρόνο. Η εφαρμογή web-based αναπτυγμένη σε λογισμικό ανοιχτού κώδικα κάνει το SDSS διαθέσιμο για συνεργατική λήψη αποφάσεων.

Η εμπειρία δείχνει ότι το κόστος πρώτης ύλης εκφρασμένο στο επίπεδο της φάρμας ανέρχεται σε μεγάλο ποσοστό του τελικού βιοκαυσίμου. Η εκτίμηση του κόστους έχει πολλές δυσκολίες αναφέρονται παρακάτω οι κυριότερες τρεις [Sourie (2002)]:

- διασπορά της πρώτης ύλης.
- ανταγωνισμός μεταξύ υφισταμένων και ενεργειακών καλλιεργειών
- εξάρτηση του κόστους πρώτης ύλης από τις εφαρμοζόμενες πολιτικές

Για να αντιμετωπιστούν οι παραπάνω δυσκολία βασιζόμαστε στην μικρο-οικονομική έννοια της καμπύλης προσφοράς και το κόστος ευκαιρίας. Αυτές οι έννοιες μπορεί να επεξεργαστούν με ικανοποιητικό τρόπο με χρήση μαθηματικών υποδειγμάτων προγραμματισμού δραστηριοτήτων, τα λεγόμενα υποδείγματα προσφοράς, με βάση αντιπροσωπευτικές εκμεταλλεύσεις, ικανός αριθμός των οποίων συνιστά τομεακό υπόδειγμα.

Τα υποδείγματα βελτιστοποίησης που μεγιστοποιούν το πλεόνασμα παραγωγού και καταναλωτή επιλέγοντας αποτελεσματικά σχέδια παραγωγής έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στον γεωργικό τομέα (Hazell and Norton, 1986). Επιτρέπουν την τεχνικο-οικονομική αναπαράσταση του τομέα με *a priori* πληροφορία για την τεχνολογία, τους σταθερούς συντελεστές παραγωγής, τους περιορισμούς πόρων και αγρονομικούς κανόνες, ποσοτώσεις παραγωγής και κανονισμούς αγρανάπαυσης μαζί με σχέσεις μεταξύ δραστηριοτήτων πχ. αμειψισπορές. Η επιλογή των μεθόδων αυτών εδράζεται στην σημασία των δυνατοτήτων υποκατάστασης μεταξύ δραστηριοτήτων και την σπουδαιότητα της αγροτικής πολιτικής για τις αποφάσεις στο σχέδιο παραγωγής των γεωργών. Υποθέτοντας ορθολογική συμπεριφορά, η βελτιστοποίηση θα δώσει την αποτελεσματική κατανομή των πόρων και το συνακόλουθο άριστο επίπεδο για τις επιμέρους δραστηριότητες. Η μαθηματική βελτιστοποίηση είναι ενδεδειγμένη μέθοδος γιατί παράγει και τις σκιώδεις τιμές για κάθε επίπεδο σταθερού παραγωγικού

συντελεστή, καθώς και για περιορισμούς πολιτικής προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες στους διαμορφωτές πολιτικής. Με παρόμοιο τρόπο παραμετρική επίλυση για διάφορα επίπεδα ζήτησης (στην περίπτωση μας ενεργειακής βιομάζας) μπορεί να δώσει τις καμπύλες προσφορές για τις μεταβλητές ενδιαφέροντος.

Έτσι είναι εφικτό να εκτιμήσει κανείς την παραγωγή βιομάζας για διάφορα επίπεδα τιμών (ο ορισμός της καμπύλης προσφοράς) λαμβάνοντας υπόψη την ετερογένεια των γεωργικών εκμεταλλεύσεων και τέλος αθροιστικά να συνθέσει τις επιμέρους καμπύλες για να εκτιμήσει την καμπύλη συνολικής προσφοράς για μια περιοχή.

Εξειδίκευση του υποδείγματος

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του γεωργού είναι το εξής:

$$\begin{cases} \max_{x^f} gm^f(x^f, \theta^f, \kappa) \equiv g^f(\theta^f, \kappa)x^f \equiv \sum_c ((p_c^f + s_c)y_c^f + sub_c - v_c^f)x_c^f \\ \text{s.t.} \quad A^f(\theta^f, \kappa)x^f \leq b^f(\theta^f, \kappa) \quad A \in \mathfrak{R}^{m \times n} \text{ (I)} \\ x^f \geq 0 \quad x \in \mathfrak{R}^n \text{ (II)} \end{cases} \quad (1)$$

Μια μεμονωμένη φάρμα (f) επιλέγει σχέδιο παραγωγής (x^f) με χρήση εισροών από ένα σύνολο τεχνικά εφικτών σχεδίων στην περιοχή $A^f x^f \leq b^f$ έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει το ακαθάριστο κέρδος gm^f . Το τομεακό υπόδειγμα περιέχει f επιμέρους υποδείγματα εκμεταλλεύσεων όπως το παραπάνω. Το βασικό υπόδειγμα είναι γραμμικό στα x^f , με $n \times 1$ άνυσμα n καλλιεργειών. Η μήτρα A^f διαστάσεων $m \times n$ και το άνυσμα b^f διαστάσεων $m \times 1$ αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα τους τεχνικούς συντελεστές και τις δυναμικότητες των m περιορισμών στην παραγωγή. Το άνυσμα των παραμέτρων θ^f χαρακτηρίζει την f^{th} αντιπροσωπευτική εκμετάλλευση (με y_c^f τις αποδόσεις για το φυτό c, v_c^f μεταβλητά κόστη, p_c^f τιμές με βάση την ποιότητα). Το κ εκφράζει το άνυσμα με τις γενικές οικονομικές παραμέτρους (p τιμές αγοράς, sub_c επιδοτήσεις ανά καλλιέργεια). Οι περιορισμοί διακρίνονται σε περιορισμούς πόρων, αγρονομικούς, ζήτησης και πολιτικής. Το υπόδειγμα επιτρέπει συγκριτική στατική ανάλυση, δεν είναι κατάλληλο για εξέλιξη των επιμέρους επιχειρήσεων καθώς παίρνει δεδομένη τη διαθέσιμη έκταση και το ενοίκιο γης το έτος βάσης. Για κάθε αγροτική πολιτική επιλέγεται διαφορετικό σύνολο παραμέτρων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος server-based Web-SDSS είναι ότι το υπόδειγμα βελτιστοποίησης που τρέχει στον κεντρικό υπολογιστή μπορεί να αλλάζει μορφή και να βελτιώνεται, ή να αντικατασταθεί από εναλλακτικά

υποδείγματα (Kazakci et al., 2007, Petsakos & Rozakis, 2015) χωρίς να εμπλακεί ο τελικός χρήστης ο οποίος απλά θα επωφεληθεί από την πρόοδο και βελτιώσεις σε αυτό.

Μελέτη περίπτωσης και εφαρμογή του εργαλείου

Η εκτίμηση για την εισαγωγή της καλλιέργειας ενεργειακών φυτών στο σχέδιο παραγωγής προκύπτει για κάθε εκμετάλλευση μετά από σύγκριση με τις εναλλακτικές επιλογές καλλιεργειών μέσω παραμετρικής βελτιστοποίησης. Η συνολική προσφορά ενεργειακής βιομάζας για κάθε περιοχή προκύπτει ως το σύνολο της παραγωγής των επιμέρους εκμεταλλεύσεων. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει για ποιά εκμετάλλευση ή ομάδα εκμεταλλεύσεων θα επιλύσει το υπόδειγμα και ποιο ενεργειακό φυτό θα εισαχθεί στο σχέδιο παραγωγής. Στη συνέχεια θα πρέπει να ορίσει μια υποθετική τιμή (ή εύρος τιμών) για την οποία θέλει να διερευνήσει την προσφορά ενεργειακής βιομάζας η οποία θα προκύψει μέσα από την άριστη λύση που θα προτείνει το υπόδειγμα για τις επιλεγμένες εκμεταλλεύσεις.

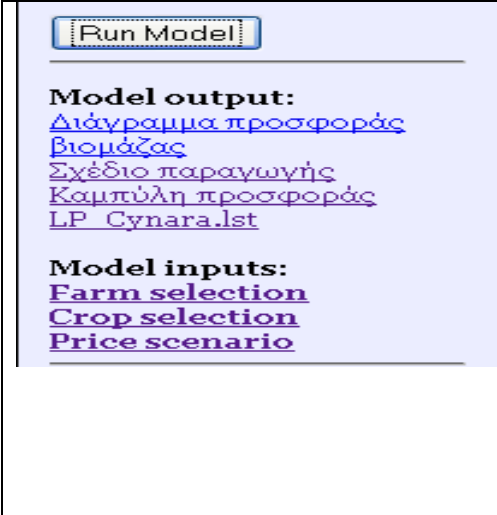
Η βάση δεδομένων περιέχει πληροφορίες για ενεργειακά φυτά που καλλιεργήθηκαν σε πιλοτικούς αγρούς στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος (αγριαγκινάρα, ινώδες και γλυκό σόργο και ηλίανθο). Στην υφιστάμενη μορφή του λογισμικού μπορεί να αξιολογηθεί κάθε φορά η εισαγωγή ενός και μόνο ενεργειακού φυτού στο σχέδιο παραγωγής.

The screenshot shows a software interface with three main sections. The first section, 'Farm selection:', contains a dropdown menu currently set to 'Single farm', with a list of options including 'All farms', 'Farm cluster A', 'Farm cluster B', 'By municipality', and 'Single farm'. The second section, 'Select farm:(1-70)', has a text input field containing the number '5'. The third section, 'Energy crop selection:', features a dropdown menu set to 'cynara cardunculus'. To the right of these is a section for 'Select price scenario for the energy crop:', which includes a 'price range' dropdown, input fields for 'minimum price (euro):' (0.01) and 'maximum price (euro):' (0.1), and a 'Run Model' button.

Διάγραμμα 3. Επιλογή σεναρίου και τομέας εκτέλεσης του υποδείγματος.

Ο χρήστης μπορεί να προτείνει συγκεκριμένη τιμή αγοράς του ενεργειακού φυτού για να δει αν η εκμετάλλευση που έχει επιλεγεί (ή η ομάδα εκμεταλλεύσεων) βρίσκει οικονομικό ενδιαφέρον να καλλιεργήσει την ενεργειακή καλλιέργεια.

Εναλλακτικά μπορεί να προτείνει εύρος τιμών, και στην περίπτωση αυτή το υπόδειγμα επιλύεται διαδοχικά για διάφορες τιμές στο προτεινόμενο διάστημα και η απάντηση που προκύπτει έχει την έννοια της καμπύλης προσφοράς ενεργειακής βιομάζας. Αν έχουν επιλεγεί όλες οι εκμεταλλεύσεις της περιοχής το αποτέλεσμα θα είναι μια προσέγγιση της προσφοράς ενεργειακής βιομάζας για την περιοχή.

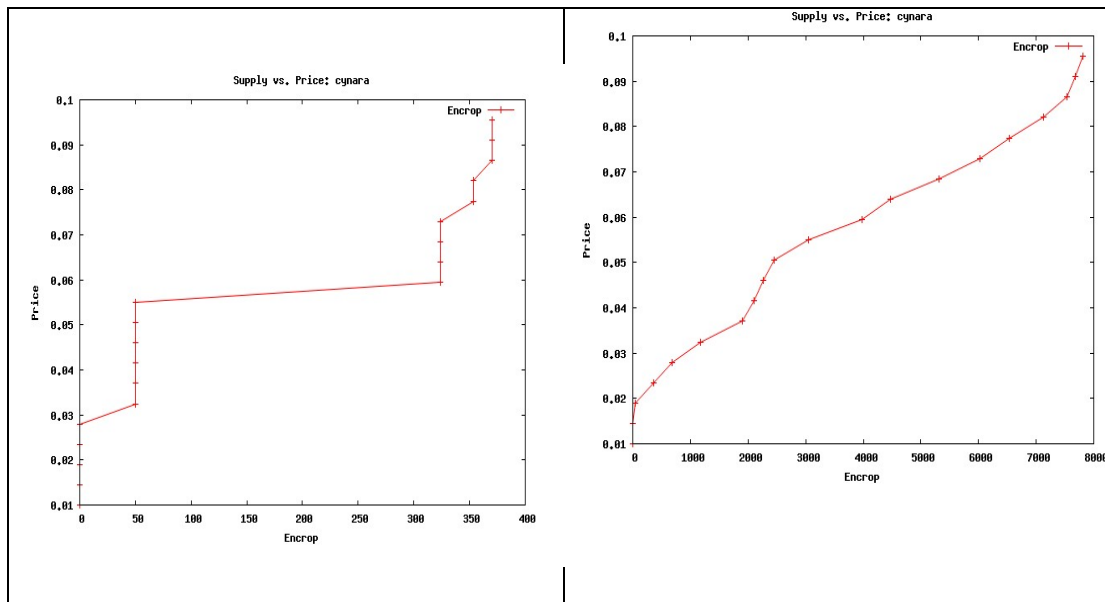
 Model output: <u>Διάγραμμα προσφοράς βιομάζας</u> <u>Σχέδιο παραγωγής</u> <u>Καμπύλη προσφοράς</u> <u>LP_Cynara.lst</u> Model inputs: <u>Farm selection</u> <u>Crop selection</u> <u>Price scenario</u>	Όταν συμπληρωθούν οι διευκρινήσεις που αφορούν Επιλογή εκμεταλλεύσεων, ενεργειακού φυτού και τιμών αγοράς αυτού, μπορεί να επιλυθεί το υπόδειγμα καλώντας το λογισμικό GAMS. Τα αποτελέσματα δίνονται σε τέσσερα αρχεία στα οποία ο χρήστης έχει πρόσβαση από την ίδια οθόνη που ενεργοποιεί το υπόδειγμα, όπως φαίνεται δίπλα.
--	--

Διάγραμμα 4. Καμπύλη προσφοράς - Διάγραμμα προσφοράς βιομάζας.

Η καμπύλη προσφοράς που προκύπτει από την επίλυση του προβλήματος που ουσιαστικά απομονώνει από τον προηγούμενο πίνακα του σχεδίου παραγωγής την τιμή και την ποσότητα του ενεργειακού φυτού δίνεται και σε διαγραμματική μορφή, έτσι ώστε ο ενδιαφερόμενος να μπορεί να διερευνήσει τη δυνατότητα των επιλεχθέντων εκμεταλλεύσεων να προσφέρουν βιομάζα και σε ποιά ποσότητα ανάλογα πάντα με την τιμή (παραγωγού) που λαμβάνουν.

Η καμπύλη προσφοράς είναι πολύ πιο χρήσιμη όταν αναφέρεται σε ομάδα εκμεταλλεύσεων, ή σε συγκεκριμένη περιοχή, όταν δηλαδή είναι αθροιστική καμπύλη των ατομικών καμπυλών προσφοράς των επιμέρους εκμεταλλεύσεων. Τότε μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε επενδυτές, στη βιομηχανία, ή και σε συνεταιρισμούς, σε παράγοντες δηλαδή που δραστηριοποιούνται στο στάδιο της μεταποίησης της ενεργειακής βιομάζας.

Σενάρια Χρήσης και περαιτέρω δυνατότητες : α) Διερεύνηση της χωρικής Κατανομής της παραγωγής ενός ενεργειακού φυτού και β) Διερεύνηση της επίδρασης της τιμής του ενεργειακού φυτού στην προσφορά αυτού.



Διάγραμμα 5. Καμπύλη προσφοράς αγριαγκινάρας της εκμετάλλευσης 5 (αριστερά) και αθροιστικά του νομού Καρδίτσας (δεξιά).

A Web-based Spatial DSS for estimating biomass-to-energy supply in Thessaly

Abstract

Bio-energy issues constitute spatially dependent problems by definition due to the state-of-the-art technology and the bulky nature of biomass. Moreover, biomass profitability is linked to the structure and perspectives of the arable cropping systems since these are able to supply considerable quantities in the short and medium term required to fulfil the ambitious targets aimed at by policy makers. Therefore, appropriate tools are necessary to enable a comprehensive analysis and support decisions of policy makers, industry, researchers and farmers. Spatial Decision Support Systems that have been developed to support bio-energy decisions are used as a basis enhanced by a web-based interface, in this exercise resulting in a Web-SDSS implemented in Thessaly in order to evaluate selected energy crop supply. The methodology and architecture of this tool are detailed in this paper, followed by an illustrative description of its operational version implemented in ex-tobacco producing areas.

Βιβλιογραφία

Cole N. et al., 1992. Resource mapping and analysis of potential sites for short rotation coppice in the UK – assessing the opportunities of biomass-to-energy technologies, in Chartier et al. (eds) 9th Biomass for Energy European Conference Proceedings, Oxford Elsevier, pp. 1811-1816.

- Graham R., B.C. English, C.E. Noon, 2000. A GIS-based modeling system for evaluating the cost of delivered energy feedstock, *Biomass & Bio-energy*: 309-329.
- Hazell P. and R.D. Norton. *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. New York: Macmillan Co., 1986.
- Kazakçi, A., S. Rozakis, D. Vanderpooten, 2007. Energy crop supply in France: A min-max regret approach, *Journal of the Operations Research Society*, 58(11): 1470-1479
- Laaribi A., 2000. *S.I.G. et analyse multicritère*, Hermès Science Publications, Paris, pp. 190.
- Liu, W., V.D. Philips, D. Singh, 1992. A spatial model for the economic evaluation of biomass production systems, *Biomass & Bio-energy* 3 (5): 345-356.
- Lychnaras V. and S. Rozakis, 2006. Economic Analysis of Perennial Energy Crop Production in Greece under the light of the new C.A.P., *New MEDIT* 3-06 (in press).
- Ousterhout, 97 Ousterhout, Proceedings of the Fifth Annual Tcl/Tk Workshop 1997
- Petsakos A. and S. Rozakis, 2015. Calibration of agricultural risk programming models, *European Journal of Operational Research* 242: 536-545
- Rozakis S., P.G.Soldatos, L.Kallivroussis, I.Nikolaou, 2001, Multiple Criteria Decision Making on bio-energy projects assisted by G.I.S.: The case of Farsala, *Journal of Geographical Information and Decision Analysis*, Vol.5-1: 49-64
- Sourie J-C, 2002. Energy crop supply in France, in *Options Méditerranéennes*, S. Rozakis & J-C. Sourie (eds.), Special Issue '*Comprehensive modeling of bio-energy systems*', Series A- 48
- Sugumaran V. and R. Sugumaran, 2005. Web-based Spatial Decision Support Systems (WebSDSS): Evolution, Architecture, and Challenges, Third Annual SIGDSS Pre-ICIS Workshop: *Designing Complex Decision Support: Discovery and Presentation of Information and Knowledge*, Las Vegas, Nevada
- XML/RPC, Remote Procedure Calling protocol. URL: <http://www.xmlrpc.com/spec>

**ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΑΞΙΑ
ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΤΟΠΙΟΥ ΤΗΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ
ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ**

Αναστάσιος Κολεούρης¹, Ανδρομάχη Πατσιαβούρα²

¹Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πολυτεχνική Σχολή,
Πανεπιστήμιο Πατρών (mfortosi@otenet.gr)

²Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πολυτεχνική Σχολή,
Πανεπιστήμιο Πατρών

Περίληψη

Η μεταβολή κοινωνικοοικονομικών παραγόντων και ιδιαίτερα η μεγέθυνση της τουριστικής δραστηριότητας αναφέρεται συχνά ως αιτία μεταβολής και υποβάθμισης της αξίας Μεσογειακών παραδοσιακών τοπίων κυρίως αγροτικού χαρακτήρα. Η επίδραση της μεταβολής αυτής διερευνήθηκε σε στοιχεία του τοπίου όπως είναι η χρήση/ κάλυψη γης, οι δρόμοι, το πλήθος κτηρίων κ.α. που επηρέασαν την αισθητική λειτουργία του αγροτικού τοπίου της Ζακύνθου, την εξεταζόμενη περίοδο 1990-2010.

Κατά τη διερεύνηση θεωρήθηκε ως αιτία των αλλαγών, στα στοιχεία του τοπίου, η τουριστική δραστηριότητα που αναπτύχθηκε στον νομό.

Μέσω της θεώρησης αυτής μελετήθηκαν, η δυναμική διατήρησης, το εύρος αλλαγών και οι περιοχές που έλκουν δυνάμεις αλλαγών. Οι αλλαγές των στοιχείων του τοπίου, καθώς επίσης τα θεωρούμενα αίτια, προσεγγίσθηκαν με τη χρήση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων και μέσω ανεξάρτητων δεδομένων: πληθυσμού, απασχόλησης, μεγέθους και αριθμού τεμαχίων των αγροτικών εκμεταλλεύσεων.

Η επιλογή της τουριστικής δραστηριότητας, ως θεωρούμενου παράγοντα αλλαγής αποτέλεσε η μεγέθυνση αυτής της δραστηριότητας, κατά τη συγκεκριμένη περίοδο, λαμβανομένης υπόψη της σταθερότητας των εφαρμοσμένων αγροτικών πολιτικών για το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, διαπιστώνεται ότι η άσκηση της τουριστικής δραστηριότητας επέδρασε άμεσα στο τοπίο των εκτάσεων στις οποίες αναπτύχθηκαν τουριστικές υποδομές, μέσω μεταβολής της χρήσης της γης από αγροτική σε οικιστική. Πλέον αυτής της μεταβολής δεν επηρέασε την αισθητική του αγροτικού τοπίου της Ζακύνθου την περίοδο 1990-2000, οπότε αποτέλεσε κύριο μεταβαλλόμενο κοινωνικο-οικονομικό παράγοντα δυνάμενο, μέσω επηρεασμού της

απασχόλησης, να συμβάλλει στη μεταβολή της χρήσης / κάλυψης γης και να αποτελέσει κατευθυντήρια δύναμη αλλαγής στο τοπίο.

Κατά την επόμενη δεκαετία, η αύξηση μεγέθους του πληθυσμού, η εισοδηματική του ανάπτυξη, η αποκέντρωσή του από την πόλη ως τόπου διαμονής και η μεταβολή της κουλτούρας του προς πλέον δαπανηρές συνθήκες διαβίωσης, μετέβαλαν το πλήθος και το μέγεθος τουλάχιστον των κτηρίων κανονικών κατοικιών, τα οποία ως συστατικά μετέβαλαν τη σύνθεση του πεδινού αγροτικού τοπίου της Ζακύνθου.

Λέξεις-κλειδιά: Ζάκυνθος, Αγροτικό τοπίο, Τουρισμός, GIS

1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, η αλλαγή αγροτικών τοπίων της Ευρώπης και της Μεσογείου έχει επιφέρει την υποβάθμιση της πολυλειτουργικότητάς τους (Naveh 1982, Makhzoumi 1997, Pinto-Correia και Vos 2004, Nikodemus κ.α 2005, Lasanta-Martinez κ.α 2005) και τη μεταβολή του αισθητικού χαρακτήρα τους (Dodouras κ.α, 2009, Vidal-Legaz κ.α, 2013, Van Der Sluis κ.α 2014).

Κατά τη σύγχρονη επιστημονική προσέγγιση η μεταβολή αυτή αποδίδεται, σε κατευθυντήριες δυνάμεις μεταξύ των οποίων εξετάζονται τεχνολογικές, φυσικές/χωρικές, πολιτικές, πολιτιστικές και κοινωνικοοικονομικές αλλαγές (Bürgi, 2004). Στο σύνολό τους αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το τοπίο, καθιστώντας δύσκολη την εξακρίβωση της σχέσης αιτίου-αιτιατού. Οι τεχνολογικές αναφέρονται σε τεχνικές/ μέσα παραγωγής, κατασκευής και χρήσης ανθρωπογενών δημιουργημάτων. Οι φυσικές/ χωρικές αναφέρονται, σε επικρατούσες συνθήκες του φυσικού περιβάλλοντος (χαρακτηριστικά του εδάφους, τοπογραφία κ.α), στη διαμόρφωση του χώρου (υφιστάμενες χρήσεις γης και δίκτυα μεταφορών) και σε μεγάλες καταστροφές. Οι πολιτικές περιλαμβάνουν, προγράμματα, αποφάσεις δημοσίων οργάνων, και νόμους συναφείς με κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Αν και ο πολιτισμός συνιστά σύνθετη και ασαφή έννοια σε θέματα περιβαλλοντικής αλλαγής, στις πολιτιστικές δυνάμεις αλλαγής των τοπίων περιλαμβάνονται, ο τρόπος ζωής, η δημογραφία και η ανάπτυξη της κοινωνίας (Bürgi κ.α 2004, Hersperger και Bürgi 2007). Κατά τους ίδιους, οι κοινωνικοοικονομικές και οι πολιτικές αλλαγές συνιστούν δυνάμεις που εξετάζονται συνήθως και σε προτεραιότητα, με τις κοινωνικοοικονομικές να εστιάζουν κυρίως στην οικονομία και σε τομείς της.

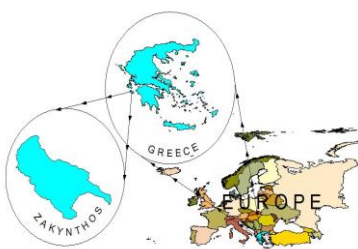
Τις τελευταίες δεκαετίες, στις παράκτιες περιοχές και νησιά της Μεσογείου ο τομέας του τουρισμού έχει αναδειχθεί ως σημαντικός οικονομικός παράγοντας

κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης (Apostolopoulos κ.α. 2001, I.O.B.E. 2012, I.O.B.E. 2013, WTTC 2014). Η εργασία αυτή αποβλέπει στη διερεύνηση των επιπτώσεων από τον τουρισμό, την περίοδο εδραίωσής του ως σημαντικού κοινωνικοοικονομικού παράγοντα, ως επίσης στη διερεύνηση άλλων κατευθυντηρίων δυνάμεων στο αγροτικό τοπίο νησιού, τόσο ως προς την ενιαία εδαφική του επιφάνεια, όσο και ως προς κάθε μια από τις τοπικές του κοινότητες.

2.Υλικά – μέθοδοι

2.1 Περιγραφή της περιοχής έρευνας

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στη Ζάκυνθο, όπου ο επικρατών, τις τελευταίες δεκαετίες, τύπος τουρισμού είναι αυτός του *τουρισμού αναψυχής* (ορισμός κατά WTO, 2007) περιλαμβάνοντας, δυνητικά, ημερήσιες εκδρομές εντός ή/και εκτός του νησιού. Ως δραστηριότητα και προϊόν ξεκίνησε στην παραθαλάσσια περιοχή του Τοπικού Διαμερίσματος Αργασιού. Με τους τουρίστες να παραμένουν κατά τη διάρκεια



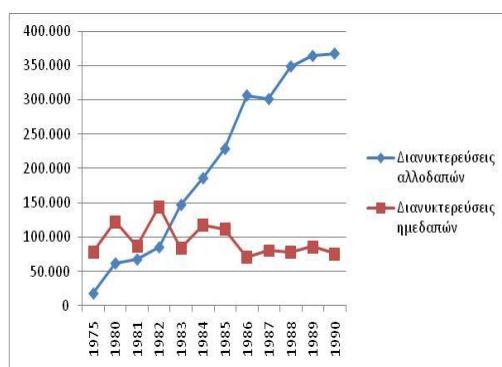
Εικόνα 1: Περιοχή έρευνας

των διακοπών τους σε ενοικιαζόμενα δωμάτια κατοικιών της περιοχής, η τουριστική της ζήτηση αυξήθηκε και το έτος 1969 λειτούργησαν οι δύο πρώτες ξενοδοχειακές επιχειρήσεις (Στοιχεία Τουριστικής Αστυνομίας – Αστυνομική Διεύθυνση Ζακύνθου). Με μικρή χρονική υστέρηση, αλλά με τις ίδιες συνθήκες παραμονής των τουριστών, αυτός ο τύπος τουρισμού επεκτάθηκε στις παραθαλάσσιες περιοχές των Τοπικών Διαμερισμάτων Πλάνου (παραλία Τσιλιβί), Καλαμακίου και Παντοκράτορα (παραλία Λαγανά) με τα πρώτα ξενοδοχειακά καταλύματα να τίθενται σε λειτουργία τα έτη 1972, 1973 και 1976 αντίστοιχα.

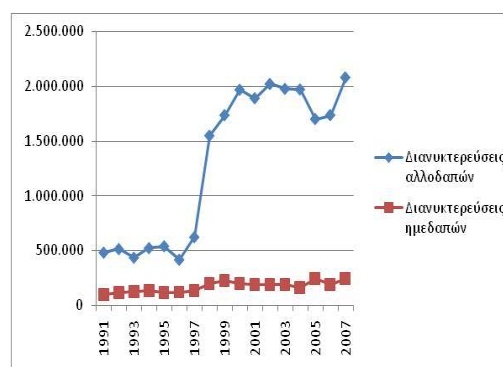
Το διάστημα 1980-1990 η τουριστική ζήτηση των αμμοδών παραλιών της Ζακύνθου αυξήθηκε ακόμη περισσότερο. Η λειτουργία δε του διεθνούς αερολιμένα Ζακύνθου το έτος 1982 (στοιχεία Υ.Π.Α. Διεθνούς Αερολιμένα Ζακύνθου) συνέβαλε σημαντικά, στην αύξηση της επισκεψιμότητας μέσω της εκτέλεσης ναυλωμένων πτήσεων (Charters) από Χώρες του εξωτερικού και στη συνολική αύξηση του ετήσιου αριθμού διανυκτερεύσεων.

Το έτος 1991, ο συνολικός αριθμός κλινών (ξενοδοχείων και ενοικιαζομένων δωματίων) εμφανίζει αύξηση κατά 246,97% ως προς τον αντίστοιχο του έτους 1981, με τις υπηρεσίες τουριστικών καταλυμάτων να επεκτείνονται και σε άλλα παραθαλάσσια τοπικά διαμερίσματα, όπως επίσης και σε τοπικά διαμερίσματα της ενδοχώρας.

Την οριακή μείωση της μέσης ετήσιας μεταβολής του συνολικού αριθμού διανυκτερεύσεων (-0.65%) κατά την εξαετία 1991 – 1996 ακολούθησε η ραγδαία αύξηση της επόμενης τετραετίας (1997-2000), στο τέλος της οποίας ο συνολικός αριθμός διανυκτερεύσεων τετραπλασιάστηκε για να παραμείνει σ' αυτή την τάξη μεγέθους, με μικρές αυξομειώσεις κατ' έτος ως το 2007, έτος μέχρι το οποίο υφίστανται διαθέσιμα στοιχεία για τις διανυκτερεύσεις. Η συνολική αύξηση της επισκεψιμότητας την περίοδο 1991-2000 είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του συνολικού αριθμού κλινών κατά 77,67% το έτος 2001, έναντι του 1991 και τις υπηρεσίες τουριστικών καταλυμάτων να προσφέρονται στις 29 από τις 47 τοπικές κοινότητες της Ζακύνθου.



Εικόνα 2: Διαγράμματα διανυκτερεύσεων αλλοδαπών και ημεδαπών στο Ν. Ζακύνθου την περίοδο 1980-1990



Εικόνα 3: Διαγράμματα διανυκτερεύσεων αλλοδαπών και ημεδαπών στο Ν. Ζακύνθου την περίοδο 1991-2007

2.2 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία διερεύνησης αντλήθηκε από δημοσιευμένη εργασία των Bürgi κ.α (2004) και εξετάζει ως υποτιθέμενη αιτία των αλλαγών στα στοιχεία του τοπίου, κατά την περίοδο αυτή, την τουριστική δραστηριότητα που αναπτύχθηκε στο νομό.

Μέσω της θεώρησης αυτής μελετήθηκαν, η δυναμική διατήρησης, το εύρος αλλαγών και περιοχές οι οποίες έλκουν δυνάμεις αλλαγών. Για την κατανόηση των αλλαγών, η υποτιθέμενη αιτία και οι αλλαγές στοιχείων του τοπίου εξετάστηκαν μέσω ανεξάρτητων δεδομένων: αριθμού κλινών, πληθυσμού, απασχόλησης, μεγέθους και αριθμού τεμαχίων των αγροτικών εκμεταλλεύσεων.

Αιτία επιλογής της τουριστικής δραστηριότητας, και όχι κάποιου αγροτικού παράγοντα ως υποτιθέμενου παράγοντα αλλαγής, αποτέλεσε η μεγέθυνση της δραστηριότητας κατά την συγκεκριμένη περίοδο, όπως αποδίδεται στη συνέχεια, λαμβανομένης υπόψη της σταθερότητας των εφαρμοσμένων πολιτικών (μεταξύ αυτών και των αγροτικών) για το εκάστοτε εξεταζόμενο διάστημα.

2.3 Εκτίμηση του μεγέθους τουριστικής δραστηριότητας

Χρησιμοποιήθηκε ο *Δείκτης Τουριστικής Λειτουργίας (TFI)*, που αναπτύχθηκε από τον Defert (1966). Ο δείκτης επιτρέπει τη σύγκριση για μια περιοχή του δυναμικού τουριστικών υπηρεσιών κατάλυσης, συνήθως εκφρασμένου σε αριθμό κλινών ή δωματίων ως προς το μέγεθος του τοπικού πληθυσμού (Pearce 1987). Εκφρασμένος σε αριθμό κλινών, ο δείκτης τουριστικής λειτουργίας υπολογίζεται μέσω του τύπου: $TFI = (N \cdot 100) / P$, όπου N : αριθμός κλινών, P : τοπικός πληθυσμός.

Σύμφωνα με τις τιμές που λαμβάνει ο δείκτης (εκφρασμένου σε αριθμό κλινών), κατά περίπτωση περιοχής, αυτή χαρακτηρίζεται ως ακολούθως:

$TFI > 500$: περιοχή με υπερβολική/ εντατική τουριστική δραστηριότητα,

$TFI = 100-500$: περιοχή με μεγάλη/ σχεδόν αποκλειστική τουριστική δραστηριότητα,

$TFI = 40-100$: περιοχή με κύρια τουριστική δραστηριότητα σε σχέση με άλλους τομείς/κλάδους,

$TFI = 10-40$: περιοχή με σημαντική αλλά όχι κύρια τουριστική δραστηριότητα,

$TFI = 4-10$: περιοχή με μικρή τουριστική δραστηριότητα,

TFI<4: περιοχή με αμελητέα τουριστική δραστηριότητα.

Με κριτήριο τον *δείκτη τουριστικής λειτουργίας* οι Τοπικές Κοινότητες της Ζακύνθου ταξινομήθηκαν για τα έτη 1981, 1991 και 2001.

2.4 Επιλογή περιόδων για τη διερεύνηση αλλαγών στο τοπίο από τον τουρισμό

Η επιλογή των κατάλληλων περιόδων για την απόδοση των αλλαγών στο τοπίο είναι μια πρόκληση. Δεν είναι μόνο τα τοπία αντικείμενα αλλαγής, το ίδιο συμβαίνει και με τις κατευθυντήριες δυνάμεις που τα διαμορφώνουν (Bürgi κ.α 2004). Κατά τους ίδιους, εφόσον διερευνούνται δυνητικές κατευθυντήριες δυνάμεις αλλαγής του υπό μελέτη συστήματος, οι περίοδοι πρέπει να αποδίδουν τις αλλαγές του επίπεδου αυτών των δυνάμεων.

Για τη διερεύνηση των αλλαγών στο τοπίο της Ζακύνθου από τον τουρισμό επιλέχθηκε η δεκαετία 1990-2000. Κριτήρια επιλογής της χρονικής αυτής περιόδου αποτέλεσαν:

- Η δεκαετής διάρκειά της, χρονικό εύρος που συστήνεται για τη συστημική και οργανωμένη διερεύνηση αλλαγών στο τοπίο, όταν αυτές δεν οφείλονται σε τυχαίο γεγονός (Bürgi κ.α 2004),
- Την περίοδο αυτή ο μέσος ετήσιος αριθμός διανυκτερεύσεων ανά κάτοικο, από 13,11 (*Stdev* = ± 0,83) την πενταετία 1986 – 1990 μεταβάλλεται σε 52,92 (*Stdev* = ± 1,89) την πενταετία 2001 – 2005, επίπεδο στο οποίο διατηρείται ως το έτος 2007,
- Το έτος 1991 καταγράφεται για πρώτη φορά, μέσω του *δείκτη τουριστικής λειτουργίας*, ο χαρακτηρισμός «*Τοπική Κοινότητα με Υπερβολική / εντατική τουριστική δραστηριότητα*». Κατά συνέπεια το έτος αυτό, για τη Ζάκυνθο, συμπληρώνονται οι κατηγορίες διαβάθμισης της τουριστικής δραστηριότητας με δυνατότητα σύγκρισης των επιπτώσεων από τον τουρισμό στις χρήσεις της γης, μεταξύ των Τοπικών Κοινοτήτων,
- Το έτος 2001 αποτελεί ορόσημο για μια άλλη κατευθυντήρια δύναμη με δυνητικές αλλαγές στο τοπίο της Ζακύνθου, την αναθεωρημένη Κοινή Αγροτική Πολιτική – Κ.Α.Π., σημαντική αλλαγή της οποίας, ως προς το ισχύον ως τότε καθεστώς, συνιστά η αποδέσμευση των οικονομικών ενισχύσεων από την παραγωγή και η χορήγησή τους στην εκμετάλλευση βάσει δικαιωμάτων,
- Το έτος 2001 σταμάτησε η θετική συσχέτιση του προερχόμενου από τον οικονομικό κλάδο «*Ξενοδοχεία & Εστιατόρια*» Α.Ε.Π. (χαρακτηριστικό οικονομικό μέγεθος της τουριστικής δραστηριότητας) προς το Α.Ε.Π. το προερχόμενο από

«Υπηρεσίες», στις οποίες εντάσσεται και ο τουρισμός ως δραστηριότητα, γεγονός που καταδεικνύει μεταβολή ως προς επικρατούντες, τουλάχιστον από το έτος 1995, οικονομικούς παράγοντες.

- Επίσης, το έτος 2001 συνιστά, σύμφωνα με την απογραφή του πληθυσμού, την έναρξη μιας εσωτερικής μετακίνησης των κατοίκων από την πόλη της Ζακύνθου και τις ορεινές κοινότητες προς τις πεδινές περιοχές του νησιού.

2.5 Προσδιορισμός των μεταβολών στις χρήσεις/ καλύψεις της γης

Για τον εντοπισμό και τη διερεύνηση των μεταβολών στις χρήσεις και καλύψεις της γης, την επιλεγθείσα περίοδο, χρησιμοποιήθηκαν οι σχετικές μεταβολές της περιόδου 1990 - 2000 και η ψηφιοποιημένη για το έτος 1998 εικόνα σε αρχεία shape/raster με χωρική ανάλυση 100 m, που παρέχονται από το πρόγραμμα Corine Land Cover. Αυτό το μέγεθος εικονοστοιχείου συνιστά μια λεπτή ανάλυση για να αποδώσει μεταβολές στη σύνθεση του τοπίου. Λεπτότερη ανάλυση θα είχε ως αποτέλεσμα έναν μεγάλο αριθμό εικονοστοιχείων προκειμένου να χειριστεί με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και στατιστικών μοντέλων (Levin 2006, Hersperger και Bürgi 2007). Προηγουμένως, έγινε αναγωγή των εικόνων στο Εθνικό Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς 1987. Ακολούθως, οι μεταβολές εντοπίστηκαν και λεπτομερέστερα χαρακτηρίστηκαν στο πεδίο.

Τα όρια των Τοπικών Κοινοτήτων λήφθηκαν ως *όρια Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης* από το Υπουργείο Εσωτερικών, Αποκέντρωσης & Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης, μέσω του διαδικτυακού τόπου <http://www.geodata.gov.gr>. Η επεξεργασία των εικόνων και των ψηφιοποιημένων πληροφοριών έγινε μέσω των λογισμικών εφαρμογών ArcView 3.2 και ArcMap 9.3.

2.6 Διερεύνηση της παρατηρούμενης (φαινόμενης) σταθερότητας της χρήσης/ κάλυψης της γης, της αμπελοκαλλιέργειας και της δομής του τοπίου

Η διατάραξη / μεταβολή της κάλυψης γης αποδίδεται κατά την εφαρμοζόμενη ανάλυση εφόσον η συνολική έκταση της γεωγραφικής μεταβολής, αυτοτελούς τεμαχίου ή/και συνεμφανιζομένων γειτνιαζόντων ομοειδών αγροτεμαχίων ικανού μεγέθους, είναι μεγαλύτερη μιας κρίσιμης τιμής εμφάνισης, της οποίας η πιθανότητα εξαρτάται από την κατανομή των μεγεθών έκτασης των τεμαχίων.

Για τη μετρική απόδοση του βαθμού της χωρικής κατανομής (συγκέντρωση ή διασπορά) μιας γεωγραφικής μεταβλητής και της συσχέτισης συνεμφανιζομένων γειτνιαζόντων γεωγραφικών τεμαχίων μιας περιοχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο

δείκτης εντροπίας του Shannon (Shannon 1948, Theil 1967, Thomas 1981, Leibovici 2009).

Για τη δυνατότητα σύγκρισης των τιμών εντροπίας κατά εξεταζόμενη περιοχή υπολογίστηκε η *σχετική εντροπία*, μέσω του δείκτη SHEI ο οποίος λαμβάνει τιμές στο διάστημα 0-1 (Thomas 1981).

Πλέον της τιμής της σχετικής εντροπίας το χαρακτηριστικό διερευνήθηκε μέσω προσδιορισμού και σύγκρισης των δεικτών, Σταθμισμένο Μέσο Μέγεθος Τεμαχίου (Weighted Mean Patch Size-WMPS), Μέσο Μέγεθος Τεμαχίου (Mean Patch Size-MPS), Πυκνότητα Τεμαχίων (Patch Density-PD), Τυπική Απόκλιση (Standard Deviation-SD) και Σταθερά της Παρέκκλισης (Coefficient of Variation-CV). Οι δείκτες υπολογίστηκαν για τα τεμάχια της τάξης «αμπελοκαλλιέργεια» σε κάθε μια από τις Τοπικές Κοινότητες της Ζακύνθου στις οποίες, κατά *Corine Land Cover*, εμφανίζεται η τάξη της αμπελοκαλλιέργειας το έτος 1990, ως επίσης και των περιοχών στις οποίες προσδιορίζονται μεταβολές της τάξης την περίοδο 1990 – 2000.

2.7 Αποτίμηση των μεταβολών στην αισθητική του αγροτικού τοπίου

Για την αντικειμενική αποτίμηση των μεταβολών χρήσεων / καλύψεων της γης στην αισθητική του αγροτικού τοπίου, κατά περίπτωση Τοπικού Διαμερίσματος και της Ζακύνθου ως ενιαίας έκτασης, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ποικιλότητας του Shannon (*SHDI*) μέσω της εφαρμογής Fragstats 3.3. Ο δείκτης λαμβάνει τιμές ίσες ή μεγαλύτερες, χωρίς όριο, του μηδενός. Λαμβάνει την τιμή 0 όταν το τοπίο αποτελείται από ένα στοιχειώδες τμήμα, ενώ αυξάνεται καθώς ο αριθμός των τάξεων αυξάνει ή/ και όταν η αναλογούσα κατανομή μεταξύ των τάξεων βαίνει σε ισοκατανομή (McGarigal και Marks 1995).

Κατά τους ίδιους, ο δείκτης ποσοτικοποιεί τη σύνθεση και υπολογίζει την ποικιλότητα σε επίπεδο τοπίου. Χρησιμοποιείται δε για τη σύγκριση διαφορετικών τοπίων ή του ίδιου τοπίου σε διαφορετικούς χρόνους. Το μετρικό αυτό μέγεθος επηρεάζεται από δύο παραμέτρους, τον πλούτο και την ομοιομορφία. Ο πλούτος αναφέρεται στον αριθμό των τάξεων, ενώ η ομοιομορφία στην κατανομή της έκτασης μεταξύ των διαφόρων τύπων. Ο πλούτος και η ομοιομορφία γενικά αναφέρονται ως σύνθεση και δομικά υλικά, της ποικιλότητας. Κατά τους Franco κ.α (2003) υπάρχει μια ισχυρή ερμηνευτική σχέση μεταξύ του εκτιμώμενου, από του πολίτες, φυσικού κάλλους και του δείκτη, όπως αναφέρουν οι Uuemmaa κ.α (2009).

Για την ορθή σύγκριση των τιμών του δείκτη, κατά εξεταζόμενη αγροτική περιοχή από τα *shape* αρχεία χρήσεων γης των Τοπικών Κοινοτήτων των ετών 1990 και 2000 αφαιρέθηκαν οι εκτάσεις των *τεχνητών τάξεων* (με κωδικούς: 111, 112, 121, 123, 124, 131, 132, 133, 141, 142 κατά *Corine Land Cover*) το έτος 2000. Ακολούθως, μετατράπηκαν σε αρχεία τύπου *raster*, με μέγεθος εικονοστοιχείου 100 X 100 m (ανάλυση των αρχείων όπως παρέχονται) και ο δείκτης, για το σύνολο της Ζακύνθου και κάθε Τοπική Κοινότητα, υπολογίστηκε ανά εξεταζόμενο έτος.

Ακολούθως, για κάθε κατηγορία του *Δείκτη Τουριστικής Λειτουργίας (TFI)* και με κριτήριο τις τιμές του δείκτη *Shannon's Diversity* στις Τοπικές Κοινότητες, τα αποτελέσματα κατηγοριοποιήθηκαν ως, 1: “*βελτίωση*”, 2: “*υποβάθμιση*”, 0: “*χωρίς μεταβολή*” και εξετάστηκε η κεντρική τάση μέσω του μέτρου της *δειγματικής επικρατούσας τιμής*, η σχετική συχνότητα εμφάνισης της τιμής ως επίσης και το κριτήριο χ^2 (*Chi-Square Test*), σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Για τις περιπτώσεις εμφάνισης λιγότερων των τριών τιμών εξετάστηκαν, η δειγματική επικρατούσα τιμή και η συχνότητα εμφάνισης [ή αλλιώς, ποσοστό (*percent*)]. Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε μέσω της λογισμικής εφαρμογής SPSS 17.

2.8 Απόδοση της διατάραξης του τοπίου από την οικιστική μεταβολή (μετρική απόδοση του κατακερματισμού της εδαφικής επιφάνειας από το δημόσιο οδικό δίκτυο - μετρική απόδοση της πυκνότητας των οικιών)

Για την μετρική απόδοση της διατάραξης ψηφιοποιήθηκε το δημόσιο οδικό δίκτυο της εξεταζόμενης περιοχής από αεροφωτογραφίες έτους 1998 της Γ.Υ.Σ. με χωρική ανάλυση 1,00 m, αφού προηγουμένως πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά των α/φ στο Εθνικό Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς 1987. Η ψηφιοποίηση πραγματοποιήθηκε, σε κλίμακα 1:1.000, από ένα άτομο για τον περιορισμό στατιστικών σφαλμάτων και με τη χρήση της λογισμικής εφαρμογής ArcView 3.2.

Οι Νομαρχιακοί οδοί αναγνωρίστηκαν βάσει σχετικού τοπογραφικού σκαριφήματος των Τεχνικών Υπηρεσιών της Π.Ε. Ζακύνθου, ενώ ως δημοτικοί χαρακτηρίστηκαν οι οδοί που συνδέουν, Νομαρχιακές οδούς (Δημοτικοί Α΄τάξης) ή Νομαρχιακές με Α΄ τάξης Δημοτικές και Α΄ τάξης Δημοτικές μεταξύ τους (Δημοτικές Β΄τάξης) ή Δημοτικές Β΄ και μικρότερης τάξης ιεραρχίας (Δημοτικές Γ΄ τάξης) ή καταλήγουν σε κοινόχρηστους χώρους (π.χ. παραλίες, Δημοτικές Δ΄ τάξης).

Σύμφωνα με πληροφορία της Διεύθυνσης Τεχνικών Υπηρεσιών της Περιφερειακής Ενότητας Ζακύνθου το διάστημα 2000-2010 το Δημόσιο Οδικό δίκτυο του νησιού επεκτάθηκε στα Δημοτικά Διαμερίσματα Καλιπάδου και Πλάνου.

Κατά τους McGarigal και Marks (1995) η πυκνότητα των ακμών στο τοπίο συνιστά μέτρο έκφρασης του κατακερματισμού, υπολογίζεται δε από τον τύπο: E/A , όπου, E : το συνολικό μήκος ακμών, A : το εμβαδόν του τοπίου. Κατά τους ίδιους, ο δείκτης εκφρασμένος σε μονάδα έκτασης, επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών σε μέγεθος τοπίων. Υπό τη θεώρηση αυτή και λαμβάνοντας ως ακμές τις γραμμές που αποδίδουν τις δημόσιες οδούς, υπολογίστηκε η πυκνότητα του δημόσιου οδικού δικτύου για κάθε Τοπική Κοινότητα και εκφράστηκε σε Km/Km^2 . Βάσει των τιμών τις οποίες λαμβάνει ο δείκτης, οι Τοπικές Κοινότητες της εξεταζόμενης περιοχής κατατάχθηκαν ως προς τον κερματισμό, που προκαλεί το δημόσιο οδικό δίκτυο.

Στοιχεία ως προς των αριθμό των *κανονικών οικιών* ανά Τοπική Κοινότητα λήφθηκαν από τις απογραφές κτηρίων για τα έτη 1991, 2001 και 2008 της ΕΛ.ΣΤΑΤ. Ο αριθμός αυτών για κάθε Τοπική Κοινότητα διαιρέθηκε προς το συνολικό μήκος του δημόσιου οδικού δικτύου της Κοινότητας και εκφράστηκε σε αριθμό κατοικιών/ Km (ή κτισμάτων/ m).

3. Αποτελέσματα - συζήτηση

Στις αγροτικές περιοχές, οι επιπτώσεις από την άσκηση της τουριστικής δραστηριότητας στις χρήσεις/ καλύψεις της γης συνίστανται σε άμεσες και έμμεσες. Οι άμεσες αφορούν την κατασκευή χώρων υποδοχής - αναψυχής τουριστών και δημόσιων έργων για την υποστήριξή της, ως επίσης επέκταση αστικών ή διακεκομμένης αστικής δόμησης περιοχών. Οι έμμεσες επιπτώσεις αφορούν τη μεταβολή στην έκταση και δομή της χρησιμοποιούμενης γεωργικής γης λόγω άσκησης δραστηριοτήτων σχετικών με τον τουρισμό (όπως λιανικό εμπόριο, παροχή τουριστικών υπηρεσιών κ.α.) και αλλαγής της γεωργικής απασχόλησης ή/και μείωσης του διαθέσιμου χρόνου για καλλιεργητικές εργασίες (Garcia-Ruiz και Lasanta 1993, Laguna 2003, Lasanta κ.α 2005, Kizos και Vlahos 2012).

Από εξέταση των μεταβολών στις χρήσεις γης (1990-2000) διαπιστώνεται ότι, χωρικά, η τουριστική δραστηριότητα την ερευνούμενη περίοδο επεκτάθηκε σε βάρος χρησιμοποιούμενης γεωργικής γης (στο σύνολο των Τοπικών Κοινοτήτων, στις οποίες διαπιστώνεται επέκταση). Ειδικότερα, παρατηρούνται μεταβολές των τάξεων *ελαιώνες, μη αρδεύσιμη αρόσιμη γης και σύνθετα συστήματα καλλιέργειας* σε εγκαταστάσεις κατάλυσης και αναψυχής για την υποδοχή τουριστών έκτασης 56,6 Ha στο σύνολο του νησιού (406 Km^2).

Εκ των υπολοίπων προσδιοριζόμενων μεταβολών οι:

- από “φυσικούς βοσκότοπους” σε “σκληροφυλλική βλάστηση”,
- από “μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις” σε “δάσος κωνοφόρων”,
- από “μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις” σε “μικτό δάσος”, αφορούν φυσική διαδοχή της βλάστησης,
- από “σκληροφυλλική βλάστηση” σε “γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης”,
- από “σκληροφυλλική βλάστηση” σε “φυσικούς βοσκότοπους”,
- από “δάσος κωνοφόρων” σε “μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις”,

αφορούν τυχαία γεγονότα (πυρκαγιές) και εκμετάλλευση της ξυλείας με αποτέλεσμα την αύξηση της Χρησιμοποιούμενης Γεωργικής Έκτασης για χρήση στη γεωργία ή κτηνοτροφία.

Οι δημιουργίες χώρων εξόρυξης ορυκτών σε βάρος εκτάσεων “γης που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης”, “φυσικών βοσκοτόπων”, “σκληροφυλλικής βλάστησης» και “ελαιώνων” αφορούν την υποστήριξη του κατασκευαστικού κλάδου για τη κατασκευή ιδιωτικών ή / και δημόσιων έργων.

Επίσης, οι μεταβολές εκτάσεων από σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, ελαιώνες και γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης σε διακεκομμένη αστική οικοδόμηση και μέρος των μεταβολών από μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη σε βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες, αφορούν παρεμβάσεις αστικού χαρακτήρα με σκοπό την επέκταση οικισμών και δημιουργία εγκαταστάσεων με σκοπό την παροχή υπηρεσιών (όπως, χονδρικό και λιανικό εμπόριο).

Κατά την ίδια χρονική περίοδο προσδιορίζεται μείωση της έκτασης των αμιγών αμπελώνων και μεταβολής τους σε σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (Τοπική Κοινότητα Αλικανά, Άνω Γερακαρίου, Καλλιθέας, Λαγωπόδου, Μαχαιράδου, Πηγαδακίων) αλλά και μεταβολή από σύνθετα συστήματα καλλιέργειας σε αμπελώνες (Τ.Κ. Γαϊτανίου, Βανάτου).

Συνολικά, η προσδιοριζόμενη μεταβολή, μέσω σύγκρισης των καλύψεων γης τα έτη 1990 και 2000, αφορά μείωση της έκτασης αμπελοκαλλιέργειας κατά 51,1 Ha. Αντιπαραβάλλοντας το μέγεθος αυτό με τη συνολική μείωση που προκύπτει από τα στατιστικά δεδομένα μεταβολής των εκτάσεων αμπελοκαλλιέργειας την περίοδο 1990-2000 (252,6 Ha) παρατηρείται ότι, σημαντικό ποσοστό της μεταβολής των εκτάσεων αμπελοκαλλιέργειας απορροφάται, κατά την εξέταση μεταβολών στο τοπίο, υπό την ανάλυση των 100 X 100 m, η οποία όπως προαναφέρεται συνιστά λεπτή ανάλυση προς

αυτό τον σκοπό, προσδίδοντας στο τοπίο και στην υπό θεώρηση τάξη της αμπελοκαλλιέργειας (η οποία συνιστά στοιχείο του τοπίου) *παρατηρούμενη (φαινόμενη) σταθερότητα*.

Οι υψηλές τιμές *σχετικής εντροπίας* της αμπελοκαλλιέργειας ανά Τοπική Κοινότητα, υποστηρίζεται ότι, ερμηνεύουν τη φαινόμενη σταθερότητα της έκτασης του συστήματος «τάξη αμπελοκαλλιέργειας» στην απόδοση του κατά Corine Land Cover και ανάλυση 100 X 100 m, παρά την υψηλότερη πραγματική μείωσή του. Λαμβάνοντας, εκτός της Τοπικής Κοινότητας Άνω Γερακαρίου (0,76), τιμές από 0,81 ως 0,90 με μέγιστη δυνατή την τιμή 1,00 γίνεται αντιληπτό ότι, η πιθανότητα εμφάνισης στο χώρο κάθε τύπου έκτασης αμπελοτεμαχίου τείνει σε υψηλό βαθμό να είναι ίδια. Αποτέλεσμα αυτού είναι, σύμφωνα με τις επικρατούσες τιμές μέσης έκτασης, σχετικής τυπικής απόκλισης και πυκνότητας αμπελοτεμαχίων, ο συνδυασμός γειτνιαζόντων αμπελοτεμαχίων (διαφορετικού μεγέθους και κυριότητας λόγω κατακερματισμού ιδιοκτησίας) στα οποία μεταβάλλεται κοινά η κάλυψη τους και συνολικά συνιστούν ικανή έκταση ώστε να καταγραφεί η μεταβολή στην εξεταζόμενη κλίμακα ανάλυσης, να εμφανίζει μικρή πιθανότητα.

Συνεπώς, αν και στη βιβλιογραφία διαπιστώνεται μια γενική συμφωνία σχετικά με τα αρνητικά αποτελέσματα του κατακερματισμού στο τοπίο, ο κατακερματισμός της ιδιοκτησίας (property fragmentation) στην περίπτωση της αμπελοκαλλιέργειας και του αγροτικού τοπίου της Ζακύνθου, υπηρετεί ως παράγων σταθερότητας της διαμόρφωσής του.

Εκ των τριών περιοχών όπου εντοπίζεται μεταβολή στην αμπελοκαλλιέργεια, διαπιστώνεται ότι, η αλλαγή της κάλυψης γης στην πρώτη περιοχή οφείλεται κυρίως σε παρεμβάσεις οικιστικού χαρακτήρα με παράγοντα έλξης της διατάραξης τον οδικό άξονα. Στη δεύτερη και τρίτη περιοχή η μεταβολή επήλθε, ως χωρικά τυχαία, εξ αιτίας της αλλαγής είδους καλλιέργειας. Σε όλες τις περιπτώσεις η εμφάνιση της μεταβολής σχετίζεται με το Μέσο Σταθμισμένο Μέγεθος αμπελοτεμαχίου, το οποίο στην εκάστοτε εξεταζόμενη περιοχή εμφανίζεται υψηλότερο από την ευρύτερα χωρικά επικρατούσα, αποδίδοντας συστήματα σχετικής αστάθειας.

Την περίοδο 1990-2000 και στο σύνολο του νομού, το πλήθος των τάξεων χρήσης/ κάλυψης της γης παρέμεινε αμετάβλητο, ενώ η κατανομή της έκτασης μεταξύ των τάξεων μεταβλήθηκε με αποτέλεσμα ο δείκτης ποικιλότητας του *Shannon (SHDI)* να εμφανίζει οριακή μείωση, υποδηλώνοντας ότι η αισθητική αξία του ενιαίου τοπίου της Ζακύνθου ελαφρά υποβαθμίστηκε κατά το εξεταζόμενο διάστημα.

Στις 46 Τοπικές Κοινότητες, που συνιστούν το νομό, ο δείκτης δεν εμφάνισε μια επικρατούσα τάση καθώς, σε 10 εξ αυτών (ποσοστό 21,74%) η τιμή του δείκτη δεν εμφάνισε μεταβολή, ενώ εμφάνισε μείωση σε 18 εξ αυτών (39,13%) και αύξηση στις υπόλοιπες 18.

Με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης του τουρισμού στην αισθητική του αγροτικού τοπίου κάθε μιας εκ των Τοπικών Κοινοτήτων αξιολογήθηκε η μεταβολή του δείκτη σε συσχέτιση με το Δείκτη Τουριστικής Λειτουργίας το έτος 2001 και διαπιστώθηκε ότι:

- Στις τρεις (3) Τοπικές Κοινότητες που κατατάσσονται στην κατηγορία *περιοχή με υπερβολική / εντατική τουριστική δραστηριότητα*, ο δείκτης εμφάνισε μείωση (υποβάθμιση αισθητικής) σε μία εξ αυτών (ποσοστό 33,3%), ενώ σε δύο εξ αυτών (ποσοστό 66,7%) αύξηση (βελτίωση αισθητικής).
- Από τις έξι (6) Τοπικές Κοινότητες που κατατάσσονται στην κατηγορία *«περιοχή με μεγάλη / σχεδόν αποκλειστική τουριστική δραστηριότητα»*, σε μία εξ αυτών (ποσοστό 16,7%) ο δείκτης εμφάνισε μείωση και στις υπόλοιπες πέντε (ποσοστό 83,3%) αύξηση.
- Από τις τρεις (3) Τοπικές Κοινότητες που κατατάσσονται στην κατηγορία *«περιοχή με κύρια τουριστική δραστηριότητα σε σχέση με άλλους τομείς/κλάδους»*, σε μία εξ αυτών (ποσοστό 33,3%) η τιμή του δείκτη παρέμεινε αμετάβλητη, ενώ αυξήθηκε στις υπόλοιπες δύο (ποσοστό 66,7%).
- Στις τρεις (3) Τοπικές Κοινότητες που κατατάσσονται στην κατηγορία *«περιοχή με σημαντική αλλά όχι κύρια τουριστική δραστηριότητα»* δεν υφίσταται επικρατούσα κατάσταση για καμία κατηγορία καθώς η τιμή του δείκτη σε μια Τ.Κ. (ποσοστό 33,3%) παρέμεινε αμετάβλητη, σε μία (ποσοστό 33,3%) αυξήθηκε και σε μια (ποσοστό 33,3%) μειώθηκε.
- Από τις πέντε (5) Τοπικές Κοινότητες που κατατάσσονται στην κατηγορία *«περιοχή με μικρή τουριστική δραστηριότητα»*, σε δύο εξ αυτών (ποσοστό 40,0%) ο δείκτης δεν εμφάνισε μεταβολή, ενώ στις υπόλοιπες τρεις (ποσοστό 60,0%) εμφάνισε μείωση.
- Τέλος, στις υπόλοιπες είκοσι έξι (26) Τοπικές Κοινότητες που κατατάσσονται στην κατηγορία *«περιοχή με αμελητέα τουριστική δραστηριότητα»*, η επικρατούσα “υποβάθμιση” δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική ($< 5,991$) καθώς αυτή αποδίδεται σε δώδεκα Τοπικές Κοινότητες (ποσοστό 46,2%), ενώ σε οκτώ (ποσοστό

30,8%) η τιμή του δείκτη αυξήθηκε και σε έξι (ποσοστό 23,0%) παρέμεινε αμετάβλητη.

Εκ των ανωτέρω υποστηρίζεται ότι, η άσκηση της τουριστικής δραστηριότητας δεν σχετίζεται με τη μεταβολή των τιμών του *Shannon's Diversity Index-SHDI* και συνεπώς με τη μεταβολή της αισθητικής του αγροτικού τοπίου της Ζακύνθου την περίοδο 1990-2000, οπότε και αποτελεί κύρια μεταβαλλόμενο κοινωνικο-οικονομικό παράγοντα, δυνητικό, μέσω επηρεασμού της απασχόλησης, να συμβάλλει στη μεταβολή της χρήσης / κάλυψης γης και να αποτελέσει κατευθυντήρια δύναμη αλλαγής στο τοπίο.

4. Συμπεράσματα

Ως το έτος 2000, η τουριστική δραστηριότητα συνέβαλε σημαντικά στη μεγέθυνση της τοπικής οικονομίας, προσέφερε δε απασχόληση στον τοπικό πληθυσμό, το μέγεθος του οποίου αυξανόταν από τα μέσα της δεκαετίας το 1980. Άμεσα, επέδρασε στην αλλαγή χρήσης των εκτάσεων όπου αναπτύχθηκαν τουριστικές υποδομές, μέσω μεταβολής από αγροτική σε οικιστική, ενώ έμμεσα επέδρασε μέσω της αλλαγής στην απασχόληση ή/και της μείωσης του διαθέσιμου χρόνου προς καλλιέργεια για την άσκηση δραστηριοτήτων σχετικών με τον τουρισμό (όπως, λιανικό εμπόριο, παροχή τουριστικών υπηρεσιών κ.α.), με επιπτώσεις στην έκταση και δομή της χρησιμοποιούμενης γεωργικής γης. Εν τούτοις, η μεταβολή αυτή δεν αποδίδεται στη διαμόρφωση του τοπίου, εξ αιτίας του επικρατούντος κατακερματισμού της ιδιοκτησίας. Επίσης δεν διαπιστώνεται υποβάθμιση της αξίας του τοπίου από τη ανάπτυξη της τουριστικής δραστηριότητας και την επακόλουθη αλλαγή χρήσης της γης.

Κατά την επόμενη δεκαετία, η συμβολή του τουρισμού στην οικονομία του νησιού και στην απασχόληση μειώθηκε. Την περίοδο αυτή, η αύξηση μεγέθους του πληθυσμού, η επιπλέον εισοδηματική του ανάπτυξη, η αποκέντρωσή του από την πόλη ως προς τον τόπο διαμονής και η μεταβολή της κουλτούρας του προς πλέον δαπανηρές συνθήκες διαβίωσης, είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση του πλήθους και του μεγέθους τουλάχιστον των κτηρίων κανονικών κατοικιών, τα οποία ως συστατικά μετέβαλαν τη σύνθεση του πεδινού αγροτικού τοπίου της Ζακύνθου. Κύριος παράγοντας έλξης αυτής της διατάραξης προσδιορίζεται το δημόσιο οδικό δίκτυο.

EMPIRICAL INVESTIGATION OF THE SOCIO-ECONOMIC FACTORS EFFECT ON THE AESTHETIC VALUE OF THE RURAL LANDSCAPE OF ZAKYNTHOS. THE CASE OF TOURISM ACTIVITY

Anastasios Kolevris¹, Olga-Helen Astara²

¹Department of Environmental and Natural Resources Management, School of Engineering, University of Patras (mfortosi@otenet.gr)

²Department of Business Administration, School of Management and Economics, Technological Educational Institute of Ionian Islands (oastara@gmail.com)

Abstract

The change of socio-economic factors and particularly the growth of tourism activity is often reported as a cause of change and degradation of the value of the traditional Mediterranean landscapes mainly those of rural character. The effect of this change was investigated using data of landscape such as the use/cover of the land, the streets, the number of buildings etc. that influenced the aesthetic operation of the rural landscape of Zakynthos, during the examined period 1990-2010.

During the investigation, the tourism activity that was developed in the prefecture, was considered as a cause of changes in the elements of landscape.

Via this consideration, the dynamics of maintenance, the width of changes and the regions that draw forces of changes were studied. The changes of the elements of landscape, as well as the considered reasons, were approached with the use of geographic information systems and via independent data: population, employment, size and number of plots of rural exploitations.

The choice of tourism activity, as considered factor of change constituted the growth of this activity, at that particular period, taking into consideration the stability of the applied rural policies for the examined time-period.

According to the results of the research, it is realised that the exercise of tourism activity affected immediately the landscape of the areas where in which tourism infrastructures were developed, through the change of the use of land from rural in residential. Henceforth this change it did not influence the aesthetics of the rural landscape of Zakynthos during the period 1990-2000, when it constituted the main changing socio-economic factor being able, via influence of employment, to contribute in the change of use/cover of land and to constitute driving force of change in the landscape.

At the next decade, the increase of the size of population, his income growth, his decentralisation from the city as a place of stay and the alteration of his culture towards costly living conditions, reformed the number and the size of at least of the buildings of regular residences, which as components altered the composition of the lowland rural landscape of Zakynthos.

Key-words: Zante, Rural landscape, Tourism, GIS.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Apostolopoulos Yorgos, Philippos Loukissas and Lila Leontidou, 2001, Tourism, Development, and Change in Mediterranean, p 3-14. In: Apostolopoulos Yorgos, Philippos Loukissas and Lila Leontidou (Eds) Mediterranean Tourism, Facets of Socioeconomic Development and Cultural Change, N.Y., USA,
- Bürgi Matthias, Hersperger Anna M., and Schneeberger Nina (2004). *Driving forces of land scape change - current and new directions*. Landscape Ecology 19: 857-868,
- Defert P., 1966. *La Localisation Touristique: Problèmes Théorique et Pratiques*, Bern: Éditions Gurten,
- Dodouras, S., Papayannis, T. and Sorotou, A. 2009, In search for the Greek landscapes: current trends and future concerns, European IALE Conference, 12-16 July 2009, Salzburg, Austria, p. 37-40,
- Franco, D. Franco, D., Mannino, I., Zanetto, G. (2003). *The Impact of Agroforestry Networks on Scenic Beauty Estimation: The Role of a Ecological Network on a Socio-cultural Process*. Landscape and Urban Planning, 62(3), όπως αναφέρουν οι: Uuemmaa Evelin, Antrop Marc, Roosaare Jüri, Marja Riho, Ülo Mander, 2009. *Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research*. Living Rev. Landscape Res., 3, (<http://www.livingreviews.org/lrlr-2009-1>),
- Garcia-Ruiz, J.M. and Lasanta, T. 1993. Land-use conflicts as a result of land-use changes in the Central Spanish Pyrenees. A review. Mountain Research and Development 13(3): 213-223,
- Levin Gregor, 2006. *Farm size and landscape composition in relation to landscape changes in Denmark*. Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography 106(2): 45-59,
- Hersperger M. A. and M. Bürgi, 2007. Driving Forces of Landscape Change in the Urbanizing Limmat Valley, Switzerland. p 45-60. In: Eric Koomen, John Stilwell, Aldrik Bakema, Henk J. Scholten (eds) Modelling Land-Use Change. Springer. The Netherlands,
- Kizos, T., & Vlachos, G., (2012). The evolution of the agricultural landscape. In: Papayiannis, T., Howard, P. (Eds.): Reclaiming the Greek landscape MED-INA, Athens, p. 133-143,
- Laguna, M., & Lasanta, T. (2003). Competing for meadows. A case study on tourism and livestock farming in the Spanish Pyrenees. Mountain Research and Development, 23, 169–176,
- Lasanta-Martínez Teodoro, Sergio Vicente-Serrano and José Cuadrat-Prats, 2005. Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: a study of the Spanish Central Pyrenees. Applied Geography, Volume 25, p 47-65,
- Leibovici G. Didier, 2009. *Defining Spatial Entropy from Multivariate Distribution of Co-occurrences*, in K. Stewart et al. (Eds.): COSIT 2009, LNCS 5756, pp. 392-404. 2009, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009,

- Makhzoumi M. J., 1997. The changing role of rural landscapes: olive and carob multi-use tree plantations in the semiarid Mediterranean. *Landscape and Urban Planning*, Volume 37, p 115–122,
- McGarigal Kevin and Marks Barbara J. 1995. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station,
- Naveh Z., 1982. Mediterranean Landscape Evolution and Degradation as Multivariate Biofunctions: Theoretical and Practical Implications, *Landscape Planning*, vol.9, p 125-146,
- Nikodemus, O., Bell, S., Grine, I., Liepins, I., 2005. The impact of economic, social and politic factors on the landscape structure of the Vidzeme Uplands in Latvia. *Landscape and Urban Planning* 70 (1/2), p 57–67,
- Pearce Douglas G., 1987. *Tourism Today: A Geographical Analysis*, New York: Longman Scientific & technical Publishers,
- Pinto-Correia Teresa and Willem Vos, 2004. Multifunctionality in Mediterranean landscapes – past and future. In: Jongman R.H.G., *The New Dimensions of the European Landscape*, Springer, The Netherlands, p. 135-164,
- Shannon, C., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technichal Journal* 27, 379-423, 623-656,
- Theil H., 1967. *Economics and Information Theory*, North-Holland. Amsterdam, 488p,
- Thomas R.W., 1981. *Information Statistics in Geography*, Geo Abstract, University of East Anglia. Norwich. United Kingdom, 42 p,
- Van Der Sluis Theo, Thanasis Kizos, Bas Pedroli, 2014. Landscape Change in Mediterranean Farmlands: Impacts of Land Abandonment on Cultivation Terraces in Portofino (Italy) and Lesvos (Greece). *Journal of Landscape Ecology*. Volume 7, Issue 1, Pages 23–44,
- Vidal-Legaz Beatriz, Julia Martínez-Fernández, Andrés Sánchez Picón Francisco I. Pugnaire, 2013. Trade-offs between maintenance of ecosystem services and socio-economic development in rural mountainous communities in southern Spain: A dynamic simulation approach. *Journal of Environmental Management*, Volume 131, p 280-297,
- World Tourism Organization (WTO). *A Practical Guide to Tourism Destination Management*. Madrid, Spain, 2007,
- World Travel and Tourism Council (WTTC), *Travel & Tourism Economic Impact*, 2014,
- Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών Ι.Ο.Β.Ε. *Η Επίδραση του Τουρισμού στην Ελληνική Οικονομία*. Σεπτέμβριος, 2012,
- Ίδρυμα Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών Ι.Ο.Β.Ε.. *Η Απασχόληση στον Τουριστικό Τομέα*, Αθήνα, Ιανουάριος 2013.

**ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΔΙΚΟΥ ΠΛΟΥΤΟΥ ΣΤΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ
ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΘΕΣΕΩΝ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΚΡΟΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΦΥΤΩΝ (ΜΑΦ) ΜΕΤΑ ΑΠΟ
ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ**

Ποϊραζίδης Κωνσταντίνος^{*1}, Χαϊδευτού Ευγενία², Μαρτίνης Αριστοτέλης³

¹ Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Τεχνολόγων Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Ιονίων Νήσων,
Παναγούλα, 29100, Ζάκυνθος, ecopoira@yahoo.gr

² Περιβαλλοντολόγος-Ειδική Τεχνική Επιστήμονας, Τμήμα Ελέγχου Γεωργικών
Φαρμάκων & Φυτοφαρμακευτικής, Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο, Στ.
Δέλτα 8, 14 561, Κηφισιά Αττικής, e.chaideftou@bpi.gr

³ Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Τεχνολόγων Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Ιονίων Νήσων,
Παναγούλα, 29100, Ζάκυνθος, aristotelismartinis@yahoo.gr

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η εκτίμηση των μεταπυρικών επιπτώσεων στη βιοποικιλότητα χλωρίδας των δασικών οικοσυστημάτων της Ζακύνθου, για τη διαμόρφωση μεταπυρικών χαρτών καταλληλότητας χλωρίδας σχετικά με την κατάσταση διατήρησης των ειδών καθώς και την αναγνώριση περιοχών Μικρο-Αποθεμάτων φυτών (ΜΑΦ) για τη διαχείριση - διατήρηση σπάνιων και απειλούμενων φυτών.

Οι καταγραφές χλωρίδας έγιναν το 2012-2013, σε 20 θέσεις ακολουθώντας τυχαία στρωματοποιημένη δειγματοληψία, με κριτήριο τη συχνότητα εμφάνισης της πυρκαγιάς σε πέντε στρώματα (4 θέσεις/στρώμα). Καταγράφηκαν 159 φυτικά taxa (γ-ποικιλότητα) και για τη δημιουργία των αντίστοιχων χαρτών καταλληλότητας διαμορφώθηκε 10-βάθμια κλίμακα καταλληλότητας με βάση τη γνώμη ειδικών (*expert opinion*) και δύο κατηγορίες παραγόντων: πυκνότητα κάλυψης (*landscape openness*) βλάστησης και επίδραση πυρκαγιάς. Οι συνθετικοί χάρτες ανά ταξινομική ομάδα και ο συνολικός χάρτης χλωρίδας δημιουργήθηκαν με βάση σχετικά βάρη σημαντικότητας. Για την αναγνώριση σημαντικών περιοχών Μικρο-Αποθεμάτων Φυτών και τη βελτίωση του καθεστώτος διατήρησης σπάνιων, ενδημικών ή απειλούμενων φυτών, ο τελικός χάρτης μετασχηματίστηκε σε 3-βάθμια κλίμακα.

Η πιο κατάλληλη περιοχή βρέθηκε στο κεντροδυτικό τμήμα του νησιού, όπου η επίδραση της πυρκαγιάς έχει διαμορφώσει ποικίλους οικοτόπους (παλιό δάσος πεύκης και μικτό με πουρνάρι, νεαρό δάσος πεύκης, μακκί, φρύγανα πυκνά και ανοικτά). Η συνύπαρξη βραχύδους και λεπτόκοκκου εδάφους ευνοεί τις συνθήκες επιβίωσης φυτικών ειδών με πολύ διαφορετικές οικολογικές προτιμήσεις, με αποτέλεσμα να

αυξάνεται και η ποικιλότητα φυτικών ειδών: Εντοπίστηκαν 7 είδη ορχιδεών (ανάμεσά τους τα ενδημικά *Hypericum aegyptiacum* και *Serapias neglecta* subsp. *ionica*) από τα 10 είδη που καταγράφηκαν στην περιοχή μελέτης, 6 από τα 11 είδη χειλανθών και 23 από τα 26 είδη ψυχανθών. Η ετερογένεια τοπίου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διατήρηση της δυναμικής της βιοποικιλότητας σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο τοπίο, μετριάζοντας σε μεγάλο βαθμό τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς στη συνοχή των μεσογειακών οικοσυστημάτων. Η συνδυαστική χρήση χωρικής ανάλυσης και εργασιών πεδίου μπορεί να αποτελέσει βασικό οδηγό για πιο αποτελεσματική διαχείριση του χώρου.

Λέξεις κλειδιά: Μικρο-Αποθέματα Φυτών (ΜΑΦ), πυρκαγιά, διαχείριση χώρου, χάρτης καταλληλότητας, μεσογειακά οικοσυστήματα

Εισαγωγή

Πυρκαγιά

Η πυρκαγιά αποτελεί σημαντική φυσική διαταραχή των οικοσυστημάτων της Μεσογείου (Kazanis and Arianoutsou 2004) επηρεάζοντας ευρέως τη διαμόρφωση της ποικιλότητας χλωρίδας. Στην περιοχή της Μεσογείου η ένταση εμφάνισής της είναι ιδιαίτερα υψηλή (Rodrigo et al. 2004). Ο ρόλος της πυρκαγιάς στη διατήρηση ή μεταβολή της κατανομής, αφθονίας και ποικιλότητας των ειδών (Taylor 2000) και ο βαθμός της μεταπυρικής αναγέννησης δασικών ειδών έχει μεγάλη σημασία στη διαχείριση διατήρησης της βιοποικιλότητας ειδικά στις περιπτώσεις δασών που υπόκεινται σε πυρκαγιά με διαφορετική συχνότητα εμφάνισης.

Μικρο-Αποθέματα Φυτών

Τα Μικρο-Αποθέματα Φυτών (ΜΑΦ) κατά κανόνα συνιστούν σχετικά μικρές περιοχές, όπου απαντούν αντιπροσωπευτικοί πληθυσμοί σπάνιων/απειλούμενων φυτικών ειδών, έχουν καθορισμένο νομικό καθεστώς. Αποτελούν καινοτόμο προσέγγιση για τη διαχείριση - διατήρηση σπάνιων και απειλούμενων φυτών που εφαρμόστηκε για πρώτη φορά συστηματικά το 1994 στα πλαίσια ενός ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE, στην περιφέρεια της Valencia στην Ισπανία (Laguna 2004). Στην Ελλάδα, η προσέγγιση των Μικρο-Αποθεμάτων Φυτών έχει ήδη εφαρμοστεί με επιτυχία στο Νομό Χανίων κατά την υλοποίηση του Προγράμματος LIFE CRETAPLANT (LIFE04NAT_GR_000104).

Τα Μικρο-Αποθέματα Φυτών θα μπορούσαν να είναι εργαλείο διαχείρισης συμπληρωματικό της ευρύτερα αποδεκτής στρατηγικής των «μεγάλων περιοχών» όπως υλοποιείται από το Πανευρωπαϊκό Δίκτυο Προστασίας της Φύσης (Natura 2000). Στα ΜΑΦ πραγματοποιούνται διαχειριστικές δράσεις όπως η συστηματική παρακολούθηση των υπο-πληθυσμών των φυτικών ειδών, η συλλογή γενετικού υλικού (σπερμάτων) για τη φύλαξη σε Τράπεζες Σπερμάτων και η επιλογή ειδών με σκοπό την υποστήριξη της φυσικής αναγέννησης με τεχνητούς τρόπους. Για την αποκατάσταση της βλάστησης σε καμένες εκτάσεις τα μέτρα εξαρτώνται από παραμέτρους, όπως οι οικολογικές συνθήκες προ- και μεταπυρικά, η ένταση της πυρκαγιάς και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η εκτίμηση των μεταπυρικών επιπτώσεων στη βιοποικιλότητα χλωρίδας των δασικών οικοσυστημάτων της Ζακύνθου, για τη διαμόρφωση μεταπυρικών χαρτών καταλληλότητας χλωρίδας (σχετικά με την κατάσταση διατήρησης των ειδών) καθώς και την αναγνώριση περιοχών Μικρο-Αποθεμάτων φυτών (ΜΑΦ).

Υλικά και μέθοδοι

Οι καταγραφές χλωρίδας έγιναν το καλοκαίρι, το φθινόπωρο και την άνοιξη του 2012-13, σε 20 θέσεις ακολουθώντας τυχαία στρωματοποιημένη δειγματοληψία, με κριτήριο τη συχνότητα εμφάνισης της πυρκαγιάς, σε πέντε στρώματα (4 θέσεις ανά στρώμα): 1) άκαυτα δάση τα τελευταία τουλάχιστον 40 έτη, 2) δάση που κάηκαν τελευταία φορά το διάστημα 1975-1985, 3) δάση που κάηκαν δύο φορές τα τελευταία 40 χρόνια με τη δεύτερη φορά μεταξύ 2000 και 2010, 4) δάση που κάηκαν τρεις φορές τα τελευταία 40 χρόνια με τις δύο τελευταίες μεταξύ 2000 και 2010, και 5) δάση που κάηκαν το 2011.

Οι καταγραφές χλωρίδας και βλάστησης καθώς και οικολογικών χαρακτηριστικών με σκοπό την αξιολόγηση της κατάστασης των τύπων οικοτόπων (καταγραφή των φυτικών taxa και της κατανομής τους σε επίπεδο ενδιαιτήματος και χλωρίδας καθώς και εκτίμηση φυτικής ποικιλότητας και σταθερότητας οικοσυστήματος). Οι επιφάνειες δειγματοληψίας είχαν μέγεθος 100 m² και σχήμα τετράγωνο.

Από τις καταγραφές προέκυψαν πλήρεις χλωριδικοί κατάλογοι ανά θέση δειγματοληψίας και τύπο οικοτόπου. Η εκτίμηση της πληθοκάλυψης και αφθονίας/κυριαρχίας τους πραγματοποιήθηκε κατά Braun-Blanquet (1994). Από τα δεδομένα χλωριδικής σύνθεσης πραγματοποιήθηκε επιπλέον ομαδοποίηση των φυτικών taxa με

βάση λειτουργικά τους χαρακτηριστικά και κριτήρια: την ανθεκτικότητά τους στην πυρκαγιά (Bohling 1995) και το στάδιο οικολογικής διαδοχής (π.χ. χαρακτηριστικά είδη μεταπυρικής βλάστησης, πυροανθεκτικά είδη/ πυρόφυτα, είδη με συγκεκριμένες προσαρμογές και στρατηγικές επιβίωσης), τη σημασία τους στην υποστήριξη λειτουργιών οικοσυστημάτων (π.χ. ψυχανθή και χειλανθή). Έτσι προέκυψε μια βάση οικολογικών και χλωριδικών δεδομένων για τη δημιουργία χαρτών καταλληλότητας χλωρίδας.

Ανάλυση δεδομένων

Για τη διερεύνηση των μεταπυρικών επιπτώσεων στη χλωρίδα και την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων αυτών στη διαμόρφωση μεταπυρικών χαρτών καταλληλότητας πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις δεδομένων χλωρίδας και βλάστησης. Τα δεδομένα της βλάστησης επεξεργάστηκαν αριθμητικά με *Detrended Correspondence Analysis* (DCA) και στη συνέχεια διερευνήθηκε η συσχέτιση των περιβαλλοντικών παραμέτρων με τις επιμέρους επιφάνειες δειγματοληψίας εφαρμόζοντας *Redundancy Analysis* (RDA). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το σχετιζόμενο λογισμικό πακέτο CANOCO (ter Braak and Šmilauer 2002).

Η α- ποικιλότητα εκτιμήθηκε ως πλούτος φυτικών taxa (αριθμός των φυτικών taxa σε κάθε επιφάνεια δειγματοληψίας). Υπολογίστηκε ο συνολικός αριθμός φυτικών taxa (παρουσία) ανά στρώμα συχνότητας εμφάνισης πυρκαγιάς. Για την εκτίμηση της ομοιότητας υπολογίστηκε ο συντελεστής ομοιότητας Jaccard για όλες τις συγκρίσεις των ζευγών επιφανειών δειγματοληψίας στα διαφορετικά στρώματα συχνότητας εμφάνισης πυρκαγιάς. Οι παρατηρούμενες διαφορές τόσο για τις τιμές του πλούτου φυτικών taxa όσο και για τις τιμές της ομοιότητας ελέγχθηκαν με ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (1-way ANOVA) με επιπρόσθετους PostHoc ελέγχους (LSD test). Στις περιπτώσεις που το δείγμα δεν ακολουθούσε την κανονική κατανομή (Test of Normality Shapiro-Wilk) εφαρμόστηκε μη παραμετρικός έλεγχος Kruskal-Wallis. Για τη διερεύνηση πιθανής συσχέτισης μεταξύ συχνότητας εμφάνισης πυρκαγιάς και α) πλούτου φυτικών taxa και β) ομοιότητας (συγκρίσεις ζευγών εντός κάθε στρώματος συχνότητας εμφάνισης πυρκαγιάς) εφαρμόστηκε ανάλυση συσχέτισης με τον συντελεστή Spearman.

Η δημιουργία των χαρτών καταλληλότητας για τα φυτικά είδη βασίστηκε στη διαμόρφωση μιας 10-βάθμιας κλίμακας καταλληλότητας με βάση τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων αλλά και τη γνώμη ειδικών. Χρησιμοποιήθηκαν δύο

κατηγορίες παραγόντων, 1) η πυκνότητα κάλυψης (*landscape openness*) της βλάστησης και 2) η επίδραση της φωτιάς (*fire effect*). Η σύνθεση ατομικών χαρτών καταλληλότητας των φυτικών ειδών σε συνθετικούς χάρτες έγινε με χρήση σχετικών βαρών σημαντικότητας αναφορικά με τη διατήρηση. Αρχικά όλα τα φυτικά είδη κατηγοριοποιήθηκαν βάσει της ταξινομικής - λειτουργικής θέσης τους σε Ορχιδέες (10 είδη), Αρωματικά είδη (11 είδη), Ψυχανθή (26 είδη), λοιπά Ξυλώδη (32 είδη) και λοιπές Πόες (80 είδη) και παρήχθησαν τόσο ατομικοί χάρτες όσο και συνθετικοί ανά ταξινομική ομάδα.

Για τη δημιουργία των ατομικών χαρτών καταλληλότητας με βάση την πυκνότητα κάλυψης χρησιμοποιήθηκαν έξι κατηγορίες κάλυψης: Πευκοδάσος, Υψηλή Μακί, Χαμηλή Μακί, Μεταβατικές διαπλάσεις, Φρύγανα και Καμένες εκτάσεις, οι οποίες μετασχηματίστηκαν σε έξι δυαδικούς (0/1) χάρτες ανά τύπο κάλυψης (για το σύνολο του νησιού). Στη συνέχεια ο κάθε δυαδικός χάρτης (ανά τύπο κάλυψης) πολλαπλασιάστηκε με τον αντίστοιχο συντελεστή καταλληλότητας (0-10) και η άθροιση όλων αυτών δημιούργησε τον ατομικό χάρτη καταλληλότητας ανά είδος σε σχέση με τον παράγοντα πυκνότητα κάλυψης. Π.χ. η φόρμουλα με βάση την πυκνότητα κάλυψης για το είδος *Anacamptis pyramidalis* διαμορφώθηκε ως $Yopeness = ("BURNED" * 4) + ("FRYGANA" * 7) + ("METAVATIKA" * 4) + ("LOW_MAQUI" * 4) + ("HIGH_MAQUI" * 0) + ("PINUS" * 2)$.

Για τη δημιουργία του 2ου ατομικού χάρτη (ανά είδος) με βάση την επίδραση της πυρκαγιάς, διαμορφώθηκε ένα πολυγωνικό αρχείο με βάση τα πέντε στρώματα συχνότητας εμφάνισης πυρκαγιάς και αυτά τα στρώματα μετασχηματίστηκαν και πολλαπλασιάστηκαν με τους αντίστοιχους συντελεστές καταλληλότητας (0-10), για τη δημιουργία των ατομικών χαρτών καταλληλότητας, ανά είδος, με βάση την εμφάνιση πυρκαγιάς. Με στόχο η επίδραση της πυρκαγιάς να συνδυαστεί με την πυκνότητα κάλυψης (μειώνοντας την καταλληλότητα σε φυτικά είδη με μεγάλη ευαισθησία στην πυρκαγιά αλλά και αυξάνοντας πολύ την καταλληλότητα σε φυτικά είδη που ευνοούνται από την εμφάνιση πυρκαγιάς), τα δύο παραπάνω αρχεία ενοποιήθηκαν με πολλαπλασιασμό για τον τελικό προσδιορισμό των ατομικών χαρτών καταλληλότητας ανά είδος.

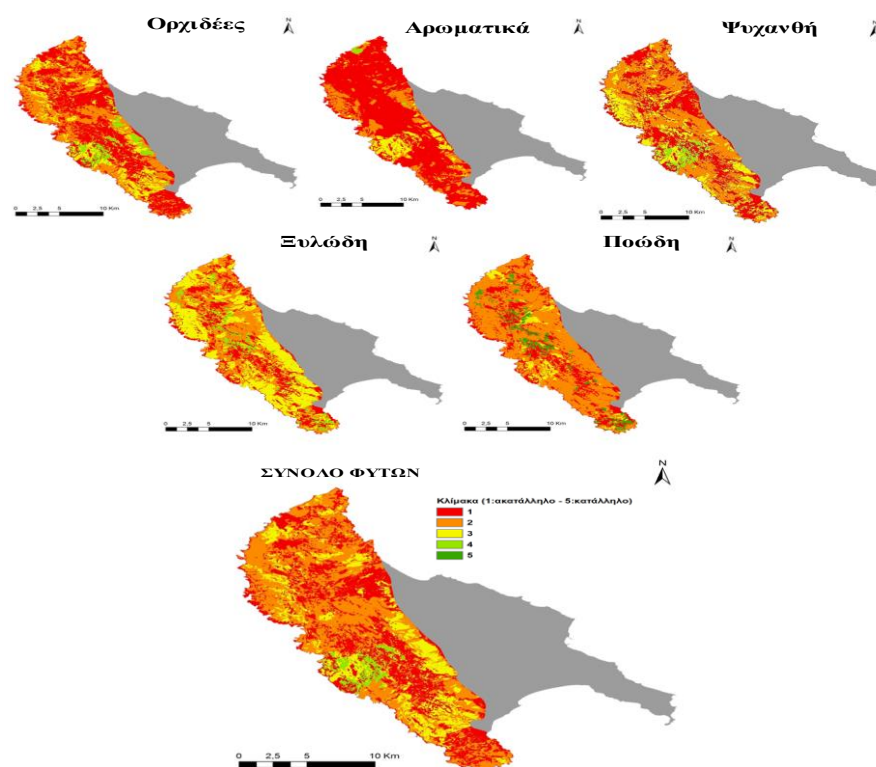
Για τη δημιουργία του συνολικού χάρτη κατάστασης διατήρησης χλωρίδας χρησιμοποιήθηκαν τα σχετικά βάρη: ορχιδέες - 0,41, αρωματικά - 0,25, ψυχανθή - 0,15, λοιπά ξυλώδη - 0,1, λοιπά ποώδη - 0,1. Με στόχο την αναγνώριση των σημαντικών περιοχών Μικρο-Αποθεμάτων Φυτών για τη βελτίωση του καθεστώτος διατήρησης και

προστασίας μέρους του πληθυσμού των σπάνιων, ενδημικών ή απειλούμενων φυτών, ο τελικός αυτός χάρτης μετασχηματίστηκε σε 3-βάθμια κλίμακα.

Αποτελέσματα και συζήτηση

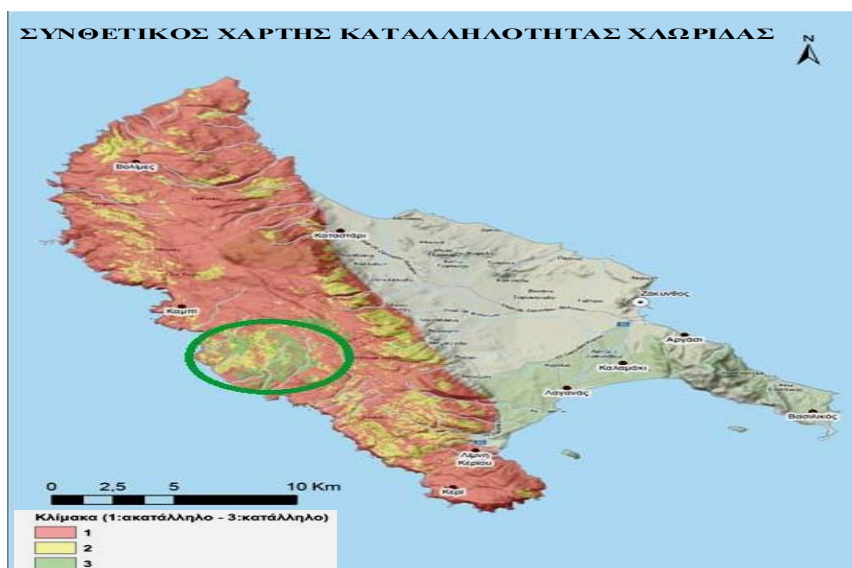
Συνολικά καταγράφηκαν 159 φυτικά *taxa* (γ-ποικιλότητα, ως συνολική αφθονία ειδών για όλες τις περιόδους δειγματοληψίας των χλωριδικών δεδομένων) σε όλες τις (102) επιφάνειες δειγματοληψίας και διαμορφώθηκαν αντίστοιχοι χάρτες καταλληλότητας (Χάρτης 1). Η μεγαλύτερη αφθονία ειδών καταγράφηκε στις θέσεις που κάηκαν τρεις φορές (κατά το διάστημα 2000-2010) και στις θέσεις που κάηκαν και το 2011 δηλαδή σε θέσεις που κάηκαν με μεγάλη συχνότητα και ένταση. Σε αυτές τις επιφάνειες παρατηρούνται μεγάλες διαφορές (διακύμανση) στις τιμές του πλούτου ειδών. Οι παρατηρούμενες διαφορές στον πλούτο, στην αφθονία και στην ομοιότητα φυτικών ειδών μεταξύ θέσεων διαφορετικής συχνότητας εμφάνισης πυρκαγιάς ήταν στατιστικά σημαντικές.

Αξίζει να αναφερθεί η παρουσία ορχιδεών περιορισμένης εξάπλωσης ειδικά στους ανοικτούς οικοτόπους. Η ενδημική *Serapias neglecta* subsp. *ionica* καταγράφηκε στους πρόσφατα καμένους ανοικτούς οικοτόπους. Η *Serapias vomeracea* (CITES, Natura Class C) εντοπίζεται στους ανοικτούς οικοτόπους που έχουν καεί τουλάχιστον δύο φορές τα τελευταία 40 έτη. Το ενδημικό *Hypericum aegyptiacum* είναι παρόν τόσο σε ανοικτούς οικοτόπους όσο και στα ανοίγματα δασών χαλεπίου πεύκης. Παρά το γεγονός ότι η *Ophrys lutea* (CITES) αποτελεί κοινό είδος ορχιδέας, η σπανιότερη *Ophrys lutea* subsp. *melena* εντοπίστηκε στα δάση που δεν κάηκαν εδώ και τουλάχιστον 40 έτη.



Χάρτης 1. Χάρτες καταλληλότητας ανά ταξινομική ομάδα και για το σύνολο των ειδών.

Τα αποτελέσματα κατάταξης με DCA των δειγματοληψιών βλάστησης διαφορετικών συχνοτήτων εμφάνισης πυρκαγιάς έδειξαν σαφή διαβάθμιση της συχνότητας εμφάνισης πυρκαγιάς με διαφοροποίηση μεταξύ άκαυτων θέσεων (για τουλάχιστον 40 έτη) και θέσεων που έχουν καεί με μεγάλη συχνότητα (και κατά το 2011 αλλά και το διάστημα 2000-2010 για 3 φορές) (Chaideftou et al. 2013). Επιπλέον από τα αποτελέσματα συσχέτισης με RDA των περιβαλλοντικών παραμέτρων με τις επιμέρους επιφάνειες δειγματοληψίας προέκυψε συσχέτιση των συχνότερα καμένων θέσεων με την εδαφική διάβρωση και συμπίεση. Στις θέσεις αυτές απαντούν τα περισσότερα από τα φυτικά είδη με μεγάλη ανθεκτικότητα στην πυρκαγιά (Chaideftou et al. 2012). Τα φυτικά taxa με μεγάλη προσαρμοστικότητα στην πυρκαγιά εντοπίζονται σε θέσεις είτε με λεπτόκοκκο είτε με βραχώδες έδαφος μαζί με τυπικά δασικά είδη γεγονός που συνάδει με τους χάρτες καταλληλότητας που προέκυψαν.



Χάρτης 2. Συνθετικός χάρτης καταλληλότητας χλωρίδας σε 3βάθμια κλίμακα με προσδιορισμό περιοχής για ίδρυση ΜΑΦ.

Η πιο κατάλληλη περιοχή βρέθηκε στο κεντροδυτικό τμήμα του νησιού (Χάρτης 2), όπου η επίδραση της πυρκαγιάς έχει διαμορφώσει πολλούς και διαφορετικούς οικοτόπους (παλιό δάσος πεύκης και μικτό με πουρνάρι, νεαρό δάσος πεύκης, μακκί, φρύγανα πυκνά και ανοικτά). Σε αυτή την περιοχή, η συνύπαρξη βραχώδους και λεπτόκοκκου εδάφους ευνοεί τις συνθήκες επιβίωσης φυτικών ειδών με πολύ διαφορετικές οικολογικές προτιμήσεις, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ποικιλότητα των φυτικών ειδών: Εντοπίστηκαν 7 είδη ορχιδέων στη συγκεκριμένη περιοχή (ανάμεσα στα οποία τα ενδημικά *Hypericum aegyptiacum* και *Serapias neglecta* subsp. *ionica*) από τα 10 είδη που έχουν καταγραφεί στην περιοχή μελέτης, 6 από τα 11 είδη χειλανθών και 23 από τα 26 είδη ψυχανθών.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις των χλωριδικών καταγραφών του 2012 και της σύνθεσης χαρτών καταλληλότητας δείχνουν ότι τα οικοσυστήματα της Ζακύνθου παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ανάκαμψη. Η ετερογένεια του τοπίου αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα για τη διατήρηση της δυναμικής της βιοποικιλότητας σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο τοπίο, μετριάζοντας σε μεγάλο βαθμό τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς στη συνοχή των μεσογειακών οικοσυστημάτων. Η συνδυαστική χρήση της χωρικής ανάλυσης με τις εργασίες πεδίου μπορεί να αποτελέσει έναν βασικό οδηγό για πιο αποτελεσματική διαχείριση του χώρου.

Η μελλοντική διαχείριση διατήρησης θα πρέπει να επικεντρωθεί στα σπάνια, ενδημικά και χρήσιμα στις οικολογικές λειτουργίες των ενδιαιτημάτων φυτικά είδη της

Ζακύνθου. Η διατήρηση και προστασία των σπάνιων και ενδημικών ειδών που συμπεριλαμβάνονται σε διεθνείς συμβάσεις (CITES) και δίκτυα (Natura 2000) δεν εξαρτάται από εξειδικευμένα μεμονωμένα μέτρα, αλλά πρέπει να ακολουθείται η ισχύουσα νομοθεσία (π.χ. μέτρα αποφυγής διαταραχής). Έμφαση θα πρέπει να δοθεί στη διαχείριση των φυτικών πληθυσμών των σπάνιων και ενδημικών ειδών, γεγονός που απαιτεί περαιτέρω έρευνα σε επίπεδο αξιολόγησης του πληθυσμού είδους και της κατάστασής του. Επιπρόσθετα η χαρτογράφηση της εξάπλωσης χωροκατακτητικών ειδών λόγω πυρκαγιάς και η παρακολούθηση των μεταβολών του πληθυσμού τους σε σχέση με την τοπική χλωρίδα θα μπορούσε να συνεισφέρει στη διαχείριση διατήρησης της βιοποικιλότητας.

CONSERVATION OF THE FLORISTIC RICHNESS IN MEDITERRANEAN ECOSYSTEMS –

THE USE OF SPATIAL ANALYSIS AND MULTICRITERIA METHODS IN IDENTIFYING SITES FOR THE ESTABLISHMENT OF PLANT MICRO-RESERVES (PMR) AFTER FIRE

Poirazidis Konstantinos^{*1}, Chaideftou Evgenia², Martinis Aristotelis³

¹ Assistant Professor, Department of Environment Technology, T.E.I. of Ionian Islands, Panagoula, 29 100, Zante, ecopaira@yahoo.gr

² Environment Scientist, Department of Pesticides Control and Phytopharmacy, Benaki Phytopathological Institute, 8 Stef Delta str., 14 561, Kifisia Attica, e.chaideftou@bpi.gr

³ Assistant Professor, Department of Environment Technology, T.E.I. of Ionian Islands, Panagoula, 29 100, Zante, aristotelismartinis@yahoo.gr

Abstract

The study aims at the evaluation of the post-fire impacts on the floristic diversity of Zante Island woods for composing post-fire floristic suitability maps regarding the conservation status of plant species as well as for identifying Plant Micro-Reserves (PMR) sites to manage and conserve rare and threatened plant species.

Floristic recording was conducted in 2012 at 20 sites with random stratified sampling and considering as a criterion the fire frequency at five strata (4 sites/stratum). 159 plant taxa were recorded (γ -diversity) and the respective suitability maps were composed using a 10-class suitability scale, based on expert opinion, and two factor categories: landscape openness and fire effect. Synthetic maps per taxonomic group and a total floristic map were composed based on relative weights of significance. To

identify the significant Plant Micro-Reserves sites and improve the conservation status of rare, endemic or threatened plant species, the final map was transformed to a 3-class scale.

The most suitable region was found in the west central part of the island where fire effect formed diverse habitats (old pine wood and mixed with kermes oak, young pine wood, maquis, dense and open phrygana). The co-occurrence of rocky and fine-grained soil favors the survival conditions of plant species with quite different ecological preferences resulting in plant diversity increase: 7 orchid species were identified (among them the endemic *Hypericum aegyptiacum* and *Serapias neglecta* subsp. *ionica*) out of 10 species that were recorded in the study area, 6 out of 11 species of Labiatae and 23 out of 26 species of Fabaceae. The landscape heterogeneity is a key factor for conserving biodiversity dynamics in a constantly changed landscape mitigating to a large extent the fire impacts on the coherence of Mediterranean ecosystems. Combining spatial analysis and field studies can be a key driver for more efficient land management.

Keywords: Plant Micro-Reserves (PMR); fire; land management; suitability map; Mediterranean ecosystems

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Χρηματοδοτούμενου Έργου του Διασυνοριακού Προγράμματος Ευρωπαϊκής Εδαφικής Συνεργασίας «Ελλάδα-Ιταλία 2007-2013» με τίτλο “Strategic plans for restoration, protection & eco-tourism promotion in Natura 2000 sites devastated by natural disasters” (NAT-PRO), που υλοποιήθηκε στη Ζάκυνθο από το ΤΕΙ Ιονίων Νήσων.

Βιβλιογραφία

- Bohling N. 1995. Zeigerwerte der phanerogamen-flora von Naxos (Griechenland). Ein Beitrag zur ökologischen kennzeichnung der mediterranen pflanzenwert. Stuttgart Beitr. Naturk. 533.
- Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensoziologie - Grundzüge der Vegetationskunde. 3rd edn, Springer-Verlag.

- Chaideftou E, Kefalas G, Lorilia R., Martinis A, and C. Poirazidis. 2013. Biodiversity changes in forest ecosystems with varied fire incidence frequency in Zante Island, Proceedings of the 16th Hellenic Forestry Conference & Annual Meeting Pro Silva Europe, Thessaloniki, 6-13 October 2013 (in Greek with English Summary).
- Chaideftou E., Martinis A., and C. Poirazidis. 2012. Assessment of the impacts of fire frequency on the floristic diversity. Study area the land ecosystems of mountainous Zante Island, Pp. 186, in: Book of Abstracts of the 6th Greek Scientific Conference of the Hellenic Ecological Society, Athens, 4-7 October 2012.
- Kazanis D., and M. Arianoutsou. 2004. Factors determining low Mediterranean ecosystem resilience to fire: the case of *Pinus halepensis* forests. Proceedings of 10th MEDECOS Conference, 25 April - 1 May 2004, Rhodes, Greece, Arianoutsou & Papanastasis (eds), 2004 Millpress Rotterdam, ISBN 9059660161.
- Laguna E. 2004. The plant micro-reserve initiative in the Valencian Community (Spain) and its use to conserve populations of crop wild relatives. *Crop Wild Relative* 2: 10-13.
- Rodrigo A., Retana J, and F.X. Picó. 2004. Direct regeneration is not the only response of Mediterranean forests to large fires. *Ecology* 85(3): 716-729.
- Taylor A.H. 2000. Fire regimes and forest changes in mid and upper montane forests of the southern Cascades, Lassen Volcanic National Park, California, USA. *Journal of Biogeography* 27: 87-104.
- ter Braak C.J.F., and P. Šmilauer 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Microcomputer power, Ithaca, New York, USA.

1^ο Συνέδριο Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και Χωρικής Ανάλυσης στη Γεωργία και στο Περιβάλλον

ΔΙΟΡΓΑΝΩΣΗ



ΧΟΡΗΓΟΙ



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΜΒΡΥΟ
επιστημονικά βιβλία
www.embrypo.gr

28- 29 Μαΐου 2015

Συνεδριακό Αμφιθέατρο Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

ISBN: 978-960-6806-18-6