

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

**«ΧΩΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ
ΚΟΜΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΛΑΙΟΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΕΙΚΟΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ UAV»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Στατεράς Χ. Δημήτριος

Επιβλέπων

Καλύβας Διονύσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, 2018

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

**«ΧΩΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ
ΚΟΜΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΛΑΙΟΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΕΙΚΟΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ UAV»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Στατεράς Χ. Δημήτριος

Επιβλέπων

Καλύβας Διονύσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, 2018

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«ΧΩΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΟΜΗΣ
ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΛΑΙΟΔΕΝΔΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ
ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ UAV»**

Στατεράς Χ. Δημήτριος

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

- 1) Καλύβας Διονύσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.
- 2) Παπαδόπουλος Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.
- 3) Ψωμιάδης Εμμανουήλ, Ε.ΔΙ.Π. Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ, 2018

Copyright © Δημήτριος Χρ. Στατεράς, 2018.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας μελέτης εξ ολοκλήρου ή τμήμα αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ελαιοκαλλιέργεια στην Ελλάδα είναι μία από τις σημαντικότερες ασχολίες του γεωργικού τομέα. Η ετήσια παραγωγή της ελιάς ήταν ανέκαθεν ένα φλέγον ζήτημα, το οποίο απασχολεί έντονα τους παραγωγούς. Οι νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση των γεωργικών πρακτικών και να λειτουργήσουν ως χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των αγροτών. Η παρούσα μελέτη είχε στόχο την αξιοποίηση των νέων αυτών τεχνολογιών, όπως τα UAV, οι πολυφασματικοί αισθητήρες και τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ελαιόδεντρων, τα οποία συντέλεσαν στη δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης της ετήσιας παραγωγής. Αξιοποιήθηκαν εικόνες υψηλής ανάλυσης πολυφασματικού αισθητήρα, από τις οποίες με τη χρήση φωτογραμμετρικού λογισμικού παράχθηκε το ορθομωσαϊκό του αγροτεμαχίου, καθώς και τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους και επιφάνειας. Επίσης, δημιουργήθηκε θεματικός χάρτης για το δείκτη βλάστησης NDVI. Το ορθομωσαϊκό χρησιμοποιήθηκε για την απομόνωση του περιγράμματος της κόμης των δένδρων, που μέσω της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης της εικόνας σχηματίστηκαν ξεχωριστά πολύγωνα για κάθε δένδρο. Οι επεξεργασίες, οι οποίες έγιναν σε περιβάλλον GIS είχαν σαν αποτέλεσμα τον υπολογισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δένδρων, όπως το ύψος, η επιφάνεια και ο όγκος της κόμης, τα οποία επαληθεύτηκαν και από τις ανάλογες επίγειες μετρήσεις. Ακόμη, έγινε δημιουργία θεματικών χαρτών για κάθε μεταβλητή που μελετήθηκε, έτσι ώστε να παρατηρηθεί η χωρική κατανομή των τιμών σε κάθε περίπτωση. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν ανέδειξε ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ κάποιων μεταβλητών, οι οποίες στη συνέχεια αξιοποιήθηκαν για τη δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης παραγωγής σε κιλά ανά δένδρο. Στην ανάπτυξη του μοντέλου λήφθηκαν υπόψη μόνο τα δένδρα που βρίσκονταν σε παραγωγικό έτος, όπως και ο δείκτης βλάστησης NDVI, η μέση τιμή της κλίσης του εδάφους και ο όγκος της κόμης του κάθε δένδρου. Αξιοσημείωτα ήταν τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των μεταβλητών, καθώς σχεδόν στο σύνολό τους ακολούθησαν παρόμοιο μοτίβο. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των καλλιεργειών και τη βελτίωση των καλλιεργητικών πρακτικών.

Λέξεις – κλειδιά: χωρική ανάλυση, δείκτες βλάστησης, αντικειμενοστραφής ταξινόμηση εικόνας, μετρικά τοπίου, πολυφασματικοί αισθητήρες.

ABSTRACT

MSc. Thesis title:

"Spatial models for the assessment of olive tree crown characteristics and production forecast using high resolution UAV imagery"

Olive cultivation in Greece is one of the most important occupations in the agricultural sector. Olive orchard annual production has always been a burning issue of great concern to the producers. New technologies have been developed in order to improve farming practices and serve as a useful tool for the farmers. The present study aimed at employing these new technologies, such as UAVs, multi-spectral cameras and Geographic Information Systems to determine the geometric characteristics of olive trees, which contributed to the creation of an annual production forecast model. High-resolution multispectral imagery was employed and by using photogrammetric software the field's orthomosaic was produced, as well as the digital terrain and surface models. The thematic map of the NDVI vegetation index was also created. The orthomosaic was used to isolate the crown of the trees, which, through object based image analysis (OBIA), formed individual polygons for each tree. Processes conducted in a GIS environment resulted in the calculation of the tree's geometric characteristics, such as height, surface and volume of the crown, which were also verified by terrestrial measurements. In addition, thematic maps were created for each variable, so as to observe the spatial distribution in each case. The statistical analysis of the compiled data revealed strong correlations among certain variables, which were then used to create a production forecast model in kilograms per tree. In the development of the model, trees in their productive year only were taken into account, as well as the NDVI vegetation index, the average slope and the crown volume of each tree. The results of the spatial distribution of the variables were noteworthy, because almost all of them followed a similar pattern. The conclusions drawn from this study can be used in the future for crop yield optimization and the improvement of cultivation practices.

Keywords: spatial analysis, vegetation indices, object-based image analysis (OBIA), landscape metrics, multispectral camera.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ – ΕΙΚΟΝΩΝ – ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	9
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	11
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	13
1.1 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας.....	13
1.2 Στόχοι Μελέτης.....	19
Κεφάλαιο 2: Γεωχωρικές Τεχνολογίες και Χωρικές Αναλύσεις	21
2.1 Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ).....	21
2.2 Χωρική Ανάλυση	24
2.3 Μετρικά Τοπίου	26
2.4 Τηλεπισκόπηση.....	28
2.5 Δείκτες Βλάστησης.....	33
Κεφάλαιο 3: Η Ελαιοκαλλιέργεια.....	36
3.1 Γενικά.....	36
3.2 Κλιματικές και Εδαφικές Απαιτήσεις	37
3.3 Η Ποικιλία της Μελέτης	39
Κεφάλαιο 4: Η Περιοχή Μελέτης	40
4.1. Γενικά Στοιχεία	40
4.2 Κλίμα και Μορφολογία.....	40
4.3 Το Αγροτεμάχιο Μελέτης	41
Κεφάλαιο 5: Υλικά.....	43
5.1 UAV Matrice 100.....	43
5.2 Πολυφασματικός αισθητήρας Sequoia	43
5.3 Τοπογραφικό Laser Trimble S3 Total Station	44
5.4 Λογισμικά Επεξεργασίας	45
Κεφάλαιο 6: Μέθοδοι.....	48
6.1 Επίγειες Μετρήσεις.....	48
6.2 Υπέργειες Μετρήσεις.....	49
6.3 Επεξεργασίες.....	50
6.3.1 Φωτογραμμετρική Επεξεργασία.....	52
6.3.2 Αντικειμενοστραφής Ταξινόμηση Εικόνας.....	55

6.3.3 Χωρικές Αναλύσεις σε GIS	57
6.3.4 Μέθοδος Υπολογισμού Όγκου Κόμης Ελαιόδεντρων	60
6.3.5 Μη Χωρική Στατιστική Ανάλυση	62
Κεφάλαιο 7: Αποτελέσματα	64
7.1 Αποτελέσματα Φωτογραμμετρικής Επεξεργασίας	64
7.2 Αποτελέσματα Αντικειμενοστραφούς Ταξινόμησης Εικόνας	70
7.3 Μη Χωρική Στατιστική και Συσχετίσεις.....	74
7.4 Χωρικές Παρατηρήσεις.....	88
7.5 Μοντέλο Πρόβλεψης Παραγωγής.....	97
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα – Συζήτηση	101
8.1 Συμπεράσματα	101
8.2 Εφαρμογή – Μελλοντική Εξέλιξη	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	108

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ – ΕΙΚΟΝΩΝ – ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Πίνακες

- 1) Σελ. 34: Φαινολογικά στάδια ελιάς.
- 2) Σελ. 80: Περιγραφικά στατιστικά μέτρα των μεταβλητών μελέτης.
- 3) Σελ. 82: Συσχέτιση επίγειου και υπέργειου όγκου βάσει του σχήματος της κόμης των ελαιόδεντρων.
- 4) Σελ. 83-84: Συσχετίσεις μεταβλητών μελέτης.
- 5) Σελ. 95: Πίνακας ANOVA πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την εξίσωση 4.
- 6) Σελ. 95: Πίνακας συντελεστών πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την εξίσωση 4.
- 7) Σελ. 96: Πίνακας ANOVA πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την εξίσωση 5.
- 8) Σελ. 96: Πίνακας συντελεστών πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την εξίσωση 5.

Εικόνες

- 1) Σελ. 26: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και τα φασματικά κανάλια.
- 2) Σελ. 28: Φασματική απόκριση αντικειμένων.
- 3) Σελ. 55: Εικόνα του attribute table σε περιβάλλον GIS.
- 4) Σελ. 57: Στιγμιότυπο από τον υπολογισμό του όγκου σε περιβάλλον GIS.
- 5) Σελ. 63: Χάρτης ορθομοσαϊκού αγροτεμαχίου.
- 6) Σελ. 64: Ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας αγροτεμαχίου.
- 7) Σελ. 65: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους αγροτεμαχίου.
- 8) Σελ. 66: Χάρτης κατανομής δείκτη βλάστησης NDVI.
- 9) Σελ. 67: Η ιεραρχία των κλάσεων που υιοθετήθηκε για την ταξινόμηση της εικόνας.
- 10) Σελ. 69: Ιεραρχία επεξεργασιών κατά την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση της εικόνας.
- 11) Σελ. 70: Χάρτης ορίων κόμης ελαιόδεντρων.
- 12) Σελ. 85: Χάρτης κατανομής τιμών εμβαδού κόμης ελαιόδεντρων.
- 13) Σελ. 86: Χάρτης κατανομής τιμών υπέργειου ύψους ελαιόδεντρων.

- 14) Σελ. 86: Χάρτης κατανομής τιμών επίγειου ύψους ελαιόδεντρων.
- 15) Σελ. 87: Χάρτης κατανομής τιμών δείκτη LSI.
- 16) Σελ. 88: Χάρτης κατανομής τιμών υπέργειου όγκου κόμης ελαιόδεντρων.
- 17) Σελ. 88: Χάρτης κατανομής τιμών επίγειου όγκου κόμης ελαιόδεντρων.
- 18) Σελ. 89: Χάρτης κατανομής μέσω τιμών επίγειου όγκου παραγωγής ελαιόδεντρων.
- 19) Σελ. 88: Χάρτης κατανομής μέσω τιμών δείκτη βλάστησης NDVI ανά δένδρο.
- 20) Σελ. 91: Χάρτης κλίσης εδάφους αγροτεμαχίου.
- 21) Σελ. 92: Χάρτης έκθεσης εδάφους αγροτεμαχίου.
- 22) Σελ. 97: Χάρτης πρόβλεψης όγκου παραγωγής των ελαιόδεντρων του αγροτεμαχίου μελέτης.

Γραφήματα

- 1) Σελ. 38: Διακύμανση βροχόπτωσης και θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του έτους.
- 2) Σελ. 48: Διάγραμμα ροής.
- 3) Σελ. 54: Διάγραμμα ροής διαδικασίας αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνας.
- 4) Σελ. 71: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών παραγωγής.
- 5) Σελ. 72: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών επίγειου όγκου.
- 6) Σελ. 73: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών υπέργειου όγκου.
- 7) Σελ. 74: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών επιφάνειας κόμης.
- 8) Σελ. 75: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών επίγειου ύψους.
- 9) Σελ. 76: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών υπέργειου ύψους.
- 10) Σελ. 77: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών κλίσης εδάφους.
- 11) Σελ. 78: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών δείκτη μετρικών τοπίου LSI.
- 12) Σελ. 78: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών δείκτη βλάστησης NDVI.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική μελέτη εκπονήθηκε στην Ερευνητική Μονάδα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Φυσικοί Πόροι, Γεωπεριβάλλον και Γεωργική Μηχανική» με κατεύθυνση «Γεωπληροφορική και Χωρική Ανάλυση», του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή μου κ. Καλύβα Διονύσιο, για την ανάθεση του θέματος, την εμπιστοσύνη του στο πρόσωπό μου και την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγησή του στη διεκπεραίωση και εκπόνηση της παρούσας μελέτης. Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής κ. Παπαδόπουλο Γεώργιο, Αναπληρωτή Καθηγητή Γ.Π.Α. και τον κ. Ψωμάδη Εμμανουήλ, Ε.ΔΙ.Π. Γ.Π.Α. για τη βοήθειά τους και το χρόνο που αφιέρωσαν στη διόρθωση και βαθμολόγηση της μελέτης.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς φοιτητές του τμήματος που με βοήθησαν στη λήψη των μετρήσεων που απαιτούνταν για τη μελέτη, κα. Αβραμίδου Δέσποινα, κ. Γαρδικιώτη Μενέλαο και κα. Σοφιανού Χρυσούλα. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κανιούρα Κλεισθένη για τη συνδρομή του στη μέτρηση του ύψους των δένδρων με τη διάθεση του τοπογραφικού οργάνου του και των γνώσεών του επ' αυτού. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου Αθηνών κα. Roxanne Suzette Lorilla και κ. Κεφαλά Γεώργιο για την καθοδήγηση και τις γνώσεις τους στην αντικειμενοστραφή ταξινόμηση εικόνας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Δημήτριος Στατεράς

Αθήνα, Μάρτιος 2018.

ΜΕΡΟΣ Α

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Η Ελλάδα είναι η τρίτη μεγαλύτερη παραγωγός χώρα ελαιολάδου μετά την Ισπανία και την Ιταλία. Η καλλιέργεια της ελιάς καλύπτει το 15% της εγχώριας καλλιεργούμενης έκτασης και το 75% της έκτασης των δενδρωδών καλλιεργειών. Επίσης, η χώρα μας κατατάσσεται ως πρώτη στην κατηγορία της ποιότητας του ελαιολάδου που παράγει, το οποίο συνεισφέρει το 13% στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν της χώρας και στο 46,5% του ακαθάριστο γεωργικό προϊόν (Θεριός, 2006). Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, ότι η ανάγκη για παρακολούθηση και πρόβλεψη της παραγωγικότητας των ελληνικών ελαιώνων είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της δυναμικής της χώρας μας σε υψηλό επίπεδο, με τη συμβολή των σύγχρονων τεχνολογιών να αποτελεί κομβικό σημείο σε αυτόν τον τομέα.

Οι γεωχωρικές τεχνολογίες αποτελούν ένα αξιοσημείωτο εργαλείο που μπορεί να εφαρμοστεί για τη διευκόλυνση της παρακολούθησης των καλλιεργειών, την αναβάθμιση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος και την εξέλιξη του γεωργικού τομέα. Εφαρμογές όπως τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ), τα συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS) και η Τηλεπισκόπηση αποτελούν τη βάση για τη δημιουργία ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης και παρακολούθησης των καλλιεργειών.

Ποικίλες προσπάθειες έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως για την εφαρμογή των παραπάνω τεχνολογιών σε επίπεδο συνθηκών αγρού. Η καταγραφή και παρακολούθηση των προβλημάτων που παρουσιάζονται στην ελαιοκαλλιέργεια, όπως και η εκτίμηση διαφόρων χαρακτηριστικών των δένδρων, που βοηθούν στην κατάρτιση βέλτιστων καλλιεργητικών τεχνικών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, οι οποίες αποσκοπούν στη μέγιστη δυνατή παραγωγή, αποτελούν μερικούς από τους στόχους των εγχειρημάτων που έχουν εφαρμοστεί σε πραγματικές συνθήκες.

Η πρόωμη αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των ασθενειών, αλλά και ο τρόπος αντιμετώπισής τους είναι ένα από τα σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζονται καθημερινά στην ελαιοκαλλιέργεια. Τέτοιες προσπάθειες έχουν γίνει από τους Calderón et al. (2013) για την αναγνώριση της βερτισιλλίωσης (*Verticillium dahlie*) μέσω πολυφασματικών και υπέρυθρων αισθητήρων, οι οποίοι ενσωματώθηκαν σε

εναέρια μέσα (UAV). Παράλληλα διεξήχθησαν επίγειες μετρήσεις στις κόμης των δένδρων για τα επίπεδα θερμοκρασίας. Για την ταυτοποίηση των περιοχών που είχαν μολυνθεί χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης υδατικού στρες (CWSI), οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της κόμης και τα επίπεδα της χλωροφύλλης στη βλάστηση. Τα αποτελέσματα της τριετούς έρευνας ανέδειξαν τη δυναμική των μέσων τηλεπισκόπησης στον άμεσο εντοπισμό της ασθένειας και στη διάκριση του επιπέδου μόλυνσης. Ακόμη, τονίσθηκε ότι οι δείκτες που βασίστηκαν στη θερμοκρασία της κόμης, σε ορατά φάσματα και στην κατάσταση της βλάστησης είναι αποτελεσματικοί στην αναγνώριση της ασθένειας σε πρώιμα στάδια. Επίσης, σε δένδρα που έχουν ήδη μολυνθεί μπορεί να εκτιμηθεί η ζημιά που έχει προκαλέσει το παθογόνο. Παρόμοια έρευνα διεξήχθη από τους Calderón et al. (2015), οι οποίοι χρησιμοποίησαν διαφορετικές μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης (LDA και SVM) για την αναγνώριση της δριμύτητας της ασθένειας της βερτισιλλίωσης σε εκτάσεις μεγάλης κλίμακας. Αξιοποιήθηκαν εικόνες από θερμικές και υπερφασματικές κάμερες, οι οποίες οδήγησαν στην εξαγωγή δεικτών ικανών για την εκτίμηση του σταδίου της μόλυνσης από το παθογόνο. Ο υπολογισμός των δεικτών και της κανονικοποιημένης θερμοκρασίας της κόμης των δένδρων έδειξαν ότι μπορούν να συντελέσουν στη δημιουργία ενός βασικού εργαλείου για την πρόληψη και την πρώιμη αναγνώριση της ασθένειας. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν σε επίπεδο ελαιώνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε μεγάλης κλίμακας ελαιοκομικές περιοχές, οι οποίες απαρτίζονται από ελαιώνες διαφορετικών χαρακτηριστικών. Μία προσπάθεια σχετική με τους φυτοπροστατευτικούς ψεκασμούς έγινε από τους Pontikakos et al. (2010), οι οποίοι προσπάθησαν να δημιουργήσουν ένα σύστημα εντοπισμού θέσης, το οποίο θα συνέβαλε στον τρόπο ψεκασμού. Για την επικύρωση του συστήματος έγιναν μέτριας κλίμακας πειράματα πεδίου. Η εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος θα είχε θετικά αποτελέσματα στην αποδοτικότητα των ψεκασμών, καθώς και στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και την αποφυγή ψεκασμών κοντά σε βιολογικές καλλιέργειες και προστατευόμενες περιοχές. Μία ακόμη μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί σχετικά με τη φυτοπροστασία των ελαιώνων αφορά την ανάπτυξη χωρικού μοντέλου πρόβλεψης και πρόγνωσης της εξάπλωσης των προσβολών με μελέτη περίπτωσης το Δάκο (*Bactrocera oleae*) και περιοχή μελέτης τους ελαιώνες της Σάμου (Παππάς κ.ά., 2017). Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με εκτιμήσεις στο πεδίο συνέβαλαν στη βαθμονόμηση των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για

την πρόβλεψη των περιοχών με μεγάλη τρωτότητα σε συγκεντρώσεις πληθυσμού. Τα αποτελέσματα του χωρικού μοντέλου είναι χάρτες επικινδυνότητας-πρόγνωσης προσβολών, με σκοπό το σχεδιασμό και την υλοποίηση αποτελεσματικότερων παρεμβάσεων.

Η εκτίμηση του υδατικού στρες των ελαιόδεντρων, όπως και η βελτίωση της άρδευσής τους αποτελούν ένα ακόμη ερευνητικό πεδίο στο οποίο έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες. Σε ελαιώνα με τρεις διαφορετικές μεθόδους άρδευσης έγινε μελέτη της χωρικής και ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας, για τον προσδιορισμό της έλλειψης νερού (Sepulcre-Canto et al., 2006). Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν από εναέριο υπερφασματικό σαρωτή (AHS), αξιοποιήθηκαν για τον αλγοριθμικό διαχωρισμό της σκιάς και της κόμης των δένδρων. Η επαλήθευση των εναέριων δεδομένων έγινε μέσω θερμικών αισθητήρων για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της κόμης των δένδρων και του αέρα. Το υδατικό δυναμικό των φύλλων ήταν ανάλογο του τρόπου άρδευσης, καθώς και της εποχής. Η μελέτη αυτή έχει δυνητικές εφαρμογές στην κατάρτιση προγράμματος άρδευσης των ελαιώνων. Οι υπερφασματικοί αισθητήρες σε εναέρια μέσα χρησιμοποιήθηκαν και από τους Berni J.A.J. et al. (2009) για την ανάπτυξη μοντέλου υπολογισμού του δείκτη CWSI. Οι εναέριες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ελαιώνα με διαφορετικούς τρόπους άρδευσης για δύο έτη. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε, κατέστησε εφικτή τη χωρική ανάλυση της χρήσης του νερού εντός ετερογενών ελαιώνων και το χαρακτηρισμό του υδατικού στρες του εδάφους, οδηγώντας σε δυνητικές εφαρμογές της διαχείρισης της άρδευσης, με τη χρήση θερμικών εικόνων υψηλής ανάλυσης. Η υδατική κατάσταση πέντε δενδρωδών καλλιεργειών απασχόλησε και τους Gonzalez-Dugo et al. (2013), αξιολογώντας την ετερογένεια σε εμπορικό οπωρώνα με στόχο τη διαχείριση της άρδευσης. Τα UAV με θερμικές κάμερες χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη εικόνων σε τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές εντός μίας ημέρας και τον υπολογισμό του δείκτη CWSI. Επίσης, έγινε σύγκριση της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του αέρα και της κόμης με την υδατική κατάσταση των δένδρων. Το αποτέλεσμα ήταν η αναγνώριση περιοχών που υποβάλλονται σε υδατικό στρες, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί από τους καλλιεργητές για τη διαχείριση της άρδευσης με βάση το στάδιο ανάπτυξης των δένδρων, λαμβάνοντας υπόψη το οικονομικό όφελος. Μία ακόμη προσπάθεια έγινε από τους Ortega-Farías et al. (2016), οι οποίοι διεξήγαγαν πειράματα αγρού σε ελαιώνα με στόχο την ανάπτυξη αλγορίθμου ενεργειακού ισοζυγίου για την εκτίμηση των παραμέτρων ακτινοβολίας. Πολυφασματικές και

υπέρυθρες κάμερες ενσωματώθηκαν σε UAV για την εκτίμηση του δείκτη βλάστησης NDVI και της επιφανειακής θερμοκρασίας. Η επαλήθευση των δεδομένων έγινε από μετεωρολογικούς σταθμούς και επίγειες μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αισθητήρες σε εναέρια μέσα αποτελούν ένα εξαιρετικό εργαλείο στην εκτίμηση της χωρικής μεταβλητότητας των παραμέτρων της κόμης των ελαιόδεντρων και της εδαφικής επιφάνειας ανάμεσα στις σειρές.

Άλλες εφαρμογές γεωχωρικών τεχνολογιών που έχουν διεξαχθεί με εναέρια μέσα και πολυφασματικούς αισθητήρες με στόχο την ανίχνευση της μεταβλητότητας του φθορισμού ως συνάρτηση της κατάστασης του υδατικού στρες πραγματοποιήθηκε από τους Zarco-Tejada et al. (2009). Τα επίγεια πειράματα σε δενδρώδεις καλλιέργειες συντέλεσαν στην ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης της μεταβολής της περιεκτικότητας των δένδρων σε χλωροφύλλη και του δείκτη LAI. Πειράματα με UAV έγιναν από τους Salami et al. (2014), οι οποίοι κατηγοριοποίησαν τους αισθητήρες ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία χρησιμοποιούνται, όπως για τη βλάστηση, την επεξεργασία των δεδομένων, την ταξινόμηση εικόνων και την τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Οι Ramos M. I. et al. (2007), χρησιμοποίησαν συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS) και Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS) για την ποσοτικοποίηση της ενδεχόμενης μετακίνησης της γης και την επακόλουθη μετατόπιση των ελαιόδεντρων που δημιουργείται από τη συνεχή διάβρωση του εδάφους. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ποικίλες επικλινείς περιοχές και είχε ως βάση την επαναλαμβανόμενη αναθεώρηση της θέσης των δένδρων. Η χωρική ανάλυση των δεδομένων επιβεβαίωσε την κίνηση των δένδρων για λίγα εκατοστά ανά έτος. Επίσης, αποδείχθηκε η σχέση μεταξύ της κίνησης των δένδρων με την κλίση, την έκθεση και το υψόμετρο, καθώς και ότι οι καλλιεργητικές πρακτικές έχουν επιπρόσθετη επίπτωση στην κίνηση των δένδρων. Οι κατολισθήσεις που επηρεάζουν τους ελαιώνες ήταν το αντικείμενο της έρευνας των Fernández T. et al. (2016), οι οποίοι χρησιμοποίησαν εναέρια μέσα για την ανάλυση του φαινομένου. Επίσης, η χρήση σημείων επιβεβαίωσης για τη μεγάλη ακρίβεια της έρευνας οδήγησε στον υπολογισμό της μετατόπισης και τον προσδιορισμό των περιοχών συσσώρευσης υλικών εντός της κατολίσθησης. Η ανάπτυξη του μοντέλου για την εξέλιξη των κατολισθήσεων έγινε από τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους και επιφάνειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παρακολούθηση των κατολισθήσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του συνδυασμού επεμβατικών τεχνικών όπως τα UAV, τα GIS και η φωτογραμμετρία. Εύκολες και φθηνές εναέριες μετρήσεις της δομής, της

κόμης και των φασματικών τους χαρακτηριστικών, με παρόμοιες ιδιότητες με τα LiDAR χρησιμοποιήθηκαν από τους Dandois J.P. και Ellis E.C. (2013). Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε είχε καλή πρόβλεψη σε σχέση με τις επίγειες μετρήσεις του ύψους των δένδρων και ισχυρή συσχέτιση με τη διαδικασία που είχε πραγματοποιηθεί σε προηγούμενο χρονικό διάστημα, αλλά με τη χρήση LiDAR. Επίσης, αποδείχθηκε ότι οι μετρήσεις μπορούν να καταγράψουν τη δομή της βλάστησης και της φασματικής φαινολογικής δυναμικής στη χωρική κλίμακα μεμονωμένων δένδρων.

Η εφαρμογή των UAV στην ελαιοκαλλιέργεια έχει γίνει σε πολλές έρευνες ανά τον κόσμο, με ποικίλους στόχους. Ο χρόνος επεξεργασίας και η ακρίβεια του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας των Torres-Sanchez J. et al. (2017). Οι πτήσεις του UAV έγιναν σε διαφορετικά ύψη για την αξιολόγηση των δεδομένων που θα αναπαριστούν την κόμη των ελαιόδεντρων με το βέλτιστο τρόπο και χρόνο επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η τρισδιάστατη απεικόνιση του δένδρου ήταν καλύτερη ποιοτικά όσο το ποσοστό της επικάλυψης ήταν υψηλότερο, όπως και όσο υψηλότερο ήταν το ποσοστό επικάλυψης, τόσο καλύτερο ήταν το ποσοστό αναγνώρισης των ελαιόδεντρων από τον αλγόριθμο της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης. Εικόνες από UAV χρησιμοποιήθηκαν και από τους Gertsis A. et al. (2015) για τη σκιαγράφηση ζωνών διαχείρισης εντός του ελαιώνα. Χρησιμοποιήθηκαν υπέρυθρες κάμερες και επίγεια όργανα μέτρησης για τον προσδιορισμό του δείκτη βλάστησης NDVI και την αναγνώριση των περιοχών που παρουσίαζαν μεγάλες διαφορές στο αγροτεμάχιο μελέτης. UAV και αντικειμενοστραφής ταξινόμηση εικόνας ήταν τα μέσα που μεταχειρίστηκαν οι Jiménez-Brenes F.M. et al. (2017) για την ποσοτικοποίηση της επίπτωσης τριών διαφορετικών τρόπων κλαδεύματος σε ελαιόδεντρα. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν την επιρροή του τρόπου κλαδεύματος στην ανάπτυξη του φυλλώματος. Η εφαρμογή αυτής της προσπάθειας θα συνέβαλε στο σχεδιασμό διαχείρισης της καλλιέργειας, με οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Αρκετές προσπάθειες έχουν γίνει για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ελαιόδεντρων με τη χρήση εναέριων μέσων, όπως και της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνων. Οι Torres-Sanchez J. et al. (2014) ανέπτυξαν μέθοδο προσδιορισμού του ύψους, της διαμέτρου, της επιφάνειας και του όγκου των δένδρων σε δύο διαφορετικούς ελαιώνες, με αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Το σύνολο των δένδρων αναγνωρίστηκε από τη μέθοδο αντικειμενοστραφούς

ταξινόμησης εικόνων, το οποίο συμβάλλει σημαντικά στη μείωση χρόνου και κόπου σε σχέση με τις μετρήσεις πεδίου. Υπερφασματικές εικόνες από το σύστημα CASI (Visible Near Infrared Imager) και δορυφορικές εικόνες από δύο ελαιώνες χρησιμοποίησαν οι Gómez J. A. et al. (2011), σε συνδυασμό με επίγειες μετρήσεις διαπερατότητας της κόμης και εξαγωγή του δείκτη LAI. Η αυτοματοποιημένη αναγνώριση και σκιαγράφιση της κόμης και του δείκτη LAI ήταν επιτυχής και συνέβαλε στον υπολογισμό του όγκου της κόμης. Τα παραπάνω αποτελέσματα επαληθεύτηκαν και από διάφορους δείκτες (πχ. NDVI, RDVI κλπ.). Προσπάθεια για τον προσδιορισμό του ύψους των δένδρων και της διαμέτρου της κόμης τους έγινε και από τους Panagiotidis D. et al. (2017) σε δύο περιοχές μελέτης. Η επικύρωση των δεδομένων έγινε με επίγειες μετρήσεις και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εφαρμογή των μοντέλων που αναπτύχθηκαν μπορεί να γίνει σε δένδρα με ομογενείς κόμης και μεγάλο μέγεθος, καθώς και ότι η τοποθεσία επηρεάζει σημαντικά στις μετρήσεις. Έτσι, επιβεβαιώθηκε ότι ο συγκεκριμένος τρόπος εργασίας είναι αποδοτικός και αποτελεί μία γρήγορη και αποτελεσματική εναλλακτική λύση για το χαρακτηρισμό της διαμέτρου της κόμης των δένδρων. Οι Zarco-Tejada P.J. et al. (2014), οι Díaz-Varela R.A. et al. (2015) και οι Miranda-Fuentes A. (2015) διεξήγαγαν έρευνες, οι οποίες στόχευαν στον προσδιορισμό των παραμέτρων της κόμης, με τη χρήση αισθητήρων χαμηλού κόστους και εναέριων μέσων. Σε όλες τις περιπτώσεις τα δεδομένα επαληθεύτηκαν με επίγειες μετρήσεις και τα αποτελέσματα ήταν αξιόπιστα και συγκρίσιμα με εκείνα που προέρχονταν από ακριβότερα και πιο δύσχρηστα μέσα.

Τέλος, η πρόβλεψη της παραγωγής των ελαιόδεντρων έχει αποτελέσει πεδίο ένα ακόμη πεδίο έρευνας. Οι Masilli F. et al. (2012) ανέπτυξαν μεθοδολογία που ενσωματώνει μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα τηλεπισκόπησης για την εκτίμηση της παραγωγής ελαιώνων της Τοσκάνης. Για το σύνολο των ελαιώνων υπολογίστηκε ο δείκτης βλάστησης NDVI, ο οποίος σε συνδυασμό με τα μετεωρολογικά δεδομένα επιτρέπει τη δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης της παραγωγής. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε ήταν ικανή να εφαρμοστεί σε τοπικό επίπεδο, αλλά μπορεί να αναπαράγει τη διακύμανση της παραγωγής και σε εθνικό επίπεδο. Ένα εργαλείο με τον ίδιο στόχο ανέπτυξαν και οι Sola-Guirado R.R. et al. (2017). Με επίγειες μετρήσεις της κόμης των ελαιόδεντρων υπολόγισαν τον όγκο και την επιφάνεια της κόμης τους. Επίσης, αξιοποίησαν εικόνες από εναέρια μέσα για τη δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης της παραγωγής, το οποίο συμπεριλάμβανε τις παραπάνω παραμέτρους. Ο θεματικός χάρτης με την παραγωγή για το κάθε

ελαιόδεντρο, που εξάχθηκε από την αναπαραγωγή του μοντέλου, μπορεί να αποτελέσει ένα αξιόπιστο εργαλείο για τους παραγωγούς, οι οποίοι μπορούν να προσαρμόσουν τις καλλιεργητικές τους τεχνικές ανάλογα με την παραγωγή που αναμένεται και να καθοδηγηθούν αντίστοιχα και σε βέλτιστο βαθμό από τους αρμόδιους επιστήμονες.

1.2 Στόχοι Μελέτης

Οι βασικοί στόχοι της παρούσας μελέτης ήταν η εκτίμηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ελαιόδεντρων του αγροτεμαχίου, όπως του ύψους και της επιφάνειας που καταλαμβάνει η κόμη τους, καθώς και ο όγκος της κόμης των δένδρων με τη χρήση επίγειων και κυρίως εναέριων μέσων. Επίσης, βασικός στόχος ήταν η ανάπτυξη και εφαρμογή ενός μοντέλου πρόβλεψης της παραγωγής των ελαιόδεντρων, βασισμένο στα χαρακτηριστικά της κόμης και των μορφολογικών χαρακτηριστικών του εδάφους, σε συσχέτιση με δεδομένα δεικτών βλάστησης.

Όσον αφορά τους επιμέρους στόχους, η μελέτη εστιάστηκε στη μοντελοποίηση των μεταβλητών που χαρακτηρίζουν την κόμη και την παραγωγή των ελαιόδεντρων, τον έλεγχο της αξιοπιστίας των μετρήσεων από εναέρια μέσα και επαλήθευσή τους από επίγειες μετρήσεις, καθώς και στη μέθοδο ελαχιστοποίησης των επίγειων μετρήσεων για τη διευκόλυνση της διεξαγωγής των μελετών. Η επίτευξη των παραπάνω στόχων επιχειρήθηκε με τα διαθέσιμα μέσα, τα οποία ήταν δυνατό να αξιοποιηθούν.

ΜΕΡΟΣ Β

Κεφάλαιο 2: Γεωχωρικές Τεχνολογίες και Χωρικές Αναλύσεις

2.1 Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ)

Τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (Γ.Π.Σ.) είναι συστήματα χωρικής επεξεργασίας που περιγράφουν οντότητες του πραγματικού κόσμου σε σχέση με τη θέση τους ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων, παραμέτρους που δεν έχουν σχέση με τη χωρική τους θέση και τοπολογικούς συνδέσμους που έχουν με άλλες οντότητες. Τα ΓΠΣ είναι μία τεχνολογία που έχει θεωρητικό και πρακτικό υπόβαθρο.

Τα ΓΠΣ οφείλουν το όνομά τους στον Roger Tomlinson, ο οποίος στα μέσα της δεκαετίας του 1960 υλοποίησε το πρώτο μεγάλο ΓΠΣ, το Canadian Geographical Information System (CGIS).

Στην πιο απλή του μορφή ένα ΓΠΣ μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύστημα βάσης δεδομένων, στο οποίο είναι αποθηκευμένα χωρικά δεδομένα που πάνω τους εφαρμόζεται ένα σύνολο από επεξεργασίες, με σκοπό να απαντώνται ερωτήσεις για τις χωρικές οντότητες της βάσης δεδομένων. Επίσης, ένα ΓΠΣ μπορεί να θεωρηθεί σαν μία αποθήκη ψηφιακών χαρτών, καθώς και σαν εργαλείο για τη λύση γεωγραφικών προβλημάτων και την εφαρμογή επεξεργασιών σε χωρικά δεδομένα. Τέλος, χρησιμοποιούνται και για την οργάνωση – παρουσίαση χωρικών πληροφοριών και την ανάλυση της επίδρασης εναλλακτικών αποφάσεων στο χώρο.

Κεντρικά στοιχεία της ανάπτυξης ενός ΓΠΣ είναι η αποθήκευση των δεδομένων, η χωρική ανάλυση, η παρουσίαση και η επικοινωνία των δεδομένων και οι εφαρμογές. Πρωταρχικό σύστημα σε όλα τα ΓΠΣ και τις εφαρμογές τους είναι οι Βάσεις Δεδομένων. Η ανάλυση της χωρικής πληροφορίας είναι ο στόχος των εφαρμογών των ΓΠΣ. Η χωρική ανάλυση είναι τελείως διαφορετική επεξεργασία από την ερώτηση και ανάκτηση χωρικών δεδομένων. Η παρουσίαση της χωρικής πληροφορίας είναι επίσης βασικό χαρακτηριστικό ενός ΓΠΣ. Το αντίστοιχο του παραδοσιακού αναλογικού χάρτη είναι η πιο δημοφιλής παρουσίαση μεταξύ των χρηστών των ΓΠΣ. Με τη χρησιμοποίηση όμως των Η/Υ έχουμε μία πολύ μεγάλη ποικιλία μεθόδων στη διάθεση μας για την παρουσίαση των χωρικών δεδομένων μας, που απέχουν πολύ από τους στατικούς παραδοσιακούς χάρτες.

Η λειτουργία ενός ΓΠΣ κρίνεται ικανοποιητική όταν αυτό έχει δυνατότητες αποθήκευσης, ανάλυσης, επεξεργασίας και ανάκτησης δεδομένων από διαφορετικές πηγές και για διαφορετικούς χρήστες. Σκοπός ενός ΓΠΣ είναι να βοηθήσει το χρήστη

στο να παίρνει αποφάσεις, να σχεδιάζει και να διευθύνει διάφορες δραστηριότητες. Ένα ΓΠΣ περιλαμβάνει μία αλυσίδα από διεργασίες που ξεκινούν από τη συλλογή των δεδομένων και μέσω της επεξεργασίας τους φθάνουν στη χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων για τη λήψη κάποιας απόφασης.

Ένα ΓΠΣ που έχει υλοποιηθεί σε Η/Υ μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τα ακόλουθα πέντε μέρη: συλλογή και κωδικοποίηση των δεδομένων, διοίκηση των δεδομένων, ανάκτηση των δεδομένων, χειρισμός και επεξεργασία των δεδομένων και παρουσίαση των δεδομένων. Οι ερωτήσεις που χειρίζεται ένα ΓΠΣ μπορούν να χωρισθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά ερωτήσεις που ζητούν τη θέση κάποιων χωρικών οντοτήτων για κάποιο τμήμα του χάρτη. Η δεύτερη κατηγορία αφορά ερωτήσεις που ζητούν ποια αντικείμενα υπάρχουν σε κάποιο τμήμα του χάρτη και ανήκουν σε κάποια χωρική οντότητα.

Το εύρος των εφαρμογών των ΓΠΣ είναι τεράστιο, αφού όλα τα πράγματα έχουν μία θέση στο χώρο δε φαίνεται να υπάρχει πεδίο επιστημονικό ή μη που να μη βρίσκουν εφαρμογή. Ακόμη και ένας παραδοσιακός χάρτης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα υποτυπώδες ΓΠΣ, επειδή συνδέει ένα μεγάλο εύρος δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Η εφαρμογή των ΓΠΣ στις εδαφολογικές μελέτες παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς το έδαφος παρουσιάζει πολύπλοκες τοπικές διαφορές. Η ανάπτυξη των εδαφικών πληροφοριακών συστημάτων (Soil Information Systems) όπως και των πληροφοριακών συστημάτων γης (Land Information Systems) συνέβαλαν στη δημιουργία πολυγωνικών χαρτών, οι οποίοι περιέχουν τις παρατηρήσεις σε εργασίες πεδίου και τις εργαστηριακές αναλύσεις. Τα παραπάνω Συστήματα είναι ιδανικά για τη χωρική απεικόνιση των δεδομένων, καθώς και για την εφαρμογή στατιστικών και γεωστατιστικών μεθόδων μοντελοποίησης των εδαφικών ιδιοτήτων.

Η μελέτη του επιφανειακού νερού απαιτεί τη χρησιμοποίηση μοντέλων επιφανείας που δημιουργούνται μέσω των ΓΠΣ και χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση της κίνησης του νερού και τον προσδιορισμό των λεκανών απορροής. Επίσης, οι θαλάσσιες και ωκεανογραφικές μελέτες βασίζονται σε δεδομένα τηλεπισκόπησης και δειγματοληψιών, τα οποία μελετώνται μέσω των τρισδιάστατων μοντέλων που αναπτύσσονται στα ΓΠΣ.

Στα γεωλογικά ΓΠΣ αποθηκεύονται δεδομένα διαφορετικών πηγών (επιφανειακά, υπο-επιφανειακά, δεδομένα τηλεπισκόπησης), τα οποία

αναπαρίστανται σε τρισδιάστατα μοντέλα και χρησιμοποιούνται ευρέως τη σημερινή εποχή.

Άλλες εφαρμογές των ΓΠΣ είναι σε περιβαλλοντικές μελέτες (πχ. καταγραφή περιβαλλοντικών αλλαγών, αποκατάσταση ζημιών από φυσικές καταστροφές κλπ.), σε δημογραφικές και κοινωνικο-οικονομικές μελέτες (πχ. απογραφή πληθυσμού, μελέτη χωρικής κατανομής ασθενειών κλπ.) και σε αρχαιολογικές και ιστορικές μελέτες (πχ. μελέτη αρχαίου τοπίου, τρισδιάστατες απεικονίσεις που συμβάλλουν στην προσομοίωση ιστορικών κατασκευών και οικισμών κλπ.). Ακόμη, τα ΓΠΣ βρίσκουν εφαρμογή και σε μελέτες που αφορούν την ανάπτυξη του αστικού ιστού όπως μελέτες έργων κοινής ωφέλειας (καταγραφή δικτύου, σχεδιασμός νέων εγκαταστάσεων κλπ.), συγκοινωνιακές μελέτες (ανάλυση δικτύου για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών), μελέτες αναπτυξιακού σχεδιασμού (σχεδιασμός κτηρίων και χώρων κοινής ωφέλειας, εξέταση περιορισμών στην κατασκευή τους κλπ.) και εμπορικές μελέτες (σχεδιασμός νέων καταστημάτων, που θα απευθυνθεί το διαφημιστικό υλικό κλπ.).

Επίσης, η χαρτογράφηση και η διαχείριση πληροφοριών από το διάστημα και από όμορους δορυφόρους και πλανήτες είναι ένα σημαντικό αντικείμενο μελλοντικής διερεύνησης των εφαρμογών των ΓΠΣ. Η συλλογή και επεξεργασία των πληροφοριών (π.χ. θερμοκρασίας) από την παρακολούθηση της Σελήνης ή από την επισκόπηση περιοχών στον Άρη, ίσως έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μελλοντικών δραστηριοτήτων από τον άνθρωπο (π.χ. εκμετάλλευση ορυκτών πόρων κλπ.) και εύρεση απαντήσεων σε βασικά ερωτήματα

Τέλος, η μελλοντική πορεία στην τεχνολογία των Συστημάτων έχει να κάνει κυρίως με εξελίξεις πάνω στη δημιουργία, αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων, στις χρήσεις γεωγραφικών δεδομένων, στην ενσωμάτωση των νέων τάσεων της τεχνολογίας, στη δυνατότητα εκπαίδευσης και χρήσης των ΓΠΣ, στο ρόλο κρατικών χαρτογραφικών υπηρεσιών και κρατικών φορέων, παράλληλα με τον ρόλο του ιδιωτικού τομέα – εθελοντών, αλλά και στο νομοθετικό πλαίσιο εφαρμογών για τον καθορισμό της σωστής χρήσης και διαχείρισης των πληροφοριών και των δεδομένων.

2.2 Χωρική Ανάλυση

Η χωρική ανάλυση (spatial analysis) αποτελεί ένα σχετικά νέο γνωστικό αντικείμενο στην Ελλάδα, άρρηκτα συνδεδεμένο με τα ΓΠΣ και τη Γεωπληροφορική. Είναι γεγονός ότι η χωρική ανάλυση διεθνώς αφορά την ποσοτική γεωγραφία και την ανάλυση δεδομένων με ποσοτικές μεθόδους με αποτέλεσμα να βρίσκει εφαρμογές στις περισσότερες επιστήμες, στις οποίες αναλύονται στατιστικά δεδομένα με κάποιου είδους γεωγραφική αναφορά. Ο όρος «ανάλυση του χώρου» είναι ευρύτερος και σε καμία περίπτωση δε θα πρέπει να υποκαθιστά τον όρο χωρική ανάλυση.

Σύμφωνα με τον Unwin (1981), χωρική ανάλυση είναι η μελέτη της κατανομής των σημείων, γραμμών, περιοχών και επιφανειών ενός χάρτη (Johnston et al. 2000) με απλά λόγια η επιστήμη που βγάζει νόημα από τα χωρικά στοιχεία ενός ΓΠΣ. Οι Bailey and Gatrell (1995) ορίζουν τη χωρική ανάλυση ως την ποσοτική ανάλυση/μελέτη των χωρικών φαινομένων που βρίσκονται στο γεωγραφικό χώρο. Αναγνωρίζοντας και αυτοί την ευρύτητα του όρου χωρική ανάλυση εξειδικεύουν τη συζήτησή τους στην ανάλυση χωρικών δεδομένων. Η τελευταία αφορά τις καταστάσεις στις οποίες είναι διαθέσιμα δεδομένα παρατήρησης για κάποιο φαινόμενο που συμβαίνει στο γεωγραφικό χώρο και εξετάζει μοντέλα, μεθόδους και τεχνικές για να περιγράψει ή να ερμηνεύσει τη συμπεριφορά αυτού του φαινομένου και της πιθανής του σχέσης με άλλα χωρικά φαινόμενα (Bailey and Gatrell 1995, Fischer and Wang 2011).

Κλειδί για την ανάπτυξη της θεωρίας και των μεθόδων ανάλυσης χωρικών δεδομένων αποτελεί ο πρώτος νόμος της γεωγραφίας ή νόμος του Tobler. Ο νόμος αυτός συνοψίζει σε μια πρόταση την παρατήρηση που γίνεται συχνά στα χωρικά δεδομένα: γεωγραφικά γειτονικές μεταξύ τους παρατηρήσεις να έχουν παρόμοια τιμή. Η διαπίστωση αυτή οδηγεί στην έννοια της χωρικής εξάρτησης των παρατηρήσεων ενός χωρικού φαινομένου που αποτελεί κάτι νέο σε σχέση με τις κλασικές μεθόδους στατιστικής, όπου συχνά κάθε παρατήρηση νοείται ως ανεξάρτητη από κάθε άλλη.

Με βάση τον πρώτο νόμο της γεωγραφίας έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ανάλυσης χωρικών δεδομένων όπου λαμβάνεται υπόψη αυτή η τάση γειτονικών παρατηρήσεων να μοιάζουν. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι αυτές που ελέγχουν την ύπαρξη χωρικής εξάρτησης ή χωρικής αυτοσυσχέτισης σε μια ποσοτική μεταβλητή, που εκφράζει ένα χωρικό φαινόμενο.

Η χωρική ανάλυση ως τμήμα της ποσοτικής γεωγραφίας χρησιμοποιεί την επιστημονική μέθοδο για τη μελέτη των χωρικών φαινομένων με στόχο την καλύτερη κατανόησή τους. Είναι εύλογο ότι για τα περισσότερα γεγονότα/φαινόμενα του φυσικού κόσμου ή της ανθρώπινης δραστηριότητας υπάρχει άμεση ή έμμεση πληροφορία για την τοποθεσία ή την περιοχή στην οποία λαμβάνουν χώρα. Η συλλογή δεδομένων για τα γεγονότα/φαινόμενα αυτά παράλληλα με την καταγραφή της χωρικής τους θέσης οδηγούν στη δημιουργία των χωρικών δεδομένων. Παράδειγμα χωρικών δεδομένων στο φυσικό κόσμο είναι η σεισμική δραστηριότητα, όπου καταγράφεται η θέση και η ένταση ενός σεισμού, ενώ παράδειγμα χωρικών δεδομένων ανθρώπινης δραστηριότητας αποτελούν τα τροχαία ατυχήματα, όπου καταγράφεται η θέση του συμβάντος και οι επιπτώσεις του στην ανθρώπινη υγεία και περιουσία.

Οι ποσοτικές μέθοδοι στη γεωγραφία και κατ' επέκταση και η χωρική ανάλυση έχουν τις ρίζες τους στην αρχαία Ελλάδα (όπως προκύπτει από το έργο αρχαίων φιλοσόφων όπως ο Ηρόδοτος, ο Ευκλείδης, ο Ερατοσθένης, ο Ίππαρχος και ο Στράβων), ενώ είναι συνυφασμένες με τη γεωμετρία, τη γεωγραφία, τα μαθηματικά και τη φιλοσοφία. Ένας από τους πλέον συχνούς μαθηματικούς υπολογισμούς σε πολλές τεχνικές χωρικής ανάλυσης είναι ο υπολογισμός της ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των παρατηρήσεων με βάση τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες. Είναι κοινός τόπος ότι η ευκλείδεια απόσταση υπολογίζεται με βάση το πυθαγόρειο θεώρημα.

Το 19ο αιώνα η γεωγραφία συνδέεται κυρίως με καταγραφές του φυσικού τοπίου και της ανθρώπινης δραστηριότητας πάνω στη γη. Μία από αυτές είναι η πολύ γνωστή έρευνα του γιατρού John Snow, ο οποίος συνδυάζοντας διαφορετικά χωρικά δεδομένα βοήθησε στην αντιμετώπιση της επιδημίας χολέρας στο Λονδίνο το 1854. Η εξέλιξη της ποσοτικής γεωγραφίας συνδέεται περισσότερο με την εισαγωγή της θεωρίας στην επιστήμη της γεωγραφίας και την τεχνολογική εξέλιξη που επιτρέπει τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών στην έρευνα και στην εκπαίδευση.

Μια μεγάλη κατηγορία εφαρμογών μεθόδων χωρικής ανάλυσης αφορά στις κοινωνικές επιστήμες και κυρίως σε κοινωνικοοικονομικά ζητήματα όπως το εισόδημα, η ανεργία και η περιφερειακή ανάπτυξη. Πολλές εφαρμογές της χωρικής ανάλυσης αφορούν τη δημογραφία με αποτέλεσμα να συναντάται συχνά πλέον ο όρος χωρική δημογραφία (spatial demography). Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες εφαρμογές μεθόδων χωρικής ανάλυσης εμφανίζονται στο χώρο της υγείας με

αποτέλεσμα να έχει δημιουργηθεί μια νέα περιοχή έρευνας που αφορά τη χωρική επιδημιολογία.

Η χωρική ανάλυση βρίσκει μεγάλη εφαρμογή σε αντικείμενα έρευνας της φυσικής γεωγραφίας, όπως στην κλιματολογία, στις φυσικές καταστροφές και στο περιβάλλον. Τέτοια παραδείγματα είναι η αποτύπωση της μεταβλητότητας του κλίματος σε μορφή ψηφιδωτών χαρτών, η μελέτη της χωρικής μεταβλητότητας της σχέσης μεταξύ της επιδεκτικότητας σε εκδήλωση και η χωρική ανάλυση της συλλογής Ανακυκλώσιμων Αστικών Στερεών Αποβλήτων που εντάσσεται στις εφαρμογές που αφορούν στο περιβάλλον.

Η χωρική ανάλυση αποτελεί ένα γοργά εξελισσόμενο τομέα της ποσοτικής γεωγραφίας, που οδηγείται από τις εξελίξεις στην πληροφορική και στο διαδίκτυο, από τη συλλογή μεγάλων βάσεων δεδομένων από δημοσίους φορείς και ιδιωτικές επιχειρήσεις και από εθελοντικές πληροφορίες χρηστών των κοινωνικών δικτύων. Η ενσωμάτωση τεχνικών χωρικής ανάλυσης σε εμπορικά και ανοιχτά λογισμικά Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων ευρείας χρήσης, καθώς και η δημιουργία κατάλληλων εργαλείων για επεκτάσιμες πλατφόρμες, όπως πακέτα για τη γλώσσα προγραμματισμού R και βιβλιοθήκες για τις γλώσσες προγραμματισμού Java και Python είναι συμβάλλουν καθημερινά στην ανάπτυξη του τομέα.

Παράλληλα, η βασική έρευνα με σκοπό τη βελτίωση των μεθόδων χωρικής ανάλυσης, την εγκαθίδρυση θεωρητικής βάσης στις μεθόδους αυτές αλλά και την επίλυση των κλασικών προβλημάτων επαγωγικής στατιστικής συνεχίζεται ώστε να μειωθεί το σφάλμα και η μεροληψία της εφαρμογής σε πραγματικά δεδομένα. Δύο ανερχόμενοι τομείς έρευνας στη χωρική ανάλυση αποτελούν η χωρική εξόρυξη δεδομένων και η χρήση της Μπεϋζιανής στατιστικής.

2.3 Μετρικά Τοπίου

Τοπίο συνήθως αποκαλείται ένας συγκεκριμένος γεωγραφικός χώρος που έχει ιδιαίτερη ομορφιά και προκαλεί ευχαρίστηση στον κάθε επισκέπτη. Τοπίο, επίσης, ονομάζεται μια περιοχή στην επιφάνεια της γης που παρουσιάζει μια χαρακτηριστική διάταξη οικοσυστημάτων. Οτιδήποτε που μπορούμε να δούμε όταν κοιτάμε δια μέσου μιας περιοχής της γης που συμπεριλαμβάνει λόφους, ποτάμια, κτίρια, δένδρα και φυτά. Όλα τα χαρακτηριστικά που είναι σημαντικά μέσα σε μια περιοχή και τα οποία δίνουν σε αυτή ένα μοναδικό χαρακτήρα. Τοπίο είναι το σύνολο των

χαρακτηριστικών στοιχείων που διακρίνουν μια συγκεκριμένη περιοχή της γήινης επιφάνειας από άλλες περιοχές όπως φαίνεται σε ένα οπτικό πεδίο. Τα χαρακτηριστικά αυτά στοιχεία είναι αποτέλεσμα όχι μόνο φυσικών παραγόντων αλλά και της ανθρώπινης παρουσίας και χρήσης γης (Χατζηστάθης & Ισπικούδης 1995). Μπορούμε να εκφράσουμε και να χαρακτηρίσουμε ένα τοπίο και με διάφορους άλλους όρους, όπως Φύση, Φυσικό περιβάλλον, Σύστημα, Πλούτος, Ιδεολογία, Ιστορία, Μέρος, Αισθητική.

Η περιγραφή του ποσοτικού προσδιορισμού της δομής από την οποία αποτελείται το τοπίο αποτελεί βασικό στοιχείο για την μελέτη των λειτουργιών του. Οι μετρικοί δείκτες τοπίου ή γενικότερα μετρικά τοπίου (landscape metrics) προσδιορίζουν ποσοτικά τη δομή του τοπίου μέσα στα καθορισμένα όρια του για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ μοτίβου και οικολογικών διαδικασιών (McGarigal and Marks, 1995). Η ερμηνεία των μετρικών δεικτών απαιτεί πολύ καλή γνώση του συγκεκριμένου τοπίου και της σχέσης του με τους υπό μελέτη παραμέτρους. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης του τοπίου είναι η κλίμακα των χωρικών δεδομένων π.χ. μικρότερη χωρική μονάδα και ο τρόπος κατάταξης του τοπίου π.χ. χρήσεις γης.

Η ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών τοπίου γίνεται για να είναι δυνατή η σύγκριση (χωρικά και χρονικά) και για την εξαγωγή των συμπερασμάτων, όπως οι παράγοντες δημιουργίας των χαρακτηριστικών του τοπίου και η σύνδεσή τους με οικολογικές διεργασίες. Ακόμη, η ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών της χωρικής ετερογένειας είναι αναγκαία προκειμένου να φωτίσουμε τις σχέσεις ανάμεσα στις οικολογικές διεργασίες και τις χωρικές διαμορφώσεις (πρότυπα). Έτσι, η μέτρηση, ανάλυση και ερμηνεία των χωρικών διαμορφώσεων έχει τύχει περισσότερης προσοχής στην οικολογία του τοπίου. Τα περιβαλλοντικά πρότυπα επηρεάζουν τις οικολογικές διεργασίες με αποτέλεσμα να έχει δοθεί έμφαση στην ανάπτυξη μεθόδων για την ποσοτικοποίηση των προτύπων του τοπίου.

Το χωρικό μοτίβο των τοπίων (landscape pattern) μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με τη χρήση τοπιακών δεικτών ή δεικτών χωρικής διάρθρωσης των τοπίων (landscape indices ή landscape metrics). Οι προσπάθειες για να αναπτυχθούν μέθοδοι ποσοτικοποίησης αυτών των χωρικών μοτίβων (patterns) ξεκίνησε τη δεκαετία του '80 και έκτοτε επιταχύνθηκε με αποτέλεσμα σήμερα να υπάρχουν εκατοντάδες ποσοτικές μετρήσεις του μοτίβου του τοπίου. Οι δείκτες τοπίου είναι αλγόριθμοι για την ποσοτικοποίηση της χωρικής ετερογένειας.

Οι δείκτες τοπίου διακρίνονται σε: δείκτες χωρικής σύνθεσης των τοπίων, οι οποίοι εκτιμούν τη σύνθεση των τοπίων χωρίς να ορίζονται χωρικά, και δείκτες που προσδιορίζουν τη διαμόρφωση των τοπίων, οι οποίοι μελετούν τη χωρική κατανομή των χωροσηφίδων/στοιχείων των τοπίων. Οι δείκτες που ποσοτικοποιούν τη σύνθεση είναι διαθέσιμοι μόνο στο επίπεδο του τοπίου (landscape-level) διότι η σύνθεση απαιτεί την ενσωμάτωση όλων των κλάσεων. Οι δείκτες που ποσοτικοποιούν τη χωρική διάρθρωση είναι διαθέσιμοι στο επίπεδο ψηφίδας, κλάσης και τοπίου (patch-level, class-level, landscape-level).

2.4 Τηλεπισκόπηση

Η Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) ορίζεται ως η τεχνική απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια, μέσα από την ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από ειδικά όργανα τα οποία όμως δεν έχουν φυσική επαφή με τα αντικείμενα. Έτσι, η Τηλεπισκόπηση μπορεί να αποδοθεί και ως η αναγνώριση ενός αντικειμένου από απόσταση (Avery & Berlin, 1992). Η Τηλεπισκόπηση διαφέρει από την επιτόπια παρατήρηση ή μέτρηση στο ότι στη δεύτερη το ειδικό όργανο παρατήρησης είναι μέσα ή εφάπτεται του αντικειμένου που μετράμε ή ερευνάμε, όπως π.χ. το θερμόμετρο.

Η έννοια της Τηλεπισκόπησης, στο ευρύτερο ορισμό της, μπορεί να συμπεριλάβει και ακουστικά (ή ηχητικά) κύματα που παράγονται κάτω από την επιφάνεια του νερού τα οποία μπορεί να καταγράφονται από ειδικούς αισθητήρες, οι οποίοι μπορούν να συγκριθούν με το ανθρώπινο αυτί.

Η μελέτη και ανάλυση εικόνων της επιφάνειας της Γης από απόσταση, με αεροπλάνα ή δορυφόρους, σε φωτογραφική ή ψηφιακή μορφή, αποτελεί σήμερα στις γεωτεχνικές επιστήμες μία από τις πλέον χρήσιμες μεθόδους, με μεγάλη προσέγγιση και πολυδιάστατη πληροφόρηση.

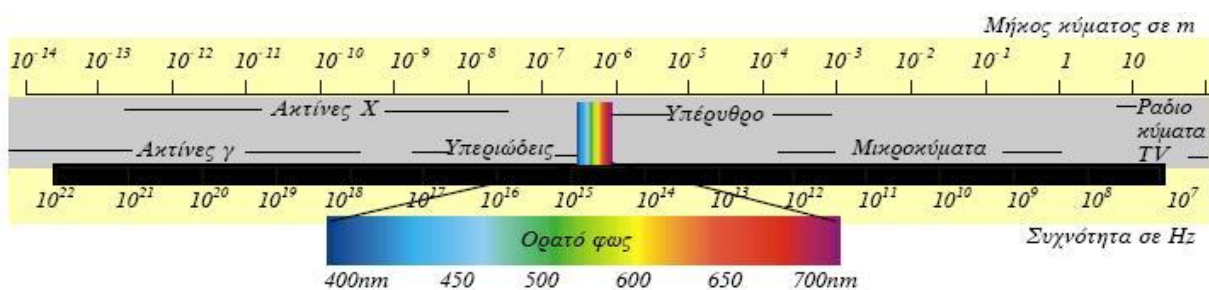
Στα μέσα του 19ου αιώνα για πρώτη φορά φωτογράφοι ανέβηκαν σε αερόστατο για να πάρουν πανοραμικές όψεις πόλεων. Από τότε μέχρι σήμερα όπου οι δορυφόροι σαρώνουν τον πλανήτη μας, η γνώση του ανθρώπου για τον πλανήτη που ζει και λειτουργεί έχει οξυνθεί και διευρυνθεί. Στη διάρκεια του δευτέρου παγκόσμιου πολέμου η εξέλιξη της μεθοδολογίας στη λήψη και ανάλυση φωτογραφιών από αεροπλάνα (αεροφωτογραφιών) υπήρξε ραγδαία. Η πρώτη μεγάλη ανακάλυψη στη γνώση μας για τη Γη προήλθε από την πτήση του Βάνγκαρντ Ι το

1958, όπου με ανάλυση της πορείας του ο Τζων Ο΄Κηφ απέδειξε ότι, ο πλανήτης μας είναι στενότερος στο βόρειο και φαρδύτερος στο νότιο ημισφαίριο από ότι πίστευαν μέχρι τότε.

Η εξέλιξη της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, μετά την εκτόξευση του πρώτου αμερικανικού δορυφόρου εξερεύνησης φυσικών πόρων LANDSAT 1 (Ιούνιος 1972) ήταν και συνεχίζει να είναι ραγδαία με εφαρμογές σε όλους τους κλάδους των γεωεπιστημών. Η παρατήρηση και παρακολούθηση της Γης από το διάστημα αποτελεί σήμερα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του περιβάλλοντος για το σχεδιασμό αναπτυξιακών δράσεων αλλά και για την ενίσχυση των παραγωγικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων.

Στην Ελλάδα η παρατήρηση και παρακολούθηση της Γης από το διάστημα αποτελεί αντικείμενο μελέτης και εφαρμογής εδώ και περίπου 20 χρόνια, με την εμπλοκή αρχικά των Πανεπιστημιακών Εργαστηρίων και στη συνέχεια Ερευνητικών Ινστιτούτων αλλά και Ιδιωτικών Φορέων. Η πλέον πρόσφατη ίδρυση του Ελληνικού Διαστημικού Οργανισμού (ΕΛ.Δ.Ο.) αναδεικνύει την αναγκαιότητα της ύπαρξης τέτοιων φορέων στη σύγχρονη εποχή.

Ολόκληρο το εύρος της ηλεκτρικής ακτινοβολίας αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (EMS-Electromagnetic Spectrum). Το φάσμα διαχωρίζεται σε φασματικά κανάλια (spectral bands), τα οποία με την σειρά τους συγκροτούνται από μικρές ομάδες συνεχών φασματικών γραμμών. Τα φασματικά αυτά κανάλια είναι το υπεριώδες (Ultraviolet, UV), το ορατό (Visible), το υπέρυθρο (Infrared, IR) και το μικροκυματικό (Microwave), από τα οποία το ορατό καθορίζεται σαφέστερα με βάση την ανθρώπινη όραση (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και τα φασματικά κανάλια.

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης έχουν σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να ανιχνεύουν επιλεκτικά EMR, μεταξύ μιας ή περισσότερων υποδιαίρεσεων, χωρίς

όμως να είναι αυτό εφικτό με ένα μόνο όργανο (αισθητήρα). Έτσι, οι ομάδες αισθητήρων είναι δυνατόν να συλλέξουν πληροφορίες μέσα από τη φασματική διακύμανση, η οποία είναι βέβαια εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη του ορατού καναλιού.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά και η σύσταση κάθε αντικειμένου επηρεάζουν το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται, στα διάφορα μήκη κύματος, με τον δικό του χαρακτηριστικό τρόπο. Η ποσότητα και η φασματική κατανομή της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από ένα αντικείμενο χρησιμοποιείται ως μέσο αναγνώρισης του αντικειμένου αυτού. Η ιδιότητα αυτή αναφέρεται ως φασματική ταυτότητα (spectral signature) ή φασματική απόκριση (spectral response) του αντικειμένου και καταγράφεται από τους δέκτες (sensors) των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά παρατήρησης της Γης (Campbell 1996, Sabins 1997, Mather 1999).

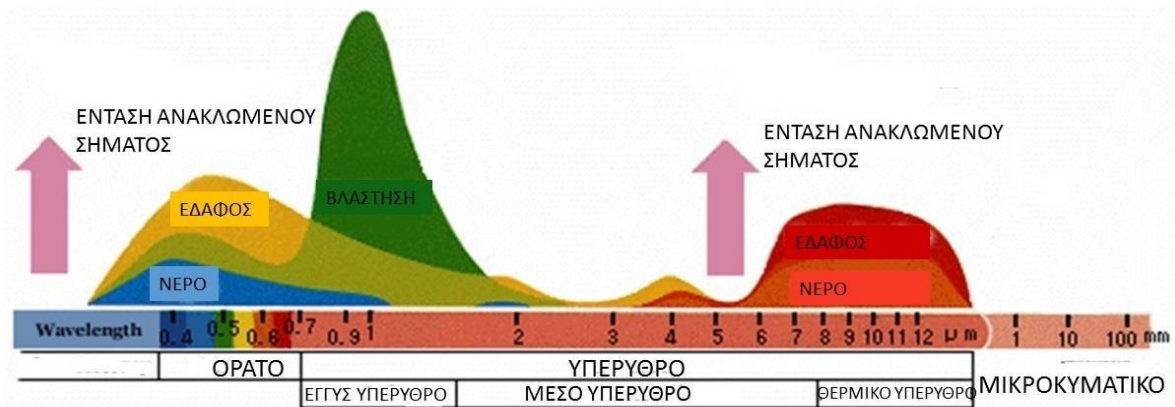
Κατ' αυτόν τον τρόπο, καταγράφεται και αναλύεται η συμπεριφορά στην ανάκλαση και στην εκπομπή ακτινοβολίας (ενέργειας με την μορφή ακτινοβολίας) των διαφόρων αντικειμένων της επιφάνειας της Γης, ώστε να διευκολυνθεί η επιλογή των κατάλληλων δεκτών και φασματικών ζωνών που θα βοηθήσουν καλύτερα στον εντοπισμό των αντικειμένων που μας ενδιαφέρουν και των ιδιοτήτων τους, που μας ενδιαφέρουν.

Εκτός από τις επιδράσεις με την ύλη, όπως η απορρόφηση, η ανάκλαση και η διάχυση, οι οποίες διαμορφώνουν την πληροφορία, που συλλέγεται με τις μεθόδους Τηλεπισκόπησης, ένας άλλος παράγοντας που επιδρά στην ποιότητα του φάσματος είναι η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία εξαρτάται από το ύψος του Ηλίου (sun elevation).

Μια χρήσιμη ποσοτική έκφραση της ανάκλασης διαφορετικών αντικειμένων είναι ο συντελεστής ανάκλασης ή φασματική ανάκλαση ή albedo. Εκφράζει το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται από τα αντικείμενα, π.χ. με 50% νεφοκάλυψη η φασματική ανάκλαση είναι 35 %.

Ως εκ τούτου, το albedo επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο εμφανίζονται τα αντικείμενα κατά την παρατήρηση της Γης από το διάστημα. Τα πλέον φωτεινά σημεία της είναι τα σύννεφα και τα πλέον σκοτεινά οι υδάτινες μάζες. Το albedo, χωρίς να αποτελεί σημαντική ιδιότητα των αντικειμένων, σε ότι αφορά την ανακλαστική τους ικανότητα, βοηθάει στην ερμηνεία της θερμοκρασίας ενός αντικειμένου (θερμό ή κρύο) κατά την έκθεσή του στον ήλιο. Γενικά, αντικείμενα με

υψηλό albedo είναι καλοί ανακλαστήρες, ενώ με χαμηλό καλοί απορροφητές, δηλαδή θερμαίνονται και κρυώνουν αντίστοιχα ευκολότερα.



Εικόνα 2: Φασματική απόκριση αντικειμένων.

Ο όρος απομακρυσμένοι αισθητήρες (remote sensors) περιλαμβάνει όλα τα όργανα ανίχνευσης και μέτρησης από απόσταση της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, καθώς και τα ανακλώμενα ακουστικά κύματα από αντικείμενα που βρίσκονται κάτω από τις υδατικές μάζες, στην περίπτωση των Sonar (Avery & Berlin, 1992). Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση διακρίνονται σε 2 κατηγορίες. Αυτές είναι οι ενεργοί αισθητήρες και οι παθητικοί αισθητήρες. Η διαφορά τους είναι ότι οι ενεργοί αισθητήρες εκπέμπουν ακτινοβολία για να πραγματοποιήσουν τις μετρήσεις τους, ενώ οι παθητικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν την υπάρχουσα ακτινοβολία από τον ήλιο για να πραγματοποιήσουν τις δικές τους μετρήσεις. Έτσι, γίνεται κατανοητό ότι το σημαντικότερο μειονέκτημα των παθητικών αισθητήρων είναι η ανικανότητα σωστής μέτρησης κατά τη διάρκεια της νύχτας, αλλά και κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων ημερών. Στους ενεργούς αισθητήρες τα μειονεκτήματα επικεντρώνονται στο ότι η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μπορεί να επηρεαστεί από άλλες ακτινοβολίες, η γεωμετρική ανάλυση είναι πολύ χαμηλή, τα σήματα δεν περιλαμβάνουν καθαρά φασματικά χαρακτηριστικά και χρειάζεται πολύπλοκη ανάλυση που επιβαρύνει το κόστος.

Η τηλεπισκόπηση άρχισε να χρησιμοποιείται έμμεσα στη γεωργία πριν από πολλά χρόνια. Η πρώτη εφαρμογή ήταν το 1929 και αφορούσε τη χαρτογράφηση των εδαφών με χρήση αεροφωτογραφιών (Bauer, 1975). Με βάση τις φωτογραφίες που λήφθηκαν, οι περιοχές που απεικονίζονταν χωρίστηκαν σε διάφορες ζώνες σύμφωνα με το χρώμα που είχε το έδαφος. Στη συνέχεια, η εξέλιξη της τεχνολογίας έδωσε την ευκαιρία στους επιστήμονες να χρησιμοποιήσουν νέα συστήματα φωτογράφισης,

στα οποία μπορούσαν να προσαρμοστούν φίλτρα. Τα φίλτρα άφηναν ένα ορισμένο μήκος κύματος να περάσει στον φακό της φωτογραφικής μηχανής. Η επινόηση αυτή είχε ως αποτέλεσμα τη μελέτη του φαινομένου της καταπόνησης των φυτών. Στη σημερινή εποχή όπου χρησιμοποιείται η δορυφορική τεχνολογία, δίνεται η ευκαιρία στους επιστήμονες, αλλά και στους παραγωγούς πλέον να εξετάζουν τις καλλιέργειές τους γρήγορα και εύκολα.

Η χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία έχει πολλά πλεονεκτήματα. Το βασικότερο είναι ότι τα δεδομένα που συγκεντρώνονται και χρησιμοποιούνται είναι σχετικά χαμηλού κόστους, αν αναλογιστεί κανείς το πλήθος των αποτελεσμάτων που μπορούν να ληφθούν. Επίσης, τα δεδομένα λαμβάνονται πολύ γρήγορα όλο τον χρόνο. Στα θετικά της τηλεπισκόπησης, επίσης, συγκαταλέγεται και η δυνατότητα μελέτης περιοχών που είναι αδύνατον να εξετασθούν με επίγειες μετρήσεις ή που θα απαιτούσαν πολύ χρόνο, χρήματα και πολλές δειγματοληψίες.

Εκτός από τα πλεονεκτήματα υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα. Το κυριότερο είναι ότι η ποιότητα των δεδομένων εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως η σκόνη και ο φωτισμός. Επίσης, στα αρνητικά της τηλεπισκόπησης συγκαταλέγονται η επεξεργασία των δεδομένων η οποία απαιτεί γνώσεις χρήσεως ηλεκτρονικού υπολογιστή και διαφόρων λογισμικών.

Η χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία είναι πολλά υποσχόμενη όσον αφορά τις μελλοντικές εφαρμογές. Οι χωρικές και χρονικές πληροφορίες που αντλούνται από τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης είναι απαραίτητες για τη χρήση διαφόρων μεθόδων διαχείρισης των καλλιεργειών, όπως είναι η γεωργία ακριβείας.

Τα UAV μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη γεωργία για τη μελέτη της γύρης των φυτών στην ατμόσφαιρα (Aylor, et al., 2006), για τη μελέτη της χλωρίδας με τη βοήθεια θερμικών και πολυφασματικών καμερών (Berni, et al., 2009), για τη μελέτη του f-IPAR (fraction of intercepted photo synthetically active radiation) σε οπωρώνες (Guillen-Climent et al., 2012), για την παρακολούθηση της ανάπτυξης καλλιεργειών και ζιζανίων, όπως η σόγια (Samseemoung, et al., 2012), για τη διάβρωση του εδάφους (d'Oleire-Oltmanns et al., 2012), για τον χαρακτηρισμό των μεσογειακών παρόχθιων δασών (Dunford et al., 2009) και για την ποσοτική παρακολούθηση πειραμάτων σιταριού (Lelong, et al., 2008). Αυτά είναι μερικά παραδείγματα χρήσης των UAV στη γεωργία ακριβείας. Η συνεχής άνοδος που παρατηρείται στη χρήση και στην εφαρμογή τους, τόσο στον τομέα της γεωργίας, όσο και της κτηνοτροφίας οφείλεται στο χαμηλό κόστος, αλλά και στη διαρκή ανάγκη για παρακολούθηση των

καλλιιεργειών και άλλων παραγόντων, καθώς και για ταχεία αντιμετώπιση των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν.

2.5 Δείκτες Βλάστησης

Οι δείκτες βλάστησης μπορούν να οριστούν ως οι δείκτες που συνδυάζουν φασματικές πληροφορίες από επιλεγμένα μήκη κύματος σε μια τιμή, η οποία σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ή μία ιδιότητα της βλάστησης, και συνήθως αποτελούν το μέτρο εκτίμησης της υγιούς βλάστησης. Οι αριθμητικές πράξεις της πρόσθεσης, αφαίρεσης, πολλαπλασιασμού και διαίρεσης στις τιμές του επιπέδου του γκρι (DN, ψηφιακή τιμή για κάθε εικονοστοιχείο) των εικονοστοιχείων, από δύο φασματικές ζώνες μιας εικόνας μπορούν να σχηματίσουν μια νέα εικόνα.

Από όλες τις πράξεις η πλέον χρήσιμη είναι η διαίρεση. Η δημιουργία λόγου μεταξύ δύο φασματικών ζωνών μιας περιοχής είναι η πλέον συχνή εφαρμογή. Η διαίρεση φασματικών καναλιών είναι μια μέθοδος, η οποία δημιουργεί πολυφασματικές εικόνες που βελτιώνουν λεπτές φασματικές ανακλαστικότητες ή χρωματικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των επιφανειακών υλικών που συχνά είναι δύσκολο να ανιχνευτούν στις αρχικές εικόνες (για παράδειγμα σε ένα απλό φασματικό κανάλι ή στις σύνθετες ψευδέγχρωμες εικόνες). Η διαίρεση των καναλιών τονίζει τις χρωματικές διαφοροποιήσεις αφού απομακρύνει την φωτεινότητα πρώτης τάξης, η οποία οφείλεται στην τοπογραφία (π.χ. προσήλια ή σκιασμένα πρανή). Έτσι, η διαίρεση επιδρά ομαλοποιώντας τα φασματικά δεδομένα, απομακρύνοντας τη φωτεινότητα της αντίθεσης και τονίζοντας τα περιεχόμενα χρώματα των δεδομένων. Η εφαρμογή λόγου ολοκληρώνεται με την διαίρεση των ψηφιακών τιμών (Digital numbers- DNs) των δεδομένων του ενός φασματικού καναλιού με τις φασματικές τιμές ενός δεύτερου για κάθε χωρικά καταγεγραμμένο (registered) ζευγάρι εικονοστοιχείων. Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται στην έρευνα για τη χαρτογράφηση περιοχών με διαφοροποιημένη πυκνότητα φυτοκάλυψης. Μερικοί δείκτες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Ο πλέον διαδεδομένος δείκτης βλάστησης που χρησιμοποιείται, είναι ο Δείκτης Κανονικοποιημένων Διαφορών Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI), ο οποίος έχει την δυνατότητα να ελαχιστοποιεί την επίδραση της τοπογραφίας. Επιπλέον η κλίμακα των τιμών έχει την επιθυμητή μορφή

από -1 έως 1 με το 0 να είναι το όριο στην απουσία της βλάστησης. Ο δείκτης NDVI ορίζεται από την ακόλουθη γενική εξίσωση:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

όπου NIR= φασματικό κανάλι του κοντινού υπέρυθρου και RED= φασματικό κανάλι στην περιοχή του ερυθρού του ορατού.

Το άθροισμα στον παρονομαστή αναπληρώνει κυρίως αλλαγές που υπάρχουν στις συνθήκες φωτισμού, στις επιφανειακές κλίσεις και στον προσανατολισμό τους. Το αποτέλεσμα αυτού του λόγου είναι μια νέα ασπρόμαυρη εικόνα, κάθε εικονοστοιχείο της οποίας παριστάνει τη διαίρεση της φωτεινότητας των εικονοστοιχείων των δύο αρχικών εικόνων. Έτσι, οι περιοχές που καλύπτονται από βλάστηση αποδίδονται με ανοιχτότερες αποχρώσεις του γκρι έως και λευκές, λόγω της υψηλής ανάκλασης που αυτή παρουσιάζει στο κοντινό υπέρυθρο και την αντίστοιχη χαμηλή στο ορατό, ενώ οι υδάτινες μάζες εμφανίζονται με μαύρο χρώμα. Ωστόσο, ο NDVI έχει ιδιαίτερες αδυναμίες, καθώς οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα λεπτά σύννεφα μπορούν να επηρεάσουν τον υπολογισμό του. Επίσης, σε περιπτώσεις πυκνής βλάστησης, όπου τα φυτά καλύπτουν το έδαφος από την κάτοψη, το φασματικό καταγεγραμμένο σήμα προέρχεται από την ενέργεια που αντανακλάται από το επάνω μέρος των θόλων των φυτών. Τέλος, ο NDVI έχει μια μη γραμμική σχέση σε περιοχές με υψηλή βιομάζα βλάστηση και η αδυναμία του να ερμηνεύει το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) γίνεται όλο και πιο αδύναμη όταν ο LAI ξεπεράσει μια τιμή κατωφλίου, η οποία είναι τυπικά μεταξύ 2 και 3.

Ο Δείκτης Βλάστησης SAVI, ένας τροποποιημένος NDVI που χρησιμοποιείται για να διορθώσει την επίδραση της φωτεινότητας του εδάφους σε περιοχές με χαμηλή κάλυψη βλάστησης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η παράμετρος L, με τιμή διορθωτική ως προς τον τύπο του εδάφους και την πυκνότητα της βλάστησης, που λαμβάνει τιμές από 0 ως 1. Σε περιπτώσεις εδαφών με πυκνή βλάστηση, προτείνεται μια τιμή του L ίση με 0,25, ενώ για εδάφη με πολύ αραιή φυτοκάλυψη προτείνεται L ίσο με 1, αλλά συνήθως εφαρμόζεται τιμή L ίση με 0,5. Ο SAVI λαμβάνει τιμές στο ίδιο φάσμα όπως και ο NDVI, δηλαδή από -1 ως +1. Αυτός ο δείκτης έχει καλύτερη χρήση σε περιοχές με αραιή βλάστηση, όπου το έδαφος είναι ορατό από την κόμη.

$$SAVI = (1 + L) \times (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

όπου L= παράμετρος, NIR= φασματικό κανάλι του κοντινού υπέρυθρου και RED= φασματικό κανάλι στην περιοχή του ερυθρού του ορατού.

Άλλοι δείκτες βλάστησης είναι η τροποποιημένη έκδοση του SAVI, ο MSAVI. Επίσης έχει αναπτυχθεί ο βελτιωμένος δείκτης βλάστησης Enhanced Vegetation Index (EVI), ως ένας εναλλακτικός δείκτης για να αντιμετωπίσει τους περιορισμούς του NDVI σε περιοχές με υψηλή βιομάζα. Ακόμη, Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς εδάφους (Normal Difference Soil Index, NDSI), που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση χαρακτηριστικών στο έδαφος ($NDSI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$), ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς νερού (Normal Difference Water Index, NDWI), που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση χαρακτηριστικών του νερού ($NDWI = \frac{RED + SWIR}{RED - SWIR}$) και ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Υγρασίας Βλάστησης (Normalized Vegetation Moisture Index, NVMI= $\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$). Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφοροι δείκτες βλάστησης (Rouse et al. 1973, Colwell 1974, Huete 1988, Baret & Guyot 1991, Burgan & Hartford, 1993, Qi et. al. 1994, Jensen 1996, Bannari et al. 1995, Houborg et al. 2015) και καθημερινώς προκύπτουν και προτείνονται νέοι.

Κεφάλαιο 3: Η Ελαιοκαλλιέργεια

3.1 Γενικά

Η ελιά ως αυτοφυές δένδρο ήταν γνωστή στη λεκάνη της Μεσογείου πριν πολλές χιλιάδες χρόνια. Καλλιεργείται σε πολλές χώρες, με βασικότερες τις παραμεσόγειες. Η Ευρώπη με 500 περίπου εκ. δένδρα έχει περισσότερο από τα 3/4 της παγκόσμιας παραγωγής και ακολουθείται με 13% από την Ασία, με 8% από την Αφρική και 3% από την Αμερική.

Η Ελλάδα κατατάσσεται ως η τρίτη ελαιοπαραγωγός χώρα στον κόσμο με καλλιεργούμενη έκταση 6.700.000 στρ., η οποία ανέρχεται σε 7.500.000 στρ., αν συνυπολογισθεί η έκταση που αντιστοιχεί στα διάσπαρτα δένδρα και πρώτη με κριτήριο την ποιότητα. Ο αριθμός των δένδρων στη χώρα μας είναι 130.000.000 από τα οποία 100.000.000 σε κανονικούς ελαιώνες και τα υπόλοιπα ως διάσπαρτα δένδρα.

Η Κρήτη και η Πελοπόννησος αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής εγχώριας παραγωγής και καλλιέργειας των ελαιόδεντρων. Στην υπόλοιπη ηπειρωτική χώρα μικρές ποσότητες παράγονται στη Στερεά Ελλάδα και τη Θεσσαλία, καθώς και στη Χαλκιδική.

Η καλλιέργεια της ελιάς παρουσιάζει σημαντικές ιδιαιτερότητες. Μία από αυτές είναι το χαρακτηριστικό φαινόμενο της παρενιαυτοφορίας. Το φαινόμενο αυτό δεν έχει μελετηθεί επαρκώς μέχρι και σήμερα. Η ελιά έχει έντονη τάση για παρενιαυτοφορία ιδιαίτερα σε άγονα και ξηρά εδάφη. Μία χρονιά έντονης καρποφορίας διαδέχεται από χρονιά ακαρπίας ή μερικής καρποφορίας. Το φαινόμενο εκδηλώνεται σε μεμονωμένους κλάδους, σε ολόκληρα δένδρα, σε ολόκληρο ελαιώνα, ή ακόμα και σε μία ολόκληρη περιοχή. Η εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι ότι η υπερβολική ανθοφορία και καρπόδεση εξαντλεί το δένδρο. Μια μεγάλη παραγωγή αφαιρεί πολλούς υδατάνθρακες και αζωτούχα συστατικά έτσι που να μην απομένουν αποθησαυριστικές ουσίες για παραγωγή τον επόμενο χρόνο. Με τις κατάλληλες καλλιεργητικές τεχνικές που μπορεί να εφαρμόσει ο γεωργός, όπως κλάδευμα, άρδευση και λίπανση η παρενιαυτοφορία μπορεί να περιορισθεί σε μεγάλο βαθμό και η μείωση της απόδοσης των δένδρων να είναι μικρή.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι τα φαινολογικά στάδια που παρατηρούνται στην ελιά κατά τη διάρκεια μίας καλλιεργητικής περιόδου. Στον Πίνακα 1 φαίνονται αναλυτικά τα στάδια τα οποία διέρχεται το δένδρο της ελιάς κατά τη διάρκεια του

έτους. Να επισημανθεί ότι η διάρκεια των παρακάτω φαινολογικών σταδίων και η τοποθέτησή τους στο χρόνο αναφέρεται στο σύνολο των ποικιλιών και των περιοχών καλλιέργειάς τους στη χώρα μας. Η χρονική διάρκεια και ο χρόνος εμφάνισης των επιμέρους σταδίων ποικίλλει και διαφέρει από ποικιλία σε ποικιλία, από περιοχή σε περιοχή και από χρονιά σε χρονιά.

Πίνακας 1: Φαινολογικά στάδια ελιάς (πηγή: Ι. Παπαδάκης, ΓΠΑ).

Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
...συνέχεια επαγωγής σε οψιμανθείς ποικιλίες/περιοχές										Επαγωγή διαφοροποίησης οφθαλμών (ψύχος)	
Διαφοροποίηση οφθαλμών: Σχηματισμός ανθοταξιών και επιμέρους ανθικών μερών										Συγκομιδή...	
		Εμφάνιση ανθοταξιών							Αλλαγή χρώματος φλοιού		
			Ανθιση						Ελαιογένεση		
			Καρπόδεση								
					Αύξηση καρπού: Στάδιο Ι		Αύξηση καρπού: Στάδιο ΙΙ	Αύξηση καρπού: Στάδιο ΙΙΙ			
		Ανάπτυξη νέων βλαστών – περίοδος ταχείας επιμήκυνσης			Μειωμένος ρυθμός αύξησης νέων βλαστών		Επιπλέον επιμήκυνση βλαστών			Διάπαυση	
Διάπαυση											

3.2 Κλιματικές και Εδαφικές Απαιτήσεις

Η ελιά καλλιεργείται σε ποικιλομορφία εδαφοκλιματικών συνθηκών και είναι εφικτή η καλλιέργειά της σε όλη την εύκρατο και υποτροπική ζώνη, δηλαδή μεταξύ 30° και 45° γεωγραφικό πλάτος. Το δένδρο μπορεί να αναπτύσσεται και στις τροπικές περιοχές χωρίς να καρποφορεί, εκτός αν το υψόμετρο είναι αρκετό, ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες σε χαμηλές θερμοκρασίες (ώρες σε ψύχος). Η μεγαλύτερη συγκέντρωση δένδρων ελιάς παρατηρείται στις παραμεσόγειες χώρες, όπου ο χειμώνας είναι ήπιος και το καλοκαίρι ζεστό και ξηρό.

Η ελιά ευδοκμεί στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας και μέχρι υψόμετρο 800 – 1000 m, εφόσον η έκθεση της περιοχής το επιτρέπει. Οι ελαιοκομικές περιοχές

έχουν μέση ετήσια θερμοκρασία 15 – 20°C, ελάχιστη -4°C και μέγιστη 40°C. Η ελάχιστη θερμοκρασία δεν πρέπει να είναι χαμηλότερη των -7°C κατά προσέγγιση, γιατί ζημιώνει τα δένδρα.

Λόγω της όψιμης άνθισης της ελιάς οι ανοιξιάτικοι παγετοί δεν είναι περιοριστικός παράγοντας για την καλλιέργειά της. Οι χαμηλές θερμοκρασίες είναι απαραίτητες για τη διαφοροποίηση των ανθοφόρων οφθαλμών και η ανάγκη για εαρινοποίηση εξηγεί το ότι δεν καρποφορεί σε τροπικές περιοχές, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Η υψηλή σχετική υγρασία ευνοεί στην ανάπτυξη μυκητολογικών προβλημάτων στην ελιά. Το χαλάζι ζημιώνει το δένδρο, όχι μόνο γιατί καταστρέφει την παραγωγή αλλά διότι διευκολύνει την ανάπτυξη καρκινωμάτων.

Η ελιά αν και είναι δένδρο ανθεκτικό στον άνεμο, οι ανεμόπληκτες περιοχές θα πρέπει να αποφεύγονται για την καλλιέργειά της. Άνεμοι ψυχροί, υγροί ή θερμοί την άνοιξη εμποδίζουν τη γονιμοποίηση των ανθέων και την ανάπτυξη των καρπών, ενώ θερμοί άνεμοι το καλοκαίρι προκαλούν καρπόπτωση.

Σχετικά με το έδαφος, το δένδρο μπορεί να αναπτυχθεί σε εδάφη σχετικά ξερά και φτωχά, ασβεστώδη, χαλικώδη και πετρώδη. Τα καταλληλότερα όμως εδάφη για κανονική καρποφορία είναι τα βαθιά και αμμοπηλώδη, που είναι επαρκώς εφοδιασμένα με N, K, P και νερό. Για την ελαιοκαλλιέργεια πάντως η γονιμότητα δεν είναι μοναδικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Εδάφη αργιλώδη συνεκτικά, που συγκρατούν πολύ υγρασία και ακινητοποιούν το κάλιο και το φώσφορο είναι ακατάλληλα για την ελιά. Επίσης, εδάφη με σκληρό και αδιαπέρατο στρώμα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι ακατάλληλα.

Οι ελιές αναπτύσσονται και παράγουν σε εδάφη μετρίως όξινα ή αλκαλικά. Πάντως σε pH μεγαλύτερο από 8,5 η βλάστηση μειώνεται σημαντικά. Επίσης, η ανάπτυξή τους γίνεται χωρίς προβλήματα σε εδάφη με σχετικά υψηλό περιεχόμενο σε βόριο. Σε περιοχές με μεγάλες κλίσεις το έδαφος πρέπει να προστατεύεται από τη διάβρωση με τη βοήθεια πεζουλίων.

Οι απαιτήσεις του δένδρου σε θρεπτικά στοιχεία εστιάζονται κυρίως στα βασικά μακροστοιχεία (N, P και K), καθώς το μεγάλο φορτίο παραγωγής και η αφαίρεση ξύλου και φύλλων μέσω του κλαδεύματος εξαντλούν το δένδρο. Όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία, ιδιαίτερη σημασία στη θρέψη της ελιάς έχει το βόριο, καθώς

παίζει σημαντικό ρόλο στη γονιμοποίηση των ανθέων, διαδικασία που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την παραγωγικότητα του δένδρου.

Το δένδρο αντέχει στα άλατα του νερού έως 0,3 %, δηλαδή 4,7 mmhos/cm και τιμή SAR=26. Τέλος, μεταξύ των οπωροφόρων δένδρων η ελιά θεωρείται ως ένα από τα πιο ανθεκτικά στην υδατική καταπόνηση. Βέβαια, η άρδευση του ελαιώνα έχει πολύ ευεργετικά αποτελέσματα στην παραγωγικότητα των δένδρων, κάτι πολύ φυσιολογικό μιας και το ξηροθερμικό κλίμα της περιοχής της Μεσογείου στην οποία γίνεται η καλλιέργεια καταπονεί αρκετά την ελιά.

3.3 Η Ποικιλία της Μελέτης

Η Κοθρέικη (*Olea europaea* var. *minor rotunda*) είναι γνωστή επίσης με τα ονόματα Κορινθιακή, Μανάκι, Μανακολιά, Γλυκομανακολιά και Γλυκομάνακο. Θεωρείται ως ποικιλία μέτριας απόδοσης και μετρίων απαιτήσεων σε ότι αφορά το έδαφος και τις καλλιεργητικές φροντίδες. Είναι ποικιλία ανθεκτική στην ξηρασία και στους ανέμους. Αντέχει πολύ στο κρύο και μπορεί να καλλιεργηθεί σε σχετικά μεγάλο υψόμετρο (800 m).

Καλλιεργείται κυρίως στη Φθιώτιδα και στη Φωκίδα, καθώς και στην Πελοπόννησο. Τα φύλλα είναι πλατιά και ο καρπός σφαιρικός, χωρίς θηλή. Κατά την ωρίμαση γίνεται κυανομελανός. Ο πυρήνας είναι κυλινδροκωνικός με 6 – 7 γλυφές διακοπτόμενες. Αναπτύσσεται σε δένδρο ύψους 5 – 7 m. Τα φύλλα είναι βαθυπράσινα μετρίων διαστάσεων.

Είναι ίσως η τυπικότερη ποικιλία διπλής χρήσεως, καθώς είναι κατάλληλη τόσο για κονσερβοποίηση όσο και για παραγωγή ελαιόλαδου. Η περιεκτικότητα του καρπού σε λάδι κυμαίνεται γύρω στο 20%.



Κεφάλαιο 4: Η Περιοχή Μελέτης

4.1. Γενικά Στοιχεία

Το Ασκληπιείο ή κοινώς Λυγουριό είναι μια από τις μεγαλύτερες κωμοπόλεις της Αργολίδας. Βρίσκεται στην ενδοχώρα του νομού, στην επαρχία Ναυπλίας, μεταξύ Ναυπλίου και Επιδαύρου. Είναι χτισμένο σε υψόμετρο περίπου 300 m στους πρόποδες του όρους Αραχναίο. Είναι το κοντινότερο χωριό στο αρχαίο θέατρο Επιδαύρου και στον αρχαιολογικό χώρο του Ασκληπιείου της Επιδαύρου. Το Λυγουριό αποτελούσε έδρα του τέως Δήμου Ασκληπιείου, ενώ σήμερα είναι έδρα του Δήμου Επιδαύρου και ο πληθυσμός του σύμφωνα με την απογραφή του 2011 είναι 2.678 κάτοικοι.

Η περιοχή του Λυγουριού, ημιορεινή με δύο μικρές πεδιάδες, καταλαμβάνει έκταση 29.800 τ. χλμ. καλλιεργημένης και καλλιεργήσιμης γης, ενώ διπλάσια σχεδόν είναι τα ακαλλιέργητα εδάφη κι όσα μπορούν να χαρακτηριστούν ως βοσκοτόπια. Αγροκτηνοτροφική περιοχή, με κατάφυτα περιβόλια, μπαξέδες και ελαιώνες είναι γνωστή για το δυναμικό της χαρακτήρα. Λατομεία εξόρυξης μαρμάρου και βιοτεχνικές μονάδες κατεργασίας ξύλου, σιδήρου και κεραμικών καθιστούν την περιοχή σημαντικό οικονομικό παράγοντα. Επίσης, η ενασχόληση με τον τουρισμό αποτελεί μια από τις σημαντικές δραστηριότητες των κατοίκων.

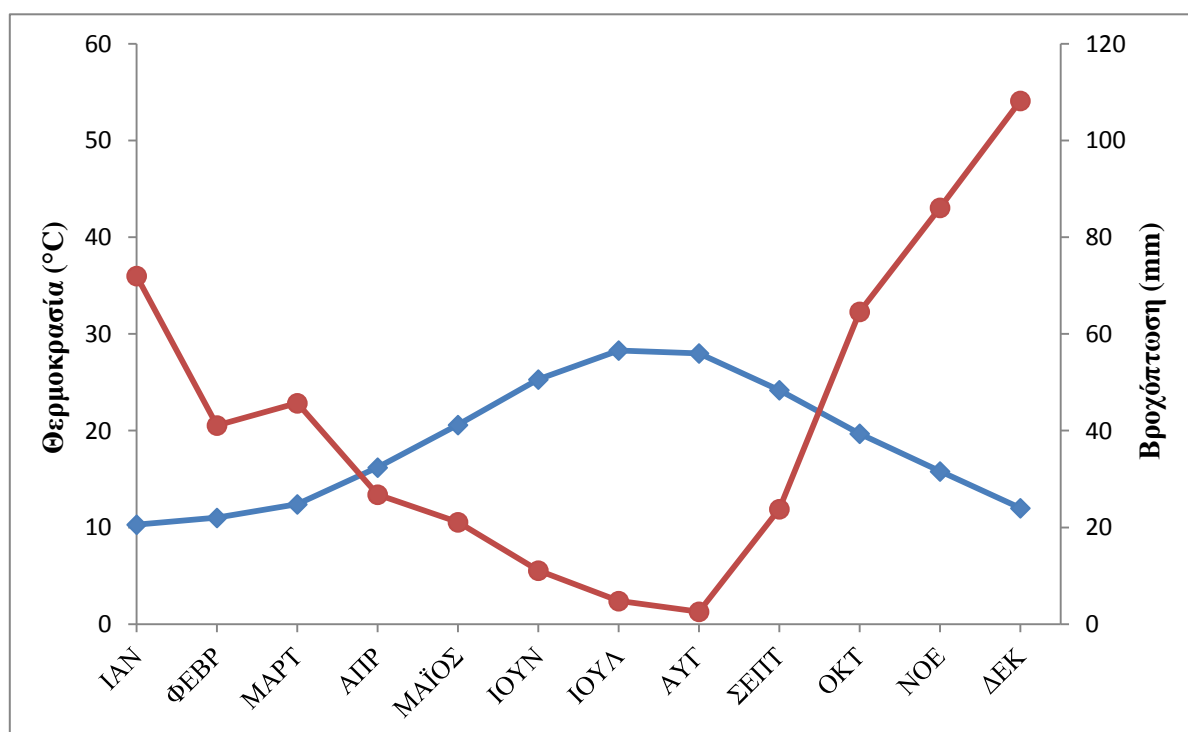
4.2 Κλίμα και Μορφολογία

Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής είναι 37°36'43.5"N και το γεωγραφικό μήκος 23°02'16.7"E. Το υψόμετρο κυμαίνεται περί τα 300 m. Τα παραπάνω όπως και οι ορεινοί όγκοι της περιοχής συντελούν στη διαμόρφωση ενός ηπειρωτικού κλίματος, με ψυχρούς και υγρούς χειμώνες και θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Αναλυτικά η διακύμανση της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του έτους φαίνονται στο Γράφημα 1, στο οποίο διακρίνεται η ξηρά περίοδος που κυμαίνεται από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο.

Τα εδάφη της περιοχής σύμφωνα με τον Εδαφολογικό Χάρτη της Ελλάδας (2011) (εδαφικό χαρτογραφικό σύμβολο *A334C42M13R11CL*) είναι καλώς αποστραγγιζόμενα με απουσία εξανθήσεων μαγγανίου-σιδήρου και μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα και διηθητικότητα. Είναι μέσης κοκκομετρικής σύστασης έως μετρίως λεπτόκοκκα, μετρίως κεκλιμένα (6-12% κλίση), με ισχυρή αντίδραση

στο υδροχλωρικό οξύ, το οποίο σημαίνει ότι η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο είναι μεγάλη. Παρατηρείται μικρός βαθμός διάβρωσης στον Α ορίζοντα, αλλά με κατά μέσο όρο μικρότερο του 25% του αρχικού Α ορίζοντα. Το μητρικό υλικό είναι μάργα και τα εδάφη ανήκουν στην ταξινομική εδαφική ομάδα Calsisols (FAO - Unesco Soil Map of the World). Τα εδάφη αυτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες ασβεστολιθικών υλικών. Τέλος, τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) 4-8 mmhos/cm και βαθμό αλκαλίωσης (E.S.P.) 15-25%.

Γενικά, στην περιοχή παρατηρείται έντονο ανάγλυφο με ορεινές περιοχές και μικρά φαράγγια που διαδέχονται το ένα το άλλο. Γι' αυτό και οι κλίσεις που καταγράφονται είναι μέτριες έως μεγάλες.



Πηγή: Ε.Μ.Υ. , Περίοδος: 1933 – 1940 & 1954 – 1971, Υψόμετρο σταθμού: 2m.

Γράφημα 1: Διακύμανση βροχόπτωσης και θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του έτους.

4.3 Το Αγροτεμάχιο Μελέτης

Το αγροτεμάχιο που επιλέχθηκε για την παρούσα μελέτη περιλαμβάνει περί τα 210 παραγωγικά ελαιόδενδρα και 50 νεαρά δένδρα. Τα παραγωγικά δένδρα είναι ηλικίας άνω των 30-35 ετών. Τα εδαφικά χαρακτηριστικά του αγροτεμαχίου είναι παραπλήσια με εκείνα που περιγράφονται παραπάνω για τα εδάφη της ευρύτερης περιοχής. Βέβαια, στο συγκεκριμένο αγροτεμάχιο παρατηρείται έντονο ανάγλυφο με

μέγιστη κλίση έως και 14%, καθώς εκτείνεται σε λοφώδη περιοχή και το υψόμετρο να κυμαίνεται από τα 307 m έως τα 322 m. Γι' αυτό το λόγο η ελαιοκαλλιέργεια γίνεται σε αναβαθμούς, έτσι ώστε να διευκολυνθεί η πραγματοποίηση των καλλιεργητικών τεχνικών και για να μειωθεί ο κίνδυνος διάβρωσης και ερημοποίησης του εδάφους.

Κεφάλαιο 5: Υλικά

5.1 UAV Matrice 100

Το Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (ΣμηΕΑ) ή Unmanned Aerial Vehicle (UAV) που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι το Matrice 100 της εταιρίας DJI. Το συγκεκριμένο Σύστημα είναι πρωτοποριακό για την κατηγορία του και αποτελεί μία εξαιρετική επιλογή για επαγγελματίες και προγραμματιστές που βρίσκονται στη διαδικασία της δοκιμής αισθητήρων, επεξεργαστών και άλλων τεχνολογιών στην τροχιά της καινοτομίας. Το Σύστημα αυτό επιλέχθηκε διότι είναι πλήρως προγραμματιζόμενο και προσαρμοζόμενο σε οτιδήποτε επιθυμεί ο χειριστής του, τόσο σε λογισμικό, όσο και σε υλικό. Είναι μία πλατφόρμα απλή στη χρήση με ποικίλες δυνατότητες και ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στην έρευνα, στην εργασία και στην αναψυχή. Το επεκτεινόμενο κεντρικό του πλαίσιο καθιστά εύκολη την εγκατάσταση πρόσθετων εξαρτημάτων και συσκευών για την επίτευξη μεγαλύτερης λειτουργικότητας και αποτελεσμάτων. Κατατάσσεται στην κατηγορία των πολυκοπτέρων και συγκριμένα στα τετρακόπτερα. Έχει τέσσερις κινητήρες στις άκρες του σκάφους και ζυγίζει μαζί με το φορτίο των μπαταριών περί τα 2,3 kg με 2,4 kg, ανάλογα με το είδος της μπαταρίας που φέρει. Ο μέγιστος χρόνος πτήσης μπορεί να φθάσει τα 40 λεπτά με τη χρήση δύο μπαταριών. Οι μέγιστες ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει είναι 5 m/s κατά την απογείωση, 4 m/s κατά την προσγείωση και 22 m/s σε κανονική πτήση, χωρίς επιπρόσθετα φορτία και σε ιδανικές συνθήκες. Το μέγιστο βάρος που μπορεί να σηκώσει είναι 3,6 kg στο σύνολο, συμπεριλαμβανομένου του βάρους του σκάφους. Η μέγιστη ακτίνα εμβέλειας από το χειριστήριο είναι τα 2 km. Η μέγιστη ταχύτητα ανέμου που μπορεί να ανεχθεί κατά τη διάρκεια της πτήσης του είναι 10m/s. Το εύρος θερμοκρασιών στο οποίο είναι λειτουργικό κυμαίνεται από -10°C έως 40°C. Επίσης, φέρει σύστημα εντοπισμού GPS για την πλοήγησή του. Τέλος, στη συγκεκριμένη πλατφόρμα μπορεί να προσαρμοστεί και σύστημα αισθητήρων για την αποφυγή εμποδίων κατά τη διάρκεια των πτήσεων.

5.2 Πολυφασματικός αισθητήρας Sequoia

Η Sequoia είναι ένας πολυφασματικός αισθητήρας ειδικά σχεδιασμένος για την γεωργία. Δημιουργήθηκε σύμφωνα με τρία βασικά κριτήρια: εξαιρετική ακρίβεια,

ελάχιστο μέγεθος και βάρος και ευκολία χρήσης. Ο αισθητήρας Sequoia έχει σχεδιαστεί για να είναι κατάλληλος για όλους τους τύπους UAV, είτε εκείνα με σταθερά πτερύγια, είτε τα πολυκόπτερα, τοποθετημένος σε gimbals ή όχι. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη φωτογραφιών αγροτικών πεδίων σε διάφορες φασματικές ζώνες, οι οποίες μετρούν την κατάσταση της βλάστησης. Οι εικόνες που λαμβάνονται μπορούν να αναλυθούν χρησιμοποιώντας διάφορα λογισμικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία θεματικών χαρτών για δείκτες (NDVI, NDRE κ.λπ.) και να διατυπώσουν συστάσεις σχετικά με τη λίπανση και τη φυτοπροστασία.

Διαθέτει τέσσερις μονοχρωματικούς αισθητήρες:

- Green (μήκος κύματος 550nm, 40nm bandwidth)
- Red (μήκος κύματος 660nm, 40nm bandwidth)
- Red Edge (μήκος κύματος 735nm, 10nm bandwidth)
- Near Infra-Red (μήκος κύματος 790nm, 40nm bandwidth)

Οι παραπάνω αισθητήρες έχουν ανάλυση 1,2 Mpx. Επίσης διαθέτει έναν αισθητήρα ορατού φωτός (RGB) ανάλυσης 16 Mpx.

Ακόμη, στον πολυφασματικό αισθητήρα προσαρμόζεται ο αισθητήρας ηλιακής ακτινοβολίας, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση των εικόνων ανάλογα με το ηλιακό φως. Αυτό καθιστά δυνατή τη σύγκριση των φωτογραφιών με την πάροδο του χρόνου, παρόλο που το φως κατά τη διάρκεια λήψης των εικόνων μεταβάλλεται. Τέλος, στον πολυφασματικό αισθητήρα είναι ενσωματωμένο σύστημα εντοπισμού GPS/GNSS για την αυτόματη γεωαναφορά των εικόνων που λαμβάνονται.

5.3 Τοπογραφικό Laser Trimble S3 Total Station

Το Trimble S3 Total Station είναι ένα ακριβές και αξιόπιστο όργανο για μελέτες και χωρομετρήσεις. Είναι εξοπλισμένο με GPS/GNSS που επιτρέπει τη βέλτιστη μέθοδο εργασίας στο πεδίο, με την αποθήκευση των συντεταγμένων των σημείων στα οποία λήφθηκαν οι μετρήσεις. Το εύρος του οργάνου κυμαίνεται από τα 300m έως τα 5000m, ανάλογα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν, το μέγεθος του αντικειμένου-στόχου και την ένταση της ακτινοβολίας που επικρατεί στο περιβάλλον εργασίας. Η ελάχιστη απόσταση έρευνας κυμαίνεται από 0,2 m έως 1,5 m, ανάλογα με τη ρύθμιση του οργάνου που επιλέγει ο χρήστης. Ο χρόνος μέτρησης

κυμαίνεται από 2 έως 15 δευτερόλεπτα, ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης που θα επιλεγθεί. Τέλος, η ακρίβεια των μετρήσεων που μπορούν να ληφθούν κυμαίνεται σε επίπεδο δεύτερου δεκαδικού ψηφίου.

5.4 Λογισμικά Επεξεργασίας

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη για την περάτωση των απαιτούμενων επεξεργασιών ήταν: το λογισμικό φωτογραμμετρίας Pix4D desktop (version 4.0.25), η εφαρμογή πλοήγησης για κινητές συσκευές Pix4D Capture (version 4.1.0), το γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα ArcMap (version 10.5.1), το λογισμικό γεωχωρικής ανάλυσης eCognition Developer (version 9.01), το λογισμικό ανάλυσης τοπίου Fragstats (version 4.2) και το στατιστικό πακέτο SPSS Statistics (version 17.0).

Το λογισμικό Pix4D desktop είναι μια σουίτα προϊόντων λογισμικού που χρησιμοποιεί αλγόριθμους φωτογραμμετρίας και ψηφιακής όρασης για τη μετατροπή τόσο των RGB εικόνων, όσο και των πολυφασματικών εικόνων σε τρισδιάστατα μοντέλα και τρισδιάστατους χάρτες. Αναπτύσσεται και παρέχεται από την εταιρία Pix4D S.A., η οποία ξεκίνησε ως start-up το 2011 στην Ελβετία. Το συγκεκριμένο λογισμικό εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς. Αξιοποιείται σε εφαρμογές, όπως τη χαρτογράφηση πόλεων για τον πολεοδομικό σχεδιασμό, το κτηματολόγιο, τη μοντελοποίηση του εδάφους και πολλά άλλα. Επίσης, χρησιμοποιείται στον τομέα των κατασκευών, των χωματουργικών έργων και της εξόρυξης για την ευκολότερη, γρηγορότερη και ακριβέστερη εποπτεία των εργοταξίων και τη χαρτογράφηση της προόδου των έργων. Ακόμη, εφαρμόζεται στον τομέα της προβολής και πώλησης ακινήτων με την εύκολη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων. Τέλος, αξιοποιείται με μεγάλη επιτυχία στον τομέα της γεωργίας, δίνοντας σημαντικές πληροφορίες για την εξέλιξη των καλλιεργειών, τη γρήγορη απόκριση, τη λειτουργική απόδοση και εν τέλει την βελτίωση των αποδόσεων. Οι δυνατότητες του λογισμικού για την παρακολούθηση των καλλιεργειών μέσω των αισθητήρων που προσαρμόζονται στα ΣμηΕΑ είναι αρκετές, δίνοντας ακριβείς χάρτες δεικτών, όπως ο NDVI, χάρτες εφαρμογής λιπάσματος, καθώς και συνολική εικόνα του αγροτεμαχίου μέσω των ορθομοσaiκών.

Το λογισμικό Pix4D Capture είναι μία εφαρμογή για κινητές συσκευές, η οποία δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει το UAV που διαθέτει και στη

συνέχεια να δημιουργήσει το σχέδιο πτήσης που θέλει να ακολουθήσει. Ανάλογα με την περίπτωση ο χρήστης μπορεί να διαλέξει το είδος της πτήσης που επιθυμεί (πολύγωνο, κύκλος κλπ.) και να παραμετροποιήσει το σχέδιο πτήσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις της χρήσης του. Οι παράμετροι που μπορεί ο χρήστης να ορίσει είναι το ύψος πτήσης, η ταχύτητα του UAV, το ποσοστό επικάλυψης ανάμεσα στις γραμμές πτήσης και ανάμεσα στις λήψεις, καθώς και τη γωνία που θα έχει η κάμερα του UAV κατά τη διάρκεια της πτήσης. Η εφαρμογή προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης της πτήσης κατά τη διάρκειά της, με την παροχή δεδομένων τηλεμετρίας, όπως το ύψος και η ταχύτητα πτήσης, καθώς και τη ζωντανή εικόνα από την κάμερα. Τέλος, ο χρήστης μπορεί άμεσα να δει το αποτέλεσμα της πτήσης που πραγματοποίησε και να ανεβάσει τις εικόνες για άμεση επεξεργασία από την cloud έκδοση της εφαρμογής.

Το ευρέως διαδεδομένο λογισμικό Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων ArcMap είναι το βασικό συστατικό της σουίτας γεωχωρικών επεξεργασιών της εταιρίας Esri. Χρησιμοποιείται για την προβολή, επεξεργασία, δημιουργία και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων και επιτρέπει στο χρήστη να διερευνά δεδομένα εντός ενός συνόλου δεδομένων, να συμβολίζει αντίστοιχα τις λειτουργίες και να δημιουργεί χάρτες. Οι χρήστες του ArcMap μπορούν να δημιουργούν και να χειρίζονται σύνολα δεδομένων για να συμπεριλαμβάνουν μια ποικιλία πληροφοριών. Για παράδειγμα, οι χάρτες που παράγονται στο ArcMap περιλαμβάνουν γενικά χαρακτηριστικά όπως ράβδους κλίμακας, τίτλους, υπομνήματα κλπ. Το πακέτο λογισμικού περιλαμβάνει μία ποικιλία στυλ των χαρακτηριστικών αυτών.

Το eCognition Developer της εταιρίας Trimble είναι ένα ισχυρό περιβάλλον ανάπτυξης για την αντικειμενοστραφή ανάλυση εικόνων. Χρησιμοποιείται στις γεωεπιστήμες για την ανάπτυξη συνόλου κανόνων, οι οποίοι συμβάλουν στην αυτόματη ανάλυση δεδομένων τηλεπισκόπησης. Το λογισμικό προσφέρει μια ολοκληρωμένη συλλογή αλγορίθμων προσαρμοσμένη στις διάφορες πτυχές της ανάλυσης εικόνων. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από μια ποικιλία αλγορίθμων κατάτμησης (πχ. multiresolution segmentation, quad tree, chessboard). Τέλος, οι αλγόριθμοι λειτουργίας επιπέδου επιτρέπουν τη δημιουργία φίλτρων που βασίζονται σε εικονοστοιχεία όπως η κλίση, η έκθεση, η εξόρυξη άκρων ή η αριθμητική επιπέδων που ορίζονται από το χρήστη.

Το Fragstats είναι ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή σχεδιασμένο να υπολογίζει μια μεγάλη ποικιλία μετρικών τοπίου για μοτίβα θεματικών χαρτών. Το αρχικό λογισμικό (έκδοση 2) κυκλοφόρησε δημόσια το 1995, με το πιο πρόσφατο (έκδοση 4.2) να κυκλοφορεί το 2012. Το λογισμικό υπολογίζει διάφορα στατιστικά στοιχεία για κάθε ψηφίδα και κατηγορία (τύπος ψηφίδας) στο τοπίο και στο τοπίο ως σύνολο. Στο επίπεδο της τάξης και του τοπίου, μερικές από τις μετρήσεις ποσοτικοποιούν τη σύνθεση του τοπίου, ενώ άλλες ποσοτικοποιούν τη διαμόρφωση του τοπίου. Η σύνθεση και η διαμόρφωση του τοπίου μπορούν να επηρεάσουν τις οικολογικές διεργασίες ανεξάρτητα και αλληλεπιδραστικά. Επομένως, είναι ιδιαίτερα σημαντικό η κατανόηση σε κάθε μετρικό τοπίου, ποια πλευρά του σχεδίου τοπίου προσδιορίζεται ποσοτικά.

Το SPSS Statistics είναι ένα πακέτο λογισμικού που χρησιμοποιείται για τη στατιστική ανάλυση. Το όνομα του λογισμικού ανήκε αρχικά στο στατιστικό πακέτο για τις κοινωνικές επιστήμες (Statistical Package for the Social Sciences), αντανακλώντας την αρχική αγορά, αν και το λογισμικό είναι πλέον δημοφιλές και σε άλλους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των επιστημών υγείας και του μάρκετινγκ. Εκτός από τη στατιστική ανάλυση, τα χαρακτηριστικά του βασικού λογισμικού είναι η διαχείριση δεδομένων (επιλογή υποθέσεων, αναδιαμόρφωση αρχείων, δημιουργία παραγόμενων δεδομένων) και η τεκμηρίωση δεδομένων (ένα λεξικό μεταδεδομένων αποθηκεύτηκε στο αρχείο δεδομένων).

Κεφάλαιο 6: Μέθοδοι

6.1 Επίγειες Μετρήσεις

Οι επιτόπιες μετρήσεις που έγιναν στο αγροτεμάχιο μελέτης πραγματοποιήθηκαν με τα μέσα που αναφέρθηκαν στο αντίστοιχο κεφάλαιο στις 10 Οκτωβρίου του 2017. Από τα 210 ελαιόδενδρα επιλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο 93, στα οποία έγιναν οι μετρήσεις που περιγράφονται στη συνέχεια. Τα δένδρα τα οποία βρίσκονται στην άκρη του ελαιώνα εξαιρέθηκαν, με στόχο να συμπεριληφθούν στο αντιπροσωπευτικό δείγμα όλοι οι διαφορετικοί τύποι ανάγλυφου με τα ιδιάζουσα χαρακτηριστικά της κάθε περίπτωσης. Επίσης, τα δένδρα που επιλέχθηκαν είναι όλα πλήρως παραγωγικά με ηλικία άνω των 30 – 35 ετών. Να επισημανθεί επίσης ότι κάποια από τα δένδρα που επιλέχθηκαν βρίσκονταν σε έτος παραγωγής και κάποια σε έτος παρενιαυτοφορίας. Αναλυτικότερα, έγιναν μετρήσεις των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ελαιόδεντρων και μετρήσεις της παραγωγής του κάθε ελαιόδεντρου.

Όσον αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, στην κάθε ελιά που επιλέχθηκε μετρήθηκαν η διάμετρος της κόμης, το ύψος του κάθε δένδρου και η απόσταση του κατώτερου σημείου της κόμης από το έδαφος. Συγκεκριμένα, η διάμετρος της κόμης των δένδρων μετρήθηκε με τη χρήση μετροταινίας σε δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη μέτρηση είχε κατεύθυνση Βορρά – Νότο και η δεύτερη γινόταν κάθετα στην πρώτη, δηλαδή με κατεύθυνση Ανατολή – Δύση. Με αυτόν τον τρόπο ο υπολογισμός της διαμέτρου της κόμης ήταν πιο αντιπροσωπευτικός, δεδομένου ότι το σχήμα της κόμης των δένδρων είναι ακανόνιστο και όχι ωοειδές ή κυκλικό.

Στα ίδια σημεία όπου έγινε η μέτρηση της διαμέτρου της κόμης ταυτόχρονα έγινε και μέτρηση της απόστασης του κατώτερου σημείου της κόμης από το έδαφος. Με τη χρήση μετροταινίας υπολογίστηκε η κάθετη απόσταση του σημείου που ολοκληρώνεται η βλάστηση του δένδρου έως το έδαφος. Από τη λήψη των δύο τιμών έγινε υπολογισμός του μέσου όρου. Η μέτρηση αυτή χρησίμευσε στον αντιπροσωπευτικό υπολογισμό του όγκου της κόμης του ελαιόδεντρου.

Το ύψος του κάθε δένδρου μετρήθηκε με τη βοήθεια του τοπογραφικού Laser. Αρχικά έγινε σκόπευση του κατώτερου σημείου του δένδρου, στοχεύοντας στο χαμηλότερο σημείο του κορμού του δένδρου. Στη συνέχεια, για τον προσδιορισμό του υψηλότερου σημείου χρησιμοποιήθηκε πρίσμα, το οποίο βρισκόταν πάνω σε

κοντάρι. Το πρίσμα τοποθετούνταν παράλληλα με το υψηλότερο σημείο του δένδρου και γίνονταν λήψη της μέτρησης. Τέλος, για τον υπολογισμό του ύψους του δένδρου γινόταν αφαίρεση των δύο τιμών που μετρήθηκαν, δηλαδή της μέτρησης του χαμηλού σημείου από το ψηλότερο.

Η μέτρηση της παραγωγής του κάθε δένδρου έγινε κατά την περίοδο συγκομιδής. Από το κάθε ελαιόδεντρο ζυγίστηκε ο καρπός που συγκομίσθηκε και έγινε καταγραφή του βάρους της παραγωγής σε κιλά. Η μέτρηση αυτή συνέβαλλε στη δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης της παραγωγής ελαιόκαρπου για τα δένδρα, τα οποία βρίσκονται σε παραγωγικό έτος, και όχι σε έτος παρενιαυτοφορίας.

6.2 Υπέργειες Μετρήσεις

Με τη χρήση του UAV Matrice 100 και του πολυφασματικού αισθητήρα Sequoia έγινε η λήψη εικόνων που κάλυψαν το σύνολο του ελαιώνα. Η διαδικασία της λήψης έγινε με συγκεκριμένο τρόπο και καθορισμένες παραμέτρους, ταυτόχρονα με τις επίγειες μετρήσεις. Η πτήση του UAV έγινε με αυτοματοποιημένο τρόπο βάσει σχεδίου πτήσης, το οποίο σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε από το λογισμικό Pix4D Capture. Η κατάρτιση των σχεδίων πτήσης έγινε μετά από πειραματισμό στο δενδροκομείο του Γ.Π.Α., έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι βέλτιστες ρυθμίσεις σχετικά με τη μελέτη.

Το αγροτεμάχιο χωρίστηκε σε πέντε διαφορετικές ζώνες πτήσης βάσει της τοπογραφίας και του ανάγλυφου του. Λόγω της έντονης υψομετρικής διαφοράς του ελαιώνα το σημείο απογείωσης/προσγείωσης διαφοροποιήθηκε σε κάποιες πτήσεις, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ομοιόμορφη υψομετρική κάλυψη σε όλη την έκταση. Τα σχέδια πτήσεις είχαν τις εξής κοινές παραμέτρους:

- Ύψος πτήσης: 40 μέτρα (από το έδαφος/σημείο απογείωσης),
- Ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των γραμμών πτήσης: 85%,
- Ταχύτητα πτήσης: 1,5 – 2 m/s.

Όσον αφορά τις παραμέτρους του αισθητήρα Sequoia ρυθμίστηκαν ως εξής:

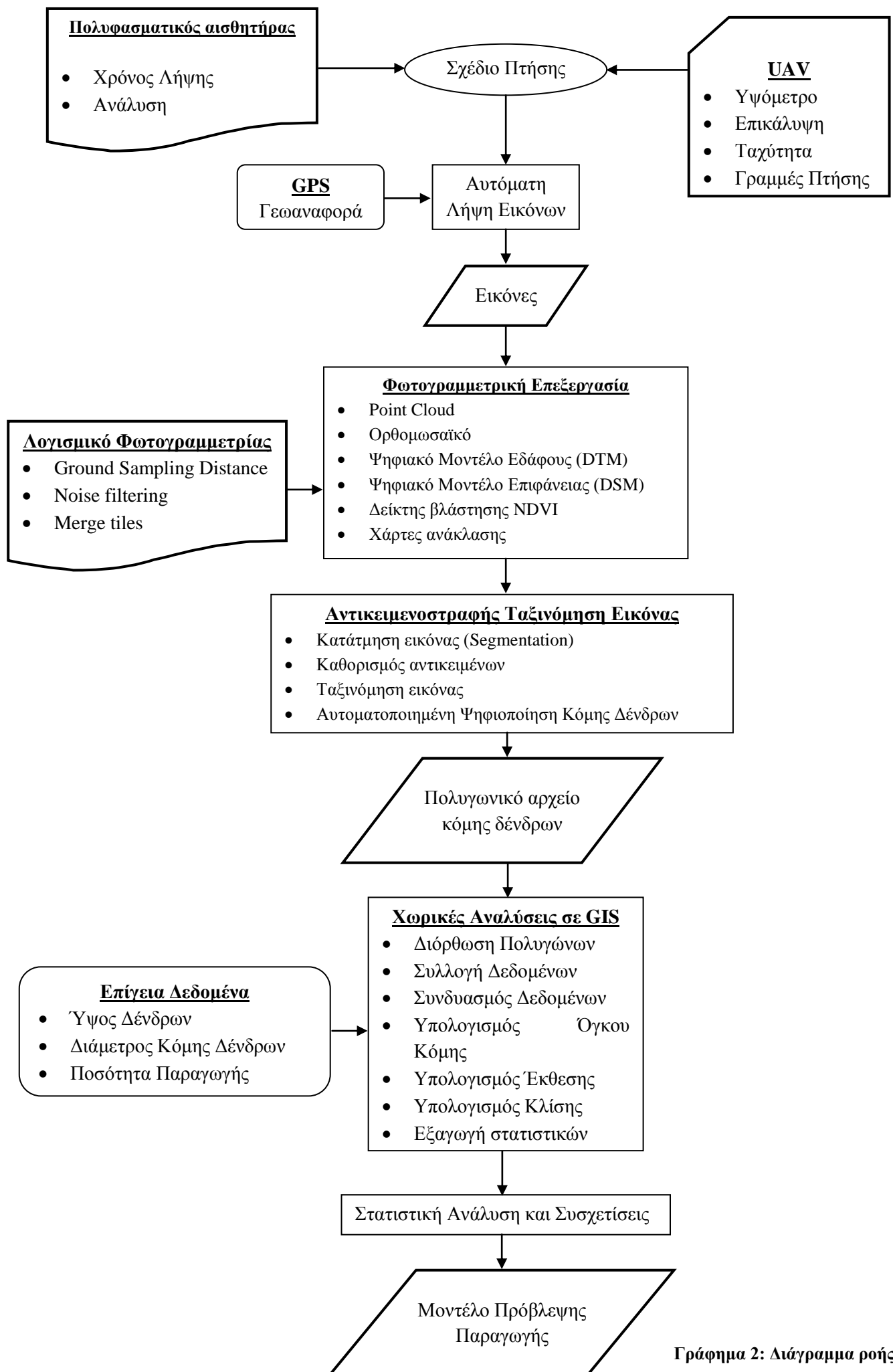
- Ανάλυση κάμερας ορατού (RGB): 16 MPixels,
- Ανάλυση καμερών μονού φάσματος (Green, Red, Red Edge, Near Infra-Red): 1,2 MPixels στα 10 bits,
- Χρόνος λήψης εικόνων: ανά 1,5 δευτερόλεπτα.

Ο συνολικός χρόνος πτήσης και των πέντε σχεδίων ήταν 17 λεπτά και συλλέχθηκαν συνολικά 670 εικόνες από κάθε φάσμα (RGB, G, R, Red, NIR), και συνολικά 3350.

Από τις παραπάνω εικόνες εξάχθηκε το ορθομωσαϊκό, το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (DSM), το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) και ο δείκτης βλάστησης NDVI.

6.3 Επεξεργασίες

Μετά τη συλλογή των επίγειων και υπέργειων δεδομένων ακολούθησε η επεξεργασία τους. Τα δεδομένα των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δένδρων και της παραγωγής τους καταγράφηκαν αρχικά σε υπολογιστικό φύλλο για την ευκολότερη επεξεργασία τους. Επίσης έγινε καταγραφή των δένδρων που μελετήθηκαν σε Γ.Π.Σ. με τη μορφή σημείων για τον εύκολο και γρήγορο εντοπισμό τους. Στο Γράφημα 2 παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία των εργασιών και των επεξεργασιών με τη σειρά που πραγματοποιήθηκαν.



Γράφημα 2: Διάγραμμα ροής.

6.3.1 Φωτογραμμετρική Επεξεργασία

Όσον αφορά τις εικόνες που λήφθηκαν, η επεξεργασία τους έγινε με τη χρήση του λογισμικού Pix4D desktop. Να επισημανθεί ότι οι εικόνες περιέχουν χωρική πληροφορία, καθώς έχουν τις συντεταγμένες λήψης τους από το GPS που διαθέτει ο αισθητήρας Sequoia. Το γεωγραφικό σύστημα στο οποίο οι εικόνες είναι γεωαναφεραμένες είναι το World Geodetic System 1984 (WGS84). Οι εικόνες λοιπόν εισήχθησαν στο λογισμικό, το οποίο αυτόματα αναγνωρίζει τον αισθητήρα από τον οποίο λήφθηκαν, καθώς και τη χωρική πληροφορία που διαθέτουν. Στη συνέχεια, έγινε επιλογή των ρυθμίσεων για την επεξεργασία των εικόνων και η επιλογή των προϊόντων που θα εξάγει το λογισμικό. Οι παρακάτω επεξεργασίες ακολουθήθηκαν για την παραγωγή του ορθομωσαϊκού, του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους από τις εικόνες ορατού φάσματος (RGB).

Η διαδικασία της επεξεργασίας στο συγκεκριμένο λογισμικό χωρίζεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο στάδιο γίνεται η *βασική επεξεργασία* των εικόνων, όπου ο αλγόριθμος βρίσκει κάποια συγκεκριμένα σημεία στην κάθε εικόνα (keypoints), τα οποία χρησιμεύουν για την αντιστοίχιση και το "ταίριασμα" των εικόνων μεταξύ τους. Τα σημεία αυτά χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση των σημείων που εντοπίζονται σε κάθε εικόνα, έτσι ώστε να γίνει η αναγνώριση των κοινών σημείων που τυχόν να έχουν δύο ή περισσότερες εικόνες. Το υπολογιστικό σύστημα στο οποίο έγιναν οι επεξεργασίες στο λογισμικό Pix4D είχε τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Επεξεργαστής: AMD A8-7600, 4 cores, 3,1 GHz base clock - 3,8 GHz turbo mode,
- Μνήμη RAM: 8 Gb,
- Κάρτα Γραφικών: AMD Radeon R7 Graphics,
- Λογισμικό: Windows 7 Ultimate, 64-bit.

Στο λογισμικό εισήχθησαν 670 RGB εικόνες, εκ των οποίων το 99% (οι 665 εικόνες) βαθμονομήθηκαν με αυτόματο τρόπο μέσω του λογισμικού. Η σχετική διαφορά μεταξύ των βασικών ρυθμίσεων της κάμερας και των ρυθμίσεων που είχαν οριστεί κατά τη διάρκεια των πτήσεων κυμάνθηκε στο 1,42%. Ο μέσος όρος των keypoints που βρέθηκαν ανά εικόνα ήταν 78.343 σημεία. Επίσης, οι εικόνες είχαν κατά μέσο όρο 18.556,7 κοινά σημεία, στα οποία "ταίριαζαν" μεταξύ τους. Η ανάλυση των εικόνων ήταν ένα εκατοστό κατά μέσο όρο. Η επιφάνεια που καλύφθηκε από το σύνολο των εικόνων ήταν 32.400 m². Με την ολοκλήρωση του

σταδίου αυτού έχει γίνει η συνένωση των εικόνων και υπάρχει μία πρώτη άποψη για την ανάλυση και την ποιότητα του ορθομωσαϊκού που θα παραχθεί στη συνέχεια. Ο συνολικός χρόνος που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση του πρώτου σταδίου επεξεργασίας ήταν 15 ώρες, 27 λεπτά και 55 δευτερόλεπτα.

Στο δεύτερο στάδιο επεξεργασίας γίνεται η παραγωγή του "νέφους σημείων", τα οποία θα γίνουν στη συνέχεια η βάση για τη δημιουργία του ορθομωσαϊκού. Το νέφος σημείων που θα παραχθεί είναι τριών διαστάσεων και ουσιαστικά αποτελεί μία πρωτόλεια εικόνα του ορθομωσαϊκού. Οι ρυθμίσεις που καθορίστηκαν για το συγκεκριμένο στάδιο επεξεργασίας ήταν οι κατάλληλες για την βέλτιστη απεικόνιση και τον καλύτερο διαχωρισμό της βλάστησης και των δένδρων, σε σχέση με τις υπόλοιπες υφές και τα αντικείμενα που περιέχονται στις εικόνες. Ο συνολικός χρόνος για την ολοκλήρωση του δεύτερου σταδίου επεξεργασίας ήταν 8 ώρες, 7 λεπτά και 27 δευτερόλεπτα. Η μέση πυκνότητα ανά κυβικό μέτρο κυμάνθηκε στα 898,27 σημεία, με το συνολικό αριθμό των τρισδιάστατων σημείων να ανέρχεται στα 11.949.053.

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο γίνεται η δημιουργία και η εξαγωγή των προϊόντων που επιθυμεί ο χρήστης. Το ορθομωσαϊκό (RGB), το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (DSM) και το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) παράγονται βάσει του "νέφους σημείων" που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο. Να επισημανθεί ότι για την εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του τριγωνισμού (triangulation), από το λογισμικό, η οποία είναι βασισμένη στη μέθοδο τριγωνισμού Delauney και είναι καταλληλότερη για γεωργικές εκτάσεις, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση. Η ανάλυση των παραπάνω προϊόντων είναι ένα εκατοστό ανά εικονοστοιχείο (1cm/pixel) και ο συνολικός χρόνος που απαιτήθηκε για την παραγωγή τους ήταν 6 ώρες, 28 λεπτά και 32 δευτερόλεπτα. Τα προϊόντα αυτά είναι πλέον έτοιμα και διαθέσιμα σε μορφή raster (geotiff) για να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω στα πλαίσια της παρούσας έρευνας. Το γεωγραφικό σύστημα στο οποίο γεωαναφέρθηκαν τα προϊόντα αυτά είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ'87 ή GGRS'87).

Όσον αφορά την παραγωγή του δείκτη βλάστησης NDVI, όπως επίσης και για την εξαγωγή των διαφορετικών φασμάτων χρησιμοποιήθηκε και πάλι το λογισμικό Pix4D, επιλέγοντας διαφορετικό τρόπο επεξεργασίας σε σχέση με τις RGB εικόνες. Στο λογισμικό εισήχθησαν συνολικά 2.668 μονοφασματικές εικόνες, γεωαναφερμένες στο World Geodetic System 1984 (WGS84). Τα στάδια

επεξεργασίας ήταν τα τρία ίδια, όπως και παραπάνω. Οι εικόνες που βαθμονομήθηκαν με αυτόματο τρόπο ήταν οι 2.664 (το 99% των εικόνων), με τη σχετική διαφορά μεταξύ των βασικών ρυθμίσεων της κάμερας και των ρυθμίσεων που είχαν ορισθεί κατά τη διάρκεια των πτήσεων να είναι μηδενική. Η ανάλυση των εικόνων ήταν 3,86 εκατοστά κατά μέσο όρο, με το σύνολο της επιφάνειας που καλύφθηκε να ανέρχεται στα 45.100 m². Ο μέσος όρος των keypoints που βρέθηκαν ανά εικόνα ήταν 10.000 σημεία, ενώ οι εικόνες είχαν κατά μέσο όρο 4.533,76 κοινά σημεία, στα οποία "ταίριαζαν" μεταξύ τους. Ο συνολικός χρόνος για τη βασική επεξεργασία ήταν 3 ώρες, 28 λεπτά και 22 δευτερόλεπτα.

Στο δεύτερο στάδιο επεξεργασίας, η πυκνότητα του "νέφους σημείων" ρυθμίστηκε σε χαμηλή, διότι η εξαγωγή των φασμάτων και του δείκτη βλάστησης NDVI δεν απαιτεί υψηλή ανάλυση και πυκνότητα σημείων. Η δημιουργία του "νέφους" ολοκληρώθηκε σε 21 λεπτά και 41 δευτερόλεπτα, με τη μέση πυκνότητα ανά κυβικό μέτρο να κυμαίνεται στα 18,83 σημεία και το συνολικό αριθμό των τρισδιάστατων σημείων να ανέρχεται στα 976.591.

Στο τελευταίο στάδιο γίνεται η εξαγωγή των χαρτών ανάκλασης των επιμέρους φασμάτων, καθώς και του δείκτη βλάστησης NDVI. Τα προϊόντα που εξάγονται μετά το τέλος και αυτού του σταδίου επεξεργασίας είναι ο χάρτης ανάκλασης του κάθε φάσματος (Green, Red, Red Edge και Near Infra-Red) και ο χάρτης του δείκτη βλάστησης NDVI σε μορφή raster (geotiff) και γεωαναφερμένα στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ'87 ή GGRS'87). Η ανάλυση όλων των προϊόντων ήταν 3,87 εκατοστά ανά εικονοστοιχείο (3,87 cm/pixel). Ο συνολικός χρόνος που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση και αυτού του σταδίου ήταν 3 ώρες, 31 λεπτά και 39 δευτερόλεπτα.

Οι επεξεργασίες που ήταν δυνατές από το Pix4D ολοκληρώθηκαν και τα προϊόντα (ορθομοσαϊκό, DSM, DTM, χάρτες ανάκλασης επιμέρους φασμάτων και δείκτη βλάστησης NDVI) που εξάχθηκαν πέρασαν σε επόμενο στάδιο επεξεργασίας. Το ζητούμενο ήταν ο αυτοματοποιημένος τρόπος με τον οποίο θα ψηφιοποιούνταν οι κόμεις όλων των ελαιοδένδρων που απεικονίζονται στο αγροτεμάχιο. Με την ψηφιοποίησή τους σε πολύγωνα και την αποθήκευσή τους ως διανυσματικό επίπεδο (vector), η επεξεργασία και η στατιστική ανάλυση των παραμέτρων ενδιαφέροντος θα γινόταν ευκολότερη και γρηγορότερη. Η δημιουργία πολυγώνων στο λογισμικό ArcMap μέσω πράξεων στα πλεγματικά αρχεία και η μετατροπή τους στη συνέχεια σε διανυσματικά δεν ήταν ικανοποιητική. Για το λόγο αυτό η αυτοματοποιημένη

διαδικασία για την ψηφιοποίηση της κόμης των ελαιόδεντρων έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού eCognition Developer.

6.3.2 Αντικειμενοστραφής Ταξινόμηση Εικόνας

Με τη μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης (Objected Oriented Classification) και τη χρήση του λογισμικού eCognition Developer, πραγματοποιήθηκε η χαρτογράφηση των ελαιόδεντρων στην υπό μελέτη περιοχή.

Η αντικειμενοστραφής ανάλυση των εικόνων, είναι μία πολύ πρόσφατη τεχνική, η οποία αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η δημιουργία των αντικειμένων, τα οποία αναπαριστούν οντότητες με εννοιολογική σημασία, σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνικές όπου η χωρική μονάδα είναι το εικονοστοιχείο. Με την ανάλυση αυτή, μειώνεται αισθητά, το φαινόμενο του «αλατοπίπερου» (salt and pepper effect) που είναι εμφανές στις άλλες τεχνικές ταξινομήσεις.

Το πρώτο στάδιο για την αντικειμενοστραφής ταξινόμηση είναι η κατάτμηση των δορυφορικών εικόνων. Η κατάτμηση είναι ιδιαίτερα καθοριστική για την μετέπειτα ποιότητα της ταξινόμησης. Στόχος της κατάτμησης είναι να δημιουργηθούν ομοιογενή αντικείμενα, όσο το δυνατόν μεγαλύτερα, αλλά και όσο μικρότερα απαιτούνται, ώστε να αποδίδεται στο κάθε αντικείμενο παρόμοια πληροφορία, ώστε να μην υπάρχει υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις και αλγόριθμοι για την κατάτμηση της εικόνας οι οποίες εξαρτώνται αποκλειστικά και μόνο από τους σκοπούς της έρευνας (Blaschke, 2010; Kindu et al., 2013). Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Multiresolution Segmentation, ο οποίος διαχωρίζει την εικόνα σε αντικείμενα διαφορετικού μεγέθους και σχήματος. Οι παραμετροποίηση του αλγορίθμου στηρίζεται σε τρεις παράγοντες (Definiens, 2007):

- Κλίμακα – Scale Parameter (Sc): επηρεάζει το μέσο μέγεθος των αντικειμένων και πρακτικά καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια των αντικειμένων. Όσο μεγαλύτερη είναι τιμή της παραμέτρου Sc, τόσο μεγαλύτερα είναι τα αντικείμενα που προκύπτουν.
- Σχήμα – Shape (Sh): ρυθμίζει το σχήμα σε σχέση με τη φασματική απόκριση των εικονοστοιχείων. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του δείκτη σχήματος, τόσο

λιγότερο επηρεάζει στην κατάτμηση η φασματική ομοιογένεια των στοιχείων της εικόνας.

- Βαθμός συμπαγών αντικειμένων – Compactness (Com): σε περιπτώσεις που ο δείκτης σχήματος είναι μεγαλύτερος από το μηδέν, τότε ο χρήστης μπορεί να καθορίσει εάν τα αντικείμενα που πρόκειται να δημιουργηθούν, θα είναι συμπαγή.

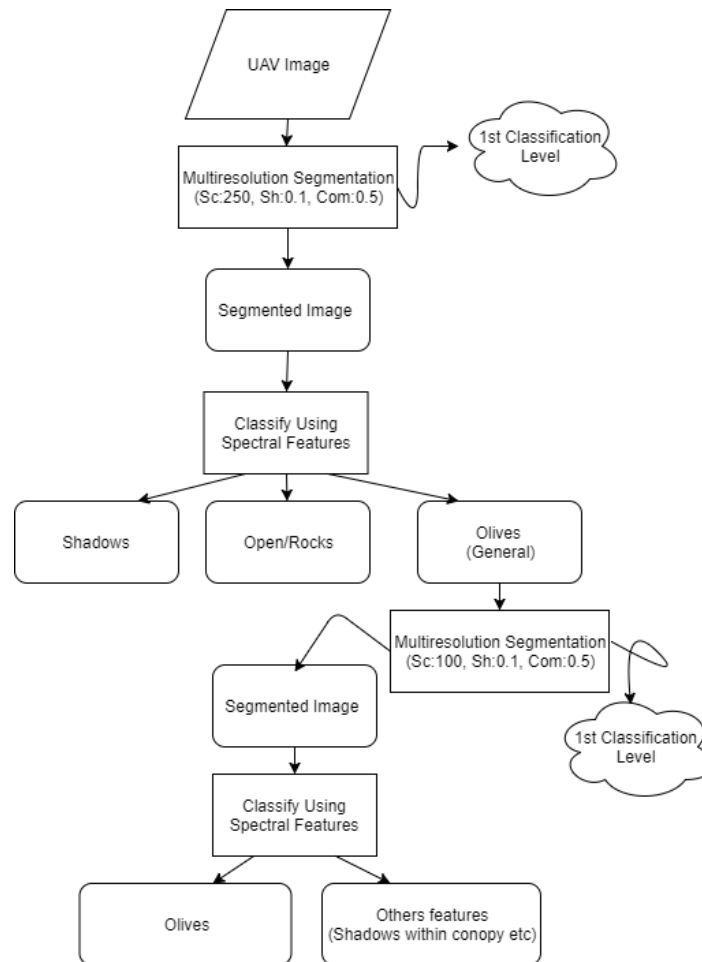
Το δεύτερο στάδιο είναι η δημιουργία της ιεραρχικής δομής των κλάσεων της ταξινόμησης. Η ιεράρχηση των κλάσεων συνίσταται για την οργάνωση τους μέσω της διάκρισής τους σε μητρικές και θυγατρικές. Επίσης, η διαδικασία αυτή επιτρέπει τη δημιουργία τοπολογικών δομών, όπου επιτρέπεται να γίνονται ταξινομήσεις σε διαφορετικές κλίμακες ταυτοχρόνως (Baatz, 2000).

Αφού καθοριστούν τα αντικείμενα και δημιουργηθεί η ιεραρχική δομή των κλάσεων πλέον ο χρήστης διαμορφώνει μία σειρά από κανόνες, οι οποίοι μπορούν να εφαρμόζονται είτε σταδιακά (με ιεραρχικό τρόπο), είτε συνολικά, αφού πρώτα κάθε κατηγορία κάλυψης που είναι επιθυμητή χαρακτηρίζεται με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά, το σχήμα ή/και την τραχύτητά της. Στη διαμόρφωση των κανόνων, τις περισσότερες φορές γίνεται χρήση της ασαφούς λογικής, καθώς με τον τρόπο αυτό παρέχεται η δυνατότητα διαχείρισης του λάθους, που προέρχεται από πιθανόν εσφαλμένες εκτιμήσεις (Molenaar, 1998).

Στην παρούσα εργασία, τα επίπεδα ανάλυσης ήταν δύο, όπως φαίνεται και στο Γράφημα 3. Στο πρώτο επίπεδο σκοπός ήταν η ταξινόμηση της εικόνας σε ελαιώνες, ανοικτές εκτάσεις και σε άλλα στοιχεία της εικόνας (σκιές εκτός κόμης). Έτσι, ο παράγοντας κλίμακας καθορίστηκε στην τιμή 250 και οι παράγοντες σχήματος και βαθμός συμπαγών αντικειμένων σε 0,1 και 0,5 αντίστοιχα. Στο δεύτερο επίπεδο, αποκλειστικός σκοπός είναι η διόρθωση σφαλμάτων που προέκυψαν στο πρώτο επίπεδο στην κλάση ελαιώνες και για το λόγο αυτό αν και οι παράγοντες σχήματος και βαθμός συμπαγών αντικειμένων παραμένουν σταθεροί, ο παράγοντας κλίμακας μειώνεται (Sc: 100) ώστε να δημιουργηθούν μικρότερα και πιο ομοιογενή φασματικά αντικείμενα.

Οι ταξινομήσεις τόσο στο πρώτο όσο και στο δεύτερο στάδιο βασίστηκαν σε κανόνες, οι οποίοι λάμβαναν υπόψη τα φασματικά χαρακτηριστικά των εικόνων και ιδιαίτερα τους φασματικούς διαύλους που εντοπίζονται στο κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο μέρος τους ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Το τελικό προϊόν της παραπάνω διαδικασίας ήταν ένα πολυγωνικό αρχείο, το οποίο περιείχε την κόμη του κάθε ελαιόδεντρου που αναγνωρίστηκε από τον αλγόριθμο. Το σύνολο των πολυγώνων που ταξινομήθηκε από το λογισμικό ως κόμμες δένδρων ήταν 205.



Γράφημα 3: Διάγραμμα ροής διαδικασίας αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνας.

6.3.3 Χωρικές Αναλύσεις σε GIS

Το πολυγωνικό αρχείο που εξάχθηκε από την παραπάνω διαδικασία εισάχθηκε στο λογισμικό ArcMap για τη συνέχιση των επεξεργασιών. Τα πολύγωνα που δημιουργήθηκαν για το κάθε ελαιόδεντρο χρειαζόνταν κάποιες διορθώσεις, έτσι ώστε να περικλείουν πλήρως την κόμη των δένδρων, χωρίς να περιλαμβάνουν μέρη από το έδαφος. Επίσης, κάποια πολύγωνα εξάχθηκαν ως ενωμένα και έπρεπε να διαχωριστούν μεταξύ τους. Αφού το αρχείο εισάχθηκε στο περιβάλλον του ArcMap, έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις στο κάθε πολύγωνα. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν

μπορεί να εισαχθεί και στο περιβάλλον του ArcMap. Στη συνέχεια, ο πίνακας ενσωματώθηκε στο πολυγωνικό αρχείο των δένδρων.

Οι επεξεργασίες που έγιναν ακόμη σε περιβάλλον GIS αφορούσαν τον προσδιορισμό της κλίσης και της έκθεσης των δένδρων, καθώς και τον υπολογισμό του δείκτη βλάστησης NDVI για κάθε πολύγωνο δένδρου. Τα προϊόντα της παραπάνω διαδικασίας ήταν ένα πλεγματο (raster) αρχείο για την έκθεση και ένα πλεγματο (raster) αρχείο για την κλίση των δένδρων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια.

Ακολούθησε η δημιουργία ζώνης γύρω από το κάθε πολύγωνο, σε έκταση 2 m. Η συγκεκριμένη διαδικασία έγινε έτσι ώστε να ορισθεί μία αντιπροσωπευτική περιοχή γύρω από το κάθε δένδρο, η οποία επηρεάζει και συμβάλει στην ανάπτυξη και τη συμπεριφορά των ελαιόδεντρων. Βάσει των ζωνών που δημιουργήθηκαν έγινε υπολογισμός της μέγιστης, της ελάχιστης και της μέσης τιμής της έκθεσης και της κλίσης. Ο υπολογισμός των τιμών αυτών έγινε όπως και προηγουμένως (εργαλείο Zonal Statistics as Table). Τα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα πλεγματο (raster) αρχεία της κλίσης και της έκθεσης και το διανυσματικό αρχείο με τη ζώνη των 2 m γύρω από τα πολύγωνα των δένδρων. Έγινε εξαγωγή των στατιστικών πινάκων που περιείχαν τις επιθυμητές τιμές και στη συνέχεια ενώθηκαν με το πολυγωνικό αρχείο των δένδρων. Έτσι, δημιουργήθηκαν έξι νέα πεδία: ASPECT_MIN, ASPECT_MAX, ASPECT_MEAN, SLOPE_MIN, SLOPE_MAX, SLOPE_MEAN, με τις χαμηλότερες, υψηλότερες και τις μέσες τιμές αντίστοιχα για κλίση και έκθεση.

Για τον υπολογισμό των στατιστικών του δείκτη βλάστησης NDVI χρησιμοποιήθηκε και πάλι η ίδια διαδικασία (εντολή Zonal Statistics as Table). Τα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το πολυγωνικό αρχείο των δένδρων και το πλεγματο (raster) αρχείο που εξάχθηκε από το λογισμικό Pix4D, το οποίο περιείχε την πληροφορία του δείκτη NDVI. Ο στατιστικός πίνακας που δημιουργήθηκε, ενώθηκε με το πολυγωνικό αρχείο των δένδρων. Τα πεδία που δημιουργήθηκαν ήταν: NDVI_MIN, NDVI_MAX και NDVI_MEAN με τις χαμηλότερες, υψηλότερες και τις μέσες τιμές αντίστοιχα. Της παραπάνω διαδικασίας προηγήθηκε η απομόνωση του δείκτη βλάστησης NDVI σε επίπεδο πολυγώνου του κάθε δένδρου από το θεματικό χάρτη του αγροτεμαχίου. Τέλος, με το λογισμικό ArcMap δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες, οι οποίοι συνέβαλαν στη χωρική παρατήρηση των παραγόντων που

μελετήθηκαν, καθώς και στην εξαγωγή συμπερασμάτων που περιγράφονται στο σχετικό κεφάλαιο.

6.3.4 Μέθοδος Υπολογισμού Όγκου Κόμης Ελαιόδεντρων

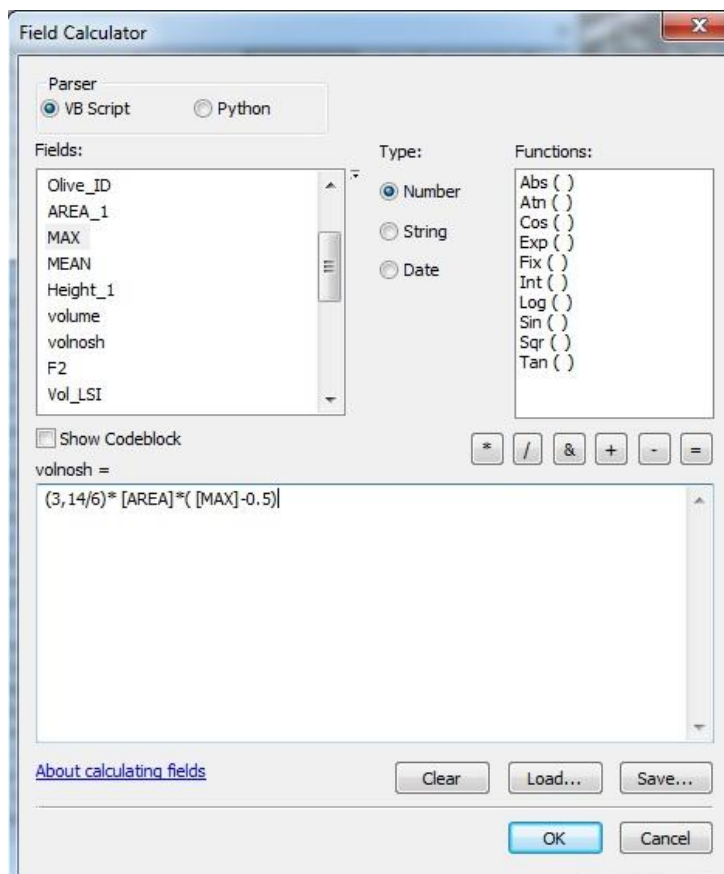
Για την εκτίμηση του όγκου της κόμης των ελαιόδεντρων χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος (Sola-Guirado R.R. et al., 2017):

$$V = \frac{1}{6} \pi D_1 \times D_2 \times (Ht - Hs), \quad (1)$$

όπου D_1 και D_2 η διάμετρος της κόμης του δένδρου που μετρήθηκε σε δύο διαφορετικές διευθύνσεις, Ht το ύψος του δένδρου και Hs ο μέσος όρος της απόστασης του κατώτερου σημείου της κόμης του δένδρου από το έδαφος, που μετρήθηκε στις ίδιες διευθύνσεις με τη διάμετρο.

Το επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός του όγκου της κόμης των δένδρων από τις υπέργειες μετρήσεις. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε το πεδίο volnosh. Ο υπολογισμός έγινε με τη βοήθεια του GIS, χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{volnosh} = (3,14/6) \times [\text{AREA}] \times ([\text{MAX}] - 0,5) \quad (2)$$



Εικόνα 4: Στιγμιότυπο από τον υπολογισμό του όγκου σε περιβάλλον GIS

Να επισημανθεί ότι η παραπάνω εξίσωση βασίστηκε στο τύπο (1) με τις παρακάτω αλλαγές. Η επιφάνεια της κόμης των δένδρων χρησιμοποιήθηκε αντί των δύο διαμέτρων D_1 και D_2 και το H_s θεωρήθηκε σταθερό με τιμή 0,5 m, βάσει του μέσου όρου των επίγειων μετρήσεων της συγκεκριμένης μεταβλητής, που κυμάνθηκε σε αυτό το επίπεδο. Η συσχέτιση του επίγειου (EO) και του υπέργειου όγκου (YO) ($R^2=0,43$, $N=93$) έγινε τροφή για περαιτέρω διερεύνηση του υπολογισμού του YO. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η συσχέτιση του όγκου των δένδρων με ομαλό σχήμα κόμης, δηλαδή πιο ωοειδές ήταν καλύτερη σε σχέση με εκείνα στα οποία το σχήμα της κόμης ήταν περισσότερο ακανόνιστο.

Η χρήση των μετρικών τοπίου ήταν ένα τρόπος για την προσαρμογή του YO στα επίπεδα του EO. Ο δείκτης μετρικών τοπίου LSI (Landscape Shape Index) συνέβαλε στον προσδιορισμό της πολυπλοκότητας του σχήματος της κόμης των ελαιόδεντρων. Όσο ο δείκτης αυξάνεται, τόσο πιο πολύπλοκο εμφανίζεται να είναι το σχήμα της κόμης. Το LSI ισούται με το συνολικό μήκος ακμής (ή περιμέτρου) που περιλαμβάνει την αντίστοιχη κλάση, δοσμένο σε αριθμό κελιών επιφάνειας, διαιρούμενο με το ελάχιστο μήκος της ακμής (ή περιμέτρου) που είναι δυνατό για μια μέγιστη συσσωρευμένη κλάση, επίσης δοσμένο σε αριθμό κελιών επιφάνειας, που επιτεύχθηκε όταν η τάξη είναι συγκεντρωμένη σε ένα ενιαίο, συμπαγές patch. (Milne 1991, Bogaert et al., 2000). Το εύρος του δείκτη LSI είναι από 1 έως άπειρο. Με τη βοήθεια του λογισμικού Fragstats 4.2 έγινε ο υπολογισμός του δείκτη LSI για το κάθε ελαιόδεντρο ξεχωριστά, επιλέγοντας στην κατηγορία Landscape Metrics, τον Landscape Shape Index. Στο κάθε πολύγωνο αντιστοιχούσε μία τιμή του δείκτη LSI που υπολογίστηκε. Η εξαγωγή των τιμών από το λογισμικό Fragstats έγινε σε αρχείο, επεξεργάσιμο από υπολογιστικά φύλλα.

Η ενσωμάτωση των τιμών στο πολυγωνικό αρχείο έγινε στο ArcMap, όπως προηγουμένως, αφού είχε δημιουργηθεί το πεδίο LSI. Ακολούθησε ο επαναπροσδιορισμός του όγκου, ο οποίος έγινε με το μετασχηματισμό του τύπου (2) και υπολογίστηκε στο πεδίο Vol_LSI, ως εξής:

$$\text{Vol_LSI} = (3,14/6) \times [\text{AREA}] \times ([\text{MAX}] - 0,5) \times [\text{LSI}] \quad (3)$$

Στο GIS εισάχθηκε ο παραπάνω τύπος (3) και υπολογίστηκε ο όγκος της κόμης των ελαιόδεντρων εκ νέου. Οι επεξεργασίες για τον προσδιορισμό του όγκου ολοκληρώθηκαν με την παραπάνω διαδικασία.

6.3.5 Μη Χωρική Στατιστική Ανάλυση

Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από τις παραπάνω επεξεργασίες χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SPSS Statistics. Σε πρώτη φάση οι συσχετισμοί έγιναν κατά Pearson. Οι συσχετισμοί για κάποιες μεταβλητές (πχ. YO – ΕΟ) έγιναν σε πληθυσμό 93 ατόμων, ενώ άλλοι (πχ. NDVI – ύψος δένδρου) έγιναν σε πληθυσμό 205 ατόμων. Για την περαιτέρω έρευνα των συσχετίσεων μεταξύ κάποιων μεταβλητών δημιουργήθηκαν κλάσεις. Οι κλάσεις ονοματίστηκαν και ρυθμίστηκε το εύρος των τιμών που θα περιελάμβανε καθεμία. Στη συνέχεια, έγινε επιλογή των δεδομένων που έπρεπε να συσχετιστούν. Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε και πάλι για τη συσχέτιση των μεταβλητών που περιλαμβάνονταν στις κλάσεις. Για τη συσχέτιση του ΕΟ και του YO τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε τρεις κατηγορίες, βάσει του δείκτη LSI.

Όσον αφορά το μοντέλο πρόβλεψης της παραγωγής, χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μεταβλητές: η μέση τιμή του δείκτη βλάστησης NDVI, η μέση τιμή της κλίσης στην οποία βρίσκεται το δένδρο και ο όγκος της κόμης (επίγειος και υπέργειος). Ως εξαρτημένη μεταβλητή ορίστηκε η παραγωγή και ως ανεξάρτητες μεταβλητές ορίστηκαν οι παραπάνω. Η μέθοδος που επιλέχθηκε ήταν η Enter. Για τη δημιουργία του μοντέλου λήφθηκαν υπόψη τα δένδρα, στα οποία η παραγωγή τους σε κιλά ήταν μεγαλύτερη ή ίση των 21 κιλών (≥ 21 kg). Ο περιορισμός αυτός έγινε διότι στο μοντέλο έπρεπε να συμπεριληφθούν μόνο τα δένδρα τα οποία βρίσκονταν σε παραγωγικό έτος και όχι εκείνα, τα οποία βρίσκονταν σε μη παραγωγικό έτος, ή σε έτος παρενιαυτοφορίας. Δεδομένου ότι ένα ελαιόδεντρο βρίσκεται σε παραγωγικό έτος όταν η μέση παραγωγή του είναι άνω των 15 – 20 κιλών, επιλέχθηκε ο παραπάνω αριθμός για την οριοθέτηση των παραγωγικών και μη δένδρων.

ΜΕΡΟΣ Γ

Κεφάλαιο 7: Αποτελέσματα

7.1 Αποτελέσματα Φωτογραμμετρικής Επεξεργασίας

Τα προϊόντα που προέκυψαν από την φωτογραμμετρική επεξεργασία των εικόνων, που λήφθηκαν από τον πολυφασματικό αισθητήρα παρουσιάζονται με τη μορφή χαρτών στη συνέχεια. Τα προϊόντα της επεξεργασίας όπως έχει ήδη αναφερθεί ήταν το ορθομωσαϊκό, το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και ο θεματικός χάρτης του δείκτη βλάστησης NDVI.

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται το ορθομωσαϊκό του αγροτεμαχίου μελέτης, από το οποίο γίνεται εύκολα αντιληπτή η παρουσία του έντονου ανάγλυφου, καθώς είναι εμφανείς οι αναβαθμίδες οι οποίες έχουν δημιουργηθεί για τη διευκόλυνση της ελαιοκαλλιέργειας. Επίσης, διακρίνονται τα νεαρά δένδρα που έχουν φυτευτεί πρόσφατα.

Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (DSM) του πειραματικού αγροτεμαχίου, στο οποίο είναι ευδιάκριτο το περίγραμμα της κόμης των ελαιόδεντρων. Ακόμη, είναι εμφανής η διακύμανση του ανάγλυφου με τη δυτική πλευρά να εμφανίζει εντονότερη κλίση, ενώ στην ανατολική είναι ηπιότερη, καθώς και η διαστρωμάτωση του εδάφους σε αναβαθμούς. Από το συγκεκριμένο χάρτη δίνεται η δυνατότητα για την πρόχειρη εκτίμηση του ύψους των δένδρων. Με εντονότερο (σκούρο) καφέ εμφανίζονται οι υψηλότερες τιμές του υψομέτρου, ενώ όσο οι τιμές του υψομέτρου μειώνονται το χρώμα τείνει προς το λευκό. Οι τιμές του υψομέτρου κυμαίνονται από 273,806 m έως 336,45m.

Παρόμοιες πληροφορίες μπορεί να αντλήσει κανείς από την Εικόνα 7, στον οποίο παρουσιάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) του αγροτεμαχίου. Στο συγκεκριμένο χάρτη ο αναγνώστης μπορεί να διακρίνει τη διακύμανση του ανάγλυφου κατά μήκος του αγροτεμαχίου, όπως και στην Εικόνα 6. Βέβαια, στο συγκεκριμένο δεν εμφανίζονται οι κόμης των δένδρων ούτε άλλες τυχόν διακυμάνσεις του υψομέτρου που πιθανώς να υφίστανται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Η χρωματική παρουσίαση του υψομέτρου είναι ίδια με εκείνη της Εικόνας 6. Οι τιμές του υψομέτρου κυμαίνονται από 273,846 m έως 332,035 m. Παρατηρείται λοιπόν ότι οι δύο χάρτες που περιέχουν υψομετρική πληροφορία έχουν σχεδόν ίδια ελάχιστη τιμή, ενώ στη μέγιστη υπάρχει η διαφορά των τεσσάρων

περίπου μέτρων, η οποία οφείλεται στην παρουσία του ύψους της βλάστησης στην Εικόνα 6, ενώ στην Εικόνα 7 απουσιάζει.

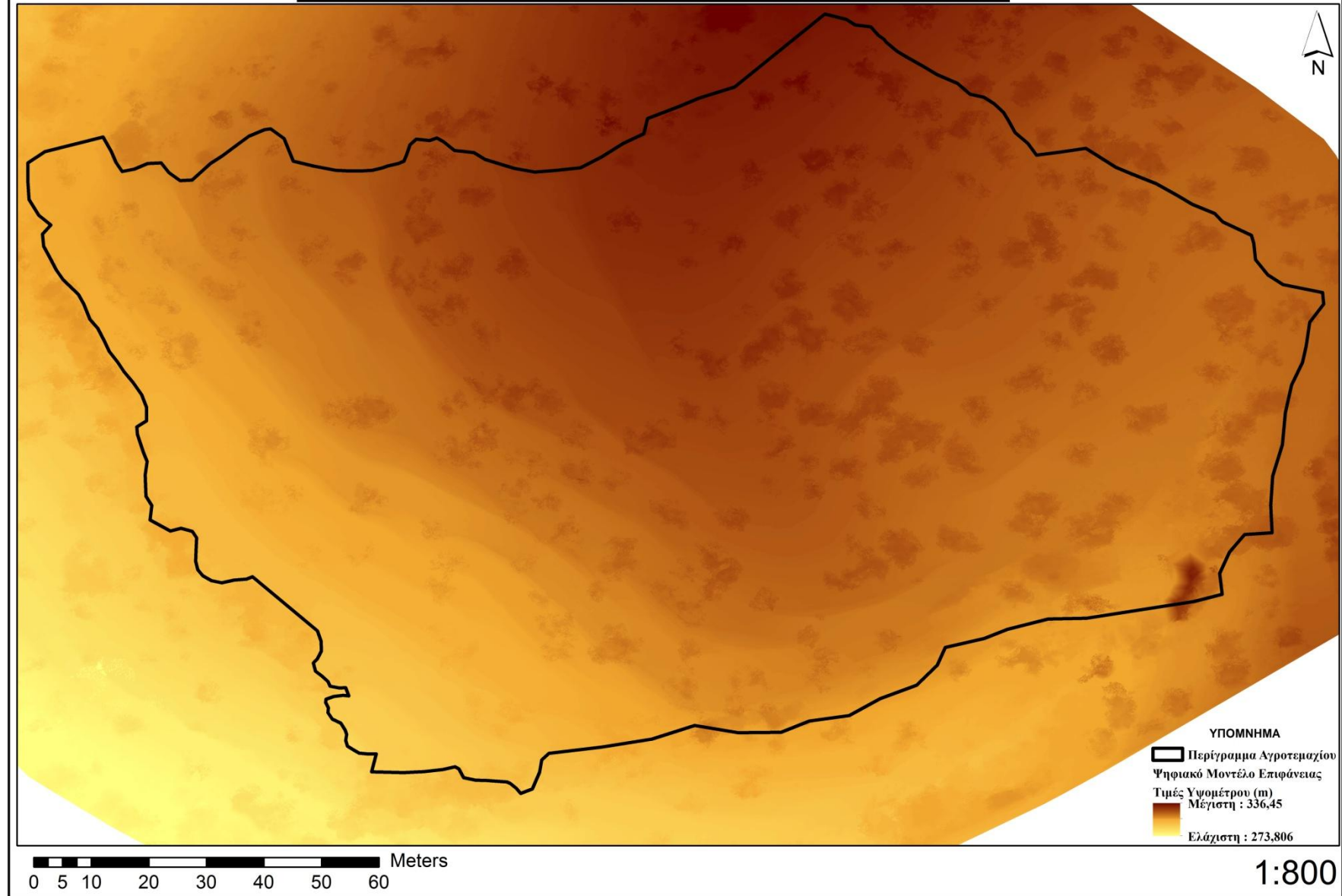
Τέλος, στην Εικόνα 8 παρουσιάζεται ο δείκτης βλάστησης NDVI για όλο το αγροτεμάχιο μελέτης. Στο συγκεκριμένο χάρτη είναι εμφανής η διάκριση της βλάστησης, η οποία απεικονίζεται με έντονο πράσινο χρώμα. Το γυμνό έδαφος απεικονίζεται με έντονο κόκκινο ή κόκκινο χρώμα και με κίτρινο ή πορτοκαλί απεικονίζονται τα τμήματα του εδάφους, στα οποία είτε υπάρχει χαμηλή βλάστηση, είτε νεκρή βλάστηση. Οι τιμές του δείκτη NDVI κυμάνθηκαν από -0,91 έως 0,99, εντός των ορίων του δείκτη (-1 έως 1).

ΟΡΘΟΜΩΣΑΪΚΟ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ

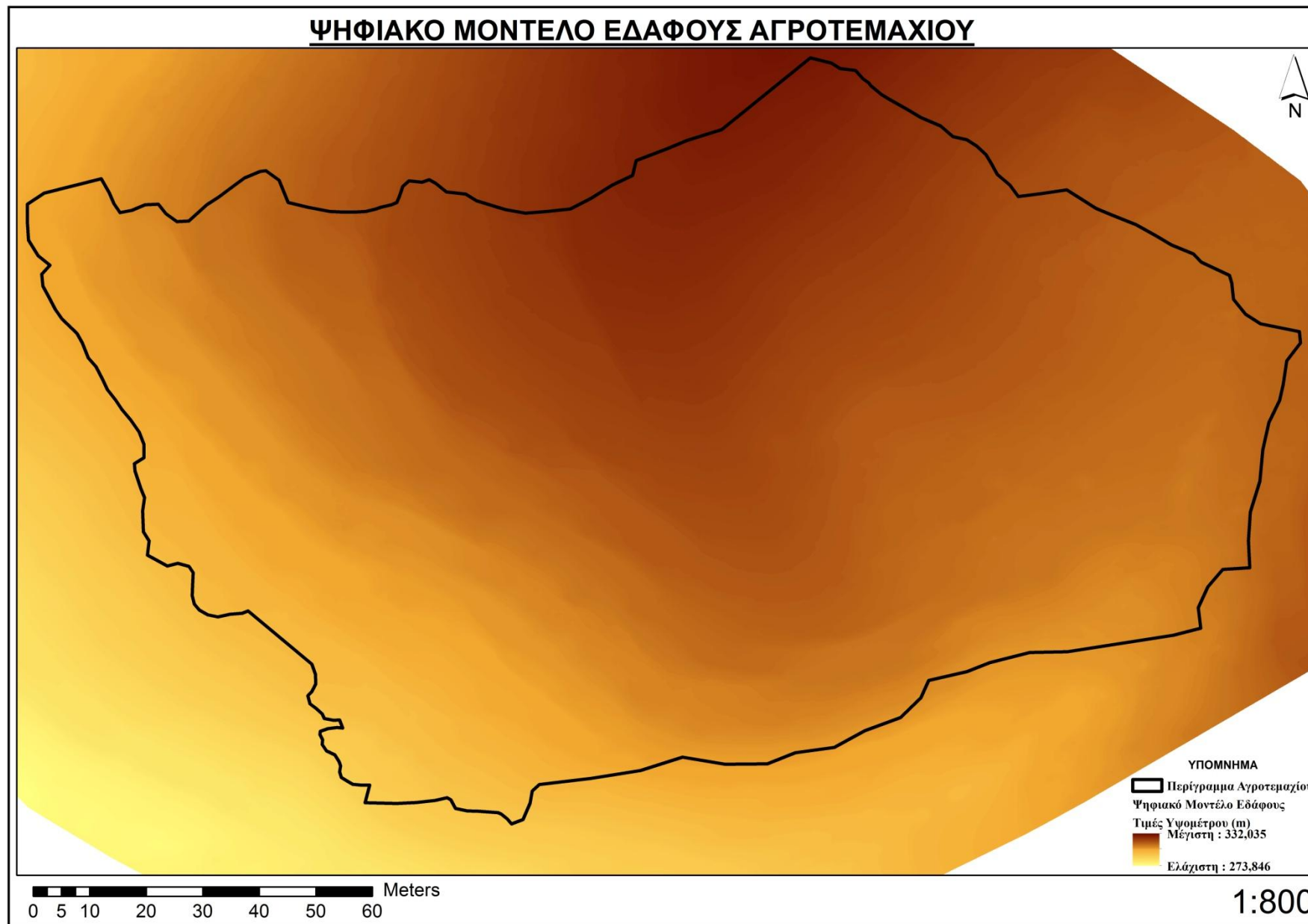


Εικόνα 5: Χάρτης ορθομωσαϊκού αγροτεμαχίου

ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ

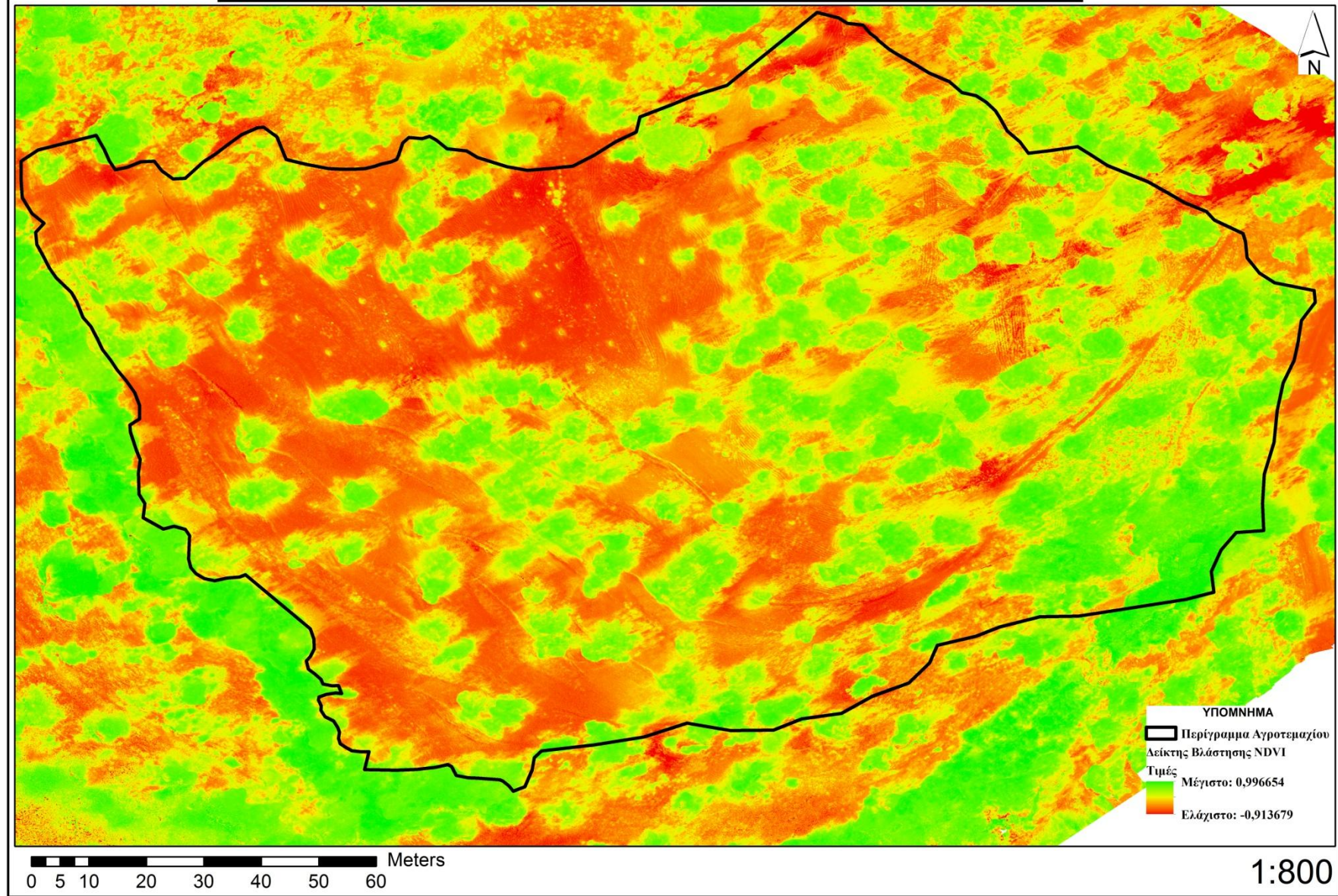


Εικόνα 6: Ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας αγροτεμαχίου
[67]



Εικόνα 7: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους αγροτεμαχίου

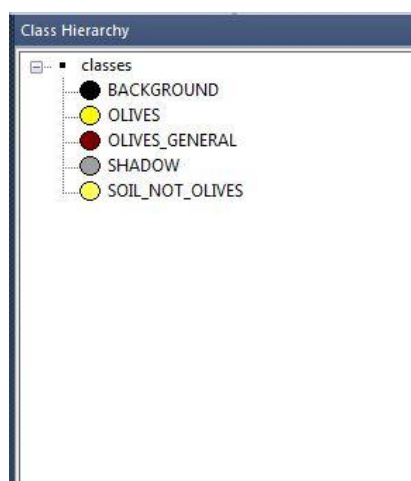
ΧΑΡΤΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ NDVI ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ



Εικόνα 8: Χάρτης κατανομής δείκτη βλάστησης NDVI
[69]

7.2 Αποτελέσματα Αντικειμενοστραφούς Ταξινόμησης Εικόνας

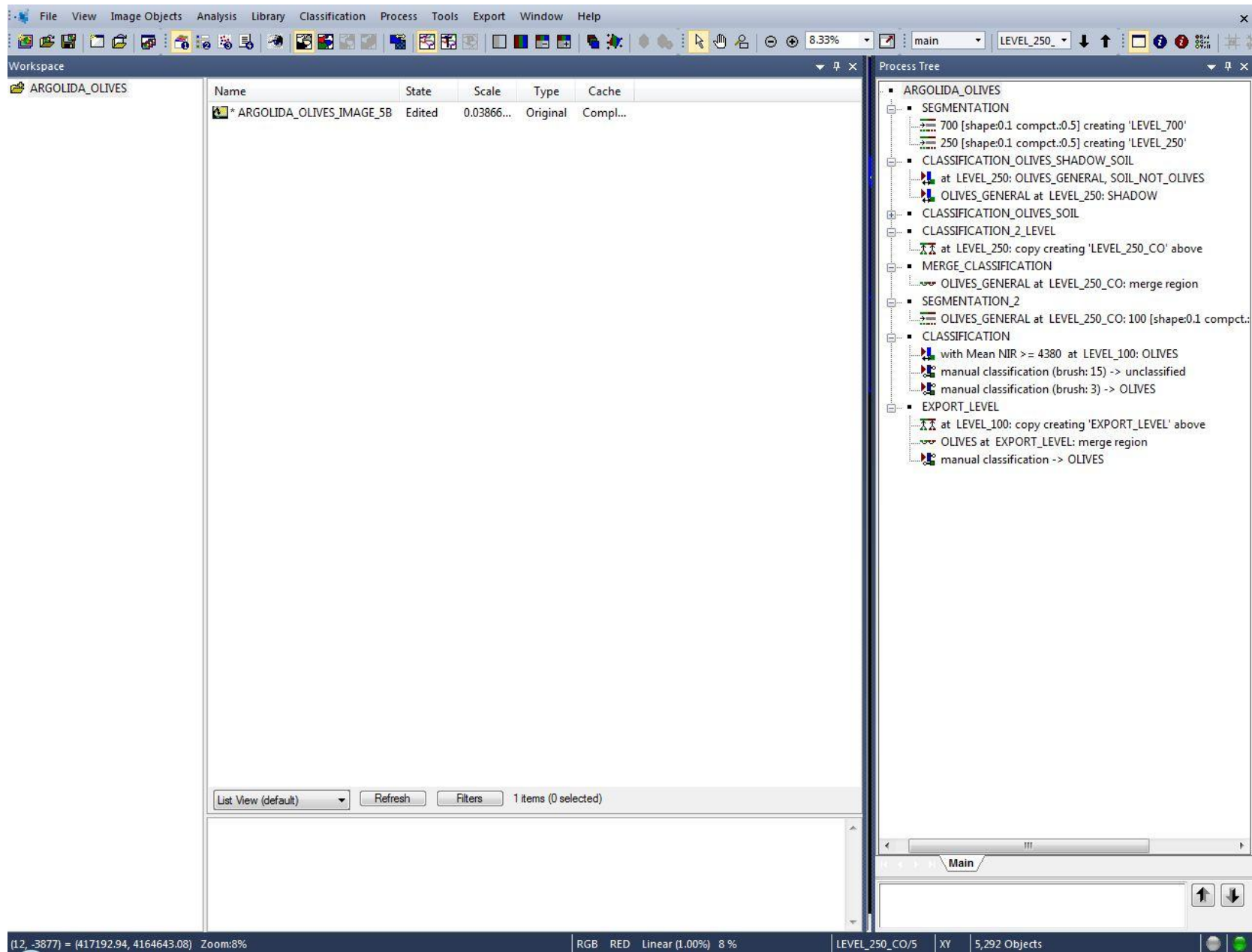
Το προϊόν που προέκυψε από την αντικειμενοστραφή ταξινόμησης της εικόνας του ορθομωσαϊκού ήταν ένα πολυγωνικό αρχείο, το οποίο περιείχε 205 πολύγωνα, ένα για κάθε δένδρο. Τα πολύγωνα αυτά ουσιαστικά αποτύπωσαν την επιφάνεια που καταλαμβάνει η κόμη του κάθε ελαιόδεντρου. Στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα των πολυγώνων που προέκυψαν μετά τη χειροκίνητη διόρθωσή τους σε περιβάλλον GIS, στην οποία είναι εμφανής η παρουσία σκιών λόγω της ώρας λήψης των εικόνων (μεσημεριανή-απογευματινή ώρα). Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε απαραίτητη η δημιουργία κλάσης κατά τη διαδικασία ταξινόμησης της εικόνας που να περιλαμβάνει τις σκιές, έτσι ώστε να απομονωθούν και να μην συμπεριληφθούν στα πολύγωνα της κόμης των ελαιόδεντρων. Στην Εικόνα 9 παρουσιάζονται οι κλάσεις οι οποίες τέθηκαν για την ταξινόμηση της εικόνας.



Εικόνα 9: Η ιεραρχία των κλάσεων που υιοθετήθηκε για την ταξινόμηση της εικόνας.

Γίνεται αντιληπτό ότι η ταξινόμηση των σκιών σε ξεχωριστή κλάση ήταν κάτι πολύ σημαντικό στην εξέλιξη της επεξεργασίας, καθώς η σύγχυση για την οριοθέτηση του περιγράμματος της κόμης των δένδρων αποφεύγεται και το αποτέλεσμα είναι αξιόπιστο. Επίσης, να επισημανθεί ότι σημαντικό ρόλο στην απομόνωση των σκιών έπαιξαν και τα όρια που τέθηκαν κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας για να αναγνωρισθούν και να ξεχωρίσουν οι κλάσεις που περιελάμβαναν τις σκιές, το έδαφος, την κόμη των δένδρων κλπ. Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται ιεραρχία των διαδικασιών της επεξεργασίας κατά την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση της εικόνας.

Η αποτελεσματικότητα της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης της εικόνας του αγροτεμαχίου ήταν μεγάλη, καθώς με αυτοματοποιημένη μέθοδο ψηφιοποιήθηκε το περίγραμμα της κόμης των δένδρων και δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα πολύγωνα, σε διανυσματικό αρχείο. Όμως, η χειροκίνητη επέμβαση ήταν απαραίτητη για την τελειοποίηση των πολυγώνων, έτσι ώστε να περιλαμβάνεται σε αυτά το σύνολο της κόμης και να οριοθετείται ανάλογα. Συγκεκριμένα, η επέμβαση στα πολύγωνα που δημιουργήθηκαν από το λογισμικό ήταν απαραίτητη κυρίως σε δένδρα τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση και οι κόμης τους ενώνονται σε κάποια σημεία. Έτσι, ο αλγόριθμος αναγνωρίζει την κόμη δύο δένδρων ως μία ενιαία και γι' αυτό χρειάστηκε ο διαχωρισμός του πολυγώνου. Ακόμη, επεμβάσεις έγιναν και σε πολύγωνα, τα οποία οι άκρες τους περιελάμβαναν τμήμα εδάφους ή τμήμα της κόμης του ελαιόδεντρου είχε μείνει εκτός πολυγώνου.



Εικόνα 10: Ιεραρχία επεξεργασιών κατά την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση της εικόνας.

ΧΑΡΤΗΣ ΟΡΙΩΝ ΚΟΜΗΣ ΕΛΑΙΟΔΕΝΔΡΩΝ



Εικόνα 11: Χάρτης ορίων κόμης ελαιόδεντρων.

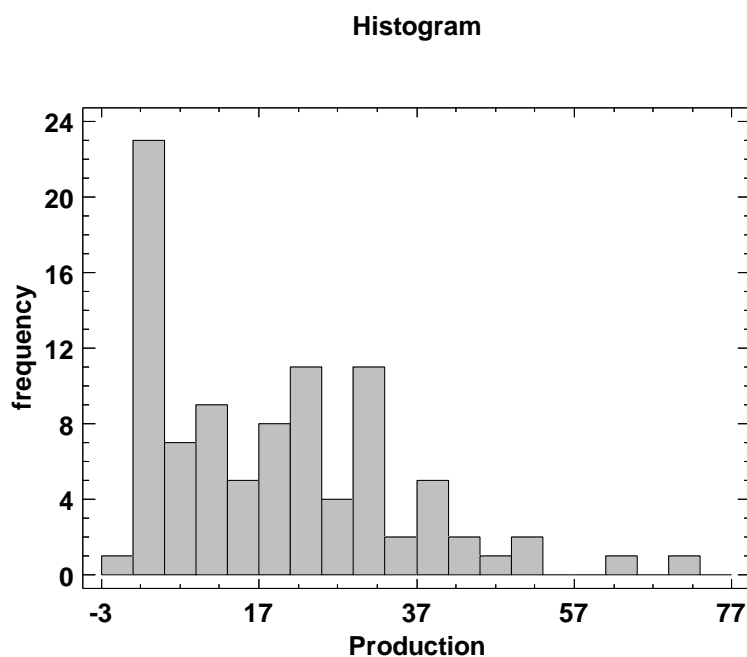
7.3 Μη Χωρική Στατιστική και Συσχετίσεις

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά μέτρα για την κατανομή κάθε δείγματος από τις αντίστοιχες μεταβλητές που μελετήθηκαν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία για κάθε μεταβλητή.

Παραγωγή (πεδίο Production)

Η κατανομή των τιμών της παραγωγής είναι τοποθετημένη γύρω από την τιμή 19,45, με το 48,4% πληθυσμού να βρίσκεται έως την τιμή 16. Όσον αφορά τη μεταβλητότητα, το παραπάνω δείγμα είναι ανομοιογενές ($CV=77,43\%$). Εκτείνεται από την τιμή 1 έως 72, σε ένα εύρος 71 μονάδων ($R=71$). Η μέση απόσταση των παρατηρήσεων από το μέσο τους είναι περίπου 15,06 ($s=15,06$). Από το ιστόγραμμα προκύπτει ότι η κατανομή παρουσιάζει εμφανή θετική ασυμμετρία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τιμή του τυποποιημένου συντελεστή λοξότητας, ο οποίος παρουσιάζει θετική τιμή, μεγαλύτερη του +2 ($\alpha=3,49$).

Η συγκεκριμένη κατανομή μπορεί να θεωρηθεί ως μία διπλή κατανομή, η πρώτη από την τιμή 1 έως την τιμή 20 και η δεύτερη από την τιμή 21 έως την τιμή 72. Αυτή η παρατήρηση υπέδειξε το διαχωρισμό που έγινε στα ελαιόδενδρα όσον αφορά την παραγωγή. Δηλαδή, τα δένδρα που είχαν παραγωγή έως 20 κιλά θεωρήθηκαν ότι

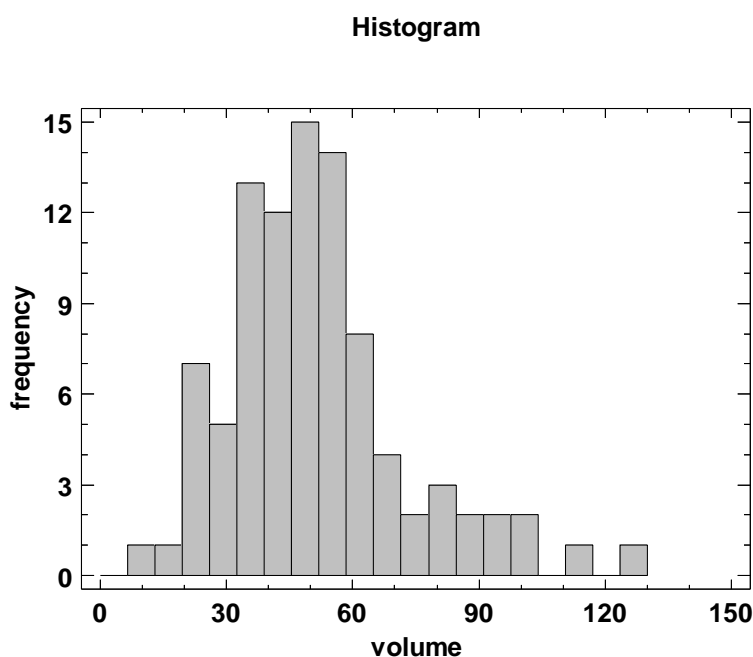


Γράφημα 4: Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας τιμών παραγωγής.

βρίσκονταν σε έτος παρειαυτοφορίας ή σε μη παραγωγικό έτος, ενώ τα δένδρα που είχαν παραγωγή άνω των 21 κιλών ελαιόκαρπου θεωρήθηκαν πως βρίσκονταν σε παραγωγικό έτος.

Επίγειος Όγκος (πεδίο volume)

Η κατανομή των τιμών του ΕΟ είναι τοποθετημένη γύρω από την τιμή 51,31, με το 58,06% πληθυσμού να βρίσκεται έως την τιμή 52,5. Όσον αφορά τη μεταβλητότητα, το παραπάνω δείγμα είναι ανομοιογενές ($CV=41,74\%$). Εκτείνεται από την τιμή 11,53 έως 126,31, σε ένα εύρος 114,78 μονάδων ($R=114,78$). Η μέση απόσταση των παρατηρήσεων από το μέσο τους είναι περίπου 21,42 ($s=21,42$). Από το ιστόγραμμα προκύπτει ότι η κατανομή παρουσιάζει εμφανή θετική ασυμμετρία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τιμή του τυποποιημένου συντελεστή λοξότητας, ο οποίος παρουσιάζει θετική τιμή, μεγαλύτερη του +2 ($\alpha=4$).



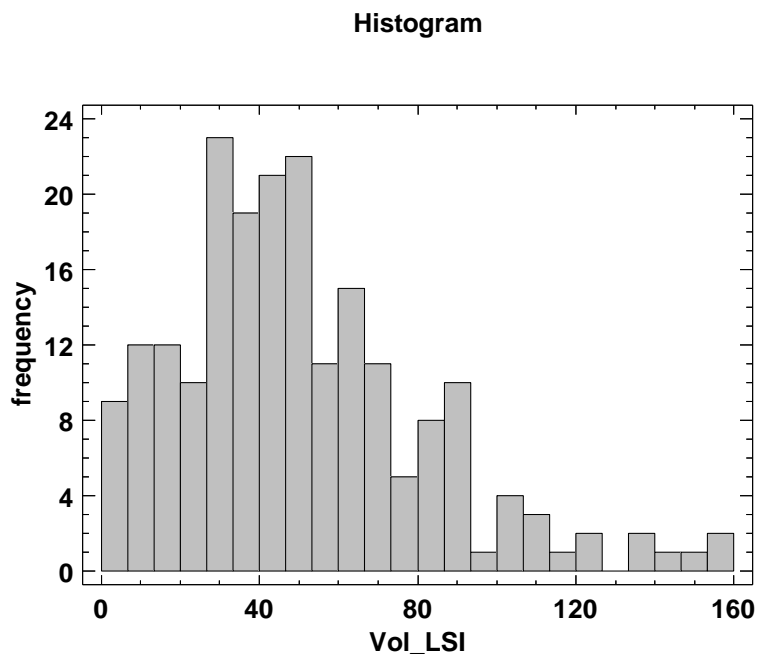
Γράφημα 5: Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας τιμών επίγειου όγκου.

Υπέργειος Όγκος (πεδίο Vol LSI)

Η κατανομή των τιμών του ΥΟ είναι τοποθετημένη γύρω από την τιμή 50,68, με το 80,5% του πληθυσμού να βρίσκεται έως την τιμή 73,3. Όσον αφορά τη μεταβλητότητα, το παραπάνω δείγμα είναι ανομοιογενές ($CV=61,8\%$). Εκτείνεται από την τιμή 1,59 έως 155,24, σε ένα εύρος 153,64 μονάδων ($R=153,64$). Η μέση

απόσταση των παρατηρήσεων από το μέσο τους είναι περίπου 31,33 ($s=31,33$). Από το ιστόγραμμα προκύπτει ότι η κατανομή παρουσιάζει εμφανή θετική ασυμμετρία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τιμή του τυποποιημένου συντελεστή λοξότητας, ο οποίος παρουσιάζει θετική τιμή, μεγαλύτερη του +2 ($\alpha=5,66$).

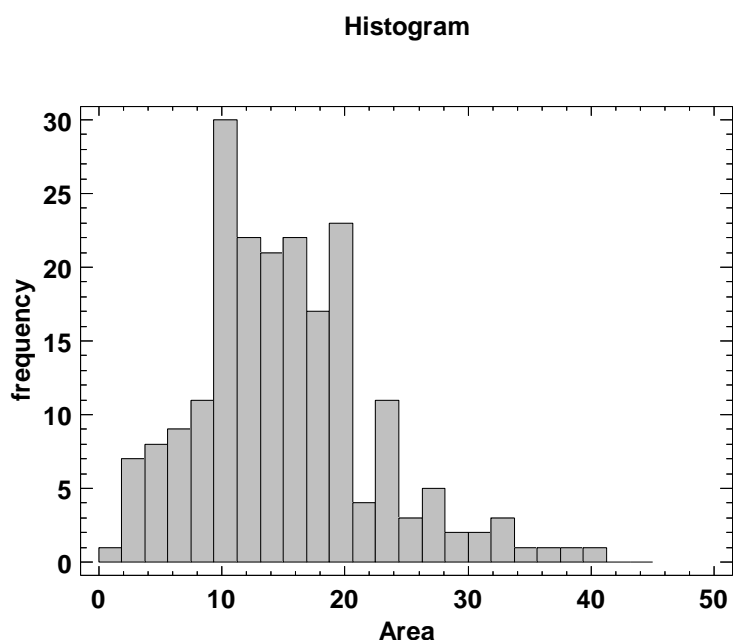
Στη συγκεκριμένη μεταβλητή παρατηρείται ότι η ελάχιστη τιμή του δείγματος είναι αρκετά χαμηλή, το οποίο πιθανότατα οφείλεται σε προφανές σφάλμα κατά την επεξεργασία και τον υπολογισμό του υπέργειου όγκου. Το σφάλμα αυτό μπορεί να οφείλεται και στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (πχ. πολυφασματικός αισθητήρας) κατά τη διάρκεια των υπέργειων μετρήσεων.



Γράφημα 6: Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας τιμών υπέργειου όγκου.

Επιφάνεια κόμης (πεδίο AREA)

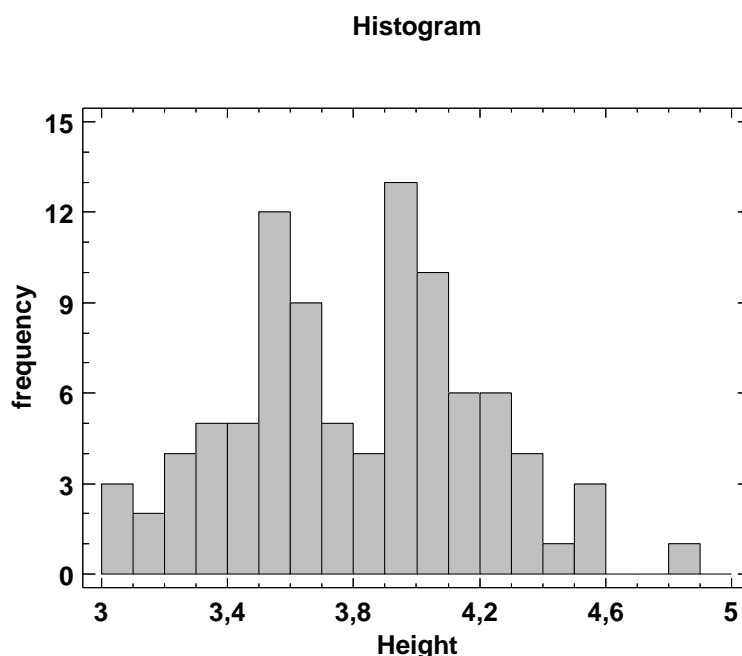
Η κατανομή των τιμών της επιφάνειας της κόμης των δένδρων είναι τοποθετημένη γύρω από την τιμή 15,13, με το 72,2% του πληθυσμού να βρίσκεται έως την τιμή 18,75. Όσον αφορά τη μεταβλητότητα, το παραπάνω δείγμα είναι ανομοιογενές ($CV=47,63\%$). Εκτείνεται από την τιμή 1,497 έως 40,77, σε ένα εύρος 39,27 μονάδων ($R=39,27$). Η μέση απόσταση των παρατηρήσεων από το μέσο τους είναι περίπου 7,2 ($s=7,2$). Από το ιστόγραμμα προκύπτει ότι η κατανομή παρουσιάζει εμφανή θετική ασυμμετρία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τιμή του τυποποιημένου συντελεστή λοξότητας, ο οποίος παρουσιάζει θετική τιμή, μεγαλύτερη του +2 ($\alpha=4,44$).



Γράφημα 7: Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας τιμών επιφάνειας κόμης.

Επίγειο ύψος (πεδίο Height)

Η κατανομή των τιμών του επίγειου ύψους των δένδρων είναι τοποθετημένη γύρω από την τιμή 3,82, με το 77,4% του πληθυσμού να βρίσκεται έως την τιμή 4,1. Όσον αφορά τη μεταβλητότητα, το παραπάνω δείγμα είναι ομοιογενές ($CV=10\%$). Εκτείνεται από την τιμή 3,05 έως 4,83, σε ένα εύρος 1,78 μονάδων ($R=1,78$). Η μέση απόσταση των παρατηρήσεων από το μέσο τους είναι περίπου 0,38 ($s=0,38$). Από το ιστόγραμμα προκύπτει ότι η κατανομή παρουσιάζει εμφανή θετική ασυμμετρία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τιμή του τυποποιημένου συντελεστή λοξότητας, ο οποίος παρουσιάζει θετική τιμή ($\alpha=0,23$).

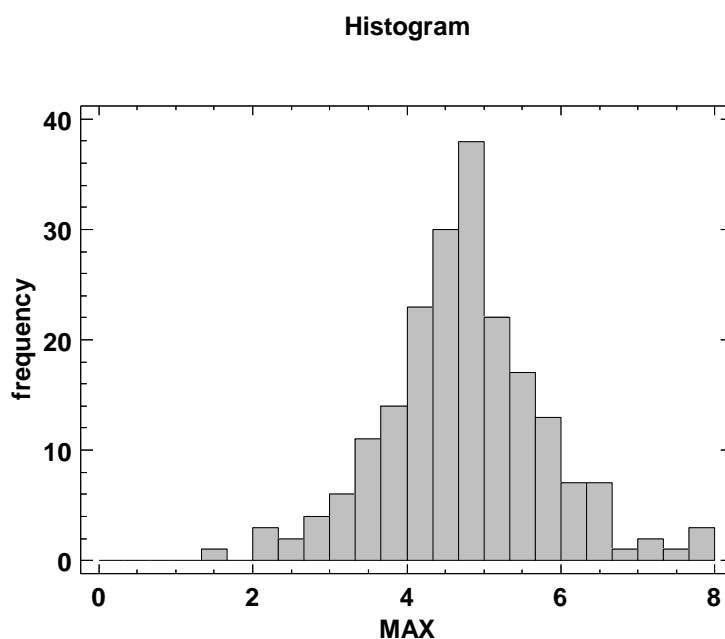


Γράφημα 8: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών επίγειου ύψους.

Υπέργειο ύψος (πεδίο MAX)

Η κατανομή των τιμών του υπέργειου ύψους των δένδρων είναι τοποθετημένη γύρω από την τιμή 4,74, με το 45,9% του πληθυσμού να βρίσκεται έως την τιμή 4,66. Όσον αφορά τη μεταβλητότητα, το παραπάνω δείγμα είναι ανομοιογενές ($CV=21,98\%$). Εκτείνεται από την τιμή 1,5 έως 7,89 σε ένα εύρος 6,39 μονάδων ($R=6,39$). Η μέση απόσταση των παρατηρήσεων από το μέσο τους είναι περίπου 1,04 ($s=1,04$). Από το ιστόγραμμα προκύπτει ότι η κατανομή παρουσιάζει εμφανή θετική ασυμμετρία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τιμή του τυποποιημένου συντελεστή λοξότητας, ο οποίος παρουσιάζει θετική τιμή ($\alpha=0,63$).

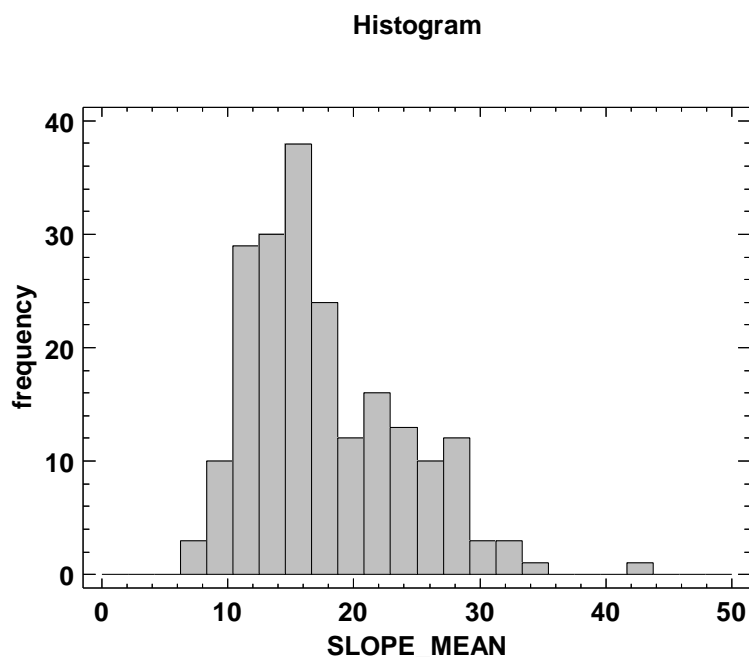
Να αναφερθεί ότι η μέγιστη τιμή που παρουσιάζεται ($\max=7,89$) είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις τιμές του ύψους των δένδρων που προσδιορίστηκαν επίγεια. Η παραπάνω τιμή πιθανώς να οφείλεται σε σφάλμα του αλγορίθμου κατά τον υπολογισμό του ύψους των δένδρων από τα υπέργεια δεδομένα.



Γράφημα 9: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών υπέργειου ύψους.

Κλίση (πεδίο SLOPE_MEAN)

Η κατανομή των τιμών της μέσης τιμής της κλίσης του εδάφους είναι τοποθετημένη γύρω από την τιμή 17,65, με το 79,02% του πληθυσμού να βρίσκεται έως την τιμή 22,91. Όσον αφορά τη μεταβλητότητα, το παραπάνω δείγμα είναι ανομοιογενές ($CV=34,42\%$). Εκτείνεται από την τιμή 7,91 έως 41,7 σε ένα εύρος 33,79 μονάδων ($R=33,79$). Η μέση απόσταση των παρατηρήσεων από το μέσο τους είναι περίπου 6,07 ($s=6,07$). Από το ιστόγραμμα προκύπτει ότι η κατανομή παρουσιάζει εμφανή θετική ασυμμετρία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τιμή του τυποποιημένου συντελεστή λοξότητας, ο οποίος παρουσιάζει θετική τιμή, μεγαλύτερη του +2 ($\alpha=4,97$).

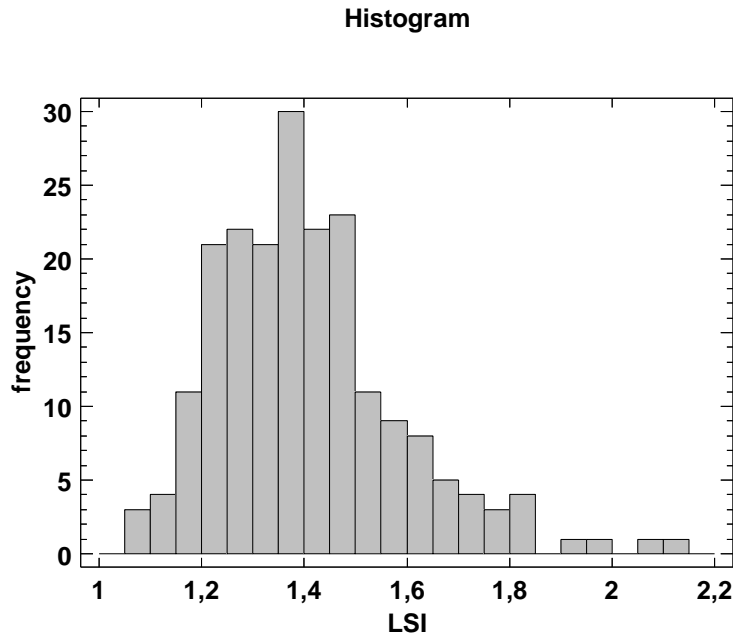


Γράφημα 10: Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας τιμών κλίσης εδάφους.

Τα παραπάνω στοιχεία επιβεβαιώνουν την παρουσία έντονου ανάγλυφου στο αγροτεμάχιο, όπως έχει προαναφερθεί ήδη σε προηγούμενο κεφάλαιο, καθώς παρατηρείται ότι η ελάχιστη τιμή κλίσης είναι περίπου 8% και η μέση τιμή να κυμαίνεται στο 17,65%, με τις μέγιστες τιμές να παρατηρούνται στους αναβαθμούς.

Δείκτης LSI (πεδίο LSI)

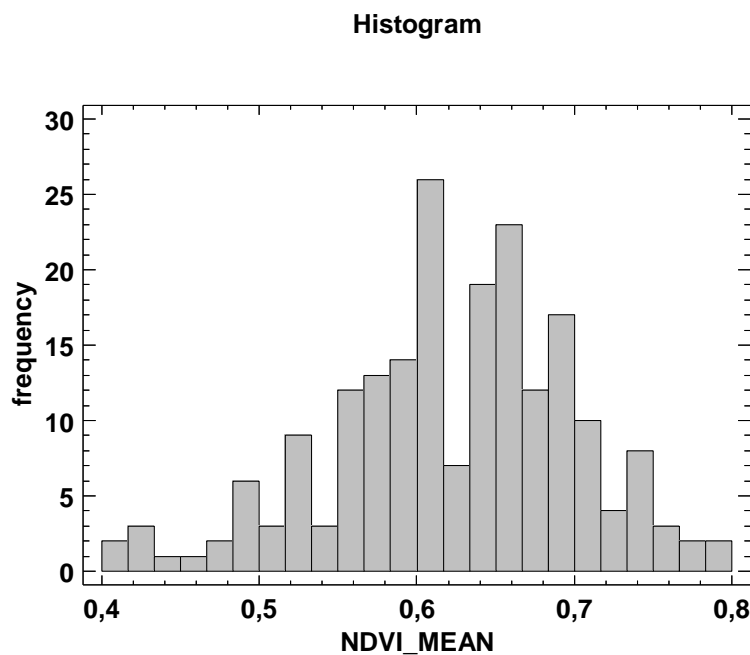
Η κατανομή των τιμών του δείκτη μετρικών τοπίου LSI είναι τοποθετημένη γύρω από την τιμή 1,41, με το 81,95% του πληθυσμού να βρίσκεται έως την τιμή 1,55. Όσον αφορά τη μεταβλητότητα, το παραπάνω δείγμα είναι ανομοιογενές (CV=12,93%). Εκτείνεται από την τιμή 1,07 έως 2,14 σε ένα εύρος 1,07 μονάδων (R=1,07). Η μέση απόσταση των παρατηρήσεων από το μέσο τους είναι περίπου 0,18 (s=0,18). Από το ιστόγραμμα προκύπτει ότι η κατανομή παρουσιάζει εμφανή θετική ασυμμετρία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τιμή του τυποποιημένου συντελεστή λοξότητας, ο οποίος παρουσιάζει θετική τιμή, μεγαλύτερη του +2 ($\alpha=5,92$).



Γράφημα 11: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών δείκτη μετρικών τοπίου LSI.

Δείκτης βλάστησης NDVI (πεδίο NDVI_MEAN)

Η κατανομή των τιμών του δείκτη βλάστησης NDVI είναι τοποθετημένη γύρω από την τιμή 0,62, με το 60% του πληθυσμού να βρίσκεται έως την τιμή 0,65. Όσον αφορά τη μεταβλητότητα, το παραπάνω δείγμα είναι ανομοιογενές (CV=12,93%). Εκτείνεται από την τιμή 0,34 έως 0,80 σε ένα εύρος 0,46 μονάδων (R=0,46). Η μέση απόσταση των παρατηρήσεων από το μέσο τους είναι περίπου 0,08 (s=0,08). Από το ιστόγραμμα προκύπτει ότι η κατανομή παρουσιάζει εμφανή



Γράφημα 11: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων τιμών δείκτη βλάστησης NDVI.

αρνητική ασυμμετρία. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τιμή του τυποποιημένου συντελεστή λοξότητας, ο οποίος παρουσιάζει αρνητική τιμή ($\alpha=-3,34$).

Πίνακας 2: Περιγραφικά στατιστικά μέτρα των μεταβλητών μελέτης

Μεταβλητή/ Περιγραφικό Μέτρο	Παραγωγή	Επίγειος Όγκος	Υπέργειος Όγκος	Επιφάνεια Κόμης	Επίγειο Ύψος	Υπέργειο Ύψος	Κλίση	LSI	NDVI
Πλήθος Τιμών (N)	93	93	205	205	93	205	205	205	205
Αριθμητικός Μέσος (Average)	19,45	51,31	50,68	15,13	3,82	4,74	17,65	1,41	0,62
Τυπική Απόκλιση (Standard Deviation)	15,06	21,42	31,33	7,20	0,38	1,04	6,07	0,18	0,08
Συντελεστής Μεταβλητότητας (CV)	77,43%	41,74%	61,80%	47,63%	10,04%	21,98%	34,42%	12,93%	13,08%
Ελάχιστο (Minimum)	1,0	11,53	1,59	1,497	3,05	1,5	7,91	1,07	0,34
Μέγιστο (Maximum)	72,0	126,31	155,24	40,77	4,83	7,89	41,70	2,14	0,80
Εύρος (R)	71,0	114,78	153,64	39,27	1,78	6,39	33,79	1,07	0,46
Τυποποιημένος Συντελεστής Λοξότητας (Std. skewness)	3,49	4,00	5,66	4,44	0,23	0,63	4,97	5,92	-3,34
Συντελεστής Κυρτότητας (Std. kurtosis)	1,42	2,92	3,17	2,63	-0,96	2,94	1,38	4,89	1,65

Οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών υπολογίστηκαν με τη χρήση του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης του Pearson. Το σύνολο των συσχετίσεων παρουσιάζονται στη συνέχεια στον Πίνακα 4.

Αναλυτικότερα, η παραγωγή (Production) εμφανίζει ασθενή γραμμική συσχέτιση με την επιφάνεια της κόμης των δένδρων (AREA), καθώς ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι $r=0,438$ ($p=0,01$). Ασθενή συσχέτιση παρουσιάζει και με τις μεταβλητές του επίγειου (volume) και υπέργειου (Vol_LSI) όγκου με το συντελεστή συσχέτισης να είναι σχεδόν ίδιος και στις δύο περιπτώσεις ($r=0,379$ και $r=0,38$ αντίστοιχα, $p=0,01$). Όμως, στην περίπτωση των παραγωγικών δένδρων ($Production>20$), η συσχέτιση που παρουσιάζει η παραγωγή με τους όγκους της κόμης αυξάνεται σε $r=0,665$ ($p=0,01$) για τον επίγειο και $r=0,589$ ($p=0,01$) για τον υπέργειο. Με τις υπόλοιπες μεταβλητές δεν παρουσιάζει γραμμική συσχέτιση. Άρα, η παραγωγή σχετίζεται γραμμικά με τον όγκο της κόμης των ελαιόδεντρων, οπότε ο όγκος της κόμης των δένδρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του όγκου της παραγωγής στα δένδρα τα οποία γνωρίζουμε ότι βρίσκονται σε έτος παραγωγής.

Η επιφάνεια της κόμης των ελαιόδεντρων (AREA) εμφανίζει ασθενή γραμμική συσχέτιση με το υπέργειο ύψος ($r=0,421$, $p=0,01$), με το επίγειο ύψος ($r=0,375$, $p=0,01$) και με το δείκτη βλάστησης NDVI ($r=0,361$, $p=0,01$). Ισχυρή συσχέτιση εμφανίζει με τον επίγειο όγκο, καθώς ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι $r=0,745$ ($p=0,01$) και πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση με τον υπέργειο όγκο ($r=0,92$, $p=0,01$). Αυτό συμβαίνει διότι στις εξισώσεις υπολογισμού του κάθε όγκου (εξισώσεις 1 και 3 αντίστοιχα), η μεταβλητή της επιφάνειας της κόμης των δένδρων περιλαμβάνεται και συμβάλλει στον προσδιορισμό τους.

Το υπέργειο ύψος (MAX) παρουσίασε ασθενή γραμμική συσχέτιση με το δείκτη βλάστησης NDVI ($r=0,44$, $p=0,01$), αλλά ισχυρή συσχέτιση με τον υπέργειο όγκο κόμης ($r=0,644$, $p=0,01$), καθώς συμμετέχει στον υπολογισμό του (εξίσωση 3).

Όσον αφορά το επίγειο ύψος, αν και συμμετέχει στον υπολογισμό του επίγειου όγκου κόμης, παρουσίασε μέτρια συσχέτιση ($r=0,54$, $p=0,01$) με αυτή τη μεταβλητή. Επίσης, εμφάνισε ασθενή συσχέτιση με τον υπέργειο όγκο ($r=0,301$, $p=0,01$) και με το δείκτη βλάστησης NDVI ($r=0,309$, $p=0,01$).

Αξιοσημείωτα ήταν τα αποτελέσματα στη συσχέτιση του υπέργειου και του επίγειου όγκου. Η συσχέτιση που εμφάνισαν στο σύνολο των παρατηρήσεων ήταν μέτρια με το συντελεστή γραμμικής συσχέτισης να είναι $r=0,66$ ($p=0,01$). Όμως, η

κατηγοριοποίηση των δένδρων ανάλογα με το δείκτη μετρικών τοπίου LSI είχε διαφορετικά αποτελέσματα. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση που έγινε και η συσχέτιση που είχαν οι δύο όγκοι.

Πίνακας 3: Συσχέτιση επίγειου και υπέργειου όγκου βάσει του σχήματος της κόμης των ελαιόδεντρων.

Σχήμα Κόμης Δένδρων	Τιμές Δείκτη LSI	Πλήθος Τιμών (N)	Συντελεστής Γραμμικής Συσχέτισης
Ωοειδές	1,0714 – 1,2500	16	0,735
Μέτριο	1,2501 – 1,4799	49	0,632
Ακανόνιστο	1,4800 – 2,1429	28	0,576

Εμφανής είναι ότι ο παράγοντας σχήμα της κόμης των δένδρων έχει σημαντικό ρόλο στη συσχέτιση των δύο όγκων. Επίσης, φαίνεται ότι όσο το σχήμα τείνει να είναι πιο στρογγυλό (ωοειδές), τόσο καλύτερη είναι η συσχέτιση των δύο όγκων. Εμφανίζεται λοιπόν διαβάθμιση στο βαθμό γραμμικής συσχέτισης των δύο μεταβλητών που κυμάνθηκε από ισχυρός, στα ωοειδή σχήματα, έως μέτρια στα πιο ακανόνιστα. Ακόμη, να αναφερθεί ότι ο υπέργειος όγκος κόμης δένδρων εμφάνισε ασθενή συσχέτιση με το δείκτη βλάστησης NDVI ($r=0,378$, $p=0,01$) και με το δείκτη LSI ($r=0,4$, $p=0,01$), ο οποίος συμμετέχει στον υπολογισμό του (εξίσωση 3).

Τέλος, η κλίση του εδάφους εμφάνισε συσχέτιση με την έκθεση του εδάφους, καθώς ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι ίσος με 0,504 ($p=0,05$). Όλες οι παραπάνω συσχετίσεις λήφθηκαν υπόψη για τη δημιουργία του μοντέλου πρόβλεψης παραγωγής που αναπτύσσεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Πίνακας 4: Συσχετίσεις μεταβλητών μελέτης.

Μεταβλητή		Production	AREA	MAX	Height	volume	Vol_LSI	NDVI_MEAN	ASPECT_MEAN	SLOPE_MEAN	LSI
Production	Pearson Correlation	1	,438**	,074	,074	,379**	,380**	,055	-,123	-,027	,093
	Sig. (2-tailed)		,000	,483	,482	,000	,000	,603	,241	,798	,376
	N	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
AREA	Pearson Correlation	,438**	1	,421**	,375**	,745**	,920**	,361**	-,099	-,190**	,276**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,160	,006	,000
	N	93	205	205	93	93	205	205	205	205	205
MAX	Pearson Correlation	,074	,421**	1	,159	,175	,644**	,440**	-,120	-,038	,124
	Sig. (2-tailed)	,483	,000		,127	,094	,000	,000	,087	,593	,076
	N	93	205	205	93	93	205	205	205	205	205
Height	Pearson Correlation	,074	,375**	,159	1	,540**	,301**	,309**	,255*	,168	-,005
	Sig. (2-tailed)	,482	,000	,127		,000	,003	,003	,014	,106	,960
	N	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
volume	Pearson Correlation	,379**	,745**	,175	,540**	1	,660**	,294**	,110	,182	,244*
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,094	,000		,000	,004	,295	,081	,019
	N	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
Vol_LSI	Pearson Correlation	,380**	,920**	,644**	,301**	,660**	1	,378**	-,086	-,126	,400**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,003	,000		,000	,218	,072	,000
	N	93	205	205	93	93	205	205	205	205	205
NDVI_MEAN	Pearson Correlation	,055	,361**	,440**	,309**	,294**	,378**	1	-,250**	-,054	,031
	Sig. (2-tailed)	,603	,000	,000	,003	,004	,000		,000	,445	,662
	N	93	205	205	93	93	205	205	205	205	205

ASPECT_MEAN	Pearson Correlation	-,123	-,099	-,120	,255*	,110	-,086	-,250**	1	,504**	,043
	Sig. (2-tailed)	,241	,160	,087	,014	,295	,218	,000		,000	,541
	N	93	205	205	93	93	205	205	205	205	205
SLOPE_MEAN	Pearson Correlation	-,027	-,190**	-,038	,168	,182	-,126	-,054	,504**	1	,023
	Sig. (2-tailed)	,798	,006	,593	,106	,081	,072	,445	,000		,739
	N	93	205	205	93	93	205	205	205	205	205
LSI	Pearson Correlation	,093	,276**	,124	-,005	,244*	,400**	,031	,043	,023	1
	Sig. (2-tailed)	,376	,000	,076	,960	,019	,000	,662	,541	,739	
	N	93	205	205	93	93	205	205	205	205	205

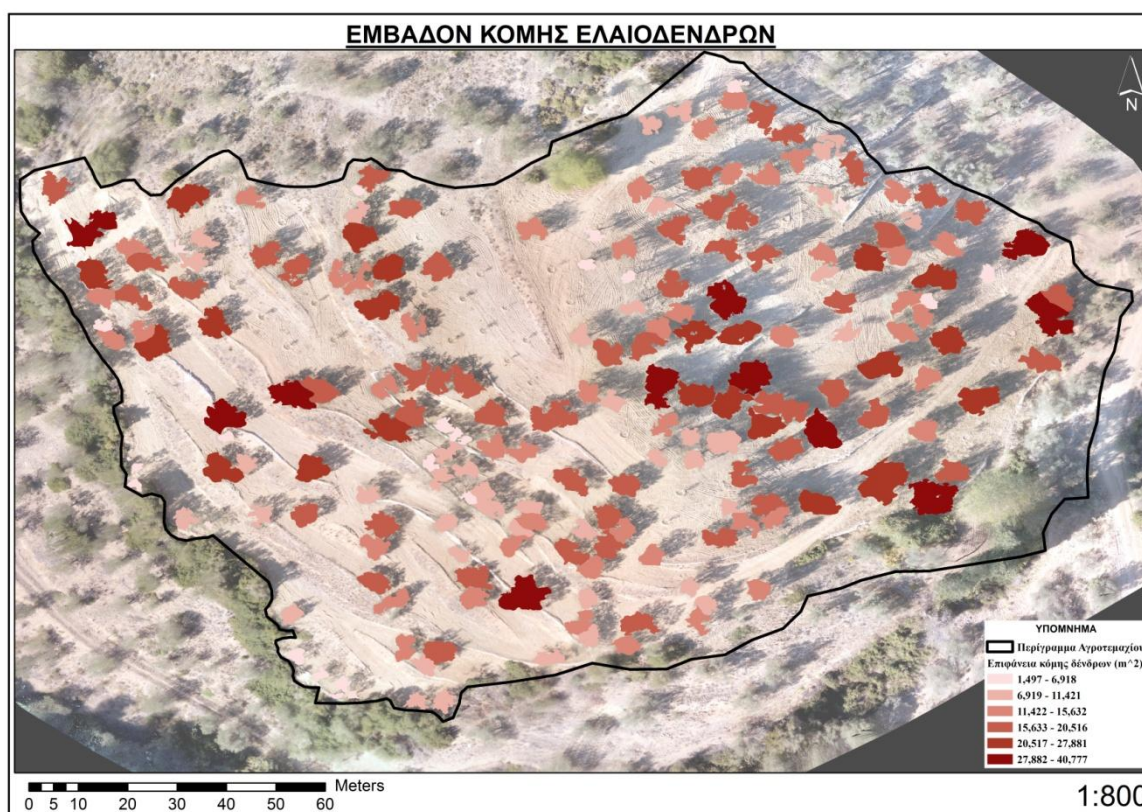
** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

7.4 Χωρικές Παρατηρήσεις

Εκτός της μη χωρικής στατιστικής ανάλυσης, οι τιμές των παραπάνω μεταβλητών αναλύθηκαν χωρικά σε περιβάλλον GIS και δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες. Από τη χωρική απεικόνιση των τιμών της κάθε μεταβλητής που μελετήθηκε προέκυψαν οι παρακάτω χωρικές παρατηρήσεις.

Οι τιμές της επιφάνειας κόμης των δένδρων που εκτιμήθηκε υπέργεια (σε m^2) εμφανίζουν υψηλότερες τιμές στη νοτιοανατολική πλευρά του αγροτεμαχίου, καθώς και σε στη βορειοδυτική. Για τα δένδρα που βρίσκονται στον κεντρικό τομέα παρατηρούνται μέτριες έως χαμηλές τιμές, όπως και σε εκείνα που βρίσκονται βορειοανατολικά και νοτιοδυτικά (Εικόνα 12).

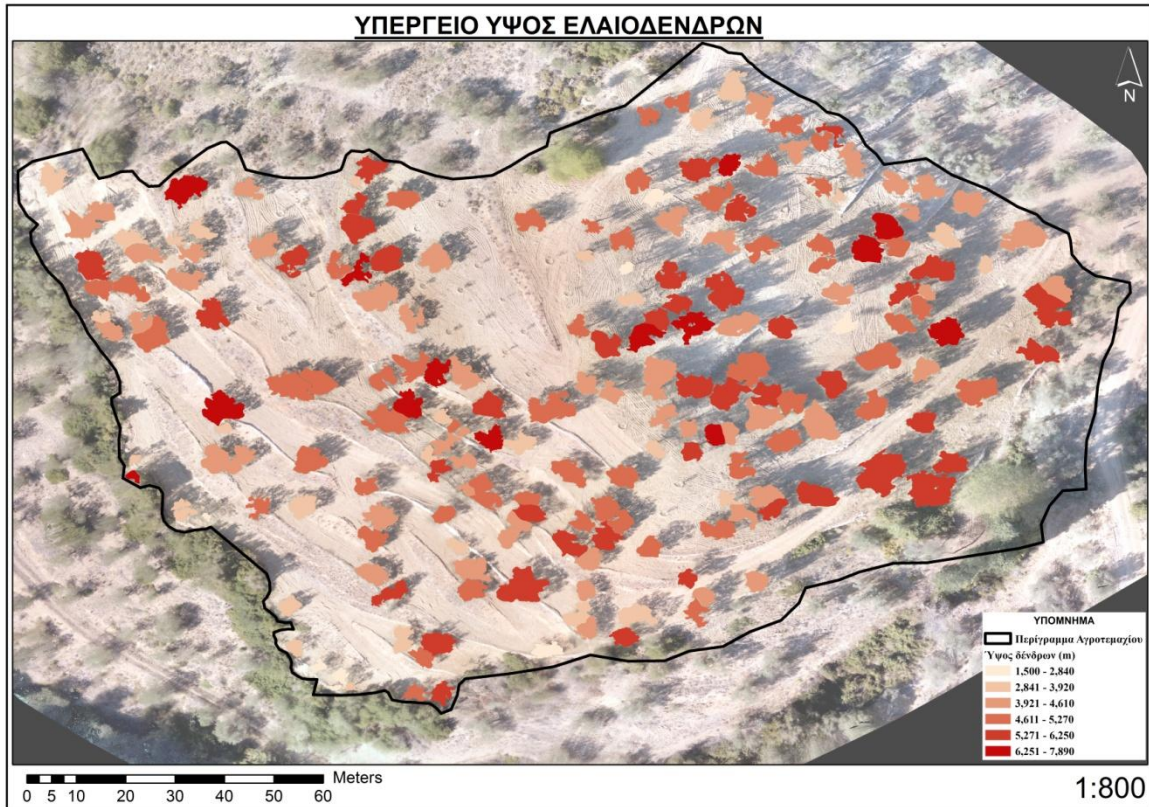


Εικόνα 12: Χάρτης κατανομής τιμών εμβαδού κόμης ελαιόδεντρων.

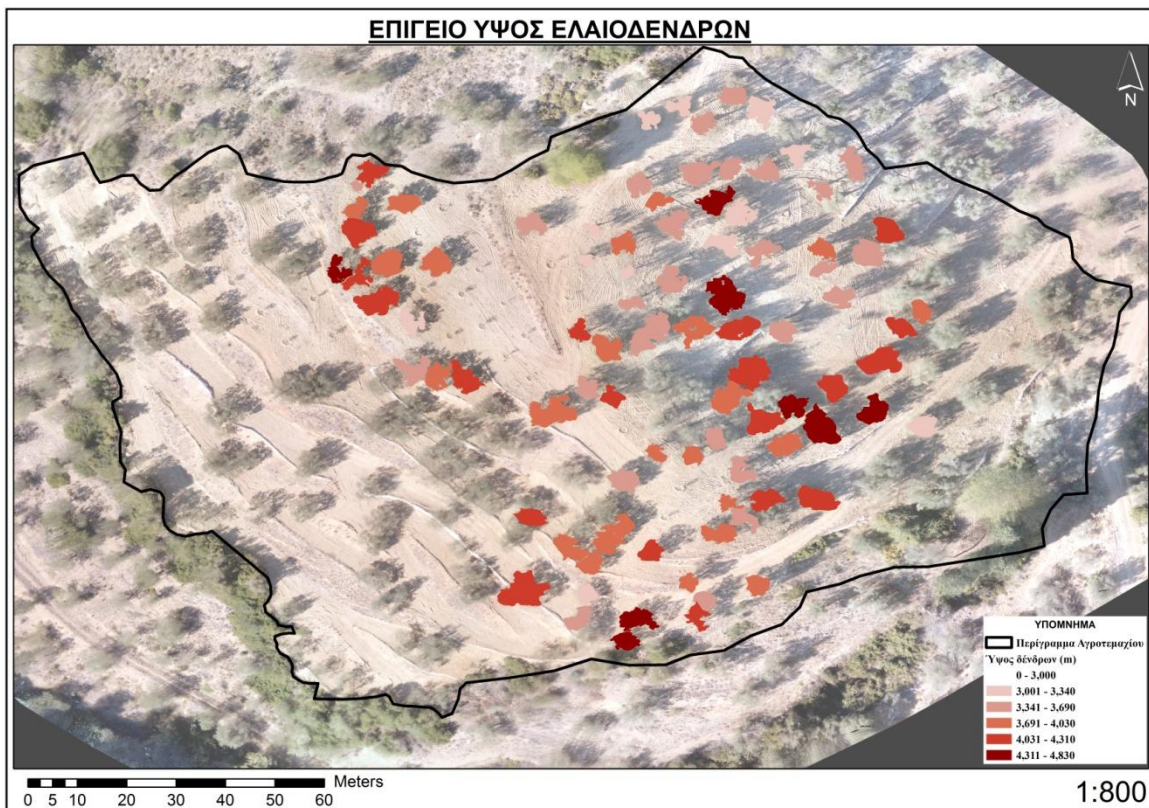
Το ύψος των δένδρων που υπολογίστηκε υπέργεια παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές στο ανατολικό τμήμα του αγρού κατά κύριο λόγο, με εξαίρεση κάποιες υψηλές τιμές οι οποίες παρατηρήθηκαν στη δυτική πλευρά και συγκεκριμένα βορειοδυτικά. Μέτριες τιμές εμφανίστηκαν στον κεντρικό τομέα και μέτριες έως χαμηλές στο νοτιοδυτικό τμήμα (Εικόνα 13).

Παρόμοιες και σχεδόν ίδιες ήταν και οι παρατηρήσεις για το επίγειο ύψος των ελαιόδεντρων, καθώς οι υψηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν νοτιοανατολικά και

λιγότερες στο βορειοδυτικό σημείο. Μέτριες τιμές εμφανίστηκαν στο κεντρικό τμήμα και χαμηλές έως μέτριες στο βόρειο-βορειοανατολικό τμήμα (Εικόνα 14).

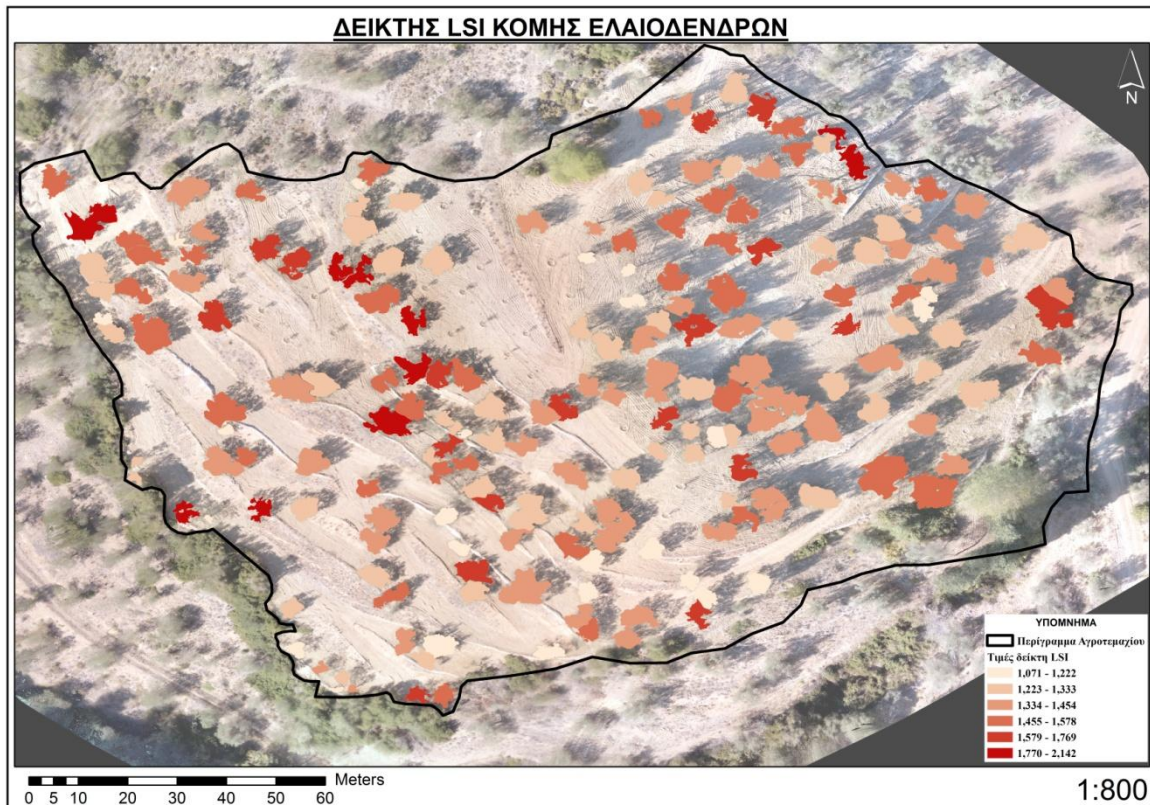


Εικόνα 13: Χάρτης κατανομής τιμών υπέργειου ύψους ελαιόδεντρων.



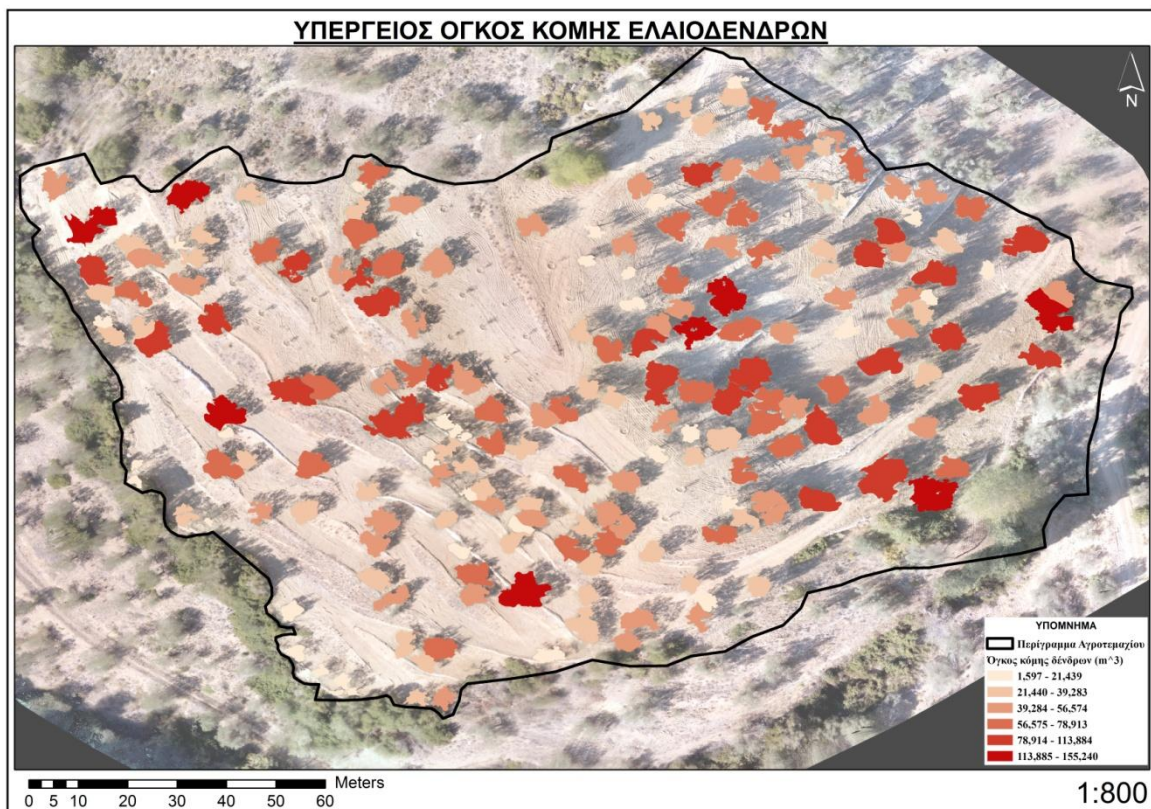
Εικόνα 14: Χάρτης κατανομής τιμών επίγειου ύψους ελαιόδεντρων.

Ο δείκτης μετρικών τοπίου LSI παρουσίασε ποικιλομορφία στη χωρική κατανομή των τιμών του. Οι υψηλότερες τιμές, άρα και δένδρα με πιο ακανόνιστο σχήμα κόμης παρατηρήθηκαν στα άκρα του αγροτεμαχίου και συγκεκριμένα στο βορειοδυτικό τμήμα. Επίσης, κάποιες υψηλές τιμές παρατηρήθηκαν και στο ανατολικό τμήμα. Οι χαμηλότερες τιμές, δηλαδή τα δένδρα με πιο ωοειδές σχήμα κόμης, εμφανίστηκαν στο κεντρικό τμήμα του αγρού, ενώ οι μέτριες τιμές κυριαρχούν κατά κύριο λόγο στο ανατολικό τμήμα (Εικόνα 15).



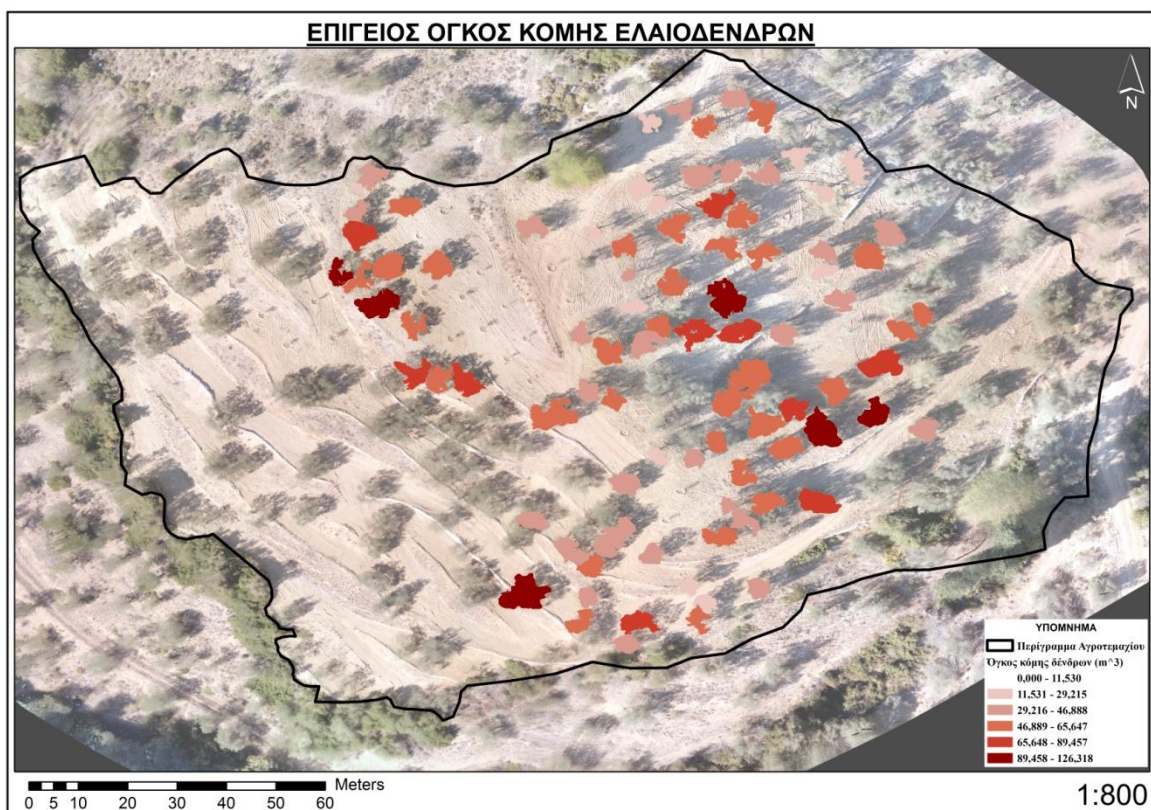
Εικόνα 15: Χάρτης κατανομής τιμών δείκτη LSI.

Όσον αφορά τις τιμές του υπέργειου όγκου της κόμης των δένδρων παρατηρήθηκαν υψηλότερες στην ανατολική πλευρά του αγρού και συγκεκριμένα νοτιοανατολικά, με κάποιες μέτριες έως υψηλές στο βορειοανατολικό τμήμα. Επίσης, υψηλές τιμές παρουσιάστηκαν με μικρότερη συγκέντρωση και στο βορειοδυτικό τμήμα του αγροτεμαχίου. Οι ελάχιστες τιμές εμφανίστηκαν στο κεντρικό και νοτιοδυτικό τμήμα του αγρού, με τις μέτριες τιμές να είναι διάσπαρτες σε όλο το τεμάχιο (Εικόνα 16).



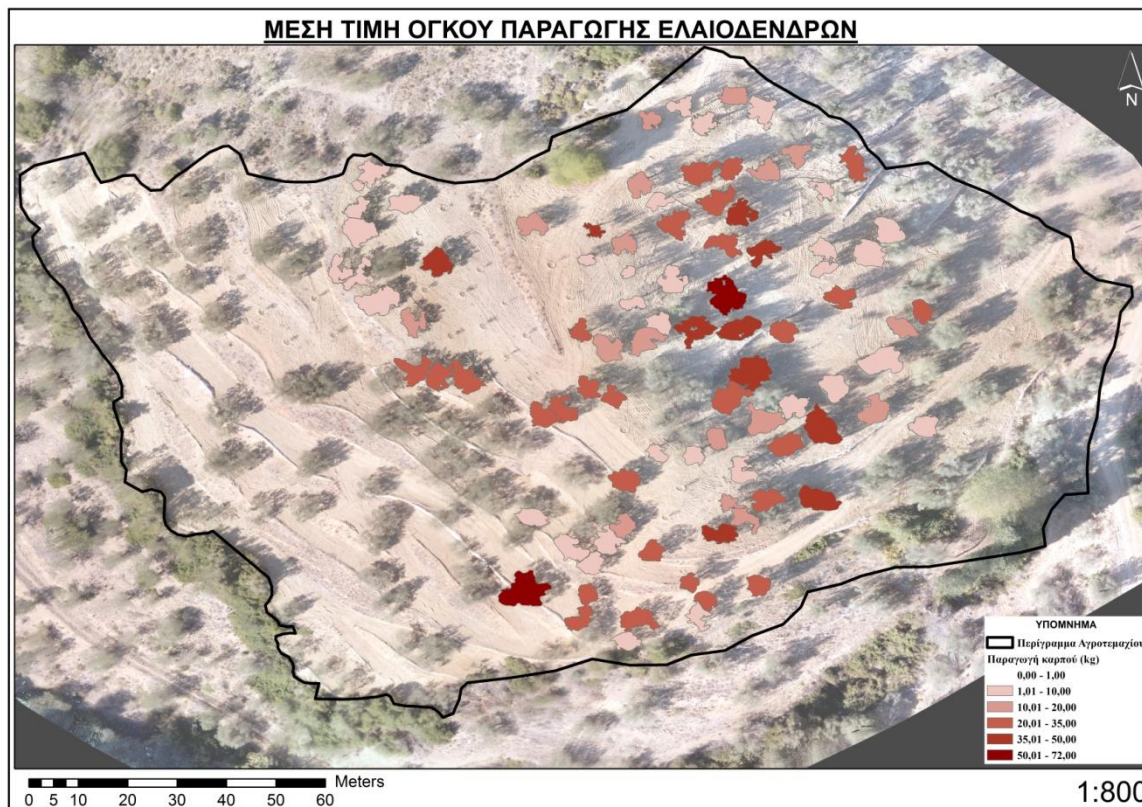
Εικόνα 16: Χάρτης κατανομής τιμών υπέργειου όγκου κόμης ελαιόδεντρων.

Οι τιμές του επίγειου όγκου της κόμης των δένδρων εμφάνισαν ανάλογη συμπεριφορά με εκείνες του υπέργειου όγκου. Συγκεκριμένα, υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στην ανατολική πλευρά, κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα και κάποιες ακόμη στο βορειοδυτικό. Χαμηλές τιμές κυριαρχούν στο κεντρικό τμήμα, της νότιας πλευράς του αγροτεμαχίου (Εικόνα 17).



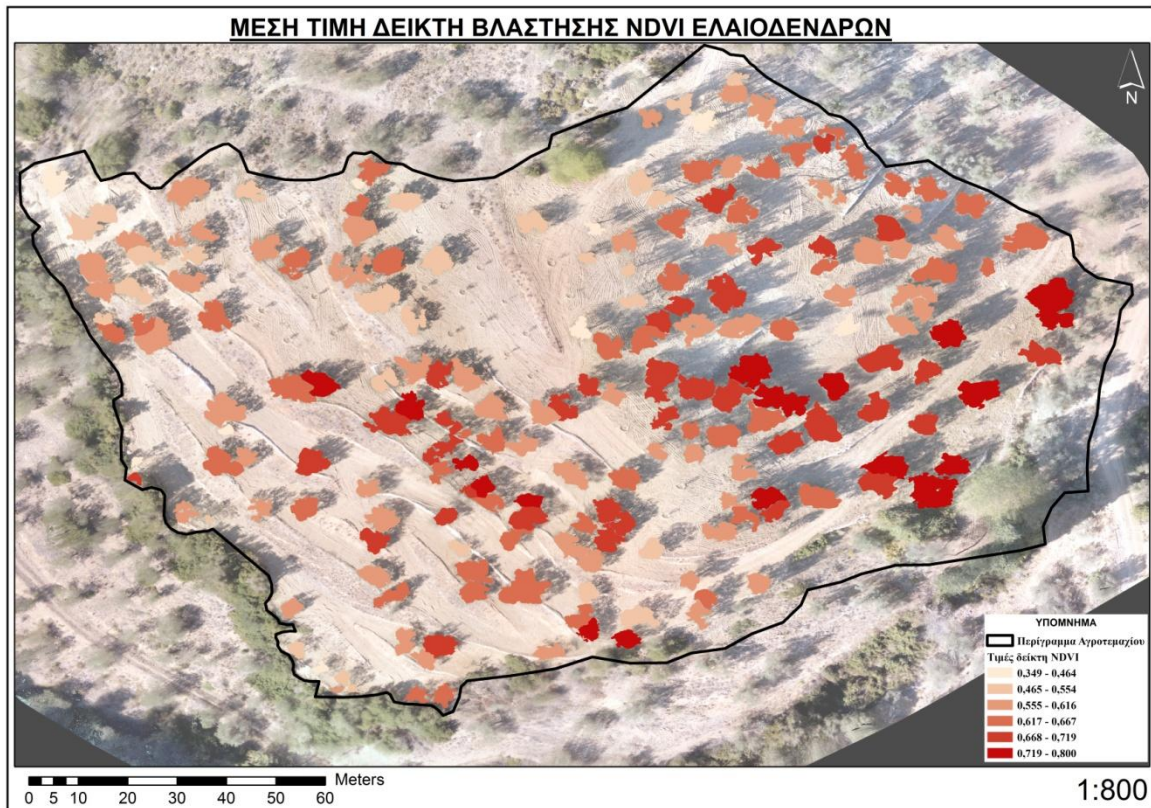
Εικόνα 17: Χάρτης κατανομής τιμών επίγειου όγκου κόμης ελαιόδεντρων.

Η παραγωγή των δένδρων σε κιλά ελαιόκαρπου παρουσίασε μέγιστες τιμές κυρίως στην ανατολική πλευρά του αγροτεμαχίου. Μέτριες τιμές παρατηρήθηκαν στο κεντρικό και βορειοανατολικό τμήμα, ενώ οι ελάχιστες τιμές εμφανίστηκαν στη δυτική πλευρά (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Χάρτης κατανομής μέσων τιμών όγκου παραγωγής ελαιόδεντρων.

Ο μέσος όρος της τιμής του δείκτη βλάστησης NDVI ανά κόμη ελαιόδεντρου παρουσίασε μέγιστες τιμές στο νοτιοανατολικό τμήμα του αγρού κατά κύριο λόγο, με κάποιες ακόμη να παρατηρούνται στην κεντρική προς δυτική πλευρά. Μέτριες τιμές παρατηρήθηκαν στο νοτιοδυτικό και βορειοανατολικό τμήμα, με τις ελάχιστες τιμές να εμφανίζονται στο βορειοδυτικό τμήμα και κάποιες ακόμα στο βορειο-βορειοανατολικό (Εικόνα 19).

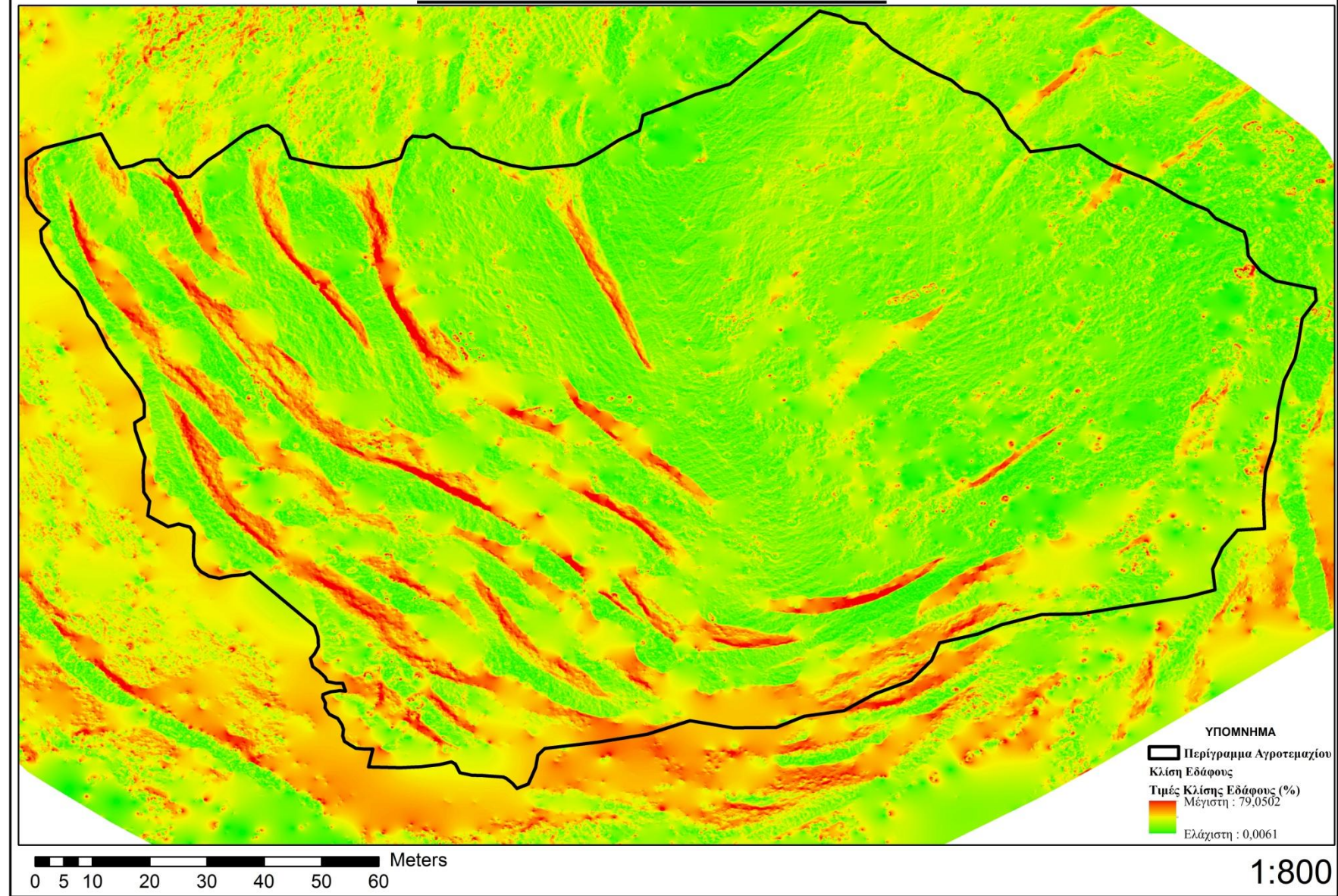


Εικόνα 19: Χάρτης κατανομής μέσω των τιμών δείκτη βλάστησης NDVI ανά δένδρο.

Όσον αφορά τις τιμές της κλίσης που παρατηρήθηκαν, το αγροτεμάχιο παρουσιάζει μία σχετική ομοιομορφία στην κατανομή τους. Σε όλη την έκτασή του οι τιμές της κλίσης του εδάφους κινούνται στα ίδια επίπεδα. Εξάιρεση αποτελεί το κεντρικό τμήμα της βορειοανατολικής πλευράς, το οποίο εμφανίζει ελαφρώς υψηλότερες τιμές (Εικόνα 20).

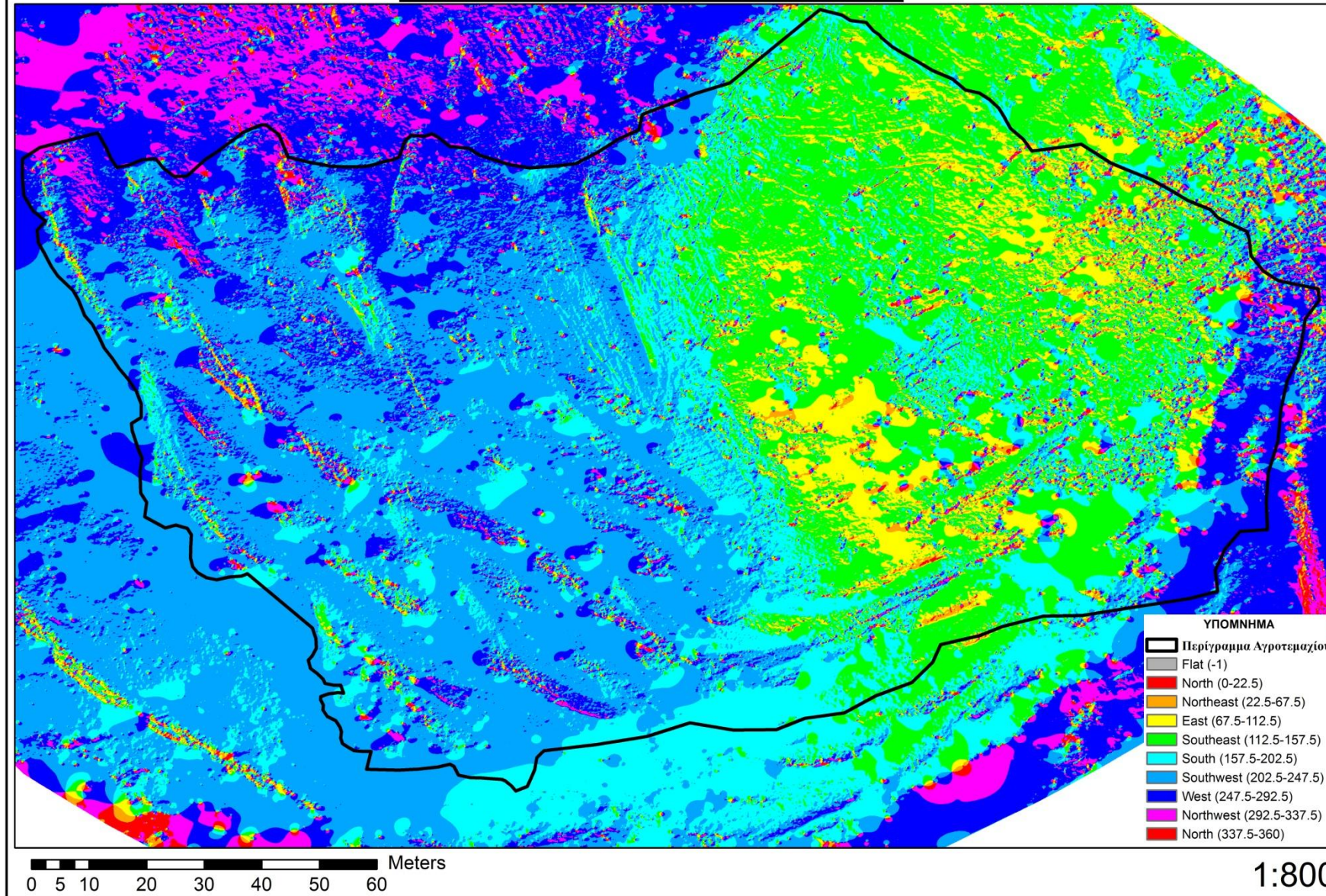
Τέλος, η έκθεση των δένδρων παρουσίασε την ακόλουθη κατηγοριοποίηση. Σε ανατολική έκθεση βρίσκονται 10 (4,88%) δένδρα, σε νότια έκθεση 19 (9,27%) δένδρα και σε δυτική έκθεση 9 (4,39%) δένδρα. Οι δύο εκθέσεις που παρατηρήθηκαν με το υψηλότερο ποσοστό δένδρων είναι η νοτιοανατολική με 74 (36,1%) δένδρα και η νοτιοδυτική με 93 (45,37%) δένδρα. Δηλαδή, τα μισά δένδρα έχουν δυτική έκθεση και τα υπόλοιπα μισά να έχουν ανατολική. Μικρός αριθμός δένδρων έχει μόνο νότια (Εικόνα 21).

ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ



Εικόνα 20: Χάρτης κλίσης εδάφους αγροτεμαχίου.

ΕΚΘΕΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ



Εικόνα 21: Χάρτης έκθεσης εδάφους αγροτεμαχίου.
[95]

Συνοψίζοντας τις παραπάνω χωρικές παρατηρήσεις, στο σύνολο των παραγόντων που μελετήθηκαν για τη χωρική τους κατανομή παρουσιάστηκε συγκέντρωση των υψηλότερων τιμών στο ανατολικό τμήμα και κυρίως νοτιοανατολικά. Επίσης, υψηλές τιμές σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν δυτικά και κυρίως βορειοδυτικά. Όσον αφορά τις ελάχιστες τιμές, εμφανίστηκαν στο βορειοανατολικό και νοτιοδυτικό τμήμα στις περισσότερες περιπτώσεις. Γενικότερα, οι μέγιστες τιμές συγκεντρώνονται στο νότιο τμήμα του αγροτεμαχίου αντίθετα με το βόρειο, στο οποίο εντοπίζονται οι χαμηλότερες και ελάχιστες τιμές.

7.5 Μοντέλο Πρόβλεψης Παραγωγής

Ένας από τους βασικούς στόχους της παρούσας μελέτης ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης της παραγωγής των ελαιόδεντρων, με τη χρήση των μεταβλητών που υπολογίσθηκαν και αναλύθηκαν. Το παρόν μοντέλο αφορά μόνο τα δένδρα τα οποία βρίσκονταν σε παραγωγικό έτος, συνολικά σαράντα, και όχι σε μη παραγωγικό έτος, ή έτος παρενιαυτοφορίας. Η επιλογή αυτή έγινε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, βάσει της παραγωγής του κάθε δένδρου, θέτοντας ως κατώτατο όριο τα 20 κιλά ελαιόκαρπου.

Ως εξαρτημένη μεταβλητή ορίστηκε η παραγωγή (Production). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά ήταν: η μέση τιμή του δείκτη βλάστησης NDVI ανά δένδρο (NDVI_MEAN), η μέση τιμή της κλίσης του εδάφους (SLOPE_MEAN), ο επίγειος όγκος της κόμης (volume) και η επιφάνεια της κόμης (AREA). Όμως, όπως παρουσιάστηκε και στο αντίστοιχο κεφάλαιο, η ισχυρή συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ του επίγειου και υπέργειου όγκου και της επιφάνειας της κόμης των δένδρων ($r=0,745$, $p=0,01$ και $r=0,92$, $p=0,01$ αντίστοιχα) ήταν αποτρεπτική λόγω πολυσυγγραμμικότητας για τη συμμετοχή και των δύο μεταβλητών. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η συμμετοχή της μεταβλητής του όγκου της κόμης, καθώς η επιφάνεια της κόμης περιλαμβάνεται στην εξίσωση του υπολογισμού του όγκου.

Η εξίσωση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που προσδιορίστηκε από τις παρατηρήσεις των 40 δένδρων και είχε τιμή συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,59$. Η εξίσωση του μοντέλου είναι:

$$\text{Production}=45,104-36,362\times\text{NDVI_MEAN}-0,551\times\text{SLOPE_MEAN}+0,364\times\text{volume}$$

(4)

Στην εξίσωση 4 συμμετέχουν δύο ανεξάρτητες μεταβλητές (μέση τιμή δείκτη βλάστησης NDVI και κλίσης), οι οποίες προκύπτουν από τις υπέργειες μετρήσεις και υπολογίζονται από τα προϊόντα επεξεργασίας τους και μία (επίγειος όγκος κόμης δένδρων) η οποία υπολογίζεται από τις επίγειες μετρήσεις.

Πίνακας 5: Πίνακας ANOVA πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την εξίσωση 4.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2651,065	3	883,688	17,396	,000 ^a
	Residual	1828,710	36	50,797		
	Total	4479,775	39			

Πίνακας 6: Πίνακας συντελεστών πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την εξίσωση 4.

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	45,104	10,401		4,336	,000
	NDVI_MEAN	-36,362	16,926	-,242	-2,148	,038
	volume	,364	,053	,777	6,864	,000
	SLOPE_MEAN	-,551	,190	-,310	-2,898	,006

Για την πρακτικότητα και εφαρμοστικότητα του μοντέλου, έτσι ώστε όλες οι μεταβλητές να υπολογίζονται από τις υπέργειες μετρήσεις, ο επίγειος όγκος (volume) αντικαταστάθηκε με τον υπέργειο όγκο κόμης των δένδρων (Vol_LSI). Έτσι, η νέα εξίσωση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που προσδιορίστηκε από τις παρατηρήσεις των 40 δένδρων και είχε τιμή συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,57$. Η εξίσωση του μοντέλου είναι:

$$\text{Production}=63,143-60,512 \times \text{NDVI_MEAN}-0,576 \times \text{SLOPE_MEAN}+0,293 \times \text{Vol_LSI} \quad (5)$$

Πίνακας 7: Πίνακας ANOVA πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την εξίσωση 5.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2543,418	3	847,806	15,762	,000 ^a
	Residual	1936,357	36	53,788		
	Total	4479,775	39			

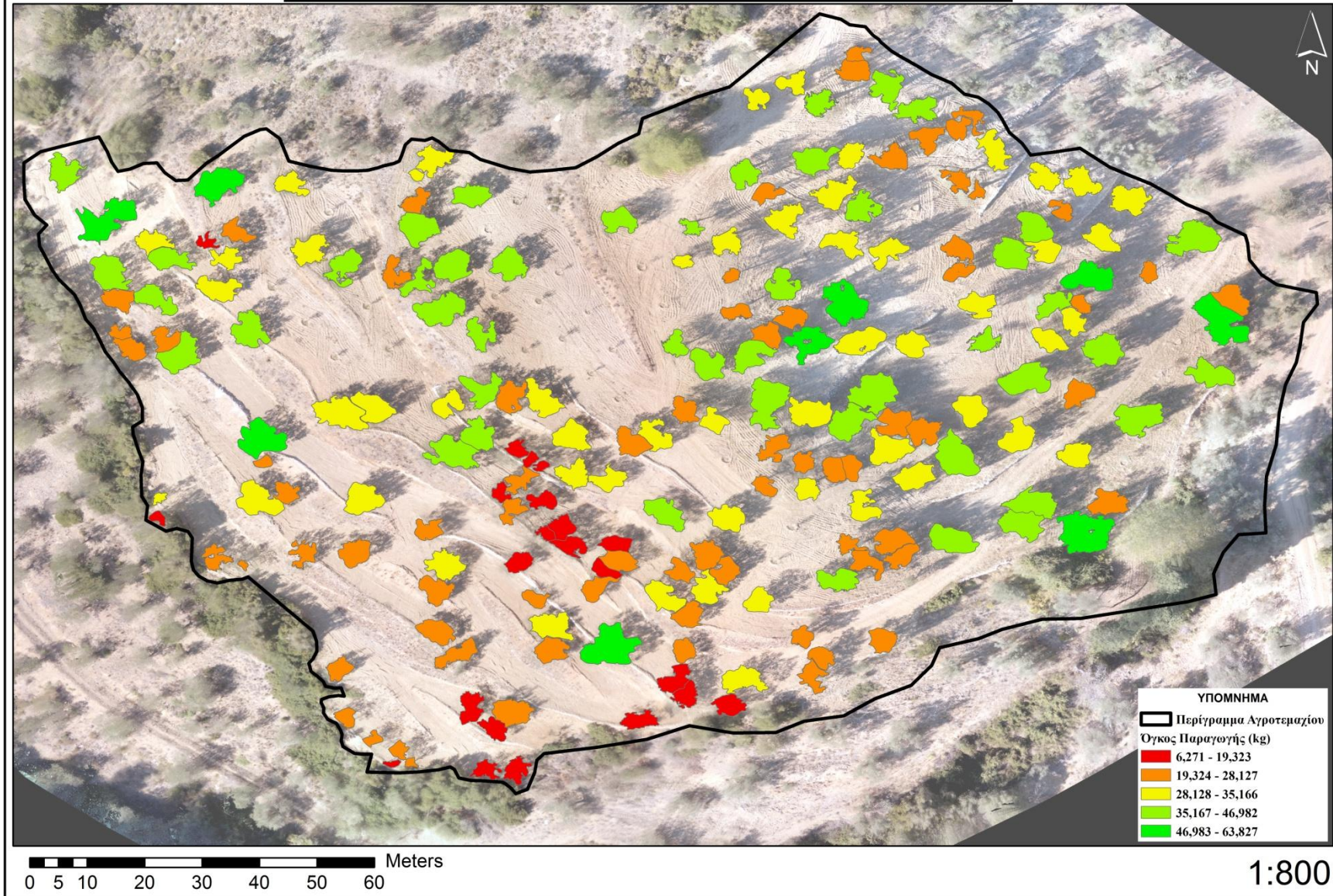
Πίνακας 8: Πίνακας συντελεστών πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την εξίσωση 5.

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	63,143	11,251		5,612	,000
	NDVI_MEAN	-60,512	19,010	-,403	-3,183	,003
	SLOPE_MEAN	-,576	,196	-,325	-2,938	,006
	Vol_LSI	,293	,045	,831	6,519	,000

Παρατηρείται ότι η αξιοπιστία της πρόβλεψης είναι παρόμοια και στα δύο μοντέλα που δημιουργήθηκαν. Να επισημανθεί ότι στην ανάπτυξη του μοντέλου συμμετέχει η μεταβλητή της μέσης τιμής της κλίσης του εδάφους, η οποία αποτελεί κομβικό παράγοντα στο συγκεκριμένο αγροτεμάχιο, λόγω της παρουσίας του έντονου ανάγλυφου. Ο συγκεκριμένος παράγοντας, όπως και ο δείκτης βλάστησης NDVI, από την έως σήμερα διαθέσιμη βιβλιογραφία, δεν έχουν συμπεριληφθεί στη δημιουργία και ανάπτυξη παρόμοιων μοντέλων.

Η εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης της παραγωγής με την εξίσωση 5 παρουσιάζεται στην Εικόνα 22, στην οποία εμφανίζεται ο θεματικός χάρτης για το σύνολο των ελαιόδεντρων του αγροτεμαχίου.

ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΛΑΙΟΔΕΝΔΡΩΝ



Εικόνα 22: Χάρτης πρόβλεψης όγκου παραγωγής των ελαιόδεντρων του αγροτεμαχίου μελέτης.
[100]

Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα – Συζήτηση

8.1 Συμπεράσματα

Η μελέτη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων, τη στατιστική ανάλυση και την παρατήρηση της χωρικής κατανομής των δεδομένων οδήγησε στη εξαγωγή συμπερασμάτων, τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Αρχικά, παρατηρήθηκε η μέτρια συσχέτιση των περισσότερων μεταβλητών μεταξύ τους. Σε αυτό πιθανότατα συνέβαλαν αρκετοί παράγοντες. Ένας από αυτούς είναι τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά του πολυφασματικού αισθητήρα, που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη των εικόνων από τις οποίες προέκυψε το ορθομοσαϊκό, να μην ήταν τα κατάλληλα και αυτά που απαιτούνταν στη συγκεκριμένη μελέτη. Για παράδειγμα, η ανάλυση και η διακριτική ικανότητα του αισθητήρα να μην ήταν επαρκής, έτσι ώστε να γίνει ο καλύτερος δυνατός προσδιορισμός της κόμης των ελαιόδεντρων. Συνεπώς, οι επεξεργασίες που έγιναν με τα διαθέσιμα μέσα οδήγησαν σε αποκλίσεις είτε ανεπαίσθητες σε κάποιες μεταβλητές, είτε σημαντικές σε άλλες. Άρα, η απόκλιση που παρατηρήθηκε για παράδειγμα στον υπολογισμό του επίγειου και του υπέργειου όγκου οφείλεται στον παραπάνω παράγοντα.

Επίσης, όπως αναφέρθηκε και στο αντίστοιχο κεφάλαιο της μη χωρικής στατιστικής, στον υπολογισμό του ύψους και του όγκου των δένδρων που πραγματοποιήθηκε υπέργεια παρατηρήθηκαν σφάλματα. Για παράδειγμα, υπολογίστηκε μέγιστο ύψος δένδρου με τιμή 1,5 m, το οποίο είναι μη φυσιολογικό και σχεδόν απίθανο για τα ελαιόδενδρα που καλλιεργούνται στο συγκεκριμένο αγροτεμάχιο. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην ποιότητα του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας στο συγκεκριμένο τμήμα. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους δημιουργήθηκε από τις εικόνες που λήφθηκαν μέσω του πολυφασματικού αισθητήρα. Άρα, οι υπέργειοι υπολογισμοί που έγιναν μέσω του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας ενδεχομένως να περιέχουν σφάλματα λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών του αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε και δεν είχε την εφαρμογή που πιθανώς να απαιτούνταν στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Μία ακόμη παράμετρος η οποία συνέβαλε στην παραπάνω παρατήρηση είναι η τοπογραφία του αγροτεμαχίου. Όπως έχει αναφερθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο

παρουσίασης του πειραματικού αγρού στη συγκεκριμένη περιοχή κυριαρχεί το έντονο ανάγλυφο, με υψηλό ποσοστό κλίσης εδάφους. Ο συγκεκριμένος παράγοντας μπορεί να έχει διάφορες επιπτώσεις, όπως η ανομοιομορφία στην ανάπτυξη των δένδρων, η δημιουργία ζωνών εντός του ίδιου του αγροτεμαχίου στις οποίες το έδαφος να είναι πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία, να έχει διαφορετική κοκκομετρική σύσταση, να έχει υποστεί διάβρωση από το νερό κλπ. Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στην ανομοιομορφία και ανισοκατανομή των δένδρων σχετικά με τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, αλλά και με την παραγωγή τους. Σε αντίθεση, ένας γραμμικός ελαιώνας, ο οποίος βρίσκεται σε εδάφη με μικρότερο ποσοστό κλίσης και ηπιότερο ανάγλυφο παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιογένεια χαρακτηριστικών των δένδρων του, οπότε και η συσχέτιση των μεταβλητών που εξετάζονταν πιθανώς να ήταν ισχυρότερη.

Ακόμη, παρατηρήθηκαν ποικίλα σφάλματα κατά τη διάρκεια και μετά την επεξεργασία των δεδομένων. Για παράδειγμα, μετά την ταξινόμηση της εικόνας παρατηρήθηκε ότι η κόμη των δένδρων δεν είχε ψηφιοποιηθεί απόλυτα. Δηλαδή, το πολύγωνο της κόμης των δένδρων είτε συμπεριλάμβανε τμήμα εδάφους, είτε ήταν μικρότερο από την κόμη που απεικονίζονταν. Για το λόγο αυτό ήταν απαραίτητη και η διόρθωση των πολυγώνων. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι στο πιθανό σφάλμα λαμβάνονται υπόψη τα όποια σφάλματα και αστοχίες που πιθανώς να προέκυψαν από τα λογισμικά επεξεργασίας.

Οι διάφορες προσπάθειες που έγιναν για την απομόνωση του περιγράμματος της κόμης των δένδρων και τη δημιουργία αντίστοιχων πολυγώνων μέσω διαφορετικών διαδικασιών σε σχέση με την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση που εφαρμόστηκε εν τέλει, όπως χρήση του δείκτη βλάστησης NDVI για το διαχωρισμό των δένδρων από το έδαφος, δεν ήταν αποτελεσματικές και χρηστικές. Για το λόγο αυτό η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση της εικόνας του αγροτεμαχίου ήταν ο πιο αποτελεσματικός τρόπος και είχε τη βέλτιστη απόδοση των δένδρων, όπως παρουσιάστηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Όσον αφορά τις χωρικές παρατηρήσεις, όπως αναφέρθηκε και στο ανάλογο κεφάλαιο, σημειώθηκε συσσώρευση των υψηλότερων τιμών στην πλειοψηφία των μεταβλητών στο βορειοανατολικό και νοτιοδυτικό τμήμα του αγροτεμαχίου. Ένας παράγοντας που συνέβαλε σε αυτή την παρατήρηση είναι το τοπογραφικό ανάγλυφο που αναφέρθηκε και προηγουμένως. Δηλαδή, στα συγκεκριμένα τμήματα του πειραματικού αγρού οι συνθήκες λόγω της κλίσης και της έκθεσης να ευνοούν την

ανάπτυξη και την παραγωγή των ελαιόδεντρων σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα του αγρού. Συγκεκριμένα, στα τμήματα αυτά η κλίση κυμαίνεται σε χαμηλότερα ποσοστά σε σχέση με το υπόλοιπο αγροτεμάχιο. Επίσης, τα τμήματα αυτά τυχάνει να συμπίπτουν με τα χαμηλότερα υψομετρικά σημεία του αγροτεμαχίου. Άρα, από τα παραπάνω εύκολα συμπεραίνεται ότι στα τμήματα αυτά ο ρυθμός διάβρωσης είναι μικρότερος, καθώς η ταχύτητα του νερού είναι χαμηλότερη, οπότε το έδαφος στις συγκεκριμένες ζώνες είναι πιο γόνιμα.

Ένας ακόμη παράγοντας που συνέβαλε στην παραπάνω χωρική παρατήρηση είναι ότι τα συγκεκριμένα τμήματα του αγροτεμαχίου συμπίπτουν με τη διεύθυνση στην οποία κινείται ο ήλιος καθημερινώς. Δηλαδή, το βορειοανατολικό και το νοτιοδυτικό τμήμα δέχονται για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της ημέρας ηλιακή ακτινοβολία, ενώ το κεντρικό τμήμα του αγροτεμαχίου δέχεται το φως του ήλιου για μικρότερο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς ο ήλιος δεν διατηρείται αρκετή ώρα σε παραπλήσια θέση. Ως γνωστόν η ηλιακή ακτινοβολία είναι κυρίαρχος παράγοντας στην ανάπτυξη των ελαιόδεντρων και γενικότερα των φυτών. Άρα, εύκολα συμπεραίνεται ότι τα δένδρα που βρίσκονται στα συγκεκριμένα τμήματα του αγροτεμαχίου παρουσιάζουν χαρακτηριστικά καλύτερης ανάπτυξης (πχ. μεγαλύτερη επιφάνεια κόμης, μεγαλύτερο ύψος δένδρου) και υψηλότερης παραγωγής, καθώς ευνοούνται σημαντικά από την ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται σε υψηλότερο βαθμό σε σχέση με τα υπόλοιπα δένδρα, τα οποία δεν δέχονται ανάλογα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέλος, όσον αφορά το μοντέλο πρόβλεψης παραγωγής οι μετρήσεις που έγιναν επηρέασαν την ανάπτυξή του με ποικίλους τρόπους. Αρχικά, η χρονική στιγμή στην οποία διεξήχθησαν οι μετρήσεις πιθανώς να μην ήταν η βέλτιστη. Για παράδειγμα, σχετικά με την τιμή του δείκτη βλάστησης NDVI, οι υψηλότερες τιμές πιθανώς να παρατηρούνταν σε διαφορετική εποχή κατά την οποία η βλάστηση των ελαιόδεντρων θα ήταν εντονότερη (πχ. τέλη καλοκαιριού). Σχετικά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δένδρων, η εποχή λήψης των μετρήσεων προφανώς και επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα. Όπως παρουσιάζεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο, το δένδρο της ελιάς παρουσιάζει ποικιλία χαρακτηριστικών ανάλογα με την εποχή και το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκεται. Εάν η λήψη των δεδομένων είχε γίνει τη περίοδο αύξησης της βλάστησης και έκπτυξης νέων βλαστών, ο υπολογισμός και ο προσδιορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών θα ήταν μη αντιπροσωπευτικός και θα εμπεριείχε σφάλματα. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η εποχή λήψης των

δεδομένων είχε επιπτώσεις στα αποτελέσματα, σε κάποιες περιπτώσεις θετικές και σε κάποιες άλλες αρνητικές.

8.2 Εφαρμογή – Μελλοντική Εξέλιξη

Το μοντέλο παραγωγής της παρούσας μελέτης είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε όλους τους ελαιώνες, στους οποίους μπορούν να συλλεχθούν τα δεδομένα που απαιτούνται για τη συμπλήρωση της εξίσωσης που παρουσιάστηκε. Αξίζει όμως να αναφερθεί ότι ανάλογα μοντέλα πρόβλεψης παραγωγής θα είχαν καλύτερη εφαρμογή σε αγροτεμάχια, τα οποία παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό ομοιογένειας σχετικά με τα τοπογραφικά και εδαφικά τους χαρακτηριστικά.

Παρά την τεχνολογική πρόοδο, τα διαθέσιμα μέσα που υπάρχουν μέχρι και σήμερα δεν είναι προσιτά για τον οποιονδήποτε. Τροχοπέδη αποτελεί κατά κύριο λόγο το κόστος του εξοπλισμού που απαιτείται για την εφαρμογή της διαδικασίας που περιγράφηκε, όπως επίσης και οι περιορισμοί που αντιμετωπίζονται από τους γεωργούς στην εφαρμογή και διατήρηση τέτοιων μεθόδων και τεχνολογιών στις αγροτικές τους δραστηριότητες.

Η πρακτική εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης της παραγωγής θα μπορούσε να βοηθήσει σημαντικά τους γεωργούς, καθώς η εκμετάλλευση τέτοιων δεδομένων θα ευεργετούσε τον τρόπο διαχείρισης των καλλιεργητικών τεχνικών που ακολουθούνται από τους παραγωγούς κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Γνωρίζοντας την παραγωγική δυναμική του αγροτεμαχίου του, ο κάθε παραγωγός θα έχει τη δυνατότητα εστίασης των πρακτικών που ακολουθεί, όπως το πότισμα και η λίπανση, σε συγκεκριμένες ζώνες ή δένδρα, στα οποία έχει προβλεφθεί χαμηλότερη παραγωγή για τη βελτίωσή της και εκεί όπου έχει προβλεφθεί υψηλότερη να ενεργήσει με τέτοιο τρόπο για τη διατήρηση της υψηλής παραγωγικότητας. Για την επίτευξη υψηλής παραγωγής απαιτείται η συμβολή φυτοπροστατευτικών πρακτικών και μέτρων, κάτι που δεν αναπτύχθηκε στην παρούσα μελέτη καθώς δεν αποτελούσε στόχος της. Η εφαρμογή όμως του μοντέλου μπορεί να συμβάλλει και σε αυτό τον τομέα.

Η χρήση του μοντέλου πρόβλεψης παραγωγής μπορεί να έχει σημαντικά αποτελέσματα, εκτός από την εφαρμογή του κατά τη διάρκεια των τρεχουσών καλλιεργητικών περιόδων και στη διαχείριση της καλλιέργειας. Η δυνατότητα συλλογής και αποθήκευσης δεδομένων, σχετικών με την καλλιέργεια (πχ. όγκος παραγωγής ανά έτος, ποσότητα λιπάσματος και νερού άρδευσης που χορηγήθηκε, τρόπος κλαδεύματος, ανάλυση εδάφους) για μία σειρά ετών, σε γεωβάσεις δίνουν τη

δυνατότητα στους γεωργούς για τη χωροχρονική παρακολούθηση της καλλιέργειάς τους και τη βελτίωσή της μέσω των πρακτικών που ακολουθούν.

Η ραγδαία και συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας συμβάλλει στη βελτίωση των μέσων που χρησιμοποιούνται στις διάφορες επιστήμες. Τα τεχνολογικά επιτεύγματα αξιοποιούνται για την επέκταση των διαφόρων τομέων της επιστημών. Η επιστήμη της Γεωπονίας και της Τηλεπισκόπησης είναι άρρηκτα συνδεδεμένες και εξαρτώμενες από τις τεχνολογικές εξελίξεις. Η συγκεκριμένη μελέτη θα μπορούσε να διεξαχθεί με κατάλληλα και βελτιωμένα μέσα, όπως αισθητήρες με μεγαλύτερη χωρική ευκρίνεια και ακρίβεια και UAV με εξελιγμένες δυνατότητες πτήσεων. Με αυτό τον τρόπο, τα πιθανά σφάλματα που θα μπορούσαν να προκύψουν θα ελαχιστοποιούνταν σε μεγάλο βαθμό και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων θα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη. Επίσης, η εξέλιξη των λογισμικών επεξεργασίας σε όλο τους το φάσμα, όπως εξέλιξη των αλγορίθμων που χρησιμοποιούν, ταχύτερη επεξεργασία δεδομένων και βελτίωση ήδη υπάρχοντων διαδικασιών θα είχαν εξίσου ευεργετικά αποτελέσματα και θα συνέβαλαν θετικά στη διεξαγωγή παρόμοιων μελετών.

Συγκεκριμένα, στην παρούσα μελέτη η ακρίβεια υπολογισμού του όγκου και του ύψους των δένδρων που προσδιορίστηκαν από τα υπέργεια μέσα θα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη και καλύτερη με τη χρήση τεχνολογικά αναβαθμισμένων και εξελιγμένων αισθητήρων. Επίσης, με την εξέλιξη των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται από τα λογισμικά επεξεργασίας και ταξινόμησης των δεδομένων τηλεπισκόπησης θα καταστεί εφικτή η αυτοματοποιημένη ταξινόμηση των κόμωων των δένδρων με τα βέλτιστα αποτελέσματα, περιορίζοντας σε μεγάλο βαθμό την παρέμβαση από το χρήστη για τη διόρθωση τυχόν αστοχιών που προκύπτουν από του αλγορίθμους.

Η τεχνολογική πρόοδος θα συμβάλλει και στην εκμετάλλευση των διαφόρων ευρημάτων που προκύπτουν από τις μελέτες. Το ζήτημα της εφαρμογής των αποτελεσμάτων των ερευνών σε πραγματικές συνθήκες είναι σημαντικό και αποτελούσε ανέκαθεν το μήλον της έριδος. Η ανάπτυξη των συστημάτων επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων (big data), η εύκολη πρόσβαση από τους χρήστες και η άμεση παροχή των δεδομένων (πχ. υπηρεσίες cloud) σε εκείνους θα συμβάλλει στη δημιουργία βάσεων δεδομένων με μεγάλη χρησιμότητα. Για παράδειγμα, οι γεωργοί θα είχαν τη δυνατότητα να καταχωρούν την παραγωγή του κάθε δένδρου ανά έτος και να έχουν μία εκτίμηση για τη παραγωγή του κάθε δένδρου για την επόμενη καλλιεργητική περίοδο. Με αυτόν τον τρόπο θα ήταν δυνατή η

δημιουργία ενός θεματικού χάρτη πρόβλεψης της παραγωγής σε επίπεδο αγροτεμαχίου, το οποίο θα ήταν ένα επιπρόσθετο εργαλείο στα χέρια των αγροτών, που θα συνέβαλε στη αρτιότερη παρακολούθηση των καλλιεργειών τους. Ειδικότερα σε μεγάλες εκτάσεις, στις οποίες η ενδεδειγμένη παρακολούθηση είναι περιορισμένη και δύσκολη, η εφαρμογή των παραπάνω τεχνολογιών και μέσων θα ήταν αξιοσημείωτη.

Τέλος, η εξέλιξη της τεχνολογίας θα οδηγήσει στη μείωση του κόστους του εξοπλισμού που απαιτείται για την εφαρμογή σύγχρονων γεωχωρικών συστημάτων. Με αυτό τον τρόπο τα ευρήματα μελετών που εφαρμόζονται σήμερα μόνο σε εργαστηριακό επίπεδο αναμένεται να αξιοποιηθούν με στόχο τον εκσυγχρονισμό και την αναβάθμιση των αγροτικών εκμεταλλεύσεων. Όλα τα παραπάνω θα συμβάλλουν συνολικά στη διαμόρφωση μιας στοχευμένης αγροτικής πολιτικής, η οποία θα συμβαδίζει απόλυτα με τα τεχνολογικά επιτεύγματα των τελευταίων ετών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Θερίος Ι. 2006. Ελαιοκομία. Εκδόσεις Γαρταγάνης.

Καλύβας Δ., Τριαντακωνσταντής Δ., Κόλλια Β. 2012. Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα. Εκδόσεις Έμβρυο. ISBN: 960-800-269-9.

Καλογήρου Σ. 2015. Χωρική Ανάλυση, Μεθοδολογία και εφαρμογές με τη γλώσσα R. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. ISBN: 978-960-603-285-1.

Μιγκίρος Γ., Παυλόπουλος Α., Παρχαρίδης Ι., Γατσής Ι., Ψωμιάδης Ε., 2003. Τηλεπισκόπηση– Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Παπάς Ι., Κίζος Αθ., Σταθά Μ. και Χάρχαρος Χ. 2017. Πρακτικά 2^{ου} Συνεδρίου Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και Χωρικής Ανάλυσης στη Γεωργία και στο Περιβάλλον. Αθήνα, 25 & 26 Μαΐου 2017. ISBN: 978-960-6806-21-6.

Παπαδόπουλος Γ. Σημειώσεις Παραδόσεων (www.aua.gr/gpapadopoulos/shmeiwseis).

Ποϊραζίδης Κ. 2010. Οικολογία & Ποιότητα Τοπίου, Θεωρία και Εφαρμογές. Εκπαιδευτικές Σημειώσεις, ΑΤΕΙ Ιονίων Νήσων.

Ποντίκης Κ. 2000. Ειδική Δενδροκομία – Ελαιοκομία, τόμος τρίτος. Εκδόσεις Σταμούλη.

Fooks R., Το βιβλίο της ελιάς. Εκδόσεις Ψύχαλος.

Ιστοσελίδες

www.epidavros.gr

www.metar.gr

www.wikipedia.org

www.dji.com/matrice100/info#downloads: DJI MATRICE 100, User Manual, version 1.6, 03/2016.

www.parrot.com: Parrot Sequoia, User guide.

www.community.trimble.com: Trimble S3 TOTAL STATION, Datasheet.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Baatz, M., 2000. Multiresolution Segmentation : an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *J. Photogramm. Remote Sens.* 58, 12–23.
- Berni J.A.J., Zarco-Tejada P.J., Sepulcre-Cantó G., Fereres E., and Villalobos F. 2009. Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113 (2009), 2380 – 2388.
- Blaschke, T., 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*
- Bogaert J., Myneni B.R., and Knyazikhin Y. 2000. A mathematical comment on the formulae for the aggregation index and the shape index. Boston University, Department of Geography.
- Calderón R., Navas-Cortés J.A., Lucena C., and Zarco-Tejada P.J. 2013. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of Verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, 139 (2013), 231 – 245.
- Calderón R., Navas-Cortés J.A., and Zarco-Tejada P.J. 2015. Early Detection and Quantification of Verticillium Wilt in Olive Using Hyperspectral and Thermal Imagery over Large Areas. *Remote Sensing*, 2015, 7, 5584-5610; doi:10.3390/rs70505584.
- Dandois J.P., and Ellis E.C. 2013. High Spatial Resolution Three-Dimensional Mapping of Vegetation Spectral Dynamics Using Computer Vision. *Remote Sensing of Environment*, 136 (2013), 259 – 276.
- Definiens, 2007. Next-generation technologies revolutionizing oncology & diagnostics, Oncology.
- Díaz-Varela R.A., Raúl de la Rosa, Leon L., and Zarco-Tejada P.J. 2015. High-Resolution Airborne UAV Imagery to Assess Olive Tree Crown Parameters Using 3D Photo Reconstruction: Application in Breeding Trials *Remote Sensing*, 2015, 7, 4213-4232; doi:10.3390/rs70404213.

- Fernández T., Pérez J. L., Cardenal J., Gómez J.M., Colomo C., and Delgado J. 2016. Analysis of Landslide Evolution Affecting Olive Groves Using UAV and Photogrammetric Techniques. *Remote Sensing*, 8, 837.
- Gertsis A., Vasilikiotis C., and Zoukidis K. 2015. Management Zones Delineation in Olive Grove Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Proceedings of the 7th International Conference on Information and Communication technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2015), Kavala, Greece, 17-20 September, 2015.
- Gómez J. A., Zarco-Tejada P. J., García-Morillo J., Gama J., and Soriano M. A. 2011. Determining Biophysical Parameters for Olive Trees Using CASI-Airborne and Quickbird-Satellite Imagery. *Agronomy Journal*, Volume 103, Issue 3.
- Gonzalez-Dugo V., Zarco-Tejada P., Nicolas E., Nortes P. A., Alarcon J. J., Intrigliolo D. S., and Fereres E. 2013. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. *Precision Agric*, (2013) 14:660 – 678.
- Jiménez-Brenes F.M., López-Granados F., de Castro A.I., Torres-Sánchez J., Serrano N., and Peña J.M. 2017. Quantifying pruning impacts on olive tree architecture and annual canopy growth by using UAV-based 3D modelling. *Plant Methods*, 13:55. doi: 10.1186/s13007-017-0205-3.
- Kindu, M., Schneider, T., Teketay, D., Knoke, T., 2013. Land use/land cover change analysis using object-based classification approach in Munessa-Shashemene landscape of the ethiopian highlands. *Remote Sens*. 5, 2411–2435.
- Masilli F., Chiesi M., Brilli L., and Moriondo M. 2012. Simulation of olive fruit yield in Tuscany through the integration of remote sensing and ground data. *Ecological modeling*, 244 (2012), 1 – 12.
- Milne, B.T. 1991. Lessons from applying fractal models to landscape patterns. In *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. pp. 199–235. Edited by M.G. Turner and R.H. Gardner. Springer-Verlag, New York.

- Miranda-Fuentes A., Llorens J., Gamarra-Diezma J. L., Gil-Ribes J. A., and Gil E. 2015. Towards an Optimized Method of Olive Tree Crown Volume Measurement. *Sensors*, 2015, 15, 3671-3687; doi:10.3390/s150203671.
- Molenaar, M., 1998. An introduction to the theory of spatial object modelling for GIS. *Res. Monogr. GIS*. 90
- Ortega-Farías S., Ortega-Salazar S., Poblete T., Kilic A., Allen R., Poblete-Echeverría C., Ahumada-Orellana L., Zuñiga M., and Sepúlveda D. 2016. Estimation of Energy Balance Components over a Drip-Irrigated Olive Orchard Using Thermal and Multispectral Cameras Placed on a Helicopter-Based Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 2016, 8, 638; doi:10.3390/rs8080638.
- Panagiotidis D., Abdollahnejad A., Surový P., and Chiteculo V. 2017. Determining Tree Height and Crown Diameter from High-Resolution UAV Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38:8-10, 2392-2410.
- Pontikakos C. M., Tsiligiridis T.A., and Drougka M.E. 2010. Location-aware system for olive fruit fly spray control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70 (2010), 355 – 368.
- Ramos M. I., Gil A. J., Feito F. R., and Garcia-Ferrer A. 2007. Using GPS and GIS tools to monitor olive tree movements. *Computers and Electronics in Agriculture*, 57 (2007), 135 – 148.
- Salami E., Barrado C., and Pastor E. 2014. UAV Flight Experiments Applied to the Remote Sensing of Vegetated Areas. *Remote Sensing*, 2014, 6, 11051-11081; doi:10.3390/rs61111051.
- Sepulcre-Canto G., Zarco-Tejada P.J., Jimenez-Munoz J.C., Sobrino J.A., de Miguel E., and Villalobos F.J. 2006. Detection of Water Stress in an Olive Orchard with Thermal Remote Sensing Imagery. *Agricultural and Forest Meteorology*, doi:10.1016.
- Sola-Guirado R.R., Castillo-Ruiz F.J., Jiménez-Jiménez F., Blanco-Roldan G.L., Castro-Garcia S., and Gil-Ribes J.A. 2017. Olive Actual “on Year” Yield Forecast Tool Based on the Tree Canopy Geometry Using UAS Imagery. *Sensors*, 2017, 17, 1743; doi:10.3390/s17081743.

- Torres-Sanchez J., Lopez-Granados F., Serrano N., Arquero O., Fernandez-Escobar R., and Pena J.M. 2014. Characterizing Olive Tree Geometric Features Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. OLIVEBIOTEQ 2014, International Conference for Olive Tree and Olive Products.
- Torres-Sanchez J., Lopez-Granados F., Borra-Serrano I., and Manuel Pena J. 2017. Assessing UAV-Collected Image Overlap Influence on Computation Time and Digital Surface Model Accuracy in Olive Orchards. Precision Agriculture, doi 10.1007.
- Zarco-Tejada P.J., Berni J.A.J., Suárez L., Sepulcre-Cantó G., Morales F., and Miller J.R. 2009. Imaging chlorophyll fluorescence with an airborne narrow-band multispectral camera for vegetation stress detection. Remote Sensing of Environment, 113 (2009), 1262 – 1275.
- Zarco-Tejada P.J., Diaz-Varela R., Angileri V., and Loudjani P. 2014. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. European Journal of Agronomy, 55 (2014), 89-99.