



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Τοπογραφίας - Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**«Διαχρονική Παρακολούθηση της Φυσικής Αναγέννησης
Οικοσυστήματος μετά από Πυρκαγιά με Πολύ Υψηλής
Χωρικής Ανάλυσης Δορυφορικά Δεδομένα»**



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ζάχου Γεωργία
ΑΘΗΝΑ, Μάϊος, 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Τοπογραφίας - Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**«Διαχρονική Παρακολούθηση της Φυσικής Αναγέννησης
Οικοσυστήματος μετά από Πυρκαγιά με Πολύ Υψηλής
Χωρικής Ανάλυσης Δορυφορικά Δεδομένα»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ζάχου Γεωργία

ΑΘΗΝΑ, Μάϊος, 2015

Τριμελή εξεταστική επιτροπή:

Κ. Καράντζαλος

Δ.Αργιαλάς

Β. Καραθανάση

.....

.....

.....

Επ. Καθηγητής ΕΜΠ
Επιβλέπων

Καθηγητής ΕΜΠ

Αν. Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1. Η Φωτιά Στα Μεσογειακά Οικοσυστήματα	8
1.2. Άμεσες Συνέπειες Της Φωτιάς Στα Οικοσυστήματα.....	8
1.3. Μέθοδοι Καταγραφής Των Δασικών Πυρκαγιών.....	9
1.4. Περιστατικά Πυρκαγιών Από Προηγούμενες Χρονιές Στο Νομό Αττικής...	11
1.5. Ενότητες Βλάστησης Και Απόκρισή Τους Στην Φωτιά	12
1.6. Φυσική Αναγέννηση.....	13
1.7. Μελέτη Μεταπυρικής Αναγέννησης.....	14
1.8. Ενέργειες Και Μέτρα Που Βοηθούν Τη Φυσική Αναγέννηση.....	15
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	17
2.1. Τηλεπισκόπηση	17
2.1.1. Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνας.....	17
Κατάτμηση	18
Ιεραρχία Τάξεων	18
Ταξινόμηση	19
2.1.2. Εμπορικό Λογισμικό	20
2.1.3. Δείκτες Βλάστησης.....	20
2.1.4. Δορυφόροι.....	21
Τηλεπισκοπικά Δεδομένα QuickBird	22
Τηλεπισκοπικά Δεδομένα WorldView	24
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	26
3.1. Θέση Περιαστικού Οικοσυστήματος.....	26
3.2. Κλιματολογικά Χαρακτηριστικά	26
3.2.1. Άνεμοι.....	26
3.2.2. Θερμοκρασία Αέρος	27
3.2.3. Υγρασία.....	27
3.3. Οικοσύστημα και Είδη Βλάστησης	27
3.3.1. Δενδρώδης Βλάστηση.....	29
3.3.2. Θαμνώδης βλάστηση.....	34
3.3.3. Πανίδα	38
3.4. Χρονικό Πυρκαγιάς	38
3.4.1. Πυρκαγιά Ιουλίου 2005	38

3.4.2.	Πυρκαγιά Αυγούστου 2009	39
4.	ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	40
4.1.	Συλλογή διαχρονικών γεωχωρικών δεδομένων	40
4.1.1.	Δορυφορικά Τηλεπισκοπικά Δεδομένα	40
4.1.2.	Επιτόπια Έρευνα στην Περιοχή Μελέτης	41
4.2.	Προεπεξεργασίες Τηλεπισκοπικών Δεδομένων	42
4.3.	Φωτοερμηνεία εικόνων – Κατηγορίες ταξινόμησης	43
4.4.	Κατάτμηση εικόνων	46
4.4.1.	Κατάτμηση 1 ^{ου} επιπέδου	47
4.4.2.	Κατάτμηση 2 ^{ου} επιπέδου	48
4.4.3.	Κατάτμηση 3 ^{ου} επιπέδου	48
4.5.	Ιεραρχία τάξεων	50
4.6.	Ταξινόμηση διαχρονικών εικόνων	52
4.6.1.	Ταξινόμηση 2 ^{ου} επιπέδου	54
4.6.2.	Ταξινόμηση 3 ^{ου} επιπέδου	60
4.6.3.	Ταξινόμηση 1 ^{ου} επιπέδου	66
5.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	69
5.1.	Ποιοτική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Με Φωτοερμηνεία	69
5.2.	Ποσοτική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Με Βάση Τον Επίγειο Έλεγχο	71
5.3.	Ποσοτική αξιολόγηση ταξινομήσεων	74
5.3.1.	Quickbird 2006.....	74
5.3.2.	Quickbird 2007.....	76
5.3.3.	Quickbird 2009.....	77
5.3.4.	WorldView2 2010	78
5.3.5.	WorldView2 2011	79
5.4.	Διαχρονική Αξιολόγηση Ταξινομήσεων Δύο Δασικών Ειδών	80
5.5.	Ανάλυση Αποτελεσμάτων Για Την Εκτίμηση Της Φυσικής Αναγέννησης ..	83
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	87
6.1.	Συμπεράσματα	87
6.2.	Προτάσεις.....	88
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	89
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	92

**«Διαχρονική Παρακολούθηση της Φυσικής Αναγέννησης
Οικοσυστήματος μετά από Πυρκαγιά με Πολύ Υψηλής
Χωρικής Ανάλυσης Δορυφορικά Δεδομένα»**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Λόγω της σπουδαιότητας των δασών της Ανατολικής Αττικής κάθε έρευνα η οποία στοχεύει στη διατήρηση, ανανέωση και βελτίωση τόσο των δασών της περιοχής όσο και των προσφερομένων απ' αυτά υπηρεσιών κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη. Στα πλαίσια αυτά κινείται και η παρούσα μελέτη της φυσικής αναγέννησης των δασικών ειδών της περιοχής, τόσο μετά από πυρκαγιά όσο και κάτω από κανονικές συνθήκες όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Σκοπός της εργασίας επομένως είναι η παρακολούθηση της φυσικής αναγέννησης μετά από πυρκαγιά και η σύγκριση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν με τα ετήσια αποτελέσματα δορυφορικών εικόνων, οι οποίοι θα καλύπτουν συγκεκριμένη έκταση της Ανατολικής Αττικής. Χρησιμοποιήθηκαν πέντε, διαφορετικών χρονολογιών, πολυφασματικές εικόνες των δορυφόρων Quickbird και WorldView2 που απεικόνιζαν την αναδασωτέα περιοχή στην θέση Αγία Τριάδα. Ακολούθησε επιτόπια έρευνα της περιοχής και με τη χρήση του λογισμικού eCognition πραγματοποιήθηκε η φωτορμηνεία και επεξεργασία των εικόνων. Η ανάλυση των απεικονίσεων Quickbird και WorldView2 περιέλαβε τρία επίπεδα κατάτμησης και ταξινόμησης. Στα πλαίσια των ταξινομήσεων αναλύθηκαν κανόνες ανάλογα με την φασματική υπογραφή των αντικειμένων και παρουσιάστηκαν οι κατηγορίες για τον εντοπισμό κάθε τύπου βλάστησης. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι, οι πυρκαγιές που συνέβησαν για πρώτη φορά είχαν μεγάλη ένταση και οδήγησαν σε ικανοποιητική φυσική αναγέννηση κυρίως στις εκτάσεις οι οποίες κάηκαν. Έτσι, το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης εμφάνισε επανεγκατάσταση της φυτικής βλάστησης, η οποία συγκροτείται κυρίως από θαμνώδη και πλατύφυλλα είδη.

Λέξεις Κλειδιά: Παρακολούθηση, Φυσική Αναγέννηση, Δασικά είδη, ECognition, Δορυφορικές Εικόνες, Quickbird, WorldView2

«Post-fire Monitoring of Ecosystem Natural Regeneration from Multitemporal Very High Resolution Satellite Data»

ABSTRACT

Given the importance of forests in Eastern Attica each survey which aims to preserve, renew and improve both forest area and the seats of these services is particularly useful. In these moves and the present study of natural regeneration of tree species in the area, so after a fire and under normal conditions when necessary. The aim of this study is monitoring of natural regeneration after fire and to compare the results obtained with the yearly results of satellite images, which will cover a specific area in Eastern Attica. An analysis of the results showed that the fires which occurred for the first time had a lot of tension and led to satisfactory natural regeneration mainly in areas that were burned and brought ripe clusters. Five, different chronologies, multispectral satellite images from Quickbird and WorldView2 were used, which depict the reforestation area in Agia Triada. This was followed by research in the region and using eCognition software became photointerpretation and image processing. The analysis of images Quickbird and WorldView2 included three levels of segmentation and classification. In these classifications, rules according to the spectral signature of objects were analyzed and presented categories to identify each type of vegetation. From result analysis's emerged that first fires had high intensity and natural regeneration in burnt areas. The majority of region exhibited reinstallation of vegetation, instituted mainly from schrubland and broadleaved species.

Key words: Monitoring, Natural Regeneration, Forestry Species, ECognition, Satellite Images, Quickbird, WorldView2.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Γεωπληροφορική», της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν ο εντοπισμός βλάστησης στο μεταπτυρικό περιβάλλον Ανατολικής Αττικής, η ταξινόμηση της σε είδη φυτικής κάλυψης με τη χρήση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων Quickbird και WorldView2 και η σύγκριση μεθόδων ταξινόμησης της.

Ήταν ιδιαίτερη χαρά και τιμή να έχω ως επιβλέποντα μου τον καθηγητή κ. Καραντζάλο Κωσταντίνο. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά για την πολύτιμη βοήθεια του στη προετοιμασία και οργάνωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας, την πρόθυμη και υπομονετική καθοδήγηση του καθ' όλη της συγγραφής της και την αμέριστη συμπαράσταση του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στην μεταπτυχιακή φοιτήτρια του ΔΠΜΣ «Γεωπληροφορική» Καρακίζη Χριστίνα, για την αμέριστη υπομονή της, τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε και την χρήσιμη καθοδήγηση της, η οποία συνέβαλε σημαντικά με τις ιδιαίτερες γνώσεις της στο λογισμικό eCognition, ώστε να πραγματοποιηθεί η έρευνα και ολοκλήρωση της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης το δασαρχείο Πεντέλης και τις εταιρείες Digital Globe, Total View για την δωρεάν διάθεση των απαραίτητων δεδομένων για την εργασία.

Ευχαριστίες αλλά και ευγνωμοσύνη θα ήθελα να εκφράσω σε όλους εκείνους που με στήριξαν ηθικά σε όλο το χρονικό διάστημα που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου, την αδερφή μου και τον σύζυγο μου που στάθηκαν δίπλα μου ώστε οι προσωπικοί μου στόχοι να πραγματώνονται μέσα στο χρόνο, και να την αφιερώσω στον γιο μου..

ΑΘΗΝΑ, Μάιος, 2015

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η Φωτιά Στα Μεσογειακά Οικοσυστήματα

Η φωτιά θεωρείται κύριος οικολογικός παράγοντας που συνόδευσε για χιλιετίες το Μεσογειακό κλίμα και τα Μεσογειακά οικοσυστήματα και η συχνή παρουσία της επέδρασε στην εξέλιξη της Μεσογειακής χλωρίδας καθώς και στη διαμόρφωση των Μεσογειακών τοπίων (Naveh, 1991).

Οι συχνότερες αιτίες που αναφέρονται στις δασικές πυρκαγιές είναι οι αμέλειες, οι εμπρησμοί, οι κεραυνοί καθώς και άγνωστες αιτίες (Καϊλίδης, 1981, Kailidis 1992). Η μείωση της δασοκάλυψης ήταν αποτέλεσμα της φωτιάς και ξεκίνησε από την εισβολή στη Ελλάδα φυλών (Αχαιοί και Δωριείς) που τη χρησιμοποιούσαν ως εργαλείο (Δασκαλάκου 1996, Liacos 1973).

Οι πυρκαγιές τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί και είναι η κύρια αιτία της μείωσης των δασικών εκτάσεων. Η τάση για αλλαγή χρήσεων γης που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες στην Ανατολική Αττική έχει συμβάλει στην αύξηση της συχνότητας των δασικών πυρκαγιών. Το φαινόμενο, πέρα από τις περιβαλλοντικές διαστάσεις συχνά λαμβάνει κοινωνικές, οικονομικές και εθνικές προεκτάσεις. Στις καμένες εκτάσεις έχουν πραγματοποιηθεί αναδασώσεις όπου η η πλειονότητα τους θεωρείται ανεπιτυχής καθώς συχνά τα φυτάρια νεκρώνονται από την ξηρασία (Σπανός κ.ά. 2003).

Οι πυρκαγιές τείνουν να συγκεντρώνονται το καλοκαίρι, όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές και η υγρασία της ατμόσφαιρας χαμηλή. Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στις Μεσογειακές χώρες κατά τους θερινούς μήνες, σε συνδυασμό με την εξαιρετικά χαμηλή διαθεσιμότητα νερού την ίδια περίοδο, προκαλούν ταχεία αποξήρανση, τόσο στα ποώδη φυτά του υπορόφου των οικοσυστημάτων, όσο και σε δομές των πολυετών θάμνων και δέντρων. Τα είδη αποβάλλουν μαζικά φύλλα και κλαδιά, τα οποία μαζί με τα νεκρά ποώδη φυτά συγκροτούν μια πολύ εύφλεκτη στρωμνή. Τα ίδια φυτά εξάλλου παράγουν ουσίες που τα καθιστούν εύφλεκτα, όπως ρητίνη, αιθέρια έλαια κλπ. Στην Ελλάδα το 90% της έκτασης που καίγεται κάθε χρόνο αντιστοιχεί σε Μεσογειακά οικοσυστήματα (24% σε πευκοδάση και 66% σε φρύγανα και μακί, Αριανούτσου, 1998).

1.2. Άμεσες Συνέπειες Της Φωτιάς Στα Οικοσυστήματα

Η φωτιά προκαλεί καταστροφή της υπέργειας βιομάζας και δραστική μείωση της ποσότητας της οργανικής ουσίας στην επιφάνεια του εδάφους. Εξαφανίζονται οι ευεργετικές επιδράσεις του δάσους και της βιοποικιλότητας. Υπάρχει απώλεια της ζωοκοινότητας και καταστροφή του ειδικού περιβάλλοντος διαβίωσης των ειδών. Η φωτιά επίσης επηρεάζει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Υπάρχει υποβάθμιση των θρεπτικών στοιχείων και του αζώτου (C, N₂). Οι υδρόφοβες ουσίες που συγκεντρώνονται στο επιφανειακό στρώμα μετά τη φωτιά επηρεάζουν τη διαπερατότητα του εδάφους και ενισχύεται η διάβρωση από τον άνεμο και τη βροχή.

Ως συνέπειες έχουμε περισσότερη ξηρασία και περισσότερη επιφανειακή απορροή και διάβρωση (Raison, 1979).

Γενικά οι πυρκαγιές που συμβαίνουν στα οικοσυστήματα των Μεσογειακών πεύκων εκτός των άμεσων συνεπειών, δημιουργούν διαφορετικές συνθήκες και σημαντικός αριθμός ειδών χρησιμοποιεί τις συνθήκες που δημιουργούνται για να αναγεννηθούν. Δημιουργούν καλύτερες συνθήκες για τα ψυχανθή είδη. Ενισχύεται η αναγεννητική ικανότητα πολλών ειδών καθώς και των πευκών.

1.3. Μέθοδοι Καταγραφής Των Δασικών Πυρκαγιών

Όταν μια δασική έκταση καταστρέφεται από πυρκαγιά, λεπτομερείς και άμεσες πληροφορίες σχετικά με τη θέση και την έκταση της καμένης έκτασης καθώς και το βαθμό καταστροφής είναι απαραίτητες για να εκτιμηθούν οι οικονομικές ζημιές και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, να καταγραφούν οι αλλαγές στην χρήση και κάλυψη της γης, να μοντελοποιηθούν οι ατμοσφαιρικές και κλιματικές επιπτώσεις από την καύση της βιομάζας (Caetano et al, 1994, Pereira et al, 1997). Επιπλέον, η ακριβής εκτίμηση βοηθά στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων που έχουν παρθεί για την ανάπλαση της καμένης περιοχής, και επιτρέπει τους δασολόγους – διαχειριστές να εντοπίσουν περιοχές που χρειάζονται έντονη ή ειδική ανάπλαση (Jakubauskas, 1988, Jakubauskas et al, 1990) με σκοπό την αποφυγή της υποβάθμισης της περιοχής.

Ακόμη και σήμερα, αρκετές από τις Δασικές Υπηρεσίες των Ευρωπαϊκών Μεσογειακών χωρών δεν χαρτογραφούν τις καμένες εκτάσεις (Chuvieco, 1997). Σε πολλές περιπτώσεις δημοσιεύεται ένας αριθμός που αντιστοιχεί στην έκταση που κάηκε αλλά η περίμετρος της πυρκαγιάς δεν χαρτογραφείται. Η έλλειψη της χαρτογραφικής απεικόνισης όμως δεν επιτρέπει την κατανόηση των χωρικών επιπτώσεων της πυρκαγιάς.

Τα κύρια προβλήματα που σχετίζονται με τις υπάρχουσες μεθόδους στην Μεσογειακή Ευρώπη είναι τα ακόλουθα:

- Η παραγόμενη πληροφορία είναι συχνά μόνο ποιοτική και αφορά την περίμετρο της πυρκαγιάς ενώ πληροφορίες σχετικά με τα είδη που κάηκαν και τον βαθμό της καταστροφής δεν καταγράφονται,
- Η πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη ακόμη και μήνες μετά την πυρκαγιά (Martin et al, 1994) με αποτέλεσμα να μην μπορεί να γίνει εκτίμηση της ανακτήμησης της βλάστησης. Πιθανό αποτέλεσμα από την μη ανάκτηση της βλάστησης είναι η διάβρωση του εδάφους (Isaacson et al, 1982).

Οι μικρές πυρκαγιές μπορούν να χαρτογραφούνται με τις υπάρχουσες μεθόδους αλλά σε περιπτώσεις μεγάλων πυρκαγιών οι συγκεκριμένες μέθοδοι είναι δύσκολο να εφαρμοστούν (Gitas, 1994). Σύμφωνα με τον Chuvieco (1997) μία εναλλακτική λύση στις υπάρχουσες μεθόδους καταγραφής των καμένων εκτάσεων αποτελεί η τηλεπισκόπιση.

Η παραπάνω άποψη βασίζεται σε αρκετές μελέτες που έχουν διεξαχθεί για να διερευνηθεί η ικανότητα των δορυφορικών εικόνων χαμηλής και μέσης-υψηλής χωρικής ανάλυσης στην χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων (Πίνακας 1.3-1). Επιπλέον, υπάρχει και μια σειρά από ερευνητικές εργασίες στις οποίες μελετάται η χρήση δορυφορικών εικόνων χαμηλής και μέσης-υψηλής χωρικής ανάλυσης στην χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων (Martin et al., 1994, Fraser et al., 2001, Sa et al., 2001).

Πίνακας 1.3-1: Σύγκριση μεθόδων χαρτογράφησης καμένων εκτάσεων (Πηγή: E. Chuvieco).

	GPS	Αεροφωτογραφία	Δορυφορική Τηλεπισκόπηση	
			Χαμηλή Ευκρίνεια	Μέση Ευκρίνεια
Κόστος	Υψηλό	Μέσο-Υψηλό	Χαμηλό	Μέσο
Χρόνος Διεκπεραίωσης	Μικρός	Μεγάλος	Μικρός	Μέτριος
Κάλυψη	Τοπική	Τοπική	Παγκόσμια	Περιφερειακή
Ακρίβεια	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή-Μέση	Υψηλή
Σχόλια	1. Καταγράφεται μόνον η περίμετρος της πυρκαγιάς	1. Χρησιμοποιούνται υποκειμενικά ποιοτικά κριτήρια. 2. Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό	1. Περιοδική συλλογή εικόνων καθώς και εύκολη και συνεχής πρόσβαση στα δεδομένα. 2. Τα δεδομένα συλλέγονται στο ορατό και υπέρυθρο. 3. Γρήγορη και αντικειμενική ανάλυση εικόνων.	

Αν και από τις εικόνες των QuickBird και WorldView παράγονται ακριβέστερες αποτυπώσεις της καμένης έκτασης, εντούτοις αναφέρονται πολλά προβλήματα που σχετίζονται τόσο με την χρήση του συγκεκριμένου απεικονιστή στην χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων όσο και με την εκτίμηση του βαθμού σοβαρότητας του καψίματος της πυρκαγιάς. Πιο συγκεκριμένα:

- Σύγχυση στη διάκριση της καμένης περιοχής από σκιαζόμενες περιοχές υγιούς βλάστησης (Tanaka et al, 1983, Milne,1986, Chuvieco and Congalton , 1988, Parnot, 1988, Pereira, 1992, Gitas, 1999).
- Σύγχυση ανάμεσα στις ελαφρώς καμένες και τις περιοχές αραιής υγιούς βλάστησης (Chuvieco and Congalton,1988, Gitas, 1999).
- Δυσκολίες στο διαχωρισμό της καμένης βλάστησης από άλλες κατηγορίες και ειδικότερα το γυμνό έδαφος (Parnot , 1988, Pereira and Setzer, 1993, Siljstrom and Moreno, 1995).

Η επιλογή των φασματικών καναλιών που θα χρησιμοποιηθούν κάθε φορά γίνεται με βάση το σκοπό για τον οποίο απαιτούνται πληροφορίες. Όσον αφορά στις δασικές

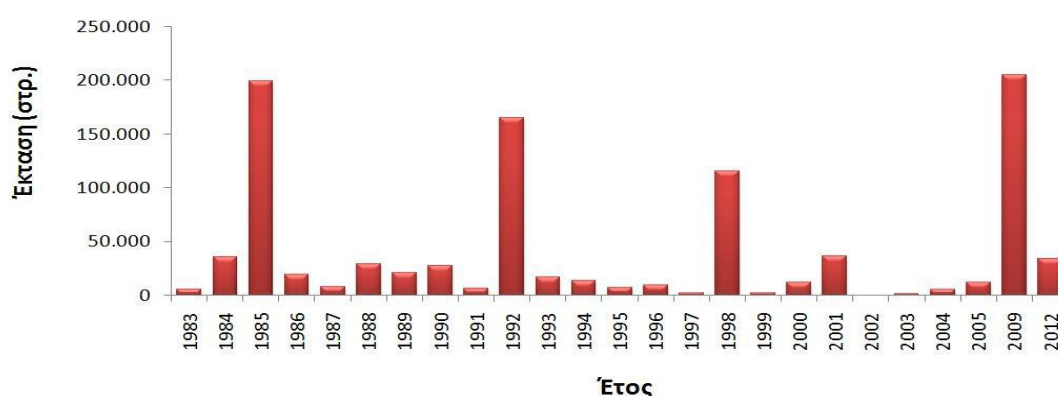
πυρκαγιές, αυτές μπορούν να παρακολουθούνται και να αναλύονται σε μεγάλες περιοχές με έγκαιρο και επωφελή τρόπο με τη χρήση δορυφορικών εικόνων σε συνδυασμό με χωρική ανάλυση όπως αυτή παράγεται από ΓΣΠ. Οι μέθοδοι διεργασίας των ψηφιακών εικόνων, όπως ανάλυση φασματικού προφίλ, δείκτες βλάστησης και πολυφασματική ταξινόμηση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον ανιχνευτή των δορυφορικών εικόνων αφού αποκτηθούν πριν και μετά την πυρκαγιά και όπως ήδη αναφέρθηκε ο καλύτερος συνδυασμός καναλιών είναι ο συνδυασμός των καναλιών 4,3,2, του θεματικού χαρτογράφου, στα οποία η βλάστηση εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα ενώ οι καμένες εκτάσεις παρουσιάζονται με μια απόχρωση του γκρι. Ο ακριβής τόνος του γκρι εξαρτάται από τον χρόνο κατά τον οποίο συνέβη η πυρκαγιά. Σκουρότεροι τόνοι του γκρι δείχνουν πιο πρόσφατη πυρκαγιά (Καρτέρης, 1999).

1.4. Περιστατικά Πυρκαγιών Από Προηγούμενες Χρονιές Στο Νομό Αττικής

Σύμφωνα με μελέτη (Τσαγκάρη κ.α., 2011) του Ινστιτούτου Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων (ΙΜΔΟ & ΤΔΠ) του ΕΘΙΑΓΕ και του WWF Ελλάς, ο Νομός Αττικής κατατάσσεται πρώτος μεταξύ των νομών του γεωγραφικού διαμερίσματος της Στερεάς Ελλάδας με βάση τις καμένες εκτάσεις, που αντιστοιχούν στο 27,7% του διαμερίσματος, και τη δεύτερη θέση (μετά την Εύβοια) με βάση τον αριθμό των περιστατικών, τα οποία αντιστοιχούν στο 22,1% του διαμερίσματος.

Από τις ετήσιες κατανομές των καμένων εκτάσεων στο Νομό Αττικής προκύπτει ότι το 2009 ήταν το έτος με τις μεγαλύτερες καμένες εκτάσεις (205.210 στρ.) και ακολουθούν τα έτη 1985 και 1992 με 199.597 και 165.276 στρ. καμένων εκτάσεων αντίστοιχα (Πίνακας 1.4-1).

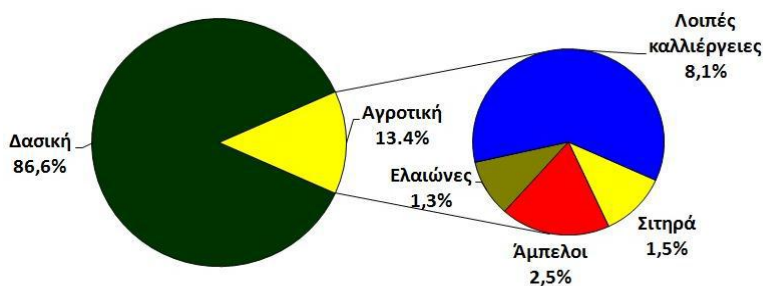
Πίνακας 1.4-1: Ετήσια κατανομή των καμένων εκτάσεων στο νομό Αττικής (Πηγή: WWF Ελλάς).



Οι συνολικές καμένες εκτάσεις του νομού Αττικής, για όλη τη χρονική περίοδο από το 1983 μέχρι το 2005, ανέρχονται στα 755.619 στρ., ως αποτέλεσμα 1.292 πυρκαγιών, ενώ η μέση ένταση καμένης έκτασης ανά περιστατικό νομού φτάνει τα 585 στρ. Κατά μέσο όρο, σε ετήσια βάση, στην Αττική εκδηλώνονται 56 πυρκαγιές

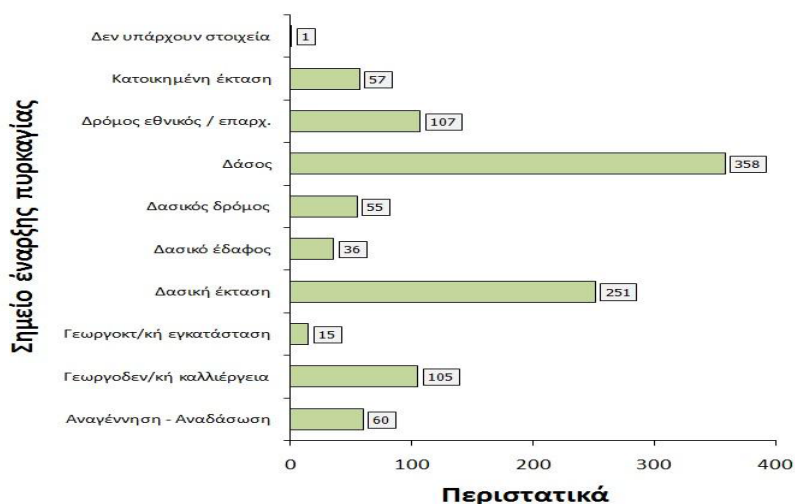
και καίγονται 32,853 στρ., το 86,6% ων οποίων είναι δασικές και το 13,4% αγροτικές εκτάσεις (Πίνακας 1.4.-2).

Πίνακας 1.4-2: Καμένες εκτάσεις ανά τύπο βλάστησης στο νομό Αττικής (Πηγή: WWF Ελλάς).



Το συνηθέστερο σημείο εκδήλωσης πυρκαγιάς στην Αττική είναι τα δάση και οι δασικές εκτάσεις, με 358 και 251 καταγραφές, αντίστοιχα (Πίνακας 1.4-3). Τα περιστατικά αυτά είναι ιδιαίτερα καταστροφικά, καθώς αφορούν τις μεγαλύτερες αποτεφρωμένες εκτάσεις (367.670 στρ.).

Πίνακας 1.4-3: Κατανομή περιστατικών σε σχέση με το σημείο έναρξης της πυρκαγιάς στο νομό Αττικής (Πηγή: WWF Ελλάς).



1.5. Ενότητες Βλάστησης Και Απόκρισή Τους Στην Φωτιά

Πολλοί είναι οι λόγοι που η Ανατολική Αττική αποτελεί ιδανική περιοχή μελέτης:

- Η περιοχή καλύπτεται από χαρακτηριστική Μεσογειακή βλάστηση δηλαδή από τον τύπο βλάστησης που πλήττεται κυρίως από τις πυρκαγιές στην Ελλάδα.
- Υπήρχαν χαρτογραφικές αποτυπώσεις των πυρκαγιών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση της ακρίβειας των χαρτογραφικών από δορυφορικές εικόνες.
- Το έντονο ανάγλυφο που έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη σκιαζόμενων περιοχών, οι οποίες συνήθως συγχέονται με τις καμένες εκτάσεις επάνω σε δορυφορικές εικόνες.

Χάθηκαν πολλά στρέμματα δάσους κωνοφόρων (πευκοδασών), με τη μετατροπή τους σε άλλους είδους καλύψεις, είτε αυτές αφορούν την καταστροφή δασών από πυρκαγιές, είτε την άμεση μετατροπή τους σε γεωργικές ή οικιστικές χρήσεις. Για να κατανοήσει κανείς το μέγεθος της αλλαγής, αξίζει να αναλογιστεί ότι είναι ανάλογο με τη συνολική έκταση που κάηκε στις πυρκαγιές που αναλύουμε (~ 200.000 στρέμματα). Ενώ όμως η πυρκαγιά έκαψε διαφόρων τύπων καλύψεις, η απώλεια των 184.187 στρεμμάτων αφορά αποκλειστικά απώλεια δασών στην Αττική τα τελευταία είκοσι χρόνια.

Στην ευρύτερη περιοχή της Α. Αττικής παρατηρούνται πολύ σημαντικές αλλαγές, καθώς στο διάστημα των τελευταίων είκοσι ετών η πλειοψηφία των δασών έχει χαθεί. Στην περιοχή αυτή και ειδικότερα στην Πεντέλη, τα περισσότερα από αυτά τα δάση μετατράπηκαν σε περιοχές που καλύπτονται από θάμνους ή και από πιο χαμηλή, χορτολιβαδικού τύπου, βλάστηση γεγονός που αντανακλά κυρίως τις επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές στο Νομό. Ας σημειωθεί ότι μερικά υπό αποκατάσταση νεαρά πευκοδάση, μέρος των οποίων επλήγη από την πρόσφατη πυρκαγιά, αποτυπώνονται στην επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα ως θαμνώδης ή χαμηλή βλάστηση.

Ιδιαίτερα εντυπωσιακή είναι η οικιστική επέκταση εις βάρος των δασών με την εμφάνιση ολόκληρων νέων οικισμών σε περιοχές που προηγουμένως ήταν δασωμένες. Ουσιαστικά όλοι οι οικισμοί που επλήγησαν από τις πρόσφατες πυρκαγιές αναπτύσσονταν συνεχώς τα τελευταία χρόνια μέσα σε δάση και λοιπές φυσικές περιοχές.

Χωρίς αμφιβολία, βάσει των στοιχείων που παρατίθενται, διαπιστώνεται με τον πλέον ευδιάκριτο τρόπο η οικιστική πίεση που γνωρίζουν οι προαστιακές και περιαστικές περιοχές της Αττικής, η οποία γίνεται στην πλειονότητα της εις βάρος της φυσικής δασικής κάλυψης του Νομού. Είναι ακριβώς αυτή η ίδια η οικιστική πίεση, η οποία και σήμερα αποτελεί τη σημαντικότερη ίσως απειλή που αντιμετωπίζουν οι πρόσφατα καμένες περιοχές: την αλλαγή της χρήσης τους προς όφελος της άναρχης επέκτασης των οικισμών και της αυθαίρετης δόμησης. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο επιβάλλεται να υπάρξει πολύ αυστηρή παρακολούθηση των χρήσεων της γης και να επιδειχθεί μηδενική ανοχή προς την όποια οικιστική αυθαιρεσία.

1.6. Φυσική Αναγέννηση

Η φυσική αναγέννηση είναι ο μηχανισμός με τον οποίον επιβίωσαν τα δάση πεύκης στην περιοχή της Μεσογείου. Η φυσική αναγέννηση έχει χρησιμοποιηθεί ως μέθοδος αποκατάστασης οικοσυστημάτων μετά από φωτιά στην Ελλάδα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η φυσική αναγέννηση έχει πολλά πλεονεκτήματα. Είναι πολύ πιο οικονομική από την τεχνική ίδρυση συστάδων, διατηρεί και ενισχύει τη σταθερότητα των φυσικών οικοσυστημάτων, διατηρεί αναλλοίωτο το γενετικό υλικό της περιοχής που είναι άριστα προσαρμοσμένο στις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες και δεν αλλοιώνει τη φυσιογνωμία του τοπίου. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι δεν

ακολουθεί σταθερή διαδικασία και έτσι σε μερικές θέσεις είναι πιο αποτελεσματική απ' ό τι σε άλλες. Μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες του περιβάλλοντος καθώς και από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως βοσκή και τουρισμό.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη φυσική αναγέννηση των οικοσυστημάτων Τραχείας και Χαλεπίου πεύκης, μετά τη φωτιά είναι η διαθέσιμη ποσότητα, η διασπορά και η φυτρωτική ικανότητα των σπερμάτων καθώς και η δυνατότητα των φυταρίων να επιβιώνουν μετά την εγκατάσταση. Όλα τα είδη των Μεσογειακών οικοσυστημάτων διαθέτουν μορφολογικούς, φαινολογικούς και φυσιολογικούς μηχανισμούς προσαρμογής.

Το βασικό ερώτημα για τους δασολόγους που εμπλέκονται στη διαχείριση των δασών είναι αν είναι πάντα αποτελεσματική η φυσική αναγέννηση για την αποκατάσταση των καμένων εκτάσεων.

1.7. Μελέτη Μεταπυρικής Αναγέννησης

Τα οικοσυστήματα των Μεσογειακών περιβαλλόντων έχουν υποστεί την περιοδική δράση της φωτιάς εδώ και χιλιάδες χρόνια, αναπτύσσοντας εξελικτικά μηχανισμούς που τους εξασφαλίζουν τόσο την επιβίωση όσο και την ταχεία αναγέννηση και επανάκαμψη. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η φωτιά θεωρείται ένας οικολογικός παράγοντας με τον οποίο έχουν εξελιχθεί και στον οποίο έχουν προσαρμοστεί τα δασικά οικοσυστήματα που συναντώνται σε περιοχές με μεσογειακό κλίμα (Αριανούτσου & Φαραγγιτάκης 2007). Χαρακτηριστικό αυτής της προσαρμογής, είναι η αναγέννηση των καμένων δασικών περιοχών μετά την πυρκαγιά. Η μεσογειακή βλάστηση αναπαράγεται μετά από μια πυρκαγιά με σπόρους ή με παραβλαστήματα, οδηγώντας στην αποκατάστασή της μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Εννοείται ότι για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει η διαδικασία της αναγέννησης να μην επηρεαστεί από κατασταλτικούς παράγοντες. (Καζάνης & Αριανούτσου 1998).

Η φυσική αλλά και η τεχνητή αναδάσωση αποτελούν σημαντικό μέσο για τη διατήρηση, τη συντήρηση και την προστασία του συνόλου των δασικών πόρων. Με την φυσική αναγέννηση εξασφαλίζεται η συντήρηση της γενετικής ποικιλότητας, της φυσικής σύνθεσης των ειδών, της δομής και της οικολογικής δυναμικής. Η εφαρμογή της τεχνητής αποκατάστασης υποβοηθά τη φυσική, σε περιπτώσεις που ένα δάσος αδυνατεί να ανακάμψει από μόνο του. Η τεχνητή αναδάσωση αποτελεί μια πολιτική που συμβάλλει στην επίτευξη της βιώσιμης διαχείρισης των δασικών πόρων.

Οι τύποι αναγέννησης διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Φυσική αναγέννηση
- Φυσική αναγέννηση που ενισχύεται με σπορά ή και φύτευση

- Αναγέννηση με φύτευση ή και σπορά
- Βλάστηση λοχμών

Η φυσική αναγέννηση είναι μια διαδικασία που συνεχίζει να εκτελείται και μετά την αποκατάσταση των βλαβών (Ράδογλου 1999). Η διεργασία της εξαρτάται και από τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής, τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους, τον ανταγωνισμό μεταξύ των φυτών που αναγεννούνται αλλά και από εξωγενείς παράγοντες όπως είναι η βόσκηση. Οι συνεχείς πυρκαγιές, οι οποίες συμβαίνουν σε πιο σύντομα διαστήματα από αυτά που χρειάζεται η χλωρίδα για να ωριμάζει, οδηγεί αρχικά στην απόλυτη υποβάθμιση της παραγωγικής ικανότητας του εδάφους καταλήγοντας στην ερημοποίηση της περιοχής.

Σε περιοχές που έχουν κηρυχθεί ή πρόκειται να κηρυχθούν ως Φυσικά Αποθέματα, Μνημεία της Φύσης ή άλλες περιοχές απόλυτης προστασίας, δεν πραγματοποιείται καμία δασοκομική δραστηριότητα, εκτός από εξαιρετικές περιπτώσεις. Τα οικοσυστήματα τα οποία χαρακτηρίζονται από σπανιότητα (σε ευρωπαϊκό επίπεδο), τα Εθνικά Δασικά Πάρκα και οι περιοχές που υπάγονται στο δίκτυο Natura 2000, έχουν προτεραιότητα, όσον αφορά τα έργα δασώσεων και αναδασώσεων. Εάν αποφασιστεί η δάσωση της περιοχής με προστατευόμενα ή σπάνια είδη φυτών, ή με άλλα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, πραγματοποιείται αρχικά η απαιτούμενη μελέτη. Ακολουθούν οι δασοκομικές εργασίες, οι οποίες γίνονται με μεγάλη προσοχή, έτσι ώστε να μη διαταραχθεί η ισορροπία του οικοσυστήματος.

1.8. Ενέργειες Και Μέτρα Που Βοηθούν Τη Φυσική Αναγέννηση

Οι υλοτομίες και η απομάκρυνση των κορμών πρέπει να γίνονται νωρίς το Φθινόπωρο. Κατά τις υλοτομίες πρέπει τα κλαδιά και ιδιαίτερα οι κώνοι να παραμένουν στην επιφάνεια διότι η φυσική αναγέννηση βασίζεται στα σπέρματα που περιέχονται σε αυτούς τους κώνους (Ντάφης, 1987). Σε περιπτώσεις που δεν έγιναν υλοτομίες μετά τη φωτιά, η εμφάνιση του τοπίου ήταν αρνητική και η συσσωρευμένη νεκρή βιομάζα ήταν απαγορευτική για τις μετακινήσεις.

Τα αντιδιαβρωτικά έργα πρέπει να ολοκληρώνονται νωρίς για να μην υποστούν ζημιές τα αναγεννούμενα αρτίβλαστα. Ο κίνδυνος διάβρωσης είναι μεγαλύτερος μετά τη φωτιά, αλλά εξαρτάται από το μέγεθος της λεκάνης απορροής, τη θέση και κλίση της επιφάνειας και τις επικρατούσες συνθήκες βροχόπτωσης. Τα κλαδοπλέγματα που γίνονται κατά τις ισοϋψείς προσφέρουν ικανοποιητική προστασία. Μετά τη φωτιά πρέπει να υπάρχει καταγραφή του ζωικού κεφαλαίου και της πίεσης βόσκησης που υπάρχει στις καμένες εκτάσεις και αν είναι δυνατόν να αποφεύγεται τα τρία πρώτα χρόνια.



Εικόνα 1.8-1: Φυσική αναγέννηση Χαλέπιας πεύκης στην Αγία Τριάδα, εννιά χρόνια μετά τη φωτιά όπου έγιναν υλοτομίες.

Το δυναμικό της φυσικής αναγέννησης είναι μεγαλύτερο σε καλύτερες ποιότητες τόπου (Εικόνα 1.8-1) και μικρότερο σε χειρότερες ποιότητες τόπου, όπου επικρατούν αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος. Αντίστοιχα, η ανάκαμψη από τις βλάβες είναι μεγαλύτερη στις καλύτερες ποιότητες τόπου (Gitas et al. 2000). Αν τα πρώτα χρόνια η αναγέννηση δεν είναι ικανοποιητική, αυτή μπορεί να ενισχυθεί με ήπιους χειρισμούς, όπως σπορές ή φυτεύσεις με φυτάρια που αναπτύχθηκαν στα φυτάρια από σπέρματα που συλλέχθηκαν από την ευρύτερη περιοχή.

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Τηλεπισκόπηση

Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) νοείται η επιστήμη παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Σήμερα με το όρο Τηλεπισκόπηση εννοούμε "την επιστήμη και την τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία".

Η τηλεπισκόπηση ασχολείται με θεμάτα που έχουν σχέση με:

- Την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για τον τρόπο διάδοσης και μεταφοράς της.
- Την ατμόσφαιρα, πως δηλαδή αυτή επιδρά στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
- Τους δέκτες, δηλαδή τα μέσα με τα οποία καταγράφεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
- Τις πλατφόρμες, δηλαδή τα μέσα που μεταφέρουν τους δέκτες.
- Τα αντικείμενα, τα οποία βρίσκονται στη γη και καταγράφονται με τους διάφορους δέκτες.
- Τα μέσα επεξεργασίας και παρατήρησης των τηλεπισκούμενων δεδομένων.

Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης δίνει λύση στα προβλήματα συλλογής δεδομένων από περιοχές μεγάλης έκτασης. Το κόστος αγοράς και επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων είναι ιδιαίτερα χαμηλό σε σχέση με την έκταση της περιοχής που καλύπτουν και την ακρίβεια της πληροφορίας που παρέχουν. Η παρατήρηση και παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα τελευταία χρόνια σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του περιβάλλοντος, τη κατανομή του παγκόσμιου κλίματος αλλά και το σχεδιασμό και την ενίσχυση αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή, σε μια χώρα, σε ολόκληρο τον πλανήτη.

2.1.1. Αντικειμενοστραφής Ανάλυση Εικόνας

Η μεθοδολογία αυτή λαμβάνει υπόψη της την τηλεπισκοπική απεικόνιση σαν ένα σύνολο ομοιογενών περιοχών - αντικειμένων. Είναι ο κοντινότερος προς την ανθρώπινη σκέψη τρόπος για να επιτευχθεί η ανάλυση μιας εικόνας. Οι τεχνικές ανάλυσης που βασίζονται στο pixel χρησιμοποιούν μόνο τις φασματικές τιμές του κάθε pixel, ενώ οι αντικειμενοστραφείς τεχνικές χρησιμοποιούν, επίσης, το σχήμα και την υφή. Αυτές οι παραπάνω πληροφορίες που παρέχουν τα δημιουργούμενα

αντικείμενα βοηθούν την αναγνώριση (και, άρα την κατηγοριοποίηση) των γεωγραφικών περιοχών μιας εικόνας. Τα αντικείμενα αυτά συνοδεύονται από πολλά χαρακτηριστικά στα οποία βασίζονται οι κανόνες ταξινόμησης.

Στην αρχική εικόνα, εφαρμόζονται διαδικασίες κατάτμησης, με τις οποίες η εικόνα μετατρέπεται σε ένα σύνολο πρωτογενών αντικειμένων. Οι διαδικασίες κατάτμησης είναι διαδικασίες χαμηλού ή μέσου επιπέδου που δεν χρησιμοποιούν γνώση. Οι αλγόριθμοι κατάτμησης εικόνων, γενικά δεν αποσκοπούν να εντοπίσουν και να οριοθετήσουν σημασιολογικά αντικείμενα, αλλά να παράγουν πρωτογενή αντικείμενα τα οποία στη συνέχεια θα υποστούν διαδικασίες επεξεργασίας και ταξινόμησης από "έξυπνους" αλγορίθμους ή από συστήματα στηριγμένα στη γνώση.

Για την μεθοδολογία ενός συστήματος αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας ακολουθούν τα παρακάτω βήματα:

- Διαδικασία κατάτμησης πολλαπλής κλίμακας
- Ορισμός των κατηγοριών και της ιεραρχίας τους
- Δημιουργία βάσης γνώσης με την προσθήκη χαρακτηριστικών και κανόνων στις κατηγορίες
- Ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων σε σημασιολογικά αντικείμενα
- Ενδεχόμενα βήματα μετα-κατάτμησης και μετα-ταξινόμησης για βελτίωση αποτελεσμάτων.

Κατάτμηση

Κατάτμηση ορίζεται η υποδιαίρεση μιας εικόνας σε διαχωρισμένες περιοχές. Ο βασικός στόχος των αλγορίθμων κατάτμησης είναι η τμηματοποίηση των στοιχείων της εικόνας, βασισμένη σε ρυθμίσιμα κριτήρια ομοιογένειας ή διαφοροποίησης σε σχέση με γειτονικές περιοχές, αντίστοιχα (Baatz et al 2000). Στόχος της κατάτμησης είναι να προκύψουν πρωτογενή αντικείμενα τα οποία εν δυνάμει να δώσουν σημασιολογικά αντικείμενα με την διαδικασία της ταξινόμησης. Η διαδικασία της κατάτμησης πρέπει να παράγει όσο δυνατόν μεγαλύτερα αντικείμενα μπορεί, αλλά ταυτόχρονα όσο μικρά αντικείμενα είναι απαραίτητα για να καλύπτει τα κριτήρια του ορίου και της ομοιογένειας του χρώματος.

Ιεραρχία Τάξεων

Μέσω της ιεραρχίας, υλοποιείται μια αντικειμενοστραφής αναπαράσταση των προς ταξινόμηση κατηγοριών και ταυτόχρονα, παρέχεται το λογικό πλαίσιο με βάση το οποίο θα πραγματοποιηθούν οι διαδικασίες κληροδότησης χαρακτηριστικών από ορισμένες γενικότερες κατηγορίες σε πιο ειδικές. Η κληρονομικότητα είναι πολύ

σημαντικό χαρακτηριστικό της αντικειμενοστραφούς διαδικασίας καθώς επιτρέπει στον καθορισμό σχέσεων μέρους - όλου (part-of-relationships) και σχέσεων είδους (kind-of-relationships).

Τα χαρακτηριστικά των κατηγοριών και οι κανόνες είναι αναπόσπαστο κομμάτι της αντικειμενοστραφούς διαδικασίας, εφόσον είναι μέρος της αναπαράστασης των κατηγοριών και των αντικειμένων. Είναι το μέσο με το οποίο διαχωρίζονται τα αντικείμενα και οι κατηγορίες μεταξύ τους και αποκτούν την απαραίτητη μοναδικότητα ή την ομοιότητα μεταξύ τους. Οι ιδιότητες σε ένα αντικειμενοστραφές σύστημα ανάλυσης εικόνας μπορούν να αφορούν το χρώμα, το σχήμα, την υφή, την σχέση του αντικειμένου με το περιβάλλον του, την τοπολογία του με άλλες κατηγορίες, την αλλοκατάληξη με άλλα επίπεδα ανάλυσης κ.α.

Ταξινόμηση

Η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει εφόσον δεν υπήρχε και το κομμάτι της ταξινόμησης. Μπορούν να πραγματοποιηθούν ταξινομήσεις που βασίζονται στην ελάχιστη απόσταση ενός αντικειμένου στο χώρο προτύπων από τις διαθέσιμες κατηγορίες. Μπορούν να εφαρμοστούν αλγόριθμοι ομαδοποίησης (clustering) ή επιβλέπομενες ταξινομήσεις, με τη χρήση δειγμάτων.

Οι μέθοδοι ταξινόμησης είναι δύο:

- Η ταξινόμηση *βάσει κανόνων ασαφούς λογικής* (Fuzzy logic membership functions)
- Η ταξινόμηση *βάσει του εγγύτερου γείτονα* (Nearest neighbor - NN).

Η μέθοδος *βάσει κανόνων ασαφούς λογικής* προσπαθεί να προσδιορίσει τα αντικείμενα που ανήκουν σε κάθε κατηγορία με τη χρήση ασαφών συναρτήσεων. Η λογική των ασαφών συναρτήσεων είναι ότι τα φαινόμενα που χαρακτηρίζουν τις κατηγορίες μιας εικόνας μεταλλάσσονται σταδιακά. Οι τιμές συμμετοχής στις συναρτήσεις δεν μπορούν να είναι αυστηρά ανάμεσα σε δυο αριθμούς, πρέπει να υπάρχει ένα διάστημα ασάφειας. Στον άξονα των x μπαίνουν οι τιμές ασάφειας που ορίζουν ή δεν ορίζουν το χαρακτηριστικό σε κάποια κατηγορία ενώ στον άξονα των y φαίνεται ο βαθμός συμμετοχής που θα πάρει το χαρακτηριστικό για τη συγκεκριμένη κατηγορία.

Υπολογίζονται οι μέσες τιμές των αντικειμένων ανά κανάλι και, επίσης, η τυπική απόκλιση, τα χαρακτηριστικά σχήματος, το εμβαδόν, ο προσανατολισμός του αντικειμένου (main direction), ο λόγος μήκος/πλάτος και πολλά άλλα χαρακτηριστικά όχι μόνο των αντικειμένων αυτών καθεαυτών αλλά και οι τοπολογικές σχέσεις με τα γειτονικά αντικείμενα αλλά και με τα υπο-αντικείμενα και υπερ-αντικείμενα των άλλων επιπέδων (class related features).

Στην μέθοδο *του εγγύτερου γείτονα* (η οποία μπορεί να εφαρμοστεί για κάποιες κατηγορίες μόνο) χρειάζεται να οριστούν δείγματα. Τα δείγματα μπορεί να

προέρχονται από επίγειους ελέγχους ή από φωτοερμηνεία της εικόνας. Το λογισμικό δεν υπολογίζει μέσο όρο τιμών για τα δείγματα που δίνονται σε κάθε κατηγορία όπως κάνει το ErMapper, αλλά αντιμετωπίζει το κάθε δείγμα σαν ξεχωριστή κατηγορία. Έτσι, στο διάγραμμα των καναλιών κατά την καταγραφή των δειγμάτων φαίνονται πολλοί μέσοι όροι, όσοι και τα δείγματα. Επομένως, το καλύτερο αποτέλεσμα προκύπτει εφόσον οι μέσοι όροι των δειγμάτων κάθε κατηγορίας έχουν μεγάλη διαφορά τιμών. Κατά την διαδικασία της ταξινόμησης, οι μέσες τιμές των αντικειμένων συγκρίνονται με τις μέσες τιμές των δειγμάτων και ανάλογα ταξινομούνται στις αντίστοιχες κατηγορίες ή όχι.

2.1.2. Εμπορικό Λογισμικό

Το λογισμικό αντικειμενοστραφούς ανάλυσης eCognition δημιουργήθηκε και διατίθεται από τη γερμανική εταιρία DEFILViENS, που δραστηριοποιείται στον χώρο της ανάλυσης εικόνας και την βιολογία. Σχεδιάστηκε ώστε να ξεπερνά τους περιορισμούς και τις αδυναμίες των παραδοσιακών μεθόδων για την εξαγωγή χαρακτηριστικών από τηλεσκοπικές εικόνες μεγάλης διακριτικής ικανότητας. Η βασική σκέψη στην οποία στηρίζεται το λογισμικό είναι ότι η σημασιολογική πληροφορία δεν μπορεί να αναπαρασταθεί σε μεμονωμένα εικονοστοιχεία, αλλά από νοητά αντικείμενα και τις αλληλοσυσχετίσεις τους.

Η ανάλυση της εικόνας βασίζεται σε γειτονικές, ομογενείς περιοχές της εικόνας οι οποίες δημιουργούνται από την αρχική κατάτμηση. Οι περιοχές αυτές όταν συνδέονται, το αντικείμενο της εικόνας αναπαρίσταται από ένα δίκυτο αντικειμένων. Τα αντικείμενα της κατάτμησης μπορούν να χαρακτηριστούν από πολύ περισσότερες ιδιότητες απ' ό,τι απλά φασματικές ή παράγωγες φασματικών.

2.1.3. Δείκτες Βλάστησης

Για την μεθοδικότερη παρατήρηση της βλάστησης αναπτύχθηκαν κατά καιρούς διάφορες μορφές συνδυασμών λόγων. Αυτοί οι συνδυασμοί είναι γνωστοί ως δείκτες βλάστησης (Vegetation Indices) και έχουν σαν σκοπό τον περιορισμό των χρονοβόρων και πολυδάπανων εργασιών υπαίθρου συνεκτιμώντας τις τεράστιες ποσότητες των δορυφορικών δεδομένων. Οι δείκτες βλάστησης είναι ποσοτικές εκφράσεις οι οποίες υπολογίζονται από τις τθμές λαμπρότητας των φατνίων (pixel) και σχετίζονται κυρίως με τη βιομάζα ή την κατάσταση βλάστησης. Με τους δείκτες βλάστησης υπολογίζονται οι τιμές λαμπρότητας των pixel της βλάστησης και χρησιμοποιούνται ως μέσο παρακολούθησης και διάκρισης της βλάστησης καθώς και για διαχρονικές συγκρίσεις (Μάκρας και Καρτέρης, 2002).

Οι περισσότεροι δείκτες βλάστησης βασίζονται στο γεγονός ότι η υγιή βλάστηση παρουσιάζει μεγάλη ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (NIR) και μικρή στο κόκκινο (R), αντίθετα με το γυμνό έδαφος που εμφανίζει κάποια σταθερότητα. Επομένως δημιουργώντας την αναλογία NIR/R η βλάστηση θα εμφανίσει μεγάλες τιμές ενώ το γυμνό έδαφος μικρότερες (Μάκρας και Καρτέρης, 2002).

Οι πιο διαδεδομένοι δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιούνται διεθνώς είναι :

- Ο Δείκτης Βλάστησης κανονικοποιημένων διαφορών (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) ο οποίος έχει τη δυνατότητα να ελαχιστοποιεί την επίδραση της τοπογραφίας. Η δημιουργία του αποδίδεται στον Rouse et al. (1973) αν και η σύλληψη της ιδέας δημιουργίας ενός τέτοιου δείκτη βλάστησης ανήκει στον Krigler et al (1969). Οι τιμές που λαμβάνει μεταβάλλονται από -1 έως +1 με το 0 να είναι το όριο στην απουσία της βλάστησης. Ο Δείκτης NDVI ορίζεται από την ακόλουθη γενική εξίσωση:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

όπου NIR = φασματικό κανάλι του κοντινού υπέρυθρου και

RED = φασματικό κανάλι στην περιοχή του ερυθρού του ορατού.

Το άθροισμα του παρανομαστή 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 εικονοστοιχείου της οποίας παριστάνει τη διαίρεση της φωτεινότητας των εικονοστοιχείων των δυο 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.

- Ο Τροποποιημένος Δείκτης του Εδάφους προσαρμοσμένης βλάστησης (Modified Soil Adjusted Vegetation Index - MSAVI) προτάθηκε από τον Qi το 1994, προσδιορίζεται και αυτός σε συνάρτηση με το κόκκινο και το εγγύς υπέρυθρο κανάλι, αλλά σε μια πιο περίπλοκη μαθηματική έκφραση, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τις διαφορές στο είδος του εδάφους. Η τιμή μεταβάλλεται από -1 έως και +1 και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$-1 \leq \text{MSAVI} = \frac{2 * \text{NIR} + 1 - \sqrt{(2 * \text{NIR} + 1)^2 - 8 * (\text{NIR} - \text{RED})}}{2} \leq +1$$

2.1.4. Δορυφόροι

Οι εμπορικοί δορυφόροι που κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη συλλέγουν καθημερινά εικόνες σε διάφορα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι εικόνες στο ορατό τμήμα μας δίνουν πληροφορίες για τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι εικόνες στο υπέρυθρο τμήμα είναι ευαίσθητες στην παρουσία και την ανάπτυξη της βλάστησης και οι εικόνες στο θερμικό τμήμα παράγουν θερμοκρασιακούς χάρτες και μπορούν να καταγράψουν τις περιοχές όπου υπάρχει αυξημένη εξάτμιση. Οι εικόνες που λαμβάνονται από δορυφόρους προσφέρουν μία μοναδική άποψη όχι μόνο της Γης, αλλά και των αποτελεσμάτων της ανθρώπινης παρέμβασης σε αυτή. Σε λιγότερο από μία δεκαετία έχει αποδειχθεί ότι τα δορυφορικά δεδομένα είναι μία οικονομική πηγή εξαιρετικά χρήσιμων πληροφοριών

για μία πληθώρα εφαρμογών, όπως για παράδειγμα σχεδιασμού πόλεων, παρακολούθησης και διαχείρισης του περιβάλλοντος, εξόρυξη μετάλλων και πετρελαίου κλπ (Καρτάλης Κ. 1997). Για παράδειγμα, μερικές εικόνες μπορούν να δείξουν ασθένειες και μολύνσεις στη βλάστηση, μεταλλεύματα σε βραχώδης εκτάσεις, ακόμα και μολύνσεις σε θάλασσες και ποταμούς ή μπορούν να διαπεράσουν σύννεφα, πάχνη, ομίχλη και άλλα καιρικά φαινόμενα, και να αποκαλύψουν περιοχές στη Γη.

Τηλεπισκοπικά Δεδομένα QuickBird

Ο δορυφόρος QuickBird βρισκόταν σε τροχιά γύρω από τη γη από το τέλος του 2001 και συνέχιζε μέχρι την 27η Ιανουαρίου του 2015 να λαμβάνει έγχρωμες εικόνες υψηλής ανάλυσης με μεγάλη ακρίβεια και ταχύτητα. Ήταν ο πρώτος δορυφόρος του στόλου της DigitalGlobe και ο πρώτος δορυφόρος που έσπασε το φράγμα του ενός μέτρου στην ανάλυση έγχρωμων εικόνων. Εκτοξεύθηκε από την αεροπορική βάση Βάντενμπεργκ στην Καλιφόρνια στις 18 Οκτωβρίου 2001. Κατά το χρόνο της εκτόξευσης του ήταν ο εμπορικός δορυφόρος με την υψηλότερη ευκρίνεια εικόνων σε λειτουργία. Τώρα υπάρχουν οπτικοί αισθητήρες δορυφόρων με ακόμη μεγαλύτερη χωρική ανάλυση, περιλαμβάνοντας τους δορυφόρους WorldView που τους χειρίζεται και αυτούς η DigitalGlobe.



Εικόνα 2.4.1-1: Δορυφόρος QuickBird, Πηγή DigitalGlobe.com

Ο QuickBird γύριζε από τη Γη σε ύψος 600km (περίπου 372 μίλια) και ο αισθητήρας του (μια κάμερα υψηλής ανάλυσης) συγκέντρωνε εικόνες από την επιφάνεια της γης μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η υψηλή διακριτική τους ικανότητα (0,7m), σε συνδυασμό με το υψηλό βάθος τόνου (11bit), καθιστούν τα παγχρωματικά δεδομένα QuickBird ικανά να μπορούν να καλύψουν απαιτήσεις εφαρμογών που δεν ήταν δυνατόν να καλυφθούν με παλαιότερα δορυφορικά δεδομένα.

Το σύστημα μπορούσε να συλλέγει 61 εκατοστά παγχρωματικών και 2,5 μέτρων πολυφασματικών στερεοσκοπικών δεδομένων. Ήταν σχεδιασμένος να καλύπτει μεγάλες περιοχές με μεγάλη ακρίβεια. Επιπλέον, λόγω της δυνατότητας λήψης

στερεοζευγών εντός τροχιάς ήταν δυνατή η επεξεργασία και παραγωγή DEM με ανάλυση και ακρίβεια πρωτοποριακές για το χώρο των δορυφορικών δεδομένων.

Ο QuickBird είχε τη δυνατότητα να συλλέξει πάνω από 75 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα απεικονιστικών δεδομένων το χρόνο (περίπου τρεις φορές το μέγεθος της Βόρειας Αμερικής). Τα δεδομένα χρησιμοποιούνταν στη χαρτογράφηση, στο σχεδιασμό καλλιεργήσιμων και αστικών περιοχών, στην μελέτη του καιρού και τη στρατιωτική παρακολούθηση.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

Τροχιά

- **Υψόμετρο:** 482 χλμ τώρα και 450 χλμ έως τις αρχές του 2013 με σύγχρονη κλίση προς τον ήλιο 98 μοιρών.
- **Είδος:** Ηλιοσύγχρονη 10:00 π.μ. φθίνων κόμβος
- **Περίοδος:** 94,2 λεπτά για υψόμετρο 482 χλμ και 93,6 για 450 χλμ.

Δυνατότητα Απεικονίσεων – Δέκτες

Πίνακας 2.4.1-1: Χαρακτηριστικά των φασματικών ζωνών του δορυφόρου QuickBird.

Φασματικά Κανάλια	Φασματικό Εύρος	Χωρική διακριτική ικανότητα
<i>Ran</i>	0,45 - 0,90 μm	0,7m
<i>Κανάλι 1</i>	0,45 - 0,52 μm	2,8m
<i>Κανάλι 2</i>	0,52 - 0,60 μm	2,8m
<i>Κανάλι 3</i>	0,63 - 0,69 μm	2,8m
<i>Κανάλι 4</i>	0,76 - 0,89 μm	2,8m

Πλάτος Σάρωσης - Εμβαδά

- **Ονομαστικό Πλάτος Λωρίδας Σάρωσης:** 18χλμ στο ναδίρ για υψόμετρο 482χλμ και 16χλμ για υψόμετρο 450χλμ.
- **Πλάτος Λωρίδας στο Έδαφος:** 564χλμ για υψόμετρο 482χλμ και 526χλμ για υψόμετρο 450χλμ κεντραρισμένη στην τροχιά του δορυφόρου στο έδαφος (30 μοίρες εκτός ναδιρ)

- **Εμβαδό μιας Λήψης στο Έδαφος:** 18χλμ * 18χλμ για υψόμετρο 482χλμ και 16,8χλμ * 16,8χλμ για υψόμετρο 450χλμ
- **Εμβαδό μιας Λωρίδας στο Έδαφος:** 18χλμ * 360χλμ για υψόμετρο 482χλμ και 16,8χλμ * 360χλμ για υψόμετρο 450χλμ

Τηλεπισκοπικά Δεδομένα WorldView

Οι δορυφόροι WorldView -1 και -2 είναι εμπορικοί, οπτικοί δορυφόροι εικόνων πολύ υψηλής ευκρίνειας που ανήκουν στην εταιρία DigitalGlobe.



Εικόνα 2.4.1-2: Δορυφόροι WorldView-1 και -2, Πηγή DigitalGlobe.com

Ο δορυφόρος WorldView -1 εκτοξεύθηκε στις 18 Σεπτεμβρίου 2007 και ο δορυφόρος WorldView-2 εκτοξεύθηκε στις 8 Οκτωβρίου 2009. Και οι δύο δορυφόροι εκτοξεύθηκαν με πυραύλους Delta 7920 από την αεροπορική βάση Βάντενμπεργκ. Ο WorldView-1 αναμένεται να παραμείνει μέχρι το 2018, ενώ ο δορυφόρος WorldView -2 έχει προγραμματιστεί να παραμείνει μέχρι το 2017.

Και οι δύο δορυφόροι εκτελούν τροχιά σύγχρονη ηλιακά και κατέρχονται πάνω από τον ισημερινό σε κάθε τροχιά στις 10:30 π.μ. Ο WorldView-1 εκτελεί τροχιά σε ύψος 496 χιλιομέτρων, έχει τροχιακή περίοδο 94,6 λεπτών με μέσο χρόνο επανεμφάνισης κάθε 1,7 ημέρες. Μεταφέρει έναν αισθητήρα παγχρωματικής απεικόνισης. Ο WorldView-2 εκτελεί τροχιά σε ύψος 770 χιλιομέτρων, έχει τροχιακή περίοδο 100 λεπτών και μεταφέρει αισθητήρα πολυφασματικής απεικόνισης.

Ο αισθητήρας του WorldView-1 απεικονίζει σημεία στο έδαφος σε απόσταση δειγματοληψίας 0,50 μέτρων στο ναδίρ και 0,59 μέτρων σε γωνία 25 μοιρών εκτός ναδίρ κατά μήκος της τροχιάς ενεργοποιώντας τη στερεοσκοπική απεικόνιση. Το πλάτος λωρίδας σάρωσης του αισθητήρα είναι 17,6 χιλιόμετρα στο ναδίρ. Ο αισθητήρας στο δορυφόρο WorldView-2 έχει χωρική δειγματοληψία 1,85 μέτρων και κάνει λήψη εικόνων σε 8 διαφορετικές ζώνες.

Οι κύριες εφαρμογές για τους δορυφόρους WorldView είναι η χαρτογράφηση πολύ υψηλής ευκρίνειας, η ανίχνευση αλλαγών και η στερεοσκοπική τρισδιάστατη απεικόνιση.

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. Θέση Περιαστικού Οικοσυστήματος

Ο δήμος Ραφήνας – Πικερμίου ανήκει στην Περιφέρεια Αττικής, στην Νομαρχία Ανατολικής Αττικής, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας όπως διαμορφώθηκε με το πρόγραμμα “Καλλικράτης”. Ο δήμος σχηματίστηκε με την συνένωση των υπό κατάργηση δήμων Ραφήνας και Πικερμίου. Η έκταση του νέου δήμου είναι 41.84 τ.χλμ και ο πληθυσμός του 20.266 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Έδρα του δήμου είναι η Ραφήνα και ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα Στερεάς Ελλάδας (Εικόνα 3.1-1).

Η περιοχή μελέτης καταλαμβάνει καμένη έκταση δασικών ειδών της θέσης Αγίας Τριάδας Ραφήνας, ύστερα από τις πυρκαγιές το καλοκαίρι του 2005. Εκτείνεται βόρεια του οικισμού Δροσιά, ανατολικά του δήμου Πικερμίου, νότια του οικισμού Πευκώνα και δυτικά του οικισμού Περιβολάκια.



Εικόνα 3.1-1: Η χωρική θέση του δήμου Ραφήνας-Πικερμίου στην Αττική.

3.2. Κλιματολογικά Χαρακτηριστικά

Το κλίμα είναι μεσογειακό με κύριο χαρακτηριστικό το ξηρό και θερμό καλοκαίρι και τον ήπιο και βροχερό χειμώνα.

3.2.1. Άνεμοι

Γενικά οι άνεμοι που κυριαρχούν στην περιοχή είναι βόρειοι. Από τα μέσα του Ιουλίου μέχρι το τέλος Οκτωβρίου, οι άνεμοι γίνονται περισσότερο ασταθείς, πιο

συγχοί και πιο ισχυροί. Σημειώνεται ότι το ποσοστό νηνεμίας είναι 26,1%, ενώ οι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλης έντασης.

Όσον αφορά στην ένταση των ανέμων αυτή δεν ξεπερνά σε μεγάλο ποσοστό τα 8 BEAUF και πιο συγκεκριμένα τα υπερβαίνει κατά 0,4 ημέρες του μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Αύγουστο.

3.2.2. Θερμοκρασία Αέρος

Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 17°C με θερμομόμετρο μήνα τον Ιούλιο (°C) και ψυχρότερο τον Ιανουάριο (8,5°C), ενώ το μέσο ετήσιο εύρος της θερμοκρασίας είναι 18,4 °C. Ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος ενώ θερμότεροι ο Ιούλιος και Αύγουστος.

Η μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία είναι 5,4 °C και εμφανίζεται τον Ιανουάριο, ενώ η μέση μέγιστη είναι 30,3 °C και εμφανίζεται τον Αύγουστο.

3.2.3. Υγρασία

Η μέση σχετική υγρασία κυμαίνεται από 59% - 64% με βάση τα στοιχεία του Μ.Σ. Σπατών κατά μέσον όρο τα τελευταία 19 έτη φθάνει μόλις τα 232,9 m, ενώ η μέγιστη ημερήσια φθάνει τα 91,9 mm και παρατηρείται το Νοέμβριο. Το μέγιστο των βροχοπτώσεων εμφανίζεται τον χειμώνα και ακολουθεί το φθινόπωρο, η άνοιξη και το καλοκαίρι.

Οι νεφοσκεπείς ημέρες είναι περίπου 50, το ποσοστό των ημερών με καθαρό ουρανό ανέρχεται σε 35% ενώ το ποσοστό των ημερών με πλήρη νεφοκάλυψη ανέρχεται σε 15%.

Ο βιοκλιματικός όροφος της περιοχής μελέτης είναι ξηρός με χειμώνα ήπιο.

Με βάση το ομβροθερμικό διάγραμμα η ξηρή περίοδος στην ευρύτερη περιοχή αρχίζει στα μέσα Μαρτίου και λήγει στις αρχές Οκτωβρίου.

3.3. Οικοσύστημα και Είδη Βλάστησης

Η βλάστηση στην περιοχή της Α. Αττικής γενικότερα και της ευρύτερης περιοχής του Πεντελικού όρους ειδικότερα, βρίσκεται σε διαρκή υποχώρηση λόγω των εκτεταμένων πυρκαγιών των τελευταίων ετών και της επακόλουθης συνεχούς επέκτασης των οικισμών.

Πριν από τις πυρκαγιές στις περιοχές του Γραμματικού, του Βαρνάβα, του Καλετζίου και της λίμνη του Μαραθώνα, όπου οι φωτιές δεν ήταν επαναλαμβανόμενες και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες περιορισμένες, υπήρχαν ώριμα δάση Χαλεπίου πεύκης (κυρίαρχο είδος) διαφόρων ηλικιών καθώς και νεαρά δεντρώλια, τα οποία είχαν προέλθει από φυσική αναγέννηση. Επίσης πουρνάρια, φιλλύκια, αφάνες, σπαράγγια, λαδανιές, αγροκυδωνιές, κενταύριες, θυμάρι κλπ απαντώνταν στις περιοχές αυτές.

Αντίθετα, η μεγαλύτερη έκταση του Πεντελικού όρους (τμήμα του Διονύσου, η ευρύτερη περιοχή της Καλλιτεχνούπολης, της συνοικίας Ντράφι, της Παλαιάς Πεντέλης και της Ραπεντώσας) είχε επηρεαστεί από συνεχόμενες πυρκαγιές, προκαλώντας σημαντική υποβάθμιση στο μεγαλύτερο μέρος της δασικής έκτασης. Για τον λόγο αυτό, το μεγαλύτερο τμήμα του νεαρού πευκοδάσους του Πεντελικού όρους είχε προέλθει από αναδασώσεις που ακολούθησαν τις πυρκαγιές του 1995 και του 1998.

Στην πλειονότητα τους οι συγκεκριμένες αναδασωμένες περιοχές καταστράφηκαν εκ νέου από τη μεγάλη πυρκαγιά του 2009.

Στον υπόροφο της Χαλεπίου πέυκης αλλά και σε υποβαθμισμένες περιοχές χωρίς υψηλή δασική βλάστηση, εξαιτίας των επανειλημμένων πυρκαγιών 2006 και 2009, εμφανιζόταν ελάχιστη φυσική αναγέννηση πεύκου, καθώς και βλάστηση από θαμώνες αείφυλλων πλατύφυλλων, όπως πουρνάρια, κουμαριές, σχίνιοι, λαδανιές και είδη όπως ασφόδελοι, αγριοβρώμη, κόνυζα, στύφνοι κλπ

Αρχικά οι καμένες δασικές εκτάσεις αναμένεται να καλυφθούν από **φυτά που διαθέτουν μηχανισμούς που τους επιτρέπουν να αντιμετωπίζουν μια πυρκαγιά** (πρεμνοβλαστήσεις, ριζοβλαστήσεις, βολβώδεις ρίζες, σκληρά σπέρματα, εδαφικές τράπεζες), από επανεποίκηση από γειτονικές άκαυτες φυσικές περιοχές (όπου αυτές υπάρχουν) αλλά και από μεταφορά σπόρων από πουλιά, άλλα ζώα ή και τον αέρα. Η κάλυψη αυτή θα είναι ιδιαίτερα εμφανής στις θαμνώδεις περιοχές που κάηκαν, καθώς σε αυτές αναμένονται πολύ σύντομα πρεμνοβλαστήσεις ειδών όπως τα πουρνάρια, οι κουμαριές, οι σχίνιοι, οι κοκκορεβυθιές, κλπ. η σύντομη εμφάνιση της βλάστησης είναι σημαντική, όχι μόνο για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, αλλά και για άλλους παράγοντες του οικοσυστήματος, όπως είναι η συγκράτηση του εδάφους και του νερού.

Στις περιοχές όπου υπήρξε υψηλό και ώριμο δάσος Χαλεπίου πέυκης (φέρει δηλαδή κουκουνάρια) η φυσική αναγέννηση δεν αναμένεται να αντιμετωπίσει ιδιαίτερα προβλήματα, καθώς αυτού του τύπου η μεσογειακή βλάστηση έχει αναπτύξει μηχανισμούς προσαρμογής και ταχείας αποκατάστασης της ισορροπίας του οικοσυστήματος. Τα κουκουνάρια των πεύκων αυτών διατηρούνται κλειστά για πολλά έτη (έως και 50) και εξακολουθούν να παραμένουν κλειστά κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς ανοίγοντας μετά την πάροδο 24 - 48 ωρών, όταν το έδαφος έχει κρυσώσει, διασπείροντας τους σπόρους που εμπεριέχονται σε αυτά.

Μετά την πυρκαγιά η αναγέννηση της Χαλεπίου πέυκης είναι ικανοποιητική στις εκτάσεις εκείνες που καλύπτονται ώριμες συστάδες και έχουν κλίση 0-50%, ενώ στις μεγαλύτερες κλίσεις η αναγέννηση μειώνεται αρκετά. Η ένταση της πυρκαγιάς και το μέγεθος της επιφάνειας που καίγεται επηρεάζει τη φυσική αναγέννηση. Σε σημεία όπου η φυσική αναγέννηση δεν ήταν επιτυχής, εκτελείται η τεχνητή αναδάσωση. Γενικά, όταν τα αποτελέσματα της φυσικής αναγέννησης δεν είναι εμφανή εντός

ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, τότε πραγματοποιείται φύτευση ή σπορά για την ενίσχυση της διαδικασίας της αποκατάστασης.

Ο θάμνος *Calycotome villosa*, που αναπτύσσεται μετά την πυρκαγιά δρα μάλλον προστατευτικά στην περιοχή έρευνας, διότι βοηθάει τα άτομα που εγκαθίστανται αφενός μεν με τη σχετική σκίαση που παρέχει, αφετέρου δε με την προστασία έναντι της βόσκησης των γιδιών. Η έκθεση παίζει μικρότερο ρόλο στην αναγέννηση για την περιοχή έρευνας. Βασικό ρόλο στην περιοχή έπαιξε η ποιότητα του εδάφους και η ύπαρξη άφθονων σπόρων από τις εναπομείνουσες συστάδες.

Τους μεγαλύτερους αριθμούς φυταρίων συναντούμε στις επιφάνειες που βρίσκονται στο κάτω μέρος της πλαγιάς και ιδιαίτερα εκεί όπου υλοτομήθηκαν τα καμένα δέντρα και σχετικά αναμοχλεύθηκε το έδαφος. Αυτό παρατηρείται γιατί μετά από την πυρκαγιά –κυρίως όταν καίγονται και οι βελόνες- αφενός τα νερά της βροχής παρασύρουν τη στάχτη αλλά και το έδαφος και μαζί μ'αυτό σπόρους στο κάτω μέρος της πλαγιάς, αφετέρου οι συνθήκες υγρασίας είναι ευνοϊκότερες για τη φύτευση των σπόρων. Η επανάληψη της πυρκαγιάς σε χρονικό διάστημα μικρότερο των 10-15 ετών είναι καταστροφική για την αναγέννηση, διότι η Χαλέπιος πεύκη δεν έχει καρποφορήσει ώστε να υπάρχουν ώριμοι κώνοι. Είναι απαραίτητοι όλες οι νέες φυτείες να συντηρούνται και να αρδεύονται τα πρώτα τρία χρόνια της ζωής τους.

3.3.1. Δενδρώδης Βλάστηση

Χαλέπια πεύκη (*Pinus halepensis*)

Είναι είδος ξηροθερμόβιο, λιτοδίαιτο, προσαρμοστικό, φωτόφιλο περισσότερο απ' όλα τ' άλλα πεύκα, εκτός της κουκουναριάς και ευδοκιμεί σε διάφορους τύπους εδάφους. Έτσι προτιμά περισσότερο τα βαθιά πλούσια αλκαλικά μέχρι ουδέτερα εδάφη και λιγότερο τα βαθιά άγονα, ενώ αποφεύγει τα συνεκτικά αργιλλώδη και συναντά προβλήματα καλής ανάπτυξης στα αβαθή εδάφη.

Η Χαλέπια πεύκη είναι δέντρο ύψους 10-30μ. και διάμετρο περίπου 1 μέτρο, με κόμη πλατιά, ακανόνιστη, συνήθως αραιά και με κορμό κακόμορφο, στρεβλό, με λοξά κλαδιά σε ακανόνιστη διάταξη. Η Χαλέπια πεύκη ζει μέχρι 200 περίπου χρόνια και είναι ταχυαυξής στην νεαρή ηλικία περισσότερο από την Τραχεία πεύκη.

Είναι το κατ' εξοχήν πεύκο των θερμότερων περιοχών της Ελλάδας συναντώμενο στην Πελοπόννησο, στην Στερεά Ελλάδα, στην Ήπειρο, στα Επτάνησα, στην Εύβοια, στη Χαλκιδική, στα νησιά του Αιγαίου κλπ.

Τα φύλλα της χαλέπιας πεύκης είναι βελονοειδή (βελόνες) μονήρεις τον πρώτο χρόνο και στη συνέχεια, ανά δύο στα βραχυκλάδια και σε σπειροειδή διάταξη. Είναι ίσιες, λεπτές, γυαλιστερές, ανοιχτοπράσινες, με οδοντωτή στις παρυφές που δεν γίνεται αισθητή με την αφή, και με μήκος 8-12cm. Ζουν δύο χρόνια γιαυτό και η κόμη φαίνεται σχετικά αραιή.

**A****B**

Εικόνα 3.3.1-1: Χαλέπια πεύκη - *Pinus halepensis* (A&B), Αγία Τριάδα.

Ο καρπός είναι κώνος. Οι κώνοι είναι ωοειδείς, οξύληκτοι, ίσιοι μέχρι κυρτοί μεμονωμένοι ή ανά δύο, με κυρτό ποδίσκο. Ωριμάζουν την τρίτη από την άνθηση άνοιξη και τα σπέρματα πέφτουν από τον Μάιο μέχρι τον Νοέμβριο, ενώ οι κώνοι παραμένουν συνήθως στα δέντρα, ενώ άλλοι δεν ανοίγουν για την απελευθέρωση των σπερμάτων και παραμένουν κλειστοί για ένα δύο ή περισσότερα χρόνια. Οι κώνοι αυτοί δεν καίγονται και δεν ανοίγουν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς αλλά 24 – 48 ώρες μετά από αυτή, όταν πια έχει κρυώσει το έδαφος και δεν φυτρώνουν με την πρώτη βροχή αλλά μόνον το φθινόπωρο όταν έχουν πέσει πάνω από 25 mm βροχής και έχει διαβραχεί το έδαφος το οποίο έτσι εξασφαλίζει την επιβίωση των αρτίφυτρων.

**A****B**

Εικόνα 3.3.1-2: Καρπός (A) & Νεογέννητο είδος Χαλέπιας πεύκης - *Pinus halepensis*, Αγία Τριάδα.

Ο πολλαπλασιασμός γίνεται με σπέρματα. Τα σπέρματα είναι μικρά και μεταφέρονται λόγω πτερυγίου από τον αέρα. Έχουν μεγάλη φυτρωτικότητα περίπου 90-95% που διαρκεί 4-6 χρόνια.

Το ξύλο είναι με καστανό εγκάρδιο και λευκοκίτρινο σομφό, μέτρια σκληρό και μέτρια βαρύ, με μεγάλη διάρκεια λόγω του ότι περιέχει ρετσίνη και είναι κατάλληλο για ναυπηγικές κατασκευές, στρωτήρες σιδηροδρόμω, στοές μεταλλείων κλπ.

Τέλος είναι είδος που μπορεί να αναγεννηθεί μετά από πυρκαγιά εφόσον ένας μεγάλος αριθμός σπερμάτων απελευθερώνεται μετά από την πυρκαγιά ή αφού δεν κάρηκε μπορεί χωρίς ανταγωνισμό της παρεδαφιαίας βλάστησης να φυτρώσει.

Αρκέυθος φοινικική (*Juniperus phoenicea*)

Είναι θάμνος ή δέντρο, μερικές φορές φτάνει ως 8 μέτρα ύψος, με κωνική μορφή και κορμό που διακλαδίζεται από τη βάση. Τα κλαδιά του είναι πυκνά με κλαδίσκους κυλινδρικούς και ο φλοιός του είναι σκούρος καστανός.



Εικόνα 3.3.1-3: Δέντρο (A) & Καρπός (B) Αρκέυθος φοινικική - *Juniperus phoenicea*, Αγία Τριάδα.

Ο καρπός του είναι ραγοστρόβιλος, συνήθως σφαιρικός με διάμετρο 0,8-1,4 cm. Το χρώμα του είναι κοκκινοκάστανο, γυαλιστερό με αμυδρό επίχρισμα και ωριμάζει το δεύτερο φθινόπωρο από την άνθηση.

Τα άνθη εμφανίζονται το φθινόπωρο, στην άκρη βραχέων κλαδίσκων. Συναντάται σε χαμηλές παραμεσογειακές περιοχές, συγκεκριμένα στην Πελοπόννησο, Στερεά Ελλάδα, Χαλκιδική (περιοχή Μαρμαρά), Κρήτη. Εύβοια, πολλά νησιά του Αιγαίου και μερικά του Ιονίου πελάγους.

Ελιά (*Olea europaea*)

Περιλαμβάνει αιθαλή δέντρα ή θάμνους, με κυκλικά ή τετραγωνιώδη κλαδιά, χωρίς πλάτωση στα γόνατα. Έχει φύλλα αντίθετα, απλά, λογχοειδή ή αντίστροφα ωοειδή με την πάνω επιφάνεια σκουροπράσινη και την κάτω αργυροπράσινη. Τα άνθη της είναι αρρενοθήλεα ή πολύγαμα, σε μασχαλιαίους ή ακραίους βότρεις ή φόβες και εμφανίζονται προς το τέλος Μαΐου, ενώ ο καρπός ωριμάζει και συλλέγεται κατά τα τέλη του φθινοπώρου και αρχές του χειμώνα.



Εικόνα 3.3.1-4: Ελιά - *Olea europaea*, Αγία Τριάδα.

Η ελιά ευδοκμεί σε κλίματα εύκρατα χωρίς ακρότητες θερμοκρασίας (με μέση ετήσια θερμοκρασία 16°C) και υγρασίας, για αυτό είναι ευρύτατα διαδεδομένη στη μεσογειακή ζώνη (όπως στην Ελλάδα, στην Ιταλία, στην Ισπανία, στην Τουρκία, την Αλγερία και αλλού). Ευδοκμεί σε πολλές περιοχές του κόσμου, αρκεί η θερμοκρασία να μη κατέρχεται πολύ και για μεγάλα χρονικά διαστήματα κάτω από το μηδέν. Γι' αυτό και ιδιαίτερα κατάλληλες περιοχές για την καλλιέργεια της είναι οι παραθαλασσίες.

Τα δέντρα φυτεύονται σε ευθείες σειρές ή σε ρομβοειδείς διατάξεις. Ανάλογα με την ποικιλία και την ποιότητα του εδάφους η απόσταση μεταξύ των σειρών κυμαίνεται από 7 έως 20 μέτρα. η περιοχή στην οποία καλλιεργούνται ελαιόδενδρα ονομάζεται "ελαιώνας".

Αγριελιά (*Olea Sylvestris*)

Η αγριελιά είναι ένα ριζώδες, πολυετές, θαμνώδες ή δενδρώδες και αειθαλές φυτό. Σε ύψος δύναται να ξεπεράσει τα 5 μέτρα ενώ σε μήκος - πλάτος τα 3 με 4. Είναι κυρίαρχο στις μεσογειακές περιοχές, φυσικά αποτελεί ένα ιδιαίτερο διαδεδομένο φυτό στην χώρα μας και πιο συγκεκριμένα στις παράκτιες, πεδινές ή και ημιόρεινες περιοχές αυτής. Στην ανατολική Αττική υπάρχει σε πληθώρα και καλύπτει πλαγιές που είχαν καταστραφεί παλαιότερα από φωτιές, στους γύρω χαμηλούς λόφους.

Τα φύλλα του είναι μικρά και αντίθετα, ολίγο ωοειδή, και ο μίσχος αρκετά κοντός. Το χρώμα του φύλλου πάνω είναι σκουροπράσινο και από κάτω αργυρόλευκο. Τα λουλούδια της αγριελιάς είναι μικρά και λευκά, ελαφρώς αρωματικά και όχι εντυπωσιακά. Η εμφάνιση τους γίνεται κατά τα τέλη της άνοιξης ως τις αρχές του καλοκαιριού. Η καρποφορία γίνεται κατά τα τέλη του φθινοποώρου ως τις αρχές του χειμώνα. Οι καρποί του στην αρχή είναι μικροί και στρογγυλοί και μετά μελανοί και μαύροι. Από αυτούς μπορεί να παραχθεί ένα πολύ εξαιρετικό και φαρμακευτικό λάδι. Σημαντικό ρόλο παίζει φυσικά η τοποθεσία στην οποία έχει φυτευτεί, όχι μόνο ως προς το υψόμετρο αλλά και ως προς το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. η συλλογή των καρπών γίνεται την ίδια περίοδο. Ο πολλαπλασιασμός του φυτού γίνεται με μοσχεύματα κύριως ή και με σπόρο.



Εικόνα 3.3.1-5: Αγριελιά - *Olea sylvestris*, Αγία Τριάδα.

Η αγριελιά θέλει ηλιόλουστες τοποθεσίες και βαθιά εδάφη που να μην συγκρατούν πολύ νερό. Σαν άγριο φυτό που είναι, αντέχει στην ξηρασία αλλά και στα φτωχά εδάφη, ωστόσο, μέτριας συχνότητας ποτίσματα και συχνή λίπανση θα βοηθήσουν να αναπτυχθεί ταχύτερα και να είναι περισσότερο εύρωστο. Αξίζει να αναφερθεί πως ως προς το χώρο, θέλει αρκετό "αέρα" ή κοινώς άπλα για να μεγαλώσει ήσυχα.

3.3.2. Θαμνώδης βλάστηση

Πουρνάρι (*Quercus coccifera*)

Το πουρνάρι ή πρίνος είναι ένα είδος αειφυλλης σκληρόφυλλης δρυός με ευρεία εξάπλωση γύρω από τη Μεσόγειο. Στην Ελλάδα εξαπλώνεται στην ευμεσογειακή ζώνη και στη κατωτέρη υποζώνη της παραμεσογειακής ζώνης βλαστήσεως.

Φύεται ως αειθαλής θάμνος ή μικρό δέντρο ύψους 2-5 μέτρα. Ο φλοιός του στην αρχή είναι λείος, ανοιχτοσταχτής και αργότερα σχηματίζεται σταχτοκάστανο ξηροφλοιό, όχι βαθιά σχισμένο. Τα φύλλα του είναι κατ' εναλλαγή, ωοειδή ως επιμηκή, σκληρά, δερματώδη με μήκος 1,5 - 4 cm και πλάτους 0,5 - 2,5 cm. Έχει βάση στρογγυλεμένη ως καρδιόμορφη και η κορυφή του καταλήγει σε αγκάθι. Οι παρυφές είναι συνήθως κυματιστά κολπωτές και αγκαθωτά οδοντωτές ή λειόχειλες.



Εικόνα 3.3.2-1: Πουρνάρι - *Quercus coccifera* (A&B), Αγία Τριάδα.

Τα άνθη είναι μονογενή - φυτό μόνοικο. Οι αρσενικοί ίουλοι φύονται μοναχικοί στις άκρες των νεαρών κλαδίσκων, ενώ τα θηλυκά άνθη εμφανίζονται μονήρη ή σε ζεύγη στις μασχάλες των φύλλων. Οι καρποί (βαλανίδια) εμφανίζονται μοναχικοί ή κατά ζεύγη. Ο ποδίσκος έχει μήκος 8-12 mm, ενώ το κύπελλο έχει διάμετρο 1-3 cm και μήκος 1-2,5 cm, καλύπτοντας συνήθως πάπνω από το μισό του μήκους του βαλανιδιού, είναι άτριχο ή χνοώδες, καλυμμένο με χαλαρά πεπιεσμένα ή ισχυρά κυρτά προς τα έξω λέπια. Το κάρυο (βαλανίδι) έχει μήκους 1,5-3 cm και διάμετρο 0,8-1,5 cm και είναι χρώματος θαμπού καστανού. Το ενδοκάρπιο έχει πυκνό τρίχωμα. Η ωρίμανση γίνεται τον Οκτώβριο-Νοέμβριο του δεύτερου χρόνου μετά την άνθηση.

Φιλλυρέα πλατύφυλλη, κ. Φιλλύκι (*Phillyrea latifolia*)

Η φιλλυρέα είναι αειθαλής θάμνος ή καμιά φορά μικρό δέντρο ύψους 4-15 m, αναπτυσσόμενο σε ξηρά άγονα εδάφη, σε ηλιόλουστες, προστατευμένες από τους πολλούς δυνατούς παγετούς θέσεις. Συναντάται συνήθως στις παραμεσογειακές χώρες και στην Ελλάδα στην ευμεσογειακή ζώνη βλαστήσεως.

Τα φύλλα είναι δίμορφα , νεαρά ωσειδώς καρδιοειδή ή ωσειδώς λογχοειδή. Οι παρυφές είναι οδοντωτές ή πριονωτές στα πρώτα ή λειόχειλα ως λεπτά οδοντωτές στα δεύτερα. Τα άνθη είναι κιτρινοπράσινα, σε βραχυπόδικους βότρεις και η άνθηση γίνεται Μάρτιο - Μάιο. Ο καρπός είναι σφαιρική δρύπη, χρώματος γαλανόμαυρη με λιθώδη πυρήνα.



Εικόνα 3.3.2-2: Φιλλύκι - *Phyllirea latifolia* (A&B), Αγία Τριάδα.

Πιστάκια τερέβινθος, κ. Κοκορεβιθιά (*Pistacia terebinthus*)

Η πιστακιά είναι ξηροφυτικός φυλλοβόλος θάμνος που συναντάται στη ζώνη των αιφυλλών πλατυφύλλων ή και ψηλότερα ύψους 1-4 m. Η κοκορεβιθιά είναι ένα από τα δύο είδη του γένους *Pistacia* που ευδοκιμούν στην Ελλάδα, στην ευμεσογειακή ζώνη βλαστήσεως και στη θερμότερη περιοχή της παραμεσογειακής.

Τα φύλλα της είναι σύνθετα, πτερωτά, περιτόλληκτα, έμμισχα, με 2-5, σχεδόν άμισχα, ποικιλόμορφα φυλλάρια (ωσειδή μέχρι λογχοειδή οξυκόρυφα). Έχει άνθη που είναι σε μακρυές σύνθετες καστανωπές φόβες που σχηματίζονται πριν την έκπτυξη των φύλλων. Ο καρπός εμφανίζεται ως δρύπη αντίστροφα ωσειδή, μήκους 5-7 mm. Στην αρχή η δρύπη είναι μικρή λιθώδης κοκκινωπή και αργότερα καστανωπή που σχηματίζονται πριν την έκπτυξη των φύλλων.



Εικόνα 3.3.2-3: Πιστακιά - *Pistacia terebinthus* (A&B), Αγία Τριάδα.

Κίστος εριώδης, κ. Λαδανιά (*Cistus incanus*)

Η λαδανιά είναι χαμηλό θάμνος, συχνά αρωματικός, πάνω από 1 μέτρο ύψος, με πολύκλαδο βλαστό και παχιά, ρυτιδωδή φύλλα. Τα φύλλα του και οι τρυφεροί βλαστοί του εκκρίνουν την κομμεορητίνη που λέγεται αλάδανος. Τα φύλλα τους είναι συνήθως κυματοειδή, απλά αδιαίρετα, αντίθετα ή κατ' εναλλαγή με παράφυλλα, απλές τρίχες αστεροειδείς ή σε δέσμες. Αυτά παρουσιάζουν διαφορετικής μορφής φύλλα ανάλογα με την εποχή (εποχικός διμορφισμός). Μεγαλύτερη επιφάνεια φύλλων το χειμώνα - άνοιξη και μικρότερη το καλοκαίρι και το φθινόπωρο όπου υποτριπλασιάζεται (από 6 σε 2 mm). Ωστόσο, κατά την ξηρή περίοδο έχουμε απόρριψη των φύλλων από τα φυτά που φθάνει ακόμη και το 100%.

Η αναβλάστηση των φυτών παρατηρείται ένα μήνα μετά τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές. Το άνθος είναι εφήμερο και φαίνεται ότι το μπουμπούκι διεγείρεται από το πρωινό φως. Τα πέταλα ανοίγουν και στη συνέχεια μέχρι το επόμενο πρωί τα σέπαλα κλείνουν απορρίπτοντας τα πέταλα και σχηματίζεται μια 5-χωρη κάψα που περιέχει 80-130 σπέρματα. Τα άνθη έχουν 5 πέταλα ροδίνου ερυθρού χρώματος και 5 σέπαλα, πολλούς στημόνες με κίτρινα στίγματα πλούσια σε γύρη.

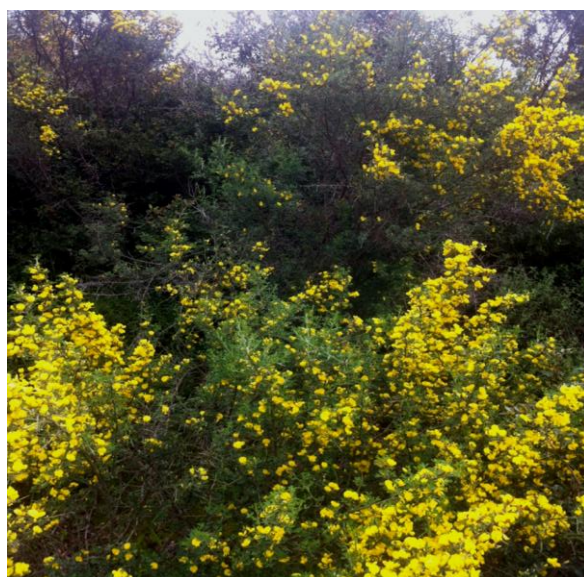
Όλα τα είδη της λαδανιάς (*Cistus*) χαρακτηρίζονται ως πυρόφυτα, λόγω της ιδιότητας τους να διεγείρεται το φύτρωμα των σπερμάτων τους και να αναβλαστάνουν αμέσως μετά την πυρκαγιά. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα σπέρματα τους καλύπτονται από μια αδιάβροχη μεμβράνη η οποία με την έκθεση τους σε υψηλές θερμοκρασίες της πυρκαγιάς, διαρρήγνυεται επιτρέποντας την απορρόφηση νερού και το φύτρωμα του σπόρου. Χωρίς τη φωτιά η καταστροφή της πιο πάνω μεμβράνης γίνεται με βραδύ ρυθμό με την επίδραση των μικροοργανισμών του εδάφους.



Εικόνα 3.3.2-4: Λαδανιά - *Cistus incanus*, Αγία Τριάδα.

Καλυκοτόμη λαχνώδης, κ. Ασπάλαθος (*Calycotome villosa*)

Ο ασπάλαθος είναι φυτό της μεσογειακής χλωρίδας που ανήκει στην οικογένεια των Χεδρώπων, στα ψυχανθή. Είναι ένας πολυετής αγκαθωτός θάμνος με ύψος μέχρι 1,5-2 m. Ανθίζει στις αρχές της άνοιξης και τα άνθη του έχουν έντονο κίτρινο χρώμα και χαρακτηριστική οσμή. Αναπτύσσονται σε δέσμες ή βότρες των 2-15 ανθών. Ο καρπός του είναι μικρός χεδρωπός και καλυμμένος γκριζόχρωμες τρίχες. Όταν οι βλαστοί ξεραθούν το καλοκαίρι μετατρέπονται σε σκληρά αγκάθια. Φύεται σε θαμνώνες σε ξηρές περιοχές με χαμηλό υψόμετρο.



Εικόνα 3.3.2-5: Ασπάλαθος - *Calycotome villosa*, Αγία Τριάδα.

3.3.3. Πανίδα

Όπως αναφέρθηκε, στην περιοχή που καίκε, η φυσική βλάστηση ήταν σε διαρκή υποχώρηση τα τελευταία χρόνια, λόγω της έντονης πίεσης από την οικιστική επέκταση αλλά και των επαναλαμβανόμενων παλαιότερων πυρκαγιών. Ακολουθώντας την πορεία της βλάστησης, η σχετική αφθονία των σπονδυλόζων έχει μεταβληθεί τα τελευταία 20 χρόνια παράλληλα με τις αλλαγές στη διαθέσιμη τροφή και τα καταφύγια, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται σχετικά υποβαθμισμένη.

Ωστόσο, η αρνητική αυτή εικόνα δεν σημαίνει ότι έχει χαθεί η οικολογικά σημασία και η λειτουργικότητα των περιοχών αυτών, καθώς εξακολουθούσαν ως ενα βαθμό να διατηρούν μια ενδιαφέρουσα πανίδα.

Από θηλαστικά στην περιοχή έχουν καταγραφεί αλεπούδες, ασβόι, κουνάβια, λαγοί, σκαντζόχοιροι και διάφορα μικροθηλαστικά (μαυροποντικοί, μυγάλες, ποντικοί), ενώ σε ό,τι αφορά στα πουλιά της ευρύτερης περιοχής, έχουν αναφερθεί ή παρατηρηθεί τα σχετικά πρόσφατα χρόνια περίπου 80 είδη. Ανάμεσα σε αυτά, ασπροκωλίνες, μαυρολαίμηδες, μαυροτσιροβάκους, κοκκινοτσιροβάκους, κατσουλιέρηδες, διάφορες σπίζες, καλόγερους, καμποδετροβάτες, κ.ά. Επίσης χουχουριστές, γερακίνες και βραχοκιρκίνεζα, καθώς και γιδοβύζια (είδος που περιλαμβάνεται στο παράρτημα I της κοινοτικής οδηγίας 79/409/ΕΟΚ για τα άγρια πουλιά).

Όσον αφορά στα ερπετά, υπάρχουν 2 είδη χερσαίων χελωνών (η μεσογειακή χελώνα *Testudo hermanni*, η οποία μάλιστα θεωρείται είδος τρωτό, και η κρασπεδοχελώνα *Testudo marginata*), νεροχελώνες και σε αραιούς πληθυσμούς φίδια (δενδρογαλιές, σαΐτες, λαφιάτες και σπιτόφιδα) καθώς και σαύρες (π.χ. λιακόνια, τριανόσαυρες, μολυντήρια, αλλά και σιλιβούτια και σαμιαμίδια πιο κοντά στα παράλια). Από αμφίβια, σημειώνεται η παρουσία βαλκανοβατράχων κοντά στην λίμνη του Μαραθώνα, αλλά και πρασινόφρωνων, δενδροβάτραχων και γραικοβάτραχων. Να σημειωθεί ότι τα περισσότερα από τα παραπάνω είδη αμφιβίων και ερπετών προστατεύονται είτε από την εθνική νομοθεσία ή από το παράρτημα II της διεθνούς Σύμβασης της Βέρνης του 1979 «για την προστασία της άγριας πανίδας και των φυσικών οικοτόπων».

3.4. Χρονικό Πυρκαγιάς

Η αύξηση των μεταβατικών περιοχών από δασικές σε αστικές περιοχές, η οποία είναι ιδιαίτερα έντονη κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες στην Ανατολική Αττική, έχει ως αποτέλεσμα οι πυρκαγιές να γίνονται πιο καταστροφικές. Σημαντικές πυρκαγιές έπληξαν την ευρύτερη περιοχή το 2005 και το 2009, με αποτέλεσμα μεγάλη δασική έκταση της περιοχής να καεί:

3.4.1. Πυρκαγιά Ιουλίου 2005

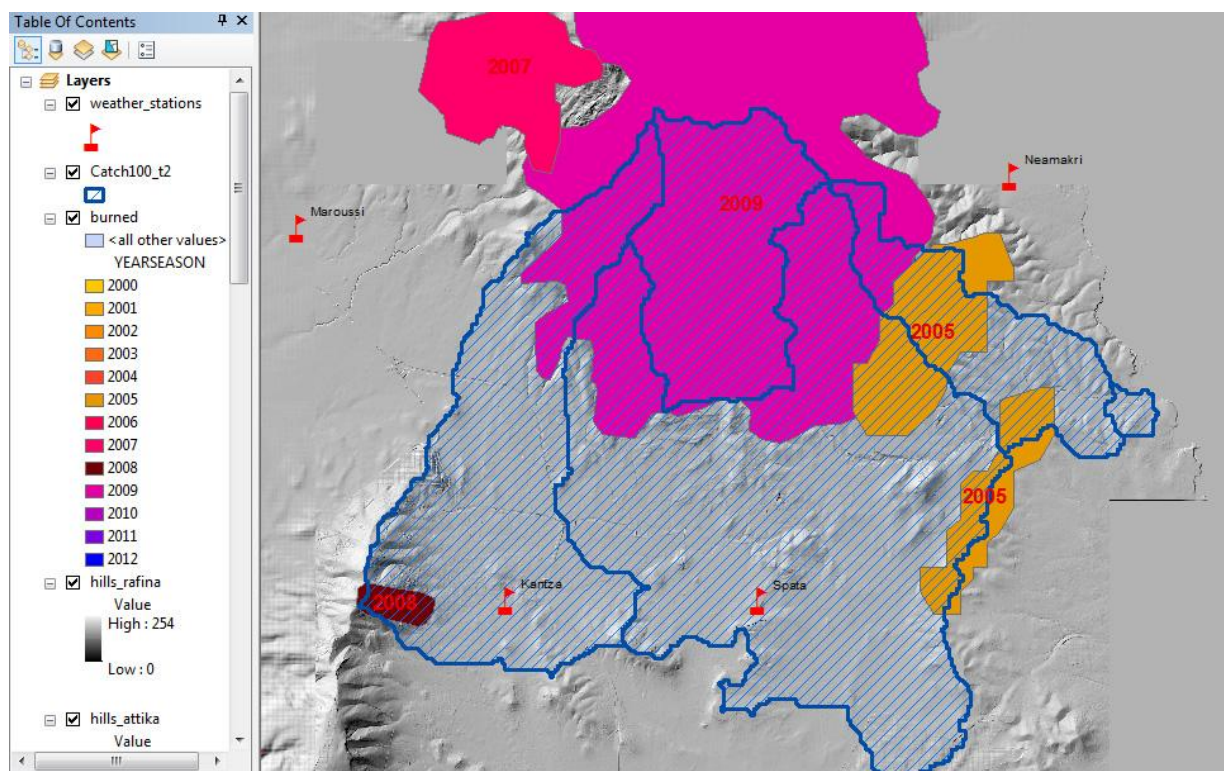
Ιδιαίτερα εντυπωσιακή ήταν η εκδήλωση δύο πυρκαγιών με διαφορά δύο περίπου ωρών στην περιοχή της Ραφήνας Αττικής, στις 28 Ιουλίου 2005. Οι δύο πυρκαγιές

εξελίχθηκαν παράλληλα, καίγοντας συνολικά 1.063 εκτάρια, αλλά είχαν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα ως προς τις καταστροφές κατοικιών που προξένησαν.

- Η πρώτη ξέσπασε στα Σκουφέικα, μια δασική κατοικημένη περιοχή στη δυτική Ραφήνα. Οι οικισμοί Σκουφέικα, Αγία Τριάδα και Αγία Κυριακή επλήγησαν, όπου υπήρχαν απλές κατοικίες, πολλές κτισμένες με εύφλεκτα υλικά, κατέστρεψε περισσότερες από 150.
- Η δεύτερη ξεκίνησε από τον οικισμό Νέου Βουτζά και επεκτάθηκε ως την Καλλιτεχνούπολη, όπου η πλειοψηφία των κατοικιών είναι πολύ υψηλών προδιαγραφών, έκαψε ή προξένησε σοβαρές ζημιές σε ένα πολύ μικρό αριθμό από αυτές.

3.4.2. Πυρκαγιά Αυγούστου 2009

Η φωτιά ξεκίνησε από το Γραμματικό και γρήγορα επεκτάθηκε στα βουνά της Ανατολικής Αττικής, με αποτέλεσμα να προκληθούν ζημιές σε 15 δήμους και κοινότητες, να καταστραφούν 60 σπίτια και να πληγούν άλλα 150.

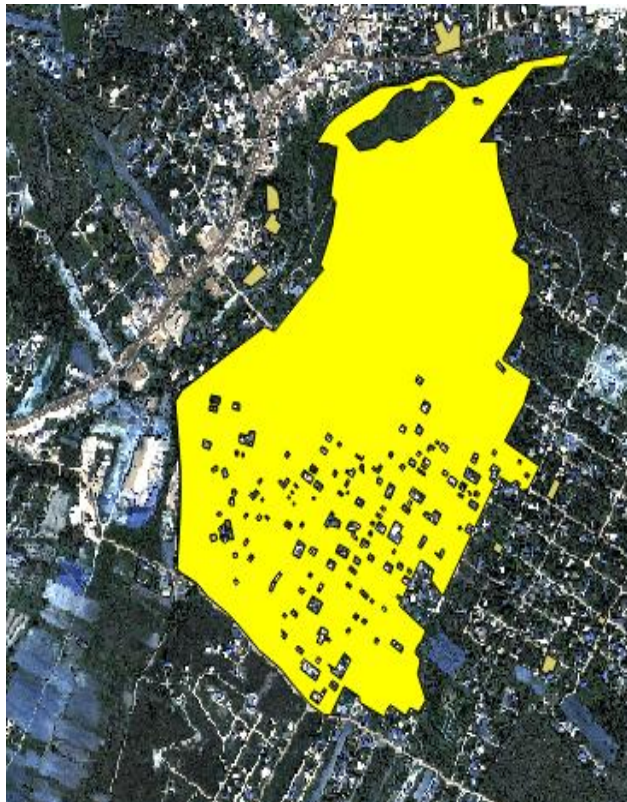


Εικόνα 3.4.2-1: Πυρκαγιές περιόδου 2000 – 2012 (Πηγή: www.flire.eu).

4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1. Συλλογή διαχρονικών γεωχωρικών δεδομένων

Αρχικά δόθηκαν από το Δασαρχείο Πεντέλης αρχείο με τις εκτάσεις που έχουν κυρηχθεί αναδασωτέες μετά την πυρκαγιά του 2005. Στην παρακάτω Εικόνα 4.1-1 απεικονίζεται η αναδασωτέα έκταση που προκύπτει στην περιοχή μελέτης.



Feature	Value
-0	ANADASOTEES_DX06_from_dwg_200510
GIS_ID	1353
(Acti...	
View feature form	
(Deri...	
AREA	894266.30529499997
GIS_ID	1353
LABEL	AN
NOM...	05
PERI...	14830.39204860000
PRO...	2781/10-8-2005
X	498219.07400000002
Y	4206740.37100000028

Εικόνα 4.1 -1: Στοιχεία που δόθηκαν από το Δασαρχείο Πεντέλης σχετικά με την θέση Αγίας Τριάδας στην Ανατολική Αττική.

4.1.1. Δορυφορικά Τηλεπισκοπικά Δεδομένα

Για την διαχρονική παρατήρηση της περιοχής ήταν αναγκαία η λήψη δορυφορικών Τηλεπισκοπικών δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης. Συγκεκριμένα, από την εταιρεία Digital Globe (<https://www.digitalglobe.com/>) και TotalView (<http://www.totalview.gr/>) αποκτήθηκαν 5 δορυφορικές εικόνες για την κύρια περιοχή μελέτης.

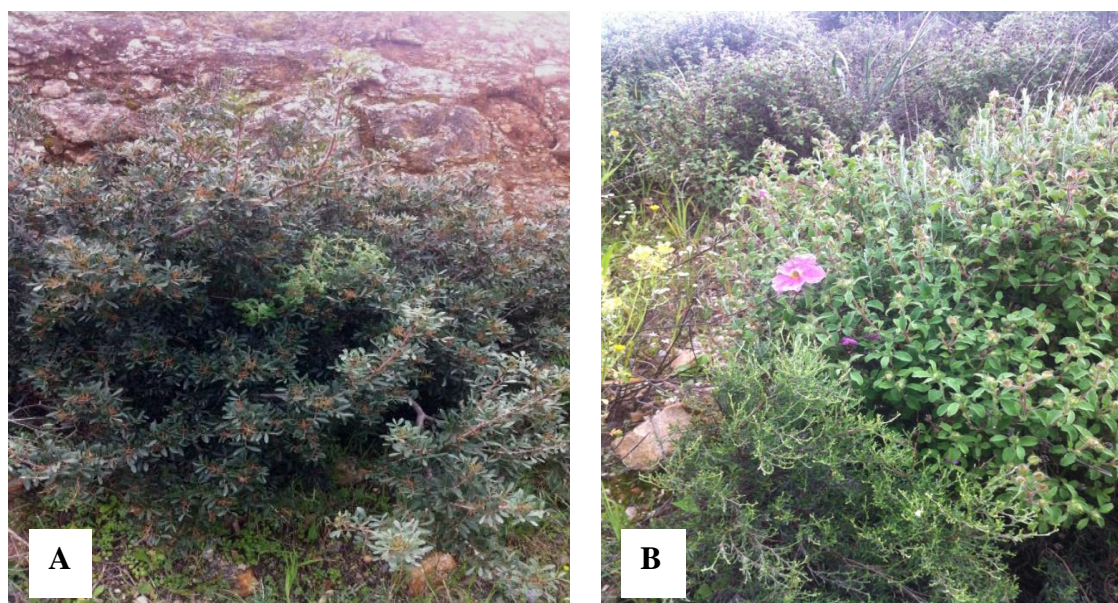
Τα αρχεία που λήφθηκαν από τις εταιρείες Digital Globe και TotalView είναι της μορφής TIFF.

Πίνακας 4.1.1-1: Τα στοιχεία των δορυφορικών εικόνων, που χρησιμοποιήθηκαν για την κύρια περιοχή μελέτης.

	Δορυφόροι	Ημερομηνία
1	Quickbird	28 Μαΐου 2006
2	Quickbird	10 Δεκεμβρίου 2007
3	Quickbird	17 Απριλίου 2009
4	WorldView 2	28 Απριλίου 2010
5	WorldView 2	23 Απριλίου 2011

4.1.2.Επιτόπια Έρευνα στην Περιοχή Μελέτης

Ο επίγειος έλεγχος προτιμήθηκε να γίνει στα μέσα της άνοιξης – αρχές Απριλίου 2015, περίοδο κατά την οποία η βλάστηση βρίσκεται στη φάση της πλήρους ανάπτυξης. Στο μεγαλύτερο τμήμα αυτής της έκτασης, κυριαρχούσε το αγρο-δασικό τοπίο χαλεπίου πεύκης με ελαιοκαλλιέργειες και σε πολύ μικρότερο βαθμό με άλλες καλλιέργειες.



Εικόνα 4.1.2-1: Έντονη αύξηση των αείφυλλων πλατύφυλλων στις θέσεις όπου υπήρχαν μεικτές συστάδες αείφυλλων πλατύφυλλων και χαλεπίου πεύκης (A&B).

Στις πλήρως καμένες εκτάσεις, τροποποιήθηκε δραστικά η δομή του τύπου οικοτόπου αφού εξαφανίσθηκε έστω και παροδικά το κυρίαρχο είδος. Μετά την αποκατάσταση της κυριαρχίας της χαλέπιου πεύκης, με την εξαίρεση των περιοχών όπου εντοπίζονται νησίδες και μεμονωμένα ζωντανά δέντρα, ο ανώροφος αναμένεται να είναι ομήλικος, κάτι που επίσης αποτελεί τροποποίηση της δομής του σε σχέση με αυτή που υπήρχε πριν, καθώς στην πλειονότητα του δάσους επικρατούσε η ακανόνιστη υποκηπευτή μορφή η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλη

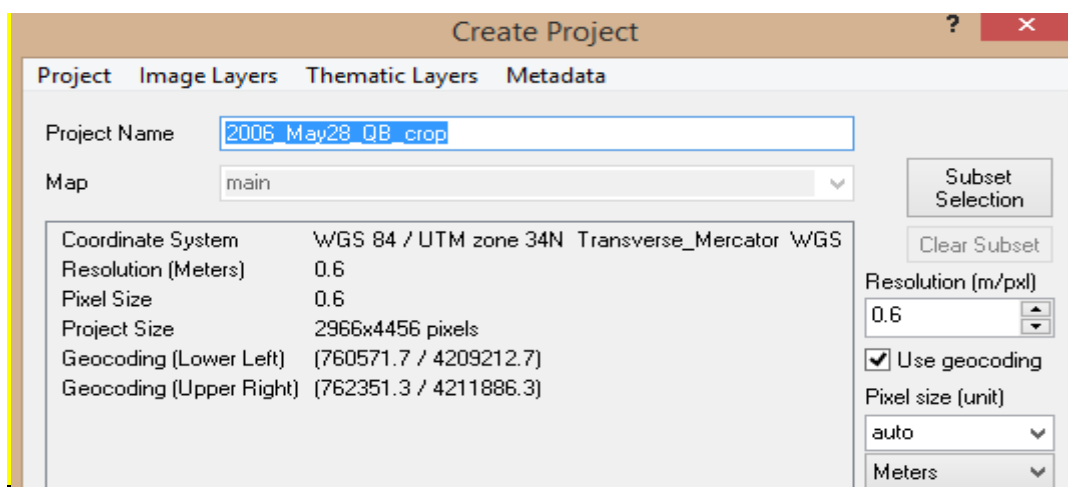
ετερογένεια ηλικιών και διαμέτρου δέντρων και ακανόνιστη κατανομή τους στο χώρο. Στις πλήρως καμένες εκτάσεις, δεν φαίνεται να αλλοιώθηκε η ποιοτική σύνθεση της παρεδαφιαίας βλάστησης, μεταβλήθηκε όμως η αναλογία των ειδών. Στις θέσεις που εντοπίζονται σε χαμηλότερα υψόμετρα εμφανίζεται κυριαρχία των αείφυλλων και φυλλοβόλων πλατύφυλλων της ανω-μεσογειακής ζώνης (*Pistacia terebinthus*, *Phillyrea latifolia* *Quercus coccifera*) (Εικόνες 4.1.2-1). Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση του είδους *Cistus incanus*, ενός κατ' εξοχή πυρόφιλου είδους στην κατώτερη υψομετρική ζώνη, δηλαδή στην υψηλότερη ζώνη των αείφυλλων πλατύφυλλων.

Η σοβαρότερη επίπτωση της πυρκαγιάς για τη χαλέπιο πεύκη φαίνεται πως είναι η δραματική μείωση της παρουσίας της στις νοτιότερες και χαμηλότερου υψόμετρου θέσεις της περιοχής. Σε αυτές επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες από ότι στο βόρειο και υψηλότερο υψομετρικά τμήμα της περιοχής και αβαθή εδάφη που δυσχεραίνουν την αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης, όπως και ο ανταγωνισμός από τα αείφυλλα πλατύφυλλα και αγρωστώδη, στα οποία ήδη παρατηρείται φυσική αναγέννηση.

4.2. Προεπεξεργασίες Τηλεπισκοπικών Δεδομένων

Η χρήση δορυφορικών εικόνων για την αποτύπωση των ορίων των δασικών πυρκαγιών και την αξιολόγηση της επίδρασής τους χρησιμοποιείται ευρύτατα (Καρτέρης κ.ά. 2001, Lutes κ.ά. 2006), καθώς δίνει σε μικρό χρόνο ακριβή αποτελέσματα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με εργασία πεδίου για την επιβεβαίωσή τους. Στην παρούσα εργασία έπειτα από πολλούς πειραματισμούς χρησιμοποιήθηκαν σε όλες τις εικόνες συγκεκριμένοι μέθοδοι επεξεργασίας με την παραλλαγή τιμών, ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε εικόνας.

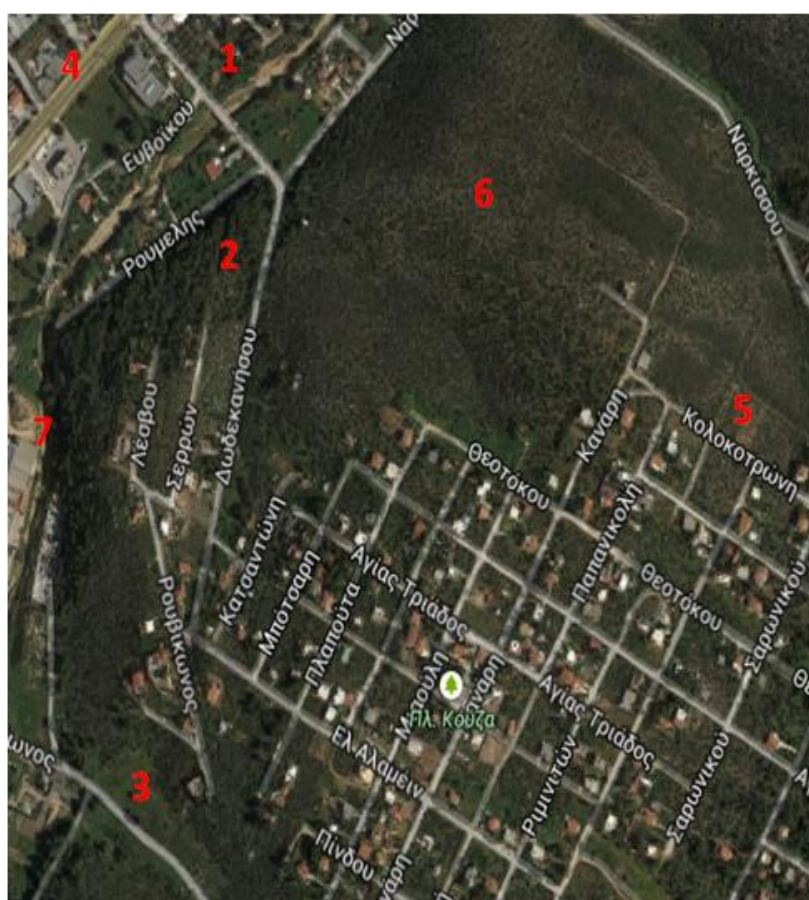
Για τις δορυφορικές εικόνες QB και WV2 χρησιμοποιήθηκε το σύστημα αναφοράς WGS84, UTM zone 34, επειδή το πρόγραμμα eCognition δεν αναγνωρίζει σωστά το ΕΓΣΑ'87 (Εικόνα 4.2-1).



Εικόνα 4.2-1: Εισαγωγή δορυφορικής εικόνας στο eCognition.

4.3.Φωτορμηνεία εικόνων – Κατηγορίες ταξινόμησης

Το πρώτο στάδιο πριν την επεξεργασία των εικόνων είναι η φωτορμηνεία τους και ο εντοπισμός χρήσεων γης. Έπειτα από την φωτοερμηνεία των εικόνων, την επιτόπια έρευνα της περιοχή και τις επίγειες φωτογραφίες υλοποιήθηκε οι κατηγορίες ταξινόμησης. Η περιοχή που καλύπτουν οι εικόνες είναι κυρίως δασική, έτσι μεγάλο ποσοστό καλύπτεται από δάσος. Οι φασματικές κλάσεις καθορίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτονται πλήρως οι κατηγορίες καλύψεων – χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης. Οι κατηγορίες καλύψεων – χρήσεων γης που ταξινομήθηκαν οι εικόνες για τον καθορισμό των training points που αντιστοιχούν στις κλάσεις που πήραν μέρος στην ταξινόμηση, ήταν οι εξής (Εικόνα 4.3-1):



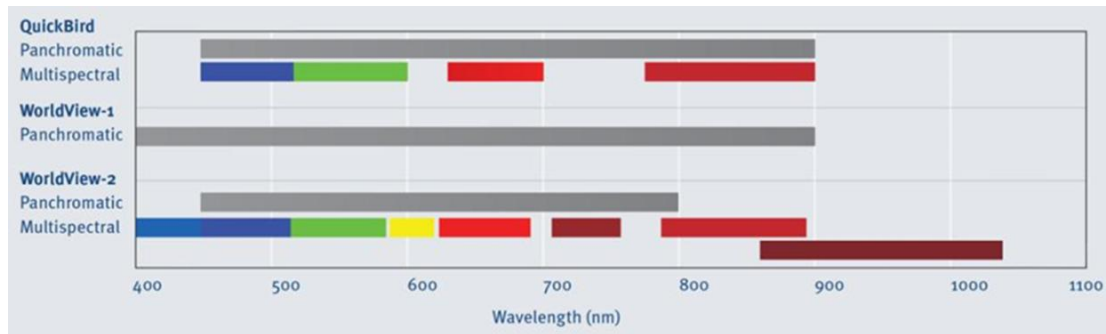
1. Καλλιέργειες
2. Δάσος
3. Θάμνοι
4. Τεχνητή επιφάνεια
5. Γυμνό έδαφος
6. Καμένη έκταση
7. Σκιά

Εικόνα 4.3-1: Οικισμός Αγίας Τριάδας.

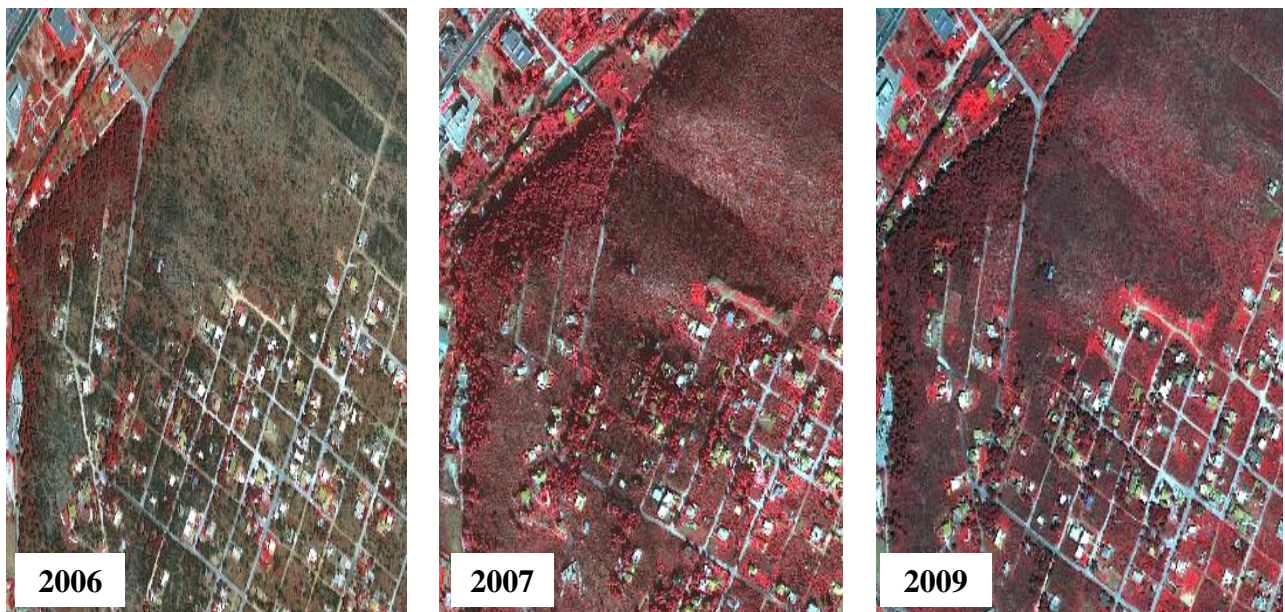
Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια επεξεργασία των εικόνων QB και WV προκειμένου να φτάσουν στην επιθυμητή μορφή. Για τη χρησιμοποίηση των δορυφορικών εικόνων QB (Εικόνα 4.3-3) επιλέχθηκαν τα κανάλια 4,3 και 2 (RGB) επειδή σε αυτά είναι πιο ευδιάκριτα τα χαρακτηριστικά της βλάστησης, λόγω της μεγαλύτερης ανάκλασης που παρουσιάζει στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα (κανάλι 4) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ίδια διαδικασία δεν χρησιμοποιήθηκε για τις εικόνες WV2 (Εικόνα 4.3-4).

Ο δορυφόρος WV2 ξεχωρίζει σε σχέση με τους άλλους καθώς είναι ο πρώτος δορυφόρος πολύ υψηλής ευκρίνειας με οχτώ πολύφασματικά κανάλια. Ο WV2 εκτός

από τα συνήθη τέσσερα κανάλια Μπλε (Blue), Πράσινο (Green), Κόκκινο (Red) και Εγγύς Υπέρυθρο (NIR) κατακερματίζει περισσότερο το φάσμα κα προσφέρει τέσσερα νέα κανάλια τα Παράκτιο Μπλε (Coastal Blue), το Κίτρινο (Yellow), το Οριακό Κόκκινο (Red-Edge) και δεύτερο εγγύς υπέρυθρο (NIR2), όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.3-2.



Εικόνα 4.3-2: Σύγκριση φασματικών καναλιών και μήκη κύματος για τους δορυφόρους QB, WV1 και WV2. Πηγή: <http://earthzine.org/2011/06/27/very-high-spatial-resolution-imagery-for-urban-applications/>



Εικόνα 4.3-3: Δορυφορικές εικόνες QB '06, '07, '09 με χρήση ψευδέγχρωμου συνδυασμού καναλιών RGB (432).

Για την χρησιμοποίηση των δορυφορικών εικόνων WV2 (Εικόνα 4.3-4) επιλέχθηκαν τα κανάλια 7,5, και 3 (RGB) επειδή σε αυτά διακρίνεται καλύτερα η λεπτομέρεια των χρήσεων γης και προσδιορίζεται μέγιστα η φυσική βλάστηση της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 4.3-4: Δορυφορικές εικόνες WV2 '10, '11 με χρήση ψευδέχρωμων καναλιών RGB (753).

Η καμένη έκταση εμφανίζεται με σκούρο γκρι και είναι ιδιαίτερα εμφανής ενώ για τις υπόλοιπες καλύψεις – χρήσεις γης διακρίνεται με σκούρο κόκκινο χρώμα η δασική βλάστηση, ενώ με ανοιχτό κόκκινο χρώμα η υπάρχουσα (αραιή ή χαμηλή) βλάστηση. Αντίστοιχα οι καλλιέργειες παρουσιάζονται με ανοιχτό πράσινο κυρίως χρώμα και το γυμνό έδαφος με σκούρο πράσινο. Οι δρόμοι και οι τεχνητές επιφάνειες (κτίρια, σπίτια) της περιοχής εμφανίζονται με ανοιχτό γαλάζιο χρώμα.

Η ανάλυση της φασματικής πληροφορίας με χρήση ψευδέχρωμου συνδυασμού καναλιών δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, αλλά χρησιμοποιήθηκε με σκοπό την καλύτερη φωτοερμηνεία των δορυφορικών εικόνων. Επομένως δίνεται η δυνατότητα ανάλογα με τον αντίστοιχο συνδυασμό τριών καναλιών, καλύτερη ανάδειξη και κατά συνέπεια ερμηνεία διαφορετικών χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας για εξαγωγή καλύτερων πληροφοριών.

Οι αναδασωτέες εκτάσεις μπορούν να παρακολουθούνται και να εξετάζονται σε μεγάλες επιφάνειες με ακρίβεια, χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες συνδυαζόμενες με τη χωρική ανάλυση που παρέχουν οι εφαρμογές των GIS. Οι μέθοδοι επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιούνται είναι η κατάτμηση της εικόνας, ο δείκτης βλάστησης και η ταξινόμηση σε εδαφικές κατηγορίες.

Η αποτύπωση της έκτασης που κάηκε και η εκτίμηση του βαθμού της φυσικής αναγέννησης έγινε με τη βοήθεια μέσω τηλεπισκόπησης και εργασίας πεδίου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα σε σχετικές μελέτες και ο τροποποιημένος δείκτης του εδάφους προσαρμοσμένης βλάστησης (Modified Soil

Adjusted Vegetation Index - MSAVI) που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό πυκνής, αραιής ή καθόλου βλάστησης περιοχές.

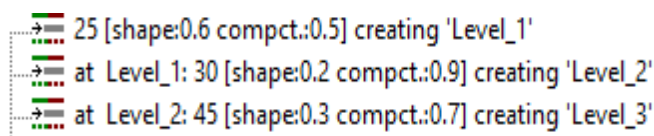
4.4. Κατάτμηση εικόνων

Αρχικά για την εφαρμογή αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης μιας τηλεπισκοπικής εικόνας είναι η διαδικασία της κατάτμησης. Με τον όρο κατάτμηση εικόνας (Image Segmentation) ονομάζουμε τη διαδικασία διαχωρισμού της εικόνας σε ομοιογενείς περιοχές. Η κατάτμηση έχει ως στόχο να υποδιαιρέσει την εικόνα σε συνιστώσες περιοχές και αντικείμενα. Μια περιοχή αναμένεται να έχει ομοιογενή χαρακτηριστικά όπως ένταση, υφή κ.α.

Η κατάτμηση της εικόνας μειώνει τη λεπτομέρειά της, την πολυπλοκότητά της κι έτσι γίνεται πιο εύκολη η διαχείριση των πληροφοριών της. Τα αντικείμενα που προκύπτουν από την κατάτμηση έχουν σημασία όταν σε αυτά υπάρχει επιπλέον πληροφορία πέρα από τη φασματική τους υπογραφή. Δεν έχουν φυσική σημασία στον πραγματικό κόσμο, έχουν μόνο στο επίπεδο της εικόνας. Τα αντικείμενα αυτά μπορούν να πάρουν διάφορες ονομασίες. Συνήθως, ονομάζονται βάσει των φασματικών τους χαρακτηριστικών, ή βάσει των χωρικών τους σχέσεων σε περίπτωση σύνθετων ομάδων όπου θα αποτελέσουν τη «μητρική-κατηγορία». Τα αντικείμενα της κατάτμησης μπορούν να χαρακτηριστούν από πολύ περισσότερες ιδιότητες απ' ότι απλά φασματικές ή παράγωγες φασματικών.

Η επιλογή των κατάλληλων επιπέδων κατάτμησης για την εκάστοτε εφαρμογή γίνεται φωτοερμηνευτικά με επαναληπτικές διαδικασίες (εμπειρικά) έως ότου προκύψουν αντικείμενα που θεωρούνται ικανοποιητικά για το σκοπό της. Ένας γενικός κανόνας για την επιλογή της καταλληλότερης κατάτμησης είναι ότι επιδιώκονται τα μεγαλύτερα αντικείμενα τα οποία ωστόσο αποδίδουν όλες τις λεπτομέρειες που επιβάλλεται να αποδοθούν στον τελικό χάρτη της ταξινόμησης.

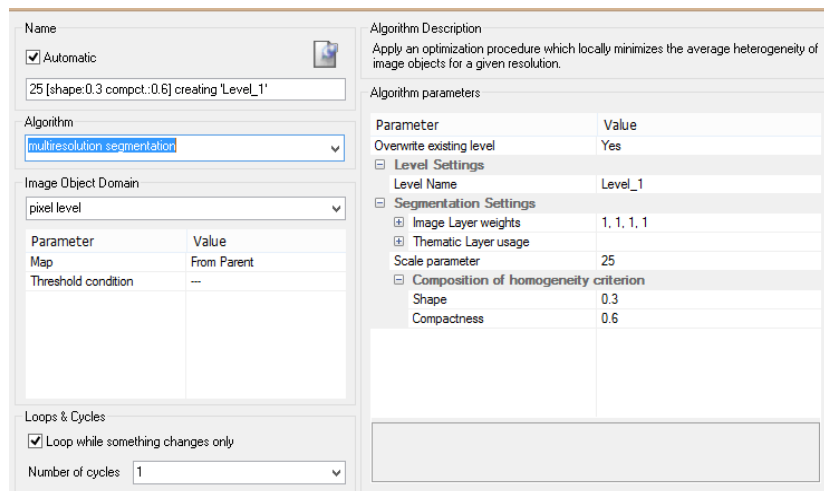
Στην παρούσα εργασία η κατάτμηση έγινε έπειτα από διαδοχικές δοκιμές, ώστε να προκύψει σαφής διαχωρισμός των ειδών βλάστησης και γενικότερα της φυσικής βλάστησης από τις υπόλοιπες χρήσεις γης της περιοχής μελέτης. Για την δημιουργία των επιπέδων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος της κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης «Multiresolution Segmentation» που έχει την δυνατότητα να παράγει ομοιογενή αντικείμενα σε διαφορετικές κλίμακες. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης είναι raster - εικόνα. Στη συνέχεια καθορίστηκαν τρία επίπεδα κατάτμησης με δοκιμές τόσο στην κλίμακα της κατάτμησης όσο και στη συμμετοχή του χρώματος και του σχήματος σε κάθε μια εικόνα (Εικόνα 4.4-1).



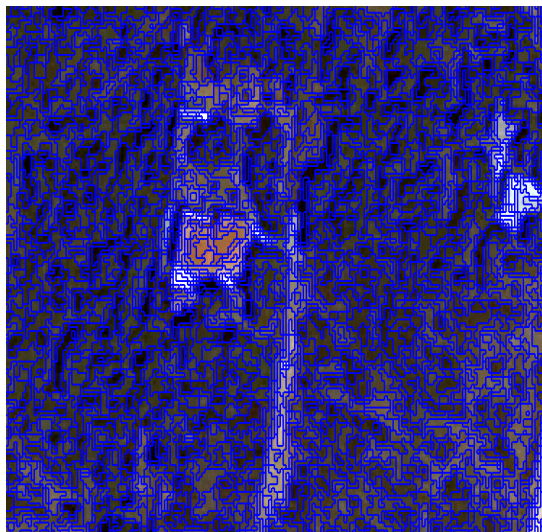
Εικόνα 4.4-1: Δημιουργία επιπέδων κατάτμησης και οι παράμετροι του αλγορίθμου.

4.4.1. Κατάτμηση 1^{ου} επιπέδου

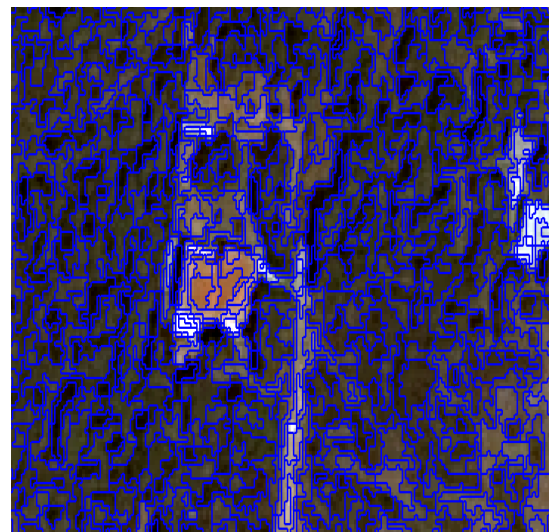
Το κατώτερο επίπεδο κατάτμησης Level_1, στο οποίο παράχθηκε το αποτέλεσμα της ταξινόμησης δημιουργούνται τα μικρότερα αντικείμενα για τον εντοπισμό λεπτομερών χαρακτηριστικών της εικόνας. Στόχος είναι να παραχθεί το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης. Συγκεκριμένα, είναι η δημιουργία μικρών αντικειμένων, στα οποία προσδιορίζονται τα είδη ξυλώδους βλάστησης που επικρατούν στην περιοχή. Στο σχηματισμό του πρώτου επιπέδου συμμετείχαν εξίσου όλα τα φασματικά κανάλια των εικόνων QB και WV2. Έπειτα από πολλές δοκιμές (Εικόνα 4.4.1-2), το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης, σχηματίστηκε με παράμετρο κλίμακας ίση με 25, ενώ το κριτήριο της ομοιογένειας πήρε τιμές Shape = 0,5 εκ και Compactness = 0,6 (Εικόνα 4.4.1-1).



Εικόνα 4.4.1-1: Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης στο Level_1 για τις εικόνες QB και WV2.



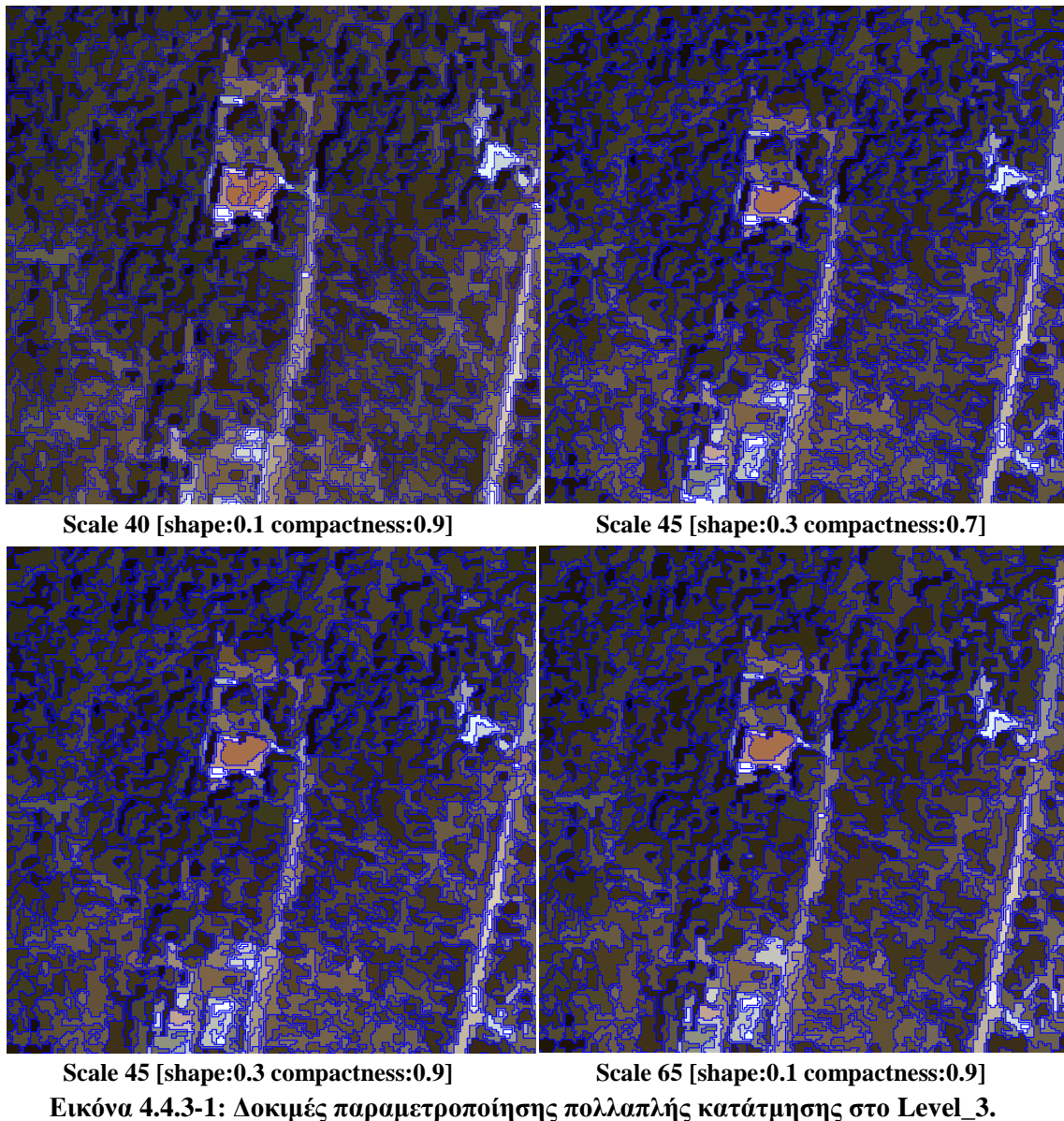
Scale 15 [shape:0.3 compactness:0.5]



Scale 25 [shape:0.3 compactness:0.6]

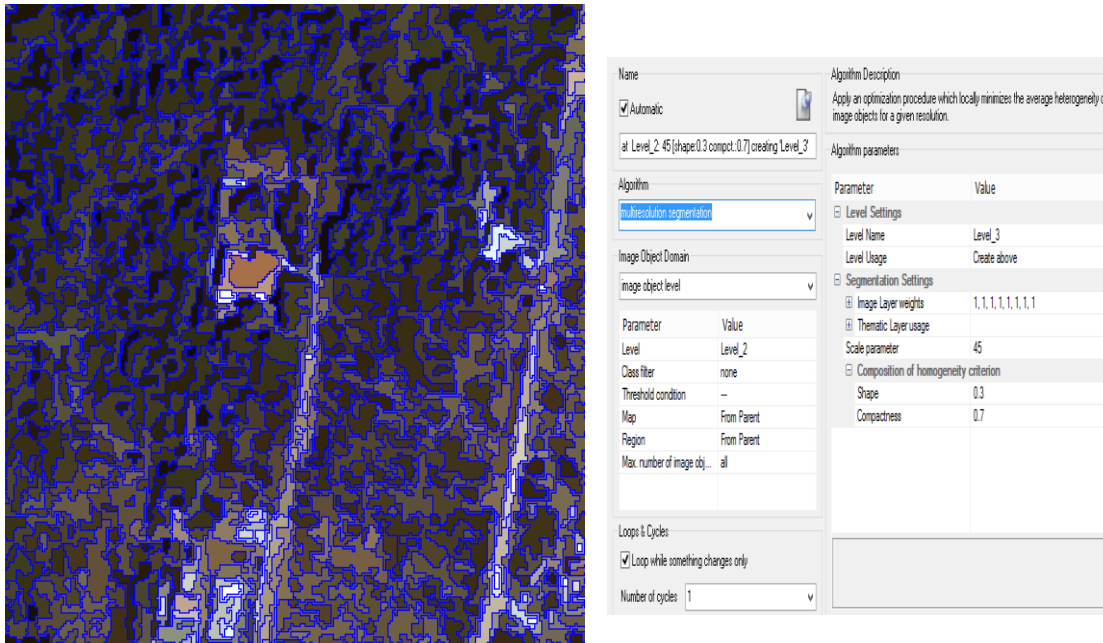
Εικόνα 4.4.1-2: Δοκιμές παραμετροποίησης πολλαπλής κατάτμησης στο Level_1.

Όπως και στα προηγούμενα επίπεδα έγιναν δοκιμές στις τιμές των περιορισμών, για την επιλογή καλύτερης ευκρινής κατάτμησης (Εικόνα 4.4.3-1).



Εικόνα 4.4.3-1: Δοκιμές παραμετροποίησης πολλαπλής κατάτμησης στο Level_3.

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν πάνω από το δεύτερο επίπεδο κατάτμησης με την εντολή «Create above». Στην προκειμένη μελέτη επιλέγεται η κατάτμηση με κλίμακα 45, διότι στόχος στο Level_3 είναι να δημιουργηθούν αντικείμενα τα οποία να ταξινομούν μετέπειτα τις κατηγορίες της βλάστησης. Για την επίτευξη του στόχου τέθηκαν οι κατάλληλοι συντελεστές σε σχήμα και όρια των αντικειμένων, ώστε να διαχωρίζονται βέλτιστα τα αντικείμενα της ταξινόμησης. Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης, σχηματίστηκε με παράμετρο κλίμακας ίση με 45, ενώ το κριτήριο της ομοιογένειας πήρε τιμές Shape = 0,3 εκ και Compactness = 0,7 (Εικόνα 4.4.3-2).



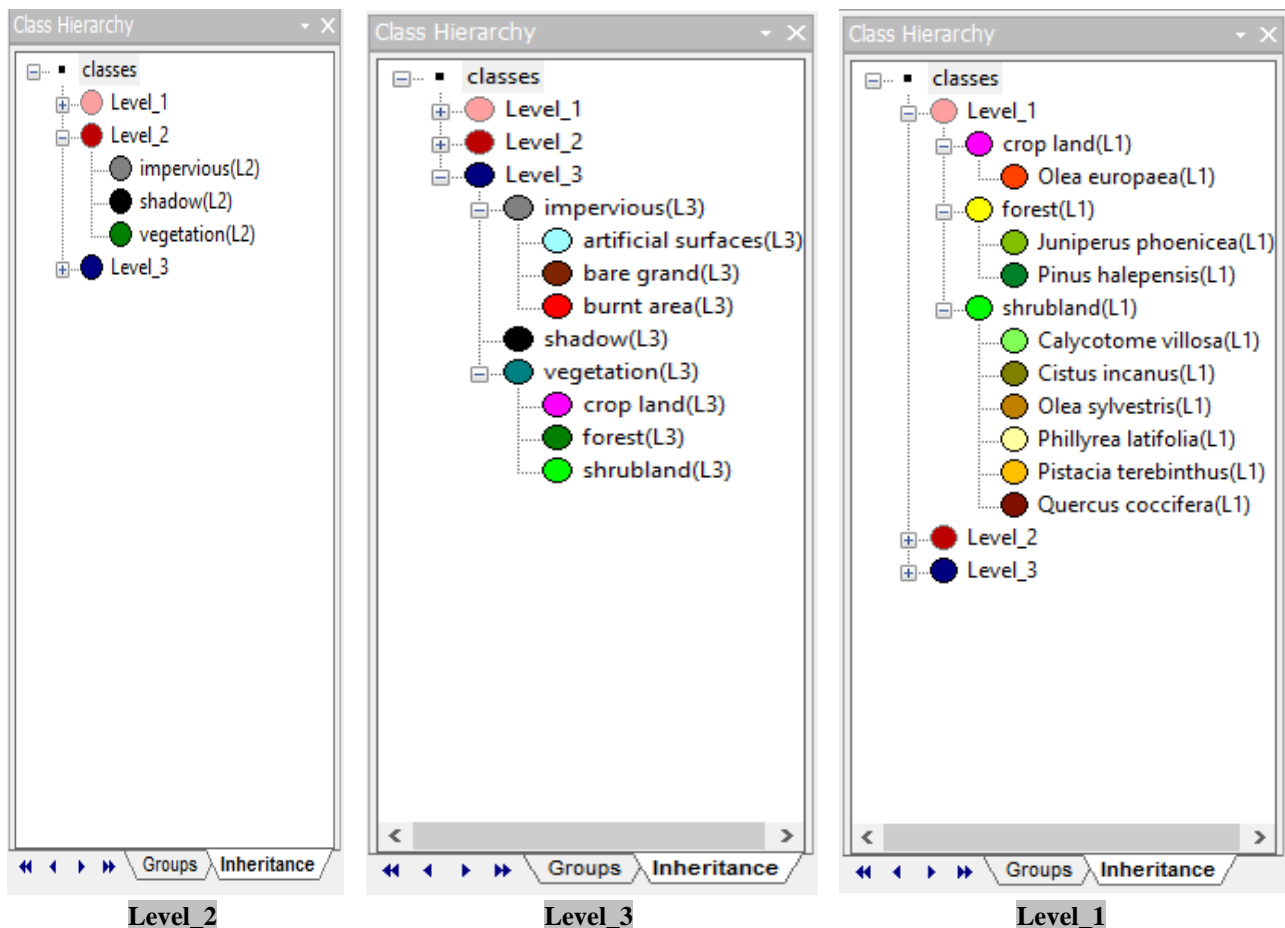
Εικόνα 4.4.3-2: Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης στο επίπεδο Level_3.

4.5.Ιεραρχία τάξεων

Καθώς ολοκληρώνεται η κατάτμηση και τα επίπεδα ταξινόμησης, έπειτα ορίζεται η δημιουργία της ιεραρχίας τάξεων (Class Hierarchy). Η ιεραρχία τάξεων περιέχει όλες τις κατηγορίες προς ταξινόμηση σε μια ιεραρχικά δομημένη μορφή. Οι σχέσεις που ορίζονται σε αυτήν έχουν διπλή σημασία, η μία αφορά την κληροδοσία χαρακτηριστικών από τη μητρική κατηγορία στις θυγατρικές και η άλλη τις εννοιολογικές ομάδες στις οποίες ανήκει η κάθε κατηγορία. Οι σχέσεις αυτές περιγράφονται στα πεδία Κληρονομιά (Inheritance) και Ομάδες (Groups) αντίστοιχα.

Χρήσιμες πληροφορίες για την ιεραρχία των τάξεων, καθώς και για τις ταξινομήσεις αντικειμενοστραφούς ανάλυσης μελετήθηκαν από την διπλωματική εργασία της **Καρακίζη Χ. (2013), Αμπελοργία Ακριβείας: Εντοπισμός αμπελοτεμαχίων και Διαχωρισμός ποικιλιών αμπέλου με Τηλεπισκοπικές μεθόδους**. Στην εργασία αυτή αξιοποιήθηκαν πολυφασματικά δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης (WorldView-2) σε συνδυασμό με ταυτόχρονες μετρήσεις στο πεδίο με απώτερο στόχο την ανάπτυξη μεθοδολογίας για τον εντοπισμό αμπελοτεμαχίων και το διαχωρισμό ποικιλιών αμπέλου, μέσω ταξινομήσεων.

Στη παρούσα εργασία (Εικόνα 4.5-1) χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά η ιεραρχία κληροδότησης, που είναι μηχανισμός με τον οποίο μεταφέρονται ιδιότητες μέσω μια ιεραρχίας από κατηγορίες γονείς σε κατηγορίες παιδιά (ή αλλιώς υποκατηγορίες). Η διαδικασία της ιεραρχίας τάξεων δημιουργήθηκε με τον ίδιο τρόπο εξίσου και στις 5 δορυφορικές εικόνες.



Εικόνα 4.5-1: Περιγραφή της Ιεραρχίας Τάξεων στο πεδίο «Κληρονομιά» (Inheritance), στο λογισμικό eCognition.

Πρώτο βήμα για την δομή της ιεραρχίας τάξεων ήταν η δημιουργία του επιπέδου Level_2, όπου έγινε ο διαχωρισμός σε αντικείμενα που απεικονίζουν βλάστηση (Vegetation), σε αντικείμενα που απεικονίζουν αδιαπέρατη επιφάνεια (Impervious) και σε αυτά που έχουν σκιά (Shadow). Στο Level_3 έγινε διαχωρισμός στις κατηγορίες του Level_2. Συγκεκριμένα, οι κατηγορίες που συμπεριλαμβάνονται σε αυτό το επίπεδο αποτελούν γενίκευση των κατηγοριών του δεύτερου επιπέδου. Οι κατηγορίες, οι οποίες δημιουργούνται σε αυτό το επίπεδο, είναι η τεχνητή επιφάνεια (Artificial surfaces), η γυμνή επιφάνεια (Bare land) και η καμένη έκταση (Burnt area), οι οποίες αποτελούν γενίκευση των αδιαπέρατων υλικών, η σκιά (Shadow) η οποία κληρονομεί τα χαρακτηριστικά από την κατηγορία του δεύτερου επιπέδου, οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις (Crop land), το δάσος (Forest) και οι θαμνώδεις εκτάσεις (Shrubland), οι οποίες αποτελούν γενίκευση της κατηγορίας βλάστησης.

Τέλος, στο επίπεδο Level_1 σχηματίζονται αντικείμενα με την μικρότερη κλίμακα, στα οποία παρέχεται η δυνατότητα εξαγωγής λεπτομερών χαρακτηριστικών, ανάλογα με την ανάλυση της εικόνας. Οι κατηγορίες σε αυτό το επίπεδο εκφράζουν το βαθύτερο επίπεδο ταξινόμησης, δηλαδή τα κύρια είδη βλάστησης τα οποία επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Οι κλάσεις, οι οποίες ταξινομήθηκαν στο Level_1, είναι: η Ελιά (*Olea europaea*), το Αγριοκυπάρισσο (*Juniperus phoenicea*), η

Χαλέπιος πεύκη (*Pinus halepensis*), το Πουρνάρι (*Quercus coccifera*), η Αγριελιά (*Olea sylvestris*), η Λαδανιά (*Cistus incanus*), το Φιλλύκι (*Phyllirea latifolia*), ο Ασπάλαθος (*Calycotome villosa*), η Πιστακιά (*Pistacia terebinthus*). Οι κατηγορίες αυτές αποτελούν υποκατηγορίες των καλλιεργειών, του δάσους και των θαμνότοπων, οι οποίες δημιουργήθηκαν στο Level_3 και κληρονομούν τα χαρακτηριστικά τους. Οι λατινικοί χαρακτήρες χρησιμοποιήθηκαν για τη χρήση τους στο λογισμικό.

4.6. Ταξινόμηση διαχρονικών εικόνων

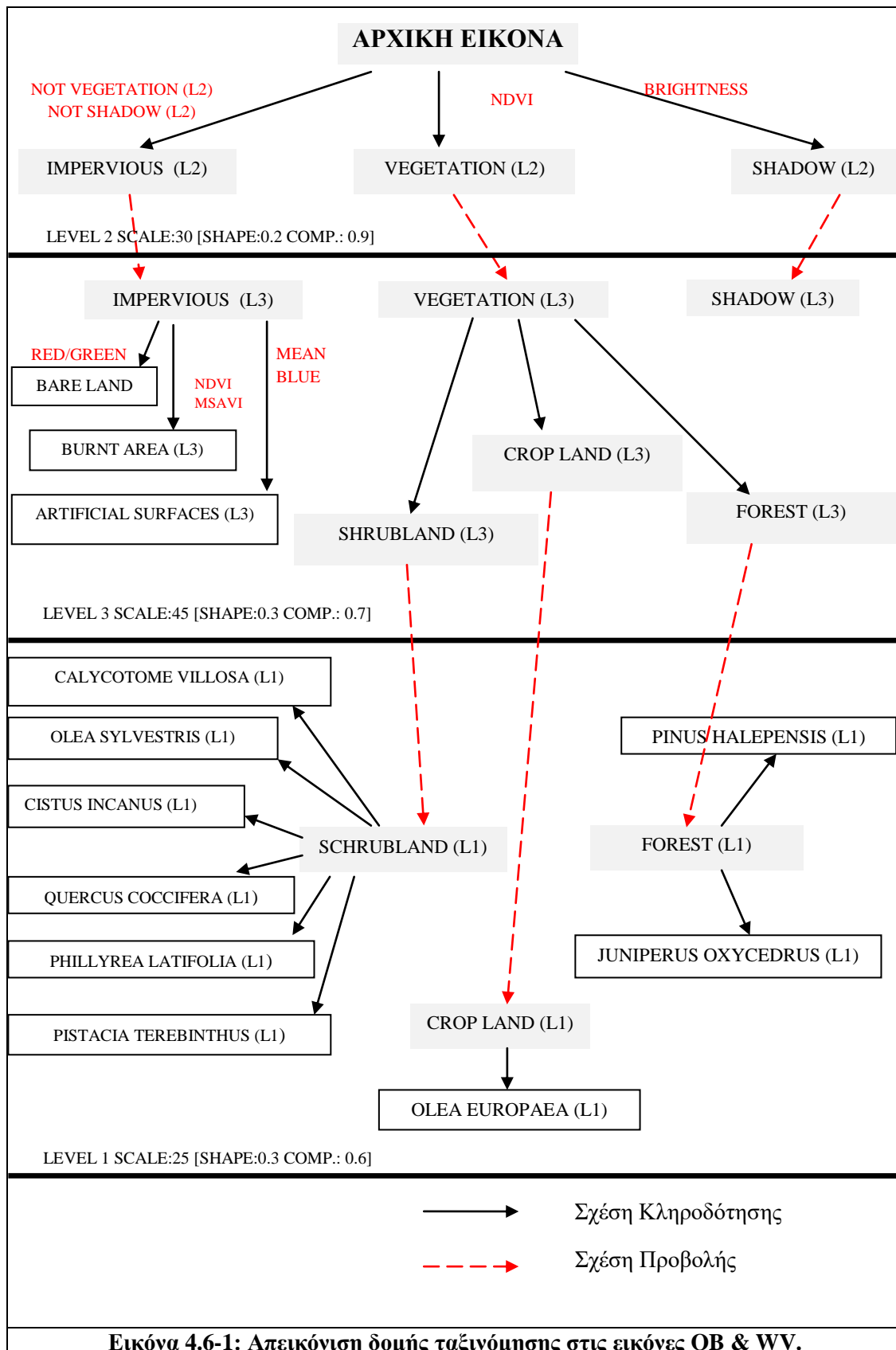
Στο στάδιο της ταξινόμησης που ακολουθεί αναθέτονται τα αντικείμενα σε κατηγορίες και έτσι αρχίζουν οι εικόνες να αποκτούν μια εννοιολογική διάσταση. Η ταξινόμηση της εικόνας σε κατηγορίες είναι πολύ σημαντική καθώς πάνω σε αυτήν θα στηριχθεί όλη η διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών. Η ακρίβεια της θα επηρεάσει και την τελική ακρίβεια της εργασίας οπότε θα πρέπει να δοθεί μέγιστη βαρύτητα στην επιλογή των παραμέτρων της, των κατηγοριών και φυσικά τους κανόνες οι οποίοι θα δημιουργήσουν και την βάση γνώσης.

Αρχικά εφαρμόστηκε η ταξινόμηση στο δεύτερο επίπεδο (Level_2) για να εμφανιστούν οι πρωτογενείς χρήσεις γης. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν οι ταξινομήσεις στο τρίτο επίπεδο (Level_3), οι οποίες εξειδικεύουν τις κατηγορίες του δεύτερου επιπέδου., ουσιαστικά καθορίζουν τις περιοχές ενδιαφέροντος. Τέλος, διαμορφώθηκαν οι ταξινομήσεις του χαμηλότερου επιπέδου (Level_1) ώσπου να δημιουργηθεί το τελικό αποτέλεσμα της εδαφοκάλυψης. Η διαδικασία της ταξινόμησης ακολούθησε τη ροή της κατάτμησης. Στις ταξινομήσεις του τρίτου και πρώτου επιπέδου ορίστηκαν όλες οι θυγατρικές κατηγορίες των αρχικών του δεύτερου επιπέδου.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην ταξινόμηση ακολουθήθηκε μία συγκεκριμένη διαδικασία μεταφοράς των μητρικών κατηγοριών από τα κατώτερα στα ανώτερα επίπεδα. Αυτό σημαίνει πως για να εφαρμοστεί η ταξινόμηση π.χ. του τρίτου επιπέδου πρώτα εφαρμόζεται σε αυτό η ταξινόμηση όπως ακριβώς έγινε στο κατώτερο της, δηλαδή στο δεύτερο. Αυτό συμβαίνει γιατί ο αλγόριθμος «Classification» απαιτεί ένα πεδίο εφαρμογής το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται να είναι η προηγούμενη ταξινόμηση με σκοπό όλα τα χαρακτηριστικά και οι περιγραφές των κατηγοριών να κληροδοτούνται στις θυγατρικές κατηγορίες με ιεραρχική σειρά και να μην ξεκινούν οι ταξινομήσεις του εκάστοτε επιπέδου από μηδενική βάση.

Κατά την ταξινόμηση των εικόνων Quickbird χρησιμοποιήθηκαν περίπου οι ίδιοι κανόνες εντοπισμού των κλάσεων ταξινόμησης, με μικρές διαφορές στα διαστήματα ασάφειας. Η ύπαρξη επιπλέον φασματικών καναλιών στις εικόνες Worldview 2, οδήγησε στην χρησιμοποίηση αυτών, ώστε να εξεταστεί η αποτελεσματικότητά τους και η προσφορά τους στην ταξινόμηση των τύπων βλάστησης για τη σύγκριση με επίσης υψηλής δεδομένα Quickbird. Επίσης, στις εικόνες WV2 τα περισσότερα

φασματικά κανάλια προσέδωσαν μεγαλύτερη ποικιλία εντοπισμού φασματικών χαρακτηριστικών για την αναγνώρισης μιας χρήσης γης.



Με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων συνδυασμών κανόνων για κάθε κατηγορία και την χρησιμοποίηση δειγμάτων εκπαίδευσης πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των τύπων βλάστησης, οι οποίοι επικρατούν στην περιοχή.

Η Εικόνα 4.6-1 παρουσιάζει το διάγραμμα ροής της ταξινόμησης διακρίνοντας τα χαρακτηριστικά των χρήσεων γης και προσδιορίζοντας τη φυσική βλάστηση της περιοχής μελέτης. Έπειτα από πολλές δοκιμές διάφορων χαρακτηριστικών, τα οποία προσδιορίστηκαν είτε από υπάρχουσες μελέτες, είτε από προσωπική έρευνα, επιλέχθηκαν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για την ταξινόμηση. Η δομή της ιεραρχίας τάξεων, οι κανόνες παραγωγής που χαρακτηρίζουν κάθε κατηγορία, καθώς και οι σχέσεις μεταξύ των κατηγοριών, παρουσιάζονται εποπτικά στην παραπάνω εικόνα.

4.6.1. Ταξινόμηση 2^{ου} επιπέδου

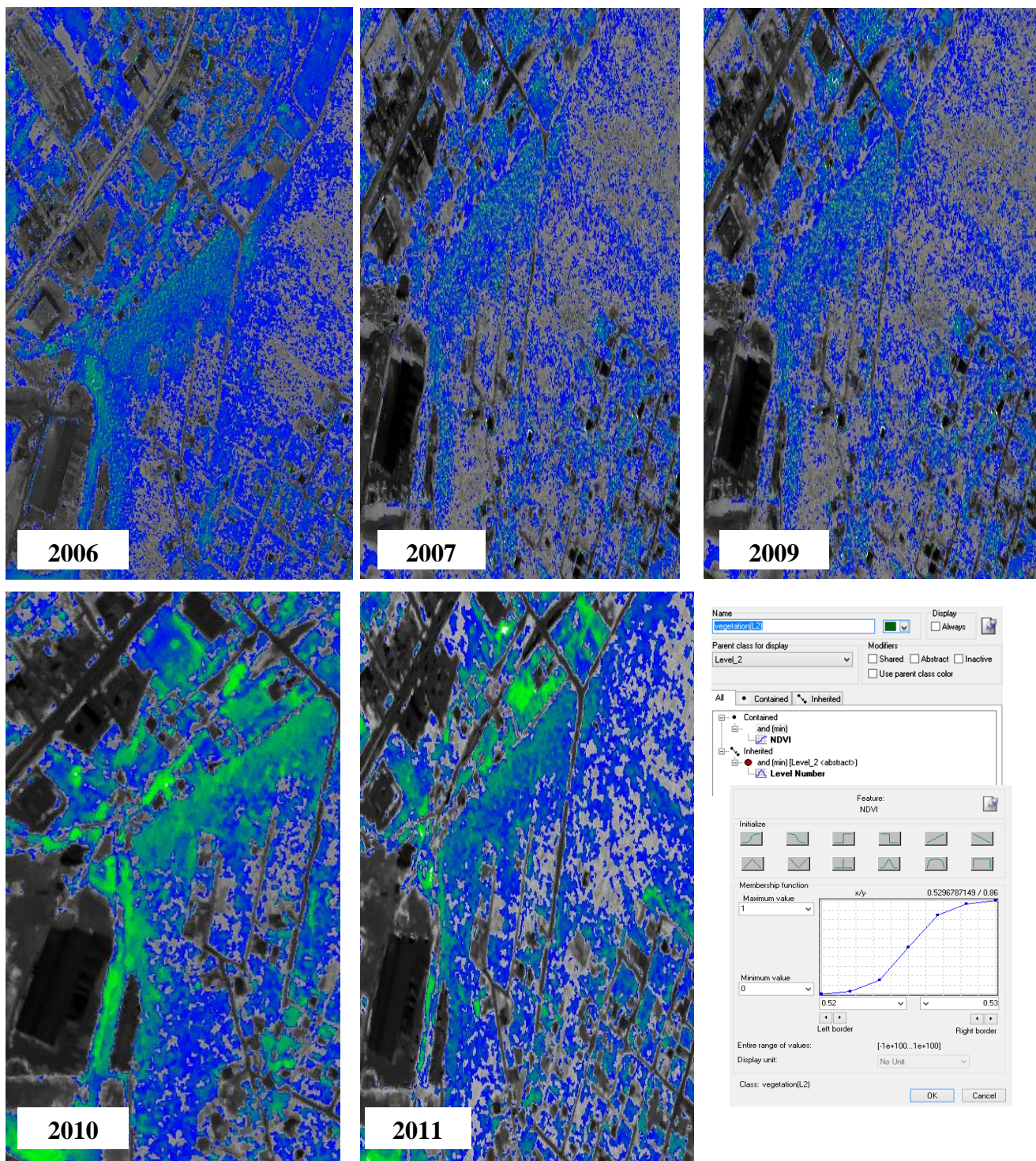
Η ταξινόμηση του δεύτερου επιπέδου περιλαμβάνει το διαχωρισμό της εικόνας στην βλάστηση (Vegetation), στην αδιαπέρατη επιφάνεια (Impervious) και την σκιά (Shadow). Κάθε χρήση προσδιορίζεται με την εφαρμογή αλγορίθμων και τις διάφορες τιμές των χαρακτηριστικών τους, ώστε να προσαρμοστούν στα δεδομένα των ψηφιακών τιμών της νέας απεικόνισης.

Για την ταξινόμηση της βλάστησης (Εικόνα 4.6.1-1) υπολογίστηκε ο δείκτης βλάστησης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) σε όλες τις δορυφορικές εικόνες (QB, WV2). Ο NDVI ανάλογα με τα δεδομένα που χρησιμοποιεί επιλέγει εξ' ορισμού το εγγύς υπέρυθρο, όπου για παράδειγμα για τα δεδομένα του QB το εγγύς υπέρυθρο επιλέχθηκε το κανάλι 4 και για το ορατό κόκκινο το κανάλι 3. Για τα δεδομένα του WV2 το εγγύς υπέρυθρο επιλέχθηκε το κανάλι 7 και για το ορατό κόκκινο το κανάλι 5. Κατά αυτόν τον τρόπο στο εγγύς υπέρυθρο δίνεται η αντίθεση μεταξύ βλάστησης και νερού και στο ορατό κόκκινο εμφανίζεται η βλάστηση σκουρότερη από τις τεχνητές επιφάνειες.

Οι τιμές των εικονοστοιχείων (pixel) που παρουσιάζει ο δείκτης NDVI είναι μεταξύ του -1 έως +1, οι περιοχές που δεν αφορούν ίχνος βλάστησης δίνουν αρνητική τιμή ή τιμή που αγγίζει την τιμή μηδέν (0).

Πίνακας 4.6.1-1: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Vegetation (L2) με την εφαρμογή «NDVI» στο Level 2.

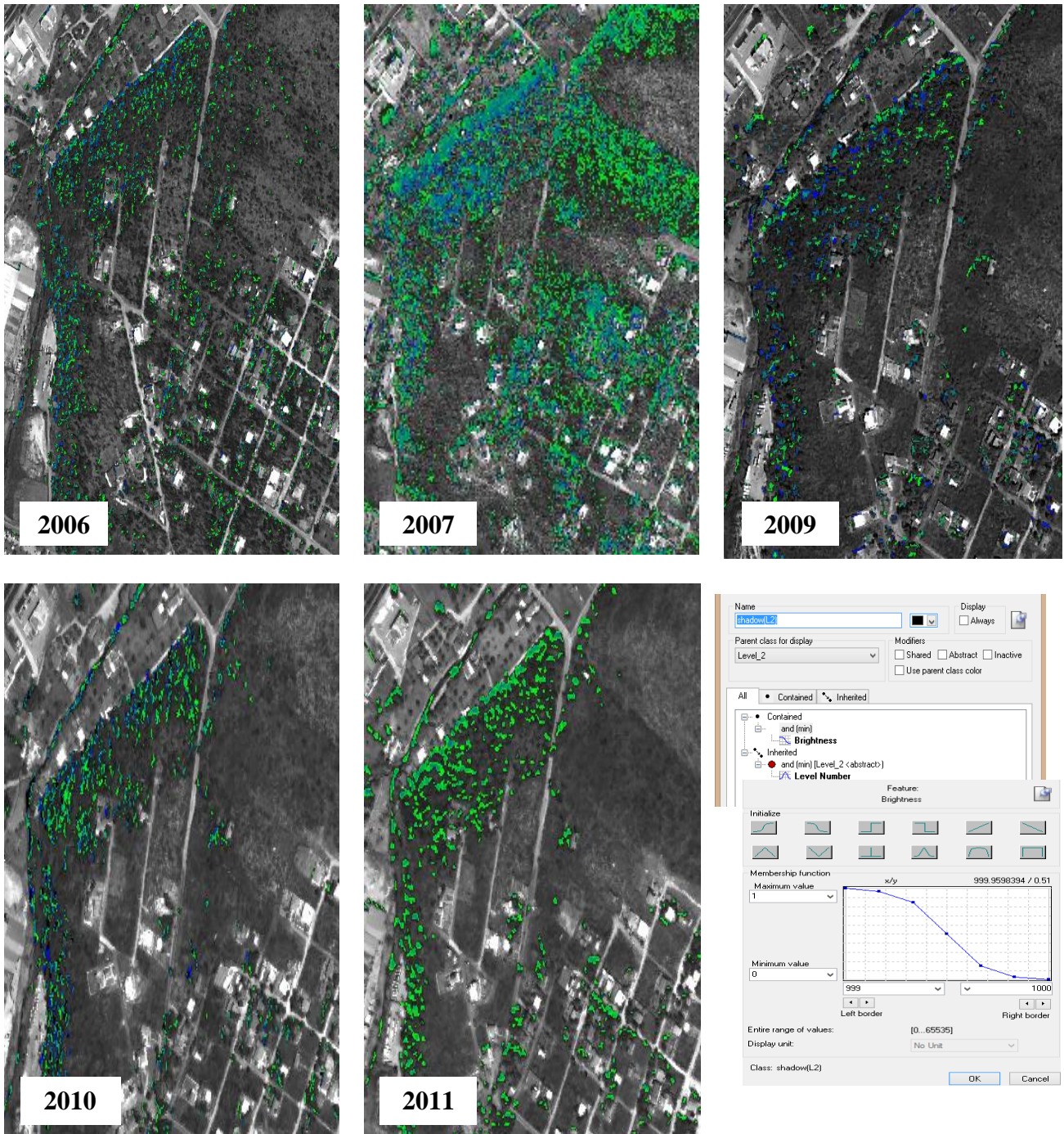
ΕΤΟΣ	QuickBird			WorldView2	
	2006	2007	2009	2010	2011
ΤΙΜΕΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ NDVI	0.31 – 0.32	0.49 – 0.5	0.51 – 0.52	0.43 – 0.44	0.52 – 0.53



Εικόνα 4.6.1-1: Ταξινομημένες εικόνες με βάση το δείκτη βλάστησης NDVI με τη χρήση του update range και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης για διαχωρισμό της κατηγορίας Βλάστησης.

Οι δοκιμές των διαφόρων χαρακτηριστικών στην εικόνα και η εύρεση των σωστών ορίων κατωφλίωσης τους γίνεται με το παράθυρο Feature View όπου με μπλε ή πράσινο διακρίνονται τα αντικείμενα που βρίσκονται μέσα στο διάστημα τιμών που έχει ορισθεί κάθε φορά.

Η ταξινόμηση της σκιάς (Εικόνα 4.6.1-2) γίνεται με τη χρήση χαρακτηριστικού γνωρίσματος Φωτεινότητα (Brightness). Οι τιμές ασάφειας της μέσης τιμής του χαρακτηριστικού Brightness ποικίλλει για κάθε εικόνα αντίστοιχα, με συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης (Πίνακας 4.6.1-2).

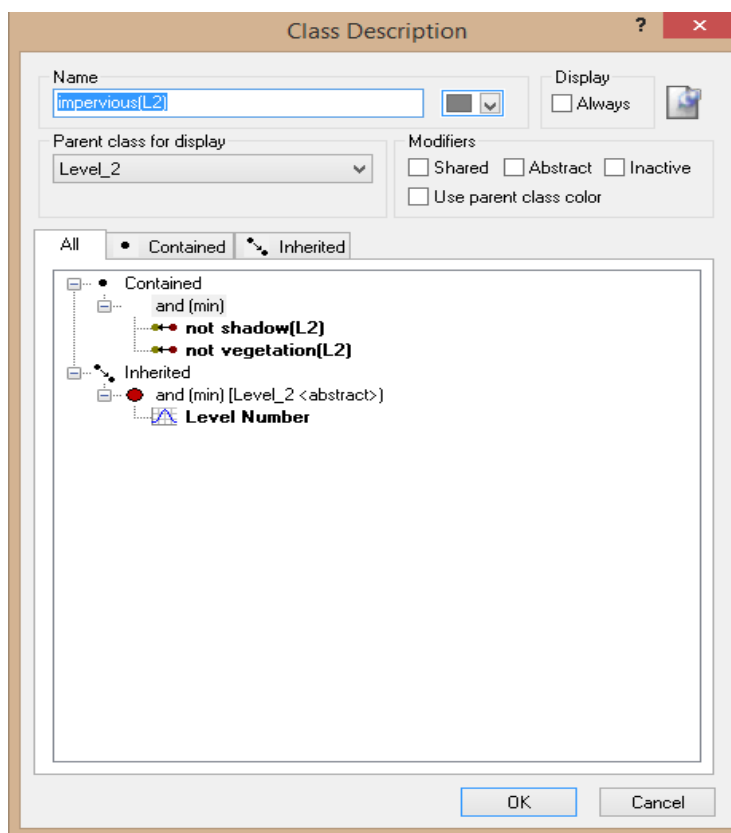


Εικόνα 4.6.1-2: Ταξινομημένες εικόνες με βάση της μέσης τιμής του χαρακτηριστικού Brightness με τη χρήση του update range και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης για διαχωρισμό της κατηγορίας Σκιάς.

Πίνακας 4.6.1-2: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Shadow (L2) με την εφαρμογή του χαρακτηριστικού «Brightness» στο Level_2.

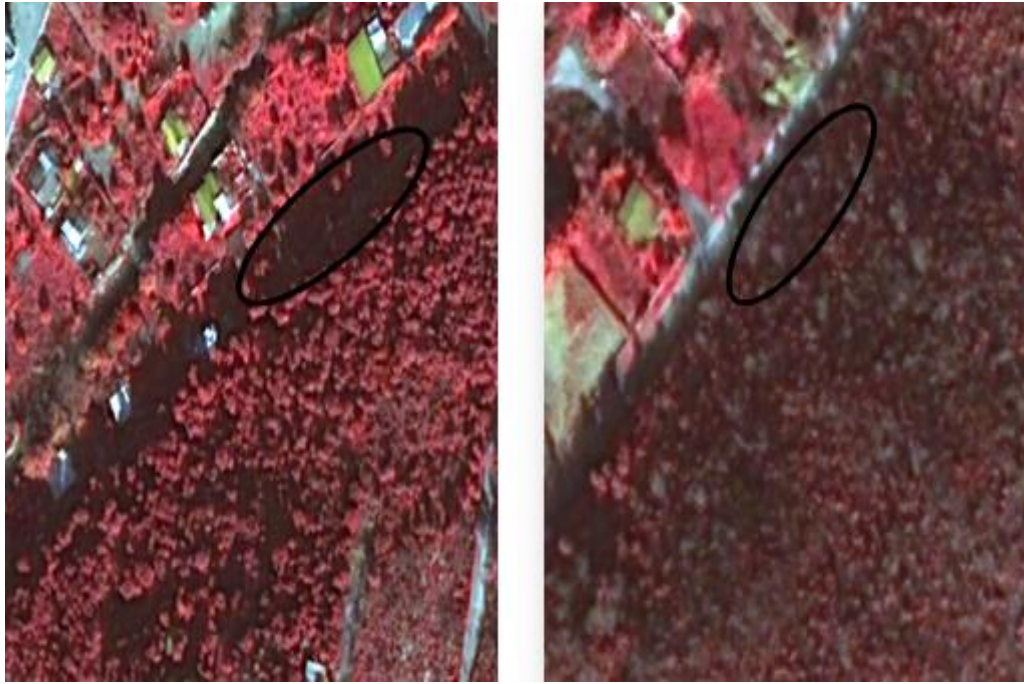
ΕΤΟΣ	QuickBird			WorldView2	
	2006	2007	2009	2010	2011
ΤΙΜΕΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ BRIGHTNESS	1010 – 1009	900 – 899	900 – 899	1220 – 1219	1000– 999

Για την ταξινόμηση των αδιαπέρατων υλικών (Εικόνα 4.6.1-3) και εφόσον ορίστηκαν οι υπόλοιπες κατηγορίες, διαμορφώνεται η περιοχή απορρίπτωντας τις κλάσεις που δεν ανήκουν σε αυτή. Συγκεκριμένα, γίνεται ο συνδυασμός των κανόνων «not vegetation (L2)» και «not shadow (L2)».



Εικόνα 4.6.1-3: Συνδυασμός των κανόνων για την ταξινόμηση Αδιαπέρατη επιφάνεια.

Στην ταξινόμηση του επιπέδου προέκυψαν προβλήματα τα οποία δημιουργούν σφάλματα στην ταξινόμηση. Σφάλμα προκύπτει εξαιτίας της έντονης σκιάς που εμφανίζεται στην εικόνα QB 2007 λόγω της εποχής λήψης της εικόνας (Δεκέμβριος), όπου λόγω έλλειψης φυλλώματος στα δασικά είδη, τα αντικείμενα αποκτούν την ίδια φασματική υπογραφή με τη σκιά και ταξινομούνται σε αυτή τη κατηγορία. Ένα ακόμη πρόβλημα που προκύπτει κατά την ταξινόμηση είναι η επικάλυψη χρήσεων γής με σκιά. Τα αντικείμενα, τα οποία αντιπροσωπεύουν τη σκιά, στην πραγματικότητα ανήκουν σε κάποια χρήση γης, από την οποία χάνεται η πληροφορία (Εικόνα 4.6.1-4).

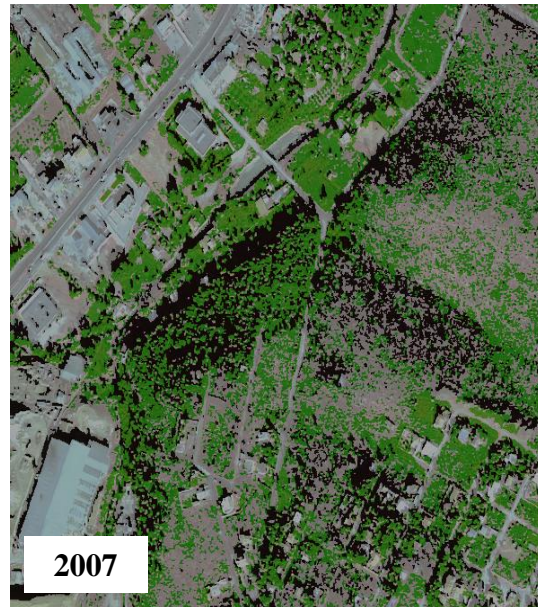


Εικόνα 4.6.1-4: Απεικόνιση σφαλμάτων που προκύπτουν κατά την ταξινόμηση της Σκιάς.

Για το δεύτερο επίπεδο ολοκληρώνεται η διαδικασία ιεραρχικής ταξινόμησης σε συνδυασμό των αλγορίθμων και των τιμών των χαρακτηριστικών (Εικόνα 4.6.1-5 & Πίνακας 4.6.1-3).

Πίνακας 4.6.1-3: Προβολή των κατηγοριών ταξινόμησης με τα χαρακτηριστικά και τις τιμές ασάφειας για το επίπεδο Level_2.

Κατηγορίες	Χαρακτηριστικά	QuickBird			WorldView 2	
		2006	2007	2009	2010	2011
Vegetation (L2)	NDVI	0.31–0.32	0.49–0.5	0.51–0.52	0.43–0.44	0.52–0.53
Shadow (L2)	Brightness	1010 – 1009	900 – 899	900 – 899	1220 – 1219	1000– 999
Impervious (L2)	Not Vegetation (L2) and Not Shadow (L2)					

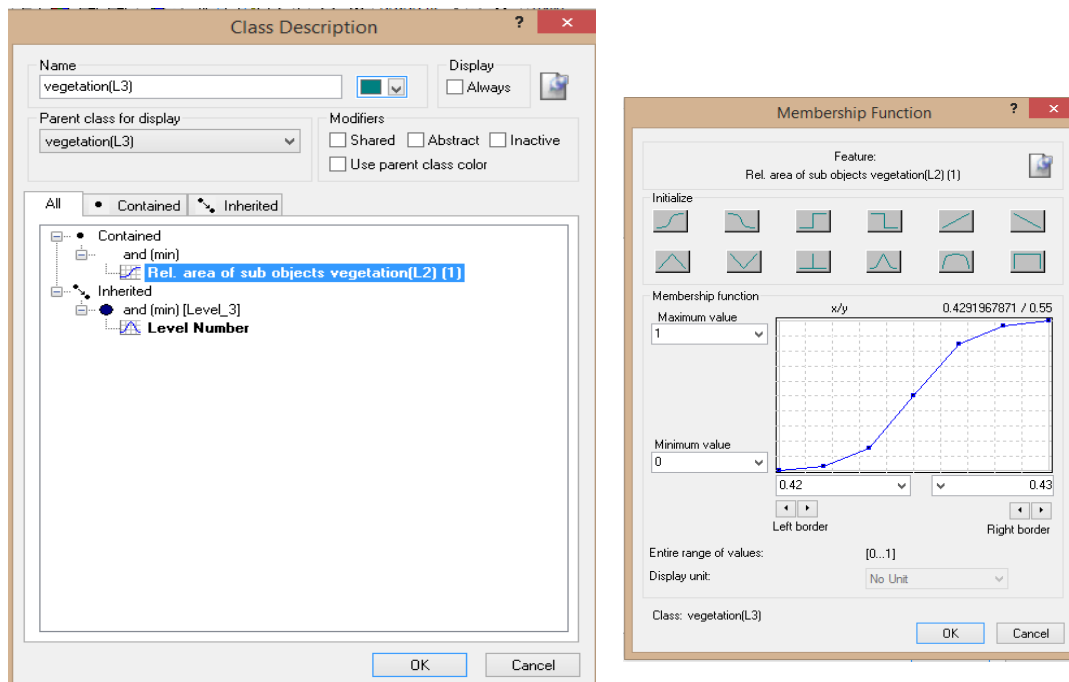


Εικόνα 4.6.1.-5: Αποτέλεσμα ταξινόμησης του Level_2 στις εικόνες QB και WV2.

4.6.2. Ταξινόμηση 3^{ου} επιπέδου

Η ταξινόμηση του τρίτου επιπέδου που ακολουθεί εφαρμόζεται με σκοπό την περαιτέρω ταξινόμηση των κατηγοριών του τρίτου σε επιμέρους θυγατρικές υποκατηγορίες. Ουσιαστικά εφαρμόστηκε στις κατηγορίες βλάστηση και αδιαπέρατα υλικά έτσι ώστε να περιοριστεί ακόμη περισσότερο το φάσμα των αντικειμένων ενδιαφέροντος της εικόνας.

Για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης κληρονομείται η πληροφορία από το δεύτερο επίπεδο. Η επίτευξη του σκοπού γίνεται χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της σχέσης των χαρακτηριστικών με υπο-αντικείμενα «Relations to sub-objects». Ειδικότερα, κληρονομούνται όλες οι κατηγορίες από το δεύτερο επίπεδο. Η λειτουργία αυτή προσδιορίζεται με τον κανόνα σχετικής επιφάνειας, με τα υπό-αντικείμενα της αδιαπέρατης επιφάνειας «Relative area of sub-objects impervious (L2) (1)», οι τιμές του οποίου κυμαίνονται από 0.64 έως 0.65 με συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης. Ο αριθμός (1) προσδιορίζει την απόσταση του επιπέδου που ορίζεται από το επίπεδο που κληρονομείται και οι τιμές ορίζουν ότι εάν στα νέα αντικείμενα, τα οποία δημιουργήθηκαν, το 65% εμπεριέχει αδιαπέρατα υλικά, τότε αυτή η επιφάνεια μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία «Impervious (L3)». Αντίστοιχα, διαμορφώνεται με τις ίδιες τιμές για την κατηγορία «Shadow (L3)». Για την κατηγορία «Vegetation (L3)» οι τιμές που θα οριστούν τα νέα αντικείμενα κυμαίνονται από 0.43 έως 0.43 με συνάρτηση της μορφής θετικής κλίσης. Αυτό συμβαίνει, διότι οι υποκατηγορίες της βλάστησης, οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην προκειμένη εργασία, πρέπει να εμπεριέχονται σε συγκεκριμένα εικονοστοιχεία και να μην γενικεύονται στην κατηγορία «Vegetation (L3)» και να προκύπτουν ως αταξινομήτα αντικείμενα.



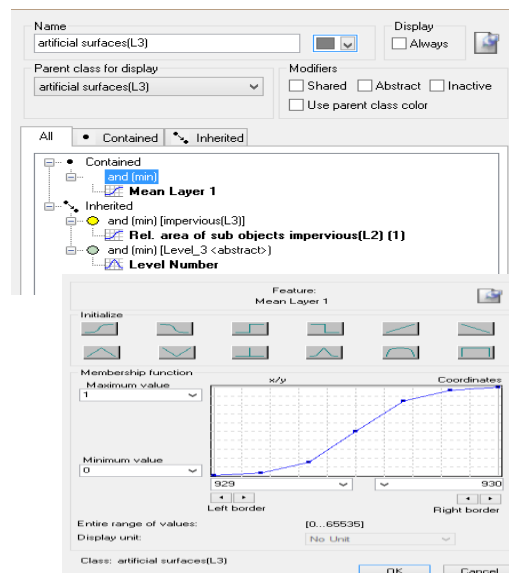
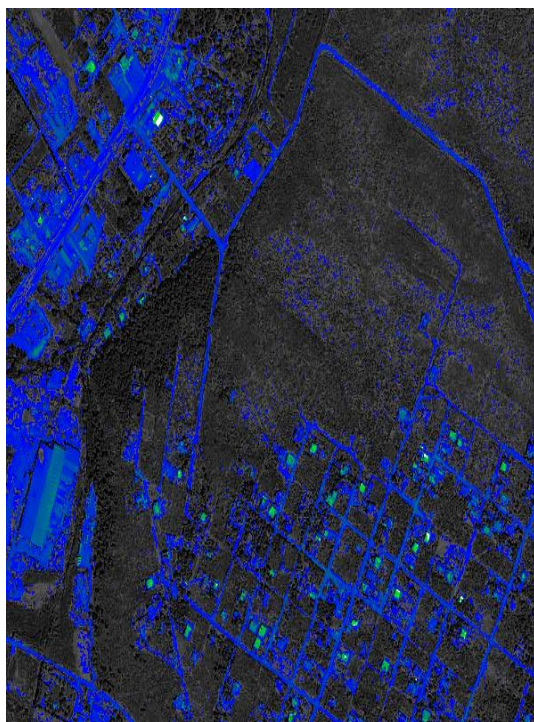
Εικόνα 4.6.2-1: Συνάρτηση και όρια συμμετοχής, τα οποία δηλώνουν ότι το 45% ενός αντικειμένου έχει χαρακτηριστεί ως «Vegetation (L2)».

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην ιεραρχία τάξεων δημιουργήθηκαν τρεις νέες κατηγορίες, οι οποίες ορίστηκαν ως θυγατρικές της κατηγορίας «Impervious» και αντίστοιχα τρεις νέες κατηγορίες που αφορούν την βλάστηση ορίστηκαν ως θυγατρικές της κατηγορίας «Vegetation» στην καρτέλα «Inheritance» της ιεραρχίας των κατηγοριών. Ο σκοπός ήταν να κληροδοτήσουν τα χαρακτηριστικά των μητρικών κατηγοριών «Impervious» και «Vegetation» στις νέες υποκατηγορίες που δημιουργήθηκαν.

Στην ταξινόμηση των παραπάνω κατηγοριών χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός της μεθόδου Εγγύτερου Γείτονα «Nearest Neighbor» με την εφαρμογή ασαφούς λογικής στα χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Για την ταξινόμηση της τεχνητής επιφάνειας «Artificial surfaces (L3)» χρησιμοποιείται ο κανόνας της μέσης τιμής στο φασματικό κανάλι μπλε «Mean Blue» (Εικόνα 4.6.2-2) με τιμές ασάφειας να ποικίλλουν σε κάθε δορυφορική εικόνα QB και WV2 και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με θετική κλίση (Πίνακας 4.6.2-1).

Πίνακας 4.6.2-1: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Artificial surfaces (L3) με την εφαρμογή «Mean Blue» στο Level_3.

ΕΤΟΣ	QuickBird			WorldView2	
	2006	2007	2009	2010	2011
ΤΙΜΕΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ MEAN BLUE	1198 - 1200	800 – 802	928 - 930	1380 - 1382	1190 - 1192

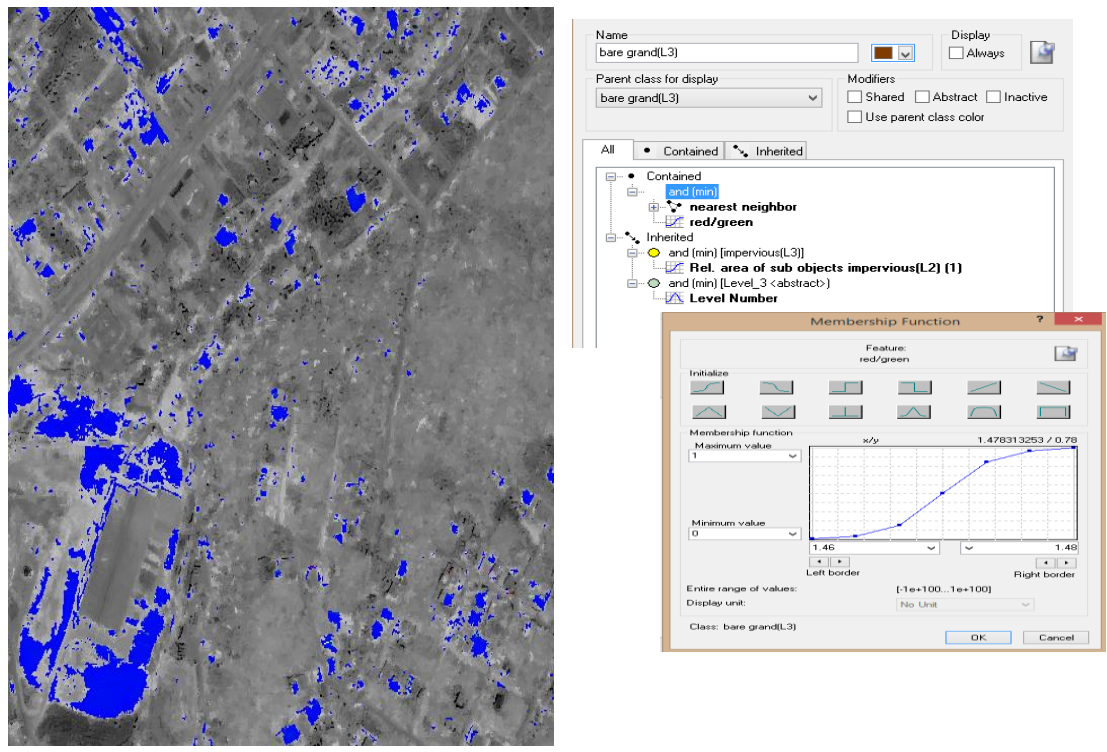


Εικόνα 4.6.2-2: Απεικόνιση της τεχνητής επιφάνειας «Artificial surfaces (L3)» με την εφαρμογή «Mean Blue» στο Level_3 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με θετική κλίση.

Για την ταξινόμηση του γυμνού εδάφους «Bare land (L3)» παρατηρήθηκε ότι το έδαφος απορροφά όλη την ακτινοβολία στο πράσινο κανάλι και γι'αυτό δημιουργήθηκε ο λόγος «Κόκκινο/ Πράσινο» (Εικόνα 4.6.2-3) με σκοπό την ενίσχυση των ψηφιακών τιμών του μπλε εισάγοντας στον παρανομάστή του κλάσματος πολύ χαμηλές τιμές ανακλαστικότητας. Με τον τρόπο αυτό ανιχνεύεται το γυμνό έδαφος λόγω της έντονης ανακλαστικότητας στον παραπάνω λόγο καναλιών (Πίνακα 4.6.2-2) .

Πίνακας 4.6.2-2: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Bare land(L3) με την εφαρμογή του κανόνα «RED/GREEN» στο Level_3.

ΕΤΟΣ	QuickBird			WorldView2	
	2006	2007	2009	2010	2011
ΤΙΜΕΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ RED/GREEN	1.59 - 1.60	1.45 – 1.47	1.46 – 1.48	1.10 - 1.12	1.15 – 1.17

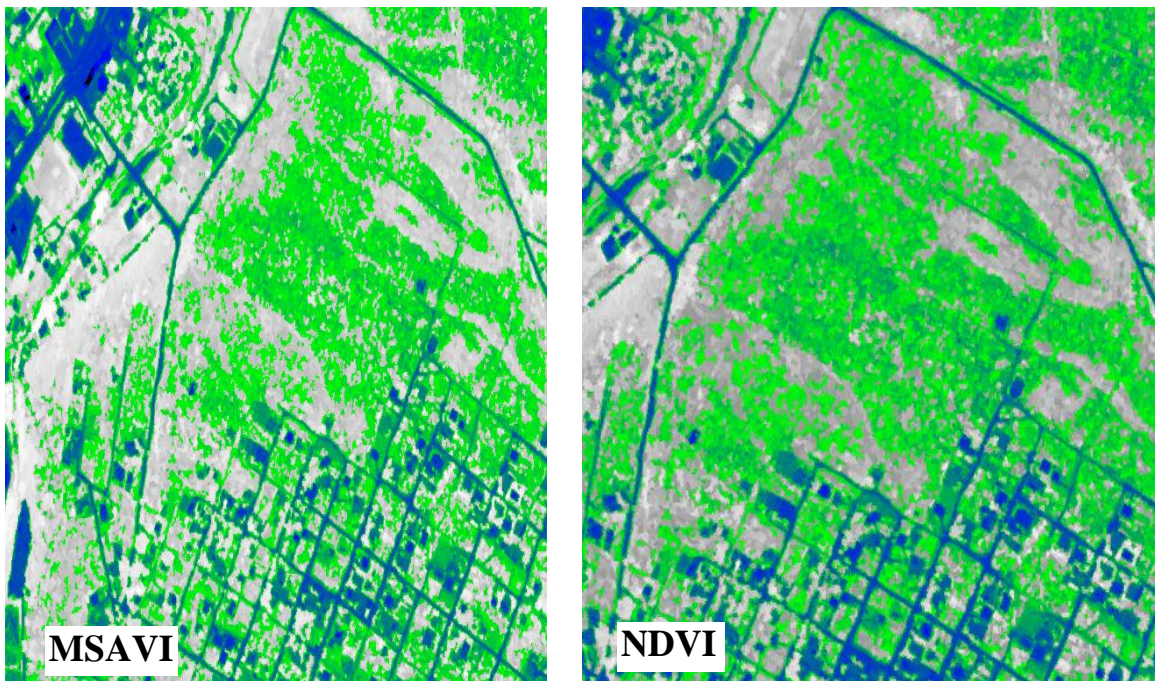


Εικόνα 4.6.2-3: Απεικόνιση του γυμνού εδάφους «Bare land (L3)» με την εφαρμογή κανόνα «RED/GREEN» στο Level_3 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με θετική κλίση.

Στη συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία εύρεσης της καμένης έκτασης. Μέσω της χρήσης των δύο δεικτών NDVI και MSAVI, έγινε η διάκριση της μεταβολής της βλάστησης, λόγω πυρκαγιάς, τόσο οπτικά όσο και ποσοτικά. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.6.2-4 χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες βλάστησης και συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με αρνητική κλίση.

Πίνακας 4.6.2-3: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Burnt area (L3) με την εφαρμογή των κανόνων «MSAVI» & «NDVI» στο Level_3.

ΕΤΟΣ	QuickBird			WorldView2	
	2006	2007	2009	2010	2011
ΤΙΜΕΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ MSAVI	0.53 – 0.54	0.65 – 0.66	0.73 – 0.74	0.6 - 0.61	0.68 – 0.69
ΤΙΜΕΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ NDVI	0.32 – 0.33	0.48 – 0.49	0.58 – 0.59	0.44 – 0.45	0.52 – 0.53



Εικόνα 4.6.2-4: Απεικόνιση της καμένης έκτασης «Burnt area (L3)» με την εφαρμογή κανόνων «MSAVI» & «NDVI» στο Level_3 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με αρνητική κλίση.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα και των δύο δεικτών στην Εικόνα 4.6.2-4, παρατηρείται ότι ο δείκτης MSAVI παρουσιάζει πολύ καλύτερα αποτελέσματα, κυρίως στις περιοχές με αραιή βλάστηση, όπου δίνει τη δυνατότητα για περισσότερες διαβαθμίσεις τους με τη σωστή κατωφλίωση των τιμών του. Το αποτέλεσμα θεωρείται αναμενόμενο, εφόσον η αξιοπιστία του δείκτη NDVI μειώνεται όταν η βλάστηση είναι αραιή, καθώς η αντανάκλαστικότητα του γυμνού εδάφους είναι υψηλή στα δύο κανάλια που χρησιμοποιούνται και επιπλέον εξαρτάται από την ποιότητα, την υγρασία και το χρώμα του.

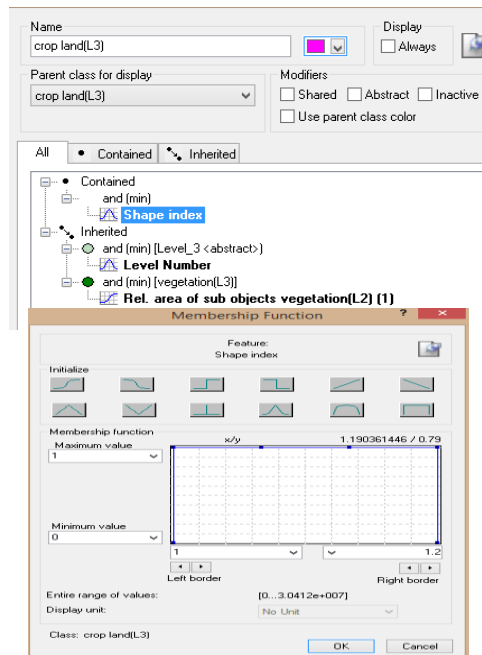
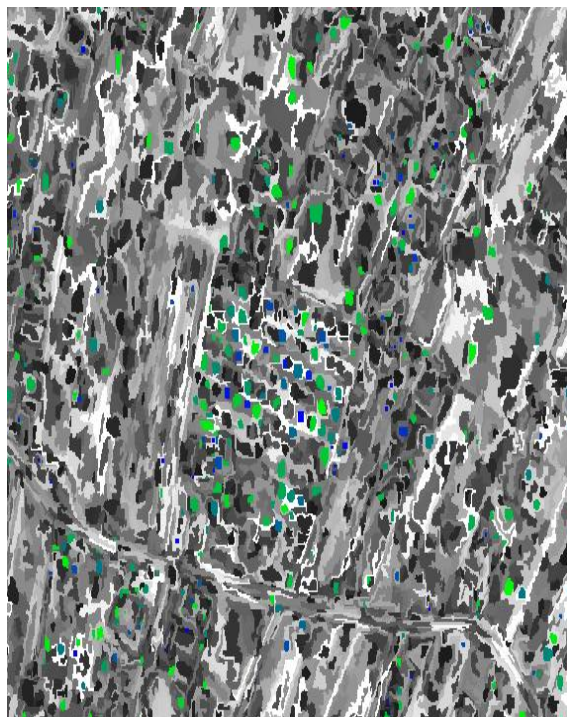
Για την ταξινόμηση του δάσους «Forest (L3)», θαμνότοποι «Schrubland (L3)» και καλλιέργειες «Crop land (L3)» χρησιμοποιείται η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση υλοποιήθηκε με τον αλγόριθμο του

Εγγύτερου Γείτονα «Nearest Neighbor» με βάση τα δείγματα εκπαίδευσης στην εικόνα. Καθοριστικό ρόλο για την ταξινόμηση είναι να υπάρξει επαρκής αριθμός των εκπαιδευόμενων δειγμάτων (training points) για την κάθε τάξη της ταξινόμησης (Jensen 2004).

Για την περιγραφή της κατηγορίας Crop land (L3) χρησιμοποιήθηκε επιπλέον το χαρακτηριστικό Shape Index (Εικόνα 4.6.2-5). Ο δείκτης σχήματος ορίζεται ως το μήκος των συνόρων ενός αντικειμένου προς τέσσερις φορές τη τετραγωνική ρίζα του εμβαδού του. Ουσιαστικά το χαρακτηριστικό αυτό δείχνει την ομαλότητα των συνόρων των αντικειμένων, έτσι όσο πιο ομαλά είναι αυτά τόσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει ο δείκτης του σχήματος.

Πίνακας 4.6.2-4: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Crop land(L3) με την εφαρμογή του χαρακτηριστικού «Shape Index» στο Level_3.

ΕΤΟΣ	QuickBird			WorldView2	
	2006	2007	2009	2010	2011
ΤΙΜΕΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ SHAPE INDEX	1.0 - 1.2	1.0 – 1.19	1.1 – 1.25	1.0 - 1.2	1.0 – 1.2



Εικόνα 4.6.2-5: Απεικόνιση της καλλιέργειας «Crop land (L3)» με την εφαρμογή χαρακτηριστικού «Shape Index» στο Level_3 με συνάρτηση της μορφής [].

Ο συνδυασμός των αλγορίθμων και των τιμών των χαρακτηριστικών με τη μέθοδο ανάλυσης του Εγγύτερου Γείτονα ολοκληρώνει τη διαδικασία ιεραρχικής ταξινόμησης του επιπέδου Level_3. Τα αποτελέσματα ταξινόμησης προβάλλονται στην Εικόνα 4.6.2-6 και στον Πίνακα 4.6.2-5.



Εικόνα 4.6.2-6: Αποτέλεσμα ταξινόμησης του Level_3 στις εικόνες QB και WV2.

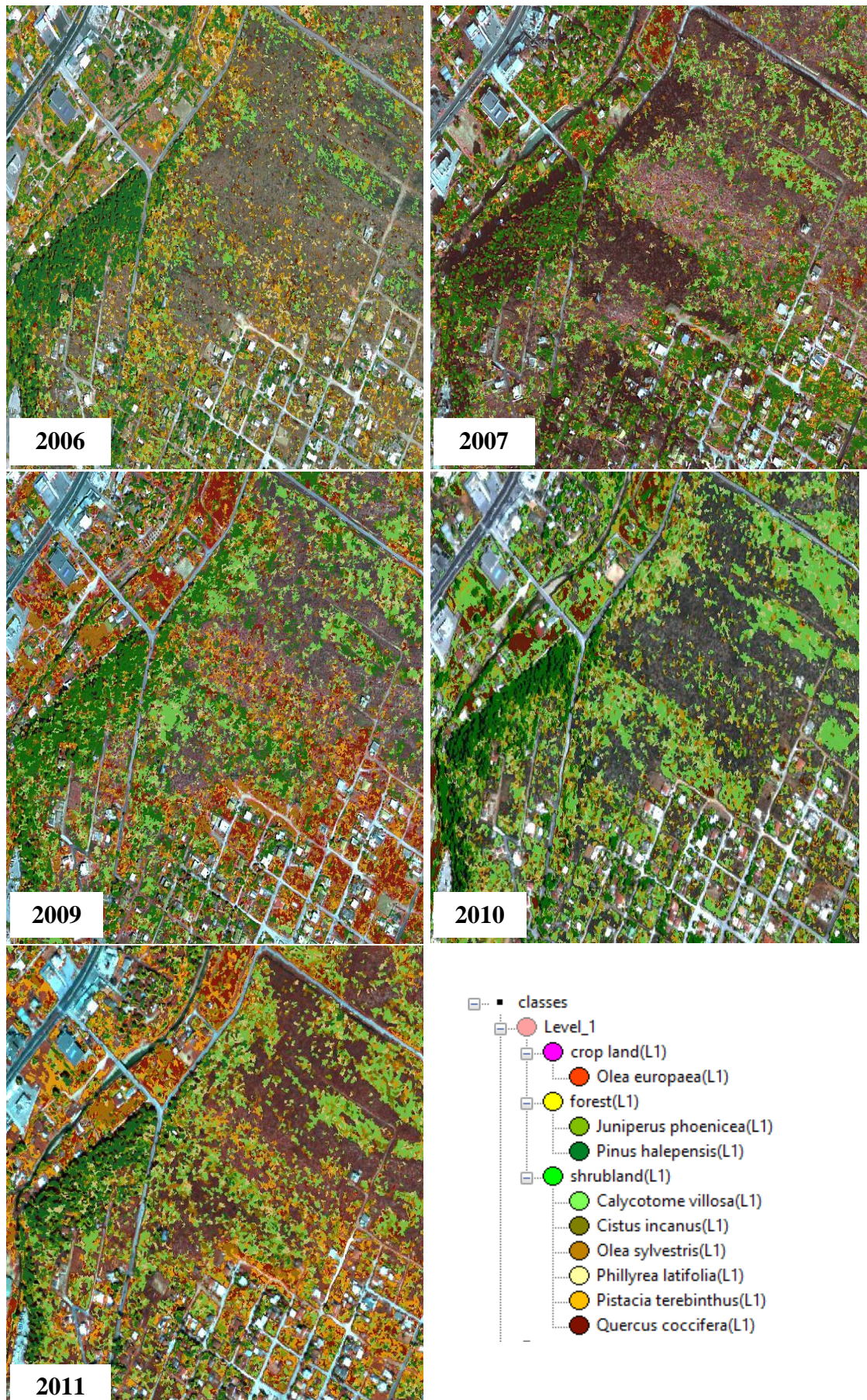
Πίνακας 4.6.2-5: Προβολή των κατηγοριών ταξινόμησης με τα χαρακτηριστικά και τις τιμές ασάφειας για το επίπεδο Level_3.

Κατηγορίες	Χαρακτηριστικά	QuickBird			WorldView2	
		2006	2007	2009	2010	2011
Artificial Surfaces(L3)	Mean Blue	1198 - 1200	800 - 802	928 - 930	1380 - 1382	1190 - 1192
Burnt Area(L3)	MSAVI	0.53 – 0.54	0.65 – 0.66	0.73 – 0.74	0.6 - 0.61	0.68 – 0.69
	NDVI	0.32 – 0.33	0.48 – 0.49	0.58 – 0.59	0.44 – 0.45	0.52 – 0.53
Bare Land(L3)	Red/Green	1.59 - 1.60	1.45 – 1.47	1.46 – 1.48	1.10 - 1.12	1.15 – 1.17
Crop Land(L3)	Shape Index	1.0 - 1.2	1.0 – 1.19	1.1 – 1.25	1.0 - 1.2	1.0 – 1.2
Forest(L3)	Standard Nearest Neighbor					
Schrubland(L3)	Standard Nearest Neighbor					
Shadow(L3)	Relative area of sub-objects Shadow (L2)					

4.6.3. Ταξινόμηση 1^{ου} επιπέδου

Η ταξινόμηση του πρώτου επιπέδου Level_1 δημιουργήθηκε με σκοπό να εξειδικεύσει περαιτέρω την ταξινόμηση του τρίτου επιπέδου στα αντικείμενα της βλάστησης. Επαναλαμβάνεται για ακόμη μια φορά η μεταφορά των ταξινομήσεων των ανωτέρων επιπέδων και των μητρικών κατηγοριών στο πρώτο επίπεδο.

Για το Level_1 επιλέχτηκε η επιβλεπόμενη μέθοδος ταξινόμησης, ώστε το λογισμικό να «εκπαιδευτεί» στις κατηγορίες που έχουν οριστεί από την αρχή. Η διαδικασία πραγματοποίησης της μεθόδου είναι αντίστοιχη με αυτή στο τρίτο επίπεδο. Οι κατηγορίες ταξινόμησης σε αυτό το επίπεδο εκφράζουν το βαθύτερο επίπεδο ταξινόμησης, δηλαδή τα κύρια είδη βλάστησης, τα οποία επικρατούν στην περιοχή. Στην ενότητα Ιεραρχία τάξεων παρουσιάστηκαν όλες οι τάξεις που ταξινομούνται στο Level_1.



Εικόνα 4.6.3-1: Αποτέλεσμα ταξινόμησης του Level_1 στις εικόνες QB και WV2.

Στο στάδιο αυτό ξεκινά ο διαχωρισμός της κύριας βλάστησης με βάση τα είδη φυτών από τα οποία αποτελούνται. Στην ταξινόμηση του παρόντος επιπέδου διακρίνουμε τις τρεις βασικές κατηγορίες αντικειμένων, τις καλλιέργειες «Crop land(L1)», το δάσος «Forest(L1)» και τους θαμνότοπους «Schrubland(L1)». Ο αριθμός των training points που επιλέγονται, εξαρτάται κυρίως από τη μέγιστη εκτίμηση της ακρίβειας που επιθυμεί ο αναλυτής στην περιοχή μελέτης που αναλύει κάθε φορά, χωρίς να υπάρχει ένας σταθερός αριθμός αυτών των σημείων. Μια παραδοχή που γίνεται βασίζεται στην έκταση που καταλαμβάνουν οι φασματικές κλάσεις στην περιοχή μελέτης κατά την επαλήθευση στα σημεία ταξινόμησης (μεγάλη έκταση → περισσότερος αριθμός training points). Είναι καλύτερα να ορίζονται πολλά και μικρού μεγέθους training points παρά λίγα και μεγάλου μεγέθους.

Η ταξινόμηση του Level_1 παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.6.3-1 όπως προέκυψε από τις παραπάνω περιγραφές των κατηγοριών.

5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1. Ποιοτική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Με Φωτοερμηνεία

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου στηρίχθηκαν στα δείγματα εκπαίδευσης. Για την εκτίμηση της μεταβολής της σύνθεσης της βλάστησης αξιολογήθηκαν εννιά δειγματοληπτικές επιφάνειες σε θέσεις αντιπροσωπευτικές των υψομετρικών ζωνών της πυρκαγιάς και των κύριων γεωλογικών σχηματισμών. Σύμφωνα με τον Bergmeier (2002) οι γεωλογικοί σχηματισμοί προσδιορίζουν καλύτερα την εμφάνιση της χαλέπιας πεύκης. Οι εννιά επιφάνειες επιλέχθηκαν επίσης έτσι ώστε να απαντούν όλες οι ορεογραφικές συνθήκες και όλες οι καταστάσεις σύνθεσης της βλάστησης. Οι συντεταγμένες των επιφανειών φαίνονται στον Πίνακα 5.1-1 και οι θέσεις τους στην Εικόνα 5.1-1. Στις επιφάνειες αυτές, παρακολουθείται η φυσική αναγέννηση σε συνδυασμό με τις επιφάνειες παρακολούθησης της βλάστησης.



Εικόνα 5.1-1: Αποτέλεσμα ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου και επιλογή 9 δειγματοληπτικών επιφανειών.

Πίνακας 5.1-1: Κατάλογος των δειγματοληπτικών επιφανειών για την εκτίμηση της μεταβολής της σύνθεσης της βλάστησης και την παρακολούθηση της φυσικής αναγέννησης.

Κωδικός	Σντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87: x,y)		Αποτέλεσμα Φωτοερμηνείας
1	761450.70	4211502.30	Olea europaea
2	761415.30	4211334.30	Pinus halepensis
3	761447.70	4211392.50	Juniperus phoenicea
4	761878.50	4211403.30	Calycotome villosa
5	761693.10	4211624.10	Cistus incanus
6	761647.50	4211579.70	Olea sylvestris
7	761779.50	4211615.70	Phyllirea latifolia
8	761655.30	4211535.90	Pistacia terebinthus
9	761659.50	4211604.90	Quercus coccifera

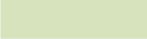
Η μεταπυρική βλάστηση που επικρατεί στα **σημεία 1, 4, 6, 7, 8** και **9** είναι κατά πλειοψηφία θαμνώδες είδη, με εξαίρεση το καλλιεργούμενο είδος που συναντάται την Ελιά. Τα πλατύφυλλα είδη τόσο τα αείφυλλα όσο και τα φυλλοβόλα πρεμνοβλαστώνουν και ριζοβλαστώνουν έντονα μετά την πυρκαγιά, ήδη από το φθινόπωρο, οπότε και εδώ η αναγέννηση είναι εξασφαλισμένη και η αποκατάσταση του οικοσυστήματος και του τοπίου γίνεται με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς. Συγκεκριμένα, το Πουρνάρι, η Αγριελιά, το Φιλλύκι, η Ελιά, η Πιστακιά, ο Ασπάλαθος σε ένα χρόνο φθάνουν και ξεπερνούν το ένα μέτρο (Πίνακας 5-2).

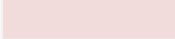
Το **σημείο 5** εμφανίζει σε αφθονία την Λαδανιά (*Cistus incanus*), ένα κατ' εξοχήν πυρόφιλο είδος το οποίο προστατεύει τα νεαρά φυτάρια σκιάζοντας τα το καλοκαίρι, ενώ παράλληλα ο μύκητας που δημιουργεί μυκόρριζα στην Λαδανιά (δηλαδή μια συμβίωση μύκητα και ριζών από το έδαφος πάνω από 100 φορές) είναι ο ίδιος μύκητας που δημιουργεί μυκόρριζα και στη χαλέπιο πέυκη. Έτσι, διαπιστώνεται ότι στο **σημείο 2** η φυσική αναγέννηση της Χαλέπιου πέυκης είναι εξασφαλισμένη σε δάση ηλικίας μεγαλύτερης των 15-20 ετών οπότε στην περίπτωση αυτή δεν πρέπει να κάνουμε απολύτως τίποτα παραπάνω από τα έργα προστασίας του εδάφους από διάβρωση και αποτροπής πλημμυρών.

Το **σημείο 3** δεν εμφανίζει έντονα σημάδια αναγέννησης και αυτό οφείλεται λόγω ότι το Αγριοκυπάρισσο παρουσιάζει αργό ρυθμό αναγέννησης και ανάπτυξης του είδους. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την περιορισμένη φυσική αναγέννηση είναι η χαμηλή βιωσιμότητα και/ή η δυσκολία φύτευσης των σπόρων, καθώς επίσης και η δυσαναλογία του ποσοστού αρσενικών/θηλυκών δεντρών στις συστάδες.

Πίνακας 5.1-2: Κατάλογος δασικών ειδών της φωτοερμηνείας και αποτέλεσμα ταξινόμησης.

Κωδικός	QB 2006 Αποτέλεσμα ταξινόμησης	QB 2007 Αποτέλεσμα ταξινόμησης	QB 2009 Αποτέλεσμα ταξινόμησης	WV 2010 Αποτέλεσμα ταξινόμησης	WV 2011 Αποτέλεσμα ταξινόμησης
1	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea
2	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis
3	Juniperus phoenicea	Juniperus phoenicea	Juniperus phoenicea	Juniperus phoenicea	Juniperus phoenicea
4	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa
5	Cistus incanus	Cistus incanus	Cistus incanus	Cistus incanus	Cistus incanus
6	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris
7	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia
8	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus
9	Quercus coccifera	Quercus coccifera	Quercus coccifera	Quercus coccifera	Quercus coccifera

 : Θετική ένδειξη ΔΕ

 : Αρνητική ένδειξη ΔΕ

Βάση των αποτελεσμάτων της φωτοερμηνείας παρουσιάζεται ότι η φυσική αναγέννηση είναι τις περισσότερες φορές αποτελεσματική. Επηρεάζεται κυρίως από τη σύνθεση και δομή των συστάδων που προϋπήρχαν καθώς και από την ποιότητα τόπου και τις εξωτερικές επεμβάσεις. Το τοπίο αποκαθίσταται σταδιακά και πλήρως εννιά χρόνια μετά από τη φωτιά. Η φυσική αναγέννηση είναι μια διαδικασία που εξακολουθεί να συμβαίνει ακόμα και εννιά χρόνια μετά τη φωτιά.

5.2. Ποσοτική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Με Βάση Τον Επίγειο Έλεγχο

Ο έλεγχος σε μια συγκεκριμένη περιοχή απαιτεί την καλή γνώση της περιοχής που πραγματοποιείται η μελέτη. Η Τηλεπισκόπηση δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού, επεξεργασίας και ανάλυσης των χρήσεων γης μια περιοχής χωρίς να έρθουμε σε επαφή με αυτή. Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης μελέτης έγινε επιτόπια αυτοψία και καταγραφή της περιοχής, ώστε να σημειωθούν τα είδη βλάστησης που επικρατούν στην περιοχή, σε ποια μέρη αναπτύσσονται, με σκοπό να γίνει ακριβής αποτύπωση της περιοχής. Ο επίγειος έλεγχος προτιμήθηκε να γίνει στα μέσα της άνοιξης – αρχές Απριλίου 2015, περίοδο κατά την οποία η βλάστηση βρίσκεται στη φάση της πλήρους ανάπτυξης.

Έπειτα από την παρατήρηση, έγινε ο εντοπισμός (Εικόνα 5.2.-1) και διαχωρισμός της ξυλώδης βλάστησης σε κύρια δασικά είδη (Πίνακας 5.2-2), για τον ορθολογικότερο προσδιορισμό της βλάστησης.



Εικόνα 5.2-1: Δειγματοληπτικές επιφάνειες από επίγειο έλεγχο.

Με την βοήθεια της ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων ανά έτος, καταγράφηκαν τα δασικά είδη που μπόρεσαν να αναγεννηθούν μετά την πυρκαγιά και να επικρατήσουν με την πάροδο των ετών (Πίνακας 5.2-3).

Πίνακας 5.2-2: Κατάλογος των δειγματοληπτικών επιφανειών με βάση τον επίγειο έλεγχο.

ΣΗΜΕΙΑ	A	B	Γ	Δ	Ε	ΣΤ	Η	Θ
X	761548	761667,5	761734	761905	762109	762079	761714	761422
Y	4211427	4211571,5	4211635	4211510,5	4211476	4211051	4211040	4211046
ΕΙΔΗ	1. Pinus halepensis	1. Quercus coccifera	1. Cistus incanus	1. Olea sylvestris	1. Juniperus phoenicea	1. Phyllirea latifolia	1. Pinus halepensis	1. Pinus halepensis
	2. Olea sylvestris	2. Phyllirea latifolia	2. Calycotome villosa	2. Calycotome villosa	2. Pinus halepensis	2. Calycotome villosa	2. Pistacia terebinthus	2. Olea europaea
		3. Olea sylvestris	3. Olea europaea	3. Cistus incanus	3. Olea europaea	3. Pinus halepensis	3. Calycotome villosa	3. Pistacia terebinthus


Το πρώτο χρόνο μετά τη φωτιά παρατηρείται μια μαζική φύτρωση των θαμνώδων ειδών που ωριμάζουν και με την παραγωγή των σπερμάτων τους ενισχύουν την πυκνότητα τους. Τα θαμνώδη είδη παραμένουν ένα κυρίαρχο στοιχείο του οικοσυστήματος για τα δάση χαλεπίου για αρκετά χρόνια και σταδιακά μειώνονται αλλά τα σπέρματα τους παραμένουν στο έδαφος σε λήθαργο και μπορούν να φυτρώσουν κατά την επόμενη φωτιά. Τα είδη *Cistus* και *Calycotome* κυριαρχούν μετά τη φωτιά. Εμφανίζονται σε μεγάλη πυκνότητα τον πρώτο χειμώνα στα οικοσυστήματα *Χαλεπίου πεύκης* και η πυκνότητα τους αυξάνει το δεύτερο έτος. Η μείωση του πληθυσμού αρχίζει 15 χρόνια μετά τη φωτιά εκτός αν η αναγέννηση της πεύκης είναι μικρή οπότε η κυριαρχία των ειδών *Cistus* και *Calycotome* μπορεί να παραμένει για δεκαετίες. Όταν αναπτυχθούν κλειστές συστάδες *Χαλεπίου πεύκης* τα είδη *Cistus* και *Calycotome* να ελαττώνονται αλλά υπάρχουν πάντα διαθέσιμα σπέρματα στο έδαφος (Arianoutsou et al., 2000). Η σημερινή κατάσταση της βλάστησης αξιολογείται ως συμπαγές δάσος χαλεπίου πεύκης με υπόροφο θαμνώδη/ποώδη είδη. Σταδιακά εισήλθε η χαλέπιος πεύκη και σήμερα τα είδη αυτά βρίσκονται κυρίως στον υπόροφο.


Στα σημεία A, B, Γ, Δ, και Θ που εμφανίζονται μέσα στη ζώνη εξάπλωσης των καμένων εκτάσεων και τα οικοσυστήματα είχαν ικανοποιητικό βαθμό σταθερότητας, το δυναμικό αναγέννησης των καμένων συστάδων ήταν ισχυρό. Η σημερινή μορφή των επιλεγμένων επιφανειών στη βόρεια έκθεση της περιοχής είναι πλήρης αναγέννηση στο στάδιο της πυκνοφυτείας (κυρίως από θαμνώδη είδη) και πλήρης κάλυψη του εδάφους. Οι νότιες και ανατολικές εκθέσεις εμφανίζουν αραιά βλάστηση από Χαλέπιο πεύκη και σποραδική εμφάνιση της Πιστακιάς.

Στο σημείο E το δυναμικό αναγέννησης της *Χαλεπίου πεύκης* είναι ισχυρό. Η σημερινή κατάσταση της βλάστησης εμφανίζει συμπαγές υψηλό δάσος Χαλεπίου πεύκης και Αγριοκυπάρισσου, εξαιρετικής δομής και ομορφιάς.

Πίνακας 5.2-3: Κατάλογος δασικών ειδών του επίγειου ελέγχου και αποτέλεσμα ταξινόμησης.

		QB 2006	QB 2007	QB 2009	WV 2010	WV 2011
		Αποτέλεσμα ταξινόμησης	Αποτέλεσμα ταξινόμησης	Αποτέλεσμα ταξινόμησης	Αποτέλεσμα ταξινόμησης	Αποτέλεσμα ταξινόμησης
Α	1	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis
	2	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris
Β	1	Quercus coccifera	Quercus coccifera	Quercus coccifera	Quercus coccifera	Quercus coccifera
	2	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia
	3	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris
Γ	1	Cistus incanus	Cistus incanus	Cistus incanus	Cistus incanus	Cistus incanus
	2	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa
	3	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea
Δ	1	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris	Olea sylvestris
	2	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa
	3	Cistus incanus	Cistus incanus	Cistus incanus	Cistus incanus	Cistus incanus
Ε	1	Juniperus phoenicea	Juniperus phoenicea	Juniperus phoenicea	Juniperus phoenicea	Juniperus phoenicea
	2	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis
	3	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea
ΣΤ	1	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia	Phyllirea latifolia
	2	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa
	3	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis
Η	1	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis
	2	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus
	3	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa	Calycotome villosa
Θ	1	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis	Pinus halepensis
	2	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea	Olea europaea
	3	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus	Pistacia terebinthus

 Θετική ένδειξη ΔΕ

 : Αρνητική ένδειξη ΔΕ

Στα σημεία ΣΤ, Η και Θ που εμφανίζονται μέσα στην ζώνη μίξης δασών και οικισμών παρατηρείται μείωση των ειδών *Χαλέπιου πεύκης* πιθανόν της οικιστικής ανάπτυξης της περιοχής. Κατά θέσεις, ο Ασπάλαθος αντικαθίσταται από την Χαλέπιο πεύκη. Η βλάστηση σήμερα είναι πυκνοί θαμνώνες πιστακιάς, ασπάλαθου, με σποραδική εμφάνιση Χαλέπιου πεύκης με μέσο ύψος 0,3-0,5μ λόγω του φτωχού εδάφους και των Α, Ν, ΝΑ εκθέσεων που επικρατούν. Το καλλιεργούμενο είδος της ελιάς δεν επηρρεάστηκε, διότι με τις ανθρώπινες επεμβάσεις διατήρήθηκε αναλλοίωτο στο πέρασμα των ετών. Σημαντικός παράγοντας είναι και η νότια έκθεση της περιοχής.

Στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, ο αριθμός της ξυλώδους βλάστησης που καταγράφηκε εγγύαται την επανίδρυση του δάσους. Σε οικοσυστήματα που προέρχονται από αναδάσώσεις, μπορεί μετά τη φωτιά να ενισχυθεί η φυσική αναγέννηση με απαγόρευση της βόσκησης και κάθε είδους οικιστικής παρέμβασης, καθώς και με φυτεύσεις και σπορές, κυρίως αν υπάρχει στόχος καθορισμού της σύνθεσης των ειδών. Η επαναδημιουργία βλάστησης μετά από πυρκαγιά γίνεται με γρηγορότερους ρυθμούς στα καλύτερα εδάφη και με αργότερους στα φτωχά και σκελετικά εδάφη.

5.3. Ποσοτική αξιολόγηση ταξινομήσεων

Το λογισμικό του eCognition διαθέτει λειτουργίες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της. Η αξιολόγηση στοχεύει στον έλεγχο ακρίβειας των αποτελεσμάτων, έπειτα από συνδυασμό κανόνων και δειγμάτων εκπαίδευσης.

Η αξιολόγηση των εικόνων πραγματοποιείται στο πρώτο επίπεδο ταξινόμησης, στο οποίο η ταξινόμηση των κατηγοριών τους εξαρτάται από τα προηγούμενα. Το πρώτο επίπεδο αποτελεί το βαθύτερο επίπεδο ταξινόμησης και χρησιμοποιούνται δείγματα εκπαίδευσης για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ακρίβειας των τελικών αποτελεσμάτων.

Για τον έλεγχο της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου (Level 1) ακολουθείται η μέθοδος του πίνακα σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «*Error Matrix Based on Samples*». Στη συγκεκριμένη μέθοδο ο έλεγχος γίνεται με βάση τα αντικείμενα και όχι τα εικονοστοιχεία.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου από κάθε δορυφορική εικόνα που έχει αναλυθεί.

5.3.1. Quickbird 2006

Σύμφωνα με την εφαρμογή της μεθόδου «*Error Matrix Based on Samples*» η συνολική ακρίβεια της εικόνας QB'06 εντοπίζεται στο 64,1%. Διακρίνοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.3.1 διαπιστώνεται ιδιαίτερο σφάλμα στην ταξινόμηση των κύριων κατηγοριών Ελιών, Αγριοκυπάρισσων και Αγριελιών. Τα υπόλοιπα αντικείμενα, τα οποία δεν ταξινομούνται στην κατηγορία, εντάσσονται σε άλλες κατηγορίες ταξινόμησης του επιπέδου δημιουργώντας σφάλματα παράλειψης.

Οι κατηγορίες Ελιές και Αγριελιές ταξινομούνται εσφαλμένα μεταξύ τους, διότι παρουσιάζουν ομοιότητες στην κόμη τους και στην φασματική υπογραφή τους. Αντίθετα το Αγριοκυπάρισσο δυσκολεύεται στον εντοπισμό του, διότι τα είδη Ασπάλαθος, Πουρνάρι και Λαδανιά αναπτύσσονται συνήθως στον υπόροφο του Αγριοκυπάρισσου. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται έντονα στην Χαλέπιο πεύκη, όπου πολλά θαμνώδη είδη αναπτύσσονται στον υπόροφο της, όπως Πουρνάρι, Λαδανιά, Ασπάλαθος, Αγριελιά, Φιλλύκι. Τα υπόλοιπα αντικείμενα, τα οποία δεν ταξινομούνται σε άλλες κατηγορίες του επιπέδου δημιουργούν σφάλματα παράλειψης.

Μεγαλύτερο ποσοστό ακρίβειας παρουσιάζει η Πιστακιά (*Pistacia terebinthus*), της τάξης του 89% και μικρό αριθμό αντικειμένων να ταξινομούνται ως Χαλέπιο πεύκη. Η διάκριση τους είναι εύκολη, διότι αποτελεί αείφυλλος θάμνος, δηλαδή δεν χάνει το φύλλωμα του.

Πίνακας 5.3.1: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινόμηση δασικών ειδών στην εικόνα του QB2006.

User Class \ Sample	<i>Olea europaea</i>	<i>Pinus halepensis</i>	<i>Juniperus phoenicea</i>	<i>Calycotome villosa</i>	<i>Cistus incanus</i>	<i>Quercus coccifera</i>	<i>Phillyrea latifolia</i>	<i>Pistacia terebinthus</i>	<i>Olea sylvestris</i>	Sum
<i>Olea europaea</i>	52	0	0	0	0	0	0	1	4	57
<i>Pinus halepensis</i>	6	133	0	5	14	12	9	4	20	203
<i>Juniperus phoenicea</i>	0	0	33	6	7	7	2	0	16	71
<i>Calycotome villosa</i>	0	8	6	47	0	0	0	0	0	61
<i>Cistus incanus</i>	2	4	7	0	30	0	0	0	0	43
<i>Quercus coccifera</i>	0	4	8	0	0	33	0	0	0	45
<i>Phillyrea latifolia</i>	0	1	0	0	0	0	31	0	0	32
<i>Pistacia terebinthus</i>	2	4	0	0	0	0	0	48	0	54
<i>Olea sylvestris</i>	10	3	2	0	0	0	0	0	55	70
unclassified	19	3	2	1	1	0	5	1	2	34
Sum	91	160	58	59	52	52	47	54	97	

Producer	57,1%	83,1%	56,9%	79,7%	57,7%	63,5%	66,0%	88,9%	56,7%
User	91,2%	65,5%	46,5%	77,0%	69,8%	73,3%	96,9%	88,9%	78,6%
Overall Accuracy	69,0%								
KIA	64,1%								

5.3.2. Quickbird 2007

Ο τελικός έλεγχος της ταξινόμησης γίνεται με τη μέθοδο του πίνακα σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «*Error Matrix Based Samples*» (Πίνακας 5.3.2). Ο αριθμός των αντικειμένων για κάθε κατηγορία ποικίλλει. Οι τιμές των αντικειμένων που προβάλλονται στη διαγώνιο, αντιστοιχούν στη σωστή κατηγορία. Από τον πίνακα παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις αντικειμένων από την διαγώνιο, δημιουργώντας σφάλματα παράλειψης και συμπερίληψης.

Η συνολικά ακρίβεια της εικόνα QB'07 εντοπίζεται στο 85%. Από το παρακάτω πίνακα παρατηρείται ότι τα αντικείμενα των κατηγοριών Ελιά, Πιστακιά, Φιλλύκι και Αγριελιά έχουν ταξινομηθεί με ποσοστό 100% στη σωστή κατηγορία. Μικρά σφάλματα εντοπίζονται στα αντικείμενα της κατηγορίας ταξινόμησης του Ασπάλαθου, στην οποία ορισμένος αριθμός αντικειμένων παραμένουν αταξινομητα.

Πίνακας 5.3.2: Πίνακας σύγχυσης για την ταξινόμηση δασικών ειδών στην εικόνα του QB2007.

User Class \ Sample	Olea europaea	Pinus halepensis	Juniperus phoenicea	Calycotome villosa	Cistus incanus	Quercus coccifera	Phillyrea latifolia	Pistacia terebinthus	Olea sylvestris	Sum
Olea europaea	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11
Pinus halepensis	0	272	0	3	1	2	0	0	0	278
Juniperus phoenicea	0	0	37	2	0	0	0	0	0	39
Calycotome villosa	0	10	2	59	0	0	0	0	0	71
Cistus incanus	0	2	0	0	20	0	0	0	0	22
Quercus coccifera	0	5	2	0	0	31	0	0	0	38
Phillyrea latifolia	0	0	0	0	0	0	21	0	0	21
Pistacia terebinthus	0	8	2	0	0	0	0	7	0	17
Olea sylvestris	0	2	0	0	0	0	0	0	36	38
unclassified	0	4	0	8	3	2	0	0	0	17
Sum	11	303	43	72	24	35	21	7	36	

Producer	100,0%	89,8%	86,0%	81,9%	83,3%	88,6%	100,0%	100,0%	100,0%
User	100,0%	97,8%	94,9%	83,1%	90,9%	81,6%	100,0%	41,2%	94,7%
Overall Accuracy	89,5%								
KIA	84,7%								

5.3.3. Quickbird 2009

Κατά την εφαρμογή του πίνακα σύγχυσης σφάλματος βασισμένη σε δειγματοληπτικά αντικείμενα «*Error Matrix Based Samples*» (Πίνακα 5.3.3) διαπιστώνονται κύρια σφάλματα στην ταξινόμηση. Η συνολική ακρίβεια της εικόνας QB'09 εντοπίζεται στο 68%. Όπως διαπιστώνεται από προηγούμενη μέθοδο, σφάλματα εντοπίζονται στις ταξινομήσεις αντικειμένων Ελιών είναι Αγριελιών Το φαινόμενο αυτό είναι λογικό, διότι ο εντοπισμός και διαχωρισμός των ειδών αποτελεί δύσκολη εφαρμογή, εξαιτίας των ίδιων χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν στην κόμη και φασματική υπογραφή τους.

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενες αξιολογήσεις των εικόνων, ο εντοπισμός των Αγριοκυπάρισσων εμφανίζει δυσκολίες εξαιτίας ύπαρξης βλάστησης στον υπόροφο του. Συγκεκριμένα, στο είδος Πουρνάρι εντοπίζονται σφάλματα ταξινόμησης. Στις υπόλοιπες κατηγορίες δεν εντοπίζονται ιδιαίτερα σφάλματα.

Πίνακας 5.3.3: Πίνακας σύγχυσης για την ταξινόμηση δασικών ειδών στην εικόνα του QB2009.

User Class \ Sample	Olea europaea	Pinus halepensis	Juniperus phoenicea	Calycotome villosa	Cistus incanus	Quercus coccifera	Phillyrea latifolia	Pistacia terebinthus	Olea sylvestris	Sum
Olea europaea	12	1	0	0	0	0	0	0	0	13
Pinus halepensis	1	111	0	2	11	6	2	0	4	137
Juniperus phoenicea	0	0	7	0	0	1	0	0	0	8
Calycotome villosa	0	3	0	37	0	0	0	0	0	40
Cistus incanus	0	7	4	0	42	0	0	0	0	53
Quercus coccifera	0	6	13	0	0	75	0	0	0	94
Phillyrea latifolia	1	1	0	0	0	0	10	0	0	12
Pistacia terebinthus	0	5	0	0	0	0	0	16	0	21
Olea sylvestris	0	2	3	0	0	0	0	0	23	28
unclassified	21	2	0	1	3	0	10	8	7	52
Sum	35	138	27	40	56	82	22	24	34	

Producer	34,3%	80,4%	25,9%	92,5%	75,0%	91,5%	45,5%	66,7%	67,6%
User	92,3%	81,0%	87,5%	92,5%	79,2%	79,8%	83,3%	76,2%	82,1%
Overall Accuracy	72,7%								
KIA	67,5%								

5.3.4. WorldView2 2010

Η ίδια διαδικασία αξιολόγησης με τις εικόνες QB ακολουθήθηκε κατά την αξιολόγηση των εικόνων WV2. Παρόλο που η ταξινόμηση της εικόνας ακολουθεί την ίδια λογική διαδικασίας με τις κατηγορίες ταξινόμησης με των QB, τα όρια ασάφεια τους διαφέρουν, εξαιτίας της διαφορετικής ανάλυσης και των τεσσάρων επιπλέον καναλιών στην εικόνα (coastal, yellow, red-edge, NIR2). Η διακριτική ικανότητα, την οποία διαθέτουν οι WV2 σε σύγκριση με τις QB εξυπηρετεί στη μεγαλύτερη λεπτομέρεια των χαρακτηριστικών, γεγονός, το οποίο προσδίδει πληροφορία για ανάλυση στοιχείων του εδάφους, τα οποία μέχρι πρότινος δεν ήταν εφικτό να εντοπιστούν.

Πίνακας 5.3.4: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινόμηση δασικών ειδών στην εικόνα του WV2010.

User Class \ Sample	Olea europaea	Pinus halepensis	Juniperus phoenicea	Calycotome villosa	Cistus incanus	Quercus coccifera	Phillyrea latifolia	Pistacia terebinthus	Olea sylvestris	Sum
Olea europaea	23	0	0	0	0	0	0	0	0	23
Pinus halepensis	0	100	0	1	0	0	0	1	1	103
Juniperus phoenicea	0	0	28	0	0	0	0	0	0	28
Calycotome villosa	0	0	0	116	0	0	0	0	0	116
Cistus incanus	0	0	0	0	23	0	0	0	0	23
Quercus coccifera	0	0	0	0	0	22	0	0	0	22
Phillyrea latifolia	0	0	0	0	0	0	38	0	0	38
Pistacia terebinthus	0	0	1	0	0	0	0	22	0	23
Olea sylvestris	0	0	2	0	0	0	0	0	39	41
unclassified	20	6	0	6	1	0	1	0	3	37
Sum	43	106	31	123	24	22	39	23	43	

Producer	53,5%	94,3%	90,3%	94,3%	95,8%	100,0%	97,4%	95,7%	90,7%
User	100,0%	97,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	95,7%	95,1%
Overall Accuracy	90,5%								
KIA	88,8%								

Από τα αποτελέσματα του πίνακα σύγκρισης «Error Matrix Based Samples» (Πίνακα 5.3.4), ο οποίος δημιουργείται, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερα σφάλματα. Η συνολική ακρίβεια της εικόνας WV2'10 εντοπίζεται με 89% επιτυχία ταξινόμησης. Η WV2'

10 εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλό βαθμό ακρίβειας στις περισσότερες κατηγορίες, το οποίο οφείλεται στα περισσότερα φασματικά κανάλια που διαθέτει. Έτσι, εμφανίζονται μεγαλύτερη ποικιλία εντοπισμού φασματικών χαρακτηριστικών για την ταξινόμηση των τύπων βλάστησης.

Εκτός από την κατηγορία των Ελιών, της οποίας τα αντικείμενα εντοπίζονται ως αταξινομήτα, δεν παρατηρούνται άλλες σημαντικές αποκλίσεις αντικειμένων από την κατηγορία τους.

5.3.5. WorldView2 2011

Σύμφωνα με τον πίνακα σύγκρισης σφάλματος «*Error Matrix Based Samples*», ο οποίος προκύπτει από τα δείγματα εκπαίδευσης στην εικόνα WV2 στο πρώτο επίπεδο (Πίνακας 5.3.5), διακρίνονται ελάχιστα έως καθόλου σφάλματα. Η συνολική ακρίβεια της εικόνας WV2'11 εντοπίζεται στο 97% επιτυχία ταξινόμησης.

Πίνακας 5.3.5: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινόμηση δασικών ειδών στην εικόνα του WV2011.

User Class \ Sample	Olea europaea	Pinus halepensis	Juniperus phoenicea	Calycotome villosa	Cistus incanus	Quercus coccifera	Phillyrea latifolia	Pistacia terebinthus	Olea sylvestris	Sum
Olea europaea	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Pinus halepensis	0	53	0	0	0	0	0	1	0	54
Juniperus phoenicea	0	0	34	0	0	0	1	1	0	36
Calycotome villosa	0	0	0	71	0	0	0	0	0	71
Cistus incanus	0	1	0	0	26	0	0	0	0	27
Quercus coccifera	0	0	0	0	0	19	0	0	0	19
Phillyrea latifolia	0	0	0	0	0	0	24	0	0	24
Pistacia terebinthus	0	0	0	0	0	0	0	33	0	33
Olea sylvestris	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18
unclassified	0	1	1	2	0	1	0	0	0	5
Sum	10	55	35	73	26	20	25	35	18	

Producer	100,0%	96,4%	97,1%	97,3%	100,0%	95,0%	96,0%	94,3%	100,0%
User	100,0%	98,1%	94,4%	100,0%	96,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Overall Accuracy	97,0%								
KIA	96,5%								

5.4. Διαχρονική Αξιολόγηση Ταξινομήσεων Δύο Δασικών Ειδών

Για την διαχρονική εξέλιξη δύο δασικών ειδών επιλέχθηκαν κατηγορίες του πρώτου επιπέδου, ώστε να αντιπροσωπεύουν τόσο την θετική μεταπτυρική τους εξέλιξη όσο και την αρνητική τους. Οι κατηγορίες των ειδών είναι :

- Χαλέπιος πεύκη (*Pinus halepensis*)
- Ασπάλαθος (*Calycotome villosa*)

Το κάθε είδος εντοπίζεται σε διαφορετικό σημείο έκθεσης στην αναδασωτέα περιοχή (Εικόνα 5.4-1), με σκοπό να αναλυθούν σε διαφορετικό επίπεδο τα αποτελέσματα της ταξινόμησης. Έτσι, η ταξινόμηση της Χαλεπίου πεύκης παρατηρήθηκε στο ΝΑ τμήμα της περιοχής και του Ασπάλαθου σε ΒΑ έκθεση με μεγάλο υψόμετρο.

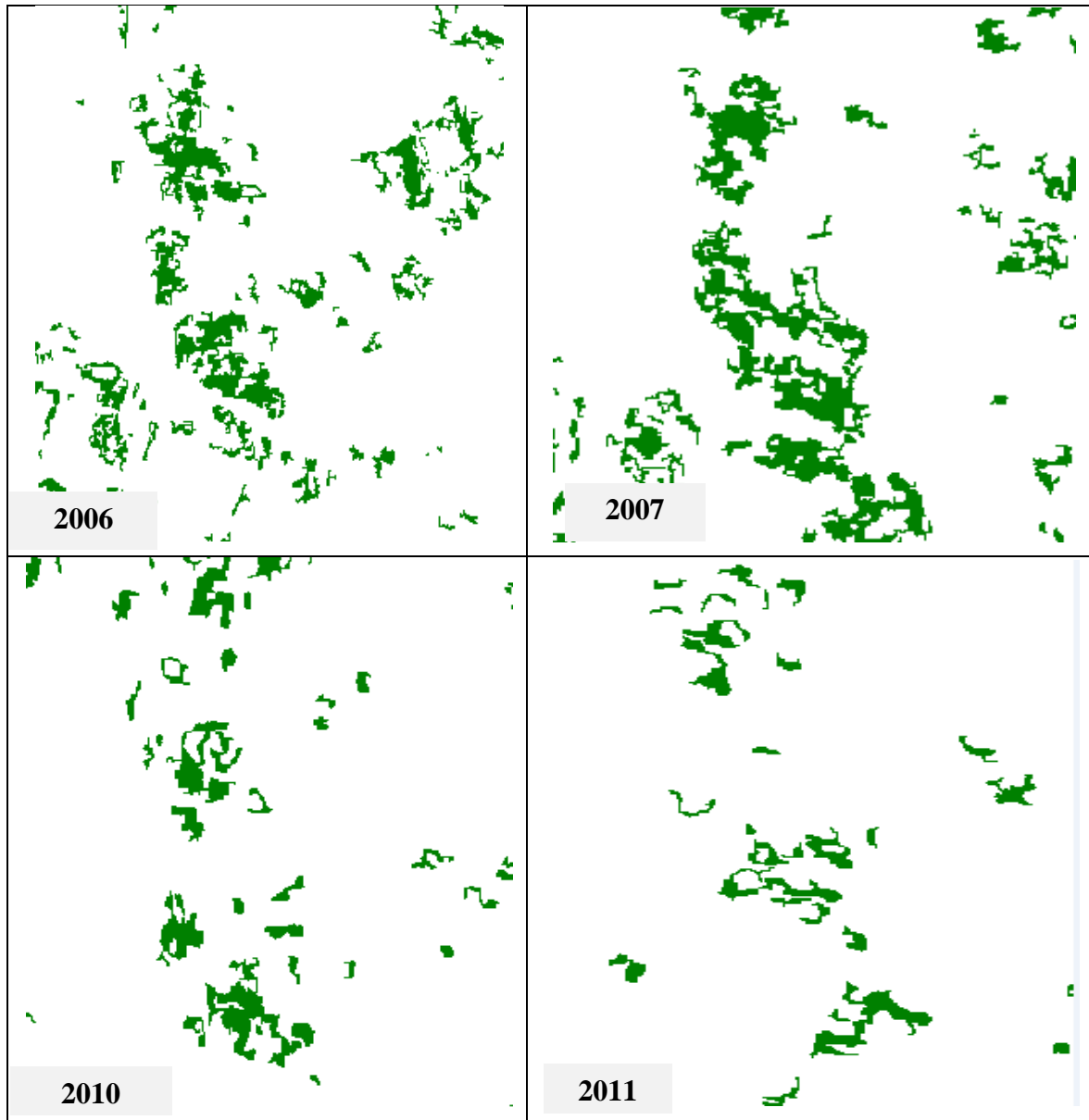


Εικόνα 5.4-1: Κατηγορίες των δασικών ειδών πρώτου επιπέδου.

Από την ταξινόμηση των εικόνων κάθε έτους προκύπτει ότι οι διαφορές που εμφανίζονται στο είδος Χαλέπιος πεύκη είναι σημαντικές (Εικόνα 5.4-2). Συγκεκριμένα από το 2006 έως το 2011 παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές στην μείωση του είδους. Οφείλεται κυρίως στις υλοτομίες που έγιναν στην περιοχή (συγκομιδή του ξύλου, αντιδιαβρωτικά έργα). Αντίθετα, δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά αναγέννησης στο είδος Ασπάλαθος (Εικόνα 5.4-3). Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι το συγκεκριμένο είδος διαθέτει αφετέρου διαφορετικούς προσαρμοστικούς μηχανισμούς και αφενός ευνοϊκότερες συνθήκες ανάπτυξης που επικρατούν στην περιοχή.

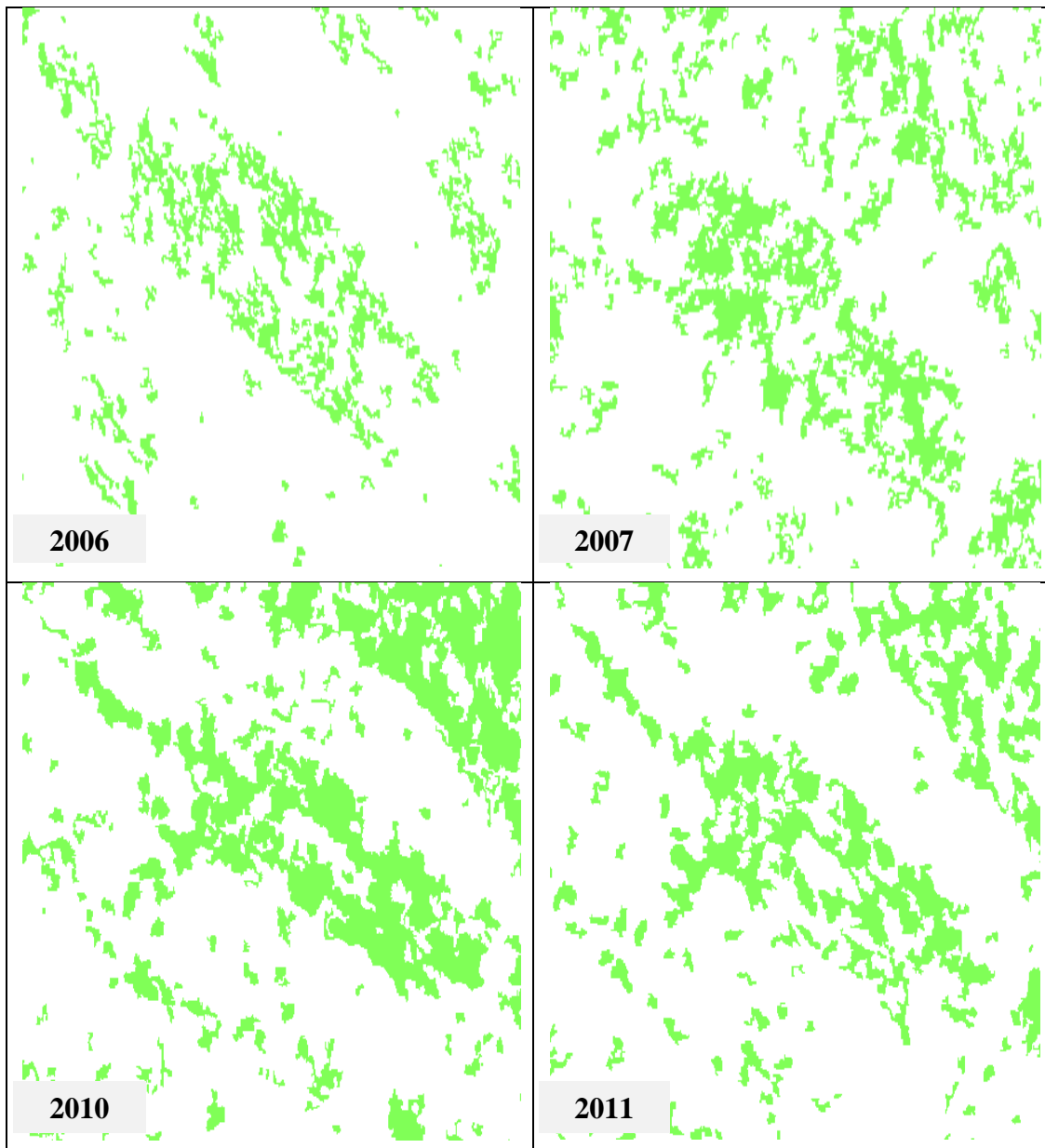
Διαπιστώθηκε ότι, παρά την σχετικά καθυστερημένη εμφάνιση των αρτιβλάστων (Μάιος) εξαιτίας της παρατεταμένης ξηρής περιόδου, η πυκνότητα κατα το πρώτο μεταπτυρικό έτος (2006) ήταν σημαντική. Κατά τη διάρκεια του πέμπτου μεταπτυρικού έτους (2010) μειώθηκε αρκετά το ποσοστό αναγέννησης. Οι λόγοι που οδηγούν στην θνησιμότητα των αρτίβλαστων και των νεαρών μεσογειακών πεύκων

είναι συνήθως η έλλειψη εδαφικής υγρασίας, οι υψηλες θερμοκρασίες, ο ανταγωνισμός με άλλα φυτά, η προσβολή από μύκητες και έντομα και η κατανάλωση από ζώα.



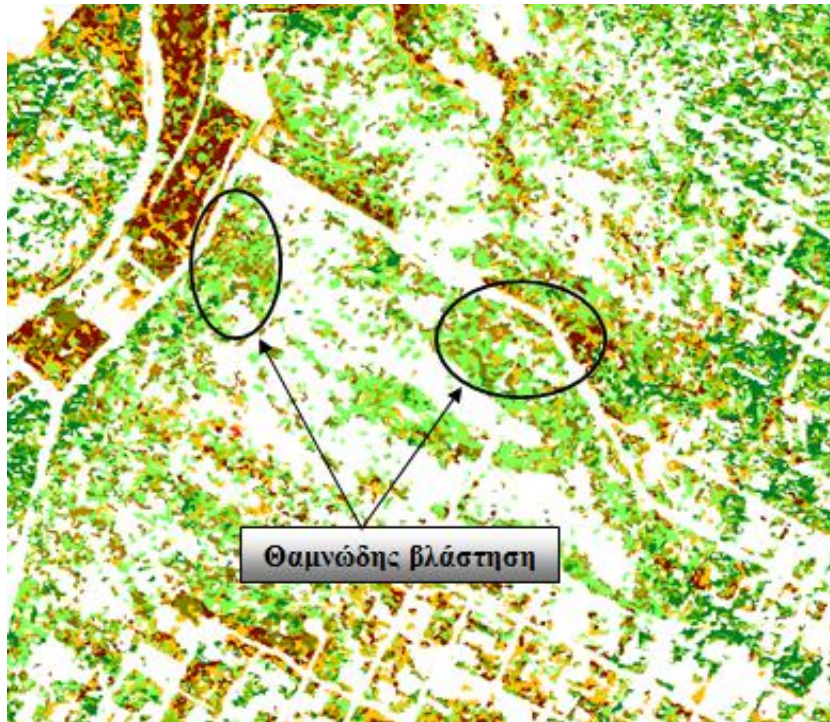
Εικόνα 5.4-2: Διαχρονική εξέλιξη *Pinus halepensis* βάση ταξινομήσεων.

Η Χαλέπιος πεύκη παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις που οφείλονται κυρίως στα χαρακτηριστικά του πευκοδάσους και στις επικρατούσες συνθήκες κατά την μεταπτυρική περίοδο. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι σε περιοχές με απότομες κλίσεις υπάρχει δυσκολία συγκράτησης υγρασίας στο καμένο έδαφος με αποτέλεσμα να μην γίνεται η προβλεπόμενη ανάκαμψη και επαναφορά της βλάστησης.



Εικόνα 5.4-3: Διαχρονική εξέλιξη *Calycotome villosa* βάση ταξινομήσεων.

Όπως προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, η φυσική αναγέννηση επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά από την θέση επί της πλαγιάς. Στην μελέτη της Tsitsoni (1996), αλλά και άλλες μελέτες (Kailidis 1990, Pausas et al 1999), αναφέρεται ότι η κλίση του εδάφους είναι ένα σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την φυσική αναγέννηση. Ο Μουλόπουλος (1993) αναφέρει ότι η φυσική αναγέννηση χαλεπίου πεύκης ηλικίας άνω των δέκα ετών σε κλίσεις εδάφους πάνω από 50% είναι προβληματική. Στην παρούσα μελέτη παρόλο που δεν υπάρχουν αριθμητικά δεδομένα για την κλίση, από τον επίγειο έλεγχο αναγνωρίστηκε ότι σε σημεία της περιοχής με έντονη κλίση εδάφους επικρατεί θαμνώδης βλάστηση (Εικόνα 5.4-4).



Εικόνα 5.4-4: Αποτέλεσμα ταξινόμησης θαμνώδης βλάστησης σε σημεία με έντονη κλίση εδάφους.

Το αποτέλεσμα της ταυτοποίησης είναι ορθό κάτι που σημαίνει ότι μπορούμε να μέσω των εικόνων QB και WV2 να παρακολουθούμε την εξελικτική διαδικασία της ανάκαμψης της βλάστησης χωρίς να υπάρχουν σημαντικά σφάλματα στην εικόνα μας. Είναι αναγκαίο και προφανές ότι οι συγκρίσεις θα πρέπει να γίνουν ανά έτος και σε χρονικές περιόδους που να ταυτίζονται εποχιακά.

5.5. Ανάλυση Αποτελεσμάτων Για Την Εκτίμηση Της Φυσικής Αναγέννησης

Μέσω της διαχρονικής παρατήρησης της περιοχής μελέτης μπορούμε να διαχωρίσουμε τις περιοχές που ανακάμπτουν γρηγορότερα σε σχέση με αυτές που ανακάμπτουν βραδύτερα και να εξετάσουμε ποιες παράμετροι πιθανά παίζουν ρόλο στη διαφοροποίηση αυτή.

Για τον πλήρη έλεγχο της ταξινόμησης των κλάσεων, οι οποίες κληρονομούν την πληροφορία όλων των προηγούμενων κλάσεων στα υψηλότερα επίπεδα ταξινόμησης, εντοπίστηκε η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης της κάθε κατηγορίας με δείγματα ελέγχου. Στον Πίνακα 5.5-1 προβάλλεται η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για κάθε κατηγορία του πρώτου επιπέδου (Level 1) σε κάθε εικόνα ταξινόμησης.

Σύμφωνα με την ανάλυση των δασικών ειδών (Πίνακας 5.5-1 και 5.5-2), 3 έτη μετά την πυρκαγιά, το μεγαλύτερο τμήμα της έκτασης παρουσιάζει φυσική αναγέννηση κυρίως της υποβλάστησης (θαμνώδη και ποώδη είδη). Το γεγονός της επανεγκατάστασης φυσικής βλάστησης είναι ιδιαίτερα θετικό διότι :

α) φαίνεται να έχουν ξεκινήσει τα στάδια φυσικής διαδοχής του οικοσυστήματος,

β) προστατεύονται τα εδάφη από την διάβρωση και

γ) δημιουργούνται οι προϋποθέσεις επανεγκατάστασης της ξυλώδους βλάστησης.

Πίνακας 5.5-1: Ποσοστά εδαφοκάλυψης ΔΕ ανά έτος

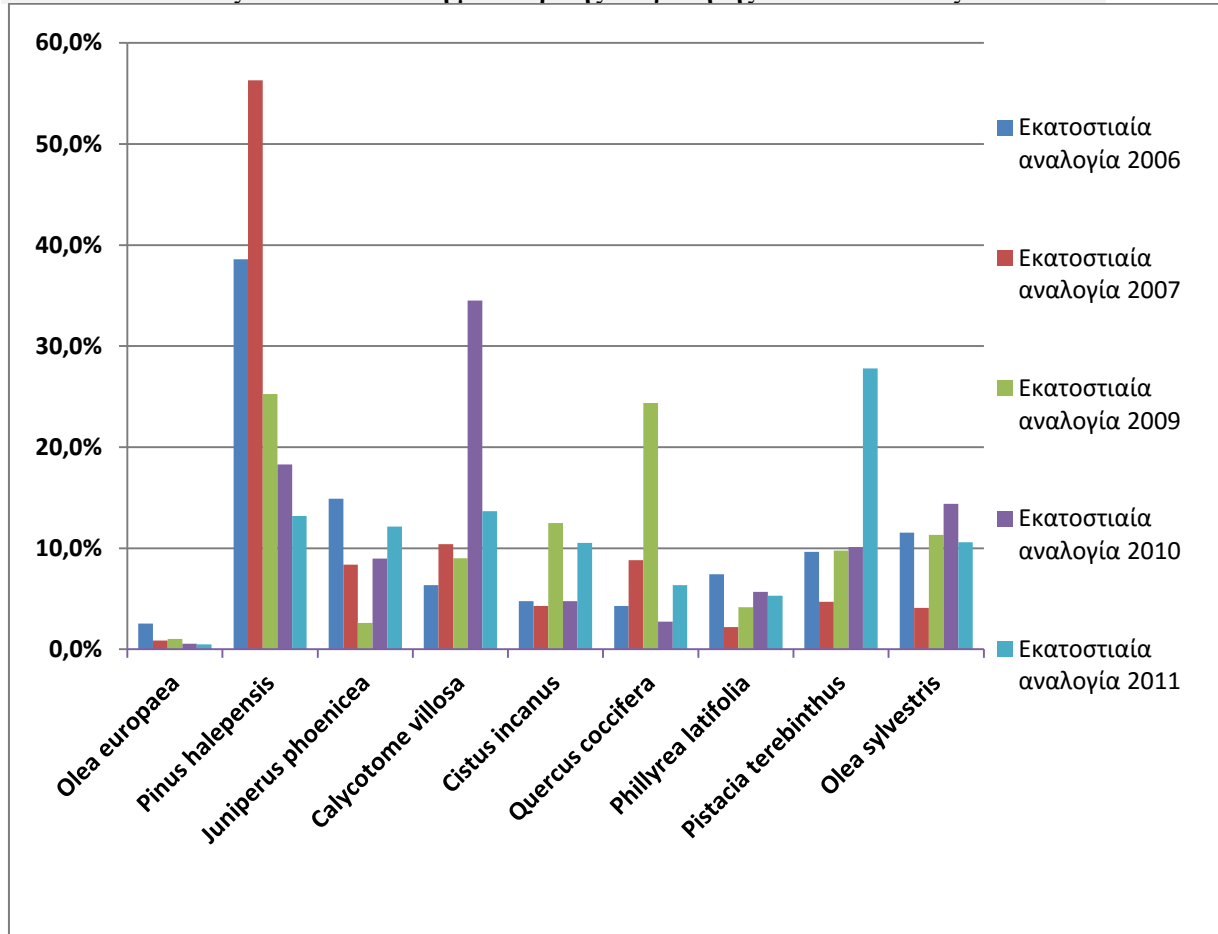
Τύπος κάλυψης	2006 (%)	2007 (%)	2009 (%)	2010 (%)	2011 (%)
Olea europaea	2,6%	0,9%	1,03%	0,5%	0,49%
Pinus halepensis	39,0%	56,0%	25,26%	18,0%	13,0%
Juniperus phoenicea	15,0%	8,0%	2,61%	9,0%	12,0%
Calycotome villosa	6,0%	10,0%	9,01%	35,0%	14,0%
Cistus incanus	5,0%	4,0%	12,48%	5,0%	11,0%
Quercus coccifera	4,0%	9,0%	24,38%	3,0%	6,0%
Phillyrea latifolia	7,0%	2,0%	4,14%	6,0%	5,0%
Pistacia terebinthus	10,0%	5,0%	9,76%	10,0%	28,0%
Olea sylvestris	12,0%	4,0%	11,32%	14,0%	11,0%

Σε ότι αφορά στη φυσική αποκατάσταση της βλάστησης στην περιοχή μελέτης (Πίνακας 5.5-1) προκύπτει πως το μεγαλύτερο ποσοστό φυσικής αναγέννησης παρατηρείται στα θαμνώδη είδη. Πρόκειται για εκτάσεις στο νότιο κυρίως τμήμα της περιοχής όπου σε πολλές θέσεις κυριαρχεί βραχώδες υπόστρωμα και στις οποίες ακόμη και η επανεγκατάσταση θαμνώδους βλάστησης είναι δυσχερής.

Η σοβαρότερη επίπτωση της πυρκαγιάς για τη χαλέπιο πεύκη φαίνεται πως είναι η δραματική μείωση της παρουσίας της στις νοτιότερες και χαμηλότερου υψομέτρου θέσεις της περιοχής. Σε αυτές επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες από ότι στο βόρειο και υψηλότερο υψομετρικά τμήμα της περιοχής και αβαθή εδάφη που δυσχεραίνουν την φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης, όπως ο ανταγωνισμός από τα αείφυλλα πλατύφυλλα και τα αγρωστώδη, στα οποία ήδη παρατηρείται φυσική αναγέννηση.

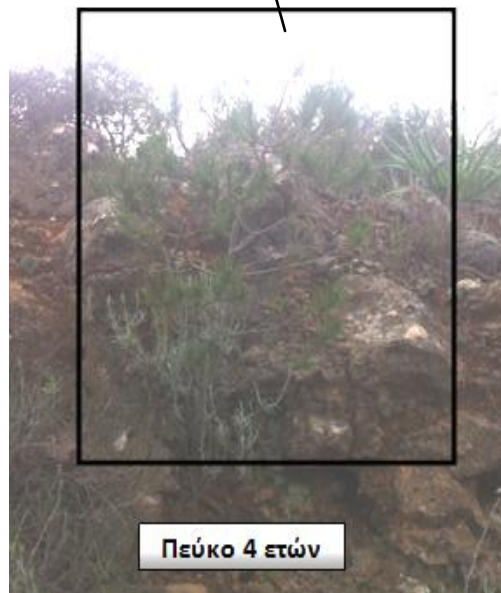
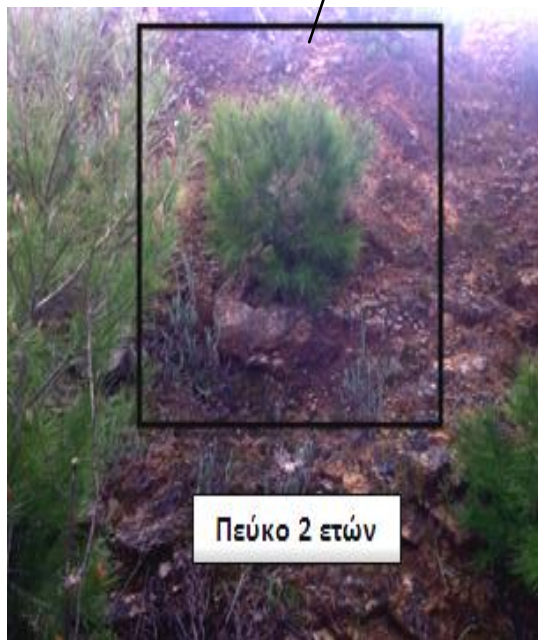
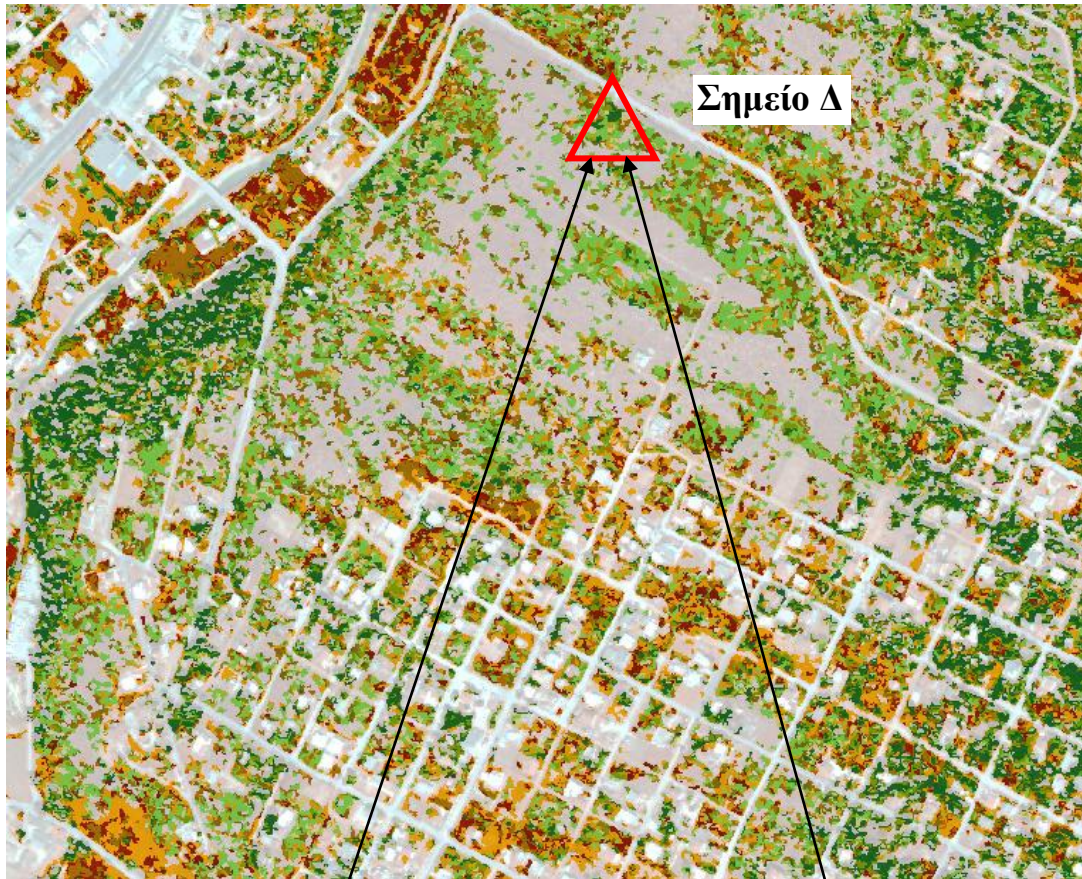
Η ηλικία των δενδρυλλίων ήταν 4 – 8 έτη (Εικόνα 5.5-1), γεγονός που σημαίνει ότι η αναγέννηση συνεχίζεται μέχρι 9 έτη μετά την πυρκαγιά. Η θαμνώδης βλάστηση που συνεξελίσσεται με τη φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης ασκεί ευεργετική επίδραση σ' αυτήν λόγω διευκόλυνσης των φυταρίων κυρίως στο σχηματισμό μυκόριζας στη σκίαση τους και της μείωσης της διαπνοής

Πίνακας 5.5-2: Απεικόνιση μεταπυρικής αναγέννησης κάθε ΔΕ ανά έτος



Προς το εσωτερικό του δάσους παρατηρήθηκε ότι υπήρχε αναγέννηση προηγούμενων ετών, η οποία δεν κήκε από το πέρασμα της φωτιάς. Συγκεκριμένα, η αναγέννηση στην καμένη περιοχή ήταν μεγαλύτερη από το δάσος. Στο δάσος υπήρχε ένα παχύ στρώμα πευκοβελόνων (0,2 cm) το οποίο πιθανώς να εμποδίζει τη φυσική αναγέννηση. Σύμφωνα με τον Ντάφη (1986), ο πυκνός υπόροφος που δημιουργείται σε ηλικιωμένες συστάδες χαλεπίου πεύκης εμποδίζει τη φυσική της αναγέννηση. Η πυρκαγιά έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή της ανταγωνιστικής βλάστησης ενώ επιπλέον ανοίγουν οι κλειστοί κώνοι και οι σπόροι πέφτουν στο έδαφος απαλλαγμένο από τη βλάστηση αυτή αλλά και το στρώμα των παλιών βελονών.

Όπως αναφέρουν οι Δασκαλάκου (1996) και άλλοι συγγραφείς (Ντάφης 1986, Ne'eman et al 1993), τα οικοσυστήματα αναγεννιούνται φυσικά μετά από πυρκαγιά, εφόσον δεν ακολουθεί επιπρόσθετη δευτερογενής διατάραξη. Μάλιστα, σύμφωνα με τους Waring and Schlesinger (1985), σε ορισμένα οικοσυστήματα, κυρίως πευκοδασών, η απουσία περιοδικών πυρκαγιών είχε ως αποτέλεσμα την αλλαγή στη βοτανική σύνθεση τους, τη συγκέντρωση υψηλών ποσοστών βιομάζας και την μείωση της φυτικής αναγέννησης.



Εικόνα 5.5-1: Απεικόνιση της φυσικής αναγέννησης ξυλώδους βλάστησης με διετή/τετραετή φυτά στο σημείο Δ.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1. Συμπεράσματα

Τα ποσοτικά αποτελέσματα της αξιολόγησης υποδεικνύουν ότι είναι δυνατή η παρακολούθηση της φυσικής αναγέννησης της βλάστησης σε οικοσυστήματα μετά από πυρκαγιές με χρήση δορυφορικών εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης. Η συστηματοποίηση των τηλεπισκοπικών διαδικασιών επεξεργασίας αποτελεί και συμβάλει στην αξιόπιστη και γρήγορη χαρτογράφηση των ειδών προς παρακολούθηση.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων καταδεικνύει ότι στο μεγαλύτερο μέρος της έκτασης εμφανίσθηκε επανεγκατάσταση της φυτικής βλάστησης, η οποία συγκροτείται από θαμνώδη και πλατύφυλλα είδη. Συνολικά μπορεί να ειπωθεί ότι η επίδραση της πυρκαγιάς στην βλάστηση, έχει κυρίαρχο στοιχείο την έντονη διαφοροποίηση των επιπτώσεων ανά υψομετρική ζώνη και από βορρά προς νότο της καμένης έκτασης.

Ως ειδικότερα γνωρίσματα αυτής της διαφοροποίησης μπορεί κανείς να περιγράψει:

- α) την απώλεια οριακών εκτάσεων σε ό,τι αφορά την εξάπλωση της βλάστησης και
- β) τη διάσπαση της συνέχειας του ενδοδασογενούς περιβάλλοντος από βορρά προς νότο.

Υπάρχουν επίσης ενδείξεις για ενδεχόμενο νέο μωσαϊκό διαφορετικής σύνθεσης και δομής της βλάστησης το οποίο να δημιουργήσει στο μέλλον μια ενδιαφέρουσα ποικιλότητα ενδιαιτημάτων. Ακόμα και οι κατηγορίες που εμφανίζουν καλή ως πολύ καλή αναγέννηση (θαμνώδη) χρίζουν εφαρμογής δασοκομικών διαδικασιών όπως γενική φροντίδα ή καλλιέργεια της αναγέννησης, επιλεκτική αραίωση των νεοφυτειών, ευνόηση πλατύφυλλων δεντρόδων ειδών, προκειμένου να ευνοηθεί η γρηγορότερη αποκατάσταση του δάσους όσο και η οικολογική βελτίωση του.

Πιο γενικά μιλώντας, αυτό που είναι σίγουρο και ισχύει για όλες τις κατηγορίες είναι η εφαρμογή φυτοϋγειονομικών μέτρων προστασίας, απαγόρευση βόσκησης και προστασία από τους καταπατητές που караδοκούν. Μετά από μια πυρκαγιά, το δάσος αδυνατεί να αντιμετωπίσει επιτυχώς πιθανές εισβολές παρασιτικών οργανισμών, όπως ξυλοφάγα ή φυλλοφάγα αρθρόποδα (Martinez-Sanchez κ.ά. 1999). Η συστηματική παρακολούθηση της κατάστασης της αναγέννησης για την εκτίμηση της επίδρασης τέτοιων οργανισμών είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της υγείας της αναγέννησης και της πιθανής λήψης πρόσθετων παρεμβάσεων.

Κάθε περιοχή χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα γνωρίσματα και τοπικές ιδιομορφίες (γεωμορφολογίας, χρήσεις γης, κλίμα κλπ), οι οποίες σε τελική ανάλυση καθορίζουν τη δομή και τη μεταπυρική πορεία της βλάστησης. Η αρθωτή δομή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, που χρησιμοποιεί τόσο την υφιστάμενη κατάσταση

και γνώση για την εκτίμηση της βαρύτητας των περιβαλλοντικών παραγόντων στην επίδραση της μεταπυρικής εξέλιξης της αναγέννησης όσο και γενικευμένα μοντέλα εκτίμησης της αναγέννησης αποτελεί ένα ευέλικτο εργαλείο για το σχεδιασμό ενός τοπικού μοντέλου πρόβλεψης της αναγέννησης που να οδηγεί στην καλύτερη διαχείριση και προστασία των καμένων περιοχών.

Γενικά, οι πυρκαγιές εφόσον δεν επαναλαμβάνονται σε σύντομα χρονικά διαστήματα, και συγκεκριμένα, πριν της πλήρης αποκατάστασης της φυτοκοινωνίας, μπορούν να ενισχύσουν τη φυσική αναγέννηση των πευκοδασών. Ωστόσο, τυχόν νέα πυρκαγιά πριν την αποκατάσταση της συνέχειας του δάσους ιδιαίτερα προς τη νότια και χαμηλότερα υψομετρικά περιοχή είναι πιθανό να προκαλέσει σοβαρό πλήγμα στην ακεραιότητα της περιοχής.

6.2. Προτάσεις

Βασική προϋπόθεση για την επανάκαμψη των φυσικών περιοχών που επηρεάστηκαν από την πυρκαγιά αποτελεί η απόλυτη προστασία των περιοχών αυτών από οικολογικά ασύμβατες αλλαγές χρήσεων γης και τον περιορισμό των ανθρώπινων δραστηριοτήτων έως ότου το οικοσύστημα επανέλθει στην πρότερη κατάστασή του. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η οικιστική πίεση που γνωρίζουν οι περιαστικές περιοχές της Αττικής γίνεται στην πλειονότητα της εις βάρος των εκτάσεων που αφορούν σε φυσικούς οικοτόπους και αποτελεί τη σημαντικότερη ίσως απειλή που αντιμετωπίζουν οι πρόσφατα καμένες περιοχές. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο επιβάλλεται να υπάρξει πολύ αυστηρή παρακολούθηση των χρήσεων της γης και να επειχθεί μηδενική ανοχή προς την όποια οικιστική αυθαιρεσία, αλλά και άλλων παράνομων δραστηριοτήτων, όπως επέκταση γεωργικών γαιών στις καμμένες δασικές εκτάσεις. Αξιόλογο είναι να γίνονται προτάσεις, οι οποίες να αποβλέπουν στο σχεδιασμό και στη διάδοση μιας εύκολα εφαρμόσιμης πρακτικής που δύναται να χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχες περιπτώσεις μεταπυρκαγιών, προκειμένου να ληφθούν εγκαίρως τα μεταπυρρικά μέτρα αποκατάστασης και διαχείρισης του εκάστοτε τόπου.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν άλλωστε, είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα ειδικά για τους άμεσα εμπλεκόμενους φορείς, την επιστημονική κοινότητα εν γένει καθώς και κάθε ευαισθητοποιημένο πολίτη. Δυστυχώς όμως είναι πολύ δύσκολο να γενικευτεί μια τέτοια προσπάθεια καθώς η πλειονότητα των εμπλεκόμενων φορέων δεν έχει τις εξειδικευμένες γνώσεις που απαιτούνται. Για την επίτευξη των παράπανω κρίνεται αναγκαία η ενίσχυση της αρμόδιας δασικής υπηρεσίας με το απαραίτητο προσωπικό και πόρους προκειμένου να ανταπεξέλθει στο έργο της.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alistair M.S. Smith, Crystal A. Kolden, Wade T. Tinkham, Alan F. Talhelm, John D. Marshall, Andrew T. Hudak, Luigi Boschetti, Michael J. Falkowski, Jonathan A. Greenberg, John W. Anderson, Andrew Kliskey, Lilian Alessa, Robert F. Keefe, James R. Gosz, Remote sensing the vulnerability of vegetation in natural terrestrial ecosystems, *Remote Sensing of Environment*, Volume 154, November 2014, Pages 322-337, ISSN 0034-4257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.038>.

Antonio Lanorte, Rosa Lasaponara, Michele Lovallo, Luciano Telesca, Fisher–Shannon information plane analysis of SPOT/VEGETATION Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series to characterize vegetation recovery after fire disturbance, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 26, February 2014, Pages 441-446, ISSN 0303-2434, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2013.05.008>.

B. Di Mauro, F. Fava, L. Busetto, G.F. Crosta, R. Colombo, Post-fire resilience in the Alpine region estimated from MODIS satellite multispectral data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 32, October 2014, Pages 163-172, ISSN 0303-2434, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.04.010>.

Gareth Ireland, George P. Petropoulos, Exploring the relationships between post-fire vegetation regeneration dynamics, topography and burn severity: A case study from the Montane Cordillera Ecozones of Western Canada, *Applied Geography*, Volume 56, January 2015, Pages 232-248, ISSN 0143-6228

George H. Mitri, Ioannis Z. Gitas, Mapping post-fire forest regeneration and vegetation recovery using a combination of very high spatial resolution and hyperspectral satellite imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 20, February 2013, Pages 60-66, ISSN 0303-2434, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2011.09.001>.

George P. Petropoulos, Hywel M. Griffiths, Dionissios P. Kalivas, Quantifying spatial and temporal vegetation recovery dynamics following a wildfire event in a Mediterranean landscape using EO data and GIS, *Applied Geography*, Volume 50, June 2014, Pages 120-131, ISSN 0143-6228, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.02.006>.

Kailidis, D. 1992. Forest fires in Greece, p. 27-40. In: Seminar of forest fire prevention, land use and people, ECE-FAO-ILO, Athens 1991. Hellenic Ministry of Agriculture, General Secretariat of Forest and Natural Environment.

Liakos, L.G. 1973. Present studies and history of burning in Greece, p. 65-95. In: Proceedings of the 13th annual tall timbers fire ecology conference.

Martínez-Sánchez, J.J., Ferrandis, P., Heras, J., Herranz, J.M., 1999. Effect of burnt wood removal on the natural regeneration of *Pinus halepensis* after fire in a pine forest in Tus valley (SE Spain). *Forest Ecology and Management* 123: 1-10.

Naveh, Z. 1991. The role of fire in Mediterranean vegetation. *Botanical Chronic* 10: 385-405.

Ne'eman, G., H. Lahav and I. Izhaki. 1993. The resilience of vegetation to fire in an East-Mediterranean pine forest on Mount Carmel, Israel: the effect of post-fire management, p. 127-140. In: Fire in Mediterranean ecosystems. Thabaud L. & Prodon R. (eds), Commission of the European Communities, Brussels.

Richard G. Benyon, Patrick N.J. Lane, Ground and satellite-based assessments of wet eucalypt forest survival and regeneration for predicting long-term hydrological responses to a large wildfire, *Forest Ecology and Management*, Volume 294, 15 April 2013, Pages 197-207, ISSN 0378-1127, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.04.003>.

S. Veraverbeke, B. Somers, I. Gitas, T. Katagis, A. Polychronaki, R. Goossens, Spectral mixture analysis to assess post-fire vegetation regeneration using Landsat Thematic Mapper imagery: Accounting for soil brightness variation, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 14, Issue 1, February 2012, Pages 1-11, ISSN 0303-2434

S. Veraverbeke, I. Gitas, T. Katagis, A. Polychronaki, B. Somers, R. Goossens, Assessing post-fire vegetation recovery using red-near infrared vegetation indices: Accounting for background and vegetation variability, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 68, March 2012, Pages 28-39, ISSN 0924-2716

Αϊναλή Κ., 2012. «Σύγκριση δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής ανάλυσης στην ταξινόμηση τύπων βλάστησης με την Αντικειμενοστραφούς ανάλυσης: Εφαρμογή στην περιοχή Άνω Καλαμά του Δήμου Πωγωνίου» Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Αθήνα, Οκτώβριος 2012.

Αργιαλάς Δ. και Τζώτσος Α., 2002. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Αθήνα. «*Η συμβολή του eCognition στην χαρτογράφηση γεωμορφολογικών σχηματισμών από ψηφιακό μοντέλο εδάφους.*» Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΕΜΠ Αθήνα, 28 Φεβρουαρίου και 1 Μαρτίου 2002, CD-ROM πρακτικών συνεδρίου, σελ. 15.

Αργιαλάς Δ., 1998. «*Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση*». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Αθήνα, 1998. Κεφ. 7 Σελ. 46-55, Κεφ. 5 σελ.2-4, Κεφ. 3 σελ. 3-6.

Αργιαλάς Δ., Καραντζαλος Κ., Μαυραντζά, Ο., Νούτσου Β., Τζώτσος Α., Κουτρούμπας Γ., 2005. «*Ανάλυση εικόνων, αναγνώριση προτύπων και όραση υπολογιστών στην Τηλεπισκόπηση: Μέθοδοι και Εφαρμογές*». Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ζωγράφου 15780. Φεβρουάριο 2005.

Αργιαλάς Δ., Τζώτσος Α., Δερζέκος Π., 2002. «*eCognition: Ένα εργαλείο χαρτογράφησης γεωμορφών.*». Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, ΑΠΘ Θεσσαλονίκη, 3-6 Οκτωβρίου 2002, σελ. 24-30.

Δασκαλάκου, Ε. 1996. Οικοφυσιολογία της μεταπυρικής αναγέννησης της Χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*). Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Βιολογίας, σελ. 180.

Καϊλίδης, Δ. 1981. Δασικές Πυρκαγιές, Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη , Θεσ/κη, σελ.421.

Καρακίζη, Χ, 2013. «Αμπελουργία Ακριβείας: Εντοπισμός αμπελοτεμαχίων ξαθ Διαχωρισμός ποικιλιών αμπέλου με Τηλεπισκοπικές μεθόδους». Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Αθήνα, Απρίλιος 2013.

Μιχαηλίδου Σταματία, 2011. «Αυτόματη ανίχνευση μεταβολών κτισμάτων στο περιαστικό χώρο από δορυφορικές απεικονίσεις πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας μέσω ανάπτυξης ασαφούς βάσης γνώσης σε αντικειμενοστρεφές περιβάλλον ανάλυσης εικόνας». Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Αθήνα, Ιούλιος 2011.

Ντάφης, Σ. 1986. Δασική οικολογία. Εκδόσεις ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη, σελ. 443.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.8-1: Φυσική αναγέννηση Χαλέπιας πεύκης στην Αγία Τριάδα, εννιά χρόνια μετά τη φωτιά όπου έγιναν υλοτομίες.....	16
Εικόνα 2.4.1-1: Δορυφόρος QuickBird, Πηγή DigitalGlobe.com.....	22
Εικόνα 2.4.1-2: Δορυφόροι WorldView-1 και -2, Πηγή DigitalGlobe.com.....	24
Εικόνα 3.1-1: Η χωρική θέση του δήμου Ραφήνας-Πικερμίου στην Αττική.	26
Εικόνα 3.3.1-1: Χαλέπια πεύκη - <i>Pinus halepensis</i> (A&B), Αγία Τριάδα.....	30
Εικόνα 3.3.1-2: Καρπός (A) & Νεογέννητο είδος Χαλέπιας πεύκης - <i>Pinus halepensis</i> , Αγία Τριάδα.....	30
Εικόνα 3.3.1-3: Δέντρο (A) & Καρπός (B) Αρκέυθος φοινικική - <i>Juniperus phoenicea</i> , Αγία Τριάδα.....	31
Εικόνα 3.3.1-4: Ελιά - <i>Olea europaea</i> , Αγία Τριάδα.	32
Εικόνα 3.3.1-5: Αγριελιά - <i>Olea sylvestris</i> , Αγία Τριάδα.....	33
Εικόνα 3.3.2-1: Πουρνάρι - <i>Quercus coccifera</i> (A&B), Αγία Τριάδα.....	34
Εικόνα 3.3.2-2: Φιλλύκι - <i>Phyllirea latifolia</i> (A&B), Αγία Τριάδα.....	35
Εικόνα 3.3.2-3: Πιστακιά - <i>Pistacia terebinthus</i> (A&B), Αγία Τριάδα.	36
Εικόνα 3.3.2-4: Λαδανιά - <i>Cistus incanus</i> , Αγία Τριάδα.....	37
Εικόνα 3.3.2-5: Ασπάλαθος - <i>Calycotome villosa</i> , Αγία Τριάδα.	37
Εικόνα 4.1 -1: Στοιχεία που δόθηκαν από το Δασαρχείο Πεντέλης σχετικά με την θέση Αγίας Τριάδας στην Ανατολική Αττική.	40
Εικόνα 4.1.2-1: Έντονη αύξηση των αείφυλλων πλατύφυλλων στις θέσεις όπου υπήρχαν μεικτές συστάδες αείφυλλων πλατύφυλλων και χαλεπίου πεύκης (A&B).....	41
Εικόνα 4.2-1: Εισαγωγή δορυφορικής εικόνας στο eCognition.	42
Εικόνα 4.3-1: Οικισμός Αγίας Τριάδας.	43
Εικόνα 4.3-2: Σύγκριση φασματικών καναλιών και μήκη κύματος για τους δορυφόρους QB, WV1 και WV2. Πηγή: http://earthzine.org/2011/06/27/very-high-spatial-resolution-imagery-for-urban-applications/	44
Εικόνα 4.3-3: Δορυφορικές εικόνες QB '06, '07, '09 με χρήση ψευδέχρωμου συνδυασμού καναλιών RGB (432).	44
Εικόνα 4.3-4: Δορυφορικές εικόνες WV2 '10, '11 με χρήση ψευδέχρωμων καναλιών RGB (753).....	45
Εικόνα 4.4-1: Δημιουργία επιπέδων κατάτμησης και οι παράμετροι του αλγορίθμου.	46
Εικόνα 4.4.1-1: Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης στο Level_1 για τις εικόνες QB και WV2.....	47
Εικόνα 4.4.1-2: Δοκιμές παραμετροποίησης πολλαπλής κατάτμησης στο Level_1.	47

Εικόνα 4.4.2-1: Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής.....	48
κατάτμηση στο επίπεδο Level_2.	48
Εικόνα 4.4.3-1: Δοκιμές παραμετροποίησης πολλαπλής κατάτμησης στο Level_3.	49
Εικόνα 4.4.3-2: Η παραμετροποίηση του αλγορίθμου πολλαπλής κατάτμησης στο επίπεδο Level_3.	50
Εικόνα 4.5-1: Περιγραφή της Ιεραρχίας Τάξεων στο πεδίο «Κληρονομιά» (Inheritance), στο λογισμικό eCognition.	51
Εικόνα 4.6-1: Απεικόνιση δομής ταξινόμησης στις εικόνες QB & WV.	53
Εικόνα 4.6.1-1: Ταξινομημένες εικόνες με βάση το δείκτη βλάστησης NDVI με τη χρήση του update range και συνάρτηση της μορφής S θετικής κλίσης για διαχωρισμό της κατηγορίας Βλάστησης.....	55
Εικόνα 4.6.1-2: Ταξινομημένες εικόνες με βάση της μέσης τιμής του χαρακτηριστικού Brightness με τη χρήση του update range και συνάρτηση της μορφής S αρνητικής κλίσης για διαχωρισμό της κατηγορίας Σκιάς.....	56
Εικόνα 4.6.1-3: Συνδυασμός των κανόνων για την ταξινόμηση Αδιαπέρατη επιφάνεια.	57
Εικόνα 4.6.1-4: Απεικόνιση σφαλμάτων που προκύπτουν κατά την ταξινόμηση της Σκιάς.	58
Εικόνα 4.6.1-5: Αποτέλεσμα ταξινόμησης του Level_2 στις εικόνες QB και WV2.	59
Εικόνα 4.6.2-1: Συνάρτηση και όρια συμμετοχής, τα οποία δηλώνουν ότι το 45% ενός αντικειμένου έχει χαρακτηριστεί ως «Vegetation (L2)».....	60
Εικόνα 4.6.2-2: Απεικόνιση της τεχνητής επιφάνειας «Artificial surfaces (L3)» με την εφαρμογή «Mean Blue» στο Level_3 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με θετική κλίση.....	61
Εικόνα 4.6.2-3: Απεικόνιση του γυμνού εδάφους «Bare land (L3)» με την εφαρμογή κανόνα «RED/GREEN» στο Level_3 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με θετική κλίση.	62
Εικόνα 4.6.2-4: Απεικόνιση της καμένης έκτασης «Burnt area (L3)» με την εφαρμογή κανόνων «MSAVI» & «NDVI» στο Level_3 με συνάρτηση συμμετοχής της μορφής S με αρνητική κλίση.	63
Εικόνα 4.6.2-5: Απεικόνιση της καλλιέργειας «Crop land (L3)» με την εφαρμογή χαρακτηριστικού «Shape Index» στο Level_3 με συνάρτηση της μορφής [].	64
Εικόνα 4.6.2-6: Αποτέλεσμα ταξινόμησης του Level_3 στις εικόνες QB και WV2.....	65
Εικόνα 4.6.3-1: Αποτέλεσμα ταξινόμησης του Level_1 στις εικόνες QB και WV2.....	67
Εικόνα 5.1-1: Αποτέλεσμα ταξινόμησης του πρώτου επιπέδου και επιλογή 9 δειγματοληπτικών επιφανειών.....	69
Εικόνα 5.2-1: Δειγματοληπτικές επιφάνειες από επίγειο έλεγχο.....	71
Εικόνα 5.4-1: Κατηγορίες των δασικών ειδών πρώτου επιπέδου.....	80
Εικόνα 5.4-2: Διαχρονική εξέλιξη Pinus halepensis βάση ταξινομήσεων.	81
Εικόνα 5.4-3: Διαχρονική εξέλιξη Calycotome villosa βάση ταξινομήσεων.	82

Εικόνα 5.4-4: Αποτέλεσμα ταξινόμησης θαμνώδης βλάστησης σε σημεία με έντονη κλίση εδάφους.....	83
Εικόνα 5.5-1: Απεικόνιση της φυσικής αναγέννησης ξυλώδους βλάστησης με διετή/τετραετή φυτά στο σημείο Δ.	86

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.3-1: Σύγκριση μεθόδων χαρτογράφησης καμένων εκτάσεων (Πηγή: E. Chuviesco).	10
Πίνακας 1.4-1: Ετήσια κατανομή των καμένων εκτάσεων στο νομό Αττικής (Πηγή: WWF Ελλάς).	11
Πίνακας 1.4-2: Καμένες εκτάσεις ανά τύπο βλάστησης στο νομό Αττικής (Πηγή: WWF Ελλάς).	12
Πίνακας 1.4-3: Κατανομή περιστατικών σε σχέση με το σημείο έναρξης της πυρκαγιάς στο νομό Αττικής (Πηγή: WWF Ελλάς).	12
Πίνακας 2.4.1-1: Χαρακτηριστικά των φασματικών ζωνών του δορυφόρου QuickBird.	23
Πίνακας 4.1.1-1: Τα στοιχεία των δορυφορικών εικόνων, που χρησιμοποιήθηκαν για την κύρια περιοχή μελέτης.	41
Πίνακας 4.6.1-1: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Vegetation (L2) με την εφαρμογή «NDVI» στο Level_2.	54
Πίνακας 4.6.1-2: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Shadow (L2) με την εφαρμογή του χαρακτηριστικού «Brightness» στο Level_2.	57
Πίνακας 4.6.1-3: Προβολή των κατηγοριών ταξινόμησης με τα χαρακτηριστικά και τις τιμές ασάφειας για το επίπεδο Level_2.	58
Πίνακας 4.6.2-1: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Artificial surfaces (L3) με την εφαρμογή «Mean Blue» στο Level_3.	61
Πίνακας 4.6.2-2: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Bare land(L3) με την εφαρμογή του κανόνα «RED/GREEN» στο Level_3.	62
Πίνακας 4.6.2-3: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Burnt area (L3) με την εφαρμογή των κανόνων «MSAVI» & «NDVI» στο Level_3.	63
Πίνακας 4.6.2-4: Τιμές ασάφειας για την ταξινόμηση Crop land(L3) με την εφαρμογή του χαρακτηριστικού «Shape Index» στο Level_3.	64
Πίνακας 4.6.2-5: Προβολή των κατηγοριών ταξινόμησης με τα χαρακτηριστικά και τις τιμές ασάφειας για το επίπεδο Level_3.	66
Πίνακας 5.1-1: Κατάλογος των δειγματοληπτικών επιφανειών για την εκτίμηση της μεταβολής της σύνθεσης της βλάστησης και την παρακολούθηση της φυσικής αναγέννησης.	69
Πίνακας 5.1-2: Κατάλογος δασικών ειδών της φωτοερμηνείας και αποτέλεσμα ταξινόμησης.	70
Πίνακας 5.2-2: Κατάλογος των δειγματοληπτικών επιφανειών με βάση τον επίγειο έλεγχο. .	72
Πίνακας 5.2-3: Κατάλογος δασικών ειδών του επίγειου ελέγχου και αποτέλεσμα ταξινόμησης.	73

Πίνακας 5.3.5: Πίνακας σύγκρισης για την ταξινόμηση δασικών ειδών στην εικόνα του WV2011.....	79
Πίνακας 5.5-1: Ποσοστά εδαφοκάλυψης ΔΕ ανά έτος.....	84
Πίνακας 5.5-2: Απεικόνιση μεταπτυρικής αναγέννησης κάθε ΔΕ ανά έτος.....	85