

Διερεύνηση κατανομής δασικών ειδών δέντρου και βιοποικιλότητας στο Πανεπιστημιακό Δάσος Ταξιάρχη στην Χαλκιδική, χρησιμοποιώντας υπερφασματικές και πολυφασματικές εικόνες

Μ. Καμπούρη, Βιολόγος (ΔΠΜΣ Περιβάλλον & Ανάπτυξη)
Π. Κολοκούσης, ΕΔΠ, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, ΕΜΠ
Δ. Αργιαλάς, Καθηγητής, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, ΕΜΠ
Β. Καραθανάση, Αν. Καθηγήτρια, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, ΕΜΠ

Περίληψη

Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση μεθόδων ανάλυσης δεδομένων ψηφιακής τηλεπισκόπησης για τον προσδιορισμό περιοχών με υψηλή βιοποικιλότητα. Η περιοχή μελέτης είναι το Πανεπιστημιακό Δάσος Ταξιάρχη, στις νότιες και νοτιοδυτικές πλαγιές του Όρους Χολομώντα στην Χαλκιδική. Καλύπτει μία περιοχή 60 km² που βρίσκεται σε υψόμετρα μεταξύ 320 και 1200 m. Μετά την ανάλυση μίας ποικιλίας δορυφορικών εικόνων και αεροπορικών λήψεων, με τη μέθοδο της αντικειμενοστρεφούς ταξινόμησης (OBIA) και με βάση διανυσματικά δεδομένα, που αποκτήθηκαν μετά από δειγματοληψία πεδίου, ήταν δυνατό να επιλεγούν εικόνες που παρείχαν την πιο ακριβή ταξινόμηση δασικών ειδών δένδρου. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν περιλάμβαναν δορυφορικές πολυφασματικές, όπως οι Landsat OLI 8 και GeoEye, καθώς και δορυφορικές υπερφασματικές εικόνες Proba-Chris και Hyperion, και υπερφασματικές εικόνες του αερομεταφερόμενου δέκτη CASI. Στις υπερφασματικές εικόνες εφαρμόστηκαν τρεις μέθοδοι μετασχηματισμού με σκοπό τη μείωση του όγκου των δεδομένων και του χρόνου επεξεργασίας: Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA), Μετασχηματισμός Ελαχιστοποίησης Θορύβου (MNF) και επιλογή καναλιών με βάση τη συσχέτιση των φασματικών υπογραφών των ειδών δέντρου. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση ειδών δέντρου με αντικειμενοστρεφή ανάλυση και χρήση ασαφούς λογικής αξιοποιώντας παράλληλα και φυσιογραφικές παραμέτρους, οι οποίες αφορούν στο υψόμετρο, την κλίση και τον προσανατολισμό. Η εικόνα, η οποία έδωσε τη βέλτιστη ακρίβεια και επιλέχθηκε για περαιτέρω ανάλυση ήταν η εικόνα Landsat, με συνολική ακρίβεια 73% και καλύτερα αποτελέσματα σε ότι αφορά τη σταθερότητα ταξινόμησης. Για την εικόνα αυτή υπολογίστηκε ο Δείκτης Βιοποικιλότητας Simpson και δημιουργήθηκε ένας χάρτης που απεικονίζει τη διαβαθμίσεις της βιοποικιλότητας ανά περιοχή. Δασικά δένδρα μπορεί να αποτελούν οικοτόπους για μια ποικιλία ζωντανών οργανισμών. Περιοχές όπου παρατηρείται υψηλή βιοποικιλότητα, μπορούν να αποτελέσουν στόχους για περαιτέρω έρευνα, εφαρμογή περιβαλλοντικής πολιτικής και σχεδιασμό ζωνών προστασίας.

Λέξεις κλειδιά: πολυφασματική, υπερφασματική, αντικειμενοστρεφής ταξινόμηση (OBIA), βιοποικιλότητα, Δείκτης Βιοποικιλότητας Simpson, Πανεπιστημιακό Δάσος Ταξιάρχη, Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA), Μετασχηματισμός Ελαχιστοποίησης Θορύβου (MNF), φασματικές υπογραφές δέντρων.

1. Εισαγωγή

Από την εποχή του Δαρβίνου και του Γουάλας, οι βιολόγοι που ασχολούνται με την οικολογία και την εξέλιξη, έχουν προσπαθήσει να ερμηνεύσουν τη γεωγραφική κατανομή ειδών και να ανακαλύψουν περιοχές στις οποίες υπάρχει ιδιαίτερη βιοποικιλότητα (Turner κ.α., 2003). Οι βιολόγοι κατανοούν σήμερα ότι υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα οργάνωσης. Η διαχειριστική προσέγγιση με σκοπό την προστασία της βιοποικιλότητας προσφέρει την ευκαιρία για ολοκληρωμένη περιβαλλοντική προστασία, αντίθετα με την προσέγγιση που στοχεύει σε κάποιο συγκεκριμένο είδος.

Χρονικά και χωρικά τα οικοσυστήματα μεταβάλλονται και η παρακολούθηση των αλλαγών αυτών αποτελεί σημαντικό διαχειριστικό εργαλείο. Οι κοινωνίες αντικαθιστούν η μία την άλλη σε βάθος χρόνου, ξεκινώντας από ένα αρχικό στάδιο και εξελισσόμενες προς μία κλιμακωτή κοινωνία. Ως αποτέλεσμα τοπογραφικών παραγόντων, π.χ. μικρομορφολογία ή το υπόβαθρο του εδάφους.

Τηλεπισκοπικά δεδομένα, ειδικά το υπέρυθρο τμήμα του φάσματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σκοπό τον προσδιορισμό της έκτασης ενός οικοτόπου ή των αλλαγών που έχει υποστεί σε βάθος χρόνου (Ståhl κ.α., 2011). Δεδομένα ψηφιακής τηλεπισκόπησης από δορυφόρους μπορούν να συνδεθούν και να συγκριθούν με χάρτες οικοτόπων που έχουν δημιουργηθεί από δεδομένα in situ για την χαρτογράφηση μεγαλύτερων ενοτήτων (Mücher κ.α., 2009). Σχέσεις μεταξύ οικοτόπων και συνάθροιση συλλογής ειδών ή συγκεκριμένων υποειδών σημαντικών για τη βιοποικιλότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταχώρηση οικοτόπων, καθώς και τη σύνδεσή τους με δείκτες βιοποικιλότητας, π.χ. Petit & Usher (1998).

Τα μέλη της ΕΕ είναι υποχρεωμένα να αναφέρουν σχετικά με την κατάσταση προστασίας των προστατευόμενων οικοτόπων κάθε 6 έτη με βάση το Άρθρο 17 της Οδηγίας Πλαίσιο για τους Οικοτόπους και το Άρθρο 12 της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Πουλιά. Η παρακολούθηση για ευρύτερες περιοχές μπορεί να γίνει με τη βοήθεια της ψηφιακής τηλεπισκόπησης με σκοπό την παραγωγή χαρτών βιοποικιλότητας. Ένας χάρτης αποτελεί μία παρουσίαση του κόσμου και δεν μπορεί να αντικατοπτρίζει την πραγματική του πολυπλοκότητα: παράγεται για ένα συγκεκριμένο σκοπό. Θα πρέπει να βρεθεί ισορροπία μεταξύ της κλίμακας, της ακρίβειας, των αντικειμένων, της λεπτομέρειας και της έκτασης του χάρτη (MNHN-EEA report, 2014). Η προστασία οικοτόπων θεωρείται ένας από τους καλύτερους τρόπους να προστατευτούν τα είδη που διαμένουν σε αυτούς (Bunce κ.α., 2013).

Η δημιουργία κατάλληλου χάρτη βιοποικιλότητας για την παρακολούθηση και προστασία δασικών οικοσυστημάτων και οικοτόπων με τη βοήθεια της ψηφιακής τηλεπισκόπησης ήταν ο στόχος της παρούσας μελέτης.

2. Μέθοδοι

Τηλεπισκοπικά δεδομένα

Οι εικόνες καθώς και το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (1), οι ημερομηνίες που έγιναν οι λήψεις και η χωρική ανάλυση της κάθε εικόνας.

Εικόνα	Ημερομηνία λήψης	Χωρική ανάλυση
Landsat 8 OLI	1/6/2013	15 m
GeoEye - 2	19/4/2013	0.5 m
Hyperion	10/2008	30 m
CASI	25/7/2013	2 and 5 m
Proba-Chris	14/8/2012	17 m
Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Aster GDEM)		25 m

Πίνακας 1. Εικόνες, ημερομηνίες λήψεων και χωρική ανάλυση

Προ-επεξεργασία εικόνων

Πριν ξεκινήσει η επεξεργασία των εικόνων με σκοπό την αναγνώριση δέντρων, ήταν απαραίτητο κάθε μία από τις εικόνες να βελτιωθεί κατά το δυνατόν με σκοπό να μειωθούν τα σφάλματα από ατμοσφαιρικούς ή γεωμετρικούς παράγοντες (βλ. πίνακα 2).

Μέθοδος επεξεργασίας	Πολυφασματικές		Υπερφασματικές		
	Landsat	GeoEye	CASI	Hyperion	Proba-Chris
Γεωαναφορά					
Γεωμετρικές διορθώσεις					
Ορθοαναγωγή		X	X		X
Ραδιομετρικές διορθώσεις			X		X
Ατμοσφαιρικές διορθώσεις			X		
Αφαίρεση καναλιών με θόρυβο				X	
Συγχώνευση πανχρωματικού με άλλα κανάλια (με χρήση της μεθόδου LMVM)	X	X			
Δημιουργία μωσαϊκού			X		
Συνένωση λωρίδων			X		

Πίνακας 2. Προεπεξεργασίες εικόνων

Επίσης ειδικά για τις υπερφασματικές εικόνες πραγματοποιήθηκαν τρεις μέθοδοι μείωσης της διάστασης καθώς η μεγάλη φασματική διάσταση των δεδομένων αυτών πολλές φορές οδηγεί σε μειωμένης ακρίβειας αποτελέσματα ταξινόμησης. Αιτία για αυτό αποτελεί το γεγονός ότι οι περισσότεροι αλγόριθμοι ταξινόμησης δε μπορούν να διαχειριστούν σωστά δεδομένα μεγάλης φασματικής διάστασης. Για τη μείωση της διάστασης των υπερφασματικών εικόνων εφαρμόστηκαν 2 μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών (ανάλυση κυρίων συνιστωσών και μέθοδος ελαχιστοποίησης του θορύβου) και μία μέθοδος επιλογής χαρακτηριστικών (επιλογή καναλιών με βάση τη συσχέτιση των υπό μελέτη φασματικών υπογραφών).

Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA)

Η μέθοδος PCA βασίζεται στο γεγονός ότι γειτονικές περιοχές του φάσματος υπερφασματικών εικόνων συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό και μεταφέρουν παρόμοιες πληροφορίες για ένα αντικείμενο. Με τη μέθοδο αυτή τα αρχικά δεδομένα μετατρέπονται για να αφαιρεθεί ο

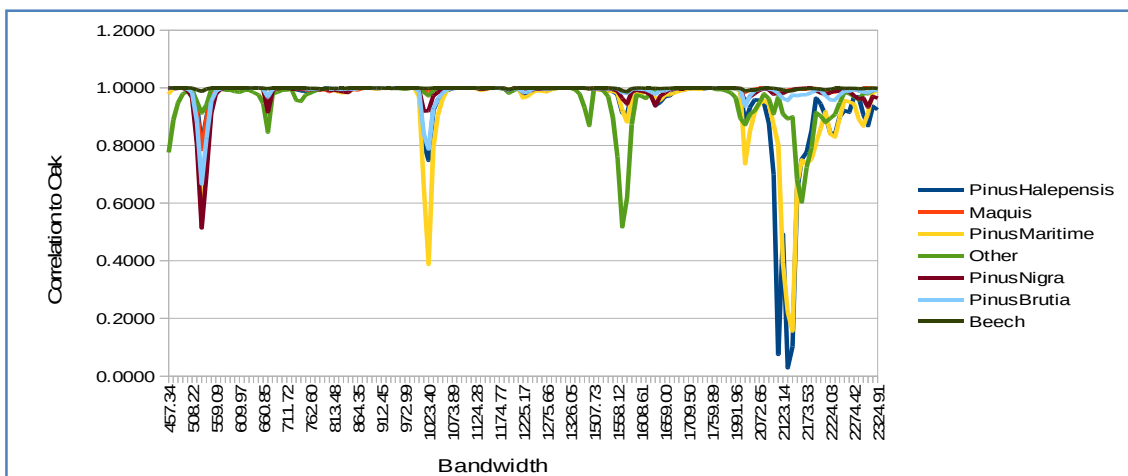
συσχετισμός αυτός μεταξύ καναλιών. Κατά τη διαδικασία αυτή, επιτυγχάνεται ένας γραμμικός συσχετισμός των αρχικών καναλιών έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη με τον ιδανικότερο τρόπο το εύρος των τιμών εικονοστοιχείων. Η PCA κάνει χρήση των στατιστικών ιδιοτήτων των υπερφασματικών καναλιών έτσι ώστε να διερευνηθεί η αλληλεξάρτηση καναλιών ή ο συσχετισμός (Gonzalez & Woods 1993).

Μετασχηματισμός Ελαχιστοποίησης Θορύβου (MNF)

Το 1988, οι Green *et al.* παρουσίασαν πρώτοι τον μετασχηματισμό MNF. Ο μετασχηματισμός αυτός παράγει νέες συνιστώσες ανάλογα με την ποιότητα της εικόνας και παρέχει καλύτερα φασματικά χαρακτηριστικά σε κύριες συνιστώσες σε σχέση με την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, ανεξάρτητα από την κατανομή θορύβου. Ένας από τους πιο κοινούς τρόπους υπολογισμού της ποιότητας εικόνας είναι η αναλογία σήματος προς θόρυβο. Αντί λοιπόν να επιλέγονται νέες συνιστώσες για τη μεγιστοποίηση της μεταβλητότητας, όπως γίνεται με την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, με τη μέθοδο αυτή, τις επιλέγουμε με σκοπό τη μεγιστοποίηση της αναλογίας σήματος-προς-θόρυβο (Green *κ.α.*, 1988).

Επιλογή καναλιών με βάση τη συσχέτιση των υπό μελέτη φασματικών υπογραφών

Με τη μέθοδο αυτή επιλέγονται εκείνα τα τμήματα του φάσματος όπου οι κατηγορίες της εν λόγω μελέτης παρουσιάζουν τον μέγιστο διαχωρισμό (βλ. εικόνα 1) (Chang, 2003).



Εικόνα 1. Συσχετισμός φασματικών υπογραφών κυριότερων δασικών ειδών με εκείνη του πουρναριού

Ταξινόμηση με χρήση αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας (OBIA)

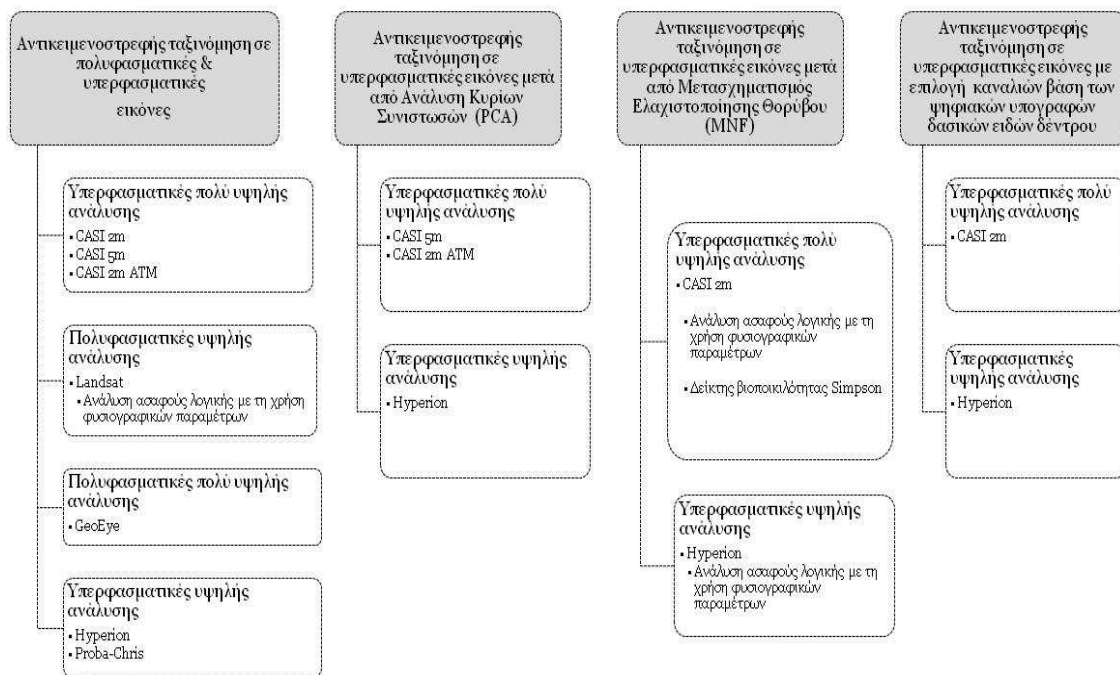
Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας, είναι μία τεχνική η οποία αναπτύχθηκε για να καλύψει ελλείψεις της κλασικής ανάλυσης με βάση τα εικονοστοιχεία. Η OBIA βασίζεται στις πληροφορίες μίας ομάδας παρόμοιων εικονοστοιχείων ή αντικειμένων. Πιο συγκεκριμένα, αντικείμενα αποκαλούμε ομάδες εικονοστοιχείων που παρουσιάζουν ομοιότητες με βάση τις

φασματικές τους ιδιότητες (π.χ. χρώμα, μέγεθος, σχήμα και υφή), καθώς επίσης και σε σχέση με τα γειτονικά αντικείμενα.

Οι ταξινομήσεις έγιναν με το λογισμικό eCognition, το οποίο αποτελεί εξειδικευμένο πρόγραμμα εφαρμογής αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας.

Πραγματοποιήθηκαν μία σειρά από ταξινομήσεις πολυφασματικών και υπερφασματικών εικόνων με σκοπό την επιλογή της βέλτιστης όσο το δυνατό ταξινόμησης για την υπό μελέτη δασική περιοχή. Οι ταξινομήσεις, οι οποίες εφαρμόστηκαν στις εικόνες παρουσιάζονται στο σχεδιάγραμμα της εικόνας 2 που ακολουθεί.

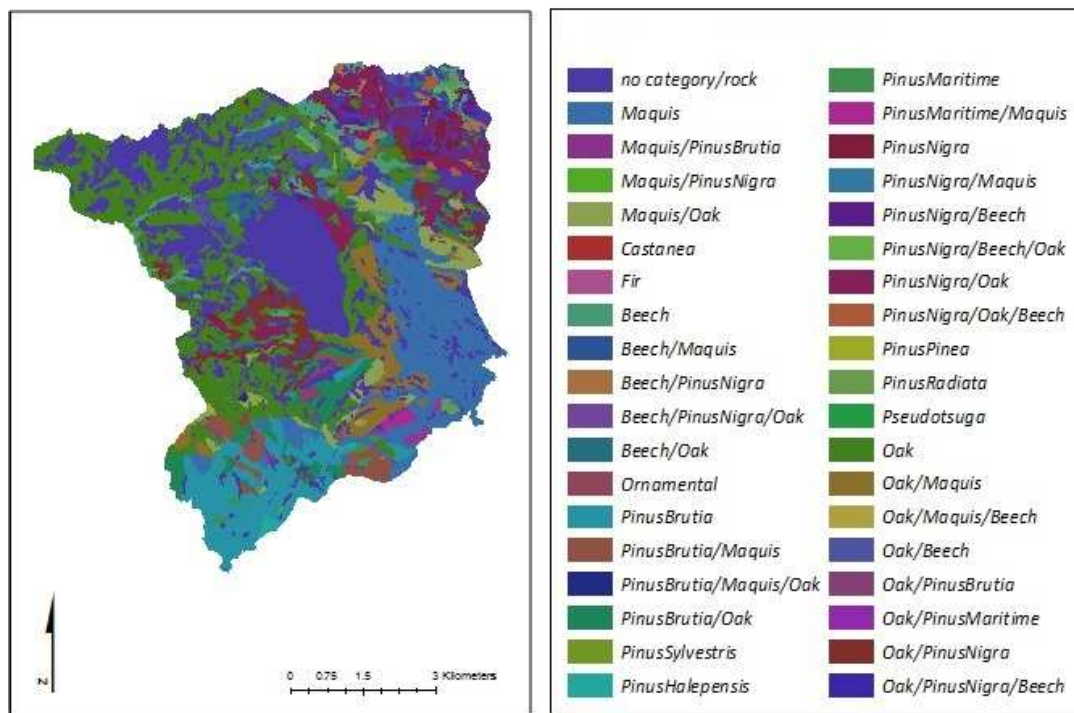
Αρχικά πραγματοποιήθηκαν συγκριτικές ταξινομήσεις σε όλες τις τηλεπισκοπικές απεικονίσεις αποκλειστικά με χρήση δειγμάτων. Η ακριβέστερη από αυτές τις ταξινομήσεις βελτιώθηκε επιπλέον και με χρήση κανόνων ασαφούς λογικής οι οποίοι βασίστηκαν στις φυσιολογικές παραμέτρους των δασικών ειδών.



Εικόνα 2. Επεξεργασίες εικόνων

Διανυσματικά Δεδομένα από Δειγματοληψία Πεδίου

Οι κατηγορίες δασικών ειδών δέντρου και χρήσεων γης, βασίζονται σε μελέτη πεδίου που έγινε από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο της Θεσσαλονίκης και όπως φαίνεται στον παρακάτω χάρτη (εικόνα 3) απεικονίζει την κατανομή των ειδών δένδρων.



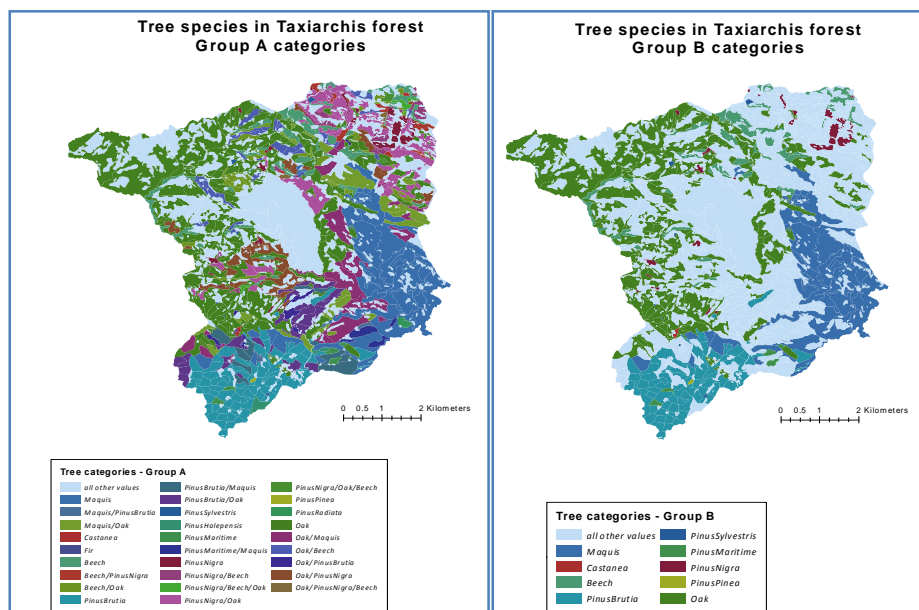
Εικόνα 3. Δασικά είδη δέντρου και κατηγορίες χρήσης γης για το Πανεπιστημιακό Δάσος Ταξιάρχη

Μάσκες περιοχών εκπαίδευσης και ελέγχου (Training and Test Area – TTA mask) δημιουργήθηκαν, με βάση τη δειγματοληψία πεδίου, η οποία απεικονίζεται στην εικόνα 3, για κάθε μία από τις κατηγορίες ενδιαφέροντος. Οι περιοχές εκπαίδευσης δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τυχαία επιλεγμένα δείγματα από τη δειγματοληψία. Η τυχαία επιλογή των δειγμάτων δεδομένων κατηγορίας δέντρων και η παραγωγή του σχετικού TTA mask διεξήχθη με τη χρήση του λογισμικού QGIS.

Αρκετά δείγματα από κατηγορίες, όπως οι *Castanea*, *Pinus sylvestris*, *Pinus maritime* και *Pinus Pinea* με περιορισμένη εξάπλωση στο Δάσος Ταξιάρχη, κρίθηκαν ανεπαρκή, οπότε επιπρόσθετα δείγματα επιλέχθηκαν με βάση τα δεδομένα έρευνας πεδίου του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Η ακρίβεια σε όλες τις περιπτώσεις αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας το αποτέλεσμα ταξινόμησης σε σύγκριση με το σχετικό TTA mask της πλήρους δειγματοληψίας των ειδών.

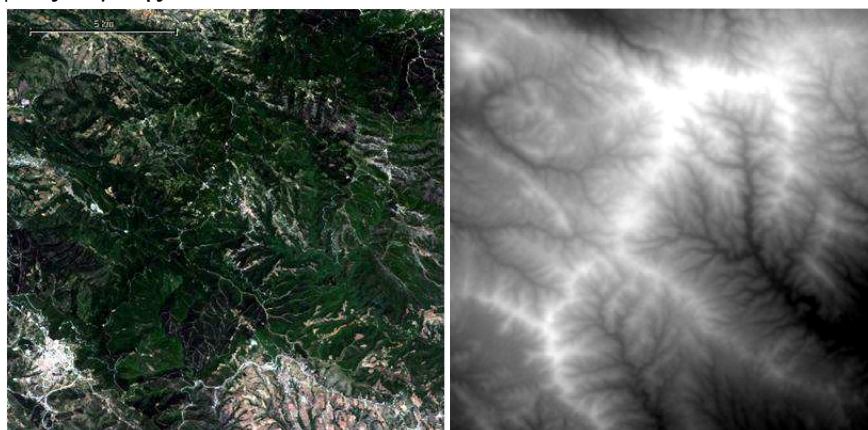
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές κατά τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν δείγματα από δύο ομάδες (group A και B) δασικών ειδών, καθώς κάποιες κατηγορίες είχαν περιορισμένη εξάπλωση και συνεπώς οδηγούσαν σε λάθη την ταξινόμηση ή δεν εκπροσωπούσαν καν σε αυτή (π.χ. *Castanea*, *Pinus sylvestris*, *Pinus maritime* και *Pinus pinea*). Συνεπώς για κάθε εικόνα έγιναν δύο ταξινομήσεις με περιοχές εκπαίδευσης από τις ομάδες A και B αντίστοιχα (βλ. εικόνα 4).



Εικόνα 4. Ομάδες Α και Β δασικών ειδών δέντρου, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τις ταξινομήσεις

Ψηφιακό μοντέλο εδάφους ASTER GDEM

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ASTER GDEM (βλ. εικόνα 5), με χωρική ανάλυση 25 m, το οποίο παρέχει πληροφορίες για το υψόμετρο. Από αυτό το ψηφιακό μοντέλο εδάφους παρήχθησαν χάρτες κλίσεων (σε %) και προσανατολισμού (σε °). Τόσο τα υψόμετρα όσο και οι χάρτες κλίσεων και προσανατολισμού χρησιμοποιήθηκαν σε όλες τις ταξινομήσεις για τη δημιουργία κανόνων ασαφούς λογικής.



Εικόνα 5. Έγχρωμο σύνθετο πραγματικών χρωμάτων 4,3,2(RGB) της εικόνας Landsat 8 OLI (αριστερά) και το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ASTER GDEM (δεξιά)

Φυσιογραφικές Παράμετροι και Συναρτήσεις Ασαφούς Λογικής

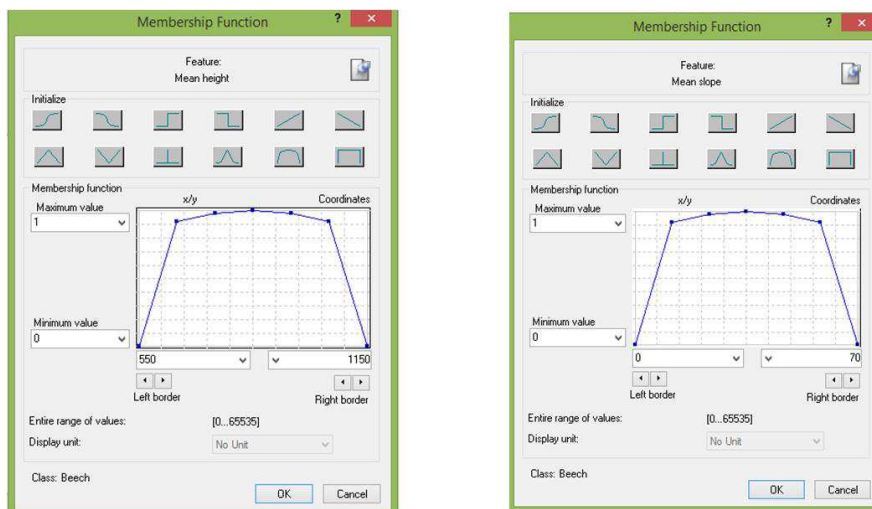
Βάσει των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών των δέντρων στα ελληνικά δάση οι ταξινομήσεις βελτιώθηκαν με τη βοήθεια συναρτήσεων ασαφούς λογικής για κάθε είδος/κατηγορία. Στον πίνακα 3 που ακολουθεί, ο οποίος βασίστηκε στα συμπεράσματα των Ρόκος κ.α. (1992), καθώς

και σε στατιστική ανάλυση της εξάπλωσης του κάθε είδους στο Δάσος Ταξιάρχη, περιλαμβάνονται οι φυσιολογικές παράμετροι που διαμόρφωσαν τα όρια των συναρτήσεων ασαφούς λογικής.

Είδος δέντρου	Ύψος (m)	Κλίση (%)	Προσα- νατολισμός (°)
Maquis	250 - 900	0 – 115	0 - 360
Castanea	650 - 800	10 – 35	200 – 270
Beech	550 - 1150	0 – 90	0 - 360
<i>Pinus brutia</i>	400 - 750	0 – 105	0 - 360
<i>Pinus sylvestris</i>	550 – 1050	0 – 80	15 - 360
<i>Pinus maritime</i>	500 – 700	0 – 65	0 - 360
<i>Pinus nigra</i>	650 - 1100	0 – 90	0 - 360
<i>Pinus pinea</i>	550 - 600	15 – 50	170 – 300
Oak	450 - 1150	0 – 105	0 - 360

Πίνακας 3. Φυσιολογικές παράμετροι, όπως προέκυψαν από εξαγωγή με βάση τα δεδομένα από έρευνα πεδίου του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, καθώς και τη δημοσίευση (Ρόκος κ.α., 1992)

Στην εικόνα 6 παρουσιάζονται παραδείγματα συναρτήσεων ασαφούς λογικής με βάση τις φυσιολογικές παραμέτρους, στη μορφή που εφαρμόστηκαν.



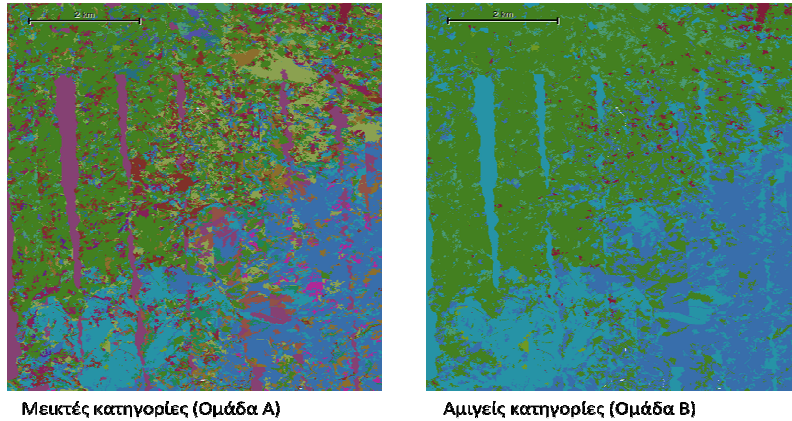
Εικόνα 6. Παραδείγματα κανόνων ασαφούς λογικής με βάση τα φυσιολογικά στοιχεία ανά είδος δέντρου

3. Αποτελέσματα

Το πρώτο βήμα για μία αντικειμενοστρεφή ταξινόμηση αποτελεί η κατάτμηση της εικόνας. Σε όλες τις εικόνες μετά από μία διαδικασία δοκιμής-λάθους, επιλέχθηκε επίπεδο κατάτμησης, τέτοιο ώστε να διαχωρίζονται με ικανοποιητική λεπτομέρεια οι διαφορετικοί τύποι βλάστησης. Οι παράμετροι κατάτμησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν βαρύτητα χρώματος 80% (σχήματος 20%) και συμπαγότητας 50% (ομαλότητα 50%). Η παράμετρος της κλίμακας δεν ήταν ίδια για

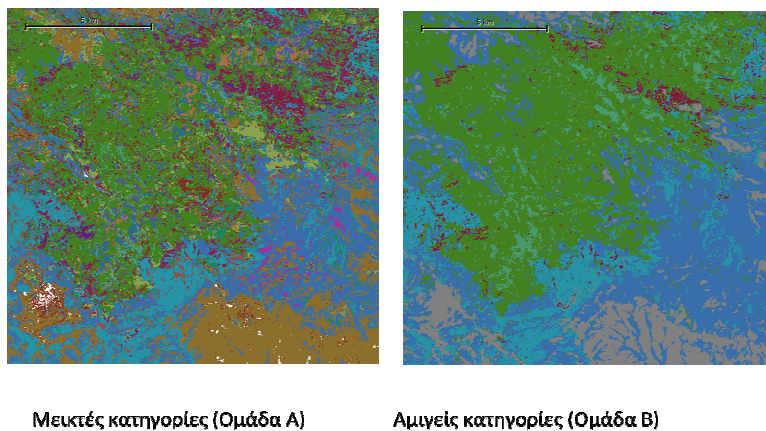
όλες τις εικόνες καθώς αυτή εξαρτάται τόσο από τη χωρική ανάλυση όσο και από τη ραδιομετρική ανάλυση της εκάστοτε εικόνας.

Για τις εικόνες CASI η κλίμακα κατάτμησης που επιλέχθηκε για την εικόνα με χωρική ανάλυση 2 m ήταν 100, ενώ για την εικόνα με χωρική ανάλυση 5 m ήταν 40. Η ταξινόμηση φαίνεται στην εικόνα 7.



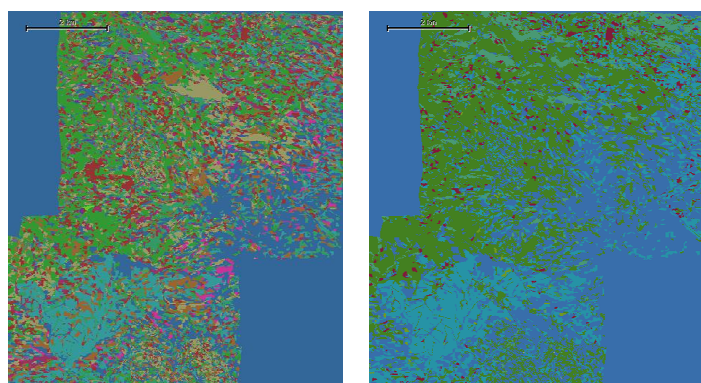
Εικόνα 7. Αποτελέσματα ταξινόμησης για την εικόνα CASI για τις κατηγορίες των ομάδων Α και Β

Στην περίπτωση της εικόνας Landsat 8 OLI η κλίμακα κατάτμησης που επιλέχθηκε ήταν 20 (βλ. εικόνα 8 για αποτέλεσμα ταξινόμησης).



Εικόνα 8. Ταξινόμηση εικόνας Landsat για κατηγορίες ομάδων Α και Β

Για την εικόνα GeoEye η κλίμακα κατάτμησης που επιλέχθηκε ήταν 50 και η ταξινόμηση φαίνεται στην εικόνα 9.

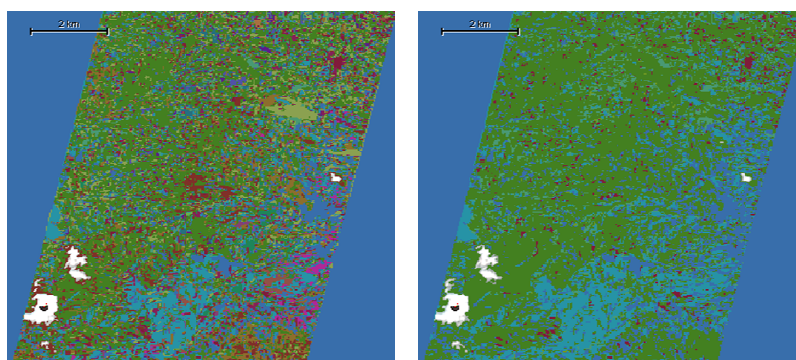


Μεικτές κατηγορίες (Ομάδα Α)

Αμιγείς κατηγορίες (Ομάδα Β)

Εικόνα 9. Ταξινόμηση εικόνας GeoEye για κατηγορίες ομάδων Α και Β

Για την εικόνα Hyperion η κλίμακα κατάτμησης που επιλέχθηκε ήταν 10 (βλ. εικόνα 10 για ταξινόμηση).



Μεικτές κατηγορίες (Ομάδα Α)

Αμιγείς κατηγορίες (Ομάδα Β)

Εικόνα 10. Ταξινόμηση για την υπερφασματική εικόνα Hyperion (κατηγορίες Α και Β)

Οι συγκριτικές ακρίβειες ταξινόμησης για τις υπερφασματικές εικόνες CASI παρουσιάζονται στον πίνακα 4. Τα αποτελέσματα για την ατμοσφαιρικά διορθωμένη CASI-ATM με χωρική ανάλυση 2 m δεν ήταν καλύτερα σε σχέση με τις μη ατμοσφαιρικά διορθωμένες.

	CASI 2m		CASI 5m		CASI-ATM 2m	
	Ομάδα Α	Ομάδα Β	Ομάδα Α	Ομάδα Β	Ομάδα Α	Ομάδα Β
Συνολική ακρίβεια	0.45	0.73	0.39	0.68	0.38	0.65
KIA	0.35	0.59	0.27	0.51	0.26	0.48

Πίνακας 4. Ακρίβεια ταξινόμησης για τις CASI εικόνες

Σε ότι αφορά τις δορυφορικές εικόνες, η Landsat έδωσε την καλύτερη ακρίβεια ταξινόμησης (βλ. πίνακα 5). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ταξινόμηση έγινε μόνο σε αμιγείς κατηγορίες (ομάδα Β) στην περίπτωση της εικόνας Proba-Chris.

	LANDSAT		GEOEYE		HYPERION		PROBA-CHRIS
	Ομάδα A	Ομάδα B	Ομάδα A	Ομάδα B	Ομάδα A	Ομάδα B	Ομάδα B
Συνολική ακρίβεια	0.49	0.77	0.39	0.66	0.39	0.66	0.42
KIA	0.39	0.65	0.30	0.51	0.28	0.48	0.62

Πίνακας 5. Ακρίβεια ταξινόμησης για τις δορυφορικές εικόνες

Ειδικά για την περίπτωση των υπερφασματικών εικόνων, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον ταξινομήσεις μετά από μείωση της διάστασής τους με ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA), με τη μέθοδο MNF, αλλά και με επιλογή καναλιών μετά από συσχέτιση των φασματικών υπογραφών. Η μείωση της διάστασης με ανάλυση κυρίων συνιστωσών δε βελτίωσε την ακρίβεια ταξινόμησης (βλ. πίνακα 6).

PCA	CASI 5m		CASI-ATM 2m		CASI-ATM 5m		HYPERION	
	Ομάδα A	Ομάδα B	Ομάδα A	Ομάδα B	Ομάδα A	Ομάδα B	Ομάδα A	Ομάδα B
Συνολική ακρίβεια	0.38	0.65	0.41	0.66	0.41	0.65	0.39	0.64
KIA	0.27	0.48	0.31	0.49	0.30	0.47	0.27	0.44

Πίνακας 6. Ακρίβεια ταξινόμησης για τις PCA μετασχηματισμένες εικόνες

Η μείωση της διάστασης των υπερφασματικών εικόνων με τη μέθοδο MNF έδωσε βελτιωμένα αποτελέσματα ταξινόμησης, σε σχέση με τις μη μετασχηματισμένες υπερφασματικές εικόνες (βλ. πίνακα 7).

MNF	CASI 2m		HYPERION	
	Ομάδα A	Ομάδα B	Ομάδα A	Ομάδα B
Συνολική ακρίβεια	0.44	0.75	0.44	0.69
KIA	0.34	0.63	0.35	0.53

Πίνακας 7. Ακρίβεια ταξινόμησης για τις MNF μετασχηματισμένες εικόνες

Τέλος, με τη μέθοδο επιλογής καναλιών με συσχετισμό φασματικών υπογραφών τα αποτελέσματα ακρίβειας ταξινόμησης επίσης δεν ήταν καλύτερα από εκείνα των αρχικών εικόνων (βλ. πίνακα 8).

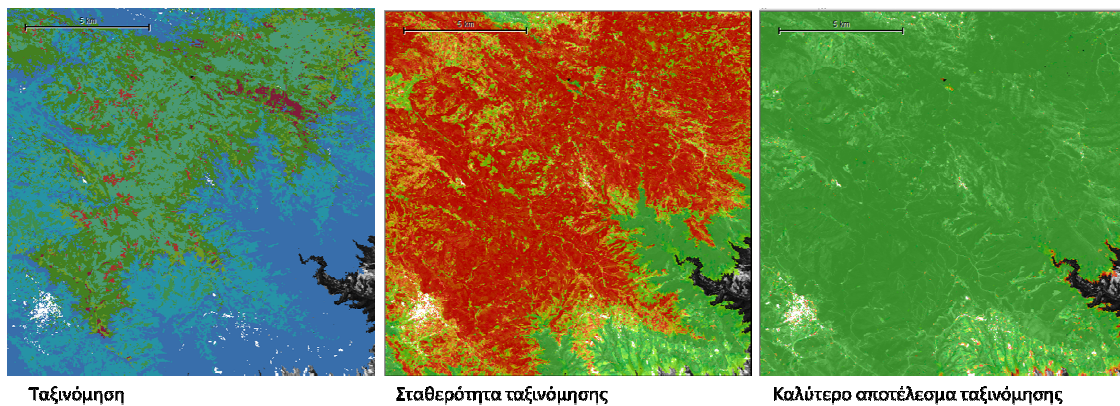
Επιλογή καναλιών	CASI		Hyperion	
	Ομάδα A	Ομάδα B	Ομάδα A	Ομάδα B
Συνολική ακρίβεια	0.45	0.70	0.39	0.64
KIA	0.35	0.55	0.28	0.45

Πίνακας 8. Ακρίβεια ταξινόμησης στις εικόνες που έχουν μετασχηματιστεί με επιλογή καναλιών βάση φασματικών υπογραφών ειδών δέντρου

Η εικόνα Landsat, έχοντας δώσει την καλύτερη ακρίβεια ταξινόμησης (βλ. εικόνα 11), καλά αποτελέσματα ταξινόμησης, χρησιμοποιήθηκε για περαιτέρω ανάλυση. Στην ταξινόμηση αυτή προστέθηκαν επιπλέον κανόνες ασαφούς λογικής οι οποίοι αφορούν στα φυσιογραφικά στοιχεία των ειδών δέντρου (πίνακας 3). Οι κανόνες αυτοί περιόρισαν ελαφρά την ακρίβεια της ταξινόμησης (πίνακας 9) αλλά αύξησαν σημαντικά τη σταθερότητά της (εικόνα 11).

Τάξη	Maquis	Castanea	Beech	Pinus Brutia	Pinus Sylvest.	Pinus Maritime	Pinus Nigra	Pinus Pinea	Oak
Producer	0.82	0.17	0.14	0.29	0.00	0.30	0.27	0.00	0.94
User	0.65	0.20	0.79	0.86	0.00	0.09	0.71	-	0.78
KIA Per Class	0.73	0.17	0.13	0.25	0.00	0.28	0.27	0.00	0.85
Συνολική ακρίβεια	0.73								
KIA	0.56								

Πίνακας 9. Αποτελέσματα ταξινόμησης με ασαφή λογική για την εικόνα Landsat



Εικόνα 11. Αποτέλεσμα, σταθερότητα και καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης για την εικόνα Landsat μετά την εφαρμογή ασαφούς λογικής

Δείκτης Βιοποικιλότητας Simpson

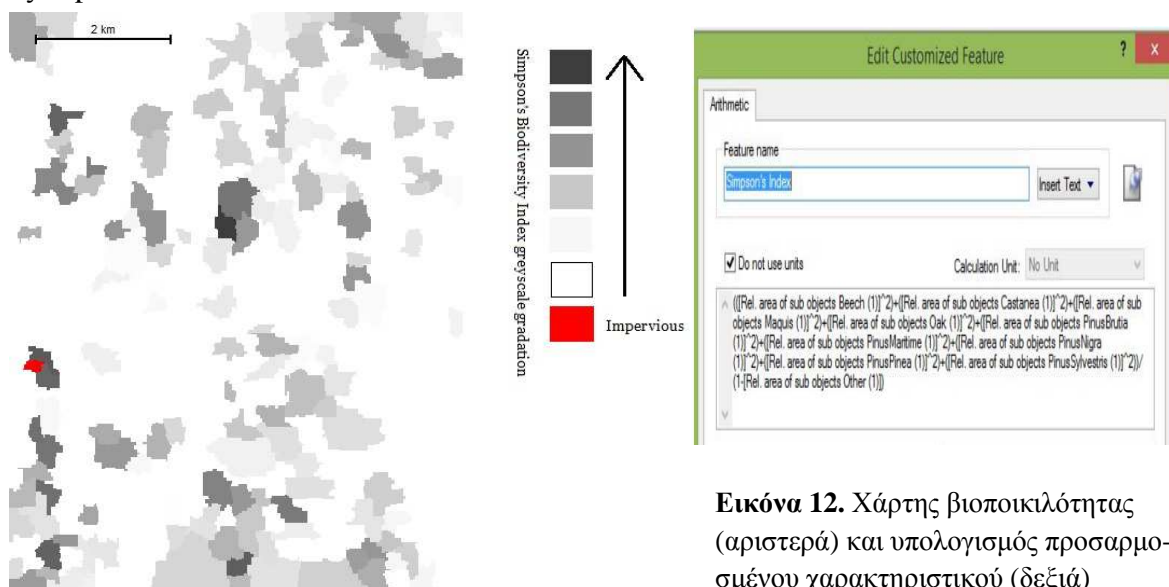
Χρησιμοποιώντας το αποτέλεσμα της τελικής ταξινόμησης δημιουργήθηκε ένας χάρτης βιοποικιλότητας για την περιοχή του Ταξιάρχη με εφαρμογή του δείκτη βιοποικιλότητας Simpson. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα επίπεδο κατάτμησης με αρκετά μεγαλύτερα αντικείμενα (κλίμακα 100), θέτοντας βάρος μόνο στη συμπαγότητα του σχήματος, και λαμβάνοντας υπόψη όχι τα κανάλια μιας τηλεπισκοπικής απεικόνισης αλλά μόνο το υψόμετρο (GDEM). Στόχος ήταν να δημιουργηθούν μεγάλα και σχετικά ομοιόμορφα αντικείμενα σε όλη την έκταση της περιοχής. Στα αντικείμενα αυτού του επιπέδου κατάτμησης (επίπεδο 2) υπολογίστηκε ο δείκτης Simpson με βάση την εναλλαγή των ειδών δέντρου στα υποαντικείμενα του επιπέδου της ταξινόμησης της Landsat εικόνας (επίπεδο 1).

Οι όροι της εξίσωσης Simpson έχουν ως εξής:

- S = αριθμός ειδών δέντρου
- P_i = εδαφική κάλυψη (ha) για το i είδος
- D λαμβάνει υπόψη:
 - Πλούτο δασικής φυτοκοινωνίας
 - Ομοιομορφία κατανομής
 - Με μία τιμή A πλούτου, το D αυξάνεται με την ομοιομορφία (Begon *et al.*, 1996).

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^s P_i^2}$$

Ο δείκτης Simpson υπολογίστηκε για κάθε αντικείμενο του επιπέδου 2 με τη δημιουργία του προσαρμοσμένου χαρακτηριστικού (custom feature) “Simpson’s Index” (εικόνα 12). Εκείνα τα αντικείμενα του επιπέδου 2 τα οποία δεν περιείχαν υποαντικείμενα βλάστησης χαρακτηρίστηκαν ως impervious.



Εικόνα 12. Χάρτης βιοποικιλότητας (αριστερά) και υπολογισμός προσαρμοσμένου χαρακτηριστικού (δεξιά)

Στην εικόνα 12 παρουσιάζεται επίσης το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για την βιοποικιλότητα δασικών ειδών δέντρου στο Δάσος Ταξiάρχη. Με τη βοήθεια του χάρτη αυτού μπορούν να προσδιοριστούν οι περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας, αλλά και περιοχές όπου πιθανότατα υπάρχουν διαταραχές στο οικοσύστημα.

4. Ανάλυση - Συμπεράσματα

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση μίας πληθώρας πολυφασματικών και υπερφασματικών τηλεπισκοπικών δεδομένων για το Δάσος Ταξiάρχη με τη βοήθεια διανυσματικών δεδομένων που συλλέχθηκαν μετά από έρευνα πεδίου, και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες ειδών δέντρου για την περιοχή.

Όσον αφορά στις προ-επεξεργασίες των υπερφασματικών εικόνων, ο μετασχηματισμός MNF επέτρεψε το σημαντικό περιορισμό του μεγέθους των αρχείων (π.χ. CASI με 72 κανάλια), πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς ο χρόνος επεξεργασίας περιόριζε συχνά τις δυνατότητες επεξεργασίας. Επιπλέον, ο μετασχηματισμός αυτός απέδωσε και στη μείωση του θορύβου των εικόνων, χωρίς να χαθούν πληροφορίες.

Με χωρική ανάλυση 2 m η εικόνα CASI έδωσε καλή σταθερότητα ταξινόμησης, ενώ εικόνες, όπως η Landsat έδωσαν υψηλή ακρίβεια ταξινόμησης, αλλά περιορισμένη σταθερότητα μετά την ανάλυση ασαφούς λογικής. Η χωρική ανάλυση της Landsat, παρά την πολύ καλή ποιότητα της εικόνας, δεν είναι κατάλληλη για την αναγνώριση μεμονωμένων οργανισμών και συνεπώς σε μελλοντική έρευνα ενδεχομένως να έχει ενδιαφέρον να διερευνηθεί η χρήση εικόνας με μεγαλύτερη χωρική ανάλυση (π.χ. Sentinel-2). Οι υπερφασματικές εικόνες θα είχαν δώσει υψηλότερες ακρίβειες αν είχαν εφαρμοστεί υπερφασματικές μέθοδοι ταξινόμησης (φασματικές μετρήσεις πεδίου, ανάλυση φασματικής μίξης), αλλά με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία αυτό δεν κατέστη δυνατό. Οι εικόνες οι οποίες έδωσαν τις πιο αξιόπιστες και σταθερές ταξινομήσεις ήταν: η MNF-μετασχηματισμένη CASI εικόνα με χωρική ανάλυση 2 m και η Landsat 8 OLI (χωρική ανάλυση 15 m). Ως βέλτιστη ταξινόμηση για τη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε εκείνη της απεικόνισης Landsat 8 OLI, καθώς έδωσε πολύ καλή ακρίβεια ταξινόμησης και κάλυπτε εξ' ολοκλήρου την περιοχή μελέτης ενώ οι εικόνες CASI είχαν κάποια κενά μεταξύ των γραμμών πτήσης.

Η τελική ταξινόμηση της εικόνας Landsat 8 OLI βελτιώθηκε με κανόνες ασαφούς λογικής, οι οποίοι βοήθησαν στη μείωση των διενέξεων μεταξύ κατηγοριών, βελτιώνοντας τη σταθερότητα της ταξινόμησης αλλά όχι την ολική ακρίβεια. Η διαδικασία διαμόρφωσης ενός πλαισίου, βάση της ασαφούς λογικής για κάθε κατηγορία επιδέχεται βελτίωσης με περεταίρω δοκιμές ή περεταίρω δειγματοληψίες.

Στηριζόμενοι στην βέλτιστη ταξινόμηση ειδών δέντρου για την περιοχή του Δάσους του Ταξιάρχη, με χρήση αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας δημιουργήθηκε ένας χάρτης βιοποικιλότητας για την περιοχή με βάση το δείκτη βιοποικιλότητας Simpson. Ο προσδιορισμός του δείκτη βιοποικιλότητας Simpson ανά περιοχή χάρτη, μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση που επικρατεί σε ένα δάσος, αλλά και σχετικά με διαταραχές που ίσως προκύψουν. Τα δέντρα του δάσους αποτελούν οικότοπο για πληθώρα οργανισμών, όπως έντομα, ερπετά, θηλαστικά, πουλιά, μικροοργανισμούς κ.α. και δεδομένης της σημασίας που έχει δοθεί στη βιοποικιλότητα σε ότι αφορά την πολιτική και νομοθεσία της ΕΕ, η χρήσης ψηφιακής τηλεπισκόπησης για τη διαρκή παρακολούθηση των δασικών και άλλων οικοσυστημάτων έχει εξαιρετικές προοπτικές.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε πολύ για τα δεδομένα πεδίου καθώς και τα υπερφασματικά δεδομένα CASI, τα οποία χορηγήθηκαν από την ομάδα εργασίας του προγράμματος TeleKyoto: "Χαρτογράφηση Βλάστησης και Εκτίμηση Βιομάζας με Σύγχρονες Μεθόδους Τηλεπισκόπησης στο Πλαίσιο της Σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή και του Πρωτοκόλλου του Κιότο" (πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ-ΑΠΘ, Κωδικός προγράμματος: MIS 377293).

Βιβλιογραφία

- Aristotle University of Thessaloniki (2013). Διαχειριστικό σχέδιο Πανεπιστημιακού Δάσους Ταξιάρχη – Βαστάμων 2012-2021. Διοίκηση Δάσους Ταξιάρχη-Βαστάμων.
- Begon M., C.R. Townsend & J.L. Harper (1996). Ecology: From Individuals to Ecosystems. Wiley.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65: 2–16.
- Bunce, R. G. H., Bogers, M. M. B., Evans, D., Halada *et al.* (2013). The significance of habitats as indicators of biodiversity and their links to species. *Ecological Indicators* 33: 19–25.
- Chang, C.-I. (2003). *Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- eCognition Definiens Developer 7 Userguide (2007).
<http://ecognition.cc/download/userguide.pdf>
- Gonzalez, R. & Woods, R. (1993). *Digital image processing*. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, pp.148-56.
- Green A. A., Berman M., Switzer P. & Craig, M.D. (1988). A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *IEEE Transactions in Geoscience and Remote Sensing* 26(1): 65–74.
- Karathanassi, V., P. Kolokoussis & S. Ioannidou (2007). A comparison study on fusion methods using evaluation indicators. *International Journal of Remote Sensing* 28 (10): 2309 – 2341
- Mallinis, G., G. Galidaki & I. Gitas (2014). A comparative analysis of EO-1 Hyperion, Quickbird and Landsat TM imagery for fuel type mapping of a typical Mediterranean landscape. *Remote Sens.* 6: 1684–1704.
- MNHN-EEA report. Terrestrial habitat mapping in Europe: an overview. EEA Technical report No 1/2014.
http://www.nateko.lu.se/sites/nateko.lu.se.sv/files/terrestrial_habitat_mapping_in_europe_-_an_overview.pdf
- Mücher, C. A., S.M. Hennekens, R.G.H. Bunce, J.H.J. Schaminée, & M.E. Schaepman (2009). Modelling the spatial distribution of Natura 2000 habitats across Europe. *Landscape and Urban Planning* 92 (2): 148–159.
- Petit, S. & M.B. Usher (1998). Biodiversity in agricultural landscapes: the ground beetle communities of woody uncultivated habitats. *Biodiversity and Conservation* 7: 1549-1561.
- Rodarmel, C. & J. Shan (2002). Principal Component Analysis for Hyperspectral Image Classification. *Surveying and Land Information Systems* 62 (No. 2) 2002: 115-123.
- Δ. Ρόκος, Σ. Θεοχαρόπουλος, Γ. Χάλαρης, (1992), Γεωγραφικό Περιβάλλον Τυπικών Μεσογειακών Καλλιεργειών και Τύπων Βλάστησης ως βάση κανόνων Εμπείρου Συστήματος Ανάλυσης Ψηφιακών Τηλεπισκοπικών Απεικονίσεων, Ευρωπαϊκό πρόγραμμα, συμβόλαιο No 4569-91-12 ED ISP GR, EOK-ΕΜΠ, Χρηματοδότηση: European Economic Community (EEC), Joint Research Centre (JRC), Institute for Remote Sensing Applications, Ispra, Ιταλία.
- Ståhl, G., A. Allard, P. Esseen *et al.* (2011). National Inventory of Landscapes in Sweden (NILS)—scope, design, and experiences from establishing a multiscale biodiversity monitoring system. *Environmental Monitoring Assessment* 173:579–595
- Turner, W., S. Spector, N. Gardiner *et al.* (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 18 (No.6): 306-314.

Investigation on the distribution of forest tree species and biodiversity in Taxiarchis University Forest in Chalkidiki, using hyperspectral and multispectral imagery

M. Kampouri, Biologist (IPPS Environment & Development)

P. Kolokoussis, Teaching staff, Remote Sensing Laboratory, NTUA

D. Argialas, Professor, Remote Sensing Laboratory, NTUA

V. Karathanassi, Associate Professor, Remote Sensing Laboratory, NTUA

Abstract

The aim of the present study is to investigate methods for analysing remote sensing data for determining areas of high biodiversity. The study area is located in Taxiarchis University Forest, in the south and southwest slopes of Cholomondas Mountain in Chalkidiki. The area is approximately 60 km² and the altitude ranges between 320 and 1200 m. After the analysis of a wide range of different remote sensing imagery, using Object Based Image Analysis (OBIA) and based on field data samples, it was possible to select images providing the most accurate classification of forest tree species. The imagery used included multispectral imagery, such as Landsat 8 OLI and GeoEye, as well as hyperspectral imagery, such as Proba-Chris and Hyperion satellite data, as well as aerial imagery from CASI sensor. In the hyperspectral imagery three transformation methods were applied in order to reduce their spectral dimensionality and consequently the processing time: Principal Component Analysis (PCA), Minimum Noise Fraction (MNF) and band selection based on the spectral signatures of tree species.

The imagery, which was finally selected for providing the best accuracy and the most stable result, was the Landsat imagery, which was used for further analysis (73% total accuracy). Further fuzzy analysis has also been carried out, in order to improve the classification accuracy, using information, such as tree physiographic parameters based on elevation, slope and aspect.

Using the best classification result, Simpson's Diversity Index was calculated for patches of forest. Forest tree diversity may be indicative of the overall diversity of the ecosystem, while significant variations in space and time may target areas of special interest.

Keywords: multispectral, hyperspectral, OBIA, biodiversity, Simpson's Biodiversity Index, Taxiarchis University Forest, PCA, MNF, tree spectral signatures.