

Ανάπτυξη Λογισμικού για Εντοπισμό και Εκτίμηση Αριθμού Καλλιεργημένων Ελαιόδεντρων με τη χρήση Δορυφορικών Εικόνων Υψηλής Ανάλυσης

Ν. Βερδέ, Μ. Τσακίρη - Στρατή, Σ. Σιάχαλου, Β. Τσιούκας

Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ

Περίληψη: Η ανάγκη διαχείρισης της παραγωγής του ελαιοκομικού τομέα και της δημιουργίας κατάλληλων κριτηρίων για τις κοινοτικές επιδοτήσεις στους ελαιοπαραγωγούς, οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη της στη σύνταξη νομοθετικού πλαισίου σχετικού με τη δημιουργία ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) στον ελαιοκομικό τομέα. Για τη σύνταξη αυτή απαιτήθηκε η αναζήτηση ή η ανάπτυξη ειδικών τεχνικών για τον αυτόματο εντοπισμό και χαρτογράφηση των ελαιόδεντρων μέσω του εντοπισμού της κόμης τους με τη χρήση τηλεπισκοπικών εικόνων. Οι ειδικές αυτές τεχνικές είχαν ήδη ξεκινήσει να αναπτύσσονται ως αλγόριθμοι για την απογραφή και διαχείριση των δασών, αλλά στη συνέχεια προσαρμόστηκε η εφαρμογή τους σε καλλιεργημένες περιοχές με ελαιόδεντρα.

Στο πλαίσιο αυτό, ο στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου αυτόματου εντοπισμού και εκτίμησης του αριθμού καλλιεργημένων ελαιόδεντρων, με τη χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης. Το μοντέλο αυτό συνέβαλε στην ανάπτυξη λογισμικού, με το όνομα 'OliVer', σε γραφικό περιβάλλον, με τη χρήση της γλώσσας MatLab. Η αξιολόγηση του λογισμικού έγινε με την εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων μετά την εφαρμογή του σε τέσσερις περιοχές καλλιεργημένων ελαιόδεντρων και τη χρήση εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης WorldView-2 και IKONOS-2. Συμπερασματικά, τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν πως το λογισμικό 'OliVer', είχε σημαντική επιτυχία στον εντοπισμό θέσης, στην εκτίμηση του αριθμού και στη χαρτογράφηση της κόμης καλλιεργημένων ελαιόδεντρων. Μεγαλύτερη αξιοπιστία παρείχε στον εντοπισμό θέσης και την εκτίμηση του αριθμού των δέντρων.

1. Εισαγωγή

Η οικονομική σημασία του ελαιοκομικού τομέα στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ιδιαίτερα της Ελλάδας είναι μεγάλη καθώς αποτελούν καθαρούς εξαγωγείς ελαιόλαδου. Έτσι, η διαχείριση του ελαιοκομικού τομέα είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα για λόγους διαχείρισης της παραγωγής, καταγραφής περιουσίας, διαχείρισης κρατικών επιχορηγήσεων και βελτίωσης αρδευτικού συστήματος. Για το λόγο αυτό έχουν συνταχθεί πολλές νομοθετικές διατάξεις και οδηγίες από το 1975 με τελευταία τον κανονισμό 1279/89/ΕΟΚ, με τον οποίο προβλέπεται η σύ-

σταση ΣΓΠ στον ελαιοκομικό τομέα για τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στο πλαίσιο αυτού του κανονισμού το Κοινό Κέντρο Ερευνών (ΚΚΕρ) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχεδίασε και ένα εργαλείο αυτόματου εντοπισμού και καταμέτρησης μεμονωμένων ελαιόδεντρων που ονομάζεται 'OLICOUNT'. Σήμερα, η Ελλάδα ακόμα δεν έχει ολοκληρώσει το ΣΓΠ για τις ελαιοκαλλιέργειες. Για το λόγο αυτό, τον Ιούλιο του 2014, το Δικαστήριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στο δελτίο τύπου Νο.97/14 ("ECJ 10 July 2014 (C-391/13 P)," 2014), επιβεβαιώνει την απόσυρση ποσού άνω των 250 εκατομμυρίων ευρώ από την Ελλάδα. Το σύστημα όπως αναφέρει το δελτίο θα έπρεπε να είχε ολοκληρωθεί μέχρι και το 2005.

Οι αλγόριθμοι αυτόματου εντοπισμού μεμονωμένων δέντρων και χαρτογράφησης κόμης από δορυφορικές εικόνες αναπτύχθηκαν αρχικά για δασικές περιοχές και αργότερα προσαρμόστηκαν σε περιοχές με καλλιεργημένα ελαιόδεντρα (διατηρώντας όμως τις βασικές αρχές των αλγορίθμων). Τα γεωμετρικά και ραδιομετρικά χαρακτηριστικά των καλλιεργημένων ελαιόδεντρων που επηρεάζουν το εντοπισμό τους αποκλίνουν αρκετά από τα χαρακτηριστικά των δασικών δέντρων. Προσπάθειες για τη δημιουργία τέτοιων αλγορίθμων ξεκίνησαν από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, με έναν από τους πρώτους, τον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε από τον Pinz (Pinz, 1991). Οι αλγόριθμοι αυτοί, σε γενικές γραμμές χωρίζονται αρχικά σε αλγορίθμους αυτόματου εντοπισμού δέντρων και σε αλγορίθμους αυτόματης χαρτογράφησης κόμης δέντρων και βασίζονται στη φασματική ανάκλαση των δέντρων στις εικόνες (Ke, Y., και Quackenbush, L., J., 2011b). Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένοι από τους βασικότερους αλγορίθμους εντοπισμού δέντρων όπως αυτοί που βασίζονται στο φίλτρο τοπικού μεγίστου (local maximum filtering), στη δυαδικοποίηση εικόνας (image binarization), στην ανάλυση κλίμακας (scale analysis) και στην αναγνώριση προτύπων (template matching). Επιπλέον οι βασικότεροι αλγόριθμοι στη χαρτογράφηση κόμης δέντρων είναι οι αλγόριθμοι ακολουθίας κοιλάδας (valley-following), ανάπτυξης περιοχών (region-growing) και κατάτμησης υδροκρίτη (watershed segmentation) (Βερδέ, Ν., 2015). Η εκτίμηση της ακρίβειας όλων των αλγορίθμων αυτών δεν είχε τυποποιημένο πλαίσιο ποσοτικής αξιολόγησης μέχρι πρόσφατα, όπου στη μελέτη των (Ke, Y. και Quackenbush, L., J., 2011a) παρουσιάζεται ένα τέτοιο πλαίσιο για πρώτη φορά.

Κύριος σκοπός της εργασίας ήταν η δημιουργία ενός αλγορίθμου για τον αυτόματο εντοπισμό καλλιεργημένων ελαιόδεντρων και τον προσδιορισμό του αριθμού των δέντρων με τη χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης. Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε οδήγησε στην ανάπτυξη λογισμικού με γραφικό περιβάλλον χρήστη, με τη χρήση της γλώσσας MatLab. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό των μεμονωμένων δέντρων, ήταν ο αλγόριθμος που βασίζεται σε φίλτρο τοπικού μεγίστου και για τη χαρτογράφηση της κόμης των δέντρων ο αλγόριθμος κατάτμησης υδροκρίτη με δείκτες. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε σε τέσσερις περιοχές ελαιώνων με εικόνες WorldView-2 και IKONOS-2. Η αξιολόγηση της μεθοδολογίας έγινε με βάση την ακρίβεια των

αποτελεσμάτων. Οι τέσσερις περιοχές ελαιώνων που επιλέχθηκαν χαρακτηρίζονται από διαφορετικές συνθήκες σκιάς, εδαφικής βλάστησης, και αποστάσεων φύτευσης. Για τις τρεις περιοχές ελαιώνων χρησιμοποιήθηκαν εικόνες WorldView-2 και για μία περιοχή χρησιμοποιήθηκε εικόνα IKONOS-2. Μάλιστα, η περιοχή ελαιώνα που απεικονίζεται στην εικόνα IKONOS-2 απεικονίζεται και σε μία των τριών εικόνων WorldView-2. Αυτό έγινε σκόπιμα για την αξιολόγηση της μεταφερσιμότητας του αλγορίθμου από δεδομένα WorldView-2 σε δεδομένα IKONOS-2. Η εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων, μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου στις τέσσερις περιοχές, έγινε σύμφωνα με το τυποποιημένο πλαίσιο ποσοτικής αξιολόγησης των (Ke, Y., και Quackenbush, L., J., 2011a) για: α) εκτίμηση ακρίβειας καταμέτρησης δέντρων β) εκτίμηση ακρίβειας εντοπισμού μεμονωμένων δέντρων και γ) εκτίμηση ακρίβειας χαρτογράφησης κόμης. Με βάση τα στοιχεία αυτά που προέκυψαν έγινε η αξιολόγηση του αλγορίθμου και του λογισμικού.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Αλγόριθμοι εντοπισμού μεμονωμένων δέντρων

Οι αλγόριθμοι εντοπισμού μεμονωμένων δέντρων εντοπίζουν σε όλες τις περιπτώσεις, με διάφορες τεχνικές, μεμονωμένα δέντρα ως φωτεινότερα σημεία της κόμης τους. Οι (Ke, Y., και Quackenbush, L., J., 2011b) κατηγοριοποίησαν τους αλγορίθμους εντοπισμού μεμονωμένων δέντρων σε 4 κατηγορίες ανάλογα με την τεχνική στην οποία βασίζονται: σε αλγορίθμους που βασίζονται σε φίλτρο τοπικού μεγίστου (local maximum filtering) ο οποίος χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία, αλγορίθμους που βασίζονται σε δυαδικοποίηση εικόνας (image binarization), αλγορίθμους που βασίζονται σε ανάλυση κλίμακας (scale analysis) και αλγορίθμους που βασίζονται σε αναγνώριση προτύπων (template matching).

2.1.1 Φίλτρο τοπικού μεγίστου (local maximum filtering)

Η εφαρμογή ενός φίλτρου τοπικού μεγίστου εντοπίζει στην εικόνα τα τοπικά μέγιστα των τιμών των ψηφίδων με βάση ένα ορισμένο κινούμενο παράθυρο. Τα τοπικά μέγιστα είναι συνήθως η κορυφή της κόμης του δέντρου και το παράθυρο ορίζεται ως ένα ορθογώνιο που περικλείει την επιφάνεια του μέσου δέντρου. Περιοχές με μεγάλες κόμης χρειάζονται μεγαλύτερα κινούμενα παράθυρα απ' ότι περιοχές με μικρότερες. Δυστυχώς όμως λόγω ανομοιομορφίας μεγεθών στη φύση, τα μεγαλύτερα παράθυρα δημιουργούν πάντα σφάλματα παράλειψης λόγω μικρών δέντρων και τα μικρότερα παράθυρα δημιουργούν σφάλματα επιφόρτισης λόγω μεγαλύτερων δέντρων (Ardila, J., P., et al., 2012, Amiri, N., 2014, Βερδέ, N., 2015).

2.1.2 Αλγόριθμοι χαρτογράφησης της κόμης των δέντρων

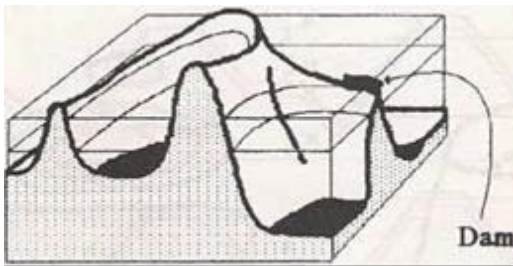
Οι αλγόριθμοι χαρτογράφησης κόμης δέντρων χαρτογραφούν με διάφορες τεχνικές

κατάτμησης τις κόμες δέντρων. Σύμφωνα με τους (Ke, Y., και Quackenbush, L., J., 2011b) μπορούν να ομαδοποιηθούν σε 3 μεγάλες κατηγορίες: Αλγόριθμοι ακολουθίας κοιλάδας, αλγόριθμοι ανάπτυξης περιοχών και αλγόριθμοι κατάτμησης υδροκρίτη. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι πλέον χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι είναι εκείνοι που βασίζονται στην ακολουθία κοιλάδας. Συγκριτική μελέτη των τριών αλγορίθμων έγινε από τους (Ke, Y., και Quackenbush, L., J., 2011a). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος κατάτμησης υδροκρίτη.

2.1.3 Κατάτμηση υδροκρίτη με δείκτες (*marker-controlled watershed segmentation*)

Η γραμμή του υδροκρίτη είναι ένα βασικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την κατάτμηση ψηφιακών εικόνων. Την έννοιά της όρισαν οι Beucher και Lantuejoul (Meyer, F., και Beucher, S., 1990). Ο αλγόριθμος κατάτμησης υδροκρίτη εντοπίζει λεκάνες απορροής των ελαχίστων σε μία εικόνα, η οποία είναι συνήθως εικόνα βαθμίδας κλίσης (Meyer, F., 1994).

Θεωρώντας μία εικόνα με τιμές από τη κλίμακα του γκρι ως τοπογραφική επιφάνεια, και ορίζοντας τα τοπικά ελάχιστα ως το βαθύτερο σημείο κάθε λεκάνης, πλημμυρίζονται με σταθερή ταχύτητα οι λεκάνες αυτές με αρχή αυτό το σημείο. Κατά τη διάρκεια της πλημμύρας, δύο ή περισσότερες πλημμύρες που προέρχονται από διαφορετικά ελάχιστα μπορεί να συγχωνευθούν. Για να αποφευχθεί αυτό, ορίζονται φράγματα για τα σημεία της τοπογραφικής επιφάνειας όπου οι πλημμύρες μπορεί να συγχωνευτούν. Στο τέλος της διαδικασίας έχουν προκύψει όλα τα φράγματα. Τα φράγματα αυτά καθορίζουν τις λεκάνες απορροής (υδροκρίτες) οι οποίες περιέχουν ένα και μόνο ελάχιστο (Beucher, S., και Meyer, F., 1992).



Εικόνα 1:
Οι πλημμύρες της τοπογραφικής επιφάνειας και τα φράγματα για τη δημιουργία των λεκανών απορροής (Beucher, S., και Meyer, F., 1992).

Για να γίνει σωστή κατάτμηση με τη μέθοδο του υδροκρίτη θα πρέπει να ορισθούν τα τοπικά ελάχιστα της κάθε λεκάνης, αλλιώς δημιουργούνται υπερβολικά πολλές λεκάνες και προκαλείται υπερβολική κατάτμηση. Επίσης, πρέπει να ορισθούν και τα 'φράγματα', τα όρια των οποίων δε πρέπει να ξεπεραστούν από τις πλημμύρες. Η μέθοδος κατάτμησης υδροκρίτη που λειτουργεί με τοπικά ελάχιστα που έχουν ορισθεί και με 'φράγματα' που επίσης έχουν ορισθεί (δείκτες) λέγεται 'κατάτμηση υδροκρίτη με δείκτες' (*marker-controlled watershed*) και καθιερώθηκε από τους Meyer και Beucher, (Meyer, F., και Beucher, S., 1990). Είναι ξεκάθαρο πως η

επιτυχία της κατάτμησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σωστή επιλογή των δεικτών (Wang, L., et al., 2004), η οποία γίνεται μετά από ανάλογη μορφολογική επεξεργασία.

Η ‘κατάτμηση υδροκρίτη με δείκτες’ συνδυάζει την ανίχνευση δέντρων με την χαρτογράφηση κόμης σε ένα ενιαίο πλαίσιο (Wang, L., et al., 2004). Για τη χαρτογράφηση κόμης δέντρων, τα τοπικά μέγιστα (κορυφές δέντρων) θεωρούνται τοπικά ελάχιστα για την εφαρμογή του αλγορίθμου. Τα φράγματα που προκύπτουν είναι τα όρια από τις κόμης των δέντρων.

2.2 Επεξεργασία και επιλογή των κατάλληλων εικόνων

Για την εφαρμογή της ‘κατάτμησης υδροκρίτη με δείκτες’, σε όλες τις μελέτες που την χρησιμοποίησαν, είχε προηγηθεί μία σειρά επεξεργασίας εικόνων για τη δημιουργία της τοπογραφικής επιφάνειας πάνω στην οποία θα εφαρμοζόταν η κατάτμηση και η δημιουργία δεικτών τοπικών ελάχιστων και ‘φραγμάτων’.

Η εικόνα βαθμίδας κλίσης χρησιμοποιήθηκε πρώτα από τον Meyer, (Meyer, F., 1994), αλλά και αργότερα στις περισσότερες μελέτες εντοπισμού δέντρων με τον αλγόριθμο ‘κατάτμησης υδροκρίτη’ ως τοπογραφική επιφάνεια. Η ομαλοποίηση με το φίλτρο του Gauss έχει χρησιμοποιηθεί στο στάδιο επεξεργασίας εικόνας για τη δημιουργία της τοπογραφικής επιφάνειας για την κατάτμηση όπως στη μελέτη των (Lamar, W., R., et al., 2005), αλλά και σε μελέτες όπως των Wang et al., 2004, σε συνδυασμό με λαπλασιανό τελεστή για τον εντοπισμό των ακμών. Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης χρησιμοποιήθηκε από την Amiri (Amiri, N., 2014), για την ανάδειξη της κόμης των δέντρων και τον εντοπισμό των δεικτών τοπικού ελαχίστου για την ‘κατάτμηση υδροκρίτη με δείκτες’. Ο τελεστής Laplace έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από μελετητές (Daliakopoulos, I., N., et al., 2009, Karantzalos, K., και Argialas, D., 2004, Moreno-Garcia J., et al., 2010), ιδιαίτερα στον εντοπισμό μεμονωμένων ελαιόδεντρων, λόγω της ιδιότητας των ελαιόδεντρων που έχουν συνήθως μεγάλη αντίθεση με το γύρω περιβάλλον τους. Οι μορφολογικοί μετασχηματισμοί χρησιμοποιήθηκαν από πλήθος εργασιών (Deng G., και Li, Z., 2011, Kalapala, M., 2014), για τη διευκόλυνση του ορισμού δεικτών τοπικού ελαχίστου (φωτεινότερο σημείο κόμης δέντρων). Τέλος ο μετασχηματισμός Ευκλείδειας απόστασης χρησιμοποιήθηκε από τον (Lamar, W., R., et al., 2005) για ορισμό των δεικτών ‘φραγμάτων’ ανάμεσα στους υδροκρίτες.

2.3 Εκτίμηση της ακρίβειας

Μέχρι πρόσφατα, δεν υπήρχε καθιερωμένη μέθοδος εκτίμησης αποτελεσμάτων για τον εντοπισμό μεμονωμένων δέντρων και χαρτογράφηση κόμης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνταν διέφεραν σε κάθε μελέτη. Μέθοδοι αξιολόγησης της ακρίβειας κατάτμησης εικόνας γενικά, παρουσιάζονται αναλυτικά στο (Neubert et al., 2008). Όμως στην εργασία των (Ke, Y., και Quackenbush, L., J., 2011a), παρουσιάζεται

για πρώτη φορά ένα τυποποιημένο πλαίσιο ποσοτικής αξιολόγησης της ακρίβειας εντοπισμού μεμονωμένων δέντρων και χαρτογράφησης κόμης. Το πλαίσιο αυτό χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: α) εκτίμηση ακρίβειας καταμέτρησης δέντρων β) εκτίμηση ακρίβειας εντοπισμού μεμονωμένων δέντρων και γ) εκτίμηση ακρίβειας χαρτογράφησης κόμης.

Η εκτίμηση της αξιοπιστίας ενός αλγορίθμου εντοπισμού μεμονωμένων δέντρων και χαρτογράφησης κόμης εξαρτάται από την ακρίβεια των χρησιμοποιούμενων δέντρων αναφοράς (ground reference/ground truth). Ορισμένες μελέτες χρησιμοποιούν δέντρα αναφοράς που ανακτήθηκαν από το έδαφος με μεθόδους GPS (Aran, A., et al., 2004, Ramdani, F., 2013, Τσολακίδης, Ι., κα, 2011) και άλλες ψηφιοποιημένες κόμης δέντρων από εικόνες υψηλής ανάλυσης (Yang, J., et al., 2014, Mallinis, G., et al., 2013). Η δεύτερη μέθοδος είναι και η επικρατέστερη λόγω χαμηλού κόστους.

2.3.1 Εκτίμηση της ακρίβειας καταμέτρησης δέντρων

Η ακρίβεια μέτρησης των δέντρων σε μια περιοχή, δεν εξαρτάται από την ακρίβεια της θέσης και του σχήματός τους. Η εκτίμηση της ακρίβειας καταμέτρησης δέντρων μπορεί να γίνει με το επίπεδο ακρίβειας ‘Plot Level Accuracy’ (PLA) που εκφράζεται από τον τύπο:

$$PLA = \frac{d}{n} \quad (1)$$

όπου d ο αριθμός των εντοπισμένων δέντρων στο μοντέλο και n ο αριθμός των δέντρων αναφοράς. Με τον τρόπο αυτό όμως, η ακρίβεια μπορεί να είναι παραπλανητική λόγω αλληλοαναίρεσης των σφαλμάτων παράλειψης και προμήθειας (Ke, Y., και Quackenbush, L., J., 2009).

2.3.2 Εκτίμηση της ακρίβειας εντοπισμού μεμονωμένων δέντρων

Η ακρίβεια εντοπισμού τη θέσης του κάθε δέντρου εκτιμάται ανεξάρτητα από το μέγεθος και το σχήμα του. Μία μέθοδος εκτίμησης της ακρίβειας εντοπισμού (είναι συνδεδεμένη και με την ακρίβεια ταξινόμησης) είναι η ‘Ακρίβεια του αναλυτή’ (Producer’s Accuracy) ή διαφορετικά στην εκτίμηση ακρίβειας αντικειμένων ‘Completeness’ και η ‘Ακρίβεια ή αξιοπιστία του χρήστη’ (User’s Accuracy) ή διαφορετικά ‘Correctness’ στην εκτίμηση ακρίβειας αντικειμένων (Zhan, Q., et.al, 2005), οι οποίες προκύπτουν σύμφωνα με τους τύπους:

$$PA = \frac{N_p}{N_r} \quad UA = \frac{N_p}{N_d} \quad (2)$$

όπου N_p ο αριθμός σωστά εντοπισμένων δέντρων, N_r ο αριθμός των δέντρων αναφοράς και N_d ο αριθμός των εντοπισμένων δέντρων από το μοντέλο (Ke, Y. και Quackenbush, L., J., 2011a).

Μία άλλη μέθοδος η οποία βασίζεται στην ακρίβεια θέσης των εντοπισμένων δέντρων σύμφωνα με συντεταγμένες είναι το μέτρο ακρίβειας Q_Loc (Location Quality). Είναι η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του κεντροειδούς του δέντρου αναφοράς και του αντίστοιχου εντοπισμένου δέντρου. Συνήθως συνοδεύεται και από τη μέση τιμή των τιμών που προκύπτουν και της τυπικής απόκλισης αυτών. Ο τύπος με τον οποίο εκφράζεται:

$$Q_{Loc(O_i)} = \sqrt{(X_c(O_i) - X_r(O_i))^2 + (Y_c(O_i) - Y_r(O_i))^2} \quad (3)$$

όπου O_i είναι το δέντρο που εντοπίστηκε σωστά, X_c και Y_c οι συντεταγμένες του κεντροειδούς στο δέντρο του μοντέλου και X_r , Y_r οι συντεταγμένες του κεντροειδούς στο δέντρο αναφοράς (Zhan, Q., et al., 2005, Δοξάνη, Γ., 2011, Βερδέ, Ν., 2015).

Σε άλλες μελέτες όπως στην (Ceylan, N., U., et.al., 2009), για την ακρίβεια εντοπισμού μεμονωμένων δέντρων χρησιμοποιήθηκε μία ζώνη ορισμένης διάστασης (π.χ. 2 m) γύρω από το κάθε δέντρο αναφοράς, μέσα στο οποίο αν εντοπίζονταν το δέντρο του μοντέλου, τότε το δέντρο αυτό θεωρούνταν σωστά εντοπισμένο.

2.3.3 Εκτίμηση της ακρίβειας χαρτογράφησης κόμης

Για τη μέτρηση της ακρίβειας του μεγέθους και του σχήματος της κόμης ενός δέντρου, το οποίο προέκυψε από το μοντέλο και εφόσον έχει εντοπιστεί σωστά, η μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι αρχικά το ποσοστό διαφοράς επιφάνειας και περιμέτρου κόμης κάθε σωστά εντοπισμένου δέντρου ή και της διαμέτρου του, αν θεωρηθεί κυκλική ή ελλειψοειδής. Όμως, με τα στοιχεία αυτά δεν περιέχεται πληροφορία για την ακρίβεια του σχήματος της κόμης. Το πρόβλημα αυτό λύνεται με τη χρήση του δείκτη σχήματος (Shape Index) που εκφράζεται με τον τύπο:

$$ShapeIndex = \frac{P}{4} \sqrt{A} \quad (4)$$

όπου P είναι η περίμετρος του κάθε δέντρου και A η επιφάνειά του (Neubert, M., et al., 2008). Σχηματίζοντας τις διαφορές δεικτών σχήματος κάθε σωστά εντοπισμένου δέντρου στο μοντέλο και αναφοράς, δημιουργείται μια συνολική εκτίμηση ακρίβειας των σχημάτων των εντοπισμένων δέντρων (Δοξάνη, Γ., 2011, Βερδέ, Ν., 2015).

3. Δεδομένα και λογισμικό

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή του λογισμικού OliVer, που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας (Βερδέ, Ν., 2015), ήταν τρεις πολυφασματικές εικόνες, δύο του δορυφόρου WorldView-2 και μία του δο-

ρυφόρου IKONOS-2. Συγκεκριμένα, η πρώτη εικόνα WorldView-2 ήταν της περιοχής Ασπροβάλτα, στο βορειοανατολικό άκρο του νομού Θεσσαλονίκης, και η δεύτερη εικόνα WorldView-2 της περιοχής Μηχανιώνας, στο νοτιοδυτικό άκρο του νομού Θεσσαλονίκης. Η εικόνα IKONOS-2 ήταν πάλι της περιοχής Μηχανιώνας για εφαρμογή του αλγορίθμου σε μία από τις ίδιες περιοχές που εφαρμόστηκε και στην εικόνα WorldView-2 Μηχανιώνας για δοκιμή και αξιολόγηση του αλγορίθμου σε άλλου είδους εικόνες.

Το περιβάλλον στο οποίο επιλέχθηκε να αναπτυχθεί ο αλγόριθμος και το λογισμικό με το γραφικό περιβάλλον αυτής της εργασίας ήταν το περιβάλλον MatLab έκδοση R2012b. Βοηθητικά, στο στάδιο της προεπεξεργασίας χρησιμοποιήθηκαν και τα λογισμικά ERDAS Imagine 2013 και ESRI ArcMap 10 (Βερδέ, Ν., 2015).

4. Παραδείγματα εφαρμογής – Προεπεξεργασία των δεδομένων

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι συγχωνευμένες εικόνες λόγω μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης. Από τις συγχωνευμένες εικόνες επιλέχθηκαν και αποκόπηκαν τέσσερις περιοχές ελαιώνων με διάφορα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά ήταν το μέγεθος της σκιάς, οι αποστάσεις φύτευσης και η ποσότητα εδαφικής βλάστησης. Η τρίτη και η τέταρτη περιοχή που παρουσιάζονται στον πίνακα 1 στην πρώτη στήλη αναφέρονται στην ίδια γεωγραφική περιοχή αλλά η λήψη έγινε από διαφορετικό δορυφόρο (WorldView-2 και IKONOS-2). Αυτό έγινε για τη μελέτη της ακρίβειας της μεταφοράς του αλγορίθμου σε εικόνες, της ίδιας περιοχής, διαφορετικών δορυφόρων.

Πίνακας 1. Στοιχεία των τριών πολυφασματικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Δορυφόρος	Περιοχή	Ραδιομετρική Ανάλυση	Αριθμός Διαύλων	Χωρική Ανάλυση Πολυφασματικής	Χωρική Ανάλυση Παγχρωματικής	Ημερομηνία λήψης	Ωρα λήψης
WorldView-2	Ασπροβάλτα	11bit	8	1.8m	0.5m	11/1/2010	11:23
WorldView-2	Μηχανιώνα	11bit	8	1.8m	0.5m	16/6/2010	11:39
IKONOS-2	Μηχανιώνα	11bit	4	4m	1m	21/8/2006	11:34

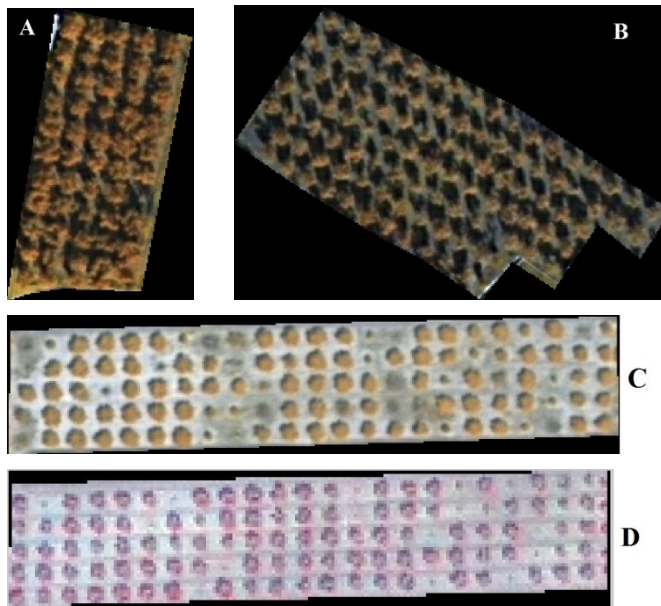
Η ανάδειξη της κόμης των ελαιόδέντρων ήταν αναγκαία για την ψηφιοποίηση με ακρίβεια των δέντρων αναφοράς. Συνεπώς, κρίθηκε αναγκαία η επιλογή της καταλληλότερης εικόνας για την ψηφιοποίηση των δέντρων, δηλαδή της εικόνας που

διευκολύνει περισσότερο αυτή την εφαρμογή. Μεταξύ των διαύλων που διαθέτουν οι τρεις εικόνες, έπρεπε να επιλεγθούν εκείνοι στους οποίους εντοπίζονται καλύτερα τα ελαιόδεντρα.

Πίνακας 2. Πληροφορίες των τεσσάρων περιοχών μελέτης.

Περιοχή	Δορυφόρος	Ευρύτερη Περιοχή	Σκιά	Αποστάσεις φύτευσης	Βλάστηση στο έδαφος
1	WorldView-2	Ασπροβάλτα	ναι	μικρές	ναι
2	WorldView-2	Ασπροβάλτα	ναι	μεγάλες	ναι
3	WorldView-2	Μηχανιώνα	ελάχιστη	μεγάλες	ελάχιστη
4	IKONOS-2	Μηχανιώνα	ελάχιστη	μεγάλες	ελάχιστη

Βέλτιστος συνδυασμός για την ανάδειξη της κόμης των ελαιόδεντρων στις εικόνες WorldView-2 είναι ο λεγόμενος συνδυασμός ‘βλάστησης’ ("WorldView-2 Band Combinations"). Σύμφωνα με αυτή τη χρωματική κωδικοποίηση στο κόκκινο αντιστοιχεί ο πρώτος εγγύς υπέρυθρος διάυλος (NIR1), στο πράσινο ο διάυλος ‘Red Edge’ και στο μπλε ο κόκκινος διάυλος. Για την εικόνα IKONOS-2 ο βέλτιστος



Εικόνα 2: Ελαιώνες από τις εικόνες WorldView-2 με το συνδυασμό διαύλων 7,6,5 (NIR1, RedEdge, Red). (A) Περιοχή 1, (B) Περιοχή 2, (C) Περιοχή 3, (D) Ελαιώνας από την εικόνα IKONOS-2 (Περιοχή 4) με το συνδυασμό διαύλων 4,3,2 (NIR, Red, Green) (Βερδέ, 2015).

συνδυασμός για ανάδειξη της κόμης των ελαιόδεντρων διαπιστώθηκε μετά από δοκιμές πως ήταν ο συνδυασμός (4, 3, 2). Δηλαδή στο κόκκινο αντιστοιχεί ο εγγύς υπέρυθρος (NIR), στο πράσινο ο κόκκινος διάυλος και στο μπλε ο πράσινος διάυλος (Βερδέ, Ν., 2015).

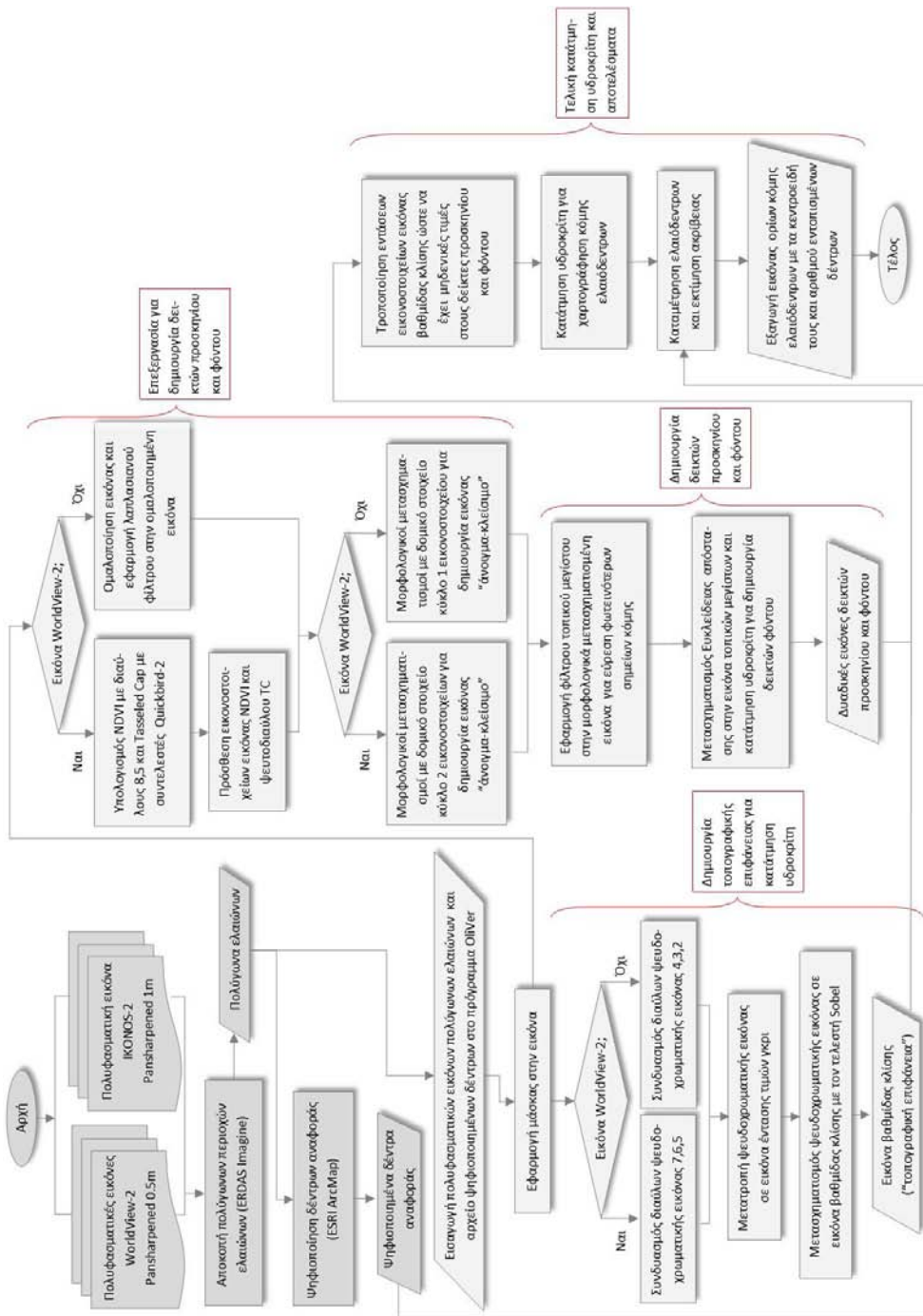
Προκειμένου να γίνει η εκτίμηση της ακρίβειας του εντοπισμού των μεμονωμένων ελαιόδεντρων και της χαρτογράφησης της κόμης τους, πρέπει να ορισθούν τα όρια των κομών καθώς και η ακριβής θέση των δέντρων αναφοράς. Η διαδικασία αυτή έγινε με οπτική παρατήρηση των εικόνων και την ψηφιοποίηση των ορίων από τις κόμης των δέντρων αναφοράς. Συγκεκριμένα, για πλήρη εκτίμηση της ακρίβειας, ψηφιοποιήθηκαν όλα τα δέντρα σε κάθε περιοχή. Η εφαρμογή έγινε στις αποκομμένες εικόνες ελαιώνων με το συνδυασμό διαύλων που αναφέρθηκε παραπάνω και μέσα στο περιβάλλον συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών ESRI ArcGIS. Εκτός από τις ψηφιοποιημένες κόμης των ελαιόδεντρων, με τη βοήθεια του ArcGIS προσδιορίστηκε για κάθε πολύγωνο κόμης το κεντροειδές του. Το κεντροειδές αντιπροσωπεύει την ακριβή θέση του κάθε δέντρου στο έδαφος.

5. Παραδείγματα εφαρμογής – Μεθοδολογία

Τα στάδια της διαδικασίας που ακολουθήθηκαν στο λογισμικό OliVer για τον εντοπισμό μεμονωμένων ελαιόδεντρων και τη χαρτογράφηση της κόμης των, παρουσιάζονται στην εικόνα 3 σε μορφή διαγράμματος ροής. Συγκεκριμένα, στο διάγραμμα παρουσιάζεται με σκούρο γκρι η προεπεξεργασία των δεδομένων και με ανοιχτό γκρι τα βήματα που αφορούν τον αλγόριθμο του λογισμικού OliVer.

Όπως φαίνεται, ο αλγόριθμος ξεκινά με την εισαγωγή στο λογισμικό OliVer των πολύγωνων των ελαιώνων και των διανυσματικών αρχείων με τις κόμης και τα κεντροειδή. Στη συνέχεια ακολουθούν μία εφαρμογή μάσκας, επεξεργασίες για τη δημιουργία ‘τοπογραφικής επιφάνειας’ για την κατάτμηση υδροκρίτη με δείκτες, επεξεργασίες για τη δημιουργία δεικτών, τη δημιουργία των δεικτών, και τέλος, την κατάτμηση του υδροκρίτη για χαρτογράφηση της κόμης και τον εντοπισμό των μεμονωμένων ελαιόδεντρων, την καταμέτρηση των δέντρων και την εκτίμηση της ακρίβειας και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων (εικόνα ορίων κόμης με τα κεντροειδή των ελαιόδεντρων, αριθμός σωστά εντοπισμένων δέντρων).

Για τον προσδιορισμό της κόμης των μεμονωμένων ελαιόδεντρων, επιλέχθηκε η μέθοδος κατάτμησης υδροκρίτη με δείκτες (marker-controlled watershed segmentation). Για τον υπολογισμό των λεκανών απορροής που απεικονίζουν τις κόμης, απαραίτητη είναι πρώτα η δημιουργία της τοπογραφικής επιφάνειας πάνω στην οποία θα εφαρμοστεί, καθώς και των δεικτών τοπικού ελάχιστου (δείκτες προσκηνίου) και των δεικτών των φραγμάτων (δείκτες φόντου). Με βάση αυτά τα στοιχεία, υπολογίζονται οι κόμης των δέντρων με κατάτμηση υδροκρίτη.



Εικόνα 3. Το διάγραμμα ροής των εργασιών κατά την προεπεξεργασία των δεδομένων (σκουρό γκρι) και κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου μέσα στο λογισμικό OliVer (Βερδέ, Ν., 2015).

5.1 Εικόνες του δορυφόρου WorldView-2

Για τις περιοχές 1, 2 και 3 που περιέχονται στις εικόνες WorldView-2, αρχικά δημιουργήθηκε η εικόνα βαθμίδας κλίσης της ψευδοχρωματικής εικόνας συνδυασμού 'βλάστησης', μετασχηματισμένη όμως σε εικόνα τιμών έντασης του γκρι. Η εικόνα αυτή χρησιμοποιήθηκε ως τοπογραφική επιφάνεια για την κατάτμηση υδροκρίτη. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στην αρχική εικόνα ο δείκτης βλάστησης NDVI χρησιμοποιώντας τον NIR2 δίαυλο αντί του NIR1 καθώς και ο μετασχηματισμός Tasseled Cap για την εξαγωγή του 2ου ψευδοδιαύλου. Οι δύο αυτές εικόνες αθροίστηκαν αλγεβρικά δημιουργώντας μία εικόνα, στην οποία τονίζονται οι κόμμες και πάνω στην οποία θα εντοπιστούν τα φωτεινότερα σημεία κάθε κόμης.

Για τον προσδιορισμό των δεικτών προσκηνίου η εικόνα αθροίσματος του προηγούμενου σταδίου μετασχηματίζεται μορφολογικά για να δημιουργηθούν επίπεδα μέγιστα μέσα σε κάθε κόμη δέντρου που να μπορούν να εντοπιστούν εύκολα από ένα φίλτρο τοπικού μέγιστου. Με δομικό στοιχείο κύκλο ακτίνας 2 ψηφίδων, εφαρμόζεται στην εικόνα αθροίσματος πρώτα ένα άνοιγμα ακολουθούμενο από ένα κλείσιμο (εικόνα 'άνοιγμα-κλείσιμο') και στη συνέχεια το άνοιγμα με ανακατασκευή ακολουθούμενο από ένα κλείσιμο με ανακατασκευή (εικόνα 'άνοιγμα με ανακατασκευή-κλείσιμο με ανακατασκευή'). Κατάλληλη εικόνα για εφαρμογή του φίλτρου τοπικού μέγιστου κρίθηκε η εικόνα 'άνοιγμα-κλείσιμο' λόγω λιγότερων σφαλμάτων παράλειψης δέντρων, και σε αυτήν εφαρμόστηκε φίλτρο εύρεσης τοπικού μέγιστου σύνδεσης 8 ψηφίδων. Τοπικά μέγιστα τα οποία ήταν μικρότερα από 1 ψηφίδα αφαιρέθηκαν από τις εικόνες για αποφυγή ορισμού φωτεινότερου σημείου κόμης σε μέρος όπου δεν υπάρχει ελαιόδεντρο και άρα αποφυγή υπερκατάτμησης. Επίσης, στην εικόνες τοπικών μέγιστων (οι οποίες είναι δυαδικές εικόνες), εφαρμόστηκε ένα κλείσιμο και στη συνέχεια μία συστολή, για ομαλοποίηση του αποτελέσματος.

Για την εύρεση των δεικτών φόντου ('φράγματα' στην κατάτμηση υδροκρίτη), χρησιμοποιήθηκε η εικόνα τοπικών μέγιστων της μετασχηματισμένης εικόνας 'άνοιγμα-κλείσιμο', λόγω μικρότερων σφαλμάτων παράλειψης που είχε. Κατά τη διαδικασία εύρεσης δεικτών φόντου, με βάση τα τοπικά μέγιστα, υπολογίστηκε πρώτα η μετασχηματισμένη εικόνα Ευκλείδειας απόστασης, χρησιμοποιώντας φίλτρο σύνδεσης 8 εικονοστοιχείων. Σε αυτή την εικόνα εφαρμόστηκε η απλή κατάτμηση υδροκρίτη. Έτσι σχηματίστηκε μία δυαδική εικόνα με τιμές διάφορες του μηδενός στα εικονοστοιχεία που απέχουν το μέγιστο από κάθε δείκτη προσκηνίου.

Έχοντας έτοιμα σε αυτό το σημείο μία τοπογραφική επιφάνεια (εικόνες βαθμίδας κλίσης), δείκτες προσκηνίου (τοπικά μέγιστα μορφολογικά μετασχηματισμένων εικόνων) και δείκτες φόντου (μετασχηματισμένες εικόνες Ευκλείδειας απόστασης μετά από εύρεση υδροκρίτη), μπορεί να εφαρμοστεί 'κατάτμηση υδροκρίτη με δείκτες' για χαρτογράφηση κόμης των ελαιόδεντρων.

Οι δείκτες προσκηνίου και φόντου εφαρμόζονται στην εικόνα βαθμίδας κλίσης,

τροποποιώντας τις εντάσεις των εικονοστοιχείων ώστε η εικόνα βαθμίδας κλίσης να έχει μηδενικές τιμές μόνο στα σημεία όπου οι δυαδικές εικόνες των δεικτών έχουν μη-μηδενική τιμή. Σε αυτή την τροποποιημένη τοπογραφική επιφάνεια εφαρμόζεται τελικά η κατάτμηση υδροκρίτη για χαρτογράφηση της κόμης των ελαιόδεντρων. Η εικόνα ορίων κόμης δέντρων η οποία είναι σε δυαδική μορφή, αποθηκεύεται αυτομάτως από το λογισμικό OliVer σε μορφή GeoTiff (Βερδέ, Ν., 2015).

5.2 Εικόνα του δορυφόρου IKONOS-2

Η Περιοχή 4 αφορά τον ίδιο ακριβώς ελαιώνα που μελετήθηκε στην Περιοχή 3, στην ευρύτερη περιοχή της Μηχανιάνας Θεσσαλονίκης, μόνο που σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η εικόνα IKONOS-2 αντί της εικόνας WorldView-2. Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε για τη μελέτη της μεταφερσιμότητας του αλγορίθμου του λογισμικού OliVer και σε εικόνες άλλου αισθητήρα. Λόγω διαφορετικών παραμέτρων (χωρικής και φασματικής ανάλυσης) για την περιοχή αυτή επιλέχθηκε μία διαφορετική προσέγγιση. Οι διαφορές αφορούν πρώτα την επιλογή των διαύλων για τη δημιουργία ψευδοχρωματικής εικόνας, η οποία στη συνέχεια δημιουργεί την ‘τοπογραφική επιφάνεια’ για κατάτμηση υδροκρίτη, και στη συνέχεια την επεξεργασία εικόνας που γίνεται πριν τη δημιουργία δεικτών προσκηνίου και φόντου.

Η τοπογραφική επιφάνεια που επιλέχθηκε για την κατάτμηση, ήταν και πάλι η εικόνα βαθμίδας κλίσης της ψευδοχρωματικής εικόνας. Σε αυτή την περίπτωση όμως, η ψευδοχρωματική εικόνα ήταν του συνδυασμού (4,3,2) μετασχηματισμένη σε εικόνα τιμών έντασης του γκρι. Η ψευδοχρωματική εικόνα αυτή αν και δεν εμφανίζει τις κόμης των ελαιόδεντρων με φωτεινά εικονοστοιχεία, ήταν η πιο κατάλληλη για τον διαχωρισμό τους από το φόντο τους.

Στο σημείο αυτό, για την δημιουργία κατάλληλων εικόνων για σχηματισμό των δεικτών για την ‘κατάτμηση υδροκρίτη με δείκτες’, ο αλγόριθμος διαφοροποιείται για εικόνες IKONOS-2. Η εικόνα του δείκτη βλάστησης μαζί με την εικόνα ‘Greenness’ δε βοήθησαν στη σωστή ανάδειξη των φωτεινότερων σημείων της κόμης των δέντρων και η εφαρμογή ενός φίλτρου τοπικού μέγιστου δημιουργούσε σημαντικά σφάλματα. Έτσι, για την ανάδειξη των κομών των ελαιόδεντρων επιλέχθηκε η αξιοποίηση της αντίθεσης που είχαν με το γύρω περιβάλλον τους.

Αρχικά, εφαρμόστηκε ομαλοποίηση της ψευδοχρωματικής εικόνας με το φίλτρο Gauss για απαλοιφή του θορύβου και της ανομοιογένειας εντός κόμης και στη συνέχεια υπολογίστηκε η Laplacian εικόνα. Με αυτόν τον τρόπο αναδεικνύονται τα κέντρα από τις κόμης των ελαιόδεντρων, που έχουν μικρές τιμές ψηφίδων στην ψευδοχρωματική εικόνα, διότι είναι τα σημεία στα οποία εμφανίζεται η εντονότερη μεταβολή σε σχέση με το φόντο, το οποίο εμφανίζει πολύ μεγάλες τιμές ψηφίδων. Η προσέγγιση αυτή είναι παρόμοια της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε στην

μελέτη (Karantzalos, K., και Argialas, D., 2004) όπου και εκεί εφαρμόζεται πρώτα μία μέθοδος ομαλοποίησης και στη συνέχεια υπολογίζεται η λαπλασιανή εικόνα για εύρεση κόμης ελαιόδεντρων.

Το φίλτρο Gauss που κρίθηκε κατάλληλο για ελαιόδεντρα σε εικόνες IKONOS-2 ήταν μεγέθους 5x5 και τυπικής απόκλισης $\sigma=3$. Οι τιμές αυτές προέκυψαν με δοκιμές που έγιναν πάνω στην περιοχή 4 και παρείχαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Η εφαρμογή του τελεστή Laplace στην εικόνα έγινε και αυτή με την εφαρμογή προσεγγιστικού φίλτρου το οποίο προέκυψε μετά από δοκιμές.

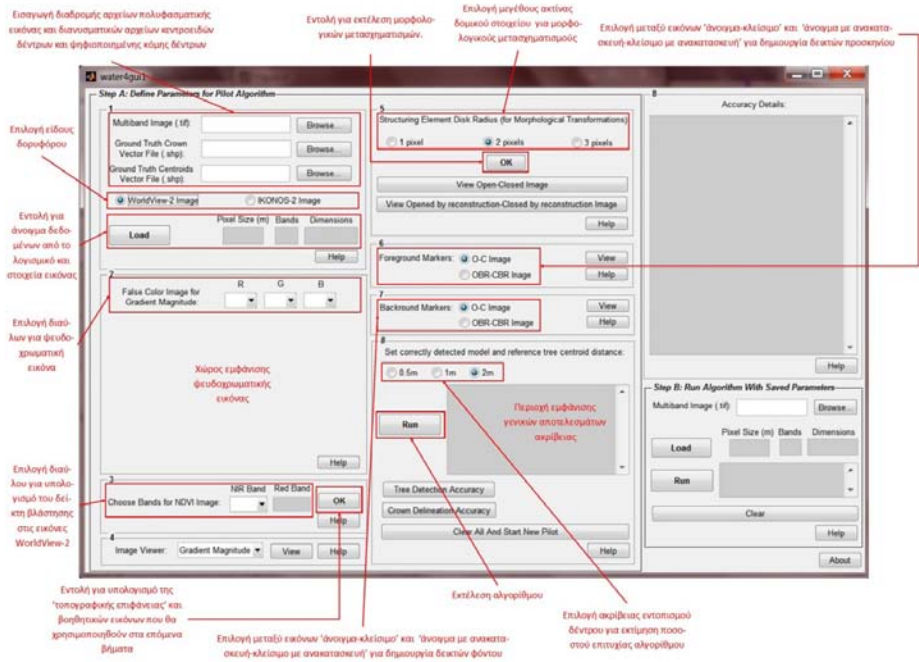
Στη συνέχεια του αλγορίθμου μέχρι το τέλος του, έγιναν οι ίδιες ακριβώς διεργασίες με μόνη διαφορά τη χρήση δομικού στοιχείου, κύκλου ακτίνας 1 ψηφίδα αντί για 2 ψηφίδες στους μορφολογικούς μετασχηματισμούς.

5.3 Εκτίμηση της ακρίβειας

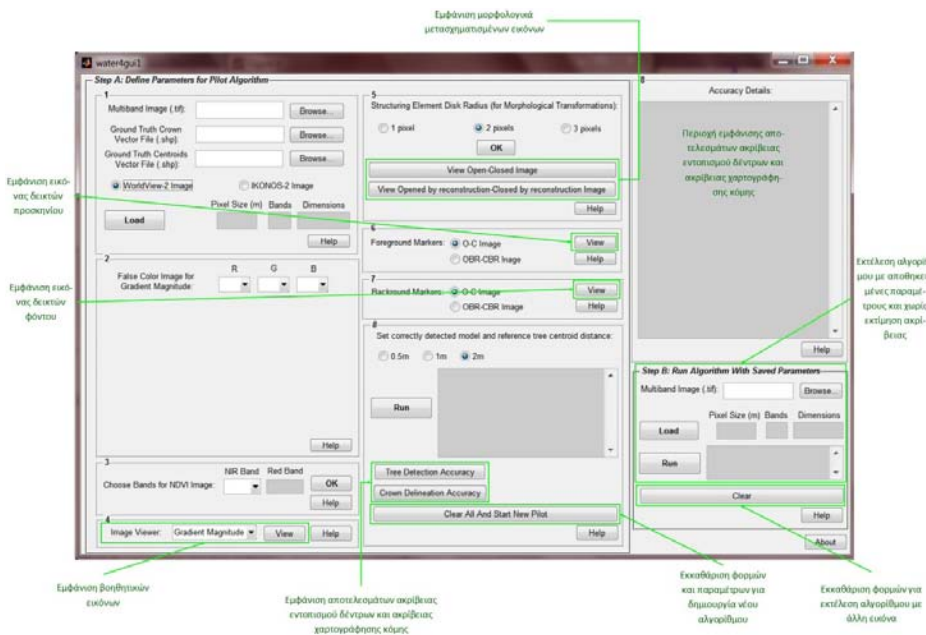
Μετά τον εντοπισμό των μεμονωμένων ελαιόδεντρων και τη χαρτογράφηση της κόμης τους, ο αλγόριθμος του προγράμματος OliVer εφαρμόζει αυτόματη εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων με βάση τα διανυσματικά αρχεία με τις ψηφιοποιημένες κόμης και τα κεντροειδή των ελαιόδεντρων αναφοράς. Οι μέθοδοι μέτρησης της ακρίβειας που χρησιμοποιήθηκαν και για τις τέσσερις περιοχές παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 1.2. Ως δεδομένα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν τα ψηφιοποιημένα δέντρα. Ορισμένες μελέτες θεωρούν ότι ο εντοπισμός δέντρου πραγματοποιείται με ακρίβεια εάν η επιφάνεια της κόμης επικαλύπτει την επιφάνεια του δέντρου αναφοράς σε ποσοστό πάνω από 50% (Zhan, Q., et al., 2005, Amiri, N., 2014). Στην παρούσα εργασία, ο εντοπισμός του ελαιόδεντρου αξιολογείται σύμφωνα με την απόσταση του κεντροειδούς του πολυγώνου της κόμης, από το κεντροειδές του πολυγώνου της ψηφιοποιημένης κόμης αναφοράς, η οποία ορίζεται από το χρήστη στο γραφικό περιβάλλον κάθε φορά. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η Ευκλείδεια απόσταση, η οποία μπορεί να επιλεγεί με το γραφικό περιβάλλον του OliVer να είναι 0.5m, 1m ή 2m.

6. Περιγραφή του λογισμικού OliVer

Η λειτουργία του λογισμικού OliVer ξεκινά με την ‘εκπαίδευση’ (training) του αλγορίθμου πρώτα στην περιοχή μελέτης και μετά την εφαρμογή του σε περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά της περιοχής εκπαίδευσης. Η εκπαίδευση γίνεται με τον ορισμό κατάλληλων παραμέτρων από το χρήστη, τέτοιων ώστε να παράγονται από το λογισμικό βέλτιστα αποτελέσματα σύμφωνα με την εκτίμηση της ακρίβειας. Το λογισμικό χωρίζεται λοιπόν σε δύο μεγάλες φάσεις: την εκπαίδευση και την εφαρμογή. Για την εκτέλεση της δεύτερης φάσης, απαραίτητη είναι η εκπαίδευση. Για τη σωστή λειτουργία επίσης, απαραίτητη είναι η ακολουθία μίας σειράς υποχρεωτικών βημάτων τα οποία προτείνεται να ακολουθούνται με συγκεκριμένη σει-



Εικόνα 4. Το γραφικό περιβάλλον χρήστη του λογισμικού OliVer με επεξήγηση των υποχρεωτικών επιμέρους λειτουργιών του, (Βεργό, Ν., 2015)



Εικόνα 5. Το γραφικό περιβάλλον χρήστη του λογισμικού OliVer με επεξήγηση των προαιρετικών επιμέρους λειτουργιών του (Βεργό, Ν., 2015)




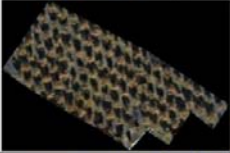








ρά για αποφυγή προβλημάτων κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου. Οι λειτουργίες αυτές παρουσιάζονται στην Εικόνα 4. Εκτός από τις υποχρεωτικές λειτουργίες (βήματα), υπάρχουν κάποιες λειτουργίες του λογισμικού οι οποίες είναι προαιρετικές (Εικόνα 5). Οι λειτουργίες αυτές έχουν δύο στόχους: πρώτον, την ευκολότερη αντίληψη από το χρήστη της λειτουργίας των επιμέρους σταδίων του αλγορίθμου για τον ορισμό των σωστών παραμέτρων και δεύτερον, την ευχρηστία του λογισμικού. Οι λειτουργίες αυτές παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί και ότι το λογισμικό OliVer είναι ένα εκτελούμενο αρχείο τύπου .exe και λειτουργεί σε περιβάλλον Windows 64-bit. Δεν απαιτείται κάποια εγκατάσταση πέραν των βιβλιοθηκών MatLab, η οποία δεν χρειάζεται εάν είναι ήδη εγκατεστημένη η γλώσσα MatLab στον υπολογιστή.

7. Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3), παρουσιάζονται οι αρχικές εικόνες, τα αποτελέσματα και οι ακρίβειες μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου στις τέσσερις περιοχές μελέτης. Παρατηρώντας τον πίνακα φαίνονται οι αρχικές ψευδοχρωματικές εικόνες των περιοχών μελέτης (δεύτερη στήλη), η χαρτογράφηση κόμης κάθε μεμονωμένου ελαιόδεντρου με άσπρο περίγραμμα πάνω στην αρχική ψευδοχρωματική εικόνα (τρίτη στήλη), η χαρτογράφηση κόμης κάθε μεμονωμένου ελαιόδεντρου με άσπρο περίγραμμα πάνω στο διανυσματικό αρχείο των δέντρων αναφοράς (τέταρτη στήλη) και τέλος τα αποτελέσματα της ακρίβειας καταμέτρησης των ελαιόδεντρων του αλγορίθμου με το επίπεδο ακρίβειας ‘Plot Level Accuracy’ (PLA).

Πίνακας 3. Αποτελέσματα εικόνων του αλγορίθμου και ακρίβεια καταμέτρησης, (Βερδέ, Ν., 2015).

Περιοχή	Αρχική ψευδοχρωματική εικόνα	Κόμης μοντέλου από εφαρμογή αλγορίθμου	Κόμης μοντέλου και κόμης αναφοράς	Ακρίβεια καταμέτρησης PLA
1				96.3
2				90.2
3				103.03
4				95.1

Συμπερασματικά, μπορεί κανείς να πει πως ο αλγόριθμος του λογισμικού OliVer είναι περισσότερο αξιόπιστος στην καταμέτρηση ελαιόδεντρων και τον εντοπισμό της θέσης τους με ακρίβεια θέσης έως και 2 m, και στα δύο είδη εικόνων (WorldView-2 και IKONOS-2) και λιγότερο αξιόπιστος στην σωστή χαρτογράφηση των ορίων της κόμης. Ειδικότερα, τα καλύτερα αποτελέσματα χαρτογράφησης της κόμης παρατηρήθηκαν στην εικόνα IKONOS-2 η οποία αφορά έναν ελαιώνα (με ευνοϊκότερες συνθήκες σκιάς, εδαφικής βλάστησης και αποστάσεων φύτευσης) και τα καλύτερα αποτελέσματα καταμέτρησης παρατηρήθηκαν για μέτρο ακρίβειας 2m (4 εικονοστοιχεία στις εικόνες WorldView-2 και 2 στις εικόνες IKONOS-2) σε όλες τις εικόνες και περιοχές. Για την αξιολόγηση της επιτυχίας καταμέτρησης που είχε ο αλγόριθμος στα δύο είδη εικόνων, έγινε σύγκριση των μέτρων ακρίβειας PA και UA για τις περιοχές 3 και 4. Προέκυψε πως ο αλγόριθμος είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα για ακρίβεια 2 ψηφίδων και στα δύο είδη εικόνων με καλύτερα αποτελέσματα στην εικόνα IKONOS-2.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Amiri, N. (2014). *Assessment of Marker-Controlled Watershed segmentation algorithm for individual tree top detection and crown delineation*. (Master's Thesis), University of Twente. Retrieved from http://www.itc.nl/library/papers_2014/msc/gem/amiri.pdf
- Apan, A., Young, F. R., Phinn, S., Held, A., και Favier, J. (2004). *Mapping olive varieties and within-field spatial variability using high resolution QuickBird imagery*. Paper presented at the Proceedings of the 12th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference.
- Ardila, J. P., Bijker, W., Tolpekin, V. A., και Stein, A. (2012). Context-sensitive extraction of tree crown objects in urban areas using VHR satellite images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 15, 57-69. doi: 10.1016/j.jag.2011.06.005
- Beucher, S., Meyer, F. (1992). The morphological approach to segmentation: the watershed transformation. *OPTICAL ENGINEERING-NEW YORK-MARCEL DEKKER INCORPORATED-*, 34, 433-433.
- Ceylan, N. U., Ediz; Masson, Josiane;. (2009). A Case Study of Developing An Olive Tree Database for Turkey. *Photogrammetric Engineering και Remote Sensing*, 75(12), 1397–1405.
- Daliakopoulos, I. N., Grillakis, E. G., Koutroulis, A. G., και Tsanis, I. K. (2009). Tree crown detection on multispectral VHR satellite imagery. *Photogrammetric Engineering και Remote Sensing*, 75(10), 1201-1211.
- Deng, G., Li, Z. (2011). The Study of Improved Marker-Controlled Watershed Crown Segmentation Algorithm. 1576-1579. doi: 10.1109/cis.2011.353
- ECJ 10 July 2014 (C-391/13 P) (European Court of Justice Press Release No. 97/14 2014).
- Kalapala, M. (2014). Estimation of Tree Count from Satellite Imagery through

- Mathematical Morphology. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4(1), 490-495.
- Karantzas, K., Argialas, D. (2004). *Towards automatic olive tree extraction from satellite imagery*. Paper presented at the Geo-Imagery Bridging Continents. XXth ISPRS Congress.
- Ke, Y., Quackenbush, L. J. (2009). *Individual tree crown detection and delineation from high spatial resolution imagery using active contour and hill-climbing methods*. Paper presented at the Proceedings of 2009 ASPRS Annual Conference, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Ke, Y., και Quackenbush, L. J. (2011a). A comparison of three methods for automatic tree crown detection and delineation from high spatial resolution imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 32(13), 3625-3647. doi: 10.1080/01431161003762355
- Ke, Y., Quackenbush, L. J. (2011b). A review of methods for automatic individual tree-crown detection and delineation from passive remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 32(17), 4725-4747. doi: 10.1080/01431161.2010.494184
- Lamar, W. R., McGraw, J. B., και Warner, T. A. (2005). Multitemporal censusing of a population of eastern hemlock (*Tsuga Canadensis* L.) from remotely sensed imagery using an automated segmentation and reconciliation procedure. *Remote Sensing of Environment*, 94(1), 133-143.
- Mallinis, G., Mitsopoulos, I., Stournara, P., Patias, P., και Dimitrakopoulos, A. (2013). Canopy Fuel Load Mapping of Mediterranean Pine Sites Based on Individual Tree-Crown Delineation. *Remote Sensing*, 5(12), 6461-6480. doi: 10.3390/rs5126461
- Meyer, F. (1994). Topographic distance and watershed lines. *Signal processing*, 38(1), 113-125.
- Meyer, F., Beucher, S. (1990). Morphological segmentation. *Journal of visual communication and image representation*, 1(1), 21-46.
- Moreno-Garcia, J., Linares, L. J., Rodriguez-Benitez, L., και Solana-Cipres, C. (2010). Olive Trees Detection in Very High Resolution Images *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems. Applications* (pp. 21-29): Springer.
- Neubert, M., Herold, H., και Meinel, G. (2008). Assessing image segmentation quality—concepts, methods and application *Object-based image analysis* (pp. 769-784): Springer.
- Pinz, A. J. (1991). A computer vision system for the recognition of trees in aerial photographs.
- Ramdani, F. (2013). Extraction of Urban Vegetation in Highly Dense Urban Environment with Application to Measure Inhabitants' Satisfaction of Urban Green Space. *Journal of Geographic Information System*, 05(02), 117-122. doi: 10.4236/jgis.2013.52012
- Wang, L., Gong, P., Biging, G. S. (2004). Individual tree-crown delineation and treetop detection in high-spatial-resolution aerial imagery. *Photogrammetric Engineering και Remote Sensing*, 70(3), 351-357.

WorldView-2 Band Combinations. 2015, from:

http://c-agg.org/cm_vault/files/docs/WorldView_band_combs_2.pdf

Yang, J., He, Y., Caspersen, J. (2014). *A multi-band watershed segmentation method for individual tree crown delineation from high resolution multispectral aerial image*. Paper presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International.

Zhan, Q., Molenaar, M., Tempfli, K., και Shi, W. (2005). *Quality assessment for geo-spatial objects derived from remotely sensed data*. *International Journal of Remote Sensing*, 26(14), 2953-2974.

Βερδέ, Ν. (2015). *Ανάπτυξη λογισμικού για τον αυτόματο εντοπισμό και εκτίμηση αριθμού καλλιεργημένων ελαιόδεντρων με τη χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης*. Διπλωματική Εργασία, ΤΑΤΜ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Δοξάνη, Γ. (2011). *Μοντέλα ανάλυσης τηλεπισκοπικών δεδομένων για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση μεταβολών σε αστικές περιοχές*. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Τσολακίδης, Ι., Δαβής, Μ., Κατσέλας, Ν. (2011). *Συνδυασμός δορυφορικών εικόνων IKONOS υψηλής χωρικής ανάλυσης και ΓΣΠ στην εκτίμηση του αριθμού των δένδρων του παραποτάμιου δάσους της λίμνης Κερκίνης*. *ΧΩΡΟ-ΓΡΑΦΙΕΣ*, 2(2).