



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Ανίχνευση αλλαγών χρήσεων γης στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής
με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων Landsat.

Ανδρώνη Δήμητρα Αλεξάνδρα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Βασιλεία Καραθανάση

Αθήνα, Μάρτης 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Ανίχνευση αλλαγών χρήσεων γης στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής με τη χρήση
τηλεπισκοπικών δεδομένων Landsat.

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Βασιλεία Καραθανάση

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις:

.....

Β. Καραθανάση

.....

Δ. Αργιαλάς

.....

Κ. Καραντζαλος

Αθήνα, Ιούνιος 2021

.....
Ανδρώνη Δήμητρα Αλεξάνδρα

Διπλωματούχα Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π

Copyright © Ανδρώνη Δήμητρα Αλεξάνδρα, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο εντοπισμός και η ανίχνευση των αλλαγών χρήσεων γης είναι ένα αντικείμενο που απασχολεί αρκετές επιστημονικές κοινότητες. Η εύρεση της καλύτερης μεθόδου ανίχνευσης αλλαγών είναι αρκετά σημαντική, καθώς αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών. Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο της Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και έχει ως σκοπό την διερεύνηση της καλύτερης τεχνικής αλλαγών χρήσεων γης στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ. Βασιλεία Καραθανάση, η οποία έδωσε τις κατευθυντήριες γραμμές για το επιστημονικό περιεχόμενο της εργασίας, ανέγνωσε τμήματα του κειμένου, υπέδειξε παραλήψεις και έκανε χρήσιμες διορθώσεις.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, στο σύνολο του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης για την τεχνική και επιστημονική βοήθεια που προσέφεραν, οποιαδήποτε στιγμή και αν χρειάστηκε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου και συμφοιτητές για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε μαζί. Ειδικά θέλω να αναφέρω την Κέλλυ, το Γιώργο, την Έλενα, την Ανδρονίκη και την Αγγελική για την υποστήριξη και την αγάπη τους.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που υπομονετικά μου παρίσταται σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
Περίληψη	8
ABSTRACT.....	9
1. Εισαγωγή.....	10
2. Η Τεχνολογία τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση αλλαγών χρήσεων γης	11
2.1. Εισαγωγή.....	11
2.1.1. Η τεχνολογία της Τηλεπισκόπησης.....	11
2.1.2. Εξέλιξη αισθητήρων μεσαίας χωρικής ανάλυσης.....	14
2.2. Είδη αλλαγών χρήσης / κάλυψης γης και μέθοδοι ανίχνευσής τους	17
2.3. Τηλεπισκοπικοί μέθοδοι ανίχνευσης Αλλαγών	19
2.3.1. Τεχνικές προ-ταξινόμησης.....	28
2.3.2. Τεχνικές μετα-ταξινόμησης	35
2.4 Ο αλγόριθμος Random Forest	38
2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τις τεχνικές και τις εκτιμήσεις ανίχνευσης αλλαγών 41	
3. Περιοχή Μελέτης και Δεδομένα.....	43
3.1. Περιοχή Μελέτης.....	43
3.1.1. Πρωτογενής Τομέας	44
3.1.2. Κλίμα	44
3.1.3. Χρήσεις Γης.....	45
3.1.4. Πυρκαγές	46
3.2. Δεδομένα.....	47
3.2.1. Απόκτηση Δεδομένων	49
4. Προ-επεξεργασία Δεδομένων	51
4.1. Ατμοσφαιρική Διόρθωση με το μοντέλο Flaash	51
4.2. Γεωμετρική Διόρθωση	54
4.3. Περικοπή Εικόνας.....	54
4.4. Αποτελέσματα προ-επεξεργασίας.....	55
5. Ανίχνευση Αλλαγής με τεχνικές χωρίς ταξινόμηση	56
5.1. Διαφορά εικόνας	57
5.1.1. Μέθοδος Κατωφλίωσης Otsu	58
5.1.2. Τυποποιημένες Τιμές (Standardized Values ή z-scores)	59
5.1.3. Αποτελέσματα	60

5.2.	Διαίρεση εικόνας.....	61
5.3.	Παλινδρόμηση εικόνας.....	63
5.4.	Ανάλυση του διανύσματος αλλαγών (CVA).....	64
6.	Ανίχνευση Αλλαγής με τεχνικές ταξινόμησης.....	66
6.1.	Σύγκριση μετά από ταξινόμηση	66
6.1.1.	Υλοποίηση του αλγορίθμου Random Forest	66
6.1.2.	Ταξινόμηση.....	73
6.1.3.	Αποτελέσματα Ταξινομήσεων	75
6.1.4.	Αλλαγές χρήσεων γης	79
6.2.	Συνδιασμένη Ανάλυση	88
7.	Σχολιασμός Τεχνικών Ανίχνευσης Αλλαγής.....	91
8.	Συμπεράσματα	120
	Πίνακας Πινάκων.....	121
	Πίνακας Εικόνων	122
	Αναφορές.....	124

Περίληψη

Με την πάροδο των χρόνων οι χρήσεις γης υφίστανται αλλαγές λόγω φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων. Με την εξέλιξη των δορυφόρων και τον τεράστιο όγκο εναέριων δεδομένων δίνεται η δυνατότητα να ανοιχθούν νέοι ορίζοντες στην ανίχνευση αλλαγών.

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι ο εντοπισμός αλλαγών χρήσεων γης και η εύρεση της βέλτιστης τεχνικής. Περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της Ανατολικής Αττικής. Μελετώνται τεχνικές προ-ταξινόμησης όπως η διαφορά εικόνας, η διαίρεση εικόνας, η παλινδρόμηση και η ανάλυση του διανύσματος αλλαγής και τεχνικές μετά-ταξινόμησης όπως η σύγκριση μετά την ταξινόμηση και η συνδυασμένη ανάλυση. Η υλοποίηση των τεχνικών αυτών εφαρμόστηκε σε εικόνες του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και των κυρίων συνιστωσών. Οι έξι τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών συγκρίθηκαν για την εύρεση της μεθόδου που υπερτερεί στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Όλες οι τεχνικές αναγνώρισαν αλλαγές, αλλά καλύτερη εντοπίστηκε η συνδυασμένη ανάλυση.

ABSTRACT

Over the years, land uses are changing due to natural and man-made factors. Due to satellites' evolution as well as the huge amount of aerial data derived from them, changing detection process is implemented in a more efficient way.

The purpose of the present thesis is to identify land use changes and to encounter the best technique of their detection. The study area is a part of East Attica. Two types of techniques were implemented, the unclassified and classified. Specifically, regarding the former one, image difference, image splitting, regression, analysis of the change vector were used, whilst for the latter technique, post-sort comparison and combined analysis. The implementation of these techniques was applied to images of the normalized vegetation index and the principal components (PCA). The six change detection techniques were compared in order to find the method that provides the best results. Although that all of the techniques used recognized changes, combined analysis was the most effective technique.

1. Εισαγωγή

Η ανίχνευση αλλαγών αποτελεί μια διαδικασία εντοπισμού διαφορών μιας κατάστασης ενός αντικειμένου ή φαινομένου, παρατηρώντας το σε διαφορετικούς χρόνους. Η έγκαιρη και ακριβής ανίχνευση των αλλαγών των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης, παρέχει τα θεμέλια για την κατανόηση των σχέσεων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του ανθρωπογενούς και του φυσικού περιβάλλοντος. Όλοι οι αλγόριθμοι ανίχνευσης αλλαγών έχουν πλεονεκτήματα και καμία τεχνική δεν είναι βέλτιστη και εφαρμόσιμη σε όλες τις συνθήκες. Στην πράξη, διαφορετικές τεχνικές συγκρίνονται για την εύρεση των πιο χρήσιμων αποτελεσμάτων ανίχνευσης αλλαγών για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής είναι σημαντική.

Έξι τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών, image differencing (διαφορά εικόνας), image rationing (διαίρεση εικόνας), image regression (παλινδρόμηση εικόνας), Vegetation Index Differencing (VID), change vector analysis (CVA) (Ανάλυση διανύσματος μεταβολής), Principal Component Analysis (PCA), χωρίς ταξινόμηση και δυο τεχνικές με ταξινόμηση, σύγκριση μετά από ταξινόμηση και συνδυασμένη ανάλυση χρησιμοποιούνται ευρέως στο πλαίσιο της τηλεπισκόπησης και αποτελούν το αντικείμενο έρευνας της παρούσας εργασίας.

Η image differencing (διαφορά εικόνας) είναι συνηθισμένη τεχνική για την ανίχνευση αλλαγών σε δασικές και γεωργικές περιοχές (Woodwell, 1986), (Singh, 1989), (Fung, 1990), (Corpin, 1996), (Cohen, 1998)). Η image rationing (διαίρεση εικόνας) μετριάξει τις επιπτώσεις της τοπολογίας όπως σκίαση και φωτισμός (Berberoglu, 2009). Οι δυσμενείς επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών συνθηκών και η γωνία του ήλιου μειώνονται με τη μέθοδο image regression (παλινδρόμηση) (Corpin, 1996). Η τεχνική CVA είναι μια ραδιομετρική τεχνική, όπου η κύρια χρησιμότητά της είναι η ανίχνευση όλων των αλλαγών που υπάρχουν στα πολυφασματικά δεδομένα (Malila, 1980). Ο τεράστιος όγκος των δορυφορικών δεδομένων περιορίζεται με την ανάλυση των κυρίων συνιστωσών (PCA). Οι τεχνικές ταξινομήσεων επιτρέπουν τον προσδιορισμό του τύπου της αλλαγής.

2. Η Τεχνολογία τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση αλλαγών χρήσεων γης

2.1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, η τεχνολογία και οι μέθοδοι τηλεπισκόπησης έχουν εξελιχθεί δραματικά και έχουν συμπεριλάβει μια σειρά αισθητήρων που λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας οι οποίοι συμβάλουν σημαντικά στην παρακολούθηση και διαχείριση της γης. Ο συνδυασμός της πληθώρας διαθέσιμων τηλεπισκοπικών δεδομένων, η μείωση του κόστους των δεδομένων αυτών και η ανάπτυξη βελτιωμένων μεθόδων ανάλυσης, καθιστούν την επιστήμη της τηλεπισκόπησης αρκετά σημαντική σε έρευνες που αφορούν την παρατήρηση και παρακολούθηση της κάλυψης της γης. Καθώς η ζήτηση ποσότητας και ποιότητας πληροφοριών αυξάνεται και η τεχνολογία συνεχίζει να βελτιώνεται, η τηλεπισκόπηση θα γίνει ολοένα και πιο κρίσιμη στο μέλλον.

Οι σχεδιαστές και διαχειριστές της γης έχουν πολλές και ποικίλες ευθύνες και καθήκοντα (Jensen, 1999). Η ικανότητά τους να ολοκληρώσουν τις εργασίες διαχείρισης της γης, παρεμποδίζεται από την έλλειψη ολοκληρωμένων πληροφοριών σχετικά με τους τύπους και τα ποσοστά αλλαγής της χρήσης γης, όπως και με τα στοιχεία σχετικά με τις αιτίες, τις κατανομές και τις συνέπειες αυτών των αλλαγών (Loveland, 2002). Για παράδειγμα, στο αγροτικό-αστικό περιβάλλον, μεγάλες αγροτικές εκτάσεις μετατρέπονται γρήγορα σε αστικές χρήσεις γης. Αυτή η δυναμική των αλλαγών καθιστά δύσκολο για τους σχεδιαστές να αποκτήσουν ή να διατηρήσουν ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη και τη χρήση γης, όπου οι τυπικές διαδικασίες ενημέρωσης είναι σε κλίμακα διαστήματος 5 ετών (Chen, 2005).

Αν και το πλήρες δυναμικό της τεχνολογίας της τηλεπισκόπησης για εφαρμογές ανίχνευσης αλλαγών δεν έχει ακόμη αξιοποιηθεί πλήρως, οι οργανισμοί σχεδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό και διεθνές επίπεδο αναγνωρίζουν πλέον την ανάγκη για πληροφορίες τηλεπισκόπησης, για να συμβάλουν στη χάραξη πολιτικής και να παρέχουν πληροφορίες για μελλοντικά πρότυπα και τάσεις αλλαγών (Jensen, 1999).

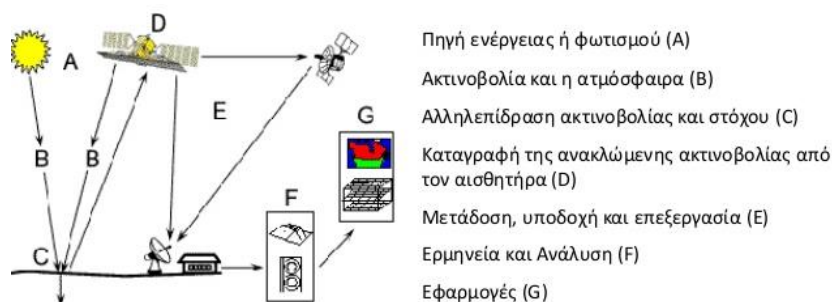
Οι πληροφορίες τηλεπισκόπησης, σε συνδυασμό με τις διαθέσιμες τεχνολογίες του GPS και GIS, μπορούν να αποτελέσουν τη βάση πληροφοριών πάνω στην οποία μπορούν να ληφθούν ορθές αποφάσεις σχεδιασμού, ενώ παραμένουν οικονομικά αποδοτικές (Franklin, 2000).

2.1.1. Η τεχνολογία της Τηλεπισκόπησης

Ο όρος «Τηλεπισκόπηση», χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στις Ηνωμένες Πολιτείες τη δεκαετία του 1950 από την Evelyn Pruitt του Υπουργείου Ναυτικών Ερευνών των ΗΠΑ. Η τηλεπισκόπηση (RS) χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει την επιστήμη και την τέχνη της απόκτησης πληροφοριών σχετικά με ένα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο που ερευνάται από μια συσκευή που καταγράφει τις φασματικές ιδιότητες των επιφανειακών υλικών από τη γη από απόσταση (Singh, 1989), (Chen, 2005)).

Καθοριστικός παράγοντας στην καταγραφή της ενέργειας, είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των επιφανειακών χαρακτηριστικών της γης. Βασικά, υπάρχουν δύο τύποι οργάνων τηλεπισκόπησης, τα παθητικά και τα ενεργητικά. Τα παθητικά όργανα ανιχνεύουν τη φυσική ενέργεια που αντανακλάται ή εκπέμπεται από την

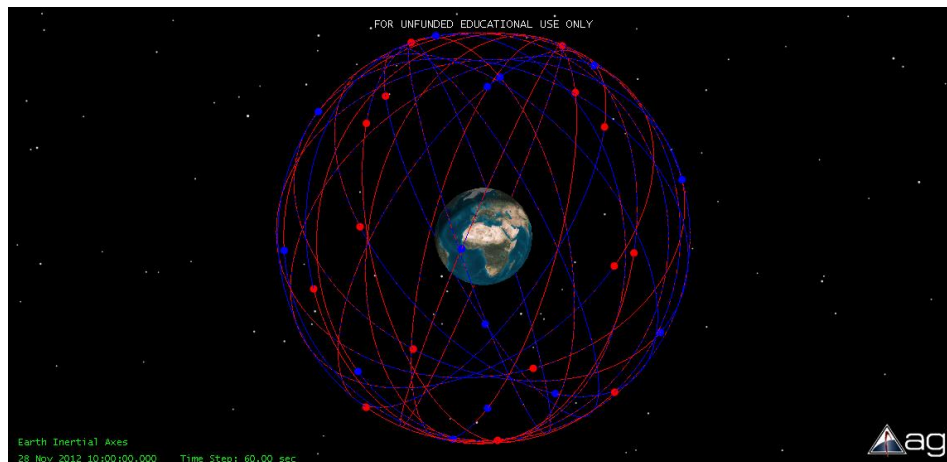
παρατηρούμενη σκηνή, ενώ τα ενεργητικά όργανα παρέχουν τη δική τους ενέργεια (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) για να φωτίζουν το αντικείμενο ή τη σκηνή που παρατηρούν.



Εικόνα 1. Τα επτά βήματα που αποτελούν το βασικό σύνολο επεξεργασίας των διαστημικών δεδομένων τηλεπισκόπησης. (Πηγή: (Αθηνών, 2014))

Η τηλεπισκόπηση από αερομεταφερόμενες και διαστημικές πλατφόρμες παρέχει τεράστιο αριθμό πολύτιμων δεδομένων για την επιφάνεια της γης, συμπεριλαμβανομένων των αεροφωτογραφιών, των δορυφορικών εικόνων, των συνόλων χωρικών δεδομένων και άλλων δεδομένων (Paradzagi, 2008). Η αυξημένη διαθεσιμότητα δορυφορικών εικόνων μεσαίας έως υψηλής ανάλυσης από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, προσφέρει πλήθος δεδομένων που ποικίλουν ανάλογα με τη χωρική, ραδιομετρική, φασματική και χρονική ανάλυση (Stoney, 2006). Η ψηφιακή μορφή τους τα καθιστά κατάλληλα για την επεξεργασία τους με χρήση λογισμικών επεξεργασίας ψηφιακών απεικονίσεων. Όλα αυτά έχουν κάνει τα τηλεπισκοπικά δεδομένα να είναι η κύρια πηγή για διάφορες εφαρμογές του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (Lu, 2004), (Kennedy, 2009)).

Παρόλο που τα μετεωρολογικά δορυφορικά δεδομένα χαμηλής ανάλυσης είναι διαθέσιμα από τη δεκαετία του 1960, δορυφορικά τηλεπισκοπικά δεδομένα που απεικονίζουν την επιφάνεια της Γης, υπάρχουν από το 1972, με την έναρξη της πρώτης δορυφορικής αποστολής Landsat. Τα δεδομένα αυτά ήταν μεσαίας χωρικής ανάλυσης (δηλαδή, 250m) και ουσιαστικά καθορίζουν την έναρξη μιας σημαντικής ερευνητικής δραστηριότητας στην τεχνολογία της τηλεπισκόπησης, την ανάλυση δεδομένων και τις σχετικές εφαρμογές, οι οποίες συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε πολλαπλασιασμός δορυφορικών πλατφόρμών με μεγάλο αριθμό αισθητήρων (π.χ. Terra και ENVISAT) και υψηλότερες χωρικές αναλύσεις (π.χ. IKONOS και Quickbird).



Εικόνα 2. Προσομοίωση Δορυφορικού Σχηματισμού. (Πηγή: (Μπούσιας-Αλεξάκης, 2013))

Οι συνεχώς αυξανόμενες δορυφορικές αποστολές έχουν ως αποτέλεσμα τη συλλογή και διάθεση χιλιάδων τρισεκατομμυρίων bytes δεδομένων, πολύτιμων για εφαρμογές σχεδιασμού και διαχείρισης γης (Jensen, 1999).

Οι δορυφορικές εικόνες τηλεπισκόπησης παρείχαν στους επιστήμονες νέους τρόπους για να προσδιορίσουν τις αλλαγές στη χρήση γης / κάλυψη γης και τις επακόλουθες συνέπειες λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας (Cardille, 2003). Η εξέλιξη της τεχνολογίας της τηλεπισκόπησης και της χωρικής ανάλυσης διαθέτει στους ερευνητές αρκετά ισχυρά εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χαρτογράφηση και τον εντοπισμό αλλαγών στη χρήση γης / κάλυψη γης, ειδικά στην αμειψισπορά της γεωργίας (MacLeod, 1998), στην εκτίμηση της αποψίλωσης των δασών (Binh, 2005), στην εκτίμηση της απόδοσης (Rao, 2002), σε αλλαγές στην παράκτια ζώνη (Xie, 2011); (Kesgin, 2009)), στην ανίχνευση υποβάθμισης του εδάφους (Fadhil, 2009), στη χαρτογράφηση της βλάστησης (Müllerová, 2005), σε αλλαγές στους υδροβιότοπους (Mo, 2009), στην ανίχνευση αστικών αλλαγών (Martinez-Fernandez, 2012) και άλλες εφαρμογές.

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση και διαχείριση των γήινων πόρων και την ανίχνευση αλλαγών Χρήσης Κάλυψης Γης (ΧΚΓ) (Land Use Land Cover (LULC)) (Martinez-Fernandez, 2012). Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την καταγραφή αυτών των αλλαγών σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα με τη συλλογή διαφορετικών πολυχρονικών και πολλαπλών πηγών τηλεπισκοπικών δεδομένων, τόσο από αερομεταφερόμενους όσο και από διαστημικούς αισθητήρες. Οι δορυφορικές εικόνες μεσαίας ανάλυσης, όπως τα δορυφορικά δεδομένα Landsat, είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι δεδομένων παρακολούθησης και χαρτογράφησης αλλαγών της κάλυψης γης (Williams, Landsat, 2006). Χρησιμοποιήθηκαν επιτυχώς για την παρακολούθηση αλλαγών ΧΚΓ ειδικά σε περιοχές που έχουν επηρεαστεί από την ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως για παράδειγμα ο Liu (2015) χρησιμοποίησε δεδομένα Landsat Multi-Spectral System (MSS), Landsat TM και ETM + δεδομένα τηλεπισκόπησης για ανίχνευση αλλαγών κάλυψης γης, ο Fan (2007), χρησιμοποίησε εικόνες TM και ETM + για την ανίχνευση και την πρόβλεψη της χρήσης γης και της κάλυψης γης στον Core του Delta Pearl River στην Κίνα, ο Zaki (2011) χρησιμοποίησε εικόνες Landsat (TM) για τον εντοπισμό αλλαγών κάλυψης γης στο βορειοανατολικό Κάιρο της Αιγύπτου, κλπ.

Εκτός από τα δεδομένα Landsat που είναι ικανά για την ανίχνευση αλλαγών ΧΚΓ, υπάρχουν και άλλα δεδομένα από άλλους αισθητήρες που είναι εξίσου χρήσιμα για την παρακολούθηση αλλαγών, για παράδειγμα, οι Chavula και Bauer (2011) χρησιμοποίησαν ραντάρ, Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) και Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) δεδομένα για ανίχνευση των αλλαγών της ΧΚΓ στη λεκάνη απορροής Lake Malawi, ενώ οι Zhang και Zhu (2011) χρησιμοποίησαν δεδομένα Quick Bird για να ανχνεύσουν τις αλλαγές κάλυψης γης. Στη μελέτη των Perea και Aguilera (2009) χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακές αεροφωτογραφίες για την παραγωγή θεματικών χαρτών για την ανίχνευση αλλαγών. Οι Huiran και Wenjie (2008), έδειξαν στη μελέτη τους ότι δύο χρονικές υπερφασματικές δορυφορικές εικόνες Compact High Resolution Imaging Spectrometer (CHRIS / PRBOA) προσδιορίζουν ικανοποιητικά τις αλλαγές ΧΚΓ. Επιπλέον αρκετοί ερευνητές διερεύνησαν το συνδυασμό δεδομένων διαφορετικών αισθητήρων για την παρακολούθηση αλλαγών ΧΚΓ, μεταξύ των οποίων, ο Wen (2014), ο οποίος χρησιμοποίησε δεδομένα Landsat Multi-Spectral System (MSS) και Quick Bird για την άντληση πληροφοριών αλλαγών κάλυψης γης στο Guam των ΗΠΑ, ενώ οι Geymen and Baz (2008) χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες Landsat TM και Landsat Geo-Cover LC για την ανίχνευση αλλαγών στην κάλυψη γης στη μητροπολιτική περιοχή της Κωνσταντινούπολης. Οι Zoran και Anderson (2006) χρησιμοποίησαν πολυ-χρονικά και πολυ-φασματικά δορυφορικά δεδομένα Landsat MSS, TM, ETM, SAR ERS, ASTER και MODIS για την ανάλυση ανίχνευσης αλλαγών στη Μαύρη Θάλασσα της Ρουμανίας. Ωστόσο, ορισμένες από αυτές τις μελέτες δείχνουν την ικανότητα πολυ-χρονικών και πολυ-φασματικών δεδομένων από αισθητήρες με διαφορετικές χωρικές, χρονικές και φασματικές αναλύσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παγκόσμιες αλλαγές ΧΚΓ, ενώ άλλες δεν μπορούν να παρέχουν ικανοποιητικούς χάρτες κάλυψης γης σε τοπικό επίπεδο, λόγω της χωρικής ανάλυσης των δεδομένων. Ωστόσο, δορυφορικές εικόνες μεσαίας ανάλυσης όπως οι Landsat είναι ιδανικές για την παρακολούθηση αλλαγών κάλυψης γης σε επίπεδο περιφέρειας (Franklin S. E., 2002).

Η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης επηρεάζεται από τρεις αλληλένδετους παράγοντες:

1. Από τις εξελίξεις στην τεχνολογία των αισθητήρων και την ποιότητα των δεδομένων,
2. Από τις βελτιωμένες και τυποποιημένες μεθόδους τηλεπισκόπησης και
3. Από την σχετική έρευνα

2.1.2. Εξέλιξη αισθητήρων μεσαίας χωρικής ανάλυσης

Οι αισθητήρες μεσαίας ανάλυσης προορίζονται ώστε να παρέχουν κατάλληλες κλίμακες πληροφοριών για μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών των γήινων πόρων. Η συνέχεια του προγράμματος Landsat από το 1972 αναγνωρίζεται ως βασικό ορόσημο στην εξέλιξη της τεχνολογίας της τηλεπισκόπησης (Franklin S. E., 2001). Για 12 χρόνια, ο αισθητήρας Landsat Multispectral Scanner (MSS) παρείχε δεδομένα εικόνες με χωρική ανάλυση περίπου 80 m, σε τέσσερις φασματικές ζώνες (δηλαδή ορατές και σχεδόν υπέρυθρες). Αν και αυτά τα δεδομένα παρουσίαζαν σημαντικό θόρυβο (Paola, 1997), παρείχαν μια μοναδική ευκαιρία στους ερευνητές ώστε να διερευνήσουν και να εφαρμόσουν τα δεδομένα τηλεπισκόπησης σε περιφερειακές κλίμακες. Η χωρική ανάλυση MSS ήταν επίσης επαρκής για γενικές χαρτογραφικές προσπάθειες σε αστικό και φυσικό περιβάλλον. Αυτά τα δεδομένα είναι πολύτιμα σήμερα για μελέτες ανίχνευσης αλλαγών σε βάθος χρόνου.

Η έναρξη του Landsat Thematic Mapper (TM) το 1984 παρήγαγε μια νέα πηγή δεδομένων τηλεπισκόπησης που παρείχε υψηλότερα φασματικά, χωρικά και ραδιομετρικά δεδομένα ανάλυσης. Ενώ τα φασματικά εύρη και τα εύρη ζώνης του Landsat MSS επιλέχθηκαν από τους σχεδιαστές αισθητήρων για γενική χρησιμότητα όπως για τη χαρτογράφηση της βλάστησης και των γεωλογικών χαρακτηριστικών, τα φασματικά κανάλια του Landsat TM επιλέχθηκαν ειδικά για να χαρτογραφήσουν τον τύπο της βλάστησης, την υγρασία του εδάφους και άλλα βασικά χαρακτηριστικά του τοπίου (Barnsley, 2000). Έτσι, η εποχή του Landsat TM επέτρεψε τη διεξαγωγή έρευνας με μεγαλύτερη ακρίβεια, σε μεγαλύτερες περιοχές. Τα δεδομένα του Landsat TM έχουν διευκολύνει τις έρευνες με θεματικές απαιτήσεις σε τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από ότι θα μπορούσε να επιτευχθεί με το MSS.

Ο Δορυφόρος Landsat 5 ήταν ένας δορυφόρος της Γης που ξεκίνησε την 1η Μαρτίου 1984 για να συλλέξει εικόνες της επιφάνειας της Γης. Η συνέχιση του προγράμματος Landsat, Landsat 5, διεξήχθη από κοινού από την Αμερικανική Γεωλογική Έρευνα (USGS) και την Εθνική Διοίκηση Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA). Τα δεδομένα από το Landsat 5 συλλέχθηκαν και διανεμήθηκαν από το Κέντρο Παρακολούθησης και Επιστήμης των Γεωσικών Πηγών (EROS) του USGS. Μετά από 29 χρόνια στο διάστημα, ο Landsat 5 εγκαταλείφθηκε επισήμως στις 5 Ιουνίου 2013. Κοντά στο τέλος της αποστολής του, η χρήση του Landsat 5 παρεμποδίστηκε από τις αποτυχίες του εξοπλισμού και αντικαταστάθηκε σε μεγάλο βαθμό από τους Landsat 7 και Landsat 8. Ο δορυφόρος Landsat 8, εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2013 και από τότε αποτελεί τον έβδομο δορυφόρο της σειράς που τίθεται σε τροχιά. Παρά τις εξελίξεις, η κοινότητα σχεδιασμού και διαχείρισης γης δεν διέθετε ακόμη δεδομένα τηλεπισκόπησης μεγάλης έκτασης και υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης από το διάστημα.

Αυτή η κατάσταση βελτιώθηκε με την εκτόξευση του δορυφόρου SPOT-1 το 1986. Αυτός ο αισθητήρας παρείχε πολυφασματικά δεδομένα με μια ελαφρώς υψηλότερη χωρική ανάλυση (20 m) και ένα παγχρωματικό κανάλι (10 μ.). Τα παγχρωματικά δεδομένα έχουν τέτοια γεωμετρική ακρίβεια που μπορούν να συγκριθούν με μια τυπική εναέρια φωτογραφία (Barnsley, 2000). Επιπλέον, μετά τη διαθεσιμότητα αυτών των δεδομένων, πολλά ερευνητικά έργα άρχισαν να χρησιμοποιούν τεχνικές επεξεργασίας εικόνας χρησιμοποιώντας παγχρωματικές και πολυφασματικές πληροφορίες για βελτιωμένη παρακολούθηση της κάλυψης και της χρήσης γης (π.χ. (Treitz, 1992); (Muchoney, 1994); (Pellemans, 1993)). Οι παγχρωματικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης, έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ως πληροφορίες υψής για παρακολούθηση της χρήσης/κάλυψης γης (Chen, 2005).

Το παγχρωματικό κανάλι χωρικής ανάλυσης 15 μέτρων προστέθηκε στην αποστολή Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM). Συνολικά, η ευρεία διαθεσιμότητα παγχρωματικών δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης αυξάνει την ακρίβεια, σε εφαρμογές στα αστικά και φυσικά τοπία (Jensen, 1999). Εκτός από το παγχρωματικό κανάλι, ο αισθητήρας SPOT παρουσίασε μια σημαντική πρωτοτυπία στη σχεδίαση των αισθητήρων. Ο αισθητήρας SPOT αποκτά πληροφορίες χρησιμοποιώντας μια γραμμική συστοιχία ανιχνευτών. Αυτή η προσέγγιση είναι ανώτερη δεδομένου ότι δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη (δηλαδή ένας περιστρεφόμενος σαρωτής που σαρώνει εμπρός και πίσω κατά μήκος της τροχιάς). Αυτός ο σχεδιασμός παρέχει μεγαλύτερο χρόνο παραμονής ή ολοκλήρωσης της ακτινοβολίας σε ένα

αντικείμενο (Paola, 1997) και έτσι παρέχει αυξημένη ευαισθησία στις ραδιομετρικές ακτινοβολίες των επιφανειών.

Η συνολική ικανότητα του δορυφόρου SPOT βελτιώθηκε σημαντικά το 1998 με την προσθήκη ενός καναλιού μεσαίας υπέρυθρης ακτινοβολίας στον αισθητήρα SPOT-4, παρέχοντας μεγαλύτερη χρησιμότητα για την παρακολούθηση της κάλυψης και της χρήσης γης (Stroppiana, 2002). Ο αισθητήρας SPOT-5 (κυκλοφόρησε το 2002) συλλέγει παγχρωματικά, ορατά και σχεδόν υπέρυθρα και μεσαία υπέρυθρα δεδομένα σε χωρική ανάλυση 5, 10 και 20 m, αντίστοιχα (SPOT Image, 2002). Ο Indian Space Research Organization (ISRO) έχει επίσης προστεθεί στη σειρά των αισθητήρων μεσαίας ανάλυσης. Η ISRO κυκλοφορεί αισθητήρες γραμμικής τροχιάς (IRS-1A, 1B, 1C και 1D). Γενικά, οι αισθητήρες IRS προσφέρουν συνδυασμό σχετικά υψηλής φασματικής διακριτικής ικανότητας (TM / ETM), και χωρικής ανάλυσης (SPOT). Οι IRS-1C και 1D (ξεκίνησαν το 1995 και το 1997, αντίστοιχα) προσφέρουν ορατά και εγγύς υπέρυθρα κανάλια σε χωρική ανάλυση 23 m και ένα μέσο υπέρυθρο κανάλι σε χωρική ανάλυση 70 m. Το σημαντικό είναι ότι αυτοί οι αισθητήρες IRS έχουν παγχρωματικό κανάλι με χωρική ανάλυση 5,8 m, το οποίο έχει σημαντικές δυνατότητες για χαρτογράφηση σε μεγαλύτερη κλίμακα (Πίνακας 1). Η συμβολή των αισθητήρων μεσαίας ανάλυσης αναμένεται να συνεχιστεί στο μέλλον (Franklin, 2001).

Μια σύνοψη των βασικών χαρακτηριστικών των αναφερόμενων δορυφορικών αισθητήρων παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά επιλεγμένων δορυφορικών αισθητήρων. (Πηγή: (Townshend, 1988))

	IKONOS^{1†}	SPOT²	Landsat^{1†}	TERRA (MODIS)^{1†}	AVHRR^{1††}	RADARSAT^{3r}
Type:	Sun-synchronous	Sun-synchronous	Sun synchronous	Sun Synchronous	Sun Synchronous	Sun-Synchronous
Descending Pass:	10:30 a.m.	10:30 a.m.	9:45 a.m. * 10:00 a.m. **	10:30 a.m.		
Altitude:	681 km	832 km	920 km * 705 **	705 km,	833km	798 km
Inclination:	98.1 degrees	98.7		98.2 degrees	98.8 degrees	98.6 degrees
Period:		101.4 minutes	100	90 minutes	102 minutes	100 minutes
Repeat Cycle:	2.9 days at 1 m res. 1.5 days at 1.5 m res.	26 days	18 days * 16 days **	2 days	Twice daily	24 days
Spatial Resolution (in Square Meters)	1-4	10 - Panchromatic 20 - Multispectral	15 - panchromatic 30 - TM 80 - MSS	250 (bands 1-2) 500 (bands 3-7) 1000 (bands 8-36)	1,100 LAC 4,000 GAC	8-100
Swath Width	11 km	60 km	185 km	2330 km	2700 km	50-500 km
Archive	1999	1986	1972	1999	1978	1995

Η σύγκριση, των βασικών χαρακτηριστικών των αστικών και φυσικών τοπίων και οι ελάχιστες απαιτήσεις χωρικής και φασματικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά των αστικών και φυσικών τοπίων με τις αντίστοιχες απαιτήσεις χωρικής και φασματικής ανάλυσης. (Πηγή: (Jensen, 1999), (Franklin S. E., 2000))

	Minimum spatial resolution requirements	Minimum spectral resolution requirements
<i>Urban/suburban attribute^a</i>		
Land cover/use		
Level I: USGS	20–100 m	V-NIR-MIR-Radar
Level II: USGS	5–20 m	V-NIR-MIR-Radar
Level III: USGS	1–5 m	Panchromatic-V-NIR-MIR
Level IV: USGS	0.25–1 m	Panchromatic
<i>Natural attribute</i>		
Forest class		
Level I: land cover	20–1 km	V-NIR-MIR-Radar
Level II: cover types	10–100 m	V-NIR-MIR-Radar
Level III: species dominance	1.0–30 m	Panchromatic-V-NIR-MIR-Radar
Level IV: species identification	0.1–2.0 m	Panchromatic

2.2. Είδη αλλαγών χρήσης / κάλυψης γης και μέθοδοι ανίχνευσής τους

Η επιφάνεια της γης αλλάζει, ως αποτέλεσμα φυσικών φαινομένων ή ανθρώπινης δραστηριότητας. Για παράδειγμα, πυρκαγιές, κεραυνοί, καταιγίδες, αγροδασοκομία, γεωργική επέκταση, κοινωνικοί, οικονομικοί, τεχνολογικοί, ιστορικοί παράγοντες και αστική ανάπτυξη (Borak, 2000). Γενικά οι αλλαγές στην επιφάνεια της γης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τη χρήση γης και τη κάλυψη γης (Donnay, 2000). Η κάλυψη γης περιγράφει αρχικά τη φυσική κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους, η οποία περιλαμβάνει καλλιεργήσιμες εκτάσεις, δάση και υγρά τοπία, αλλά έχει διευρυνθεί στη μεταγενέστερη χρήση για να περιέχει ανθρώπινες δομές όπως κτίρια, πεζοδρόμια και άλλες πτυχές του φυσικού περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένου του τύπου εδάφους, της βιοποικιλότητας, τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα (Cheng, 2008), (Jaiswal, 1999)). Αντιθέτως, η χρήση γης αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο τα ανθρώπινα όντα εκμεταλλεύονται τη γη και τους πόρους της, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας, της αστικής ανάπτυξης, της βοσκής και της εξόρυξης. Ωστόσο, η κάλυψη και η χρήση γης χρησιμοποιούνται συχνά εναλλακτικά επειδή οι δύο όροι είναι αλληλεξαρτώμενοι και στενά συνδεδεμένοι (Verburg, 2003), (Houet, 2010)). Ανεξάρτητα από αυτό, η αλλαγή χρήσης κάλυψης γης (ΑΧΚΓ) ορίζεται ως ο μετασχηματισμός της γης ή η αντικατάσταση ενός τύπου κάλυψης γης στην επιφάνεια της γης (Meyer, 1992). Οι ΑΧΚΓ είναι ο αντίκτυπος πολλών σχετικών διαδικασιών που λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα κλιμάκων στο χώρο και το χρόνο (Foody, 2002).

Οι Lambin, και Ehrlich (1997), προτείνουν ότι υπάρχουν τρεις κύριες αιτίες αλλαγών στη χρήση γης / κάλυψη γης που συμβαίνουν με διαφορετικούς ρυθμούς και σε διαφορετικές κλίμακες: βιοφυσικοί παράγοντες, τα τεχνολογικά και οικονομικά ζητήματα, και οι θεσμικές και πολιτικές ρυθμίσεις. Εκτός από αυτά, υπάρχουν και οι αλλαγές που προκύπτουν από στρατιωτικές συγκρούσεις. Για να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν ουσιαστικές πολιτικές και αποτελεσματικά σχέδια για τη στήριξη της περιφερειακής ανάπτυξης, υπάρχει κρίσιμη ανάγκη να είναι γνωστά τα πρότυπα χρήσης γης / κάλυψης γης σε μια συγκεκριμένη περιοχή (Lillesand, 1994), (Lillesand T. K., 2004), (Lu, 2004)).

Αυτή την στιγμή είναι διαθέσιμη η τεκμηρίωση του χωροχρονικού προτύπου χρήσης / κάλυψης γης χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες, η οποία επιτρέπει στους επιστήμονες τη δυνατότητα να προσδιορίσουν τις αιτίες και τα αποτελέσματα της αλλαγής σε σχέση με τα πρότυπα ανθρώπινης δραστηριότητας (Cardille, 2003). Επομένως, η μελέτη των αλλαγών χρήσεων γης / κάλυψη γης αποτελεί ένα σημαντικό ερευνητικό θέμα στη χωρική ανάλυση της τηλεπισκόπησης (Lo, 1990).

Για την εξαγωγή πληροφοριών αλλαγής ΧΚΓ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν παραδοσιακές μέθοδοι και τεχνολογίες τηλεπισκόπησης. Οι παραδοσιακές μέθοδοι όπως έρευνες πεδίου, ερμηνεία χαρτών, ανάλυση δευτερευόντων δεδομένων δεν είναι αποτελεσματικές για την απόκτηση αλλαγών ΧΚΓ επειδή είναι χρονοβόρες, υπάρχουν καθυστερήσεις χρονικά και συχνά πολύ οικονομικά ασύμφορες, ενώ η μέθοδος της τεχνολογίας της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει τη χρήση αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων, σύνολο χωρικών δεδομένων και άλλα δεδομένα (Paradzayi, 2008) και αποτελεί ένα πολύ πιο οικονομικό και οικονομικά αποδοτικό μέσο για τη μελέτη αλλαγών ΧΚΓ, ειδικά σε περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους (Nordberg, 2003).

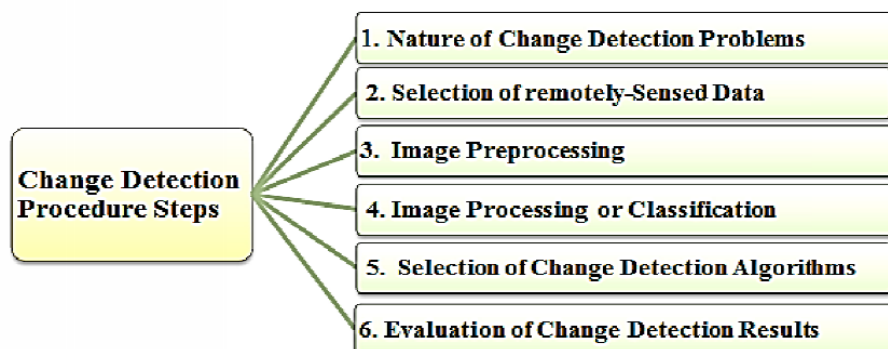
Η ανίχνευση αλλαγών, είναι η διαδικασία εντοπισμού διαφορών στην κατάσταση ενός αντικειμένου ή φαινομένου, παρατηρώντας το σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (Singh, 1989). Σε εφαρμογές τηλεπισκόπησης, συγκρίνονται και αναλύονται οι αλλαγές μεταξύ διαφορετικών εικόνων τηλεπισκόπησης και σχετικών δεδομένων σε διαφορετικές περιόδους μέσω επεξεργασίας εικόνας και μαθηματικών μοντέλων (Tong, 2020). Τα τελευταία χρόνια, η ανίχνευση αλλαγών έχει σημαντικές εφαρμογές στη διαχείριση γης και πόρων, στη γεωργική και δασική παρακολούθηση, στην παρακολούθηση και την αξιολόγηση φυσικών καταστροφών (Wang, 2013); (Stramondo, 2006)). Τα κύρια καθήκοντα της χρήσης εικόνων τηλεπισκόπησης για τον εντοπισμό της αλλαγής της επιφάνειας του εδάφους, είναι η απάντηση τριών ερωτήσεων: Εάν αλλάζει η επιφάνεια του εδάφους; Σε τι αλλάζει; Και ποιο είναι το είδος της αλλαγής (Zhou, 2011).

Η ανίχνευση των αλλαγών, αποτελεί ένα δύσκολο πρόβλημα στην ανάλυση εικόνας και διαδραματίζει θεμελιώδη ρόλο στις περισσότερες από τις χρήσεις γης ή καλύπτει την παρακολούθηση συστημάτων που χρησιμοποιούν τεχνικές τηλεπισκόπησης. Ακόμη, αποτελεί έναν σημαντικό τομέα της έρευνας για τις παγκόσμιες περιβαλλοντικές αλλαγές. Η απογραφή και η παρακολούθηση των αλλαγών στη χρήση γης είναι απαραίτητη για περαιτέρω ανάπτυξη για την κατανόηση των μηχανισμών αλλαγής και τη μοντελοποίηση της επίδρασης των αλλαγών στο περιβάλλον.

Η αξιοπιστία των αλγόριθμων ανίχνευσης αλλαγής εξαρτάται από την αβεβαιότητα του αποτελέσματος και την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου. Συγκεκριμένα, οι περισσότεροι από τους αλγορίθμους είναι κατάλληλοι μόνο για μια συγκεκριμένη πηγή δεδομένων εικόνας και μια περιοχή μελέτης.

Η διαχρονική ανίχνευση των αλλαγών, αποτελεί ένα σύγχρονο ερευνητικό αντικείμενο με μεγάλη πρόσφατη βιβλιογραφία και ιδιαίτερα χρήσιμες εφαρμογές, τόσο στη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος, όσο και στη διαχείριση των κοινωνικών και οικονομικών συνεπειών στο ανθρωπογενές περιβάλλον (Moshen, 1999).

Η διαδικασία ανίχνευσης αλλαγών θεωρείται σημαντική, καθώς παρέχει ποσοτικές πληροφορίες της χωρικής κατανομής του αντικειμένου που εξετάζεται (Song, 2001), (Gallego, 2004)). Χρησιμοποιώντας δεδομένα τηλεπισκόπησης για τον εντοπισμό αλλαγών χρήσεων γης, έξι βασικά βήματα είναι σημαντικά όπως αναφέρεται από τον Jensen (2005).



Εικόνα 3. Βήματα Ανίχνευσης Αλλαγής. (Πηγή: (Al-doski, 2013))

2.3. Τηλεπισκοπικοί μέθοδοι ανίχνευσης Αλλαγών

Από την έναρξη του πρώτου δορυφορικού συστήματος Landsat το 1972, υπάρχει διαθέσιμο ένας μεγάλος όγκος δεδομένων (Williams, 2006). Η διαθεσιμότητα ενός μεγάλου όγκου δεδομένων, οδηγεί στην ανάπτυξη και αξιολόγηση πολλών τεχνικών και μεθόδων ανίχνευσης ψηφιακών αλλαγών (Dewidar, 2004). Διάφορες μέθοδοι έχουν αναλυθεί εκτενώς και έχουν εξαιρετικές περιγραφές και περιεκτικές περιλήψεις (Singh, 1989), (Xiubin, 1996), (Lu, 2004), (Desclée, 2006)). Για παράδειγμα οι Prakash και Gupta (1998) χρησιμοποίησαν την διαφορά εικόνας, την διαίρεση εικόνας και την διαφορά του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI), για τον εντοπισμό αλλαγών χρήσεων γης στην περιοχή εξόρυξης κοραλλιών της Ινδίας και διαπίστωσαν ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά της απόδοσης αυτών των τεχνικών ως προς τον εντοπισμό των αλλαγών χρήσης γης. Οι Berberoglu, Suha, και Anil Akin (2009) συνέκριναν τις τεχνικές της διαφοράς εικόνας, της ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA) και της CVA για την ανίχνευση πλημμυρών και διαβρώσεων, χρησιμοποιώντας πολλαπλά χρονικά δεδομένα TM στην κεντρική περιοχή του Νεπάλ. Διαπίστωσαν ότι η CVA παρείχε υψηλή χωρική ακρίβεια (88%) σε κατηγορίες αλλαγής / μη αλλαγής.

Ένας διαχωρισμός των τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών, μπορεί να είναι ο παρακάτω (Al-doski, 2013).

Τεχνικές Ανίχνευσης αλλαγών:

1. Αλγεβρική Προσέγγιση
 - 1.1. Διαφορά Εικόνων (Berberoglu, 2009)
 - 1.2. Παλινδρόμηση Εικόνων (Xu, 2005)
 - 1.3. Λόγος Εικόνων (Singh, 1989)
 - 1.4. Διαφορά Δείκτη Βλάστησης (Xue, 2017)
 - 1.5. Ανάλυση του Διανύσματος Αλλαγών (CVA) (Zhao, 2018)
2. Μετασχηματισμοί
 - 2.1. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Deng, 2008)
 - 2.2. Tasseled Cap (KT) (Healey, 2005)

- 2.3. Gramm-Schmidt (GS) (Li, 2004)
- 2.4. Chi-Square (Sarkar, 2004)
- 3. Βασισμένοι στην Ταξινόμηση
 - 3.1. Μετα-ταξινομικές Συγκρίσεις (Liu H. a., 2004)
 - 3.2. Συνδυασμός Φασματικής Διαχρονικής Ανάλυσης (Afrasinei, 2015.)
 - 3.3. EM μετασχηματισμός (expectation-maximization method) (Hao, 2013)
 - 3.4. Μη επιβλεπόμενη Ταξινόμηση (Melgani, 2002)
 - 3.5. Υβριδική Ανίχνευση Αλλαγών (Rahmes, 2008)
 - 3.6. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks) (Gopal, 1996)
- 4. Προηγμένα Μοντέλα
 - 4.1. Li-Strahler Reflectance Model (Woodcock, 1997)
 - 4.2. Spectral Mixture Model (Wu, 2003)
 - 4.3. Biophysical Parameter Method (Tuia, 2011)
- 5. GIS
 - 5.1. Integrated GIS and RS Method (Fashae, 2014)
 - 5.2. GIS Approach (Biswas, 1999)
- 6. Οπτική Ανάλυση
 - 6.1. Οπτική Ερμηνεία
- 7. Άλλες Τεχνικές Ανίχνευσης Αλλαγών
 - 7.1. Μετρήσεις της Φασματικής Εξάρτησης (Henebry, 1993)
 - 7.2. Οπτικό σύστημα που βασίζεται στη Γνώση (Knowledge-based vision system) (Wang F. , 1993)
 - 7.3. Area Production Method (Gier., 1994)
 - 7.4. Συνδιασμός τριών δεικτών: δείκτης βλάστησης, θερμοκρασία επιφάνειας της γης και φασματική δομή (Lambin E. F., 1994)
 - 7.5. Καμπύλες αλλαγών (Lawrence, 1999)
 - 7.6. Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα (Morissette, 1999)
 - 7.7. Προσέγγιση Βασισμένη σε Θεωρήματα Καμπυλών (curve-theorem-based approach) (Yue, 2002)
 - 7.8. Προσέγγιση με βάση τη δομή (structure based approach) (Zhang Q. , 2002)
 - 7.9. Μέθοδος βασισμένη σε φασματικά στατιστικά δεδομένα (Lam, 2002)

Μια σύντομη περιγραφή αυτών των τεχνικών δίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3 . Σύντομη Περιγραφή των μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών

Τεχνικές	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Παραδείγματα	Βασικοί Παράγοντες
Αλγεβρική Προσέγγιση					
Image Differencing (ID)	Αφαιρείται η πρώτη ημερομηνία της εικόνας από τη δεύτερη ημερομηνία σε επίπεδο εικονοστοιχείου.	Απλή (και η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος). Εύκολη στην ερμηνεία.	Δεν μπορεί να εξασφαλίσει έναν λεπτομερή πίνακα αλλαγών. Απαιτείται επιλογή ορίων.	Αποφύλλωση δάσους, αλλαγές κάλυψης γης και παρακολούθηση αρδευόμενων καλλιεργειών.	Προσδιορισμός των κατάλληλων καναλιών των εικόνων και των ορίων.
Image Ratioing (IR)	Υπολογίζει το λόγο των εικόνων των δύο ημερομηνιών ανά κανάλι.	Μειώνει τις επιπτώσεις της γωνίας του ήλιου, των σκιών και της τοπογραφίας.	Το αποτέλεσμα είναι συχνά μη ορθολογικά.	Χαρτογράφηση χρήσεων γης.	Προσδιορισμός των κατάλληλων καναλιών των εικόνων και των ορίων.
Image Regression	Καθορίζει τις σχέσεις μεταξύ των διαχρονικών εικόνων με τη χρήση παλινδρόμησης, στη συνέχεια υπολογίζει τις τιμές των εικονοστοιχείων της δεύτερης εικόνας με τη χρήση της συνάρτησης που μοντελοποιεί τα δεδομένα και αφαιρεί την εικόνα που προκύπτει από την αρχική.	Μειώνει τις επιπτώσεις της ατμόσφαιρας, των διαφορών καλιμπραρίσματος των αισθητήρων και των περιβαλλοντικών διαφορών μεταξύ των ημερομηνιών των εικόνων.	Απαιτείται η ανάπτυξη αξιόπιστης σχέσης για τα επιλεγμένα κανάλια πριν την εφαρμογή εντοπισμού αλλαγών.	Εφαρμογή σε Τροπικά δάση.	Αναπτύσσεται το μοντέλο παλινδρόμησης και προσδιορίζονται τα κατάλληλα κανάλια των εικόνων και τα όρια.
Vegetation index differencing (VID)	Παράγει δείκτη βλάστησης ξεχωριστά, για κάθε εικόνα και στη συνέχεια αφαιρεί τον δείκτη βλάστησης της δεύτερης ημερομηνίας από τον δείκτη βλάστησης της πρώτης ημερομηνίας.	Δίνει έμφαση στις διαφορές φασματικής απόκρισης των διαφορετικών χαρακτηριστικών και μειώνει τις επιπτώσεις αναγλύφου και φωτισμού.	Τυχαίος ή/και συστηματικός θόρυβος.	Αλλαγές της βλάστησης και της κομοστέγης του δάσους.	Ο δείκτης βλάστησης που θα επιλεγεί και τα όρια.

Change Vector Analysis (CVA)	Δημιουργεί 2 αποτελέσματα: Το φορέα της φασματικής αλλαγής, που περιγράφει την κατεύθυνση και το μέγεθος της αλλαγής ανάμεσα στις δυο ημερομηνίες και το συνολικό μέγεθος της αλλαγής, ανά εικονοστοιχείο, που προσδιορίζεται με τον υπολογισμό της ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των ακραίων σημείων μέσα στον N-διάστατο χώρο αλλαγής.	Υπάρχει η ικανότητα να επεξεργαστεί οποιοδήποτε αριθμό φασματικών καναλιών και να παράξει λεπτομερείς πληροφορίες ανίχνευσης αλλαγών.	Δύσκολο να αναγνωρίσει αλλαγές κάλυψης γης.	Μεταβολές του τοπίου, αλλαγές κάλυψης γης, εκτίμηση καταστροφών και αλλαγές των κωνοφόρων δασών.	Καθορισμός ορίων και αναγνώριση αλλαγών.
Μετασχηματισμοί					
Principal Component Analysis (PCA)	Υποθέτει ότι τα διαχρονικά δεδομένα συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό και οι πληροφορίες αλλαγών μπορεί να φαίνονται στις νέες συνιστώσες. Οι δύο τρόποι για να εφαρμοστεί η PCA για την ανίχνευση αλλαγών είναι: α)εφαρμόζεται η PCA σε ένα αρχείο που περιέχει δυο ή περισσότερες ημερομηνίες των εικόνων και αναλύονται οι μικρότερες συνιστώσες για να φανούν αλλαγές, και β) εφαρμόζεται η PCA ξεχωριστά και στη συνέχεια γίνεται αφαίρεση του αποτελέσματος της δεύτερης ημερομηνίας από το αποτέλεσμα της πρώτης.	Μειώνει την συσχέτιση των δεδομένων μεταξύ των καναλιών και τονίζει τις διαφορετικές πληροφορίες που αντλούνται από τις συνιστώσες.	Τα αποτελέσματα ανίχνευσης αλλαγών μεταξύ διαφορετικών ημερομηνιών είναι συχνά δύσκολο να ερμηνευτούν. Δεν μπορεί να παραχθεί ένας πλήρης πίνακας πληροφοριών των αλλαγών και απαιτεί τον καθορισμό ορίων για να προσδιοριστούν οι περιοχές που αλλάζουν.	Αλλαγές κάλυψης γης, αστική επέκταση, μεταβολές των τροπικών δασών, θνησιμότητα των δασών και αποφύλλωση των δασών.	Η δεξιότητα των αναλυτών στον εντοπισμό των αλλαγών στις συνιστώσες και την επιλογή των ορίων.
Kauth Thomas Μετασχηματισμός	Η αρχή της μεθόδου αυτής είναι όμοια με την PCA. Η μόνη διαφορά είναι ότι η PCA εξαρτάται από την εικόνα, ενώ ο	Μειώνει τη συσχέτιση των δεδομένων μεταξύ των καναλιών και τονίζει	Είναι δύσκολη η ερμηνεία των αλλαγών, δεν μπορεί να εξαχθεί πλήρης πίνακας	Παρακολούθηση του φαινολογικού	Απαιτείται η δεξιότητα του αναλυτή για να

(Tasselled Cap) (KT)	μετασηματισμός KT είναι ανεξάρτητος. Η ανίχνευση αλλαγών, υλοποιείται με βάση τρεις συνιστώσες: φωτεινότητα, «greenness» και υγρασία.	διαφορετικές πληροφορίες στις συνιστώσες που παράγονται. Ο μετασηματισμός KT είναι ανεξάρτητος από την εικόνα.	αλλαγών, απαιτείται ο καθορισμός ορίων για τον προσδιορισμό των περιοχών των αλλαγών και απαιτείται ακριβής ατμοσφαιρική βαθμονόμηση.	κύκλου της βιομάζας, των δασών και των αλλαγών χρήσεων γης.	αποφασιστεί ποια συνιστώσα αντιπροσωπεύει καλύτερα την αλλαγή που μελετά και να επιλέξει τα όρια.
Gramm-Schmidt (GS)	Η μέθοδος GS ορθογωνικοποιεί φασματικά διανύσματα που λαμβάνονται απευθείας από διαχρονικές εικόνες και όπως η μέθοδος KT, παράγει τρεις συνιστώσες: φωτεινότητα, «greenness» και υγρασία, και ακόμη μια συνιστώσα αυτή της αλλαγής.	Ο συνδυασμός των μετασηματισμένων συνιστωσών με τις εικόνες επιτρέπει την εξαγωγή πληροφοριών που δεν θα φαινόταν με την χρήση άλλων τεχνικών.	Είναι δύσκολο να εξαχθούν περισσότερες από μια συνιστώσες που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο τύπο αλλαγής.	Παρακολούθηση των δασών.	Απαιτούνται δεδομένα πολλών ημερομηνιών.
Μέθοδος Chi-Square	$Y=(X-M)^T \Sigma^{-1}(X-M)$, όπου Y: ψηφιακή τιμή της εικόνας αλλαγών, X: διάνυσμα της διαφοράς των έξι καναλιών μεταξύ των δύο ημερομηνιών, M: διάνυσμα του μέσου του υπολοίπου του κάθε καναλιού, Σ^{-1} : αντίστροφος πίνακας συνδιακύμανσης.	Πολλά κανάλια ταυτόχρονα, θεωρείται ότι παράγουν μια ενιαία εικόνα της αλλαγής.	Η υπόθεση ότι μια τιμή $Y=0$, αντιπροσωπεύει ένα εικονοστοιχείο μη αλλαγής, δεν ισχύει όταν ένα μεγάλο τμήμα της εικόνας έχει αλλάξει. Επίσης, δεν προσδιορίζεται η αλλαγή που σχετίζεται με συγκεκριμένη φασματική κατεύθυνση.	Αστική περιβαλλοντική Αλλαγή.	Το Y, κατανέμεται ως τυχαία μεταβλητή Chi-Square με P βαθμούς ελευθερίας (P είναι ο αριθμός των καναλιών).
Μέθοδοι που βασίζονται στην Ταξινόμηση					
Σύγκριση μετά από ταξινόμηση	Ταξινομούνται ξεχωριστά οι εικόνες σε θεματικούς χάρτες, και στη συνέχεια συγκρίνονται οι ταξινομημένες εικόνες ανά εικονοστοιχείο.	Ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις των διαφορών των εικόνων λόγω ατμόσφαιρας και	Απαιτεί πολύ χρόνο και τεχνογνωσία στη δημιουργία προϊόντων ταξινόμησης. Η τελική	Αλλαγές ΧΚΓ, αλλαγές σε υγρότοπους και ανίχνευση	Επιλογή επαρκών δεδομένων δείγματος εκπαίδευσης για την ταξινόμηση.

		διαφορετικού καλιμπραρίσματος των αισθητήρων και παρέχει έναν ολοκληρωμένο πίνακα πληροφοριών των αλλαγών.	ακρίβεια εξαρτάται από την ποιότητα των ταξινομημένων εικόνων κάθε ημερομηνίας.	αστικής επέκτασης.	
Συνδυασμένη Ανάλυση	Χρησιμοποιεί ένα αρχείο με όλες τις εικόνες της χρονοσειράς και ταξινομεί το συνδυασμένο σύνολο δεδομένων. Αναγνωρίζει και χαρακτηρίζει τις αλλαγές.	Απλή και γρήγορη στην ταξινόμηση.	Δύσκολη η αναγνώριση και ο χαρακτηρισμός των κατηγοριών των αλλαγών, δεν παρέχει πίνακα πληροφοριών των αλλαγών.	Αλλαγές στη παράκτια ζώνη και τα δάση.	Χαρακτηρισμός των κατηγοριών των αλλαγών.
Ανίχνευση με τη μέθοδο των προσδοκιών (EM)	Η μέθοδος ανίχνευσης EM είναι μια μέθοδος που βασίζεται στην ταξινόμηση, χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο μεγιστοποίησης των προσδοκιών για την εκ των προτέρων εκτίμηση των πιθανοτήτων της κοινής κατηγορίας στις δύο ημερομηνίες. Οι πιθανότητες υπολογίζονται άμεσα από τις υπό ανάλυση εικόνες.	Η μέθοδος εμφανίστηκε για να παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια εντοπισμού αλλαγών, σε σχέση με άλλες μεθόδους ανίχνευσης αλλαγών.	Απαιτεί την εκτίμηση της πρότερης πιθανότητας.	Αλλαγές κάλυψης γης.	Εκτιμήσεις των πρότερων πιθανοτήτων των κατηγοριών.
Μη επιβλεπόμενη ανίχνευση αλλαγών	Επιλέγει φασματικά παρόμοιες ομάδες εικονοστοιχείων, και ομαδοποιεί την εικόνα της πρώτης ημερομηνίας σε πρωτογενείς ομάδες. Μετά επισημαίνει τις φασματικά παρόμοιες ομάδες στην εικόνα της δεύτερης ημερομηνίας. Τέλος ανιχνεύει και εντοπίζει τις αλλαγές.	Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί τη μη επιβλεπόμενη μέθοδο και την αυτοματοποίηση της διαδικασίας ανάλυσης αλλαγών.	Υπάρχει δυσκολία στην αναγνώριση και τον χαρακτηρισμό των αλλαγών.	Αλλαγή δάσους.	Προσδιορίζει τις φασματικά παρόμοιες ή σχετικά ομοιογενείς κατηγορίες.

Υβριδική μέθοδος ανίχνευσης αλλαγών	Χρησιμοποιεί μια ενισχυμένη υπέρθεση από μια επιλεγμένη εικόνα για να απομονωθούν τα εικονοστοιχεία που έχουν υποστεί μεταβολές και ύστερα χρησιμοποιεί επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Μια δυαδική μάσκα αλλαγών κατασκευάζεται από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης. Αυτή η μάσκα διαχωρίζει τις αλλαγές στην χρήση/κάλυψη γης, που παράγονται για κάθε ημερομηνία.	Αυτή η μέθοδος εξαιρεί τα μη αλλαγμένα εικονοστοιχεία από την ταξινόμηση για να μειώσει τα σφάλματα ταξινόμησης.	Απαιτεί την επιλογή ορίων για την εφαρμογή της ταξινόμησης. Είναι κάπως περίπλοκος ο εντοπισμός των αλλαγών.	Αλλαγές χρήσης/κάλυψης γης, αλλαγές βλάστησης.	Η επιλογή κατάλληλων ορίων για την αναγνώριση της αλλαγής και της μη αλλαγής και η παραγωγή ταξινομήσεων ακριβείας.
Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN)	Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων είναι τα φασματικά δεδομένα της περιόδου αλλαγής. Ένας αλγόριθμος διόρθωσης του σφάλματος της εξόδου χρησιμοποιείται συχνά για να εκπαιδεύσει το πολυστρωματικό μοντέλο του νευρωνικού δικτύου.	Η μέθοδος ANN είναι μη παραμετρική και όταν είναι επιβλεπόμενη έχει την ικανότητα να εκτιμήσει τις ιδιότητες των δεδομένων βασιζόμενη στα δείγματα εκπαίδευσης (training samples).	Η φύση των κρυφών στρωμάτων είναι ελάχιστα γνωστή. Απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα για την εκπαίδευση του αλγορίθμου. Τα νευρωνικά δίκτυα είναι συνήθως ευαίσθητα στην ποσότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση.	Ανίχνευση βιοπικιολότητας των λιμνών, αλλαγή κάλυψης γης, αλλαγές δασών, αστικές αλλαγές.	Η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται, όπως ο αριθμός των κρυφών στρωμάτων και τα δείγματα εκπαίδευσης.
Προηγμένα Μοντέλα					
Μοντέλο Ανάκλασης Li-Strahler	Το μοντέλο κομοστέγης Li-Strahler χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της κάλυψης της βάσης της κόμης κάθε κωνοφόρου, για τις δύο ημερομηνίες ξεχωριστά. Η σύγκριση της βάσης της κόμης για τις δυο ημερομηνίες οδηγεί	Αυτή η μέθοδος συνδυάζει τις τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας τηλεπισκοπικών δεδομένων με τις παραδοσιακές μεθόδους δειγματοληψίας και	Απαιτεί μεγάλο αριθμό δεδομένων πεδίου. Είναι πολύπλοκη και δεν είναι διαθέσιμη σε εμπορικό λογισμικό επεξεργασίας εικόνας. Είναι κατάλληλη	Χαρτογράφηση και παρακολούθηση των κωνοφόρων και της θνησιμότητάς τους.	Αναπτύσσει τις εικόνες κάλυψης της βάσης της κόμης και προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά της κόμης των τύπων βλάστησης.

	στα αποτελέσματα ανίχνευσης αλλαγών.	παρατήρησης πεδίου. Παρέχει στατιστικά αποτελέσματα και χάρτες που δείχνουν τη γεωμετρική κατανομή των αλλαγών.	μόνο για αλλαγές βλάστησης.		
Μοντέλα φασματικής Μίξης	Χρησιμοποιείται η ανάλυση της φασματικής μίξης για την εξαγωγή αφθονιών. Οι καθαροί στόχοι, επιλέγονται από περιοχές εκπαίδευσης στην εικόνα ή από το φάσμα των υλικών που απαντώνται στην περιοχή μελέτης ή από μια σχετική φασματική βιβλιοθήκη. Οι αλλαγές ανιχνεύονται συγκρίνοντας το πριν και μετά των αφθονιών των εικόνων για κάθε καθαρό στόχο. Οι ποσοτικές αλλαγές μπορούν να μετρηθούν με την ταξινόμηση των εικόνων με βάση τις αφθονίες των καθαρών στόχων	Οι αφθονίες έχουν βιοφυσικές έννοιες, που αντιπροσωπεύουν την αναλογία επιφάνειας κάθε καθαρού στόχου εντός του εικονοστοιχείου. Τα αποτελέσματα είναι σταθερά, ακριβή και επαναλήψιμα.	Αυτή η μέθοδος θεωρείται ως προηγμένης ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας και είναι πολύπλοκη.	Αλλαγές κάλυψης γης, αλλαγές του μοτίβου της εποχιακής βλάστησης.	Προσδιορισμός των κατάλληλων καθαρών στόχων, καθορισμός των κατάλληλων ορίων για κάθε κατηγορία κάλυψης γης που βασίζεται στις αφθονίες.
GIS					
Τηλεπισκόπηση και ολοκληρωμένα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)	Ενσωματώνει δεδομένα εικόνας και δεδομένα ΓΣΠ, όπως η επικάλυψη των στρωμάτων του ΓΣΠ απευθείας σε δεδομένα εικόνας, μεταφέρει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας σε σύστημα ΓΣΠ για περαιτέρω ανάλυση.	Επιτρέπει την πρόσβαση σε βοηθητικά δεδομένα για να βοηθήσει στην ερμηνεία και την ανάλυση και να έχει τη δυνατότητα να ενημερώνει άμεσα τις πληροφορίες των χρήσεων γης.	Τα διαφορετικής ποιότητας δεδομένα από διάφορες πηγές, συχνά υποβαθμίζουν τα αποτελέσματα της ανίχνευσης αλλαγών χρήσης γης.	Αλλαγές χρήσης γης και αστική εξάπλωση.	Η ακρίβεια των διάφορων πηγών δεδομένων και η ακρίβεια των εγγραφών, μεταξύ των θεματικών εικόνων.

Προσέγγιση ΓΣΠ	Ενσωματώνει τους προγενέστερους και τους πιο πρόσφατους χάρτες χρήσεων γης με τοπογραφικά και γεωλογικά δεδομένα. Η υπέρθεση εικόνας και η τεχνική της δυαδικής μάσκας είναι χρήσιμες στην ποσοτική ανάδειξη της δυναμικής αλλαγής σε κάθε κατηγορία.	Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την ενσωμάτωση των εναέριων ψηφιακών δεδομένων με άλλα δεδομένα χάρτη.	Διαφορετικά δεδομένα ΓΣΠ με διαφορετική γεωμετρική ακρίβεια και σύστημα ταξινόμησης, υποβαθμίζει την ποιότητα των αποτελεσμάτων.	Αστικές Αλλαγές και αλλαγές του τοπίου.	Η ακρίβεια των διαφόρων πηγών δεδομένων και η ακρίβεια των εγγραφών τους μεταξύ των θεματικών εικόνων.
Οπτική Ανάλυση					
Οπτική Ερμηνεία	Δημιουργείται το ίδιο έγχρωμο σύνθετο στην κάθε ημερομηνία. Γίνεται οπτική ερμηνεία των χρωμάτων και εντοπίζονται οι περιοχές που υπάρχει αλλαγή. Μια εναλλακτική λύση είναι η ψηφιοποίηση των περιοχών που υπάρχουν αλλαγές μετά από οπτική ερμηνεία που βασίζεται στην υπέρθεση των εικόνων των διαφορετικών ημερομηνιών.	Η ανθρώπινη εμπειρία και η γνώση είναι χρήσιμα εργαλεία κατά τη διάρκεια της οπτικής ερμηνείας. Δύο ή τρεις ημερομηνίες μπορούν να αναλυθούν ταυτόχρονα. Ο αναλυτής μπορεί να ενσωματώσει την υφή, το σχήμα και το μέγεθος, και να τα ερμηνεύσει οπτικά ώστε να πάρει μια απόφαση σχετικά με την αλλαγή χρήσης γης.	Δεν μπορεί να παράσχει λεπτομερείς πληροφορίες αλλαγών. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την ικανότητα του αναλυτή στην ερμηνεία της εικόνας. Η μέθοδος είναι χρονοβόρα και έχει δυσκολία στην ενημέρωση των αποτελεσμάτων.	Αλλαγή χρήσεων γης, αλλαγή των δασών, παρακολούθηση επιλεκτικά συνδεδεμένων περιοχών και αλλαγή κάλυψης γης.	Δεξιότητα των αναλυτών και εξοικείωση με την περιοχή μελέτης.

Ένας ακόμη διαχωρισμός των τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών, που βασίζεται και η εργασία αποτελεί ο παρακάτω (Lu, 2004) . Σύμφωνα με αυτόν, υπάρχουν δύο κατηγορίες μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών: προ-ταξινόμηση τεχνικές και μετά-ταξινόμηση τεχνικές.

2.3.1. Τεχνικές προ-ταξινόμησης

Οι τεχνικές προ ταξινόμησης, γνωστές και ως δυαδικές αλλαγές, περιλαμβάνουν διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούν απευθείας τις διαφορετικές ημερομηνίες δορυφορικών εικόνων, ώστε να προσδιορίσουν αν υπάρχει αλλαγή ή όχι. Αρκετές προ-ταξινόμηση τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί και συγκριθεί, για να αξιολογηθούν και να αναγνωριστούν οι αλλαγές χρήσης γης. Κάποιες από αυτές τις τεχνικές είναι οι ακόλουθες οι οποίες εξάλλου έχουν ήδη περιγραφεί συνοπτικά στην προηγούμενη παράγραφο:

- Διαφορά εικόνας (Image Differencing (ID))
- Διαίρεση εικόνας (Image Ratioing (IR))
- Παλινδρόμηση εικόνας (Image Regression)
- Διαφορά δείκτη βλάστησης (Vegetation Index Differencing (VID))
- Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (Principal Component Analysis (PCA))
- Ανάλυση του διανύσματος αλλαγών (Change Vector Analysis (CVA))

Η βασική προϋπόθεση σε αυτές τις τεχνικές είναι η μέτρηση της φύσης των αλλαγών, που αντιπροσωπεύει τις αλλαγές στα χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος, που έχουν ως αποτέλεσμα αλλαγές στην τιμή ακτινοβολίας ή ανάκλασης (Lu, 2004). Οι περισσότερες από τις τεχνικές προ-ταξινόμησης, αναγνωρίζονται ως οι πιο ακριβείς τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών, διότι είναι απλές και αποτελεσματικές για τον εντοπισμό της αλλαγής και είναι εύκολο να εφαρμοστούν (Sunar, 1998). Ωστόσο, υπάρχουν τρεις κρίσιμες πτυχές για τις τεχνικές προ-ταξινόμησης:

1. Πρέπει να γίνει κατάλληλη επιλογή κατωφλίου, για τον εντοπισμό των αλλαγών,
2. Υπάρχει ευαισθησία σε εσφαλμένη καταχώρηση εικονοστοιχείων,
3. Δεν μπορούν να παρέχουν λεπτομέρειες σχετικά με τη φύση της αλλαγής ή να παρέχουν έναν πίνακα πληροφοριών αλλαγής (Lu, 2004).

2.3.1.1. Διαφορά εικόνας (Image Differencing)

Η Διαφορά εικόνας (Image Differencing), που αναφέρεται στην βιβλιογραφία και ως Image Delta, είναι μια απλή και εύχρηστη τεχνική για την εφαρμογή και ερμηνεία ανίχνευσης αλλαγών. Χωρίζει την εικόνα σε δύο αποτελέσματα: αλλαγή και καμία αλλαγή. Η διαδικασία με την οποία λαμβάνονται αυτά τα αποτελέσματα προέρχεται με αφαίρεση των εικονοστοιχείων δύο εικόνων, διαφορετικών ημερομηνιών. Η γενική διαδικασία για τον εντοπισμό της αλλαγής σε δύο ημερομηνίες με διαφοροποίηση εικόνας, εξάγει την αλλαγή της εικόνας της ημερομηνίας 2 από την εικόνα της ημερομηνίας 1 (π.χ. εικόνα της ημερομηνίας 1 - εικόνα της ημερομηνίας 2). Απαραίτητο σε αυτή την τεχνική είναι η επιλογή κατωφλίου για τον προσδιορισμό της αλλαγμένης περιοχής.



Εικόνα 4. Image Differencing (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014))

Ωστόσο, η συγκεκριμένη τεχνική δεν μπορεί να παρέχει επαρκείς πληροφορίες σχετικά με την αλλαγή. Οι επιπτώσεις της ατμόσφαιρας και άλλων μη επιφανειακών χαρακτηριστικών στην ακτινοβολία που καταγράφει ο δέκτης μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα της διαφοράς εικόνας. Η διαφοροποίηση εικόνας χρησιμοποιείται ευρέως για την ανίχνευση αλλαγών στο γεωγραφικό περιβάλλον.

Έχει εφαρμοστεί:

- Για διαφορά μεμονωμένου καναλιού (π.χ. Band 4 ημερομηνίας 1 – Band 4 ημερομηνίας 2)
- Για διαφορά έγχρωμου σύνθετου (τριών καναλιών)
- Για διαφορά των δεικτών βλάστησης
- Για διαφορά ταξινομήσεων

Ο Sohl (1999) εξέτασε πέντε τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών:

- univariate image differencing,
- “enhanced” image differencing,
- vegetation index differencing,
- post-classification differencing
- change vector analysis

για τον εντοπισμό της αλλαγής στην περιοχή Abu Dhabi Emirate, χρησιμοποιώντας δεδομένα από τον δορυφόρο Landsat Thematic Mapper (TM). Διαπίστωσε ότι η τεχνική “enhanced” image differencing, παρείχε ακριβέστερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές, ενώ η τεχνική change vector analysis αποδείχθηκε χρήσιμη για την παροχή ποιοτικών λεπτομερειών σχετικά με τη φύση της αλλαγής.

Ο Ridd και Liu (1998) συνέκριναν τέσσερις τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών σε αστικό περιβάλλον:

- image differencing,
- image regression,

- tasseled cap transformation,
- chi-square were used.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η πιο ακριβής τεχνική για τον εντοπισμό της αλλαγής ήταν αυτή της παλινδρόμησης του καναλιού TM 3, ενώ η τεχνική image differencing του καναλιού TM 4, βρέθηκε να είναι η λιγότερο ακριβής. Σε ξηρό και ημι-ξηρό περιβάλλον, η τεχνική image differencing του καναλιού RED είναι πιο αποτελεσματική από τη χρήση της διαφοράς του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης Διαφοράς (NDVI).

2.3.1.2. Διάρθρωση εικόνας (Image Ratioing)

Ο λόγος εικόνων εξάγει πληροφορίες μεταξύ δύο ή περισσότερων διαφορετικών εικόνων, χρησιμοποιώντας τα ίδια κανάλια για όλες τις εικόνες. Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό των αλλαγών μεταξύ δύο εικόνων χρησιμοποιώντας το κανάλι 2, η απλή διαδικασία της αναλογίας εικόνας θα μπορούσε να είναι: (Κανάλι 2 της χρονικής στιγμής t1 διαιρεμένο με το κανάλι 2 της χρονικής στιγμής t2). Στους λόγους εικόνας, το αμετάβλητο εικονοστοιχείο παρουσιάζεται με γκρι χρώμα, ενώ το αλλαγμένο εικονοστοιχείο εμφανίζεται με φωτεινό ή σκούρο χρώμα. Για την εμφάνιση των διαφορετικών αλλαγών μεταξύ δύο ή περισσότερων εικόνων, η επιλογή της κατάλληλης τιμής κατωφλίου είναι σημαντική σε αυτή την τεχνική. Η τεχνική του λόγου εικόνων είναι χρήσιμη για να εξάγει πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη της βλάστησης. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι μειώνονται οι επιδράσεις από τις σκιές, το φωτισμό, τον θόρυβο και το διαφορετικό οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας. Ωστόσο, υπάρχουν δύο μεγάλα μειονεκτήματα, το πρώτο αφορά την δυσκολία επιλογής του κατωφλίου, και το δεύτερο αφορά την ανάλυση του τύπου της αλλαγής.

Ο λόγος εικόνων χρησιμοποιήθηκε από τους Howarth και Wickware (1981) για τη δημιουργία τριών έγχρωμων σύνθετων, με αντικατάσταση του καναλιού 5 από τον λόγο των καναλιών 5, τον λόγο των καναλιών 7 και τον δείκτη βλάστησης, αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι η αλλαγή τονιζόταν με τη χρήση του λόγου των καναλιών 5, που έδωσε πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την αλλαγή, ενώ το αποτέλεσμα του δείκτη βλάστησης παρείχε λιγότερες πληροφορίες σχετικά με την αλλαγή.

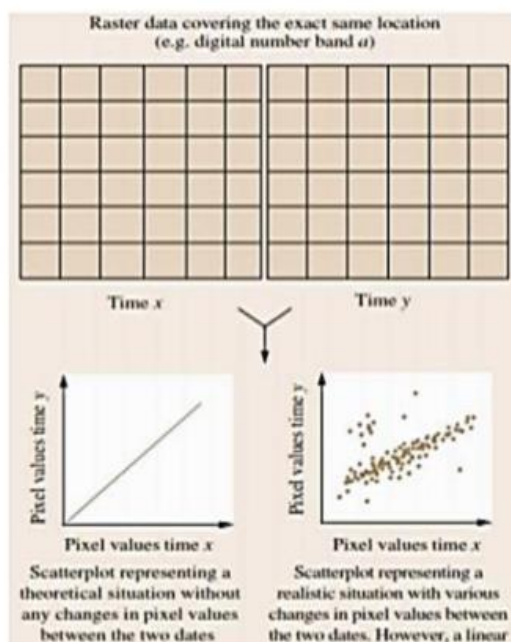
Ο Nelson (1983) δοκίμασε τρεις τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών, όπως τη διαφορά εικόνων, το λόγο εικόνων και τη διαφορά του δείκτη βλάστησης, για τον προσδιορισμό της καταλληλότερης τεχνικής για ανίχνευση αλλαγών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διαφορά δείκτη βλάστησης και ο λόγος του καναλιού 5 ήταν οι πιο ακριβείς μέθοδοι για την οριοθέτηση της αλλαγής του θόλος του δάσους από άλλα μεμονωμένα κανάλια ή συνδυασμό καναλιών.

Ο Prakash (1998) χρησιμοποίησε τον λόγο εικόνας και τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης και βρήκε ότι ο λόγος εικόνας παρείχε πολύ χρήσιμες πληροφορίες χαρτογράφησης χρήσης γης.

2.3.1.3. Παλινδρόμηση εικόνας (Image Regression)

Η μέθοδος παλινδρόμησης της εικόνας στηρίζεται στην υπόθεση ότι η μεταγενέστερη εικόνα είναι γραμμική συνάρτηση της προγενέστερης. Δημιουργεί σχέσεις μεταξύ των δύο εικόνων και στη συνέχεια υπολογίζει τις τιμές των εικονοστοιχείων της μεταγενέστερης εικόνας με τη χρήση μιας συνάρτησης παλινδρόμησης. Τέλος αφαιρεί την εικόνα παλινδρόμησης από την

προγενέστερη. Η εικόνα των αλλαγών παράγεται από τα υπόλοιπα (residuals) που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου ελάχιστων τετραγώνων (Ridd, 1998). Το πλεονέκτημα στη χρήση αυτής της μεθόδου είναι ότι μειώνονται οι επιπτώσεις της ατμόσφαιρας του αισθητήρα και των περιβαλλοντικών διαφοροποιήσεων στη μελέτη αλλαγής μεταξύ δύο εικόνων, όμως προϋποθέτει την ανάπτυξη παλινδρομικών συναρτήσεων ακριβείας για τα επιλεγμένα κανάλια πριν την εφαρμογή ΕτΑ (Lu, 2004).



Εικόνα 5. Παλινδρόμηση Εικόνας. (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014))

2.3.1.4. Διαφορά δείκτη βλάστησης (Vegetation Index Differencing)

Δείκτης Βλάστησης

Ένας δείκτης βλάστησης (VI) είναι ένας φασματικός μετασχηματισμός δύο ή περισσότερων καναλιών, που στοχεύει στην ενίσχυση των ιδιοτήτων της βλάστησης και επιτρέπει αξιόπιστες χωρικές και χρονικές συγκρίσεις της επίγειας φωτοσυνθετικής δραστηριότητας.

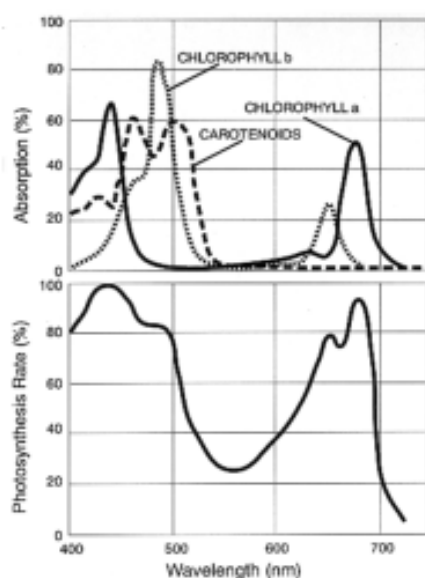
Υπάρχουν αρκετοί δείκτες βλάστησης (VIs), με πολλούς να είναι λειτουργικά ισοδύναμοι. Πολλοί από τους δείκτες κάνουν χρήση της αντίστροφης σχέσης μεταξύ της κόκκινης και της σχεδόν υπέρυθρης ακτινοβολίας, με στόχο την ανίχνευση της υγιούς βλάστησης. Από τη δεκαετία του 1960 οι επιστήμονες χρησιμοποιούν την επιστήμη της τηλεπισκόπησης για να παρακολουθούν τις διακυμάνσεις - μεταβολές της βλάστησης στην επιφάνεια της Γης. Οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών της βλάστησης περιλαμβάνουν τον δείκτη περιοχής φύλλων (LAI), το ποσοστό πράσινου καλύμματος, την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, την πράσινη βιομάζα και την απορροφημένη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (APAR).

Οι δείκτες βλάστησης (VIs) έχουν, ιστορικά, ταξινομηθεί με βάση ένα εύρος χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένων του αριθμού των φασματικών καναλιών (2 ή μεγαλύτεροι από 2), τη μέθοδο υπολογισμών (λόγος ή ορθογώνια), τον ανάλογο απαιτούμενο στόχο ή την ιστορική τους εξέλιξη (ταξινομούνται ως VI πρώτης γενιάς ή VI

δεύτερης γενιάς). Προκειμένου να συγκριθούν οι διάφοροι δείκτες βλάστησης (VI) ως προς την αποτελεσματικότητά τους, ο (Lyon, 1998) ταξινόμησε 7 δείκτες βάσει τις εκάστοτε μεθόδου υπολογισμού (αφαίρεση, διαίρεση).

NDVI

Ο κανονικοποιημένος δείκτης NDVI, χρησιμοποιείται για τη μελέτη της βλάστησης. Βασίζεται στην ανάκλαση των φυτών κατά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης, καθώς μετράει τις μεταβολές στην περιεκτικότητά τους σε χλωροφύλλη (Macías, 2014). Τα φυτά απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία στη φασματική περιοχή της φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (PAR), την οποία χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Τα κύτταρα των φύλλων εκπέμπουν εκ νέου την ηλιακή ακτινοβολία στη φασματική περιοχή κοντά στην υπέρυθρη ακτινοβολία, επειδή η ενέργεια των φωτονίων σε μήκος κύματος μεγαλύτερη από περίπου 0,7 μm είναι πολύ μεγάλη για να συνθέσουν οργανικά μόρια (μια ισχυρή απορρόφηση σε αυτά τα μήκη κύματος θα είχε ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του φυτού και πιθανώς την καταστροφή των ιστών του και των πρωτεϊνών του).



Εικόνα 6. Φασματική Υπογραφή Βλάστησης. (Πηγή: (Καρτάλης, 2017))

Κατά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης και δεδομένης της ύπαρξης της χλωροφύλλης, η ηλιακή ενέργεια στο ορατό φάσμα απορροφάται, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σκούροι τόνοι ενώ στο εγγύς υπέρυθρο υπάρχει μεγάλη ανακλαστικότητα, οπότε εμφανίζονται ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις. Ο δείκτης NDVI υπολογίζεται μεταξύ των καναλιών Red (κανάλι του ορατού φάσματος -> κόκκινο) και NIR (εγγύς υπέρυθρο), όπως φαίνεται παρακάτω: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$

Πρόκειται για έναν κανονικοποιημένο δείκτη με πεδίο τιμών [-1,1], (όπου τιμές από -1 έως περίπου 0.20 αφορούν εικονοστοιχεία με μη ύπαρξη βλάστησης και με τιμές μεγαλύτερες του 0.20 έως 1 αφορούν εικονοστοιχεία στα οποία ανιχνεύεται βλάστηση).

Vegetation Index Differencing -> ο υπολογισμός του πραγματοποιείται με την αφαίρεση δύο δεικτών βλάστησης.

2.3.1.5. Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών (CVA)

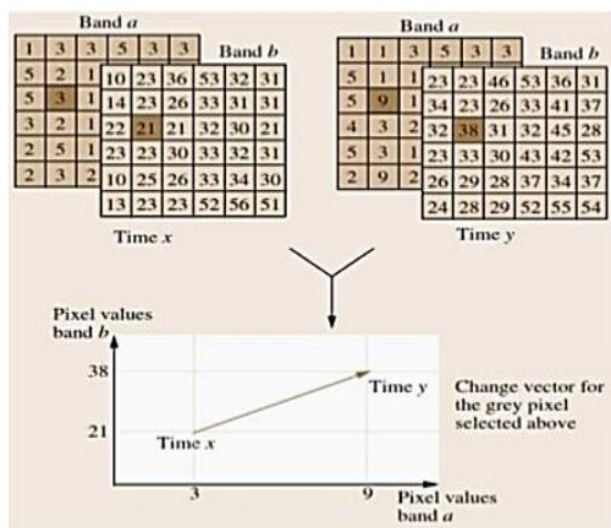
Η ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών αποτελεί μια τεχνική που σχετίζεται με την κατεύθυνση και το μέγεθος της αλλαγής. Το συνολικό μέγεθος αλλαγής ανά εικονοστοιχείο CMpixel υπολογίζεται με τον προσδιορισμό της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των τελικών σημείων μέσω του n-διάστατου χώρου αλλαγής:

$$CM_{pixel} = \sum_{i=1}^n (X2 - X1)^2$$

Όπου, τα X1 και X2 είναι οι τιμές των εικονοστοιχείων στις 2 εικόνες που έχουν ληφθεί την ημερομηνία 1 και την ημερομηνία 2 αντίστοιχα και n τα κανάλια.

Από την εφαρμογή της ανάλυσης του διανύσματος των αλλαγών παράγεται μια εικόνα έντασης (magnitude) και μια εικόνα κατεύθυνσης της αλλαγής (direction). Η εικόνα κατεύθυνσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση των αλλαγών. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε πολυφασματικά δεδομένα και ότι επιτρέπει την διάκριση του είδους των αλλαγών που συμβαίνουν.

Η τεχνική της ανάλυσης του διανύσματος των αλλαγών είναι περίπλοκη στην εφαρμογή, αλλά είναι χρήσιμη για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την αλλαγή.



Εικόνα 7. Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών - CVA. (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014))

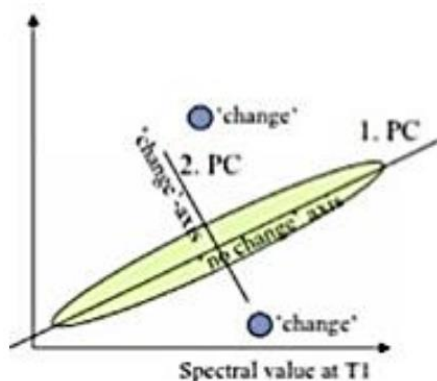
Οι Tyler και Schorppmann (1996) χρησιμοποίησαν την τεχνική ανάλυσης του διανύσματος των αλλαγών για την παρακολούθηση των αλλαγών εντός της ευρύτερης περιοχής του εργοστασίου ηλεκτρισμού του Τσερνόμπιλ. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η τεχνική μπορεί να απομονώσει ορισμένα φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευών και ανασκαφών, των διακυμάνσεων της στάθμης του νερού, τις αλλαγές στον τύπο κάλυψης της γεωργίας και της παραποτάμιας βλάστησης.

Ο Akin (2009) χρησιμοποίησε τέσσερις τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών, συμπεριλαμβανομένων των image differencing, image ratioing, image regression και ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών (CVA) για τον εντοπισμό της χρήσης και της αλλαγής της γης στο μεσογειακό περιβάλλον. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η τεχνική της ανάλυσης του διανύσματος των αλλαγών αποτέλεσε την πιο ακριβή μέθοδο για τον προσδιορισμό της μεταβολής στην περιοχή ενδιαφέροντος. Ο συνδυασμός της ανάλυσης του διανύσματος των αλλαγών με άλλες τεχνικές, παρέχει περισσότερες πληροφορίες από την εφαρμογή μεμονωμένων τεχνικών.

2.3.1.6. Ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (PCA)

Σε αρκετές επιστήμες υπάρχει ανάγκη διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων. Στην Τηλεπισκόπηση την τελευταία δεκαετία έχουν δημιουργηθεί δεκάδες καινούργιοι δορυφόροι οι οποίοι καθιερώνουν ολοένα και περισσότερο υψηλά πρότυπα στις ιδιότητες των δορυφορικών εικόνων. Οι αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών για υψηλά επίπεδα ποιότητας των δορυφορικών εικόνων και συνεπώς της διακριτικής ικανότητας των σαρωτών των δορυφόρων, οδήγησαν στην δημιουργία υψηλών φασματικών, ραδιομετρικών αλλά κυρίως χωρικών ιδιοτήτων των δορυφορικών εικόνων. Η υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα ενός δορυφόρου μεταφράζεται σε μικρής επιφάνειας εικονοστοιχεία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της εξέλιξης αυτής αποτελεί η δημιουργία του δεκαπέντε μέτρων εικονοστοιχείου του παγχρωματικού καναλιού των δορυφόρων Landsat των τελευταίων γενεών, το οποίο καταλαμβάνει το ένα τέταρτο της επιφάνειας των pixels του ίδιου δορυφόρου στα πολυφασματικά κανάλια. Έτσι, την περιοχή που κατελάμβανε ένα pixel στο πολυφασματικό μήκος κύματος την καταλαμβάνουν στο παγχρωματικό τέσσερα pixels. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται την αύξηση του όγκου των δεδομένων τέσσερις φορές περισσότερο για την κάλυψη της ίδιας ακριβώς περιοχής.

Σε πολυφασματικές επεξεργασίες δορυφορικών καναλιών κατά την διάρκεια των οποίων οι επεξεργαστές των ηλεκτρονικών υπολογιστών εκτελούν πράξεις σε όλα τα φασματικά κανάλια ενός δορυφόρου και μερικές φορές και στα παράγωγά τους, ο όγκος των δεδομένων (εκατομμύρια pixels επί τον αριθμό των φασματικών καναλιών) που διαχειρίζονται και των πράξεων που εκτελούν αυξάνει σημαντικά. Μία χρήσιμη λειτουργία θα ήταν η συμπίεση του μεγάλου αυτού όγκου δεδομένων - με τις μικρότερες δυνατές απώλειες πληροφορίας- σε λιγότερα φασματικά κανάλια. Η ανάγκη για συμπίεση του μέγιστου δυνατού όγκου πληροφορίας οδήγησε στην χρήση μιας μεθόδου που συνίσταται στην δημιουργία ενός αριθμού φασματικών νέων καναλιών (τα οποία προκύπτουν από γραμμικούς συνδυασμούς των αρχικών φασματικών καναλιών) μικρότερου ή ίσου από τον αρχικό αριθμό των φασματικών καναλιών και τα οποία, όντας τελείως ασυσχέτιστα μεταξύ τους συγκεντρώνουν ήδη από τα πρώτα, δύο ή τρία, το μέγιστο ποσοστό της διακύμανσης των ραδιομετρικών τιμών των pixels. Τα φασματικά αυτά νέα κανάλια δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα αλλά πολλές φορές χρησιμοποιούνται με σκοπό τον διαχωρισμό και την εμφάνιση των υπαρχουσών καλύψεων γης. Η μέθοδος αυτή λέγεται Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (PCA).



Εικόνα 8. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών. (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014))

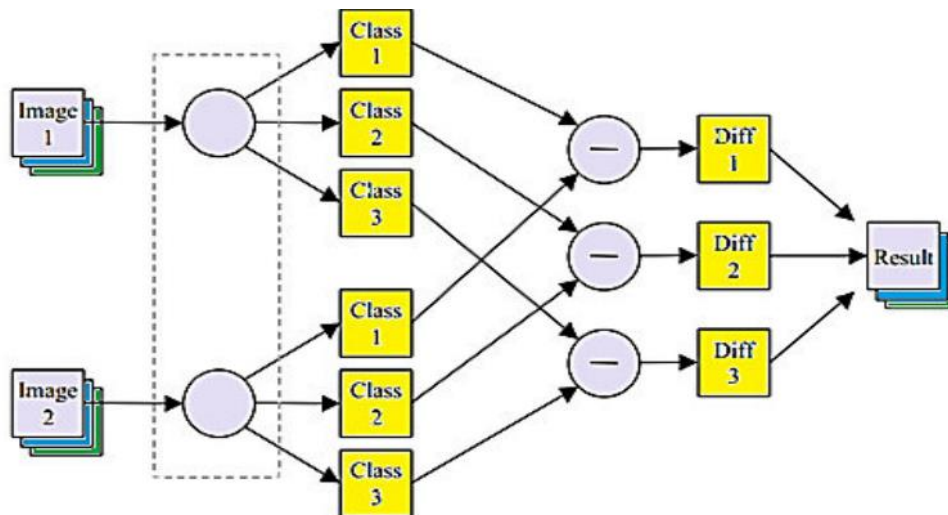
Τα στάδια της εφαρμογής της μεθόδου της PCA στην Τηλεπισκόπηση είναι τα ακόλουθα:

1. Μετασχηματισμός των δορυφορικών δεδομένων (φασματικών καναλιών)
2. Τυποποίηση του αρχικού πίνακα δεδομένων
3. Δημιουργία του πίνακα συσχετίσεων
4. Εύρεση των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων του πίνακα συσχετίσεων
5. Υπολογισμός του ποσοστού αδράνειας (διασποράς) του νέφους των σημείων (γραμμών) στον κάθε έναν από τους νέους παραγοντικούς άξονες
6. Επαλήθευση της ορθότητας των υπολογισμών
7. Υπολογισμός των συντεταγμένων των σημείων στους νέους άξονες

Η μέθοδος των κυρίων συνιστωσών (PCA) βελτιώνει την αναγνώριση των μη μεταβλητών εικονοστοιχείων και συνεπώς βελτιώνει το αποτέλεσμα (Hecheltjen, 2014). Παρόλο που η τεχνική χρησιμοποιείται σπάνια για την ανίχνευση αλλαγών, είναι χρήσιμη για τη μείωση των διαστάσεων των αποτελεσμάτων (πολυ-φασματικά δεδομένα) άλλων μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών, όπως για παράδειγμα μετά από εφαρμογή αφαίρεσης εικόνων σε όλες τις εικόνες μια συστοιχίας δεδομένων (Jha, 1994).

2.3.2. Τεχνικές μετα-ταξινόμησης

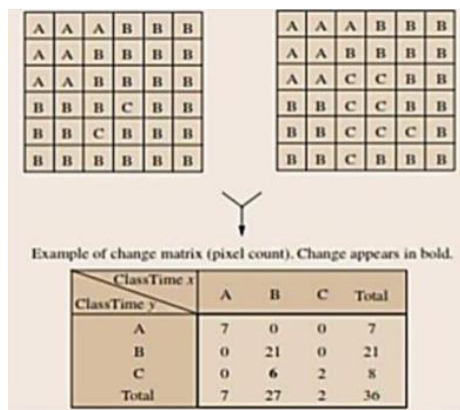
Η σύγκριση μετά την ταξινόμηση είναι η πιο δημοφιλής προσέγγιση στην ανάλυση ανίχνευσης αλλαγών (Foody, 2002). Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει την ανεξάρτητη ταξινόμηση των εικόνων, αποσκοπεί στην παραγωγή θεματικών χαρτών και την μετέπειτά τους σύγκριση (ως προς τις διάφορες κατηγορίες τους), ώστε να εντοπιστεί η όποια αλλαγή. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα σε αυτήν την τεχνική όπως, ότι ελαχιστοποιούνται οι διαφορές αισθητήρων, ατμοσφαιρικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων καθώς τα δεδομένα από δύο ημερομηνίες ταξινομούνται ξεχωριστά, ελαχιστοποιώντας έτσι το πρόβλημα των διαφορετικών εικόνων των δύο ημερομηνιών και παρέχεται μια πλήρη περιγραφή της αλλαγής κάλυψης γης όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλές εικόνες (Lu, 2004), (Jensen, 2005), (Naumann, 2004), (Teng, 2008)). Ακόμη, προκύπτει μια σειρά πινάκων, που περιλαμβάνουν την αλλαγή, το είδος της αλλαγής, και από ποια κατηγορία σε ποια υπήρχε η αλλαγή.



Εικόνα 9. Διάγραμμα Τεχνικής μετά-ταξινόμησης. (Πηγή: (Al-doski, 2013))

Ωστόσο, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτήν τη μέθοδο είναι εξίσου ακριβή με τις ίδιες τις μεμονωμένες εικόνες ταξινόμησης ((Jensen, 2005), (Cinco, 2002)).

Σφάλματα σε αυτή την μέθοδο, είναι δυνατό να προκύψουν, εφόσον χρησιμοποιούνται εικόνες πολλαπλών ημερομηνιών, ή πολλαπλών αισθητήρων, λόγω των διαφορών στα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά των εικόνων, που παράχθηκαν οι χάρτες (Foody, 2002).



Εικόνα 10. Σύγκριση μετά από ταξινόμηση και παράδειγμα του πίνακα αλλαγών. (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014))

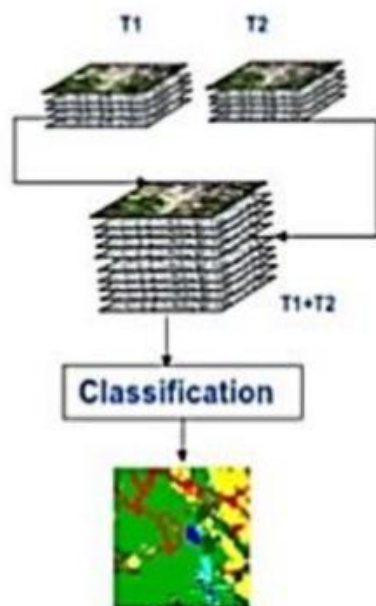
Η προσέγγιση σύγκρισης μετά την ταξινόμηση, χρησιμοποιήθηκε από πολλούς ερευνητές όπως (Diallo, 2009), (Bayarsaikhan, 2009), (Shalaby, 2007), (Muttitanon, 2005) (Torahi, 2011) που χρησιμοποίησαν τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών μετά την ταξινόμηση, για την ανίχνευση της χρήσης γης / ανίχνευση αλλαγής γης και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι έχει επιτευχθεί υψηλή συνολική ακρίβεια για μια ποικιλία δεδομένων. Ο Dewidar (2004) εφάρμοσε τη μέγιστη πιθανοφάνεια επιβλεπόμενη ταξινόμηση και τη μετα-ταξινόμηση για την ανίχνευση αλλαγών στις εικόνες Landsat για χαρτογράφηση και παρακολούθηση των αλλαγών κάλυψης και χρήσης γης στη βορειοδυτική παράκτια ζώνη της Αιγύπτου. Οι Sun, Ma και Wang (2009) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο post-classification comparison με βάση τον αλγόριθμο μέγιστης πιθανοφάνειας για να προσδιορίσουν τις αλλαγές χρήσης γης στη λεκάνη Datong, της Κίνας χρησιμοποιώντας πολυφασματικά δεδομένα Landsat.

Η μετά-ταξινόμηση έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές σε όλο τον κόσμο, με βάση τη χρήση των αλγορίθμων ταξινόμησης, για διαφορετικούς σκοπούς, όπως για να ποσοτικοποιηθεί η αλλαγή κάλυψης γης, να βελτιωθεί η φασματική ταξινόμηση, να μειωθεί η διάδοση σφαλμάτων ταξινόμησης και να βελτιωθεί η ακρίβεια ταξινόμησης της χρήσης γης και της αλλαγής κάλυψης γης.

2.3.2.1. Άμεση Ταξινόμηση Εικόνων Διαφορετικών Ημερομηνιών

Ακόμη μια τεχνική που απαιτεί ταξινόμηση αποτελεί η άμεση ταξινόμηση εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών, η οποία βασίζεται στην ενιαία ανάλυση ενός συνδυασμένου συνόλου δεδομένων από τις δύο ημερομηνίες, προκειμένου να εντοπιστούν οι περιοχές των αλλαγών (Singh, 1989). Στις κατηγορίες όπου υπάρχουν αλλαγές, αναμένεται να παρουσιαστεί σημαντική στατιστική διαφορά σε αντίθεση με τις κλάσεις όπου δεν υπάρχουν αλλαγές και έτσι γίνεται ο διαχωρισμός.

Οι εικόνες από τις δύο ημερομηνίες συνδιάζονται, ταξινομούνται και έπειτα εφαρμόζεται η ανίχνευση αλλαγών θεωρώντας κάθε αλλαγή ως κατηγορία, εκπαιδεύοντας τον αλγόριθμο ταξινόμησης να αναγνωρίσει όλες τις κατηγορίες και τις αλλαγές. Ως τεχνική έχει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως ότι εκμεταλλεύεται την πολυφασματική πληροφορία, το ποσοστό του σφάλματος δεν είναι σωρευτικό και παράγεται πίνακας αλλαγών. Μειονέκτημα της διαδικασίας, αποτελεί η απαίτηση δεδομένων πεδίου, ώστε να γίνει η αναγνώριση των αλλαγών.



Εικόνα 11. Άμεση ταξινόμηση πολλών ημερομηνιών μαζί. (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014))

2.4 Ο αλγόριθμος Random Forest

Ο ταξινομητής Random Forest (RF) , είναι ένας από τους πιο γνωστούς συνδυαστικούς ταξινομητές, ο οποίος χρησιμοποιεί πολλά, ασυσχέτιστα μεταξύ τους δέντρα αποφάσεων για να πραγματοποιήσει μία εκτίμηση (Belgiu M. and Dragut L. (2016)). Η βασική ιδέα πίσω από το μοντέλο Random Forest, είναι η μείωση της συσχέτισης μεταξύ των ταξινομητών που το απαρτίζουν και του φαινομένου overfitting που προκαλεί την προσαρμογή του μοντέλου στον θόρυβο που υπάρχει στα δεδομένα.

Η ανεξάρτητη ανάπτυξη των δέντρων που απαρτίζουν το συνδυαστικό μοντέλο, βασίζεται στην επιλογή τυχαίων υποσυνόλων δεδομένων εκπαίδευσης (Bagging), με αντικατάσταση. Αυτό σημαίνει ότι μέρος του συνόλου των δειγμάτων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση ενός δέντρου, μπορεί να επιλεγεί περισσότερες από μία φορές για την εκπαίδευση και άλλων δέντρων μέσα στο σύμπλεγμα, ενώ άλλα δείγματα ενδέχεται να μην επιλεγούν καθόλου. Σε κάθε περίπτωση, τα υποσύνολα εκπαίδευσης που δημιουργούνται είναι διαφορετικά μεταξύ τους και κατά συνέπεια στατιστικά ανεξάρτητα (Rokach, 2010).

Η δεύτερη πηγή τυχειότητας στο μοντέλο Random Forest, αφορά την τυχαία επιλογή των μεταβλητών (καναλιών), βάση των οποίων θα τεθούν τα φασματικά όρια διαχωρισμού σε κάθε εσωτερικό κόμβο (internal splitting node). Το πλήθος των καναλιών που χρησιμοποιούνται σε κάθε δέντρο απόφασης, καθορίζεται από το σύνολο των μεταβλητών (V) που χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση και συνηθίζεται να είναι $mtry = \sqrt{V}$.

Όπου $mtry$ είναι ο αριθμός των μεταβλητών που διατίθενται για το διαχωρισμό σε κάθε κόμβο του δένδρου. Στο τυχαία δάση αναφέρεται ως παράμετρος $mtry$. Η προεπιλεγμένη τιμή αυτής της παραμέτρου εξαρτάται από το ποιο πακέτο R (γλώσσα προγραμματισμού) χρησιμοποιείται για να ταιριάζει το μοντέλο:

- Random Forest - Για τα μοντέλα ταξινόμησης, η προεπιλογή είναι η τετραγωνική ρίζα του αριθμού των μεταβλητών πρόβλεψης (στρογγυλοποίηση προς τα κάτω). Για τα μοντέλα παλινδρόμησης, είναι ο αριθμός των μεταβλητών πρόβλεψης δια 3 (στρογγυλοποίηση προς τα κάτω).

Υπάρχει εκτεταμένη συζήτηση στη βιβλιογραφία σχετικά με την επίδραση της $mtry$. Ο Cutler (2007) ανέφερε ότι η διαφορά στις τιμές των $mtry$ δεν επηρέασε τα σωστά ποσοστά ταξινόμησης μοντέλου και ότι άλλες μετρήσεις απόδοσης (ευαισθησία, ειδικότητα, κάπα, και ROC AUC) ήταν σταθερά κάτω από διαφορετικές τιμές της $mtry$. Από την άλλη πλευρά, Strobl (2008) ανέφεραν ότι $mtry$ είχε μια ισχυρή επίδραση σε εκτιμήσεις μεταβλητής με προγνωστική σημασία.

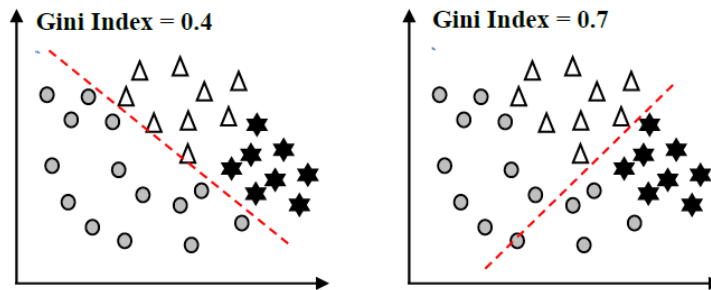
Η επιλογή ενός υποσυνόλου εκπαίδευσης, επιδρά θετικά στη μείωση του υπολογιστικού χρόνου ενώ η επιλογή μερικώς ή εξ' ολοκλήρου διαφορετικού υποσυνόλου δεδομένων εκπαίδευσης για κάθε δέντρο, βοηθά στη δημιουργία διαφορετικών εκτιμητών, ικανών να προσαρμοστούν σε διαφορετικά είδη δεδομένων, με απότερο σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης του αλγορίθμου (Criminisi, 2011). Ακόμα, σύμφωνα με τους Hastie T. (2009), η επιλογή κάθε φορά $mtry$ τυχαίων μεταβλητών σε κάθε εσωτερικό κόμβο διαχωρισμού (internal splitting node), βοηθά στη μείωση της συσχέτισης (ρ) μεταξύ κάθε πιθανού ζεύγους δέντρων και κατ' επέκταση μείωση της μεγάλης αστάθειας (ύπαρξη τυχαίων σφαλμάτων) που παρουσιάζουν τα δενδροειδή μοντέλα από τα οποία απαρτίζεται το δάσος.

$$\overline{\sigma^2} = \rho\sigma^2 + \left(\frac{1-\rho}{B}\right) \cdot \sigma^2$$

Στην παραπάνω εξίσωση παρατηρούμε τη μέση διακύμανση (σ) που υπάρχει στο δάσος, από την οποία μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με το ότι αν διατηρήσουμε όλους τους όρους σταθερούς και αυξήσουμε το πλήθος των δέντρων (B) που απαρτίζουν το δάσος, τότε ο δεύτερος όρος τείνει στο 0 και μας μένει ο 1ος όρος. Η μείωση της συσχέτισης (ρ) μεταξύ κάθε πιθανού ζεύγους δέντρων, επιτυγχάνεται μέσω της επιλογής τυχαίου πλήθους m μεταβλητών για κάθε εσωτερικό κόμβο διαχωρισμού.

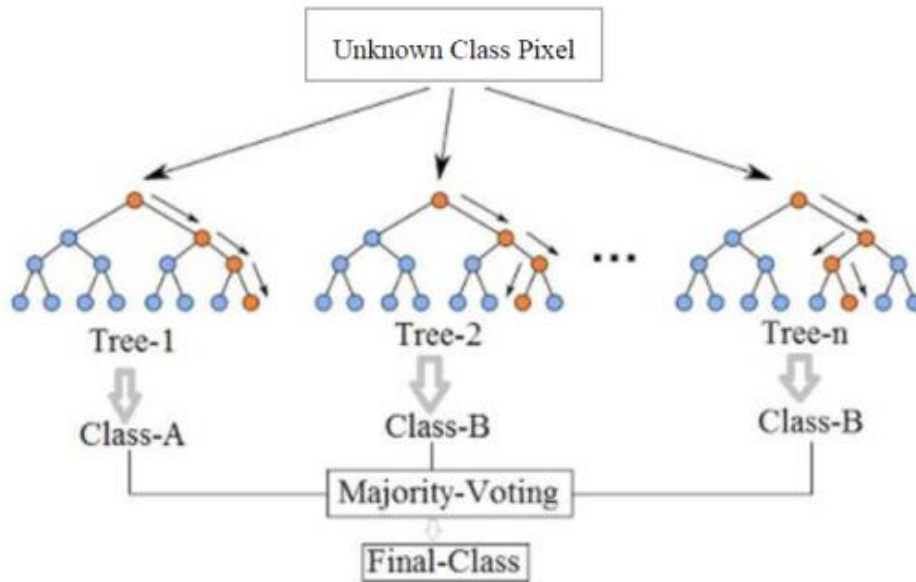
Αφού επιλεγούν τα κανάλια και τα υποσύνολα των δεδομένων εκπαίδευσης που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη του κάθε δέντρου, σε κάθε εσωτερικό κόμβο επιλέγεται το σημείο διαχωρισμού μεταξύ των υποψήφιων φασματικών κλάσεων.

Τα κριτήρια που θα καθορίσουν τη διαδρομή αυτού του εικονοστοιχείου μέχρι έναν τερματικό κόμβο (φύλλο), καθορίζονται από τα όρια διαχωρισμού. Αυτά προσδιορίζονται σε κάθε εσωτερικό κόμβο μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία, κατά την οποία διάφορα όρια εξετάζονται και αξιολογούνται μέσω του υπολογισμού του δείκτη gini (Εικόνα 12). Στο τελικό στάδιο της διαδικασίας αυτής, επιλέγεται το όριο με την χαμηλότερη τιμή του δείκτη, αφού με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η υπολογιστική ταχύτητα του αλγόριθμου, χωρίς να σπαταλιέται χρόνος που δε θα οδηγήσει το συντομότερο σε μία απόφαση.



Εικόνα 12. Δείκτης Gini στην εύρεση βέλτιστων ορίων διαχωρισμού. (Πηγή: (Πατσαλίδης, 2018))

Η τελική απόφαση κατηγοριοποίησης του κάθε εικονοστοιχείου, λαμβάνεται βάσει της ψήφου πλειοψηφίας στο σύνολο των αποφάσεων από τα δέντρα (Εικόνα 12).



Εικόνα 13. Παράδειγμα ταξινόμησης άγνωστης τάξης εικονοστοιχείων με τον αλγόριθμο Random Forest. (Πηγή: (Random forest, 2021))

Εκτός από τα δεδομένα εκπαίδευσης και τον αριθμό των μεταβλητών που επιλέγεται τυχαία για την εκπαίδευση του κάθε δέντρου ακόμα ένας παράγοντας πρέπει να καθορισθεί για την κατασκευή του αλγορίθμου. Ο παράγοντας αυτός αφορά τον αριθμό των δέντρων απόφασης που απαρτίζουν το δάσος.

Θεωρητικά, όσο το πλήθος των δέντρων αυξάνεται, τόσο πιο ομαλά είναι τα όρια διαχωρισμού και κατά συνέπεια καλύτερη η απόδοση του ταξινομητή. Εμπειρικά, όπως αναφέρουν οι Belgiu M. and Dragut L. (2016) σε έρευνες των Ghosh et al., (2014) και Kulkarni and Sinha, (2012), η ακρίβεια της ταξινόμησης όσο αφορά την παράμετρο του πλήθους των δέντρων, δεν είναι τόσο ευαίσθητη όσο η παράμετρος του πλήθους των μεταβλητών που θα καθορίσουν τα όρια διαχωρισμού σε κάθε εσωτερικό κόμβο.

Δείκτης Gini

Ο δείκτης Gini σε έναν κόμβο ενός δέντρου, ορίζεται ως:

$$g(t) = \sum_{j \neq i} p(j/t) p(i/t)$$

Όπου i και j είναι κατηγορίες στο πεδίο στόχου

$$p(j/t) = \frac{p(j, t)}{p(t)}$$

$$p(j, t) = \frac{\pi(j)N_j(t)}{N_j}$$

$$p(t) = \sum_j p(j, t)$$

Όπου

- $\pi(j)$ είναι η τιμή της prior πιθανότητας για την κατηγορία j ,
- $N_j(t)$ είναι το πλήθος των καταχωρήσεων στην κατηγορία j του κόμβου t ,
- N_j είναι το πλήθος των καταχωρήσεων στην κατηγορία j στον αρχικό κόμβο-ρίζα.

Σημειώνεται ότι όταν χρησιμοποιείται ο δείκτης Gini για την εύρεση της βελτίωσης για έναν διαχωρισμό κατά την διάρκεια της ανάπτυξης του δέντρου, για να υπολογιστούν το N_j και το $N_j(t)$ χρησιμοποιούνται οι καταχωρήσεις στον αρχικό κόμβο-ρίζα και στον κόμβο t αντίστοιχα που έχουν έγκυρες τιμές για το πεδίο διαχωρισμού (split-predictor).

Μια άλλη μορφή του δείκτη μη καθαρότητας Gini είναι:

$$g(t) = 1 - \sum_j p^2(j/t)$$

Έτσι όταν οι καταχωρήσεις σε ένα κόμβο διανέμονται ομαλά δια μέσου των κατηγοριών, ο δείκτης Gini λαμβάνει την μεγαλύτερη τιμή του $1-1/k$, όπου k είναι το πλήθος των κατηγοριών για το πεδίο στόχος. Ο δείκτης Gini ισούται με 0 όταν όλες οι καταχωρήσεις σε ένα κόμβο ανήκουν στην ίδια κατηγορία.

Για το διαχωρισμό στον κόμβο t η συνάρτηση του κριτηρίου Gini $\Phi(s,t)$ ορίζεται:

$$\Phi(s, t) = g(t) - p_L g(t_L) - p_R g(t_R)$$

Όπου

- p_L είναι η μερίδα των καταχωρήσεων στον κόμβο t οι οποίες στέλνονται στον αριστερό θυγατρικό κόμβο,
- p_R είναι η μερίδα των καταχωρήσεων στον κόμβο t οι οποίες στέλνονται στον δεξιό θυγατρικό κόμβο.

Οι λόγοι p_L και p_R ορίζονται ως εξής:

$$p_L = \frac{p(t_L)}{p(t)}$$

$$p_R = \frac{p(t_R)}{p(t)}$$

Επιλέγεται ο κατάλληλος διαχωρισμός s ούτως ώστε να μεγιστοποιηθεί η τιμή της $\Phi(s,t)$ συνάρτησης.

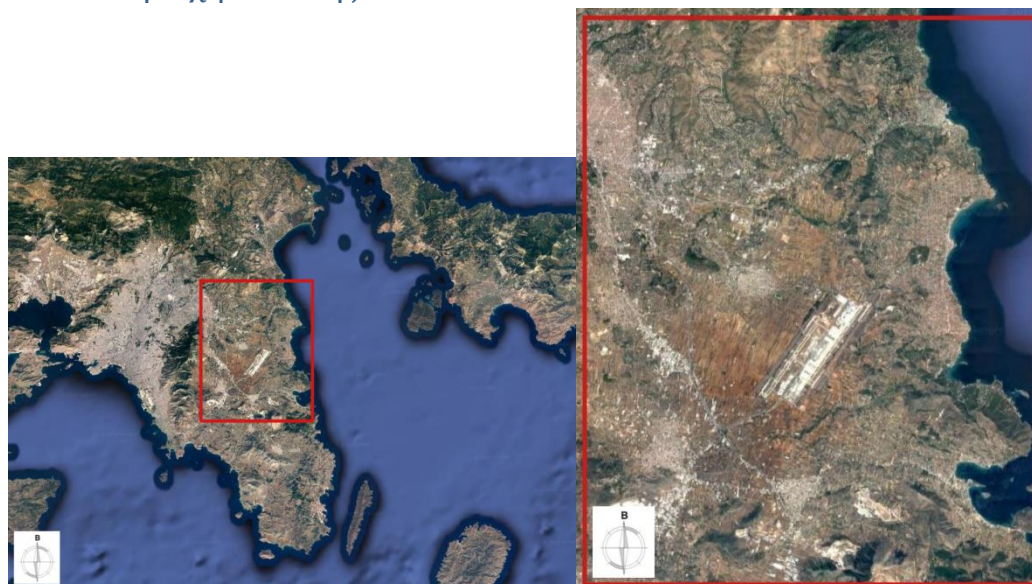
2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τις τεχνικές και τις εκτιμήσεις ανίχνευσης αλλαγών

Η εύρεση της κατάλληλης μεθόδου ανίχνευσης αλλαγών σε μια περιοχή ενδιαφέροντος, δεν είναι εύκολη διαδικασία. Αυτό οφείλεται στη διαφορετική φύση των φυσικών χαρακτηριστικών, σε προβλήματα καταγραφής εικόνας, στην ύπαρξη νέφους / θολότητας,

στην ανισοτροπία του αισθητήρα ή στην υστέρηση, σε πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ίδιων των μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών και στην έλλειψη γνώσεων σχετικά με την προσέγγιση του προβλήματος (Macleod, Congalton 1998, Nielsen, Conradsen & Simpson 1998). Σε γενικές γραμμές, η επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου για την ανίχνευση της αλλαγής είναι πολύ σημαντική, διότι δεν υπάρχει μια μεμονωμένη μέθοδος που να μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά σε όλες τις περιοχές μελέτης. Στην πράξη η εύρεση της κατάλληλης τεχνικής ανίχνευσης αλλαγών εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος που προορίζεται για μελέτη. Το βήμα αυτό, της επιλογής, είναι κρίσιμο, καθώς καθορίζει τις μελέτες ανίχνευσης αλλαγών, τα σύνολα των δεδομένων, το κατά πόσο αυτά είναι ενημερωμένα, διαθέσιμα και ποιοτικά, το χρόνο και το κόστος τους, και εξαρτάται από την ικανότητα ανάλυσης, εμπειρίας και παροχής πολλαπλών συνόλων δεδομένων εικόνας (Macleod, Congalton 1998, Johnson, Kasischke 1998, Nielsen, Conradsen & Simpson 1998, Cracknell 1998, Dai, Khorram 1998). Ανεξάρτητα από την τεχνική που χρησιμοποιείται, η επιτυχία της ανίχνευσης αλλαγών από εικόνες μπορεί να επηρεαστεί και από άλλους παράγοντες όπως, η ποιότητα της εικόνας στις διαφορετικές ημερομηνίες, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, οι χρόνοι απόκτησης, ο φωτισμός, οι γωνίες θέασης, η υγρασία του εδάφους, ο θόρυβος, η σκιά που υπάρχει στις εικόνες (Singh 1989a), η φαινολογική μεταβλητότητα ή οι διαφορές βλάστησης (Lu et al. 2002, Rogan, Franklin & Roberts 2002) και η βαθμονόμηση του αισθητήρα (Lillesand, Keifer 1994). Εκτός από τα χαρακτηριστικά του τοπίου και της τοπογραφίας της περιοχής μελέτης, η επιτυχία της ανίχνευσης αλλαγών εξαρτάται και από την ικανότητα και την εμπειρία του αναλυτή και την επιλογή της τεχνικής ανίχνευσης αλλαγών. Ακόμη, εκτός από τα διαφορετικά βήματα κατά την εφαρμογή της διαδικασίας ανίχνευσης αλλαγών κατά τα οποία μπορούν να προκληθούν σφάλματα που επηρεάζουν την επιτυχία της, σφάλματα μπορούν να προκληθούν και από μεταβολές των τιμών των εικονοστοιχείων που προέρχονται από την προ- επεξεργασία των εικόνων (Lu et al. 2004, Jensen 2005).

3. Περιοχή Μελέτης και Δεδομένα

3.1. Περιοχή Μελέτης



Εικόνα 14. Απόσπασμα περιοχής μελέτης (Πηγή: Google Earth)

Όπως παρουσιάζεται στις παραπάνω εικόνες, η περιοχή μελέτης, βρίσκεται στο Ανατολικό τμήμα της Αττικής. Με βάση τη (Νομαρχία Ανατολικής Αττικής, 2021), η περιοχή περιλαμβάνει τους Δήμους, Παλλήνης, Ραφήνας-Πικερμίου, Παιανίας, Σπατών-Αρτέμιδος, Κρωπίας και Μαρκοπούλου Μεσογαίας.



Εικόνα 15. Δημοτικές ενότητες περιοχής μελέτης (Πηγή: (Νομαρχία Ανατολικής Αττικής, 2021))

1	Δήμος Παλλήνης
2	Δήμος Αχαρνών-Θρακομακεδόνων
3	Δήμος Βάρης - Βούλας - Βουλιαγμένης
4	Δήμος Διονύσου
5	Δήμος Κρωπίας
6	Δήμος Λαυρεωτικής
7	Δήμος Μαραθώνος
8	Δήμος Μαρκοπούλου Μεσογαίας
9	Δήμος Παιανίας
10	Δήμος Ραφήνας - Πικερμίου

11	Δήμος Σαρωνικού
12	Δήμος Σπάτων - Αρτέμιδος
13	Δήμος Ωρωπού

Πιο συγκεκριμένα, τα όρια των γεωγραφικών συντεταγμένων στη προβολή WGS 84 / UTM zone 34N είναι:

Xmin	749355.00	Ymin	4193265.00
Xmax	767895.00	Ymax	4216545.00

3.1.1. Πρωτογενής Τομέας

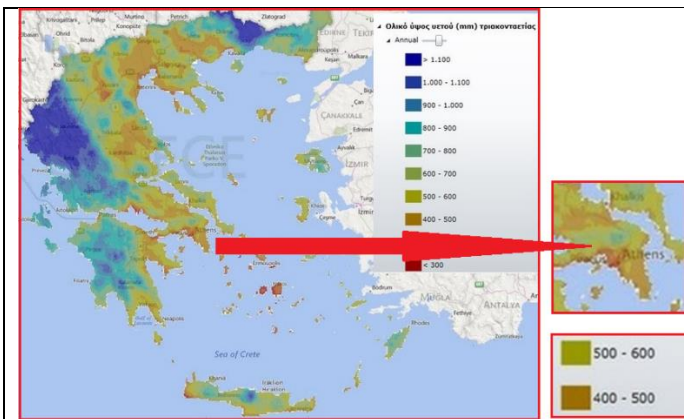
Στην Ανατολική Αττική, υπάρχουν αγροτικές εκτάσεις. Το έδαφος είναι γόνιμο (συνηθισμένο στα Μεσόγεια) και καλλιεργούνται σε αυτό πλήθος προϊόντων, με σημαντικότερα τα αμπέλια, τις ελιές, τις συκίες, τις φιστικιές, το μέλι και τα λαχανικά. Στην περιοχή υπάρχουν κτηνοτροφικές μονάδες όπου πολλά από τα προϊόντα τους πωλούνται στα τοπικά καταστήματα. (Περιφέρεια-Αττικής, 2014)



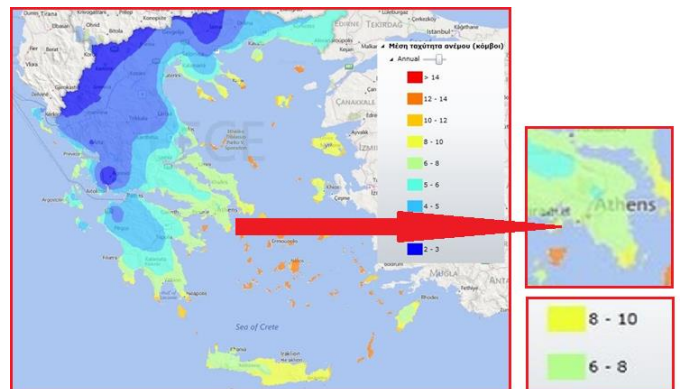
Εικόνα 16. Πρωτογενής Τομέας (Πηγή: (ΑΓΡΟΤύπος) (Kozanilife.gr) (Radio-ANTENNA-N.ΕΛΛΑΣ))

3.1.2. Κλίμα

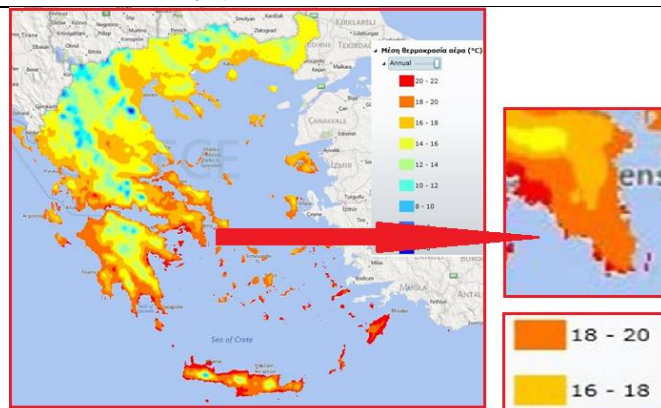
Το κλίμα της περιοχής είναι εύκρατο και χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, και το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου παραμένει ήπιο. Παρόλο που είναι μεσογειακό, έχει αρκετά μεγάλη διαφορά στο εύρος των θερμοκρασιών μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα σε σχέση με άλλες περιοχές της χώρας. Έχει μέση ετήσια θερμοκρασία 18,3 βαθμούς Κελσίου.



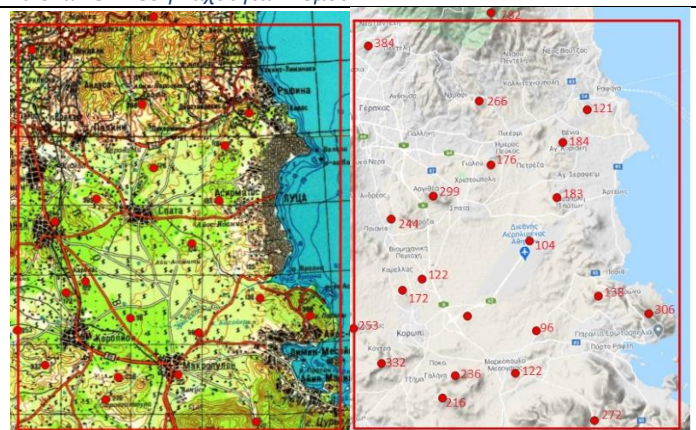
Εικόνα 17. Ολικό ύψος Υετού



Εικόνα 18. Μέση Ταχύτητα Ανέμου



Εικόνα 19. Μέση Θερμοκρασία Αέρα



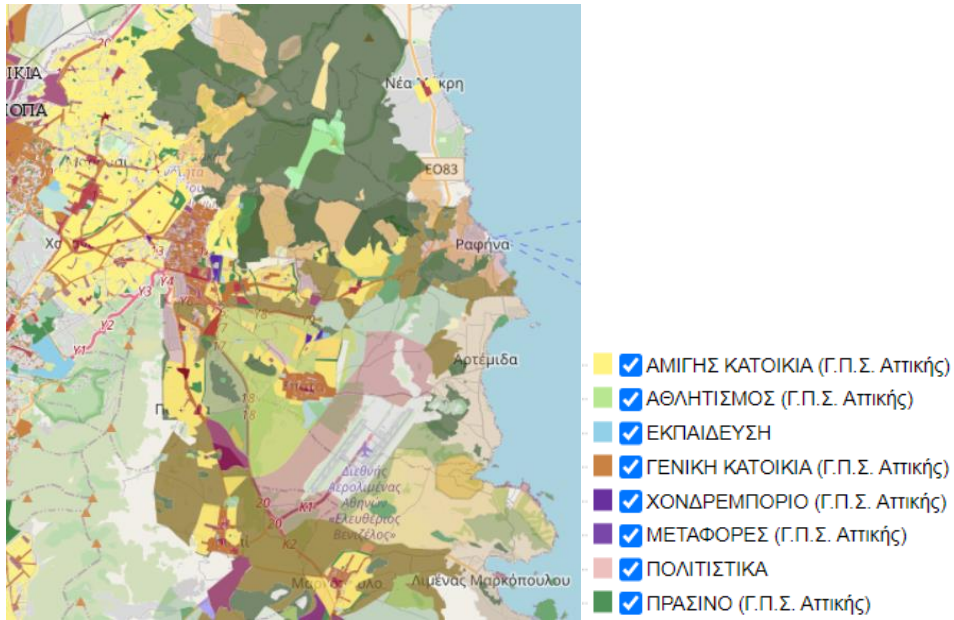
Εικόνα 20. Υψηλότερα σημεία Περιοχής Μελέτης

Πηγή: (Το_κλίμα_της_Ελλάδας)

3.1.3. Χρήσεις Γης

Οι Χρήσεις Γης καθορίζονται με απόφαση, η οποία δημοσιεύεται σε ΦΕΚ για την κάθε περιοχή. Με βάση τα στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, η περιοχή μελέτης απαρτίζεται από τις εξής κατηγορίες:

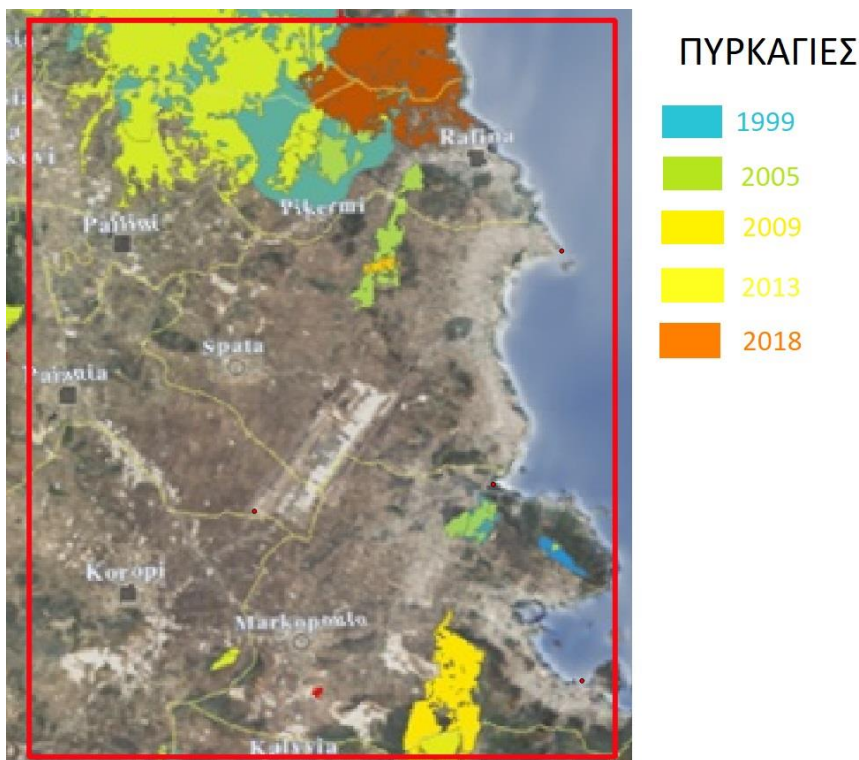
- Αμιγής κατοικία
- Αθλητισμός
- Εκπαίδευση
- Γενική Κατοικία
- Χονδρεμπόριο
- Μεταφορές
- Πολιτιστικά
- Πράσινο



Εικόνα 21, Χρήσεις Γης, ΥΠΕΚΑ (Πηγή: (ygreka))

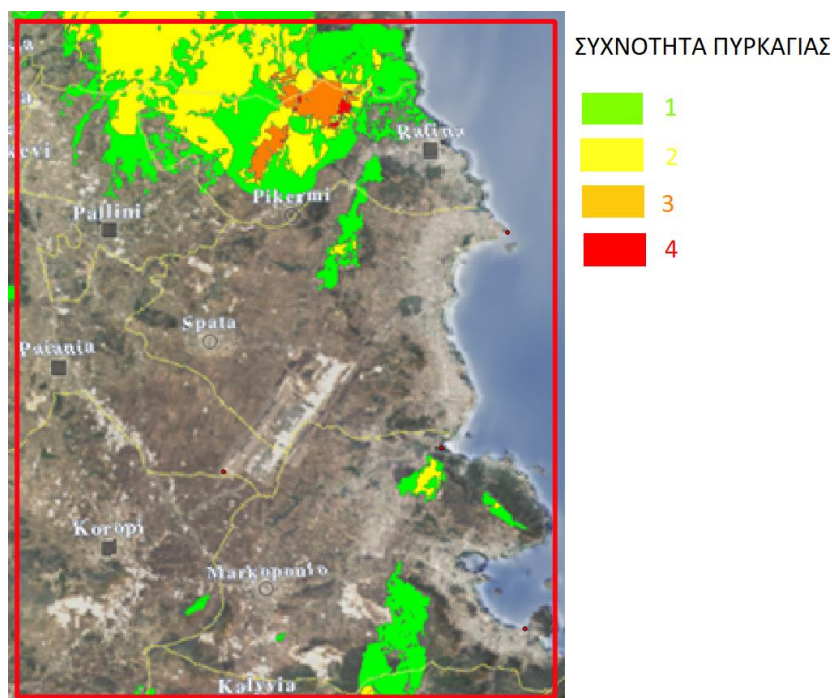
3.1.4. Πυρκαγές

Από την ιστοσελίδα SEVIRI MONITOR – NOA GIS συλλέχθηκαν πληροφορίες που αφορούν τις πυρκαγιές στην περιοχή μελέτης, για τις χρονολογίες 1999-2018. Παρακάτω παρουσιάζονται δυο χάρτες που αφορούν τις πυρκαγιές και την συχνότητά τους.



Εικόνα 22. Πυρκαγιές Ανατολική Αττική 1999-2018. (Πηγή: (Seviri_Monitor))

Η πυρκαγιά το 2018 (πορτοκαλί χρώμα) πραγματοποιήθηκε στις 23 Ιουλίου 2018, δηλαδή μετά την λήψη της εικόνας της Ανατολικής Αττικής 2018 (15 Ιουνίου 2018), συνεπώς δεν θα ληφθεί υπόψιν η συγκεκριμένη χρονολογία της πυρκαγιάς.



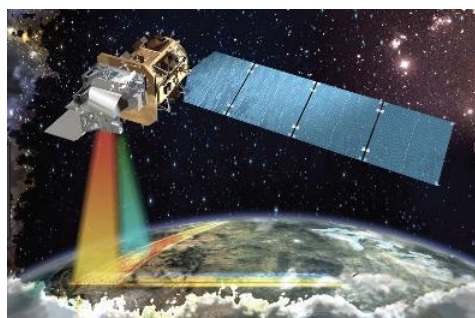
Εικόνα 23. Συχνότητα Πυρκαγιάς Ανατολική Αττική 1999-2018. (Πηγή: (Seviri_Monitor))

3.2. Δεδομένα

Τα προϊόντα που παρέχουν οι αποστολές των δορυφόρων Landsat-8 και Landsat-5, είναι μαζί με τα προϊόντα Sentinel 2, τα πιο ευρέως προσβάσιμα, πολυφασματικά, μεσαίας προς υψηλής ανάλυσης δεδομένα. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα.

Landsat 5	LT05_L1TP_183034_20000629_20171211_01_T1
Landsat 8	LC08_L1TP_183034_20180615_20180703_01_T1

Αν εξαιρεθεί η πληροφορία που παρέχεται στο θερμικό φάσμα από τον αισθητήρα TIRS, τα φασματικά κανάλια του Landsat 8 (OLI), είναι παρόμοια με αυτά του αισθητήρα MSI από τον δορυφόρο Sentinel 2, ενώ παρόλη την ομοιότητα του και με τον δορυφόρο Landsat 7 ETM+, παρουσιάζει φασματική βελτίωση με την προσθήκη δύο επιπλέον φασματικών καναλιών στο οπτικό φάσμα (Band 1 – Deep blue και Band 9 – Infrared_Cirrus clouds).



Εικόνα 24. Δορυφορική σάρωση της επιφάνειας της γης, από το αισθητήρα OLI (Landsat 8). (Πηγή: (Μανατάκης Χαράλαμπος, 2018))

Landsat 5 (TM)				
Band number	Band name	Wavelength (μm)	Resolution (m)	Band Applications
1	Visible Blue	0.45 - 0.52	30	Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation, and deciduous from coniferous vegetation
2	Visible Green	0.52 - 0.60	30	Emphasizes peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor
3	Visible Red	0.63 - 0.69	30	Discriminates vegetation slopes
4	NIR	0.76 - 0.90	30	Emphasizes biomass content and shorelines
5	SWIR 1	1.55 - 1.75	30	Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds
6	Thermal	10.40 - 12.50	120	Thermal mapping and estimated soil moisture
7	SWIR 2	2.08 - 2.35	30	Hydrothermally altered rocks associated with mineral deposits


Πίνακας 3. Κανάλια Landsat 5. (Πηγή: (USGS))

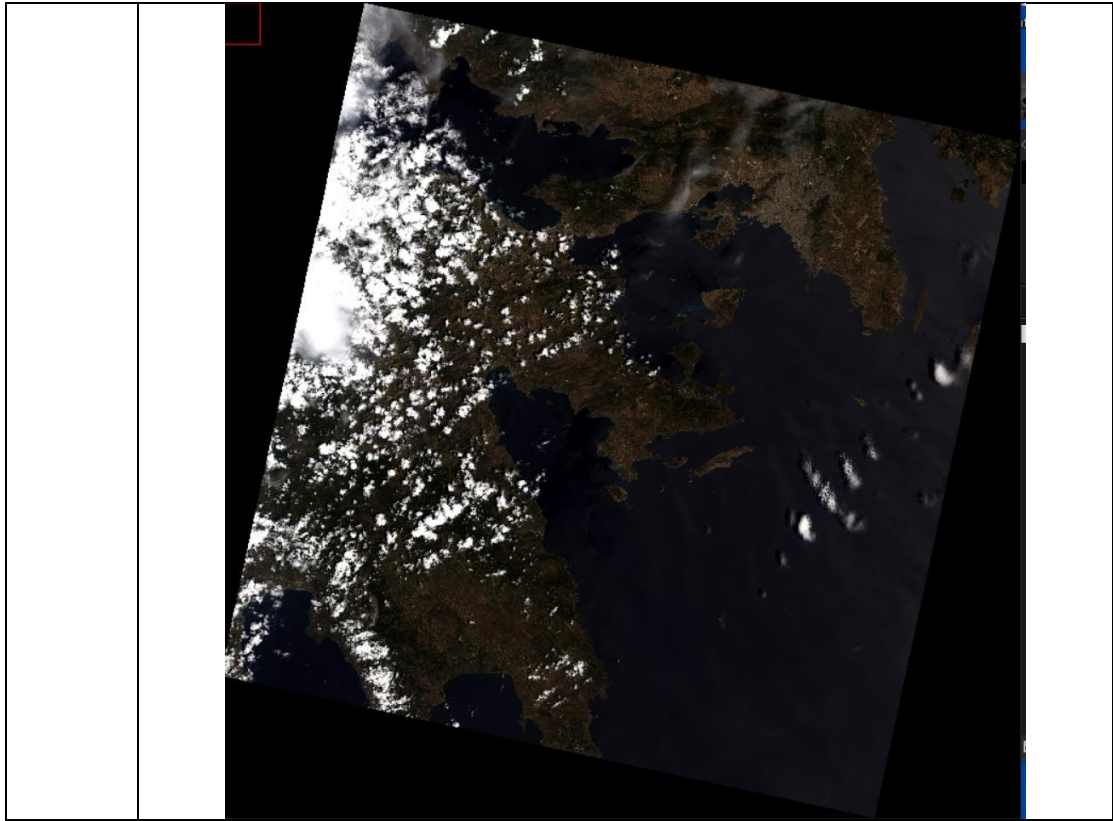
Landsat 8 (OLI)				
Band number	Band name	Wavelength (μm)	Resolution (m)	Band Applications
1	Coastal	0.43 - 0.45	30	Coastal and aerosol studies
2	Blue	0.45 - 0.51	30	Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation, and deciduous from coniferous vegetation
3	Green	0.53 - 0.59	30	Emphasizes peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor
4	Red	0.63 - 0.67	30	Discriminates vegetation slopes
5	NIR	0.85 - 0.88	30	Emphasizes biomass content and shorelines
6	SWIR 1	1.57 - 1.65	30	Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds
7	SWIR 2	2.11 - 2.29	30	Improved moisture content of soil and vegetation and thin cloud penetration
8	Pan	0.50 - 0.68	15	15 meter resolution, sharper image definition
9	Cirrus	1.36 - 1.38	30	Improved detection of cirrus cloud contamination
10	TIRS 1	10.60 - 11.19	30 (100)	100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture
11	TIRS 2	11.50 - 12.51	30 (100)	100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture

Πίνακας 4. Κανάλια Landsat 8. (Πηγή: (USGS))

3.2.1. Απόκτηση Δεδομένων

Οι εικόνες Landsat αποκτήθηκαν από την υπηρεσία USGS- Earth Explorer. Η USGS είναι μια επιστημονική υπηρεσία της κυβέρνησης των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου οι επιστήμονες μελετούν το τοπίο, τους φυσικούς πόρους και τους φυσικούς κινδύνους που το απειλούν. Το έργο της υπηρεσίας καλύπτει τους κλάδους της βιολογίας, γεωγραφίας, γεωλογίας και υδρολογίας.

	Landsat 5
	LT05_L1TP_183034_20000629_20171211_01_T1
2000	
2018	Landsat 8
	LC08_L1TP_183034_20180615_20180703_01_T1



Πίνακας 5. Απόκτηση εικόνων 2000, 2018. (Πηγή: (Explorer))

4. Προ-επεξεργασία Δεδομένων

Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης, περιέχουν συνήθως σφάλματα ραδιομετρίας, θόρυβο, αλλοιώσεις από επιπτώσεις της ατμόσφαιρας, κλπ με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η ποιότητα του τελικού προϊόντος και να οδηγούν σε εσφαλμένα συμπεράσματα ή η συγκρισή τους να είναι αδύνατη. Για την ορθή αξιοποίηση των δεδομένων, κρίνεται απαραίτητη η απομάκρυνση των σφαλμάτων αυτών, μέσα από την διαδικασία της προ-επεξεργασίας δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, προβλήματα που αφορούν ραδιομετρία, τοπογραφία και γεωμετρία, χρήζουν διόρθωσης.

4.1. Ατμοσφαιρική Διόρθωση με το μοντέλο Flaash

Για την ατμοσφαιρική διόρθωση των τηλεπισκοπικών δεδομένων, έχουν αναπτυχθεί μοντέλα που επιχειρούν να ποσοτικοποιήσουν την ακριβή σύσταση της ατμόσφαιρας τη στιγμή της λήψης των δεδομένων και στη συνέχεια να υπολογίσουν τις πιθανές επιδράσεις της ατμόσφαιρας στα δεδομένα. Αυτά τα μοντέλα ονομάζονται 'atmospheric transmission codes'. Οι κώδικες αυτοί έχουν αποδειχθεί αρκετά ακριβείς στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων, που είχαν οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις επάνω στις υπερφασματικές εικόνες. Πάνω σε αυτούς τους κώδικες έχει βασιστεί ένας αριθμός αλγορίθμων ατμοσφαιρικής διόρθωσης τηλεπισκοπικών δεδομένων, μεταξύ των οποίων είναι και το Flaash (Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes).

Το λογισμικό Flaash αναπτύχθηκε από την Spectral Sciences, Inc. σε συνεργασία με το U.S. Air Force Research Laboratory (AFRL) και το προσωπικό του Spectral Information Technology Application Center (SITAC) στις Η.Π.Α.. Το λογισμικό αυτό έχει δυνατότητα:

- Εφαρμογής σε υπερφασματικά όσο και σε πολυφασματικά δεδομένα
- Διόρθωσης εικόνων οποιουδήποτε υπερφασματικού αισθητήρα, που καταγράφει την ορατή, την εγγύς υπέρυθρη και τη βραχεία υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, μέχρι τα 3μm, από τα ατμοσφαιρικά σφάλματα που περιέχουν λόγω της απορρόφησης και της σκέδασης στην ατμόσφαιρα.

Το Flaash αξιοποιεί την πληροφορία των υπερφασματικών εικόνων με το να υπολογίζει μια ξεχωριστή λύση για κάθε εικονοστοιχείο. Παράλληλα ελαχιστοποιεί το θόρυβο που υπάρχει στα αποτελέσματα άλλων αλγορίθμων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής της τεχνικής 'spectral polishing' (φασματική ομαλοποίηση). Επιπλέον εφαρμόζεται βαθμονόμηση στα κανάλια των υπερφασματικών εικόνων ως τμήμα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης.

Παράμετροι του Flaash

- Εισαγωγή πληροφορίας σχετική με τα υπερφασματικά δεδομένα και τον τηλεπισκοπικό αισθητήρα όπως π.χ. οι συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας, το μέσο υψόμετρο της περιοχής μελέτης που απεικονίζεται στην εικόνα, ο τύπος του τηλεπισκοπικού αισθητήρα, το ύψος του δορυφόρου κ.λ.π
- Επιλογή ατμοσφαιρικού μοντέλου
- Προσδιορισμός της υγρασίας της ατμόσφαιρας (Water Retrieval)

- Επιλογή μοντέλου για το μείγμα των αερίων και σωματιδίων της ατμόσφαιρας (Aerosol Model)
- Επιλογή για τον προσδιορισμό του μείγματος των ατμοσφαιρικών αερίων και σωματιδίων (Aerosol Retrieval)
- Αρχική τιμή ορατότητας της εικόνας.

Η υλοποίηση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, πραγματοποιείται με τα ακόλουθα βήματα:

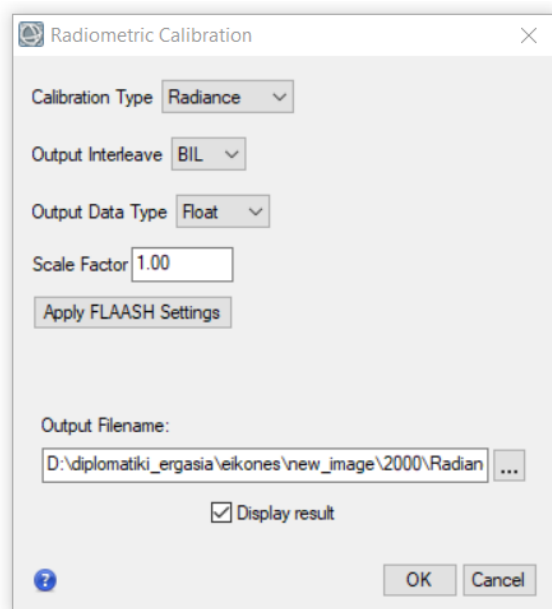
- Μετατροπή των ψηφιακών τιμών των εικόνων σε τιμές ακτινοβολίας
- Ατμοσφαιρική διόρθωση
- Διόρθωση των τιμών των εικόνων
- Υπολογισμός στατιστικών

Η μετατροπή των ψηφιακών τιμών των εικόνων σε τιμές ακτινοβολίας πραγματοποιήθηκε με τη λειτουργία Radiometric Calibration του ENVI.

Ο υπολογισμός των τιμών ακτινοβολίας υπολογίζεται με τον τύπο:

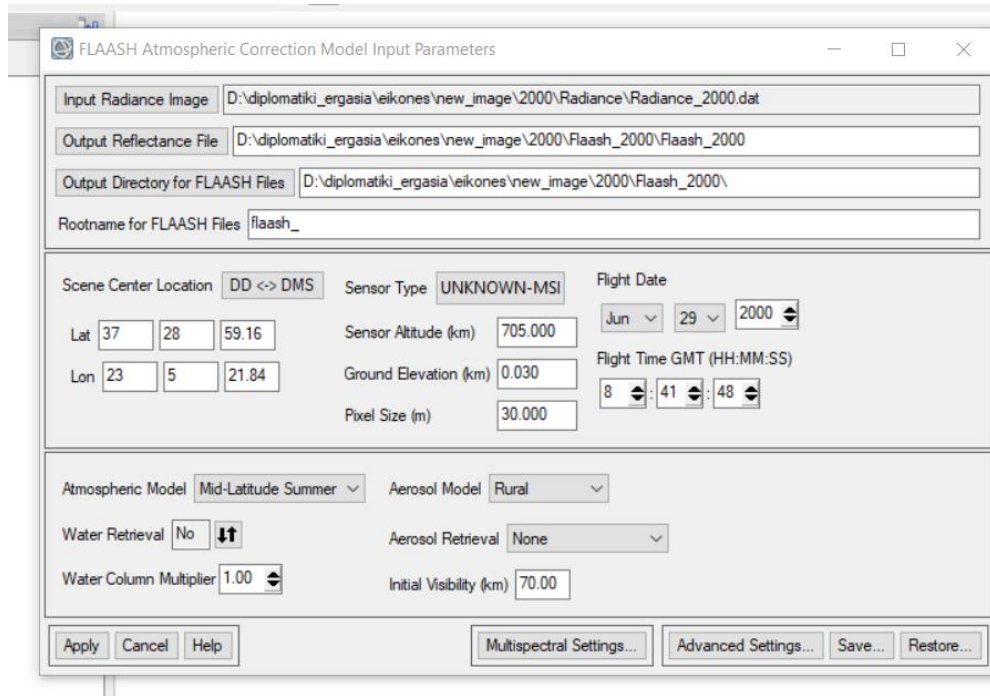
$$L_{\lambda} = Gain * Pixel\ value + Offset$$

Και απαιτεί την συμπλήρωση των παρακάτω πεδίων:

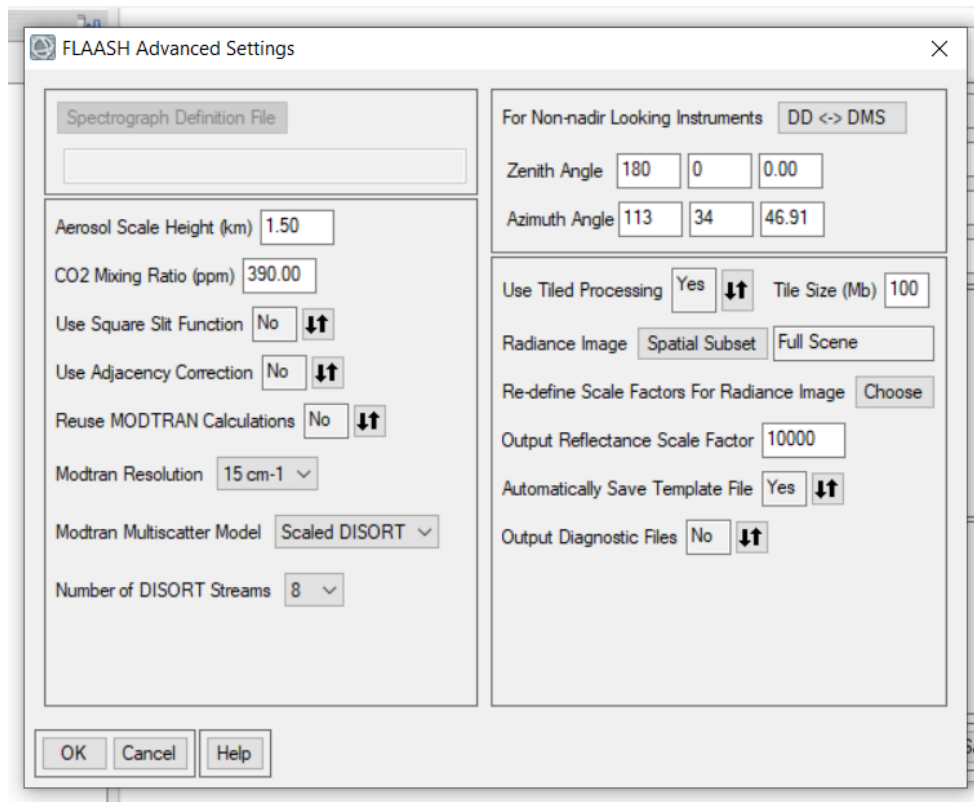


Εικόνα 25. Απόσπασμα Radiometric Calibration - ENVI

Αφού δημιουργήθηκε η εικόνα Radiance_2000 ακολούθησε η ατμοσφαιρική διόρθωση με την διαδικασία FLAASH, όπου συμπληρώθηκαν τα παρακάτω ζητούμενα πεδία.



Εικόνα 26. Απόσπασμα FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters - ENVI



Εικόνα 27. Απόσπασμα FLAASH Advanced Settings - ENVI

Οι τιμές όπως ημέρα, ώρα, αζιμούθιο της εικόνας, βρέθηκαν από το αρχείο MTL. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας ήταν η εικόνα Flaash_2000, όπου περιέχει τις ατμοσφαιρικά διορθωμένες τιμές.

Έπειτα διορθώθηκαν οι τιμές της ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας καθώς αυτές οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 10000 (αντιπροσωπεύουν το 0 έως το 100% της ανάκλασης), ακόμη κάποια εικονοστοιχεία βρίσκονται εκτός αυτού του ορίου (κορεσμός ή σκοτεινά σημεία), δηλαδή έχουν αρνητικές τιμές. Για το λόγο αυτό, εφαρμόστηκε μια κλιμάκωση των εικονοστοιχείων ώστε να έχουν εύρος τιμών από το 0 έως 1.0. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με το Band Math και τον παρακάτω τύπο.

$$(b1 \leq 0) * 0 + (b1 \geq 10000) * 1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 < 10000) * \text{float}(b1) / 10000.0$$

Τέλος υπολογίστηκαν τα στατιστικά για την εικόνα, ώστε να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα της παραπάνω διαδικασίας (δηλαδή το εύρος τιμών να κυμαίνεται από 0 έως 1.0).

2000	Filename: D:\diplomatiki_ergasia\εικones\new_image\2000\Flaash_2000\Reflectance_Rescaled_2000 Dims: Full Scene (55,323,891 points)																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Basic Stats</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Mean</th> <th>Stdev</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Band 1</td> <td>0.000000</td> <td>0.343100</td> <td>0.040226</td> <td>0.033423</td> </tr> <tr> <td>Band 2</td> <td>0.000000</td> <td>0.795600</td> <td>0.050240</td> <td>0.048596</td> </tr> <tr> <td>Band 3</td> <td>0.000000</td> <td>0.672500</td> <td>0.054231</td> <td>0.058648</td> </tr> <tr> <td>Band 4</td> <td>0.000000</td> <td>0.864600</td> <td>0.110606</td> <td>0.123929</td> </tr> <tr> <td>Band 5</td> <td>0.000000</td> <td>0.589000</td> <td>0.099885</td> <td>0.122338</td> </tr> <tr> <td>Band 6</td> <td>0.000000</td> <td>0.872200</td> <td>0.072866</td> <td>0.090087</td> </tr> </tbody> </table>	Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev	Band 1	0.000000	0.343100	0.040226	0.033423	Band 2	0.000000	0.795600	0.050240	0.048596	Band 3	0.000000	0.672500	0.054231	0.058648	Band 4	0.000000	0.864600	0.110606	0.123929	Band 5	0.000000	0.589000	0.099885	0.122338	Band 6	0.000000	0.872200	0.072866	0.090087					
Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev																																					
Band 1	0.000000	0.343100	0.040226	0.033423																																					
Band 2	0.000000	0.795600	0.050240	0.048596																																					
Band 3	0.000000	0.672500	0.054231	0.058648																																					
Band 4	0.000000	0.864600	0.110606	0.123929																																					
Band 5	0.000000	0.589000	0.099885	0.122338																																					
Band 6	0.000000	0.872200	0.072866	0.090087																																					
2018	Filename: D:\diplomatiki_ergasia\εικones\new_image\2018\Flaash\Reflectance_Rescaled_2018_1 Dims: Full Scene (58,916,751 points)																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Basic Stats</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>Mean</th> <th>Stdev</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Band 1</td> <td>0.000000</td> <td>1.000000</td> <td>0.105659</td> <td>0.164067</td> </tr> <tr> <td>Band 2</td> <td>0.000000</td> <td>1.000000</td> <td>0.095790</td> <td>0.158246</td> </tr> <tr> <td>Band 3</td> <td>0.000000</td> <td>1.000000</td> <td>0.100061</td> <td>0.162425</td> </tr> <tr> <td>Band 4</td> <td>0.000000</td> <td>1.000000</td> <td>0.103772</td> <td>0.168029</td> </tr> <tr> <td>Band 5</td> <td>0.000000</td> <td>1.000000</td> <td>0.154514</td> <td>0.198261</td> </tr> <tr> <td>Band 6</td> <td>0.000000</td> <td>1.000000</td> <td>0.125121</td> <td>0.151479</td> </tr> <tr> <td>Band 7</td> <td>0.000000</td> <td>1.000000</td> <td>0.095174</td> <td>0.119882</td> </tr> </tbody> </table>	Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev	Band 1	0.000000	1.000000	0.105659	0.164067	Band 2	0.000000	1.000000	0.095790	0.158246	Band 3	0.000000	1.000000	0.100061	0.162425	Band 4	0.000000	1.000000	0.103772	0.168029	Band 5	0.000000	1.000000	0.154514	0.198261	Band 6	0.000000	1.000000	0.125121	0.151479	Band 7	0.000000	1.000000	0.095174	0.119882
Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev																																					
Band 1	0.000000	1.000000	0.105659	0.164067																																					
Band 2	0.000000	1.000000	0.095790	0.158246																																					
Band 3	0.000000	1.000000	0.100061	0.162425																																					
Band 4	0.000000	1.000000	0.103772	0.168029																																					
Band 5	0.000000	1.000000	0.154514	0.198261																																					
Band 6	0.000000	1.000000	0.125121	0.151479																																					
Band 7	0.000000	1.000000	0.095174	0.119882																																					

Πίνακας 6. Στατιστικά διαδικασίας FLAASH

4.2. Γεωμετρική Διόρθωση

Ακόμη μια μορφή προ-επεξεργασία των εικόνων, είναι η γεωμετρική διόρθωση. Αποτελεί αναγκαία διαδικασία για τη βελτίωση και διόρθωση των εικόνων από παράγοντες όπως οπτικές παραμορφώσεις και μη αληθή γεωμετρία. Τις περισσότερες φορές, οι αναγνωρισμένες πλατφόρμες που προσφέρουν τις εικόνες είναι γεωμετρικά διορθωμένες. Φυσικά, αυτό δεν ισχύει σε κάθε περίπτωση, οπότε πολλές φορές απαιτείται η εφαρμογή διαδικασιών επεξεργασία από τους ίδιους τους χρήστες της εικόνα (Καϊμάρης, 2014). Η βασική μορφή παραμόρφωσης συναντάται στο ανάγλυφο και το βαθμό καμπυλότητας της γης. Έτσι, μέσω της γεωμετρικής διόρθωσης μετασχηματίζεται το σύστημα συντεταγμένων της εικόνας σε ένα άλλο (Παρχαρίδης, 2015). Στις εικόνες Landsat του επιπέδου 1 που πάρθηκαν από την πλατφόρμα USGS-Earth Explorer δεν κρίνεται απαραίτητη η γεωμετρική διόρθωση, καθώς τα δεδομένα είναι ήδη διορθωμένα, σε μορφή που μπορούν να αξιοποιηθούν, χωρίς περεταίρω παρεμβάσεις.

4.3. Περικοπή Εικόνας

Η περικοπή εικόνας πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον QGIS, όπου εισήχθησαν οι δύο εικόνες (2000 και 2018).

Οι συντεταγμένες της περιοχής μελέτης είναι:

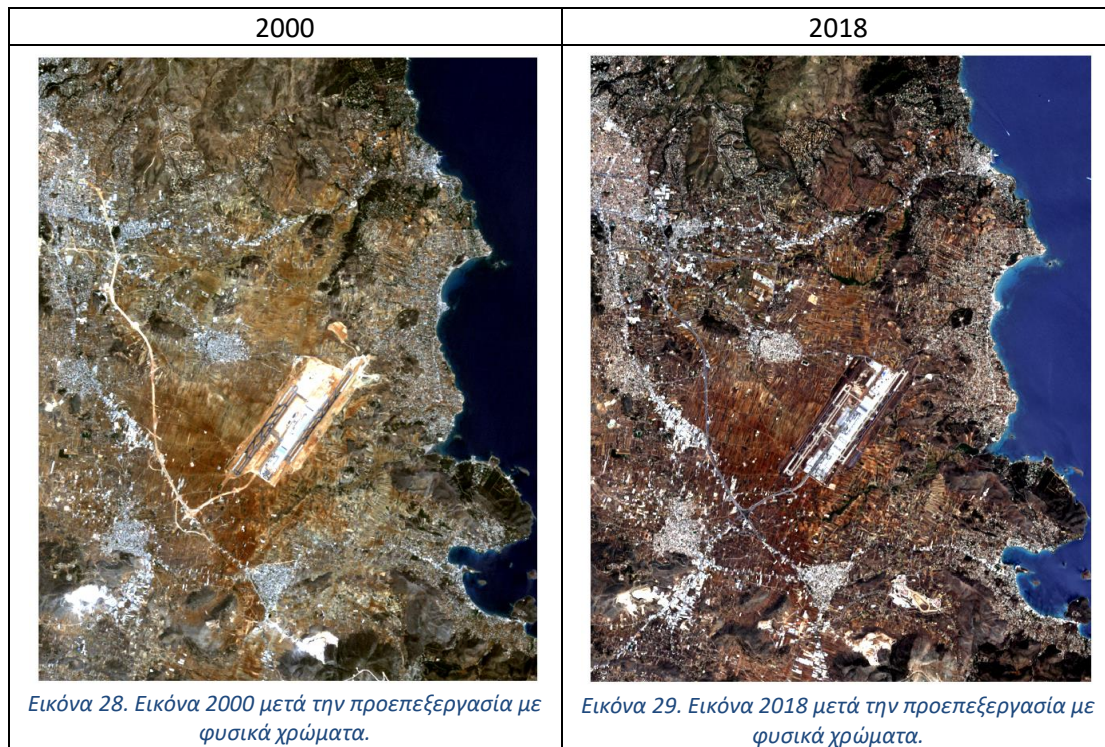
X(m)	Y(m)
------	------

749355	4193265
767895	4216545

4.4. Αποτελέσματα προ-επεξεργασίας

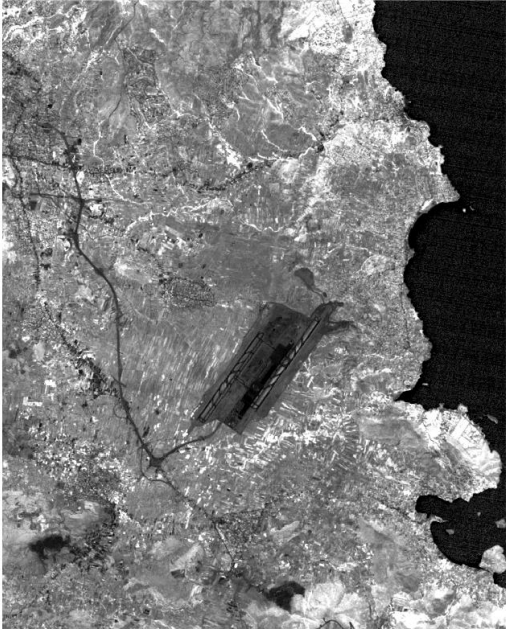

Οι εικόνες που προέκυψαν από τις παραπάνω διαδικασίες είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένες. Αποτελούνται από έξι κανάλια (Blue, Green, Red, NIR, Swir 1 και Swir 2) και απεικονίζουν την περιοχή μελέτης.

Πίνακας 7. Εικόνες περιοχής μελέτης (RGB-321, φυσικά χρώματα), μετά την προεπεξεργασία των δεδομένων.



5. Ανίχνευση Αλλαγής με τεχνικές χωρίς ταξινόμηση

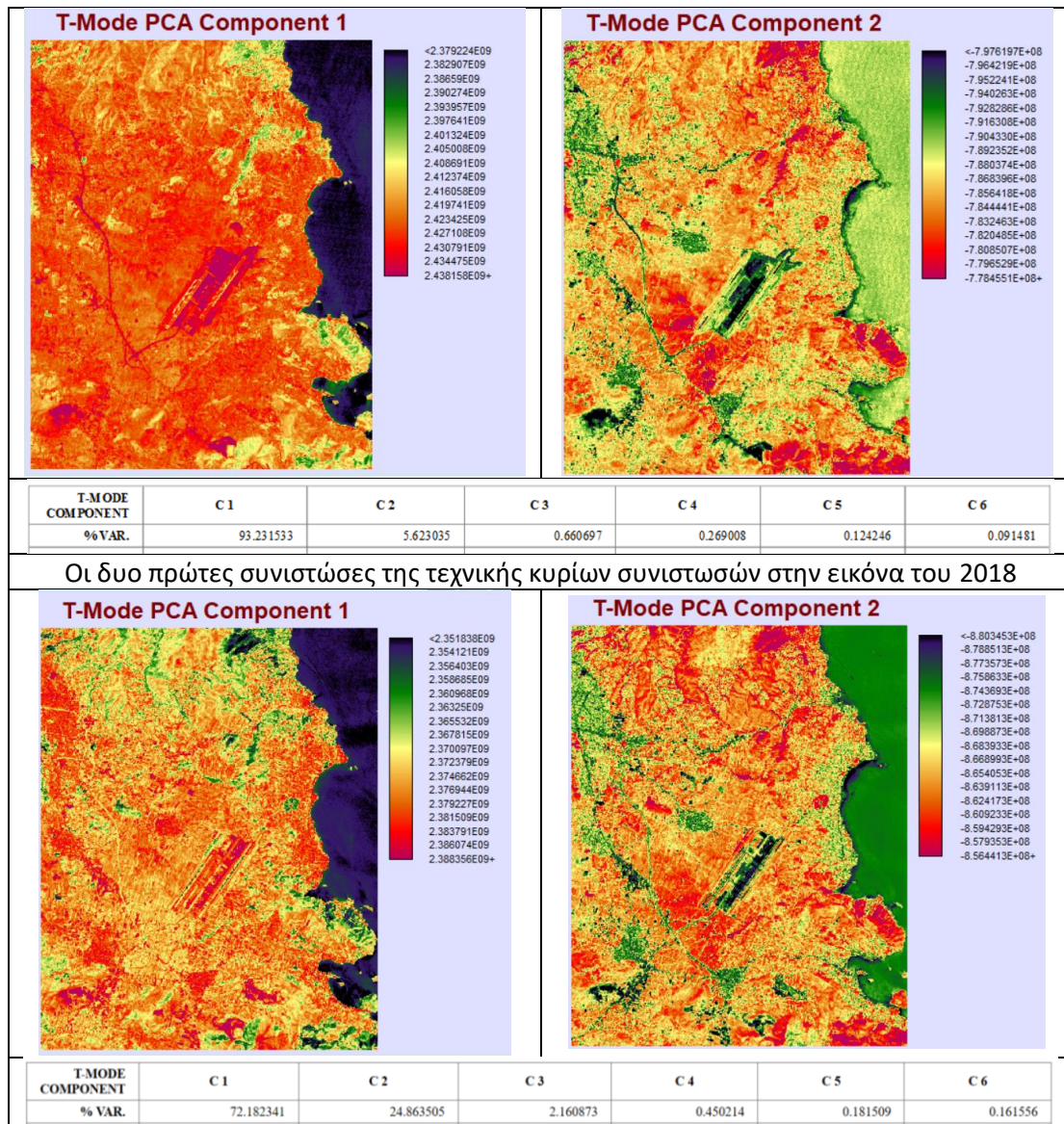
Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) προήλθε από τις εικόνες Landsat πριν την εφαρμογή των τεχνικών ανίχνευσης. Αποτελεί μια αποτελεσματική μέθοδο για την ενίσχυση της διαφοράς μεταξύ των φασματικών χαρακτηριστικών και την μείωση των σκιάσεων. Επομένως, η διαφορά ή ο λόγος των δεικτών βλάστησης για τις δύο ημερομηνίες, παρέχει την αποτελεσματική δυνατότητα εντοπισμού των αλλαγών χρήσεων γης.

Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης της εικόνας του 2000	Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης της εικόνας του 2018
	
$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	

Πίνακας 8. Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης των εικόνων 2000 και 2018.

Επίσης υλοποιήθηκε η τεχνική κυρίων συνιστωσών (PCA), στις εικόνες της Ανατολικής Αττικής τις χρονολογίες 2000 και 2018. Η πρώτη συνιστώσα της τεχνικής των κυρίων συνιστωσών, περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό της πληροφορίας της αρχικής εικόνας, συνεπώς θα ήταν χρήσιμος ο υπολογισμός των τεχνικών ανίχνευσης (διαίρεση εικόνας, παλινδρόμηση εικόνας και ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών) με τις πρώτες συνιστώσες των κυρίων συνιστωσών για τις δυο ημερομηνίες.

Οι δυο πρώτες συνιστώσες της τεχνικής κυρίων συνιστωσών στην εικόνα του 2000

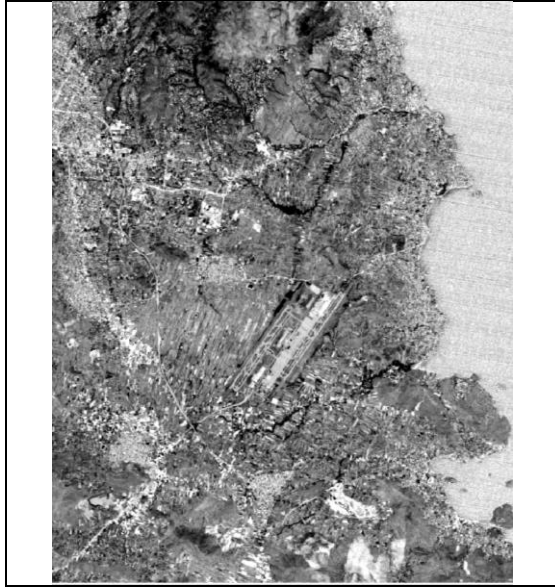


Πίνακας 9. Μέθοδος κυρίων συνιστωσών των εικόνων 2000 και 2018.

5.1. Διαφορά εικόνας

Η μέθοδος της εικόνας διαφοράς (Image Differencing) οδηγεί σε υπολειμματική εικόνα που αντιπροσωπεύει την αλλαγή που προκύπτει από την αφαίρεση των εικόνων του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης με διαφορετικές ημερομηνίες. Η ερμηνεία της εικόνας διαφοράς είναι δύσκολη καθώς διαφορετικές τιμές εισόδου μπορούν να δώσουν το ίδιο αποτέλεσμα μετά την αφαίρεση. Ακόμη, οι πληροφορίες των αρχικών τιμών των εικόνων δεν διατηρούνται ((Singh, 1989)(Cohen, 1998)).

Διαφορά εικόνας των δεικτών βλάστησης



Πίνακας 10. Διαφορά εικόνας των δεικτών βλάστησης.

Για την ερμηνεία της εικόνας της διαφοράς εφαρμόστηκε 1) η αυτοματοποιημένη μέθοδος κατωφλίωσης (auto-thresholding) του Otsu , και 2) η ταξινόμηση των τυποποιημένων τιμών της.

5.1.1. Μέθοδος Κατωφλίωσης Otsu

Η μέθοδος του (Otsu, 1979) βασίζεται στην επεξεργασία του ιστογράμματος της εικόνας και στον προσδιορισμό του κατωφλιού βάσει του κριτηρίου της μεγιστοποίησης της διαχωρισιμότητας μεταξύ των περιοχών. Αρχικά, υπολογίζεται το ολικό τετράγωνο της τυπικής απόκλισης (global variance) των επιπέδων του γκρι της εικόνας σ_t^2 :

$$\sigma_t^2 = \sum_{i=0}^{255} (i - u_t)^2 \cdot p(i)$$

Όπου:

- $p(i)$ είναι η πιθανότητα εμφάνισης της i στάθμης της εικόνας,

$$p(i) = \frac{H(i)}{N}$$

- u_t είναι το συνολικό μέσο επίπεδο γκρι της εικόνας και

$$u_t = \sum_{i=0}^{255} i p(i)$$

- N είναι το συνολικό πλήθος των pixels της εικόνας.

Για κάθε υποψήφιο κατώφλι t το ιστογράμμα της εικόνας χωρίζεται σε δύο περιοχές – κατηγορίες. Ο υπολογισμός του τετραγώνου της τυπικής απόκλισης μεταξύ των δύο κατηγοριών (between classes variance) σ_b^2 είναι το τετράγωνο της τυπικής απόκλισης των μέσων τιμών κάθε κλάσης από την συνολική μέση τιμή όλων των εικονοστοιχείων και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\sigma_b^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2$$

Όπου:

- Τα ω_0 , ω_1 , μ_0 και μ_1 υπολογίζονται από τους τύπους:

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^t p(i)$$

$$\omega_1 = 1 - \omega_0$$

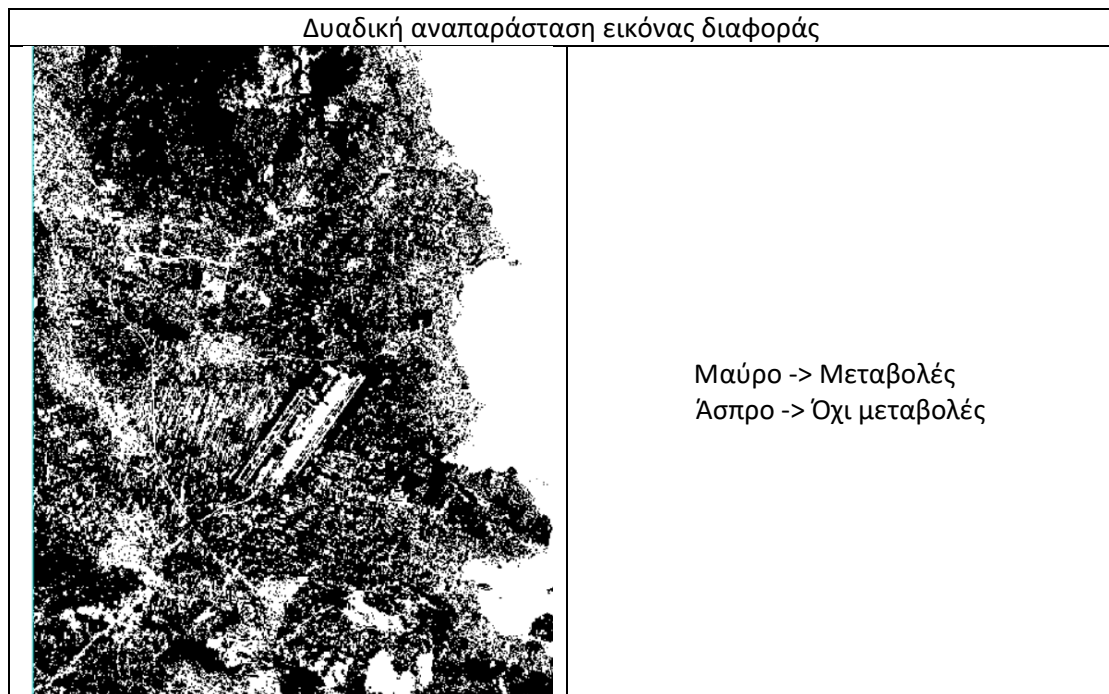
$$\mu_0 = \frac{\sum_{i=0}^t i p(i)}{\omega_0}$$

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=t+1}^{255} i p(i)}{\omega_1}$$

Σύμφωνα με τον Otsu, η βέλτιστη τιμή για το κατώφλι t επιτυγχάνεται όταν μεγιστοποιείται ο λόγος του τετραγώνου της τυπικής απόκλισης μεταξύ των δύο κατηγοριών (between classes variance) και το ολικό τετράγωνο της τυπικής απόκλισης (global variance) των επιπέδων του γκρι της εικόνας:

$$n(t) = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_t^2}$$

Η μέθοδος του Otsu έχει αξιολογηθεί σαν μία από τις καλύτερες τεχνικές εύρεσης κατωφλιού.



Πίνακας 11. Κατωφλίωση εικόνας διαφοράς με την μέθοδο Otsu.

5.1.2. Τυποποιημένες Τιμές (Standardized Values ή z-scores)

Επίσης στις εικόνες για την ερμηνεία της εικόνας της διαφοράς εφαρμόστηκε, έγινε μετατροπή της σε τυποποιημένες τιμές και ταξινομήθηκε σε έξι κατηγορίες.

Οι τυποποιημένες τιμές Z αποτελούν ένα μέτρο σχετικής θέσης και ορίζονται ως ο αριθμός των τυπικών αποκλίσεων κατά τις οποίες μια παρατήρηση βρίσκεται πάνω ή κάτω από το μέσο όρο. Υπολογίζεται από ένα σύνολο παρατηρήσεων με τον τύπο:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

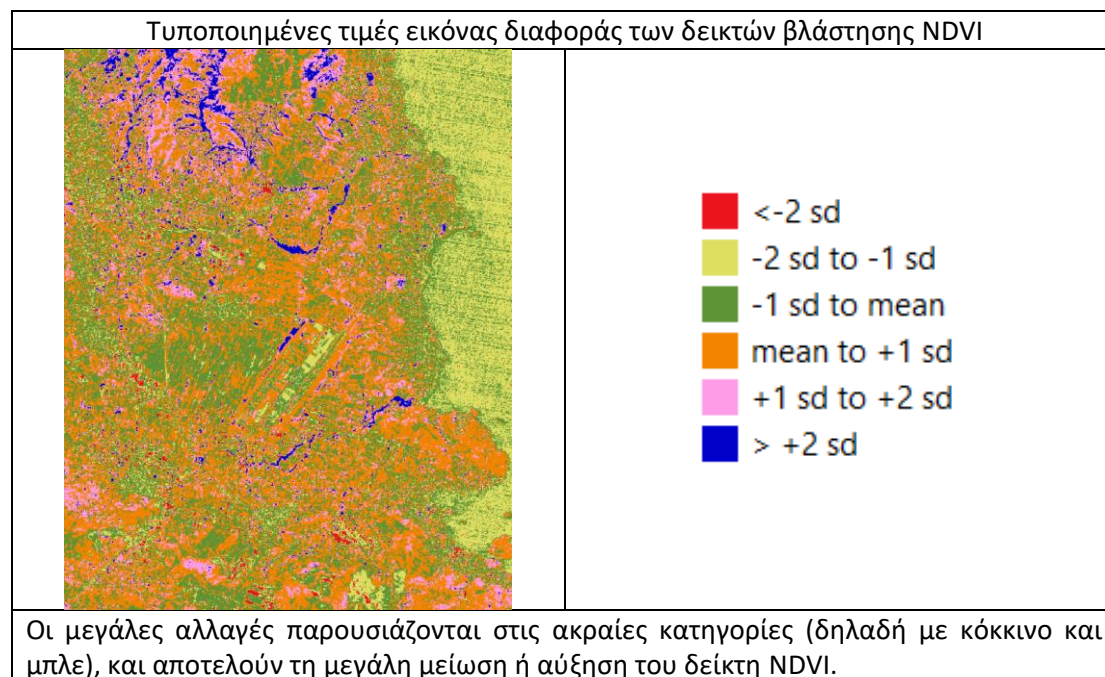
Όπου:

- X είναι η συγκεκριμένη παρατήρηση

Οι τυποποιημένες τιμές αποτελούνται από καθαρούς αριθμούς (δεν έχουν μονάδα μέτρησης), οπότε είναι συγκρίσιμες με διάφορες τιμές, σε διαφορετικές εποχές. Αρνητική τυποποιημένη τιμή, σημαίνει ότι η παρατήρηση βρίσκεται κάτω από το μέσο όρο, ενώ θετική τυποποιημένη τιμή, είναι μεγαλύτερη από το μέσο όρο.

Η κατηγοριοποίηση των τυπικών τιμών χρησιμοποιεί μια διαδικασία κατά την οποία χωρίζονται οι τυποποιημένες τιμές της εικόνας διαφοράς σε έξι κατηγορίες.

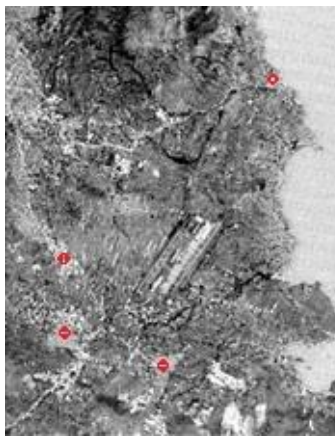

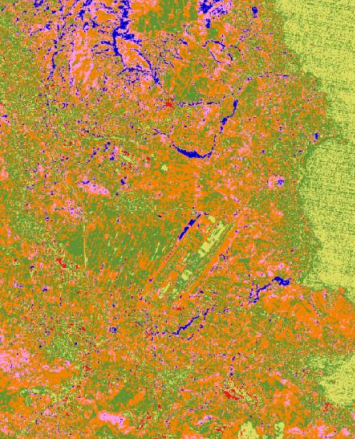
New Value:	To all values from:	To just less than:
1	-999	-2
2	-2	-1
3	-1	0
4	0	1
5	1	2
6	2	999



Πίνακας 12. Κατωφλίωση εικόνας διαφοράς με τις τυποποιημένες τιμές.

5.1.3. Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου της εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης, της μεθόδου κατωφλίωσης του Otsu και οι τυποποιημένες τιμές για τα έτη 2000 και 2018.

Διαφορά εικόνας των δεικτών βλάστησης	Διαδική αναπαράσταση εικόνας διαφοράς	Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI
		
<p>Με οπτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, διαπιστώνονται έντονες βραχυχρόνιες αλλαγές κατά τις περιόδους 2000 και 2018. Οι κυριότερες μεταβολές παρατηρούνται σε περιοχές με βλάστηση κυρίως στις δασικές εκτάσεις. Ακόμη σημειώνεται μια μικρή επέκταση περιμετρικά των αστικών περιοχών. Αμετάβλητα στοιχεία, αποτελούν η περιοχή της θάλασσας, η έκταση των καλλιεργειών, οι κύριες αρτηρίες του οδικού δικτύου καθώς και οι περιοχές των λατομείων.</p>		

Πίνακας 13. Εικόνα διαφοράς, κατωφλιωμένη εικόνα διαφοράς - μέθοδος Otsu, κατωφλιωμένη εικόνα διαφοράς - τυποποιημένες τιμές

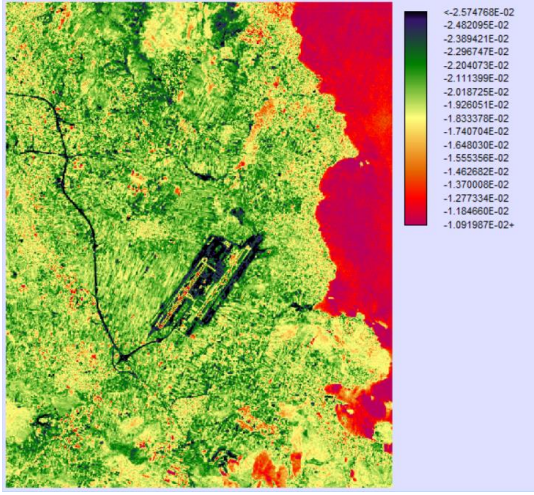

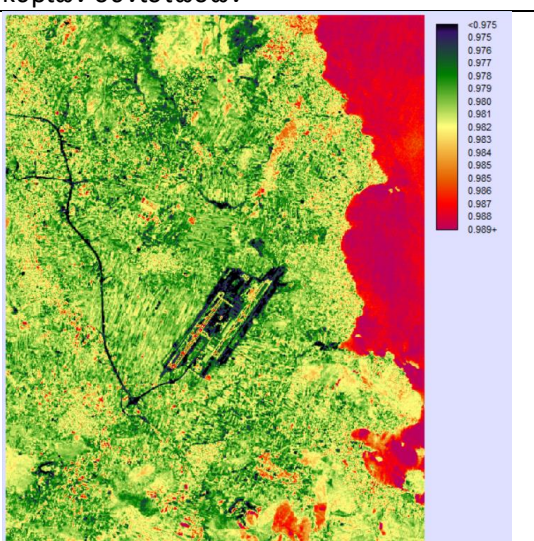

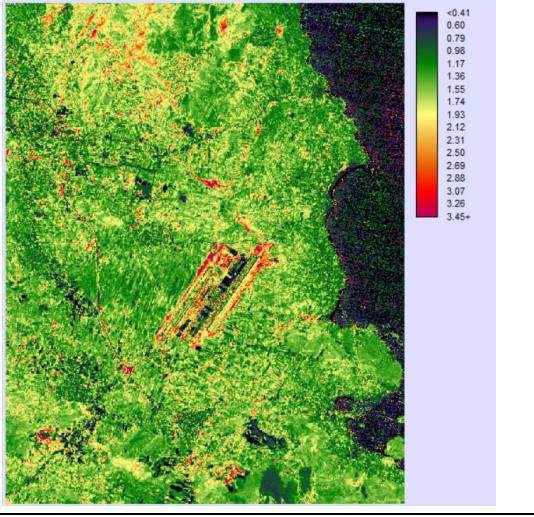

5.2. Διάρθρωση εικόνας

Με την τεχνική της διαίρεση εικόνων, οι εικόνες των δεικτών βλάστησης για κάθε ημερομηνία διαιρούνται. Σημαντικοί περιορισμοί της εικόνας αποτελούν:

- (i) Η παρουσία μηδενικών στα δεδομένα (διαίρεση μηδέν είναι αδύνατη). Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, εισέρχεται μια μικρή αύξηση στις τιμές της εικόνας (πχ. + 0,0001).
- (ii) Οι τιμές 0,5 και 2,0 θεωρούνται ισοδύναμες ως προς τις αλλαγές . Η τιμή 1,0 δείχνει μηδενική αλλαγή. Ωστόσο, η απόσταση από 1 έως 0,5 δεν είναι η ίδια με από 1.0 έως 2.0 (Eastman et al., 2005). Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, χρησιμοποιήθηκε λογαριθμικός μετασχηματισμός.

Στην παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε η διαίρεση των εικόνων NDVI (εικόνα 2000 δια εικόνα 2018) και των εικόνων των κυρίων συνιστωσών (πρώτο κανάλι των κυρίων συνιστωσών του 2000 δια πρώτο κανάλι των κυρίων συνιστωσών του 2018). Η τεχνική PCA πραγματοποιήθηκε, καθώς μετασχηματίζει την αρχική εικόνα σε νέα εικόνα με την περισσότερη πληροφορία (98%) να βρίσκεται στο πρώτο της κανάλι. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκε χρήσιμη η υλοποίηση και αυτής της τεχνικής, για την διερεύνηση της μεθόδου.

Οι εικόνες που προέκυψαν από την τεχνική του λόγου των εικόνων των δεικτών βλάστησης και των κύριων συνιστωσών, κατωφλιώθηκαν με την μέθοδο Otsu, ώστε να γίνουν διαδικές και να προκύψουν οι περιοχές που έχουν μεταβληθεί.

<p>Λογαρίθμηση του λόγου των εικόνων των πρώτων καναλιών των κυρίων συνιστωσών</p>	<p>Διαδική εικόνα της λογαρίθμησης του λόγου των εικόνων των πρώτων καναλιών των κυρίων συνιστωσών</p>
 <p>Color scale for logarithmic ratio of primary channels:</p> <ul style="list-style-type: none"> -2.574768E-02 -2.482095E-02 -2.389421E-02 -2.296747E-02 -2.204073E-02 -2.111399E-02 -2.018725E-02 -1.926051E-02 -1.833378E-02 -1.740704E-02 -1.648030E-02 -1.555356E-02 -1.462682E-02 -1.370008E-02 -1.277334E-02 -1.184660E-02 -1.091987E-02+ 	
<p>Λόγος εικόνων των πρώτων καναλιών των κυρίων συνιστωσών</p>	<p>Διαδική εικόνα του λόγου των πρώτων καναλιών των κυρίων συνιστωσών</p>
 <p>Color scale for ratio of primary channels:</p> <ul style="list-style-type: none"> <0.975 0.975 0.976 0.977 0.978 0.979 0.980 0.981 0.982 0.983 0.984 0.985 0.986 0.987 0.988 0.989+ 	
<p>Αναπαράσταση του λόγου εικόνων των δεικτών βλάστησης NDVI</p>	<p>Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνων των δεικτών βλάστησης NDVI</p>
 <p>Color scale for NDVI ratio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <0.41 0.60 0.79 0.98 1.17 1.36 1.55 1.74 1.93 2.12 2.31 2.50 2.69 2.88 3.07 3.26 3.45+ 	

Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους οι μεταβολές τους κυμαίνονται στο 0.05%, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί αρκετά μικρό ποσοστό για τη συγκεκριμένη μελέτη, οπότε να εξεταστούν ως όμοιες. Το ποσοστό, προέκυψε με την αφαίρεση των δύο εικόνων, και τον λόγο του αποτελέσματος με την συνολική έκταση της εικόνας.

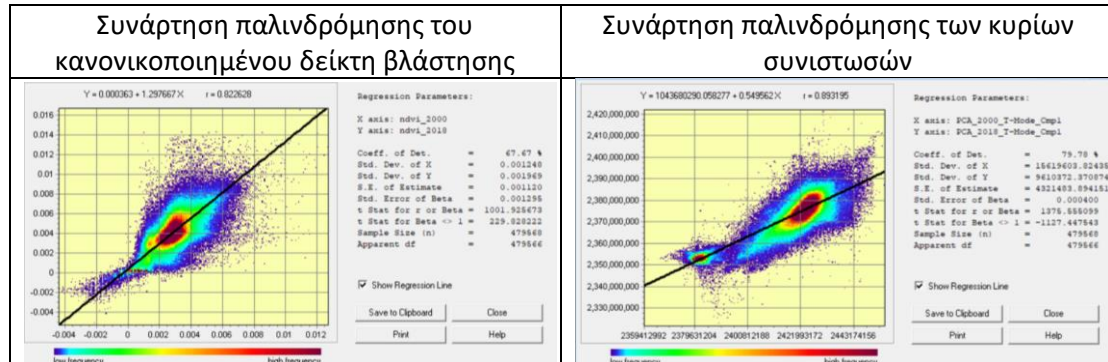
Πίνακας 14. Λόγος εικόνων κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης, λόγος εικόνων κυρίων συνιστωσών και καταωφλίωση εικόνων με τη μέθοδο Otsu.

Από οπτική παρατήρηση των αποτελεσμάτων προκύπτουν αρκετές μεταβολές στην περιοχή μελέτης. Διακρίνονται οι αλλαγές στο βόριο τμήμα της εικόνας, που απαρτίζεται από βλάστηση (δασική περιοχή), όπως επίσης και στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις (κεντρικό τμήμα της εικόνας). Ακόμη διαφοροποιήσεις προκύπτουν και στις αστικές περιοχές. Αμετάβλητα στοιχεία αποτελούν το τμήμα της θάλασσας, τα λατομεία και η βλάστηση στα υψηλότερα τμήματα των λόφων.

5.3. Παλινδρόμηση εικόνας

Η τεχνική της παλινδρόμησης αντιπροσωπεύει τις διαφορές από το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση μεταξύ των τιμών των εικονοστοιχείων για τις διαφορετικές ημερομηνίες. Η δεύτερη εικόνα, θεωρείται συνάρτηση της πρώτης εικόνας, γεγονός που υποδεικνύει ότι η δεύτερη εικόνα του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης αποτελεί την ανεξάρτητη μεταβλητή, ενώ η πρώτη εικόνα την εξαρτημένη. Οι εν λόγω εικόνες, συνδέονται μεταξύ τους μέσω μιας γραμμικής σχέσης.

Η τεχνική της παλινδρόμησης πραγματοποιήθηκε σε προγραμματιστικό περιβάλλον και προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.





Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα της τεχνικής παλινδρόμησης με τις εικόνες NDVI και PCA, προκύπτει και στις δυο περιπτώσεις υψηλός συντελεστής προσδιορισμού r (coefficient of determination), το οποίο σημαίνει ότι οι δύο χρονολογίες συσχετίζονται. Αυτό παρατηρείται και από τα παραπάνω γραφήματα, αφού οι κατανομές των σημείων ακολουθούν την γραμμή της παλινδρόμησης. Η διασπορά που υπάρχει, είναι λογική καθώς μεταξύ των ημερομηνιών υπάρχουν αλλαγές στις χρήσεις γης.

Πίνακας 15. Συνάρτηση παλινδρόμησης του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και των κυρίων συνιστωσών.

Η δημιουργία των εικονικών αποτελεσμάτων της περιοχής μελέτης, για τις δύο τεχνικές προέκυψε στο περιβάλλον QGIS με το Raster Calculator, εφαρμόζοντας τους παρακάτω τύπους.

$$Y = NDVI_{2000} - (0.000363 + 1.297667 * NDVI_{2018})$$

$$Y = PC1_{2000} - (1043680290.058277 + 0.549562 * PC1_{2018})$$

Εικόνες παλινδρόμησης κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης	Εικόνες παλινδρόμησης κυρίων συνιστωσών
	
<p>Από οπτική παρατήρηση των αποτελεσμάτων της τεχνικής παλινδρόμησης, περισσότερο ορθά δείχνουν τα αποτελέσματα με τις εικόνες NDVI, καθώς η συμπιεσμένη πληροφορία στις εικόνες PCA έχει αλλοιώσει το είδος της πληροφορίας και οι αλλαγές δεν μπορούν να ερμηνευτούν.</p>	

Πίνακας 16. Εικόνες παλινδρόμησης κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και κυρίων συνιστωσών.

Στην εικόνα της παλινδρόμησης με τις εικόνες του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης, το σκούρο γκρι, αποτυπώνει στις αμετάβλητες περιοχές, όπως τη θάλασσα, το οδικό δίκτυο και τμήμα της περιοχής του αεροδρομίου, ενώ με πιο ανοιχτές αποχρώσεις, διαχωρίζονται οι αλλαγές στην βλάστηση και την αστική περιοχή.

5.4. Ανάλυση του διανύσματος αλλαγών (CVA)

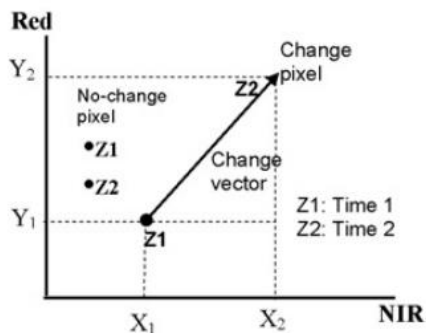
Η ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών (CVA) αποτελεί μια τεχνική, η οποία δέχεται ως είσοδο τον επιθυμητό αριθμό καναλιών ή τα φασματικά χαρακτηριστικά από κάθε ζεύγος εικόνων. Για κάθε ζεύγος εικόνων, τα κανάλια αποτελούν τους άξονες ενός n-διάστατου χώρου. Ο αλγόριθμος είναι ισχυρός τόσο για τη φύση όσο και για τον αριθμό των καναλιών που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι. Σημαντικός παράγοντας, πριν από την εφαρμογή του αλγορίθμου, αποτελεί η προ επεξεργασία των εικόνων. Οι εικόνες πρέπει να είναι γεωμετρικά και ραδιομετρικά διορθωμένες.

Το CVA παράγει ως έξοδο, δύο «κανάλια» πληροφοριών αλλαγής:

- (i) Την αλλαγή διανύσματος κατεύθυνσης και
- (ii) Το πολυφασματικό μέγεθος της αλλαγής.

Η υλοποίηση της τεχνικής ανάλυσης του διανύσματος αλλαγών πραγματοποιείται με την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ καναλιών των εικόνων.

Τα κανάλια 3 και 4 των εικόνων Landsat TM χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της Ευκλείδειας απόστασης για την εκτίμηση του μεγέθους της αλλαγής.



$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

X_2 : near infrared band of time 2 (band 4),
 Y_2 : red band of time 2 (band 3)
 X_1 : near infrared band of time 1 (band 4)
 Y_1 : red band of time 1 (band 3).

Εικόνα 30. Υπολογισμός ευκλείδειας απόστασης στην τεχνική ανάλυσης του διανύσματος αλλαγών με τα κανάλια 3 και 4 (κόκκινο και υπέρυθρο).

Η τεχνική CVA πραγματοποιήθηκε για τις εικόνες NDVI και PCA των δύο χρονολογιών.

<p>Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα κανάλια 3 και 4 (κόκκινο και υπέρυθρο)</p>	<p>Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα κανάλια 3 και 4 (κόκκινο και υπέρυθρο)</p>
<p>Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών</p>	<p>Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών</p>
<p>Στις εικόνες Direction παρουσιάζεται η αλλαγή. Στην περίπτωση αυτή, οι ακραίες τιμές του υπομήματος (μπλέ και κόκκινο) υποδηλώνουν τις αμετάβλητες περιοχές, δηλαδή τις κατηγορίες που δεν άλλαξαν κάλυψη/χρήση στο διάστημα των δύο ημερομηνιών, ενώ οι τιμές ενδιάμεσα στο υπόμνημα (πράσινο και κίτρινο) δείχνουν τις αλλαγές στις κατηγορίες χρήσεων γης. Οι εικόνες Magnitude, απεικονίζουν το μέγεθος της αλλαγής, όπου και σε</p>	

αυτή την περίπτωση οι ακραίες τιμές του υπομνήματος φανερώνουν το μικρό μέγεθος της αλλαγής ενώ αντίθετα οι μεσαίες τιμές το μεγαλύτερο μέγεθος της αλλαγής. Για παράδειγμα, παρατηρώντας την περιοχή του αεροδρομίου, διακρίνεται από την εικόνα Direction ότι δεν υπάρχει αλλαγή ως προς το είδος της χρήσεις γης, και από την εικόνα Magnitude ότι υπάρχει μικρή αλλαγή διαχρονικά.

Πίνακας 17. Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών για τις εικόνες του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και των κυρίων συνιστωσών.

6. Ανίχνευση Αλλαγής με τεχνικές ταξινόμησης

Στη συγκεκριμένη ενότητα πραγματοποιούνται οι τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών με χρήση ταξινόμησης. Τον αλγόριθμο ταξινόμησης των εικόνων αποτελεί ο Random Forest. Στην αρχή πραγματοποιείται η τεχνική όπου ταξινομούνται οι αρχικές εικόνες χωριστά και έπειτα συγκρίνονται για να ανιχνευτούν οι αλλαγές και ακολουθεί η τεχνική όπου γίνεται ένωση των αρχικών εικόνων και ταξινομείται ώστε να ανιχνευτούν κατευθείαν οι αλλαγές.

6.1. Σύγκριση μετά από ταξινόμηση


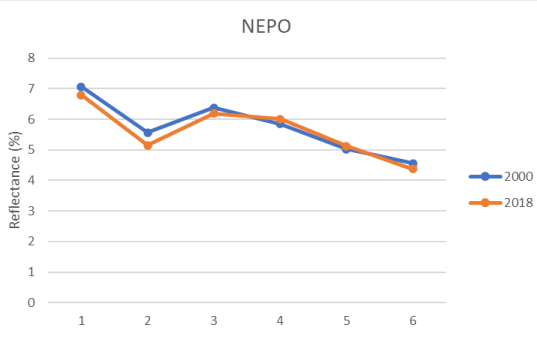
6.1.1. Υλοποίηση του αλγορίθμου Random Forest

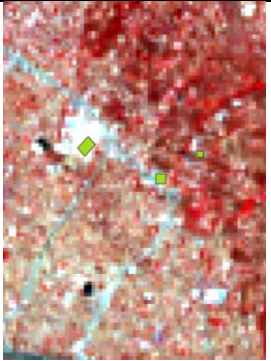





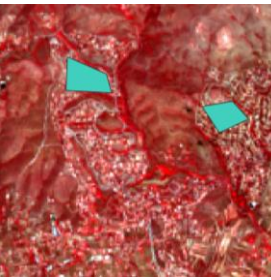
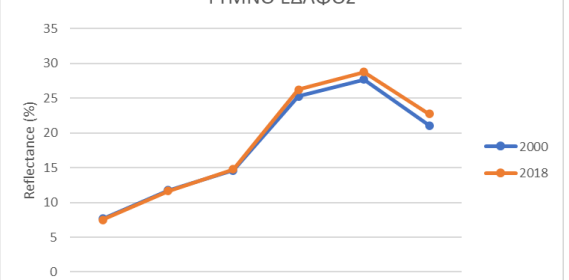
Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου Random Forest, δηλαδή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης των εικόνων σε κατηγορίες χρήσεις γης, θα αποτελέσουν τα δεδομένα σύγκρισης ώστε να ανιχνευτούν οι αλλαγές χρήσεων γης. Γι'αυτό το λόγο, η υλοποίηση του αλγορίθμου θα πρέπει να είναι αρκετά προσεχτική.

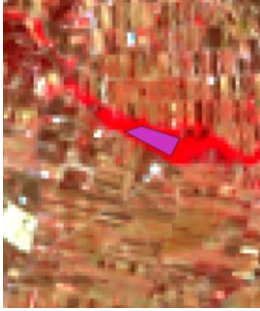
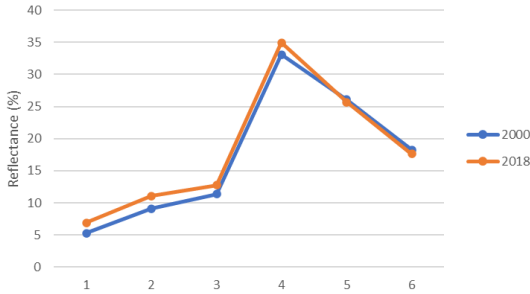
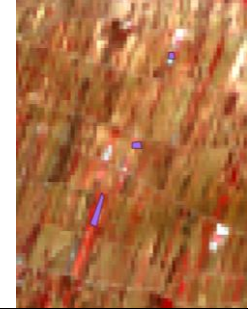
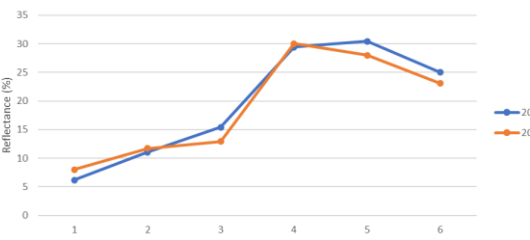
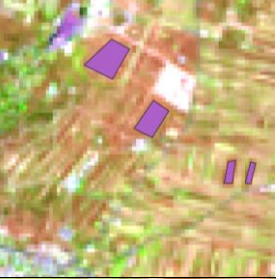
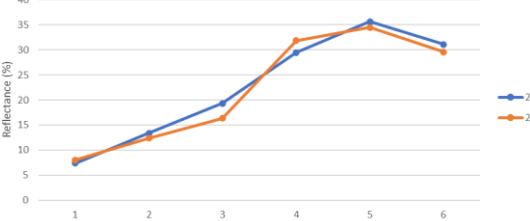

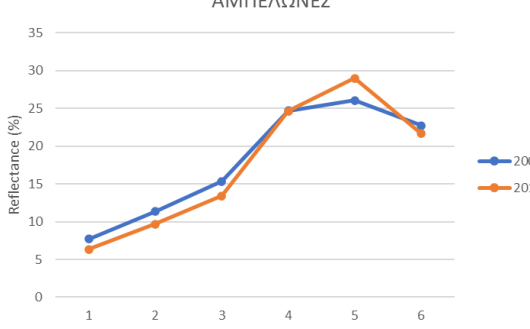
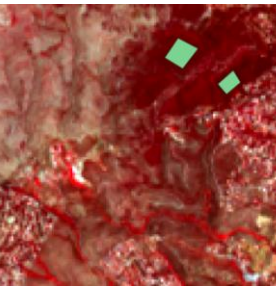
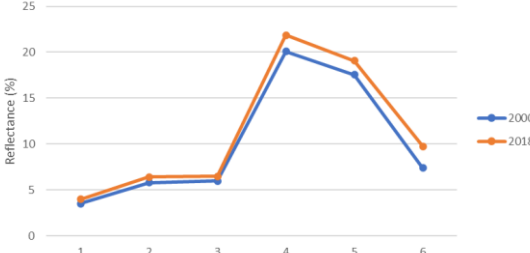
Το βασικό στάδιο των επιβλεπόμενων ταξινομήσεων είναι η δημιουργία πολυγώνων εκπαίδευσης και ελέγχου. Είναι αναγκαίο να γίνει καλή φωτοερμηνία της εικόνας, ώστε να διαπιστωθούν όλες οι κατηγορίες που περιλαμβάνει η εικόνα. Τα πολύγωνα αναγνωρίστηκαν στις αρχικές εικόνες της Ανατολικής Αττικής.

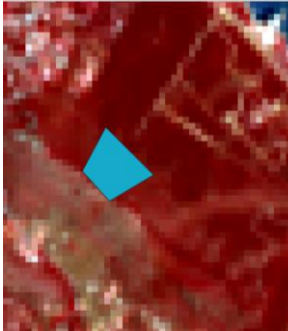
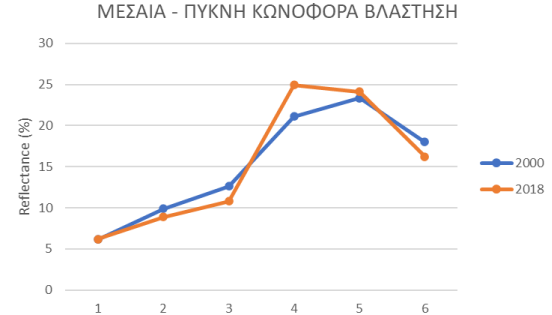
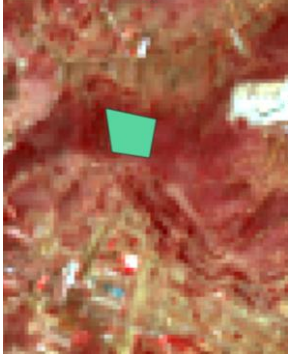
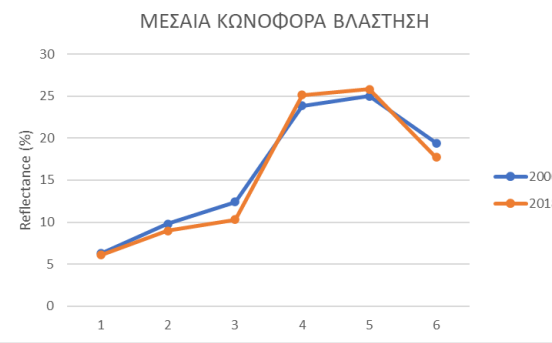
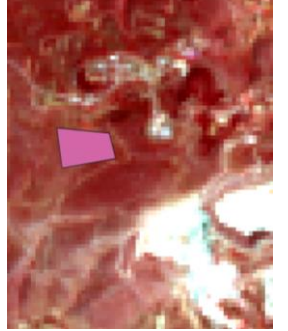
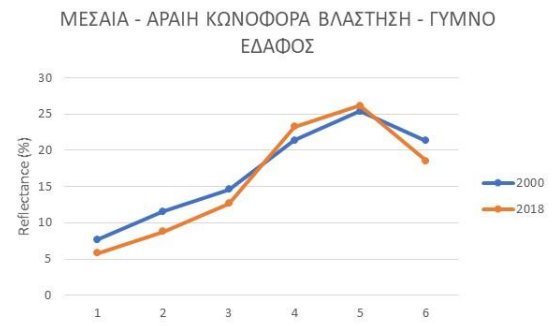
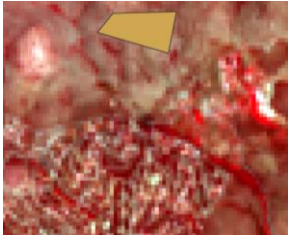



Για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, οι κατηγορίες που διακρίθηκαν με οπτική παρατήρηση στις εικόνες είναι:

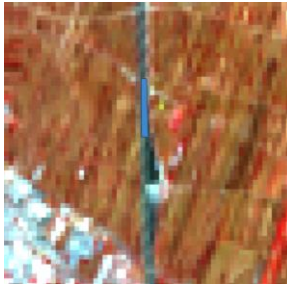
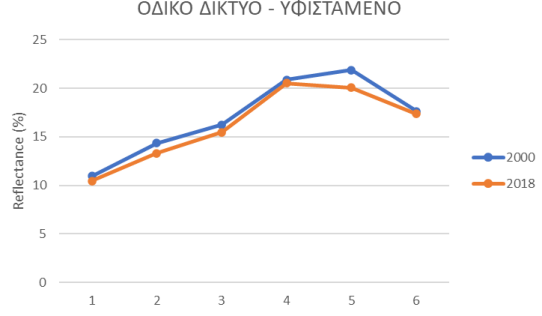



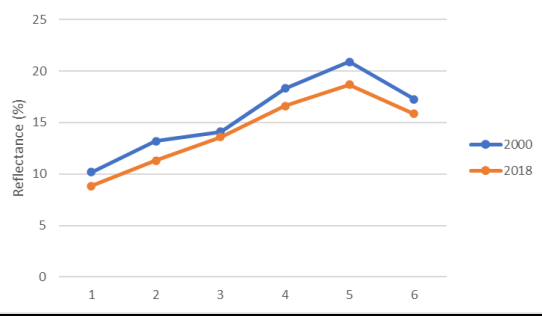


Πίνακας 18. Κατηγορίες πολυγώνων εκπαίδευσης και φασματικές υπογραφές.

Κατηγορία	Έγχρωμο Σύνθετο	Απόσπασμα Εικόνας	Φασματική Υπογραφή																					
Νερό	4-3-2		<p>NEPO</p>  <table border="1"> <caption>NEPO Reflectance Data</caption> <thead> <tr> <th>Band</th> <th>2000 Reflectance (%)</th> <th>2018 Reflectance (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>7.2</td> <td>6.8</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>5.8</td> <td>5.2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>6.5</td> <td>6.2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>6.0</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>6.5</td> <td>6.2</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>4.5</td> <td>4.2</td> </tr> </tbody> </table>	Band	2000 Reflectance (%)	2018 Reflectance (%)	1	7.2	6.8	2	5.8	5.2	3	6.5	6.2	4	6.0	5.8	5	6.5	6.2	6	4.5	4.2
Band	2000 Reflectance (%)	2018 Reflectance (%)																						
1	7.2	6.8																						
2	5.8	5.2																						
3	6.5	6.2																						
4	6.0	5.8																						
5	6.5	6.2																						
6	4.5	4.2																						

Αστική Περιοχή	Πυκνή	4-3-2		<p>ΠΥΚΝΗ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>22</td><td>20</td></tr> <tr><td>2</td><td>28</td><td>26</td></tr> <tr><td>3</td><td>30</td><td>29</td></tr> <tr><td>4</td><td>41</td><td>38</td></tr> <tr><td>5</td><td>44</td><td>43</td></tr> <tr><td>6</td><td>32</td><td>31</td></tr> </tbody> </table>	Point	2000 (%)	2018 (%)	1	22	20	2	28	26	3	30	29	4	41	38	5	44	43	6	32	31
	Point	2000 (%)	2018 (%)																						
	1	22	20																						
	2	28	26																						
3	30	29																							
4	41	38																							
5	44	43																							
6	32	31																							
Μεσαία	4-3-2		<p>ΜΕΣΑΙΑ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>14</td><td>14</td></tr> <tr><td>2</td><td>18</td><td>18</td></tr> <tr><td>3</td><td>21</td><td>21</td></tr> <tr><td>4</td><td>30</td><td>33</td></tr> <tr><td>5</td><td>30</td><td>31</td></tr> <tr><td>6</td><td>27</td><td>24</td></tr> </tbody> </table>	Point	2000 (%)	2018 (%)	1	14	14	2	18	18	3	21	21	4	30	33	5	30	31	6	27	24	
Point	2000 (%)	2018 (%)																							
1	14	14																							
2	18	18																							
3	21	21																							
4	30	33																							
5	30	31																							
6	27	24																							
Μεσαία-Αραιή – Γυμνό Έδαφος	4-3-2		<p>ΜΕΣΑΙΑ - ΑΡΑΙΑ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ - ΓΥΜΝΟ ΕΔΑΦΟΣ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>10</td><td>8</td></tr> <tr><td>2</td><td>15</td><td>12</td></tr> <tr><td>3</td><td>17</td><td>14</td></tr> <tr><td>4</td><td>30</td><td>31</td></tr> <tr><td>5</td><td>28</td><td>28</td></tr> <tr><td>6</td><td>23</td><td>20</td></tr> </tbody> </table>	Point	2000 (%)	2018 (%)	1	10	8	2	15	12	3	17	14	4	30	31	5	28	28	6	23	20	
Point	2000 (%)	2018 (%)																							
1	10	8																							
2	15	12																							
3	17	14																							
4	30	31																							
5	28	28																							
6	23	20																							
<p>Η αστική περιοχή διαιρέθηκε σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την πυκνότητα των ανθρωπογενών κατασκευών. Η τελευταία κατηγορία της αστικής περιοχής (Μεσαία – Αραιή – Γυμνό έδαφος) αποτελεί μια μικτή κατηγορία για τον λόγο, ότι περιβάλλονται και άλλα στοιχεία ενδιάμεσα στην αραιοδομημένη περιοχή, όπως το γυμνό έδαφος και η βλάστηση.</p>																									
Γυμνό Έδαφος	4-3-2		<p>ΓΥΜΝΟ ΕΔΑΦΟΣ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>7</td><td>7</td></tr> <tr><td>2</td><td>11</td><td>11</td></tr> <tr><td>3</td><td>14</td><td>14</td></tr> <tr><td>4</td><td>25</td><td>26</td></tr> <tr><td>5</td><td>28</td><td>29</td></tr> <tr><td>6</td><td>21</td><td>23</td></tr> </tbody> </table>	Point	2000 (%)	2018 (%)	1	7	7	2	11	11	3	14	14	4	25	26	5	28	29	6	21	23	
Point	2000 (%)	2018 (%)																							
1	7	7																							
2	11	11																							
3	14	14																							
4	25	26																							
5	28	29																							
6	21	23																							

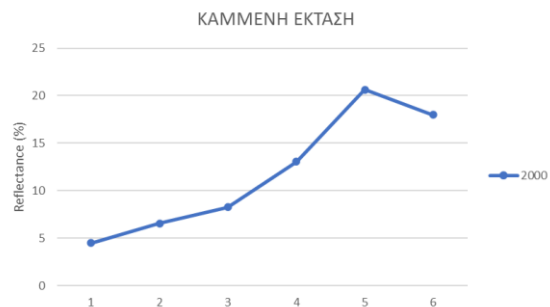
Γκαζόν	4-3-2		<p>ΓΚΑΖΟΝ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2000</td> <td>5</td> <td>9</td> <td>12</td> <td>33</td> <td>18</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>7</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>35</td> <td>25</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>	Year	1	2	3	4	5	6	2000	5	9	12	33	18	18	2018	7	12	13	35	25	18	
Year	1	2	3	4	5	6																			
2000	5	9	12	33	18	18																			
2018	7	12	13	35	25	18																			
Λαχανόκηπος	4-3-2		<p>ΛΑΧΑΝΟΚΗΠΟΣ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2000</td> <td>6</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>8</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>30</td> <td>28</td> <td>23</td> </tr> </tbody> </table>	Year	1	2	3	4	5	6	2000	6	12	16	30	30	25	2018	8	12	13	30	28	23	
Year	1	2	3	4	5	6																			
2000	6	12	16	30	30	25																			
2018	8	12	13	30	28	23																			
Ελαιώνες	5-4-3		<p>ΕΛΑΙΩΝΕΣ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2000</td> <td>7</td> <td>13</td> <td>20</td> <td>29</td> <td>35</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>7</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>32</td> <td>34</td> <td>29</td> </tr> </tbody> </table>	Year	1	2	3	4	5	6	2000	7	13	20	29	35	31	2018	7	12	16	32	34	29	
Year	1	2	3	4	5	6																			
2000	7	13	20	29	35	31																			
2018	7	12	16	32	34	29																			
Αμπελώνες	5-4-3		<p>ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2000</td> <td>8</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>25</td> <td>26</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>6</td> <td>10</td> <td>14</td> <td>25</td> <td>29</td> <td>22</td> </tr> </tbody> </table>	Year	1	2	3	4	5	6	2000	8	12	16	25	26	23	2018	6	10	14	25	29	22	
Year	1	2	3	4	5	6																			
2000	8	12	16	25	26	23																			
2018	6	10	14	25	29	22																			
Κωνοφόρα Βλάστηση	Πυκνή	4-3-2		<p>ΠΥΚΝΗ ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2000</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>20</td> <td>18</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>22</td> <td>19</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Year	1	2	3	4	5	6	2000	4	6	6	20	18	8	2018	4	6	6	22	19	10
Year	1	2	3	4	5	6																			
2000	4	6	6	20	18	8																			
2018	4	6	6	22	19	10																			

	Πυκνή-Μεσαία	4-3-2		<p>ΜΕΣΑΙΑ - ΠΥΚΝΗ ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Stage</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>2</td><td>10</td><td>9</td></tr> <tr><td>3</td><td>13</td><td>11</td></tr> <tr><td>4</td><td>21</td><td>25</td></tr> <tr><td>5</td><td>24</td><td>24</td></tr> <tr><td>6</td><td>18</td><td>16</td></tr> </tbody> </table>	Stage	2000 (%)	2018 (%)	1	6	6	2	10	9	3	13	11	4	21	25	5	24	24	6	18	16
Stage	2000 (%)	2018 (%)																							
1	6	6																							
2	10	9																							
3	13	11																							
4	21	25																							
5	24	24																							
6	18	16																							
	Μεσαία	4-3-2		<p>ΜΕΣΑΙΑ ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Stage</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>2</td><td>10</td><td>9</td></tr> <tr><td>3</td><td>13</td><td>11</td></tr> <tr><td>4</td><td>24</td><td>25</td></tr> <tr><td>5</td><td>25</td><td>26</td></tr> <tr><td>6</td><td>19</td><td>18</td></tr> </tbody> </table>	Stage	2000 (%)	2018 (%)	1	6	6	2	10	9	3	13	11	4	24	25	5	25	26	6	19	18
Stage	2000 (%)	2018 (%)																							
1	6	6																							
2	10	9																							
3	13	11																							
4	24	25																							
5	25	26																							
6	19	18																							
	Μεσαία-Αραιή – Γυμνό Έδαφος	4-3-2		<p>ΜΕΣΑΙΑ - ΑΡΑΙΗ ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ - ΓΥΜΝΟ ΕΔΑΦΟΣ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Stage</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>8</td><td>6</td></tr> <tr><td>2</td><td>12</td><td>9</td></tr> <tr><td>3</td><td>15</td><td>13</td></tr> <tr><td>4</td><td>21</td><td>24</td></tr> <tr><td>5</td><td>25</td><td>26</td></tr> <tr><td>6</td><td>21</td><td>18</td></tr> </tbody> </table>	Stage	2000 (%)	2018 (%)	1	8	6	2	12	9	3	15	13	4	21	24	5	25	26	6	21	18
Stage	2000 (%)	2018 (%)																							
1	8	6																							
2	12	9																							
3	15	13																							
4	21	24																							
5	25	26																							
6	21	18																							
	Αραιή- Φρύγανα – Γυμνό Έδαφος	4-3-2		<p>ΑΡΑΙΗ ΚΩΝΟΦΟΡΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ - ΓΥΜΝΟ ΕΔΑΦΟΣ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Stage</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>9</td><td>8</td></tr> <tr><td>2</td><td>14</td><td>11</td></tr> <tr><td>3</td><td>18</td><td>15</td></tr> <tr><td>4</td><td>25</td><td>28</td></tr> <tr><td>5</td><td>30</td><td>31</td></tr> <tr><td>6</td><td>25</td><td>21</td></tr> </tbody> </table>	Stage	2000 (%)	2018 (%)	1	9	8	2	14	11	3	18	15	4	25	28	5	30	31	6	25	21
Stage	2000 (%)	2018 (%)																							
1	9	8																							
2	14	11																							
3	18	15																							
4	25	28																							
5	30	31																							
6	25	21																							
Βραχώδης Έκταση		4-3-2		<p>ΒΡΑΧΩΔΗΣ ΕΚΤΑΣΗ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Stage</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>9</td><td>8</td></tr> <tr><td>2</td><td>13</td><td>12</td></tr> <tr><td>3</td><td>18</td><td>15</td></tr> <tr><td>4</td><td>29</td><td>28</td></tr> <tr><td>5</td><td>30</td><td>31</td></tr> <tr><td>6</td><td>22</td><td>22</td></tr> </tbody> </table>	Stage	2000 (%)	2018 (%)	1	9	8	2	13	12	3	18	15	4	29	28	5	30	31	6	22	22
Stage	2000 (%)	2018 (%)																							
1	9	8																							
2	13	12																							
3	18	15																							
4	29	28																							
5	30	31																							
6	22	22																							

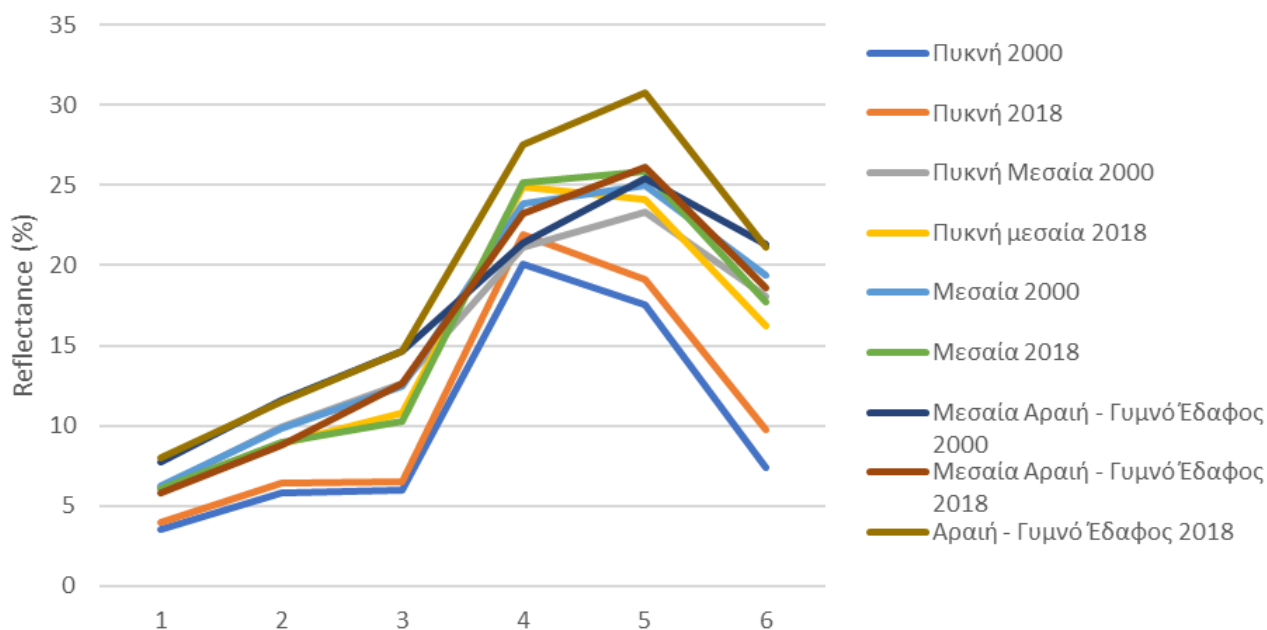
Οδικό Δίκτυο	Υφιστάμενο	4-3-2		<p>ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ - ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>11</td><td>10</td></tr> <tr><td>2</td><td>14</td><td>13</td></tr> <tr><td>3</td><td>16</td><td>15</td></tr> <tr><td>4</td><td>21</td><td>20</td></tr> <tr><td>5</td><td>22</td><td>20</td></tr> <tr><td>6</td><td>17</td><td>17</td></tr> </tbody> </table>	Point	2000 (%)	2018 (%)	1	11	10	2	14	13	3	16	15	4	21	20	5	22	20	6	17	17
	Point	2000 (%)	2018 (%)																						
	1	11	10																						
2	14	13																							
3	16	15																							
4	21	20																							
5	22	20																							
6	17	17																							
Υπο Κατασκευή	4-3-2		<p>ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>2000 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>11</td></tr> <tr><td>2</td><td>18</td></tr> <tr><td>3</td><td>25</td></tr> <tr><td>4</td><td>35</td></tr> <tr><td>5</td><td>42</td></tr> <tr><td>6</td><td>37</td></tr> </tbody> </table>	Point	2000 (%)	1	11	2	18	3	25	4	35	5	42	6	37								
Point	2000 (%)																								
1	11																								
2	18																								
3	25																								
4	35																								
5	42																								
6	37																								
<p>Το 1996 ξεκίνησε η κατασκευή της Αττικής Οδού. Ο δρόμος δόθηκε σε λειτουργία το 2001-2003. Οι εικόνες της παρούσας εργασίας αφορούν τις χρονολογίες 2000 και 2018, οπότε μέρη του οδικού δικτύου την χροολογία 2000 ήταν υπο κατασκευή.</p>																									
Αεροδιάδρομος	No1	4-3-2		<p>ΑΕΡΟΔΙΑΔΡΟΜΟΣ Νο1</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>2000 (%)</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>10</td><td>9</td></tr> <tr><td>2</td><td>13</td><td>11</td></tr> <tr><td>3</td><td>14</td><td>13</td></tr> <tr><td>4</td><td>18</td><td>16</td></tr> <tr><td>5</td><td>21</td><td>19</td></tr> <tr><td>6</td><td>17</td><td>15</td></tr> </tbody> </table>	Point	2000 (%)	2018 (%)	1	10	9	2	13	11	3	14	13	4	18	16	5	21	19	6	17	15
Point	2000 (%)	2018 (%)																							
1	10	9																							
2	13	11																							
3	14	13																							
4	18	16																							
5	21	19																							
6	17	15																							
	No2	4-3-2		<p>ΑΕΡΟΔΙΑΔΡΟΜΟΣ Νο2</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Point</th> <th>2018 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>10</td></tr> <tr><td>2</td><td>14</td></tr> <tr><td>3</td><td>18</td></tr> <tr><td>4</td><td>25</td></tr> <tr><td>5</td><td>33</td></tr> <tr><td>6</td><td>25</td></tr> </tbody> </table>	Point	2018 (%)	1	10	2	14	3	18	4	25	5	33	6	25							
Point	2018 (%)																								
1	10																								
2	14																								
3	18																								
4	25																								
5	33																								
6	25																								
<p>Εντός της περιοχής του Αεροδρομίου παρατηρούνται δυο τύποι Αεροδιαδρόμου.</p>																									

Καμμένη Έκταση

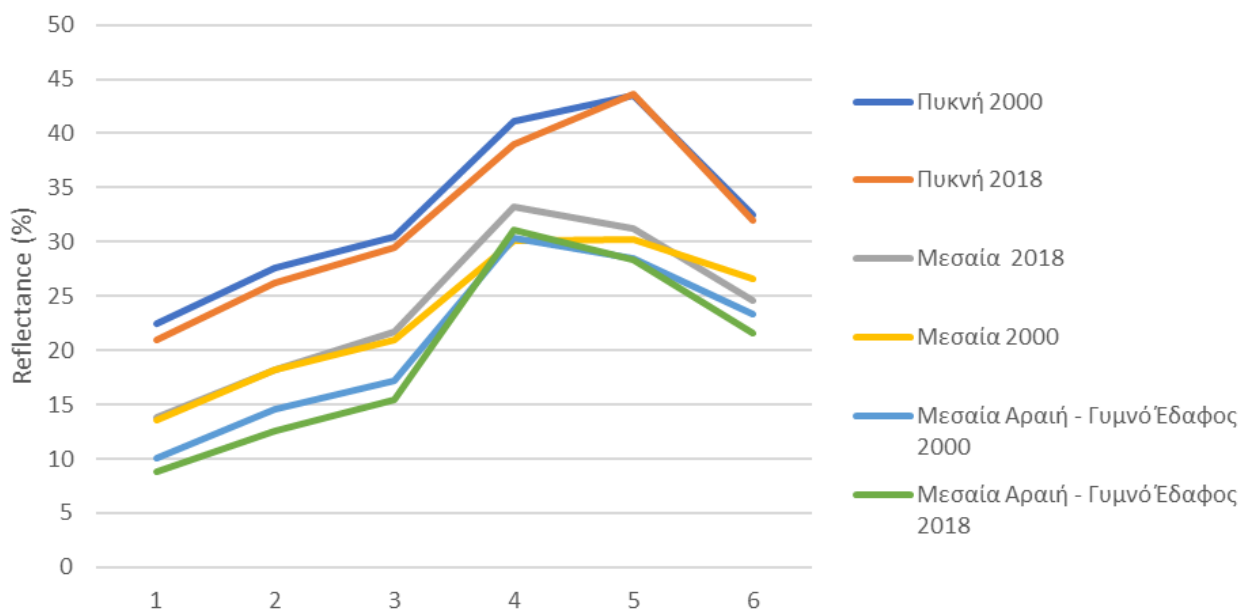
5-4-3



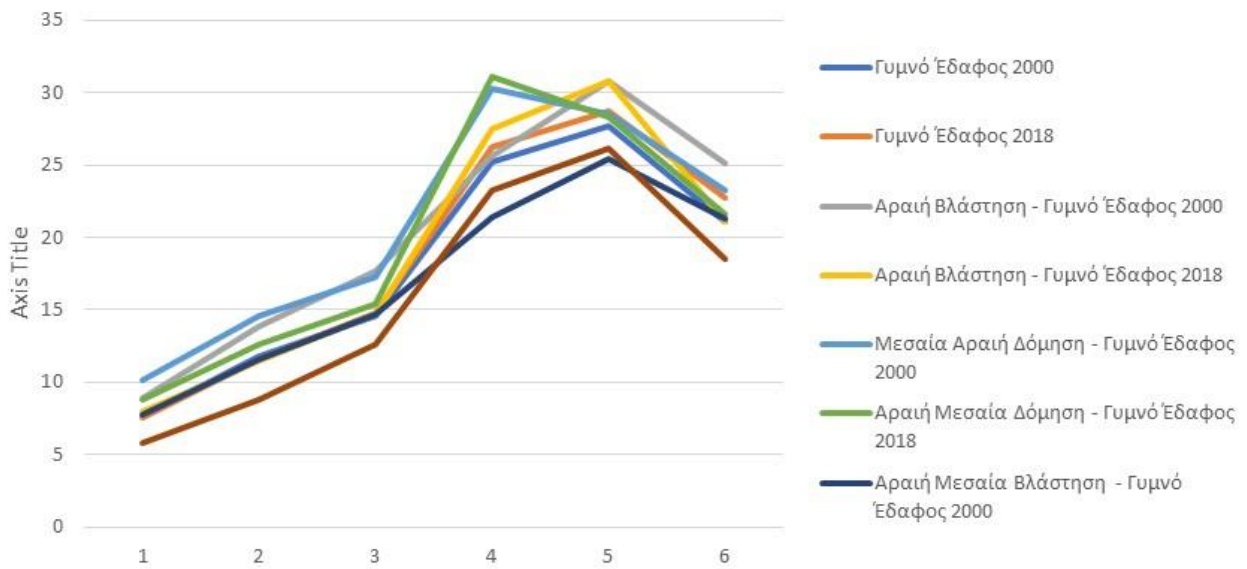
Κωνοφόρα Βλάστηση



Δόμηση



Κατηγορίες με Γυμνό Έδαφος



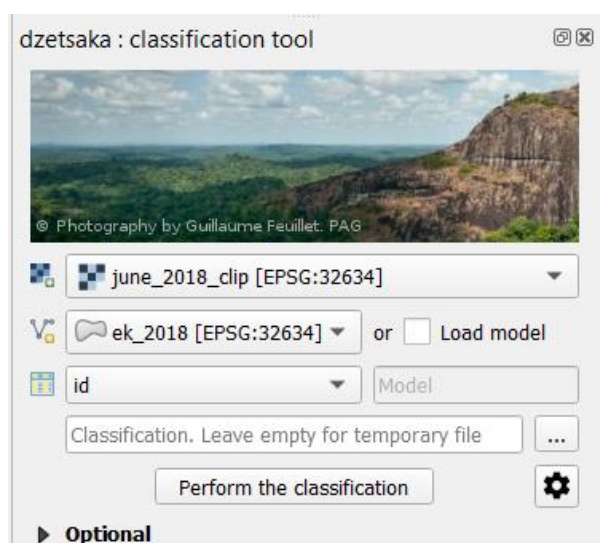
Οι παραπάνω κατηγορίες εντοπίστηκαν στις εικόνες της Ανατολικής Αττικής για τις δύο χρονολογίες και δημιουργήθηκαν τα πολύγωνα εκπαίδευσης (για την κάθε χρονολογία δημιουργήθηκαν διαφορετικά πολύγωνα εκπαίδευσης). Η επιλογή των πολυγώνων έγινε με προσοχή στα κατάλληλα έγχρωμα σύνθετα. Η έκταση και ο αριθμός των πολυγώνων για την κάθε χρονολογία και κατηγορία παρουσιάζεται παρακάτω.

Πίνακας 19. Κατηγορίες πολυγώνων εκπαίδευσης με στατιστικά (αριθμός πολυγώνων και έκταση)

Κατηγορίες	2018		2000		
	Πολύγωνα	Έκταση	Πολύγωνα	Έκταση	
Νερό	13	434710.8	16	726547.81	
Αστική Περιοχή	Πυκνή	16	314336.67	12	254681.47
	Μεσαία	5	902234.5	6	930698.08
	Μεσαία-Αραιή	8	1834471.6	8	1546174.6
Γυμνό Έδαφος	7	931774.04	7	1007028.8	
Γκαζόν	19	208248.25	16	152321.62	
Λαχανόκηπος	30	167897.19	39	207318.01	
Ελαιώνες	23	430683.81	20	386140.85	
Αμπελώνες	22	305437.08	23	642610.26	
Κωνοφόρα Βλάστηση	Πυκνή	15	547604.79	21	379499.66
	Πυκνή-Μεσαία	12	687641.15	5	336383.69
	Μεσαία	5	272219.56	3	201655.47
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	12	810657.32	7	467192.21
	Αραιή-Φρύγανα - Γυμνό Έδαφος	5	396439.47	3	199710.12
Βραχώδης Έκταση	6	41474.414	15	123943.15	
Οδικό Δίκτυο	Υφιστάμενο	11	107310.76	9	61197.386
	Υπο Κατασκευή			6	87206.735
Αεροδιάδρομος	No1	9	49083.913	13	94880.496
	No2	11	102745.2		
Καμμένη Έκταση			2	10886.655	

6.1.2. Ταξινόμηση

Οι ταξινομήσεις των εικόνων, με τον αλγόριθμο Random Forest, πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον QGIS με το plugin 'dzetsaka'. Ως είσοδοι στο πρόγραμμα, εισάγονται η εικόνα και τα πολύγωνα εκπαίδευσης.



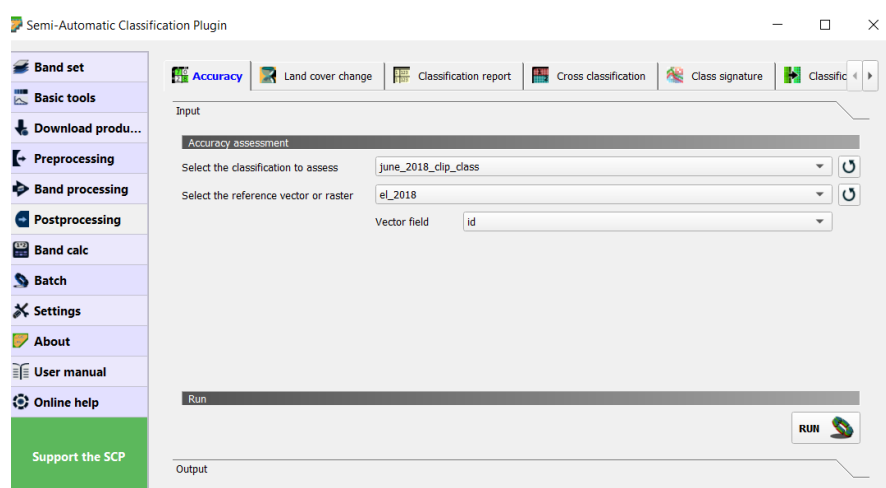
Εικόνα 31. Στοιχεία εισόδου στο plugin 'dzetsaka'.

Η ακρίβεια της μεθόδου, πραγματοποιείται με τα πολύγωνα ελέγχου, τα οποία συλλέχθηκαν με τον ίδιο τρόπο, όπως τα πολύγωνα εκπαίδευσης, αλλά σε διαφορετικές θέσεις. Παρακάτω παρουσιάζεται το πλήθος και η έκταση των πολυγώνων ελέγχου, για τις δύο χρονολογίες.

Πίνακας 20. Κατηγορίες πολυγώνων ελέγχου με στατιστικά (αριθμός πολυγώνων και έκταση)

Κατηγορίες	2018		2000		
	Πολύγωνα	Έκταση	Πολύγωνα	Έκταση	
Νερό	11	252805	16	586623.68	
Αστική Περιοχή	Πυκνή	13	247068.8	10	252130.27
	Μεσαία	5	770426.7	6	1140336.5
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	8	1486950	8	1535784.4
Γυμνό Έδαφος	5	966954.6	7	717358.09	
Γκαζόν	11	117218.8	16	167481.69	
Λαχανόκηπος	26	186515.7	25	227718.42	
Ελαιώνες	16	231538.2	19	434467.92	
Αμπελώνες	18	278168.3	26	645796.74	
Κωνοφόρα Βλάστηση	Πυκνή	12	718978.28	14	254968.39
	Πυκνή-Μεσαία	12	672217.7	4	233515.3
	Μεσαία	4	225943.6	5	301888.04
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	11	800968.7	3	139881.13
	Αραιή-Φρύγανα - Γυμνό Έδαφος	5	407173.9	5	256034.68
Βραχώδης Έκταση	6	38464.83	15	138989.4	
Οδικό Δίκτυο	Υφιστάμενο	14	117818.9	6	55880.885
	Υπο Κατασκευή			13	102950.18
Αεροδιάδρομο	No1	11	59410.64	13	101839.3
	No2	11	92596.97		
Καμμένη Έκταση			2	13826.32	

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης εισάγεται στο πρόγραμμα SAVI-postprocessing-accuracy με τα πολύγωνα ελέγχου, ώστε να παραχθούν τα στατιστικά στοιχεία της ταξινόμησης (σφάλμα παράλειψης και συμπερίληψης και δείκτης Karra).

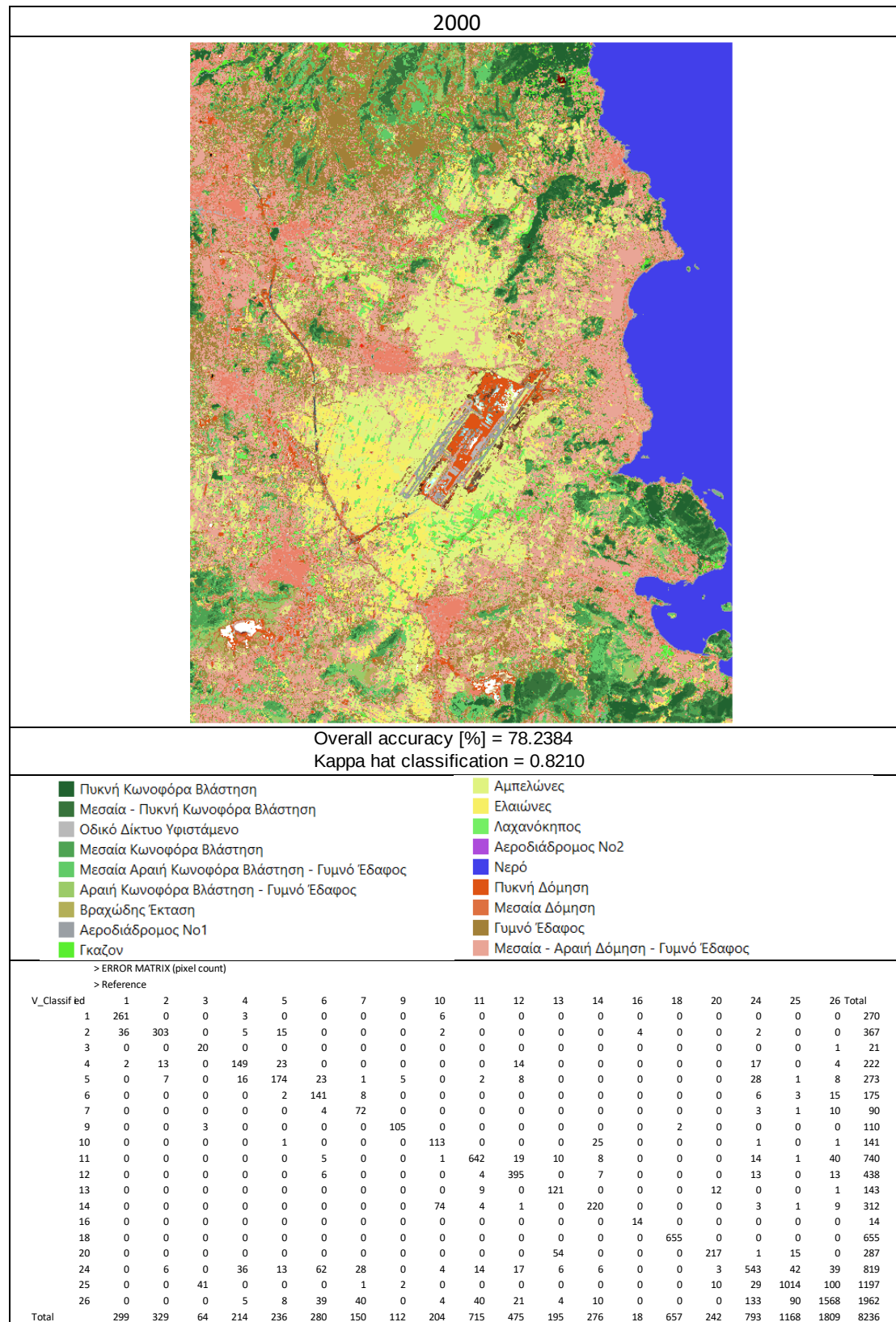


Εικόνα 32. Εισαγωγή στοιχείων για υπολογισμό της ακρίβειας στο plugin 'Semi-automatic classification'.

Η παραπάνω διαδικασία, πραγματοποιήθηκε δύο φορές, μία για την κάθε χρονολογία (2000 και 2018).

6.1.3. Αποτελέσματα Ταξινομήσεων

Πίνακας 21. Ταξινόμηση εικόνας 2000, με το υπόμνημα και τα στατιστικά στοιχεία.



Πίνακας 22. Αντιστοίχιση κατηγοριών με αρίθμηση.

Κατηγορίες		
Νερό		18
Αστική Περιοχή	Πυκνή	20
	Μεσαία	25
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	26
	Γυμνό Έδαφος	24
Υγιής Βλάστηση		10
Λαχανόκηπος		14
Ελαιώνες		12
Αμπελώνες		11
Κωνοφόρα Βλάστηση	Πυκνή	1
	Πυκνή-Μεσαία	2
	Μεσαία	4
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	5
	Αραιή-Φρύγανα - Γυμνό Έδαφος	6
Βραχώδης Έκταση		7
Οδικό Δίκτυο	Υφιστάμενο	3
	Υπο Κατασκευή	13
Αεροδιάδρομος	No1	9
	No2	15
Καμμένη Έκταση		16

Η εικόνα του 2000 ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Κατηγορίες όπως ο αστικός ιστός, η περιοχή του αεροδρομίου, το νερό και η βλάστηση, έχουν διαχωριστεί και διακρίνονται επαρκώς. Σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια των κατηγοριών διακρίνονται κάποια λανθασμένα ταξινομημένα εικονοστοιχεία, δηλαδή η σύγχυση κάποιων κατηγοριών. Οι κατηγορίες που συγχέονται περισσότερο είναι αυτές που αφορούν το ίδιο αντικείμενο, όπως η βλάστηση με τις υποκατηγορίες στα κωνοφόρα, και η αστική περιοχή.

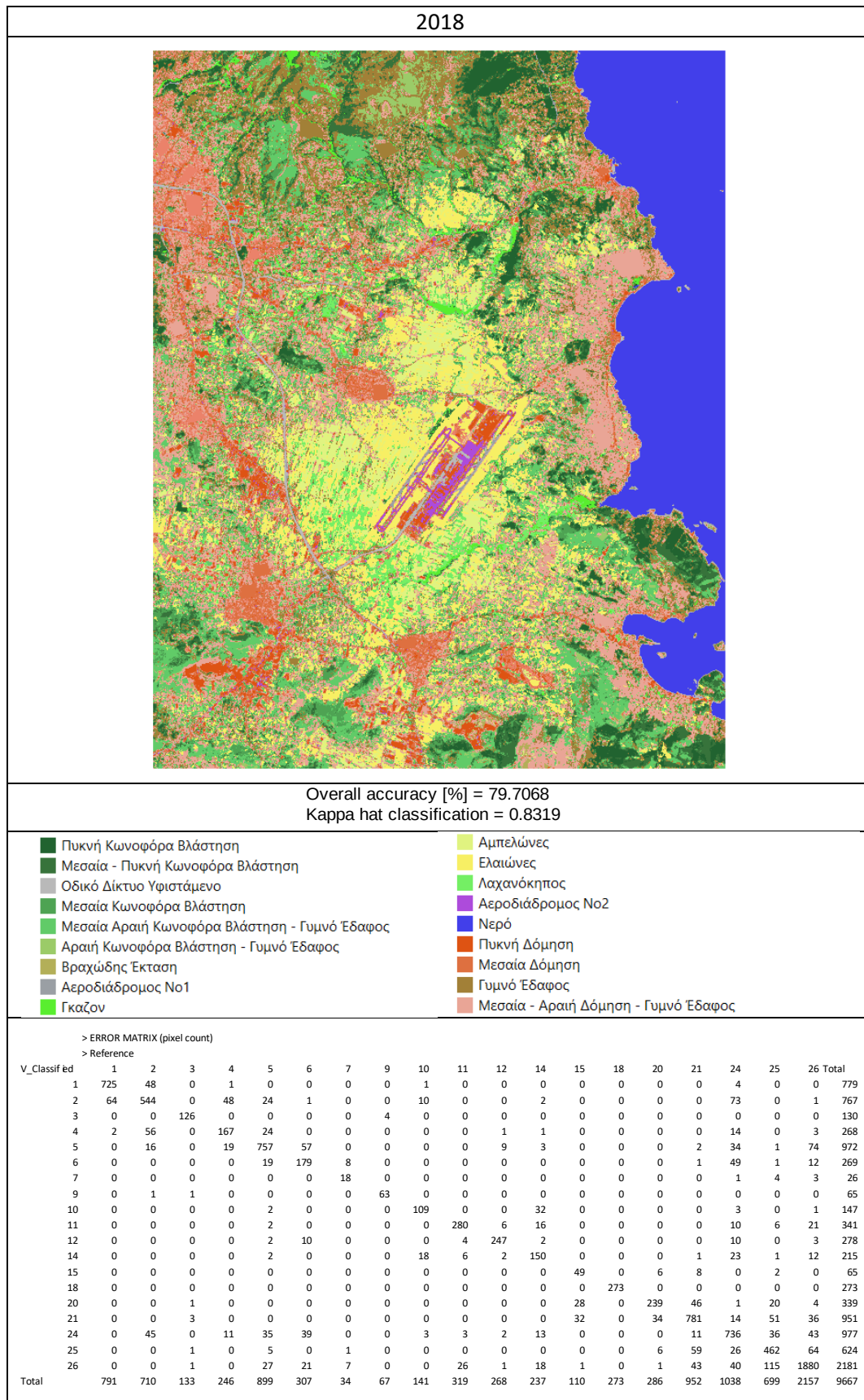
Στον πίνακα σύγχυσης παρουσιάζονται ποσοτικά τα συμπεράσματα της ποιοτικής αξιολόγησης. Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με υψηλό ποσοστό συνολικής ακρίβειας 78.23% και δείκτη kappa-hat 0.82.

Πίνακας 23. Στατιστικά στοιχεία ταξινομημένης εικόνας 2000 για την κάθε κατηγορία.

Κατηγορίες	PA [%]	UA [%]	Kappa hat	
Νερό	99.8984	100.0000	1.0000	
Αστική Περιοχή	Πυκνή	73.2545	85.6098	0.8514
	Μεσαία	65.6576	76.3576	0.7419
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	87.6427	74.6279	0.7543
Γυμνό Έδαφος	79.0952	79.8191	0.7272	
Γκαζόν	78.7471	80.1418	0.7985	
Λαχανόκηπος	66.2865	80.5128	0.8998	
Ελαιώνες	80.2457	90.1826	0.7999	
Αμπελώνες	90.6864	86.7568	0.8000	
Κωνοφόρα Βλάστηση	Πυκνή	83.4397	96.6667	0.9001
	Πυκνή-Μεσαία	78.9656	75.3134	0.8002
	Μεσαία	63.2493	66.6981	0.6503
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	63.4318	77.1062	0.7504
	Αραιή-Φρύγανα - Γυμνό Έδαφος	63.2214	74.8571	0.7005
Βραχώδης Έκταση	71.8001	80.0000	0.8006	
Οδικό Δίκτυο	Υφιστάμενο	71.4667	95.2381	0.9007
	Υπο Κατασκευή	74.1418	73.3333	0.7208
Αεροδιάδρομος	No1	86.9946	95.4545	0.9009
Καμμένη Έκταση	98.2424	100.0000	1.0000	

Οι ακρίβειες της κάθε κατηγορίας είναι ικανοποιητικές. Υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας έχουν οι κατηγορίες νερό και καμμένη έκταση με 100%, ενώ ακολουθούν με υψηλά ποσοστά και οι υπόλοιπες κατηγορίες. Οι μικρότερες ακρίβειες παρατηρούνται στις κατηγορίες της αστικής περιοχής (μεσαία, μεσαία-αραιή-γυμνό έδαφος), κωνοφόρα (μεσαία πυκνότητα και αραιή πυκνότητα - γυμνό έδαφος) αποτέλεσμα που δικαιολογείται καθώς όλες οι κατηγορίες εμπεριέχουν το στοιχείο του γυμνού εδάφους, η χωρική ανάλυση των εικόνων είναι 30m και οι κατηγορίες αυτές δεν είναι αρκετά ευδιάκριτες σε αυτή την χωρική ανάλυση.

Πίνακας 24. Ταξινόμηση εικόνας 2018, με το υπόμνημα και τα στατιστικά στοιχεία.



Η εικόνα του 2018 επίσης ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Κατηγορίες όπως ο αστικός ιστός, η περιοχή του αεροδρομίου, το νερό και η βλάστηση, έχουν διαχωριστεί και διακρίνονται επαρκώς. Σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια των κατηγοριών διακρίνονται κάποια λανθασμένα ταξινομημένα εικονοστοιχεία, δηλαδή η σύγχυση κάποιων κατηγοριών. Οι κατηγορίες που συγχέονται περισσότερο είναι αυτές που αφορούν το ίδιο αντικείμενο, όπως η βλάστηση με τις υποκατηγορίες στα κωνοφόρα, και η αστική περιοχή. Αυτό παρουσιάζεται και στον παρακάτω πίνακα όπου στις κατηγορίες της κωνοφόρας βλάστησης, παρατηρούνται σφάλματα στις διαδοχικές κατηγορίες, όπως πυκνή με πυκνή-μεσαία βλάστηση, πυκνή-μεσαία με μεσαία. Το ίδιο φαινόμενο συμβαίνει και στις κατηγορίες της αστικής περιοχής.

Στον πίνακα σύγχυσης παρουσιάζονται ποσοτικά τα συμπεράσματα της ποιοτικής αξιολόγησης. Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με υψηλό ποσοστό συνολικής ακρίβειας 79.70% και δείκτη kappa-hat 0.83.

Πίνακας 25. Στατιστικά στοιχεία ταξινομημένης εικόνας 2018 για την κάθε κατηγορία.

Κατηγορίες		PA [%]	UA [%]	Kappa hat
Νερό		100.0000	100.0000	1.0000
Αστική Περιοχή	Πυκνή	84.3148	80.5015	0.8005
	Μεσαία	68.9601	85.2997	0.8327
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	69.2035	75.5298	0.7788
Γυμνό Έδαφος		74.0158	80.5322	0.8272
Γκαζόν		63.1112	74.1497	0.7390
Λαχανόκηπος		68.9342	79.7674	0.7888
Ελαιώνες		96.6274	88.8489	0.8780
Αμπελώνες		90.5065	82.1114	0.8118
Κωνοφόρα Βλάστηση	Πυκνή	83.8574	93.0680	0.9286
	Πυκνή-Μεσαία	72.7907	80.9257	0.7909
	Μεσαία	75.1691	72.3134	0.8117
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	78.0356	67.5926	0.7350
	Αραιή-Φρύγανα - Γυμνό Έδαφος	62.5008	76.5428	0.7490
Βραχώδης Έκταση		76.9165	79.2308	0.7913
Οδικό Δίκτυο	Υφιστάμενο	96.5437	96.9231	0.9689
	Υπο Κατασκευή			
Αεροδιάδρομος	No1	88.6056	96.9231	0.9691
	No2	76.9094	85.3846	0.8521

6.1.4. Αλλαγές χρήσεων γης

Στο περιβάλλον QGIS, πραγματοποιήθηκε η ανίχνευση αλλαγών, μεταξύ των δύο ταξινομημένων εικόνων 2000 και 2018. Εντοπίστηκαν οι αλλαγές, μεταξύ των κατηγοριών, δηλαδή προσδιορίστηκαν οι μεταβολές στις κατηγορίες στο διάστημα των 18 χρόνων.

Πίνακας 26. Μεταβολές της κάθε κατηγορίας και σχολιασμός.

Πίνακας με Μεταβολές στην κάθε κατηγορία																									
	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	14	15	18	20	21	24	25	26						
1	6714	2342	8	343	127	20	0	137	59	3	62	19	0	11	6	6	1266	11	76						
2	3549	7314	15	2258	1120	316	2	42	94	9	152	32	0	0	17	19	3519	39	525						
3	0	0	327	0	3	7	5	3	0	1	8	0	488	0	544	700	31	111	51						
4	855	4424	8	4170	4255	108	18	1	55	36	536	46	1	0	16	36	1940	29	986						
5	390	2800	172	2642	6863	1203	86	78	70	365	1574	143	19	1	106	351	6737	256	2917						
6	5	111	51	562	3589	695	50	3	2	12	518	13	15	0	55	282	1016	139	1707						
7	0	16	46	138	994	372	42	1	0	45	613	14	16	0	77	301	340	255	1568						
9	24	86	1228	11	4	19	4	571	3	1	7	0	508	288	116	388	295	84	47						
10	309	928	4	83	417	25	1	16	1253	58	152	736	1	0	27	46	1533	44	642						
11	20	159	239	308	4236	379	81	25	138	16475	13379	1684	50	0	516	857	2144	949	7725						
12	39	481	61	1207	5093	103	5	4	70	3690	9514	3904	25	0	265	320	2312	245	2876						
13	3	14	478	20	125	109	102	47	0	51	1150	24	122	0	1188	479	182	277	605						
14	1	81	17	33	643	10	5	10	603	1110	702	2271	8	0	65	125	766	106	1376						
16	93	17	2	4	3	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0	3	8	2	4						
18	0	0	103	0	0	0	87	0	0	0	0	0	1	65196	3	0	1	0	0						
20	7	18	501	4	67	135	46	45	3	53	800	16	717	0	2005	1294	199	495	780						
24	378	4849	598	3064	13758	2117	172	56	827	1081	3171	1483	72	0	810	2559	19604	2250	17631						
25	2	73	563	29	374	182	8	25	10	20	116	39	336	2	1632	8009	1970	4061	4877						
26	82	1546	521	2088	20444	1798	168	66	647	3278	12403	3086	106	1	1132	4111	16619	5659	43376						

Ο παραπάνω πίνακας, παρέχει ποσοτικές πληροφορίες για τις αλλαγές που προκύπτουν από τις ταξινομημένες εικόνες, στο διάστημα 2000-2018.

Η διαγώνιος του πίνακα, περιέχει τα αμετάβλητα στοιχεία. Τα στοιχεία πάνω από την διαγώνιο, δείχνουν την υποβάθμιση της κατηγορίας ως προς το φυσικό περιβάλλον, ενώ τα στοιχεία κάτω από την διαγώνιο, φανερώνουν την αναβάθμιση της κατηγορίας ως προς το φυσικό περιβάλλον.

Η ανάγνωση του πίνακα, πραγματοποιείται κατά την οριζόντια διεύθυνση (γραμμή), και γίνεται ως εξής:

Παράδειγμα 2^{ης} γραμμής.

	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	14	15	18	20	21	24	25	26
1	6714	2342	8	343	127	20	0	137	59	3	62	19	0	11	6	6	1266	11	76

Η κατηγορία 1 (Πυκνή Βλάστηση) έχει 6714 ρixel τα οποία έμειναν αμετάβλητα μεταξύ των ταξινομήσεων, από την κατηγορία 1 μετατράπηκαν 2342 ρixel σε κατηγορία 2 (Πυκνή-Μέτρια Βλάστηση), από από την κατηγορία 1 μετατράπηκαν 8 ρixel σε κατηγορία 3 (Οδικό Δίκτυο), από την κατηγορία 1 μετατράπηκαν 343 ρixel σε κατηγορία 4 (Μεσαία Βλάστηση), κλπ..

Η αντιστοίχιση των κατηγοριών με τους αριθμούς (id) παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορίες		
	Νερό	18
Αστική Περιοχή	Πυκνή	20, 21
	Μεσαία	25
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	26
	Γυμνό Έδαφος	24
	Υγής Βλάστηση	10
	Λαχανόκηπος	14
	Ελαιώνες	12
	Αμπελώνες	11
Κωνοφόρα Βλάστηση	Πυκνή	1
	Πυκνή-Μεσαία	2
	Μεσαία	4
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	5
	Αραιή-Φρύγανα - Γυμνό Έδαφος	6
	Βραχώδης Έκταση	7
Οδικό Δίκτυο	Υφιστάμενο	3
	Υπο Κατασκευή	13
Αεροδιάδρομος	No1	9
	No2	15
	Καμμένη Έκταση	16

Σχολιασμός Πίνακα

	1	2	3	4	5	6
1	6714	2342	8	343	127	20
2	3549	7314	15	2258	1120	316
3			327			
4	855	4424	8	4170	4255	108
5	390	2800	172	2642	6863	1203
6	5	111	51	562	3589	695

Κωνοφόρα βλάστηση	Πυκνή	1
	Πυκνή-Μεσαία	2
	Μεσαία	4
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	5
	Αραιή-Φρύγανα - Γυμνό Έδαφος	6

Οι παραπάνω διαφοροποιήσεις αφορούν, τις αλλαγές που έχει υποστεί η κωνοφόρα βλάστηση, ως προς την πυκνότητά της. Παρατηρούνται ότι οι περισσότερες αλλαγές, βρίσκονται συμμετρικά της διαγωνίου. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει σύγχυση στην ταξινόμηση μεταξύ των δυο κατηγοριών συμμετρικά της διαγωνίου. Όταν οι αριθμοί σε αυτά τα συμμετρικά στοιχεία του πίνακα, είναι παραπλήσιοι, τότε πιθανόν πρόκειται για σύγχυση μεταξύ των δύο κατηγοριών. Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η κωνοφόρα βλάστηση ως προς την πυκνότητα, στο διάστημα 2000-2018, υπέστη πύκνωση, καθώς οι αριθμοί κάτω από την κύρια διαγώνιο υπερτερούν.

2005	1294	199	495	780	20
810	2559	19604	2250	17631	24
1632	8009	1970	4061	4877	25
1132	4111	16619	5659	43376	26
20	21	24	25	26	

Αστική Περιοχή	Πυκνή	20, 21
	Μεσαία	25
	Μεσαία-Αραιή - Γυμνό Έδαφος	26
	Γυμνό Έδαφος	24

Ο παραπάνω πίνακας, παρουσιάζει τις ποσοτικές πληροφορίες αλλαγών για την αστική περιοχή. Αρχικά παρατηρούνται συμμετρικές των αλλαγών μεταξύ της διαγωνίου. Όπως σχολιάστηκε και παραπάνω, όταν τα στοιχεία των συμμετριών είναι παραπλήσια, τότε πιθανών πρόκειται για σύγχυση μεταξύ των δυο κατηγοριών. Στον συγκεκριμένο πίνακα, σύγχυση φανερώνεται μεταξύ των κατηγοριών του Γυμνού Εδάφους και Μεσαίας-Αραιής-Γυμνό Έδαφος, το οποίο δεν μπορεί να θεωρηθεί ως σφάλμα, καθώς αυτές οι κατηγορίες εμπαιριέχουν και οι δυο το στοιχείο του γυμνού εδάφους και επίσης χαρακτηρίζονται ως μικτές, δηλαδή εμπαιριέχουν και άλλα στοιχεία. Ασύμμετρες συμματρικές αλλαγές, υπάρχουν στα κόκκινα κελιά στο κάτω μέρος της διαγωνίου, το οποίο υποδηλώνει πύκνωση της αστικής περιοχής. Δηλαδή υποδηλώνουν σημαντική μεταβολή της πυκνότητας της αστικής περιοχής από Μεσαία σε Πυκνή και από Μεσαία-Αραιή- γυμνό έδαφος σε Μεσαία αντίστοιχα.

	10	11	12	14
10	1253	58	152	736
11	138	16475	13379	1684
12	70	3690	9514	3904
13				
14	603	1110	702	2271

Γκαζόν	10
Λαχανόκηπος	14
Ελαιώνες	12
Αμπελώνες	11

Ο παραπάνω πίνακας, περιέχει τις κατηγορίες Γκαζόν, Λαχανόκηπος, Ελαιώνες και Αμπελώνες. Παρατηρούνται συμμετρικά στοιχεία στον πίνακα, ως προς τις κατηγορίες Λαχανόκηπος και Αμπελώνες, το οποίο αποτελεί σύγχυση μεταξύ των δύο κατηγοριών, αφού τα εικονοστοιχεία της μεταβολής από την μια κατηγορία στην άλλη είναι παραπλήσια. Σημαντική αλλαγή παρατηρείται στις κατηγορίες από ελαιώνα σε αμπελώνα, αποτέλεσμα που μοιάζει λανθασμένο, καθώς είναι δύσκολο τόσες γεωργικές εκτάσεις να διαφοροποίησαν το είδος της βλάστησής τους. Το σφάλμα σε αυτή τη μεταβολή, οφείλεται στην διακριτική ικανότητα του δορυφόρου (30mX30m), στην ποσοστιαία κάλυψη του εδάφους από βλάστηση η οποία είναι παραπλήσια και στις γεωργικές εκτάσεις της περιοχής που είναι τεμαχισμένες σε μικρές εκτάσεις.

	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	14	15	18	20	21	24	25	26
1																	1266		76
2																	3519		525
3																	31		51
4																	1940		986
5																	6737		2917
6																	1016		1707
7																	340		1568
9																	295		47
10																	1533		642
11																	2144		7725
12																	2312		2876
13																	182		605
14																	766		1376
16																	8		4
18																	1		0
20																	199		780
24	378	4849	598	3064	13758	2117	172	56	827	1081	3171	1483	72	0	810	2559	19604	2250	17631
25																	1970		4877
26	82	1546	521	2088	20444	1798	168	66	647	3278	12403	3086	106	1	1132	4111	16619	5659	43376

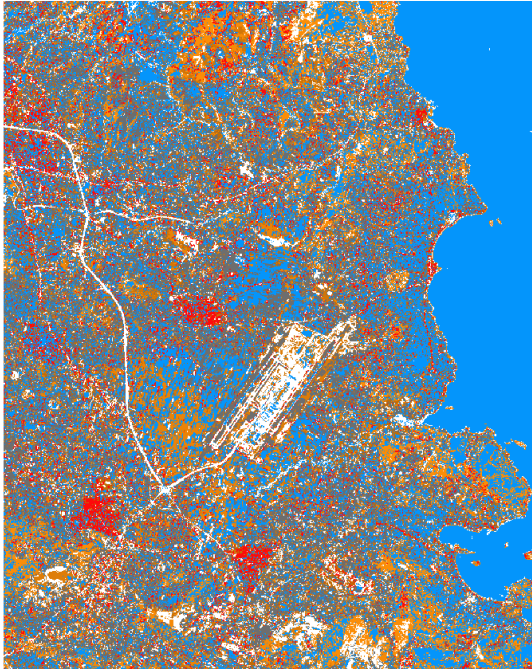
Οι κατηγορίες 24 και 26 αφορούν το γυμνό έδαφος και την μεσαία-αραιή δόμηση-γυμνό έδαφος (αντίστοιχα). Αποτελούν δηλαδή η δεύτερη είναι μικτή κατηγορία με κύριο συστατικό το γυμνό έδαφος. Και αυτό φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα όπου δηλώνονται σημαντικές αλλαγές οι οποίες όμως μπορούν να θεωρηθούν σύγχυση της ταξινόμησης των αντίστοιχων κατηγοριών.

Τα παραπάνω αποτελέσματα ομαδοποιήθηκαν σε κατηγορίες και απεικονίστηκαν σε χάρτες. Στον πρώτο διαχωρισμό χαρτών, δημιουργήθηκαν 5 κατηγορίες που αφορούν το μέγεθος των αλλαγών, ώστε να διαπιστωθεί χωρικά που υπήρχαν οι μεγαλύτερες αλλαγές. Στον δεύτερο διαχωρισμό χαρτών, δημιουργήθηκαν 7 κατηγορίες, που αφορούν το είδος της αλλαγής (Αμετάβλητα, Πύκνωση ή Αραίωση της Βλάστησης, Πύκνωση ή Αραίωση της Αστικής Περιοχής, μεταβολή από Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση και μεταβολή από Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος).

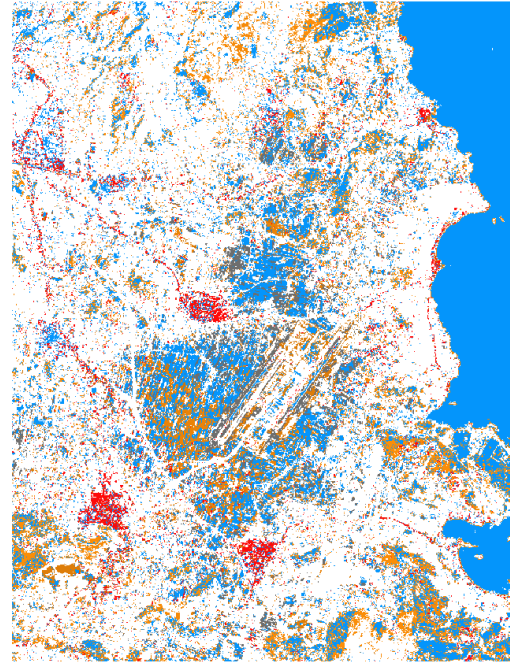
Από τον πίνακα Μεταβολών της κάθε κατηγορίας, παρατηρήθηκε σύγχυση, μεταξύ των κατηγοριών 24 και 26 Γυμνού Εδάφους και Μεσαία- Αραιή – Γυμνό έδαφος δόμηση γι' αυτόν το λόγο, παρακάτω δημιουργήθηκαν και χάρτες των μεταβολών χωρίς αυτές τις κατηγορίες, ώστε να σχολιαστούν.

Πίνακας 27. Ποσοτικές μεταβολές των κατηγοριών.

Ποσοτικές Μεταβολές	
Όλες οι Κατηγορίες (5)	Χωρίς τις κατηγορίες 24 και 26.



Εικόνα 33. Ποσοτικές μεταβολές των 5 κατηγοριών.

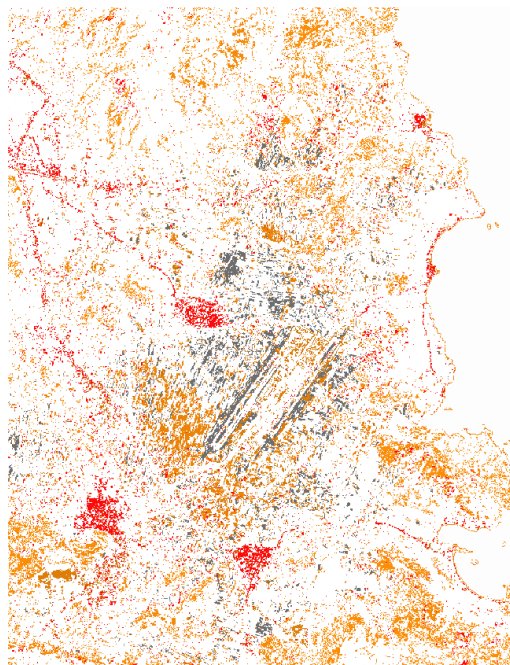


Εικόνα 34. Ποσοτικές μεταβολές των 5 κατηγοριών χωρίς τις κατηγορίες του γυμνού εδάφους 24 και 26.

- Μεταβολές 0-5000 pixel
- Μεταβολές 10000-... pixel
- Μεταβολές 5000-10000 pixel
- Αμετάβλητα



Εικόνα 35. Ποσοτικές μεταβολές των 4 κατηγοριών (χωρίς την κατηγορία με τα αμετάβλητα στοιχεία).

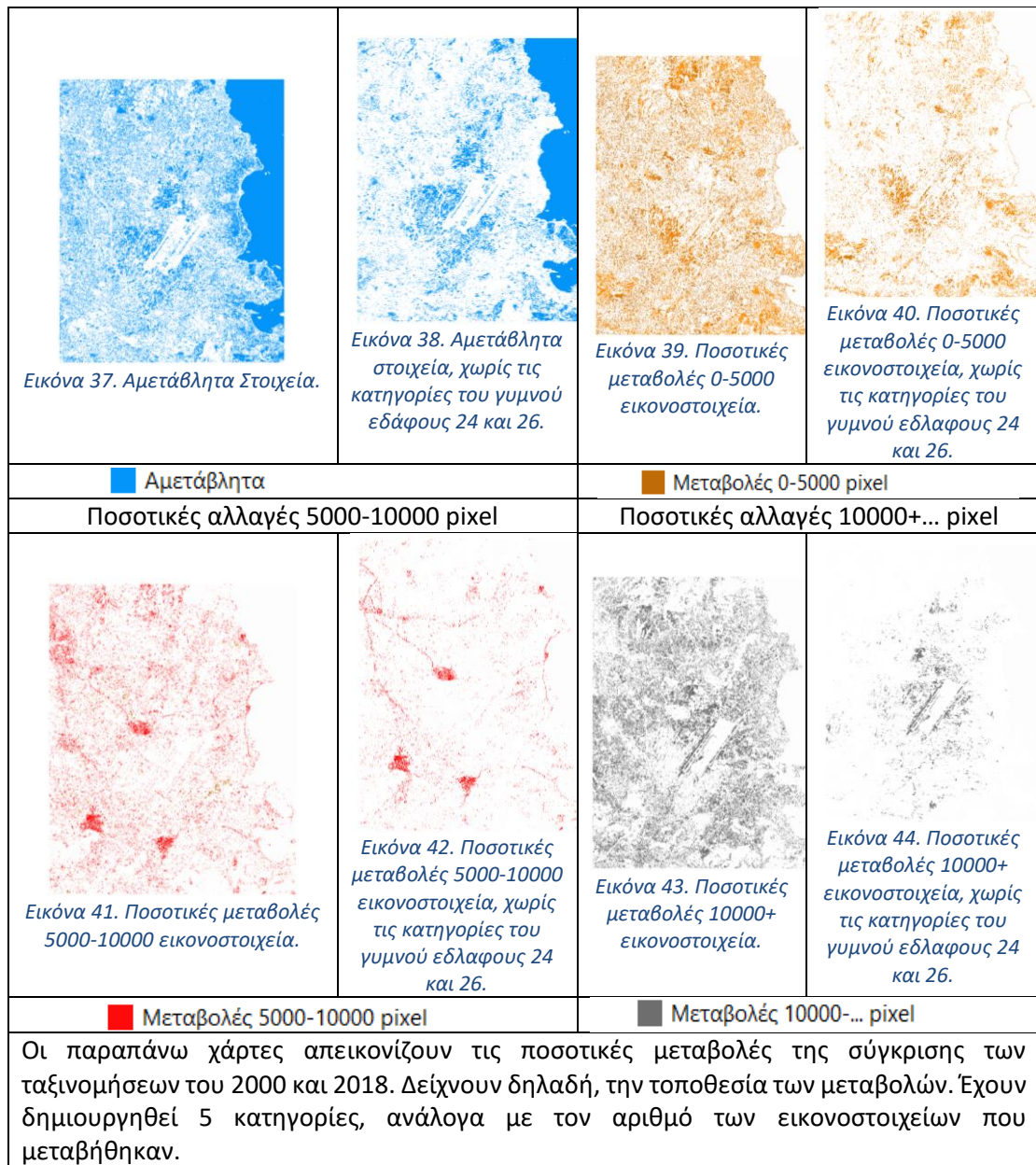


Εικόνα 36.. Ποσοτικές μεταβολές των 4 κατηγοριών χωρίς τις κατηγορίες του γυμνού εδάφους 24 και 26 και των αμετάβλητων στοιχείων

- Μεταβολές 0-5000 pixel
- Μεταβολές 10000-... pixel
- Μεταβολές 5000-10000 pixel

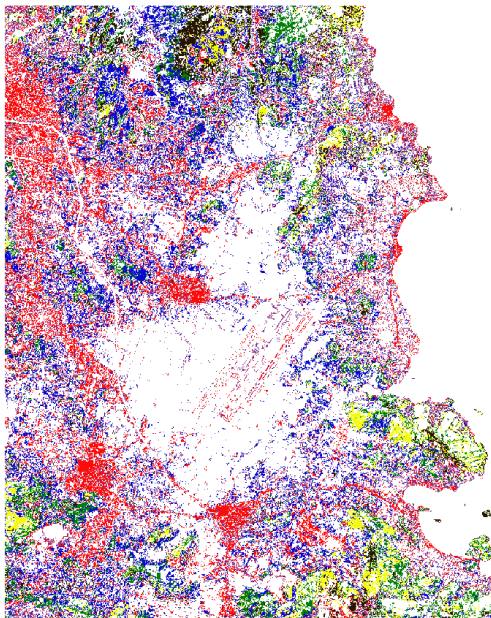
Όχι αλλαγές

Ποσοτικές αλλαγές 0-5000 pixel



Πίνακας 28. Ποιοτικές μεταβολές των κατηγοριών.







Ποιοτικές Μεταβολές	
Όλες οι κατηγορίες (7)	Χωρίς τις κατηγορίες 24 και 26



Εικόνα 45. Ποιοτικές μεταβολές των 7 κατηγοριών.



Εικόνα 46. Ποιοτικές μεταβολές των 4 κατηγοριών.

	Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση		Αραιώση της Βλάστησης
	Αραιώση της Δόμησης		Πύκνωση της Βλάστησης
	Πύκνωση της Δόμησης		Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος

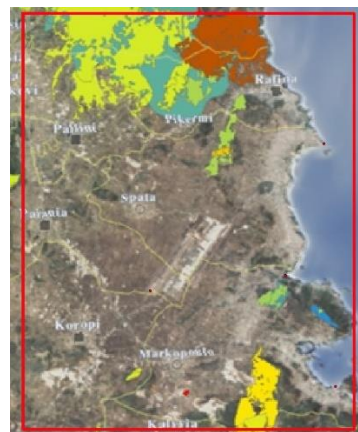
Οι κατηγορίες που δημιουργήθηκαν για την απεικόνιση των ποιοτικών μεταβολών είναι:

- Μεταβολή από Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση
- Μεταβολή από Βλάστηση σε Γυμνό έδαφος
- Μεταβολή από Πυκνή σε Αραιή Δόμηση
- Μεταβολή από Αραιή σε Πυκνή Δόμηση
- Μεταβολή από Πυκνή σε Αραιή Βλάστηση
- Μεταβολή από Αραιή σε Πυκνή Βλάστηση

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αρχικές κατηγορίες της βλάστησης και της δόμησης αποτελούνταν από πέντε και τρεις υποδιαίρεσεις αντίστοιχα, οπότε οι παραπάνω κατηγορίες δείχνουν την πύκνωση ή την αραιώση της βλάστησης ή της δόμησης (δηλαδή την εναλλαγή μεταξύ των πέντε υποδιαίρεσεων), και δεν σημαίνει ότι υπάρχει πυκνή ή αραιή βλάστηση ή δόμηση.



Μεταβολές

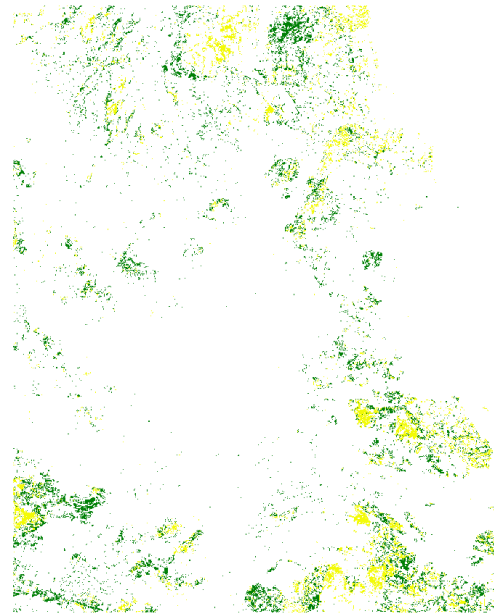
Βλάστησης



ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ



-  Αραίωση της Βλάστησης
-  Πύκνωση της Βλάστησης



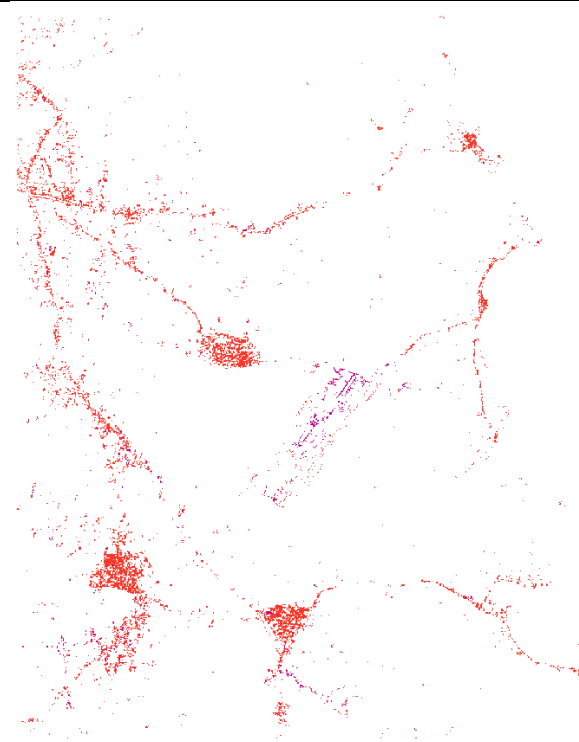
Εικόνα 47. Μεταβολές της Βλάστησης.

Ο παραπάνω χάρτης απεικονίζει τις μεταβολές της βλάστησης (πύκνωση και αραίωση). Σημαντικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψιν πριν την ερμηνεία του συγκεκριμένου χάρτη είναι αρχικά οι πυρκαγιές που έχει υποστεί η συγκεκριμένη περιοχή κατά την διάρκεια των 18 ετών, καθώς επίσης και ο προσανατολισμός που έχει προκαλέσει σκιά σε συγκεκριμένα τμήματα και έχει αλλοιώσει το αποτέλεσμα ως προς την πυκνότητα της βλάστησης. Παράδειγμα αλλοίωσης αποτελέσματος λόγω σκιάς παρατηρείται στο πάνω τμήμα της εικόνας, όπου υπάρχει λόφος, και στο δεξί τμήμα του λόφου φαίνεται να υπάρχει αραίωση ενώ στο αριστερό τμήμα να υπάρχει πύκνωση. Το αποτέλεσμα αυτό έχει προκύψει καθώς όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η πύκνωση ή η αραίωση της βλάστησης προκύπτει από τις αλλαγές στις υποκατηγορίες της βλάστησης, οπότε ενώ λογικά ο λόφος στο δεξί και αριστερό τμήμα είχε την ίδια πυκνότητα βλάστησης, στην ταξινόμηση διαχωρίστηκαν σε διαφορετικές ομάδες, λόγω της σκιάς και γι' αυτό τον λόγο υπάρχει το συγκεκριμένο αποτέλεσμα (δεξί τμήμα του λόφου – αραίωση και αριστερό τμήμα του λόφου – πύκνωση).

Ακόμη, η αραίωση της βλάστησης που προκύπτει στον παραπάνω χάρτη (στα τμήματα κάτω και δεξιά του πολυγώνου), οφείλεται κυρίως και σε πυρκαγιές (τα έτη 2005 και 2013) που έχει υποστεί η περιοχή στο χρονικό διάστημα των δυο χρονολογιών. Συγκρίνοντας τον χάρτη των μεταβολών και των πυρκαγιών, παρατηρούνται ότι οι περιοχές συμπίπτουν.

Δόμησης

- Αραίωση της Δόμησης
- Πύκνωση της Δόμησης

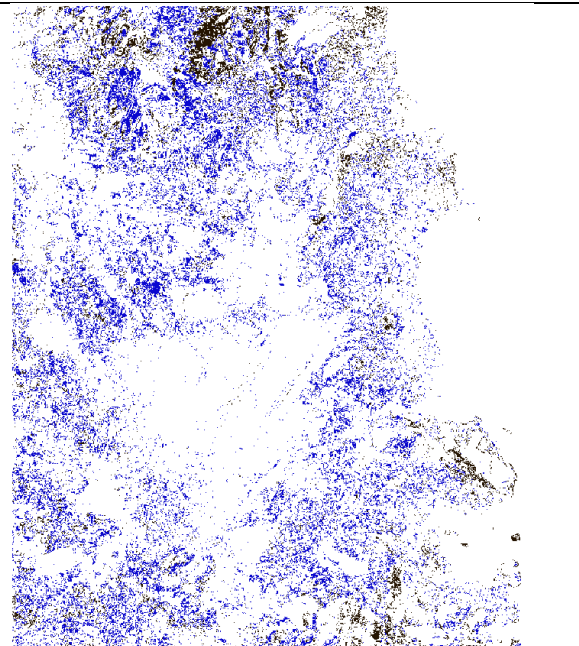


Εικόνα 48. Μεταβολές της Δόμησης.

Ο παραπάνω χάρτης αποτελείται από τις αλλαγές της δόμησης, μεταξύ των χρονολογιών 2000 και 2018. Αρχικά παρατηρείται πύκνωση στις περισσότερες αστικές περιοχές (Κορωπί, Σπάτα, Μαρκόπουλο, Παιανία και Πόρτο Ράφτη) καθώς επίσης και γραμμικά των οδικών αρτηριών. Στοιχεία αραίωσης της δόμησης παρατηρήθηκε μόνο στην έκταση του αεροδρομίου, το οποίο πιθανόν να οφείλεται σε σφάλμα λόγω των έργων κατά την περίοδο των εργασιών.

Μεταβολές από τις κατηγορίες 24 και 26

- Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος
- Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση



Εικόνα 49. Μεταβολές του γυμνού εδάφους και της βλάστησης.

Ο παραπάνω χάρτης, απεικονίζει τις αλλαγές μεταξύ των κατηγοριών της Βλάστησης και του Γυμνού Εδάφους. Όπως προαναφέρθηκε, οι συγκεκριμένες κατηγορίες συμπεριλαμβάνουν χρήσεις αραιοκατοικημένης δόμησης, αραιής βλάστησης και γυμνού εδάφους. Από οπτική παρατήρηση των αποτελεσμάτων του χάρτη και του Google earth,

παρατηρήθηκε ότι οι συγκεκριμένες αλλαγές αφορούν το γυμνό έδαφος και την αραιή βλάστηση. Το μαύρο χρώμα του χάρτη απεικονίζει την αποσάθρωση, δηλαδή δείχνει ότι την χρονολογία του 2000 οι συγκεκριμένες περιοχές απαρτίζονταν από αραιή βλάστηση, και την χρονολογία του 2018 από γυμνό έδαφος. Ενώ το μπλε χρώμα, δείχνει το αντίθετο, δηλαδή οι περιοχές την χρονολογία του 2000 είχαν γυμνό έδαφος, ενώ το 2018 μετατράπηκαν σε αραιή βλάστηση.

Η χωροθέτηση της συγκεκριμένης αλλαγής δεν ακολουθεί κάποιο μοτίβο και παρουσιάζεται σε διάσπαρτα σημεία στην εικόνα. Οι αλλαγές με μαύρο χρώμα, δηλαδή η μεταβολή από βλάστηση σε γυμνό έδαφος, ταυτίζεται με τα σημεία των πυρκαγιών, που έχει υποστεί η περιοχή. Ακόμη οι σκιάσεις έχουν σημαντικό ρόλο για το αποτέλεσμα του παραπάνω χάρτη.

6.2. Συνδιασμένη Ανάλυση

Στη συγκεκριμένη τεχνική, πραγματοποιείται μια ταξινόμηση η οποία ομαδοποιεί τα εικονοστοιχεία που έχουν υποστεί αλλαγή, κατά το χρονικό διάστημα 2000-2018. Η εικόνα που θα ταξινομηθεί, δημιουργείται με την ένωση δεκατριών καναλιών. Το πρώτο κανάλι αφορά την εικόνα διαφοράς (Κεφάλαιο 5.1), τα επόμενα έξι, τα κανάλια της εικόνας 2000 (blue, green, red, Nir, swir1, swir2) και τα υπόλοιπα έξι τα κανάλια της εικόνας 2018 (blue, green, red, Nir, swir1, swir2). Η ένωση των καναλιών πραγματοποιείται στο περιβάλλον QGIS, με την εφαρμογή Raster-Miscellaneous-Built Virtual Raster.

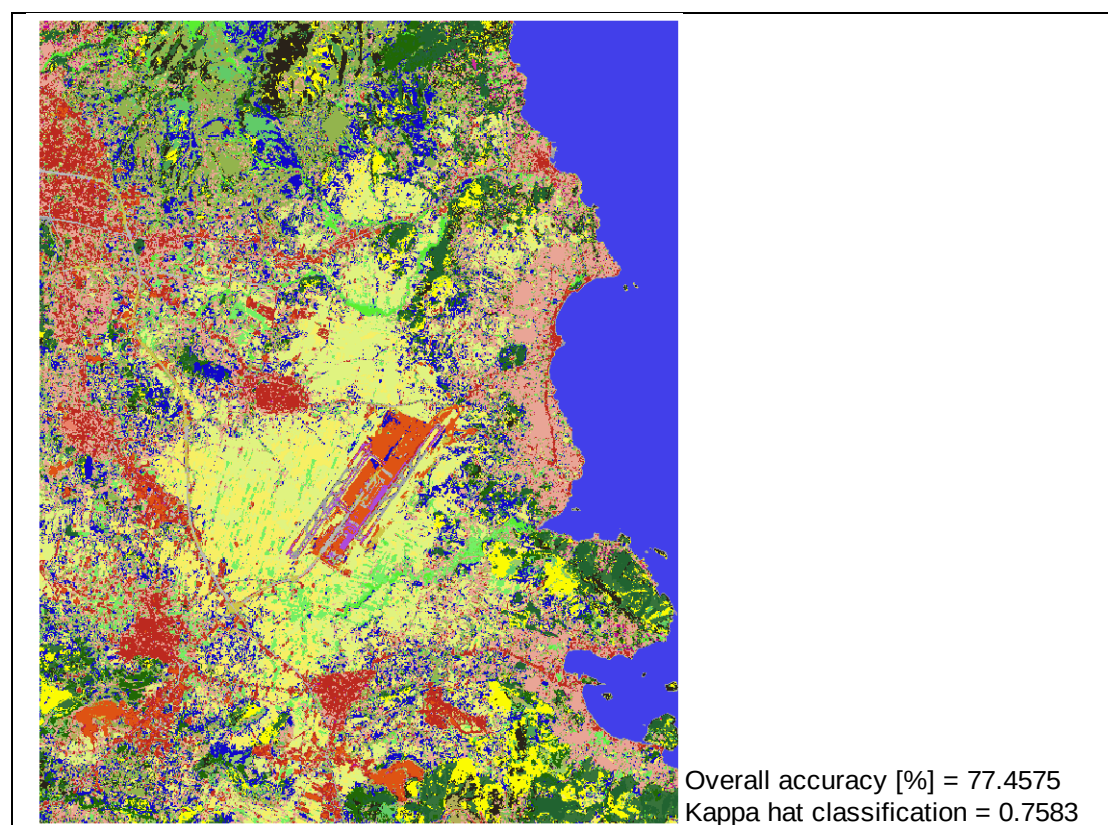
Τα πολύγωνα εκπαίδευσης και ελέγχου της ταξινόμησης χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία, αφορά τα πολύγωνα που βρίσκονται σε περιοχές, όπου δεν υπάρχουν μεταβολές, οπότε απεικονίζουν τις χρήσεις γης που έχουν διατηρηθεί στο διάστημα των 18 χρόνων. Η δεύτερη κατηγορία, αφορά τα πολύγωνα που βρίσκονται σε περιοχές, όπου υπάρχει αλλαγή. Πιο συγκεκριμένα, με την βοήθεια της ταξινομημένης εικόνας Land Cover Changes, που απεικονίζει τον τόπο και το είδος της αλλαγής, δημιουργούνται οι εξής κατηγορίες.

Πίνακας 29. Κατηγορίες πολυγώνων εκπαίδευσης και ελέγχου για τη συνδιασμένη ανάλυση.

Κατηγορίες	Εκπαίδευσης		Ελέγχου		
	Πολύγωνα	Έκταση	Πολύγωνα	Έκταση	
Νερό	29	1161258.60	27	839428.72	
Αστική Περιοχή	Πυκνή	23	470513.60	18	431628.07
	Μεσαία	11	1717919.54	9	1645104.06
	Μεσαία-Αραιή-Γυμνό Έδαφος	11	1171080.23	8	1113563.41
Γκαζόν	29	308375.96	22	241587.61	
Λαχανόκηπος	69	374468.83	51	414234.09	
Ελαιώνες	43	808712.79	35	666006.07	
Αμπελώνες	44	918243.01	43	891661.80	
Κωνοφόρα Βλάστηση	Πυκνή	27	576984.13	22	794739.12
	Πυκνή-Μεσαία	9	522478.50	12	500450.14
	Μεσαία	4	220539.59	4	198690.28
	Μεσαία-Αραιή- Γυμνό Έδαφος	10	639788.75	7	442127.19
	Αραιή-Φρύγανα- Γυμνό Έδαφος	4	163282.64	5	126069.38
Βραχώδης Έκταση	17	133700.92	18	130412.31	
Οδικό Δίκτυο	Υφιστάμενο	19	163555.50	19	173699.82
	Υπο Κατασκευή	6	87206.74	10	102950.18
Αεροδιάδρομος	No1	21	132780.24	20	117828.40
	No2	11	102745.20	11	92596.97
Καμμένη Έκταση	2	10886.66	2	13826.32	
Βλάστηση	Από Αραιή σε Πυκνή	28	382463.29	37	739306.50
	Από Πυκνή σε Αραιή	29	695188.74	35	434021.61
Δόμηση	Από Αραιή σε Πυκνή	42	916381.38	32	486627.79
	Από Πυκνή σε Αραιή	29	205342.71	23	114841.56
Άπο Βλάστηση	Σε Γυμνό Έδαφος	41	423282.14	32	279179.57
Από Γυμνο Έδαφος	Σε Βλάστηση	28	386932.45	28	406946.86

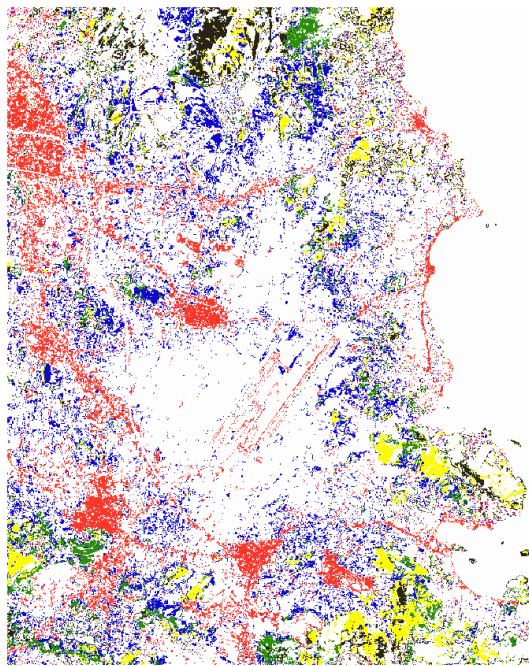
Αφού δημιουργήθηκε η εικόνα και τα πολύγωνα εκπαίδευσης και ελέγχου, η ταξινόμηση με τον αλγόριθμο Random Forest, πραγματοποιείται στο περιβάλλον QGIS.

Πίνακας 30. Αποτελέσματα ταξινόμησης συνδιασμένης ανάλυσης με στατιστικά στοιχεία.



■ Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση	■ Αεροδιάδρομος Νο2
■ Μεσαία-Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση	■ Νερό
■ Οδικό Δίκτυο	■ Πυκνή Δόμηση
■ Μεσαία Κωνοφόρα Βλάστηση	■ Γυμνό Έδαφος
■ Μεσαία-Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος	■ Μεσαία Δόμηση
■ Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος	■ Μεσαία-Αραιή Δόμηση - Γυμνό Έδαφος
■ Βραχώδης Έκταση	■ Πύκνωση της Βλάστησης
■ Αεροδιάδρομος	■ Αραιώση της Βλάστησης
■ Υγιής Βλάστηση	■ Πύκνωση της Δόμησης
■ Αμπελώνες	■ Αραιώση της Δόμησης
■ Ελαιώνες	■ Από Γυμνό Έδαφος σε Βλάστηση
■ Λαχανόκηπος	■ Από Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος

V_Clasified	Reference	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36 Total		
1		557	83	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	673		
2		43	426	0	25	15	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	548		
3		0	0	122	0	0	0	0	0	10	0	0	0	17	0	2	0	0	0	1	1	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174		
4		0	5	0	24	12	7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	13	0	3	13	3	0	1	10	11	0	0	0	0	0	0	123			
5		0	9	0	11	307	2	0	0	2	2	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	22	4	0	42	9	0	0	0	0	0	0	0	480		
6		0	0	0	0	95	11	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	12	12	1	1	0	18	0	0	0	0	0	0	168			
7		0	0	0	0	3	41	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8	4	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	144			
8		0	0	0	6	0	0	0	0	134	0	0	0	0	0	36	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180			
9		4	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	42	728	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	347			
10		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180		
11		0	0	0	0	3	0	0	11	0	1	930	126	1	14	1	0	0	0	0	0	0	8	0	29	0	0	0	12	1	14	0	0	0	0	0	1160		
12		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111		
13		0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	440		
14		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70		
15		0	0	0	3	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20		1	8	1	25	142	49	30	1	11	9	14	13	25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23		17	23	0	5	49	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26		0	4	2	59	32	19	0	3	35	21	1	41	0	0	0	2	178	142	145	0	1	231	142	51	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28		0	0	12	0	0	0	0	2	2	0	5	1	0	1	12	0	0	0	0	67	23	60	90	0	0	754	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29		0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30		1	2	0	27	42	9	8	0	5	2	9	0	1	0	0	0	0	0	0	29	71	0	22	15	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31		11	12	0	11	28	2	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32		661	589	188	244	717	184	158	150	358	1040	919	106	486	113	12	1275	556	1299	214	1800	472	823	1095	266	552	469	14879											



Εικόνα 50. Διαχωρισμός μεταβολών από την ταξινόμηση με τη συνδιασμένη ανάλυση.

■ Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση	■ Αραιώση της Βλάστησης
■ Αραιώση της Δόμησης	■ Πύκνωση της Βλάστησης
■ Πύκνωση της Δόμησης	■ Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος

Η παραπάνω ταξινομημένη εικόνα με τον αλγόριθμο Random Forest, ταξινομήθηκε σε μεγάλο βαθμό επιτυχώς. Κατηγορίες όπως ο αστικός ιστός, η περιοχή του αεροδρομίου, το νερό και η βλάστηση, έχουν διαχωριστεί και διακρίνονται επαρκώς. Στην ταξινομημένη εικόνα έχουν διαχωριστεί οι κατηγορίες όπου υπάρχει αλλαγή διαχρονικά, αλλά και οι κατηγορίες που δεν έχουν μεταβληθεί. Ως προς την βλάστηση και την αστική περιοχή, η ανάπτυξη (πύκνωση), διαχωρίζεται εμφανώς στην εικόνα με έντονο κόκκινο και σκούρο πράσινο χρώμα.

Στον πίνακα σύγχυσης παρουσιάζονται ποσοτικά τα συμπεράσματα της ποιοτικής αξιολόγησης. Συγκεκριμένα η ταξινόμηση ολοκληρώθηκε με υψηλό ποσοστό συνολικής ακρίβειας 77.46% και δείκτη kappa-hat 0.76.

Πίνακας 31. Στατιστικά στοιχεία ταξινόμημένης συνδιασμένης ανάλυσης για την κάθε κατηγορία

Κατηγορίες	PA [%]	UA [%]	Kappa hat	
Νερό	99.8933	100	1	
Αστική Περιοχή	Πυκνή	78.6286	86.6795	0.8629
	Μεσαία	71.9184	79.8415	0.7388
	Μεσαία-Αραιή-Γυμνό Έδαφος	71.7362	50.0867	0.4436
Γκαζόν	63.5496	82.1326	0.819	
Λαχανόκηπος	71.5377	78.4091	0.7775	
Ελαιώνες	82.276	83.683	0.8198	
Αμπελώνες	90.9569	80.9483	0.7893	
Κωνοφόρα Βλάστηση	Πυκνή	81.1766	82.7637	0.8233
	Πυκνή-Μεσαία	74.2664	65.7407	0.6475
	Μεσαία	16.8709	63.301	0.622
	Μεσαία-Αραιή-Γυμνό Έδαφος	37.5677	63.9583	0.6219
	Αραιή-Φρύγανα-Γυμνό Έδαφος	16.0128	62.0238	0.6106
Βραχώδης Έκταση	39.3838	55.5556	0.5511	
Οδικό Δίκτυο	Υφιστάμενο	72.3118	70.1149	0.6979
	Υπο Κατασκευή	59.9246	65.7658	0.656
Αεροδιάδρομος	No1	73.3866	74.4444	0.7432
	No2	48.5957	75.7143	0.7561
Καμμένη Έκταση	25.4674	100	1	
Βλάστηση	Από Αραιή σε Πυκνή	56.1578	66.1972	0.6532
	Από Πυκνή σε Αραιή	75.0741	80.9308	0.8037
Δόμηση	Από Αραιή σε Πυκνή	60.3257	72.5698	0.7093
	Από Πυκνή σε Αραιή	56.8107	63.9344	0.6324
Άπο Βλάστηση	Σε Γυμνό Έδαφος	57.7637	59.2	0.5695
Από Γυμνό Έδαφος	Σε Βλάστηση	74.3894	78.6307	0.781

Οι ακρίβειες της κάθε κατηγορίας είναι ικανοποιητικές. Υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας έχουν οι κατηγορίες νερό και καμμένη έκταση με 100%, ενώ ακολουθούν με υψηλά ποσοστά και οι υπόλοιπες κατηγορίες. Οι μικρότερες ακρίβειες παρατηρούνται στις κατηγορίες του γυμνού εδάφους, της βραχώδης έκτασης και στην κατηγορία που δείχνει την μεταβολή από βλάστηση σε γυμνό έδαφος, αποτέλεσμα που δικαιολογείται καθώς η χωρική ανάλυση των εικόνων είναι 30m και οι κατηγορίες αυτές δεν είναι αρκετά ευδιάκριτες σε αυτή την χωρική ανάλυση.

7. Σχολιασμός Τεχνικών Ανίχνευσης Αλλαγής



Παρακάτω παρουσιάζεται ο σχολιασμός των τεχνικών ανίχνευσης αλλαγής, ώστε να διακριθεί, ποια τεχνική λειτούργησε καλύτερα στην περιοχή μελέτης της Ανατολικής Αττικής.

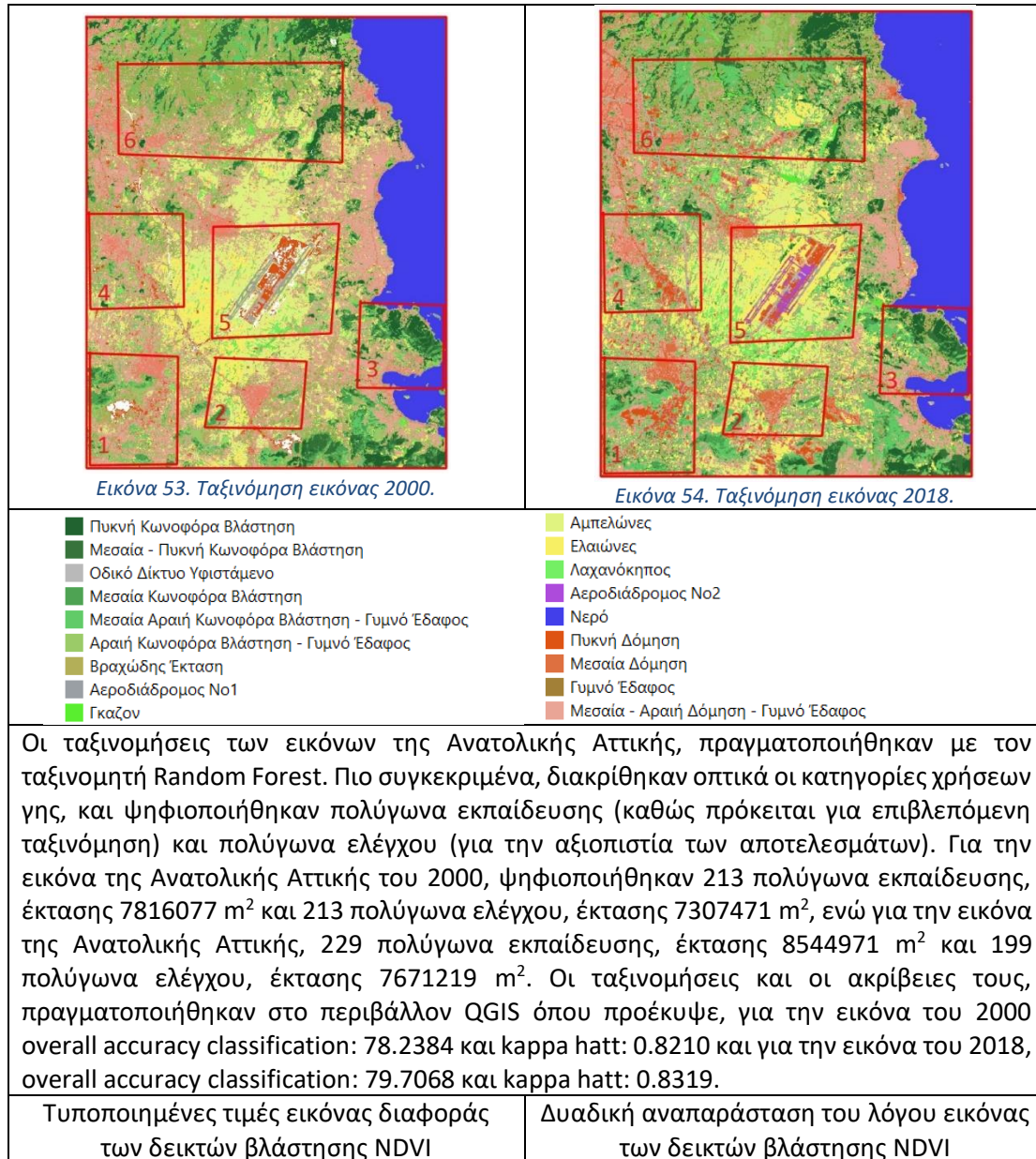
Στην συγκεκριμένη μελέτη πραγματοποιήθηκαν επτά τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.

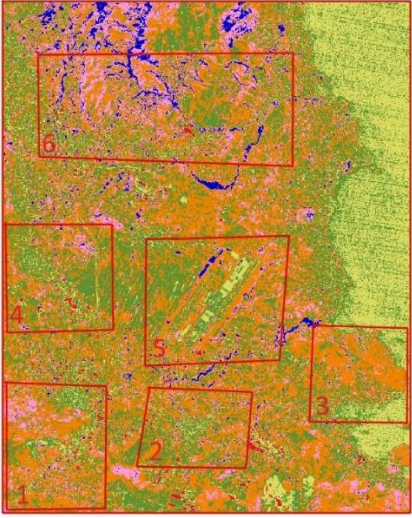
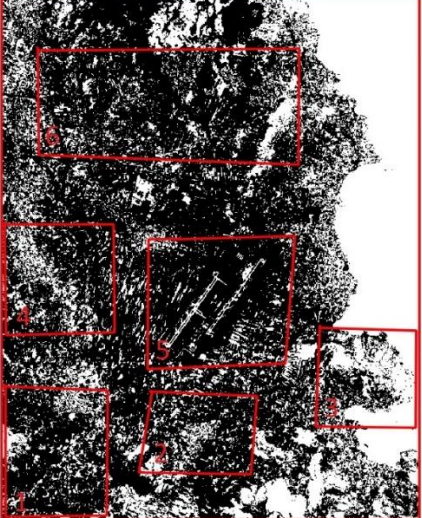
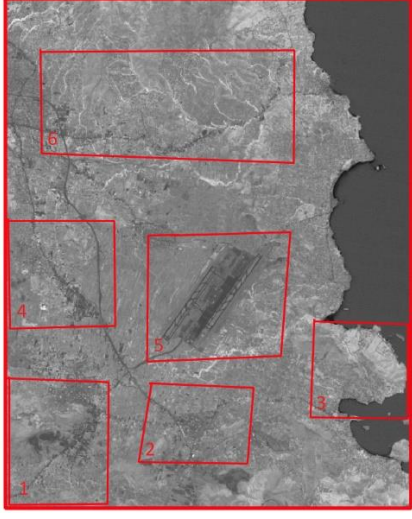
- Διαφορά εικόνας (image differencing),
- Διαιρέση εικόνας (image rationing),

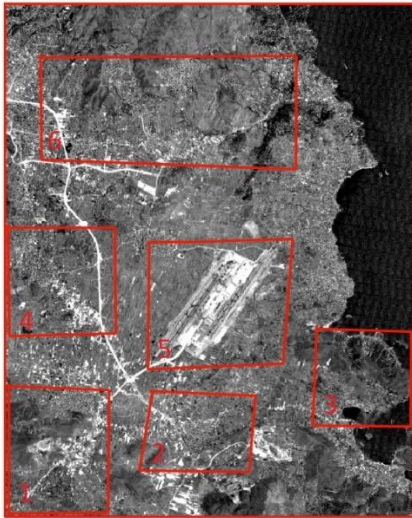
- Παλινδρόμηση εικόνας (image regression),
- Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (change vector analysis (CVA))
- Σύγκριση μετά από ταξινόμηση
- Συνδυασμένη ανάλυση

Οι τέσσερις πρώτες (Image Differencing, Image Ratioing, Image Regression και Cva) αποτελούν αλγεβρικές τεχνικές ανίχνευσης αλλαγής, και το αποτέλεσμα τους παρουσιάζει το μέγεθος της αλλαγής αλλά όχι το είδος της αλλαγής. Οι δύο επόμενες μέθοδοι (Σύγκριση μετά από ταξινόμηση και Συνδυασμένη Ανάλυση) που βασίζονται στην ταξινόμηση, περιέχουν και το είδος της αλλαγής. Γι' αυτό τον λόγο, οι πρώτες μέθοδοι θα συγκριθούν ποσοτικά, ενώ οι άλλες δύο ποιοτικά με το είδος της αλλαγής. Για μεγαλύτερη λεπτομέρεια στον σχολιασμό, η περιοχή διαιρείται σε έξι πολύγωνα, όπου η χωροθετησή τους παρουσιάζεται παρακάτω.

Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2000	Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2018
 <p data-bbox="282 1361 754 1395">Εικόνα 51. Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2000.</p>	 <p data-bbox="836 1361 1308 1395">Εικόνα 52. Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2018.</p>
<p>Οι εικόνες της Ανατολικής Αττικής για τις χρονολογίες 2000 και 2018, προέρχονται από τους δορυφόρους Landsat 5 και Landsat 8 OLI αντίστοιχα. Έχουν διακριτική ικανότητα 30m X 30m, και απαρτίζονται από τα κανάλια μπλε, πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο, υπέρυθρο 1 και υπέρυθρο 2. Οι εικόνες πριν την εφαρμογή των τεχνικών ανίχνευσης, έχουν διορθωθεί ατμοσφαιρικά και ραδιομετρικά, βρίσκονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς EPSG: 32634 – WGS84/ UTM zone 34 και έχουν την ίδια διάσταση.</p>	
Ταξινόμηση εικόνας 2000	Ταξινόμηση εικόνας 2018



 <p><i>Εικόνα 55. Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI.</i></p>	 <p><i>Εικόνα 56. Δυαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI.</i></p>
<p>Η εικόνα των τυποποιημένων διαφορών z-values, έχει προκύψει από την διαφορά των δεικτών βλάστησης NDVI των δυο ημερομηνιών.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <-2 sd ■ -2 sd to -1 sd ■ -1 sd to mean ■ mean to +1 sd ■ +1 sd to +2 sd ■ > +2 sd <p>Με κόκκινο και μπλέ χρώμα παρουσιάζονται οι αλλαγές μεταξύ διαφορετικών χρήσεων γης, ενώ οι υπόλοιποι χρωματισμοί παρουσιάζουν αλλαγές, μεταξύ των όμοιων χρήσεων γης.</p>	<p>Ο λόγος εικόνας προέκυψε από την διαίρεση των δεικτών βλάστησης, για τις δυο χρονολογίες. Έπειτα κατωφλιώθηκε με την τεχνική του Ostu. Με άσπρο χρώμα παρουσιάζονται οι αμετάβλητες περιοχές, ενώ με μαύρο χρώμα οι περιοχές που υπάρχει μεταβολή.</p>
<p>Παλινδρόμηση εικόνας</p>	
 <p><i>Εικόνα 57. Παλινδρόμηση εικόνας.</i></p>	<p>Η παλινδρόμηση εικόνας προέκυψε από την γραμμική σχέση μεταξύ των δυο εικόνων με τη χρήση μιας συνάρτησης παλινδρόμησης. Η φωτοερμηνία της εικόνας και η ανίχνευση των αλλαγών παρατηρείται με εστίαση στις σκουρόχρωμες περιοχές που απεικονίζουν την αλλαγή.</p>
<p>Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών</p>	<p>Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών</p>



Εικόνα 58. Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών.

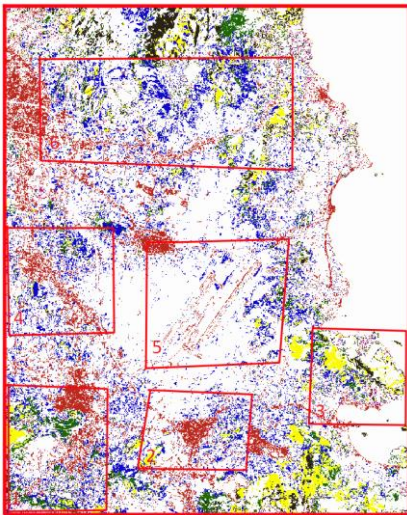


Εικόνα 59. Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών.

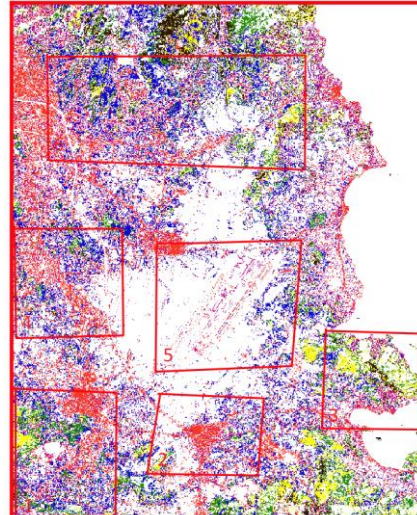
Το αποτέλεσμα της τεχνικής της ανάλυσης του διανύσματος μεταβολής (CVA) είναι δύο εικόνες. Η εικόνα Magnitude στην οποία προκύπτει το μέγεθος της αλλαγής (μεγάλη αλλαγή ή μικρή) και η εικόνα Direction η οποία δείχνει αν η αλλαγή αφορά διαφοροποίηση μεταξύ ανόμοιων κατηγοριών ή αλλαγή μεταξύ όμοιων αλλαγών. Στην εικόνα Magnitude η μεγάλη αλλαγή απεικονίζεται με ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις, ενώ στην εικόνα Direction η αλλαγή σε ανόμοιες κατηγορίες παρουσιάζεται επίσης με ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις.

Συνδυασμένη ανάλυση

Σύγκριση μετά από ταξινόμηση



Εικόνα 60. Συνδυασμένη ανάλυση.



Εικόνα 61. Σύγκριση μετά από ταξινόμηση.

- Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση
- Αραίωση της Δόμησης
- Πύκνωση της Δόμησης



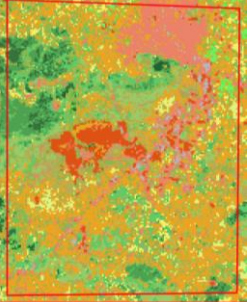
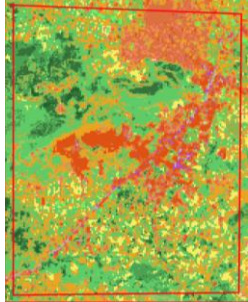
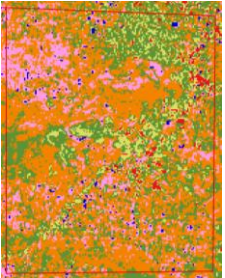
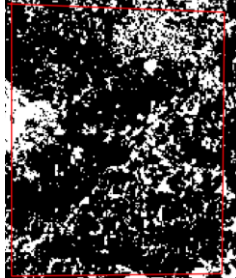


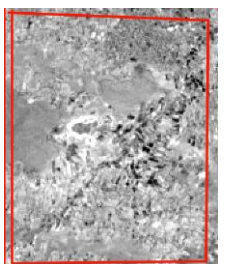
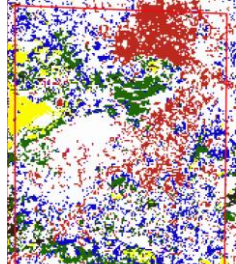
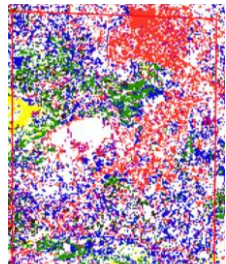
- Αραίωση της Βλάστησης
- Πύκνωση της Βλάστησης
- Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος

Η εικόνα της συνδυασμένης ανάλυσης προέκυψε από την ταξινόμηση μιας εικόνας με 13 κανάλια (6 κανάλια της εικόνας 2000, 6 κανάλια της εικόνας 2018 και η εικόνα image differencing). Δημιουργήθηκαν πολύγωνα στις θέσεις που ανιχνεύτηκε αλλαγή χρήσεων γης, και ταξινομήθηκε με τον αλγόριθμο Random Forest.

Η παραπάνω εικόνα προέκυψε από την σύγκριση των ταξινομήσεων των εικόνων 2000 και 2018.

Στη συνέχεια γίνονται σχολιασμοί ανά πολύγωνο.

Πίνακας 32. Πολύγωνο 1, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.

Πολύγωνο 1				
Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2000	Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2018	Ταξινόμηση εικόνας 2000	Ταξινόμηση εικόνας 2018	
				<ul style="list-style-type: none"> ■ Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία - Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Οδικό Δίκτυο Υφιστάμενο ■ Μεσαία Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Βραχώδης Έκταση ■ Αεροδιάδρομος Νο1 ■ Γκαζον ■ Αμπελώνες ■ Ελαιώνες ■ Λαχανόκηπος ■ Αεροδιάδρομος Νο2 ■ Νερό ■ Πυκνή Δόμηση ■ Μεσαία Δόμηση ■ Γυμνό Έδαφος ■ Μεσαία - Αραιή Δόμηση - Γυμνό Έδαφος
Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI	<ul style="list-style-type: none"> ■ <-2 sd ■ -2 sd to -1 sd ■ -1 sd to mean ■ mean to +1 sd ■ +1 sd to +2 sd ■ > +2 sd 	Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI	Παλινδρόμηση εικόνας	
				
Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Συνδυασμένη ανάλυση	Σύγκριση μετά από ταξινόμηση	
				<ul style="list-style-type: none"> ■ Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση ■ Αραίωση της Δόμησης ■ Πύκνωση της Δόμησης ■ Αραίωση της Βλάστησης ■ Πύκνωση της Βλάστησης ■ Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος

Το πρώτο πολύγωνο περιλαμβάνει την περιοχή του Κορωπίου (πάνω και δεξί τμήμα της εικόνας), την βιομηχανική περιοχή Βάρης-Κορωπίου (κέντρο και δεξί τμήμα της εικόνας), τον λόφο Παλάτι που αποτελεί πρόποδες του Υμηττού, ένα λατομείο (κεντρικό τμήμα της εικόνας) και κάποιες καλλιεργήσιμες εκτάσεις (στο κάτω μέρος της εικόνας).

Ταξινόμηση εικόνας Ιουνίου 2000

Η αστική περιοχή (Κορωπί) έχει ταξινομηθεί με μεσαία πυκνότητα δόμησης και περιμετρικά του κέντρου με μεσαία-αραιή – γυμνό έδαφος. Στην βιομηχανική περιοχή η πυκνότητα είναι πυκνή και μεσαία ενώ στο κάτω τμήμα της εικόνας η πυκνότητα της αστικής περιοχής αλλάζει και γίνεται μεσαία-αραιή- γυμνό έδαφος. Οι συγκεκριμένοι προσδιορισμοί από την ταξινόμηση, αντιστοιχούν και στην πραγματικότητα, συμπέρασμα που προκύπτει από οπτική παρατήρηση του έγχρωμου σύνθετου και του google earth. Η περιοχή του λατομείου έχει χαρακτηριστεί με πυκνή πυκνότητα δόμησης. Αυτό προκύπτει, επειδή η επεξεργασμένη επιφάνεια του βουνού αποτελεί και δομικό υλικό οπότε συγγέεται ο ταξινομητής με τις δομημένες επιφάνειες. Το τμήμα του λόφου έχει ταξινομηθεί ορθά, με μεσαία και αραιή πυκνότητα κωνοφόρας βλάστησης. Στο κάτω τμήμα της εικόνας, εκεί που βρίσκονται οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, έχουν ταξινομηθεί με τις κατηγορίες, ελαιώνας, αμπελώνας και γυμνό έδαφος.

Ταξινόμηση εικόνας Ιουνίου 2018

Η αστική περιοχή (Κορωπί) έχει προσδιοριστεί με πυκνή και μεσαία πυκνότητα δόμησης σχεδόν σε όλο το μέρος της, ενώ περιμετρικά του κέντρου παρατηρείται και μεσαία-αραιή πυκνότητα δόμησης – γυμνό έδαφος. Η βιομηχανική περιοχή με πυκνή πυκνότητα δόμησης, ενώ στο κάτω τμήμα της εικόνας παρατηρείται γυμνό έδαφος και καλλιεργήσιμες εκτάσεις με ελαιώνες, αμπελώνες και λαχανόκηπους. Οι παραπάνω προσδιορισμοί συνάγουν με την πραγματικότητα. Η περιοχή του λατομείου έχει χαρακτηριστεί ως αστική περιοχή πυκνής δόμησης, για τους λόγους που αναφέρθηκαν και παραπάνω στην ταξινόμηση του 2000. Στα υψηλότερα σημεία του λόφου, επικρατεί η πυκνή βλάστηση, ενώ όσο μικραίνει το υψόμετρο η πυκνότητα βλάστησης διαφοροποιείται και γίνεται μεσαία – αραιή και γυμνό έδαφος.

Σύγκριση Ταξινομήσεων

Η πρώτη αλλαγή χρήσεων γης που παρατηρείται, αφορά την αστική περιοχή του Κορωπίου. Πρόκειται για αλλαγή πυκνότητας της αστικής έκτασης και μια μικρή επέκταση περιμετρικά των ορίων. Η συγκεκριμένη διαφοροποίηση είναι βásiμη, καθώς ο πληθυσμός της περιοχής τα τελευταία 20 χρόνια έχει ανοδική αύξηση (Απογραφή 1991: 16239, Απογραφή 2001: 24453, Απογραφή 2011: 30307). Επίσης, σε καμία από τις δύο ταξινομήσεις, δεν διακρίνεται το οδικό δίκτυο και συγκεκριμένα η Λεωφόρος Βάρης-Κορωπίου. Αυτό συμβαίνει, επειδή η διακριτική ικανότητα της δορυφορικής εικόνας είναι 30mX30m και δεν είναι δυνατή η ανίχνευση της λεωφόρου. Στο γραμμικό μοτίβο των οδικών αρτηριών, παρατηρείται η αστική πυκνότητα των κατοικιών, η οποία έχει αυξηθεί από την χρονολογία 2000 έως 2018. Η πυκνότητα της κωνοφόρας βλάστησης στο τμήμα του λόφου, δεν έχει διαφοροποιηθεί ιδιαίτερα και το σημαντικότερο στοιχείο που προκύπτει είναι ότι δεν έχει αλλάξει ως έκταση (μείωση ή αύξηση). Τέλος στο κάτω τμήμα της εικόνας οι καλλιέργειες έχουν διατηρηθεί και αυξηθεί σε έκταση μεταξύ των δυο χρονολογιών, αφού από γυμνό έδαφος σε αρκετά

τμήματα της ταξινομημένης εικόνας του 2000 έχει διαφοροποιηθεί σε ελαιώνες, αμπελώνες και λαχανόκηπους.

Σύγκριση μετά από ταξινόμηση

Στην εικόνα Land Cover Changes παρουσιάζονται οι παραπάνω αλλαγές που παρατηρήθηκαν από την σύγκριση των ταξινομήσεων. Πιο συγκεκριμένα, η αστική περιοχή (κόκκινο- πάνω δεξιά) έχει την μεγαλύτερη μεταβολή, η οποία υποδηλώνει αλλαγή ως προς την πυκνότητα (ανάπτυξη αστικής περιοχής). Η κωνοφόρα βλάστηση, παρουσιάζει μεταβολές ως προς την πυκνότητα, σε κάποιες περιοχές παρατηρείται πύκνωση (σκούρο πράσινο), ενώ σε κάποιες περιοχές παρατηρείται αραιώση (κίτρινο), με την πύκνωση της κωνοφόρας βλάστησης να υπερτερεί. Παρατηρώντας τον χάρτη των πυρκαγιών στο τμήμα όπου υπάρχει αραιώση, δεν έχει υπέλθει κάποια φωτιά. Το αποτέλεσμα της αραιώσης ίσως να οφείλεται σε διαφορά των καιρικών συνθηκών, στις δυο χρονολογές. Το λευκό χρώμα που υπάρχει διάσπαρτα στην εικόνα χαρακτηρίζει μεταβολές, οι οποίες δεν είναι τόσο σημαντικές και μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Τέλος, παρατηρούνται μεταβολές από βλάστηση σε δόμηση και το αντίστροφο (κόκκινο και πράσινο), στις περιοχές όπου οι χρήσεις γης είναι μικτές.

Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην εικόνα διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI παρουσιάζονται οι τυποποιημένες τιμές της εικόνας διαφοράς. Με κόκκινο και μπλε χρώμα είναι οι μεγαλύτερες διαφορές, ενώ ακολουθούν οι διαφορές με πράσινο και ροζ. Με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται οι πολύ μικρές διαφορές-σχεδόν αμελητέες. Από οπτική παρατήρηση και σύγκρισή της εικόνας διαφοράς με τις δυο εικόνες 2000 και 2018, οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται στην αστική δόμηση, και σε κτίρια τα οποία χτίστηκαν στην περιοχή. Στο σύνολο η αστική περιοχή, παρουσιάζει μεταβολή αλλά όχι πολύ μεγάλη, για τον λόγο ότι η αλλαγή δεν ήταν μεταξύ ανόμοιων κατηγοριών. Αλλαγές παρουσιάζονται και στην κωνοφόρα βλάστηση στους πρόποδες του Υμηττού.

Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην εικόνα του λόγου των δεικτών βλάστησης, παρουσιάζεται η δυαδική εικόνα της διαίρεσης. Με άσπρο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που δεν υπάρχει μεταβολή, ενώ με μαύρο χρώμα, οι περιοχές που υπάρχει μεταβολή. Αρχικά προκύπτει ότι η αστική περιοχή, στο τμήμα του Κορωπίου (πάνω δεξιά), έχει μείνει αμετάβλητη, συμπέρασμα που δεν συνάδει με τις παραπάνω μελέτες καθώς παρατηρήθηκε μεταβολή ως προς την πυκνότητα. Ο λόγος του συγκεκριμένου αποτελέσματος, πιθανόν εξήχθη, αφού δεν έχει διαφοροποιηθεί ως προς είδος χρήσεις αλλά ως προς την πυκνότητα. Οι μεγαλύτερες μεταβολές έχουν προκύψει στις περιοχές με βλάστηση, όπως στον λόφο Παλάτι (αριστερό τμήμα της εικόνας), στο λατομείο και στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις (κάτω δεξιά), αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν και στις παραπάνω διαδικασίες όχι σε τόσο μεγάλο βαθμό.

Παλινδρόμηση εικόνας

Στο πολύγωνο της παλινδρομημένης εικόνας, οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις αφορούν την βιομηχανική περιοχή, το οδικό δίκτυο και το λατομείο. Ενώ ακολουθούν οι αλλαγές στην αστική περιοχή του Κορωπίου. Η βλάστηση, στο επίπεδο των λόφων που απαρτίζεται από

κωνοφόρα δέντρα, και στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις (ελαιώνες, αμπελώνες και λαχανόκηποι), δεν έχει χαρακτηριστεί με σημαντικές μεταβολές.

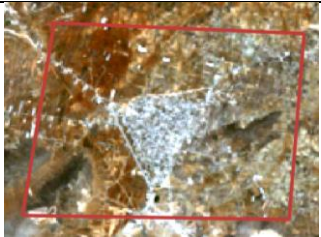
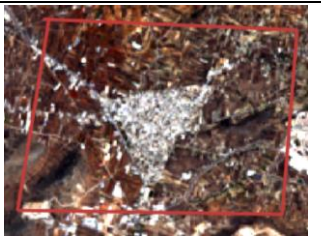
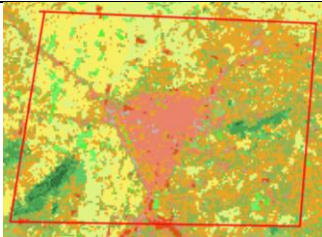

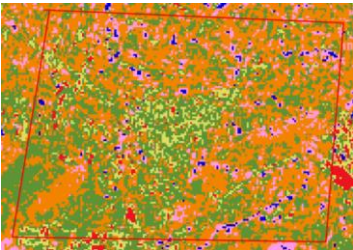
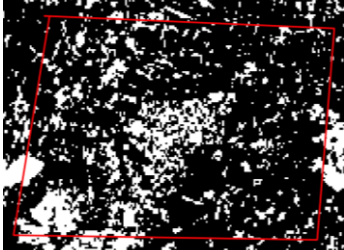


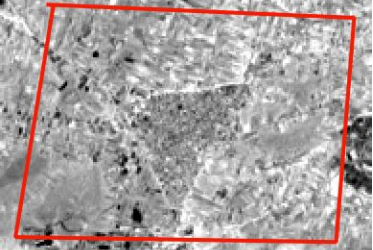
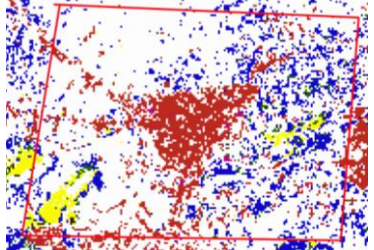
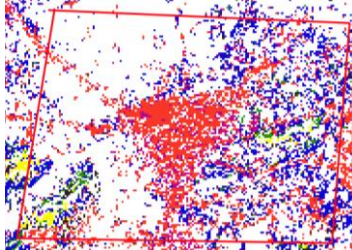
Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA)

Στην εικόνα Magnitude, οι μεγαλύτερες αλλαγές προκύπτουν κατά μήκος της λεωφόρου Βάρης-Κορωπίου, της Βιομηχανικής περιοχής και του λατομείου. Από την εικόνα Direction προκύπτει ότι από αυτές τις τρεις μεγάλες αλλαγές, εκείνη που είχε μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των κατηγοριών ήταν η περιοχή του λατομείου. Ακόμη παρατηρούνται και άλλες αλλαγές, όπως στην αστική περιοχή του Κορωπίου, και στις καλλιέργειες, οι οποίες όμως είναι μικρότερες σε μέγεθος και κατεύθυνση από τις προαναφερόμενες.

Συνδυασμένη ανάλυση

Η εικόνα της συνδυασμένης ανάλυσης, παρέχει πληροφορίες για τη θέση και το είδος των μεταβαλλόμενων και μη εικονοστοιχείων. Οι σημαντικότερες μεταβολές που διακρίνονται στην εικόνα, αφορούν την αστική περιοχή του Κορωπίου (πάνω δεξιά), την βιομηχανική περιοχή (κέντρο και δεξιά), όπου παρατηρείται πύκνωση της δομημένης επιφάνειας (ανάπτυξη). Ακόμη, στον λόφο Παλάτι (κέντρο και αριστερά) διακρίνεται αραιώση της κωνοφόρας βλάστησης, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους λόφους (πρόποδες Υμηττού) που φανερώνεται πύκνωση της βλάστησης. Οι μη μεταβαλλόμενες περιοχές, έχουν προσδιοριστεί με τις υφιστάμενες χρήσεις γης. Όπως και στις προηγούμενες ταξινομημένες εικόνες, η περιοχή του λατομείου έχει χαρακτηριστεί ως πυκνή δόμηση, αφού το επεξεργασμένο τμήμα του βουνού αποτελεί δομικό υλικό. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις (ελαιώνες και αμπελώνες) στο κάτω τμήμα της εικόνας συνυπάρχουν με το γυμνό έδαφος, αποτέλεσμα λογικό, καθώς ο τεμαχισμός των οικοπέδων είναι μικρότερος από την διακριτική ικανότητα του δορυφόρου Landsat.

Πίνακας 33. Πολύγωνο 2, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.

Πολύγωνο 2				
Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2000	Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2018	Ταξινόμηση εικόνας 2000	Ταξινόμηση εικόνας 2018	<ul style="list-style-type: none"> ■ Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία - Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Οδικό Δίκτυο Υφιστάμενο ■ Μεσαία Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Βραχώδης Έκταση ■ Αεροδιάδρομος Νο1 ■ Γκαζον ■ Αμπελώνες ■ Ελαιώνες ■ Λαχανόκηπος ■ Αεροδιάδρομος Νο2 ■ Νερό ■ Πυκνή Δόμηση ■ Μεσαία Δόμηση ■ Γυμνό Έδαφος ■ Μεσαία - Αραιή Δόμηση - Γυμνό Έδαφος
				
Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI	<ul style="list-style-type: none"> ■ <-2 sd ■ -2 sd to -1 sd ■ -1 sd to mean ■ mean to +1 sd ■ +1 sd to +2 sd ■ > +2 sd 	Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI	Παλινδρόμηση εικόνας	
				
Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Συνδυασμένη ανάλυση	Σύγκριση μετά από ταξινόμηση	
				<ul style="list-style-type: none"> ■ Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση ■ Αραίωση της Δόμησης ■ Πύκνωση της Δόμησης ■ Αραίωση της Βλάστησης ■ Πύκνωση της Βλάστησης ■ Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος

Το δεύτερο πολύγωνο περιλαμβάνει την περιοχή του Μαρκοπούλου (στο κέντρο της εικόνας) και τις δυο κύριες οδικές αρτηρίες Λεωφόρος Μαρκοπούλου και Λεωφόρος Μαρκοπούλου-Κορωπίου. Στο δεξί τμήμα της εικόνας βρίσκεται το σύγχρονο διεθνών προδιαγραφών Ιπποδρόμιο του Μαρκοπούλου. Η κατασκευή του ξεκίνησε στις αρχές του 2000 και από τον Σεπτέμβριο του 2003, οι εγκαταστάσεις λειτουργούν κανονικά. Περιμετρικά της αστικής περιοχής, εκτείνονται γεωργικές εκτάσεις με κύριες καλλιέργειες τους Αμπελώνες και Ελαιώνες. Τέλος στο κάτω και αριστερό τμήμα της εικόνας, εκτείνεται ένας λόφος υψομέτρου περίπου 200m.

Ταξινόμηση εικόνας Ιουνίου 2000

Στο μεγαλύτερο μέρος της ταξινομημένης εικόνας οι κατηγορίες έχουν προσδιορίσει την υπάρχουσα κατάσταση το έτος 2000. Η αστική περιοχή του Μαρκοπούλου χαρακτηρίζεται με πυκνή-μεσαία δόμηση, το οδικό δίκτυο έχει διαφοροποιηθεί από τον αστικό ιστό και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις έχουν χαρακτηριστεί ορθά ως Αμπελώνες και Ελαιώνες. Σύγκριση στις κατηγορίες της ταξινόμησης παρατηρείται στο δεξί τμήμα της εικόνας, μεταξύ των κατηγοριών του γυμνού εδάφους και της βλάστησης, αντικείμενο που δικαιολογείται, από την τοπολογία της περιοχής.

Ταξινόμηση εικόνας Ιουνίου 2018

Η ταξινόμηση στο συγκεκριμένο τμήμα του πολυγώνου φαίνεται να αντιπροσωπεύει την υπάρχουσα κατάσταση. Η αστική περιοχή του Μαρκοπούλου έχει χαρακτηριστεί ως πυκνή και σε κάποια σημεία περιμετρικά της περιοχής ως μεσαία. Οι οδικές αρτηρίες έχουν διαχωριστεί και γύρω τους εφάπτονται γραμμικά, αστικές εκτάσεις, δηλαδή τα εργοστάσια της υπάρχουσας κατάστασης. Ακόμη οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις διαχωρίζονται ορθά ως Αμπελώνες, Ελαιώνες και Λαχανόκηποι. Ο λόφος στο κάτω αριστερό τμήμα της εικόνας έχει μεσαία πυκνότητα βλάστησης, ενώ στην κορυφή η πυκνότητα είναι υψηλότερη. Τέλος, στο αριστερό τμήμα της εικόνας, έχει διαφοροποιηθεί ο Ιππόδρομος (κόκκινο χρώμα), δηλαδή με υψηλή πυκνότητα δόμησης, λόγω των κτηριακών εγκαταστάσεων.

Σύγκριση Ταξινομήσεων

Παρατηρώντας τις δυο ταξινομημένες εικόνες του 2000 και 2018, δεν διακρίνονται μεγάλες αλλαγές στις κύριες χρήσεις γης. Η αστική περιοχή αλλάζει πυκνότητα δόμησης και γίνεται πυκνότερη και παρατηρείται επέκταση των ορίων της στο βόριο-ανατολικό τμήμα. Ακόμη από γυμνό έδαφος που είχε προκύψει στην ταξινομημένη εικόνα του 2000, παρατηρείται η αλλαγή σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις και αραιής πυκνότητας βλάστησης, αντικείμενο που δεν αποτελεί μεγάλη διαφοροποίηση, καθώς οι κατηγορίες της βλάστησης, περιέχουν και το στοιχείο του εδάφους στην συγκεκριμένη ανάλυση. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, διαχρονικά παρουσιάζουν μείωση, κυρίως εφαπτομενικά των οδικών αρτηριών. Η περιοχή με το λόφο (κάτω και αριστερά της εικόνας), δεν έχει κάποια διαφοροποίηση σε έκταση ή πυκνότητα. Ο ιππόδρομος στην ταξινόμηση του 2000 που βρίσκεται υπό κατασκευή, δεν διακρίνεται, σε αντίθεση με την ταξινόμηση του 2018 που είναι εμφανής.

Σύγκριση μετά από ταξινόμηση

Στην εικόνα από την σύγκριση των ταξινομήσεων παρουσιάζονται οι παραπάνω αλλαγές που παρατηρήθηκαν από την σύγκριση των ταξινομήσεων. Πιο συγκεκριμένα, η αστική περιοχή (μπορντό-κέντρο της εικόνας) έχει υποστεί πύκνωση και αποτελεί την μεγαλύτερη μεταβολή. Στην εικόνα παρατηρούνται και μεγάλες μεταβολές διάσπαρτα (λευκό χρώμα), οι οποίες έχουν προέλθει από σκιές λόγω διαφοράς υψομέτρου και κυρίως βρίσκονται σε γόνιμο έδαφος. Ο λόφος στο κάτω αριστερό τμήμα της εικόνας παρουσιάζει πύκνωση της βλάστησης, στην κορυφή του. Στο συγκεκριμένο τμήμα της εικόνας, οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις αφορούν την αστική περιοχή και την βλάστηση με το γυμνό έδαφος.

Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην εικόνα διαφοράς των δεικτών βλάστησης, παρουσιάζονται οι τυποποιημένες τιμές της εικόνας διαφοράς. Με κόκκινο και μπλε χρώμα είναι οι μεγαλύτερες διαφορές, ενώ ακολουθούν οι διαφορές με πράσινο και ροζ. Με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται οι πολύ μικρές διαφορές-σχεδόν αμελητέες. Από οπτική παρατήρηση και σύγκρισή της εικόνας διαφοράς με τις δυο εικόνες 2000 και 2018, οι μεγαλύτερες αλλαγές παρατηρούνται στην αστική δόμηση, και σε κτίρια τα οποία χτίστηκαν στην περιοχή, κατά την διάρκεια των ετών 2000-2018. Ακόμη αλλαγές παρουσιάζονται και στο γόνιμο έδαφος, και κυρίως σε περιοχές με αρκετά υγιή βλάστηση (μισογάγγειες) την χρονολογία του 2018. Στο σύνολο η αστική περιοχή, παρουσιάζει μεταβολή αλλά όχι πολύ μεγάλη, για τον λόγο ότι η αλλαγή δεν παρουσιαζόταν μεταξύ ανόμοιων κατηγοριών.

Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI

Στις παραπάνω τεχνικές, παρουσιάζεται και η διαδική εικόνα της μεθόδου του λόγου των εικόνων των δεικτών βλάστησης. Με άσπρο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που δεν υπάρχει μεταβολή, ενώ με μαύρο χρώμα, οι περιοχές που υπάρχει μεταβολή. Αρχικά προκύπτει ότι η αστική περιοχή, στο τμήμα του Μαρκοπούλου (κέντρο), έχει μείνει αμετάβλητη, συμπέρασμα που δεν συνάδει με τις παραπάνω μελέτες καθώς παρατηρήθηκε μεταβολή ως προς την πυκνότητα. Ο λόγος του συγκεκριμένου αποτελέσματος, πιθανόν εξήχθη, αφού δεν έχει διαφοροποιηθεί ως προς είδος χρήσης αλλά ως προς την πυκνότητα. Οι μεγαλύτερες μεταβολές έχουν προκύψει στις περιοχές με βλάστηση, τριγύρω της αστικής περιοχής, αντικείμενο που παρατηρήθηκε και στις παραπάνω μεθόδους και κυρίως στην εικόνα Land Cover Changes.

Παλινδρόμηση εικόνας

Με τη μέθοδο της παλινδρόμησης της εικόνας, οι μεγαλύτερες αλλαγές που διακρίνονται, αφορούν τις οδικές αρτηρίες και την αστική περιοχή, καθώς παρουσιάζονται με πιο σκούρες αποχρώσεις. Η κωνοφόρα βλάστηση και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, δεν έχουν αλλάξει στο διάστημα των 18 ετών.

Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA)



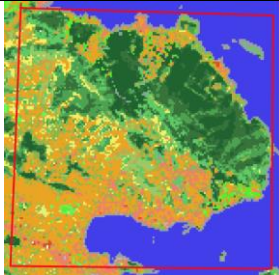
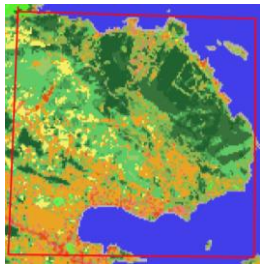
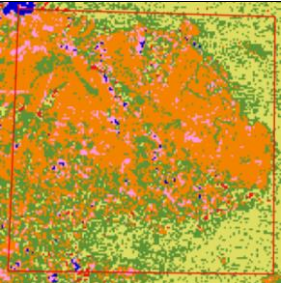
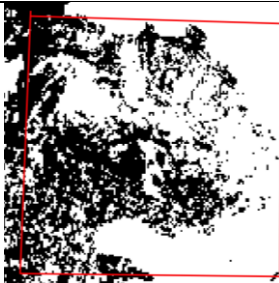
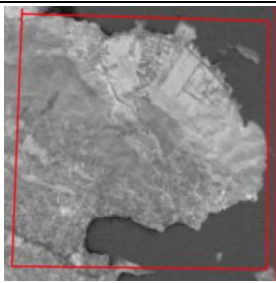
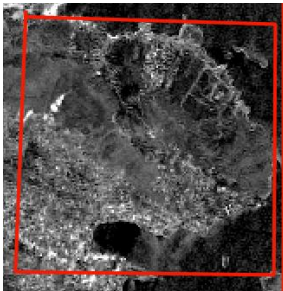
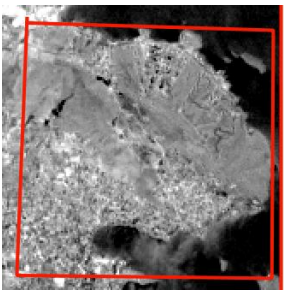
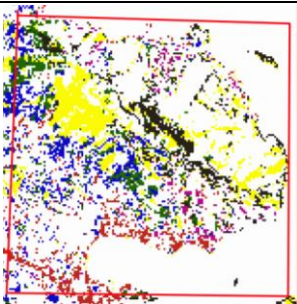
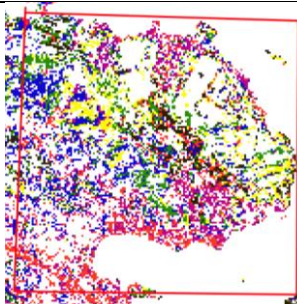
Στην εικόνα Magnitude, οι μεγαλύτερες αλλαγές προκύπτουν κατά μήκος των οδικών αρτηριών της περιοχής. Ακόμη παρατηρείται και επέκταση της αστικής περιοχής του Μαρκοπούλου, στο Βόρειο-Ανατολικό της τμήμα. Στην εικόνα Direction, οι αλλαγές αυτές

παρουσιάζονται με λιγότερη ένταση. Ακόμη παρατηρούνται και αλλαγές στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις, μικρότερες σε μέγεθος και μεγαλύτερες σε κατεύθυνση.

Συνδυασμένη ανάλυση

Η εικόνα της συνδυασμένης ανάλυσης, παρέχει πληροφορίες για την θέση και το είδος των μεταβαλλόμενων και μη εικονοστοιχείων. Οι σημαντικότερες μεταβολές που διακρίνονται στην εικόνα, αφορούν την αστική περιοχή του Μαρκοπούλου (κέντρο της εικόνας), αφού έχει ταξινομηθεί με κατηγορία αλλαγής από Αραιότερη σε Πυκνότερη Δόμηση. Σημαντικό στοιχείο, της συγκεκριμένης τεχνικής είναι ότι έχουν διαφοροποιηθεί οι οδικές αρτηρίες, οι περιοχές με κωνοφόρα βλάστηση και οι αγροτικές περιοχές. Οι μη μεταβαλλόμενες περιοχές, έχουν προσδιοριστεί με τις υφιστάμενες χρήσεις γης. Αξίζει να σχολιαστεί ότι το μεγαλύτερο μέρος των καλλιεργήσιμων εκτάσεων έχει χαρακτηριστεί ως Ελαιώνες, το οποίο σύμφωνα με τις παραπάνω τεχνικές και ταξινομήσεις δεν αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα. Η συγκεκριμένη ανακρίβεια, μπορεί να προκλήθηκε από αρκετούς παράγοντες, όπως η χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα της εικόνας 30μΧ30μ, καθορίζει τις κατηγορίες ελαιώνες και αμπελώνες ως παρόμοιες, ακόμη η εικόνα που υλοποιήθηκε η ταξινόμηση, περιλαμβάνει και την εικόνα του 2000 και την εικόνα του 2018, συνεπώς και μικρές μεταβολές στις δύο εικόνες μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

Πίνακας 34. Πολύγωνο 3, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.

Πολύγωνο 3				
Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2000	Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2018	Ταξινόμηση εικόνας 2000	Ταξινόμηση εικόνας 2018	<ul style="list-style-type: none"> ■ Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία - Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Οδικό Δίκτυο Υφιστάμενο ■ Μεσαία Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Βραχώδης Έκταση ■ Αεροδιάδρομος Νο1 ■ Γκαζον ■ Αμπελώνες ■ Ελαιώνες ■ Λαχανόκηπος ■ Αεροδιάδρομος Νο2 ■ Νερό ■ Πυκνή Δόμηση ■ Μεσαία Δόμηση ■ Γυμνό Έδαφος ■ Μεσαία - Αραιή Δόμηση - Γυμνό Έδαφος
				
Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI	<ul style="list-style-type: none"> ■ <-2 sd ■ -2 sd to -1 sd ■ -1 sd to mean ■ mean to +1 sd ■ +1 sd to +2 sd ■ > +2 sd 	Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI	Παλινδρόμηση εικόνας	
				
Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Συνδυασμένη ανάλυση	Σύγκριση μετά από ταξινόμηση	
				<ul style="list-style-type: none"> ■ Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση ■ Αραίωση της Δόμησης ■ Πύκνωση της Δόμησης ■ Αραίωση της Βλάστησης ■ Πύκνωση της Βλάστησης ■ Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος

Το τρίτο πολύγωνο εμπεριέχει τις περιοχές, Πόρτο Ράφτη, Βραυρώνα και Χαμολιά. Το μεγαλύτερο μέρος του πολυγώνου, περικλύεται από λόφους με κωνοφόρα βλάστηση με μέγιστο υψόμετρο περιοχής τα 306m.

Ταξινομημένη εικόνα Ιουνίου 2000

Η χλωρίδα της περιοχής έχει ταξινομηθεί ορθά, με τα υψηλότερα σημεία να σημειώνουν πυκνή βλάστηση, ενώ τα χαμηλότερα σημεία μεσαία πυκνότητα. Οι τρεις αστικές περιοχές, παρουσιάζουν μεσαία πυκνότητα δόμησης. Το οδικό δίκτυο της περιοχής δεν έχει διακριθεί, λόγω της διακριτικής ικανότητας των δορυφορικών εικόνων 30mX30m. Μεγάλο τμήμα της ξηράς έχει χαρακτηριστεί με γυμνό έδαφος, αντικείμενο που αληθεύει, φωτοερμηνεύοντας την αρχική εικόνα. Τέλος η υδάτινη επιφάνεια, έχει αναγνωριστεί και διακριθεί πλήρως από την επιφάνεια της ξηράς.

Ταξινομημένη εικόνα Ιουνίου 2018

Εκ πρώτης όψεως, η ταξινόμηση στο συγκεκριμένο πολύγωνο απεικονίζει ορθά την υπάρχουσα κατάσταση. Οι αστικές περιοχές έχουν διαφοροποιηθεί στην ταξινομημένη εικόνα. Οι οικισμοί Βραυρώνα και Χαμολιά, παρουσιάζουν μεσαία πυκνότητα δόμησης και ο οικισμός Πόρτο Ράφτη, κυρίως μεσαία πυκνότητα, με τα παραλιακά τμήματα να έχουν πυκνή πυκνότητα δόμησης. Η βλάστηση στα υψηλότερα σημεία των λόφων είναι πυκνή ενώ όσο το υψόμετρο μικραίνει η πυκνότητα βλάστησης μειώνεται. Η υδάτινη επιφάνεια, έχει αναγνωριστεί και διακριθεί εντελώς από την επιφάνεια της ξηράς.

Σύγκριση ταξινομήσεων

Στην συγκεκριμένη περιοχή, οι διαχρονικές αλλαγές δεν είναι μεγάλες. Αμετάβλητη, φαίνεται να είναι η πυκνότητα στα υψηλότερα σημεία των λόφων, αφού και στις δύο ταξινομήσεις έχουν προσδιοριστεί με πυκνή πυκνότητα κωνοφόρας βλάστησης. Στο πάνω αριστερό τμήμα της εικόνας, παρατηρείται μεταβολή από γυμνό έδαφος και αραιή βλάστηση – γυμνό έδαφος (που προέκυψε στην ταξινόμηση της εικόνας του 2000), σε μεσαίας πυκνότητας κωνοφόρας βλάστημής (που προέκυψε στην ταξινόμηση του 2018), υποδηλώνοντας την ανάπτυξη της χλωρίδας στην περιοχή. Νότιο-Ανατολικά του λόφου, παρατηρείται αραιώση της πυκνότητας της βλάστησης, αντικείμενο που βασίζεται σε πυρκαγιά που έχει εκδηλωθεί στο διάστημα των 18 ετών. Διαχρονική διαφορά παρατηρείται και στον οικισμό Πόρτο Ράφτη, όπου η πυκνότητα δόμησης στα παραλιακά τμήματα έχει αυξηθεί. Τέλος η υδάτινη επιφάνεια έχει μείνει αμετάβλητη.

Σύγκριση μετά από ταξινόμηση

Στην εικόνα της σύγκρισης μετά από ταξινόμηση παρουσιάζονται οι παραπάνω αλλαγές που παρατηρήθηκαν από την σύγκριση των ταξινομήσεων. Διαφοροποιήσεις έχουν προκύψει στον οικισμό Πόρτο Ράφτη, όπου υπέστη ανάπτυξη (πύκνωση της αστικής περιοχής), και παρουσιάζεται στην εικόνα με κόκκινο χρώμα. Ακόμη σημαντική μεταβολή παρουσιάζεται στο κεντρικό τμήμα της εικόνας όπου υπάρχει αλλαγή από βλάστηση σε δόμηση. Η συγκεκριμένη μεταβολή προήλθε από την κατηγορία γυμνό έδαφος σε αραιή βλάστηση. Ακόμη, με μαύρο χρώμα παρουσιάζεται η μεταβολή από βλάστηση σε γυμνό έδαφος (λόγο πυρκαγιάς, όπως σχολιάστηκε και παραπάνω).

Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην εικόνα διαφοράς, παρουσιάζονται οι τυποποιημένες τιμές της εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης. Με κόκκινο και μπλε χρώμα είναι οι μεγαλύτερες διαφορές, ενώ ακολουθούν οι διαφορές με πράσινο και ροζ. Με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται οι πολύ μικρές διαφορές-σχεδόν αμελητέες. Από οπτική παρατήρηση και σύγκρισή της εικόνας διαφοράς με τις δυο εικόνες 2000 και 2018, οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται στην βλάστηση. Με μπλε και ροζ χρώμα απεικονίζεται η υγιής βλάστηση (μισγάγγειες), περιοχές δηλαδή που λόγω των υδάτινων απορροών αποτελούν ένα αρκετά γόνιμο έδαφος.

Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην δυαδική εικόνα της μεθόδου του λόγου, με άσπρο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που δεν υπάρχει μεταβολή, ενώ με μαύρο χρώμα, οι περιοχές που υπάρχει μεταβολή. Παρατηρείται ότι η βλάστηση στους λόφους δεν έχει διαφοροποιηθεί. Αλλαγές υπάρχουν, στις αστικές περιοχές (κάτω μέρος της εικόνας), αντικείμενο που προέκυψε και στην σύγκριση των ταξινομήσεων, ως προς την πυκνότητα δόμησης. Ακόμη, μεταβολή υπάρχει και στο αριστερό τμήμα της εικόνας, το οποίο παρατηρήθηκε και στις προηγούμενες μεθόδους, αλλαγή από γυμνό έδαφος σε αραιή βλάστηση ή υγιή βλάστηση και το αντίθετο.

Παλινδρόμηση εικόνας

Παρατηρώντας την εικόνα της παλινδρόμησης, οι μεγαλύτερες αλλαγές στις χρήσεις γης παρατηρούνται στον οικισμό του Πόρτο Ράφτη, καθώς επίσης διακρίνεται η γραμμικότητα του που υποδηλώνει ότι εμπεριέχεται και κύρια οδική αρτηρία. Ακόμη, στο κεντρο-δυτικό τμήμα της εικόνας, παρατηρείται μια σημαντική μεταβολή, η οποία μέσω διερεύνησης με το Google Maps, αναφέρεται σε λατομικές εργασίες. Το υπόλοιπο τμήμα της εικόνας, απεικονίζεται με ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις, οπότε δεν έχουν σημειωθεί σημαντικές διαφοροποιήσεις στις χρήσεις γης.

Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA)


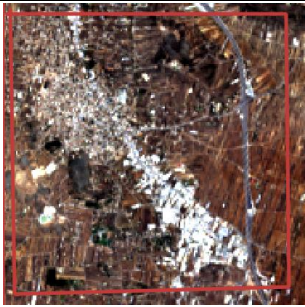
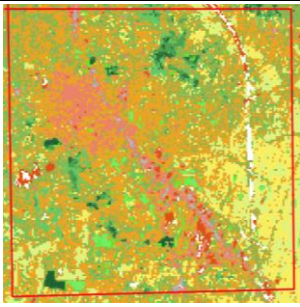
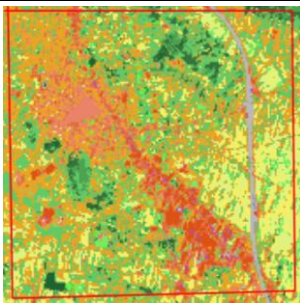
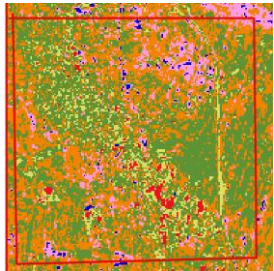
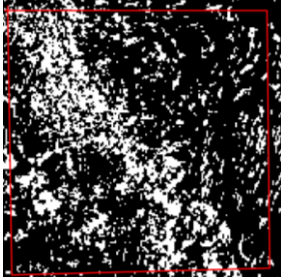


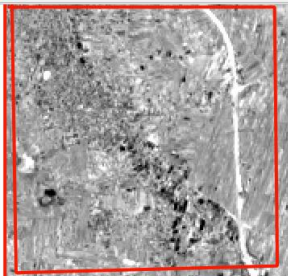
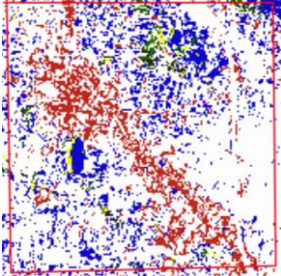
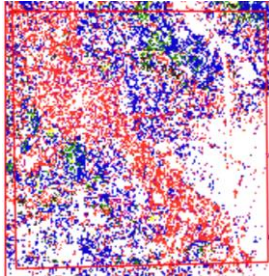
Η τεχνική της ανάλυσης του διανύσματος μεταβολής, έχει ως αποτέλεσμα δυο εικόνες. Η πρώτη αποτελεί την εικόνα Magnitude, δηλαδή παρουσιάζει το μέγεθος του Vector και δείχνει το ποσό της αλλαγής, και η δεύτερη είναι η εικόνα Direction που δείχνει την συνιστώσα της κατεύθυνσης, δηλαδή ενημερώνει για τον τόπο της αλλαγής. Και οι δύο εικόνες παρουσιάζονται με αποχρώσεις του γκρι, όπου οι σκουρόχρωμες αποχρώσεις απεικονίζουν τα αμετάβλητα χαρακτηριστικά και οι ανοιχτόχρωμες τα μεταβλητά. Στην εικόνα Magnitude, οι μεγαλύτερες αλλαγές προκύπτουν στην αστική περιοχή (κάτω αριστερά της εικόνας). Ενώ μικρές έως αμελητέες αλλαγές έχουν υποστεί οι περιοχές με βλάστηση. Στην εικόνα Direction φαίνεται ότι οι περισσότερες αλλαγές δεν αφορούν μεγάλες διαφοροποιήσεις σε ανόμοιες κατηγορίες.

Συνδυασμένη ανάλυση

Η ταξινομημένη εικόνα της συνδυασμένης ανάλυσης, παρέχει πληροφορίες για την θέση και το είδος των μεταβαλλόμενων και μη εικονοστοιχείων. Στην εικόνα, δεν παρατηρούνται αρκετές μεταβολές ανάμεσα στις χρονολογίες 2000 και 2018. Οι υπάρχουσες χρήσεις γης έχουν ταξινομηθεί ορθά,

διακρίνεται δηλαδή η πυκνή κωνοφόρα βλάστηση στα σημεία των λόφων, οι αστικές περιοχές, με την περιοχή του Πόρτο Ράφτη να φανερώνει την πύκνωση του αστικού ιστού και των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και διαφοροποίηση του οδικού δικτύου. Διακρίνονται με περισσότερη ακρίβεια οι μεταβολές σε βλάστηση (πύκνωση και αραίωση), όπως και από βλάστηση σε γυμνό έδαφος.

Πίνακας 35. Πολύγωνο 4, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.

Πολύγωνο 4				
Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2000	Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2018	Ταξινόμηση εικόνας 2000	Ταξινόμηση εικόνας 2018	
				<ul style="list-style-type: none"> ■ Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία - Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Οδικό Δίκτυο Υφιστάμενο ■ Μεσαία Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Βραχώδης Έκταση ■ Αεροδιάδρομος Νο1 ■ Γκαζον ■ Αμπελώνες ■ Ελαιώνες ■ Λαχανόκηπος ■ Αεροδιάδρομος Νο2 ■ Νερό ■ Πυκνή Δόμηση ■ Μεσαία Δόμηση ■ Γυμνό Έδαφος ■ Μεσαία - Αραιή Δόμηση - Γυμνό Έδαφος
Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI		Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI	Παλινδρόμηση εικόνας	
	<ul style="list-style-type: none"> ■ <-2 sd ■ -2 sd to -1 sd ■ -1 sd to mean ■ mean to +1 sd ■ +1 sd to +2 sd ■ > +2 sd 			
Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Συνδυασμένη ανάλυση	Σύγκριση μετά από ταξινόμηση	
				<ul style="list-style-type: none"> ■ Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση ■ Αραίωση της Δόμησης ■ Πύκνωση της Δόμησης ■ Αραίωση της Βλάστησης ■ Πύκνωση της Βλάστησης ■ Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος

Η περιοχή του τέταρτου πολυγώνου αφορά την οικιστική περιοχή της Παιανίας (κέντρο και αριστερά) και του Καρελά (κάτω και δεξιά). Οι κύριες οδικές αρτηρίες της περιοχής είναι η Λεωφόρος Λαυρίου και Μαρκοπούλου, που στο κέντρο της εικόνας ενοποιούνται και συνεχίζουν ως Λεωφόρος Λαυρίου. Στο δεξί τμήμα της εικόνας εκτείνεται η Αττική Οδός, έργο το οποίο ξεκίνησε το 1996 και ολοκληρώθηκε το 2001. Το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής είναι 244m, και παρατηρείται κοντά στην Αγία Σωτήρα και Χουσμouζα (στο πάνω και δεξιά τμήμα του πολυγώνου). Οι λόφοι της περιοχής, απαρτίζονται από Κωνοφόρα βλάστηση, ενώ στα υπόλοιπα σημεία του πολυγώνου, εκτείνονται γεωργικές εκτάσεις.

Ταξινομημένη εικόνα Ιουνίου 2000

Στην ταξινομημένη εικόνα του 2000, παρατηρείται ότι η αστική περιοχή, έχει διαχωριστεί από το υπόλοιπο περιβάλλον. Το τμήμα της Παιανίας απαρτίζεται από μεσαίας πυκνότητας δόμηση στο κέντρο του, ενώ περιμετρικά από αυτό η πυκνότητα δόμησης γίνεται πιο αραιή. Η Λεωφόρος Λαυρίου έχει διακριθεί, και εφαπτομενικά στο γραμμικό της πρότυπο, εκτείνεται μεσαία και πυκνή δόμηση, δηλαδή η βιομηχανική περιοχή. Ο οικισμός του Καρελά χαρακτηρίζεται με μεσαία-αραιή πυκνότητα δόμησης – γυμνό έδαφος, αντικείμενο που είναι ορθό, μέσα από οπτική παρατήρηση. Η αρτηρία της Αττικής Οδού έχει διαχωριστεί, στο μεγαλύτερο τμήμα της. Στο κάτω μέρος της εικόνας, διακρίνονται οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, που έχουν χαρακτηριστεί ως Αμπελώνες, Ελαιώνες και σε μικρότερη έκταση παρατηρούνται κάποιοι Λαχανόκηποι. Στους λόφους της περιοχής (πάνω δεξιά και κέντρο αριστερά του πολυγώνου) παρατηρούνται διάφορες κατηγορίες ως προς την πυκνότητα της κωνοφόρας βλάστησης. Διάσπαρτα και ενδιάμεσα των βασικών χρήσεων γης, υπερτερεί το γυμνό έδαφος. Στο μεγαλύτερο μέρος της εικόνας, η αντιστοίχιση των κατηγοριών συνάπτει με την πραγματικότητα.

Ταξινομημένη εικόνα Ιουνίου 2018

Στην ταξινομημένη εικόνα του 2018, η αστική περιοχή της Παιανίας έχει προσδιοριστεί με μεσαία πυκνότητα δόμησης στο κεντρικό τμήμα, ενώ περιμετρικά από αυτό η πυκνότητα γίνεται πιο αραιή. Ενδιάμεσα των Λεωφόρων Λαυρίου και Μαρκοπούλου, παρατηρείται πυκνή πυκνότητα δόμησης, λόγω των εργοστασίων της Βιομηχανικής περιοχής. Το τμήμα της Αττικής Οδού, που διαπερνάει το δεξί τμήμα του πολυγώνου, διακρίνεται εμφανώς σε όλο το μήκος. Στο δεξί-κέντρο και αριστερό κάτω μέρος της εικόνας, εξαπλώνονται γεωργικές εκτάσεις, Αμπελώνες, Ελαιώνες και κάποιοι Λαχανόκηποι. Τέλος οι περιοχές των λόφων, παρουσιάζουν διάφορες κατηγορίες με βάση την πυκνότητα κωνοφόρας βλάστησης, με πιο πυκνή στα υψηλότερα σημεία των λόφων.

Σύγκριση ταξινομήσεων

Συγκρίνοντας τις δυο ταξινομημένες εικόνες του 2000 και 2018, παρατηρούνται διαχρονικές αλλαγές στις χρήσεις γης. Η μεγαλύτερη αλλαγή αφορά την αστική περιοχή, στο τμήμα ενδιάμεσα των οδικών αρτηριών Λαυρίου και Μαρκοπούλου, η Βιομηχανική περιοχή. Παρατηρείται μεγάλη εξάπλωση στις δομημένες εκτάσεις, από την εικόνα του 2000 που υπήρχε πιο αραιή δόμηση και λαχανόκηποι στην εικόνα του 2018 που υπάρχει μόνο πυκνή πυκνότητα δόμησης. Στης περιοχή της Παιανίας, έχει επικρατήσει η μεσαία και αραιή πυκνότητα δόμησης, εκτός από την γραμμική περιοχή που διαπερνά η Λεωφόρος Λαυρίου,

που η δόμηση εξελίχθηκε σε πυκνή πυκνότητα. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις στο δεξιό-κέντρο και αριστερό-κάτω τμήμα της εικόνας, δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες αλλαγές, αφού εξακολουθούν να απαρτίζονται με Αμπελώνες και Ελαιώνες. Μεγάλο μέρος του γυμνού εδάφους, έχει μετατραπεί σε κωνοφόρα βλάστηση και καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Οι λόφοι κατά την διαχρονική παρατήρηση, εξακολουθούν να φέρουν κωνοφόρα βλάστηση σε διάφορες κατηγορίες πυκνότητας, με την ταξινόμηση του 2018 να παρουσιάζει την κατάσταση πιο ολοκληρωμένη.

Σύγκριση μετά από ταξινόμηση

Στην εικόνα της σύγκρισης μετά από ταξινόμηση παρουσιάζονται οι παραπάνω αλλαγές που παρατηρήθηκαν από την σύγκριση των ταξινομήσεων. Στο κάτω και δεξί τμήμα τις εικόνας παρατηρούνται οι αλλαγές στην αστική περιοχή ενδιάμεσα των δύο λεωφόρων. Ακόμη η περιοχή της Παιανίας δεν παρουσιάζει μεγάλες αλλαγές κυρίως στο κέντρο της, παρά μόνο περιμετρικά από αυτή, αντικείμενο που παρατηρήθηκε και από την σύγκριση των ταξινομήσεων. Τέλος, διάσπαρτα εικονοστοιχεία, στις περιοχές με βλάστηση υποδουλώνουν μεγάλες αλλαγές, το οποίο αναφέρθηκε και παραπάνω, λόγω της διαφοροποίησης της πυκνότητας και του γυμνού εδάφους, μεταξύ των δύο χρονολογιών.

Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην εικόνα της διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI παρουσιάζονται οι τυποποιημένες τιμές της εικόνας διαφοράς. Με κόκκινο και μπλε χρώμα είναι οι μεγαλύτερες διαφορές, ενώ ακολουθούν οι διαφορές με πράσινο και ροζ. Με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται οι πολύ μικρές διαφορές-σχεδόν αμελητέες. Από οπτική παρατήρηση και σύγκρισή της εικόνας διαφοράς με τις δυο εικόνες 2000 και 2018, οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται αρχικά στην αστική περιοχή (κόκκινο χρώμα – κάτω δεξιά της εικόνας), μεταξύ των δυο λεωφόρων, δηλαδή στην βιομηχανική περιοχή, και στον λόφο κοντά στην περιοχή Αγ. Σωτήρα. Η αστική περιοχή της Παιανίας (πάνω αριστερά) και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις (δεξί τμήμα), δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές ως προς τις χρήσεις γης.

Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην δυαδική εικόνα της μεθόδου του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI, με άσπρο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που δεν υπάρχει μεταβολή, ενώ με μαύρο χρώμα, οι περιοχές που υπάρχει μεταβολή. Με οπτική παρατήρηση της εικόνας, διακρίνεται ότι η αστική δόμηση δεν έχει υποστεί αρκετές διαφοροποιήσεις. Στην περιοχή της Παιανίας, όπως σχολιάστηκε και στις παραπάνω μεθόδους αυτό ισχύει, στην βιομηχανική περιοχή όμως όχι. Το αποτέλεσμα αυτό, οφείλεται στο μέγεθος της αλλαγής, και στο ότι η εικόνα έχει υποστεί κατωφλίωση για να γίνει δυαδική. Οι μεγαλύτερες αλλαγές παρατηρούνται στις περιοχές με βλάστηση, στους λόφους και στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Παλινδρόμηση εικόνας

Στην εικόνα του αποτελέσματος της τεχνικής της παλινδρόμησης, με σκουρόχρωμες αποχρώσεις παρουσιάζονται οι περιοχές που έχουν διαφοροποιηθεί. Σημαντική αλλαγή, παρουσιάζει η οδική αρτηρία της Αττικής Οδού, όπου όντως, όπως παρατηρήθηκε και από τις αρχικές εικόνες, στο διάστημα των 18 ετών, βρισκόταν ακόμη υπό κατασκευή. Μια ακόμη

σημαντική αλλαγή, έχει προκύψει στην βιομηχανική περιοχή, όπου όπως παρατηρήθηκε και στην σύγκριση των δύο ταξινομήσεων, υπήρχε πύκνωση της δομημένης επιφάνειας. Μικρότερη αλλαγή, παρουσιάζει ο οικισμός της Παιανίας. Το υπόλοιπο τμήμα της εικόνας που απαρτίζεται από κωνοφόρα βλάστηση και καλλιέργειες, δεν εμφανίζει σημαντικές μεταβολές.



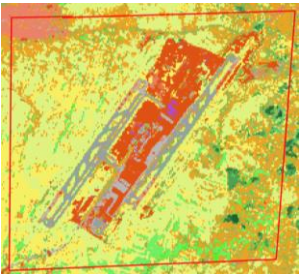
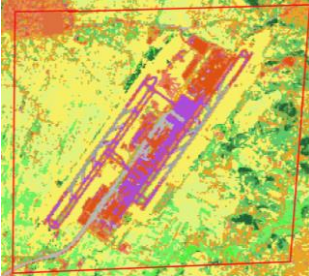
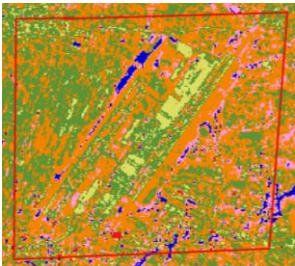
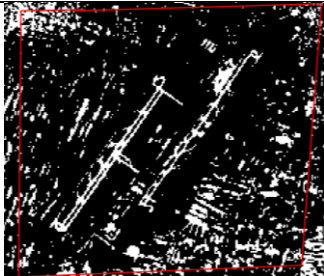



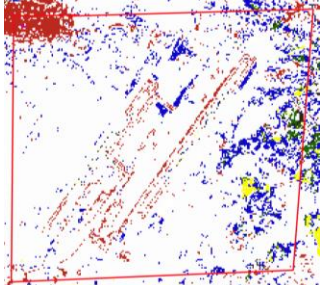
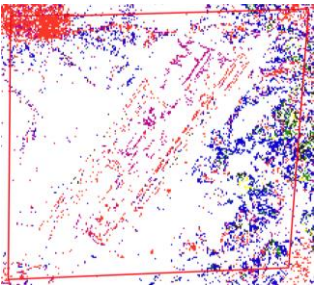
Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA)

Η τεχνική της ανάλυσης του διανύσματος μεταβολής (CVA), έχει ως αποτέλεσμα δύο εικόνες. Η πρώτη αποτελεί την εικόνα Magnitude, δηλαδή παρουσιάζει το μέγεθος του Vector και δείχνει το ποσό της αλλαγής, και η δεύτερη είναι η εικόνα Direction που δείχνει την συνιστώσα της κατεύθυνσης, δηλαδή ενημερώνει για τον τόπο της αλλαγής. Και οι δύο εικόνες παρουσιάζονται με αποχρώσεις του γκρι, όπου οι σκουρόχρωμες αποχρώσεις απεικονίζουν τα αμετάβλητα χαρακτηριστικά και οι ανοιχτόχρωμες τα μεταβλητά. Στην εικόνα Magnitude, οι μεγαλύτερες αλλαγές προκύπτουν στην αρτηρία της Αττικής Οδού (δεξί τμήμα της εικόνας) καθώς και ενδιάμεσα των δυο λεωφόρων στην βιομηχανική περιοχή. Από την εικόνα Direction, φαίνεται ότι η κατεύθυνση αλλαγής στην αρτηρία του δρόμου είναι μεγαλύτερη από την κατεύθυνση στην βιομηχανική περιοχή. Αξίζει να σημειωθεί, ότι από τις εικόνες της τεχνικής CVA, προκύπτουν και άλλες μεταβολές, μικρότερες σε μέγεθος από τις παραπάνω.

Συνδυασμένη ανάλυση

Η ταξινομημένη εικόνα της συνδυασμένης ανάλυσης, παρέχει πληροφορίες για την θέση και το είδος των μεταβαλλόμενων και μη εικονοστοιχείων. Οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις, αφορούν την αστική περιοχή της Παιανίας, όπου φαίνεται η πύκνωση των κτιριακών εγκαταστάσεων, και την βιομηχανική ζώνη, ενδιάμεσα στις οδικές αρτηρίες Λαυρίου και Μαρκοπούλου. Ακόμη στην ταξινόμηση, έχουν διακριθεί στοιχεία όπως το οδικό δίκτυο (τμήμα της Αττικής Οδού), οι καλλιέργειες (Ελαιώνες και Αμπελώνες), καθώς και η κωνοφόρα βλάστηση στα υπερυψωμένα σημεία. Ακόμη έχουν διαχωριστεί τα τμήματα της εικόνας που υπήρχε μεταβολή, από γυμνό έδαφος σε βλάστηση.

Πίνακας 36. Πολύγωνο 5, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.

		Πολύγωνο 5			
Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2000	Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2018	Ταξινόμηση εικόνας 2000	Ταξινόμηση εικόνας 2018		
				<ul style="list-style-type: none"> ■ Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία - Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Οδικό Δίκτυο Υφιστάμενο ■ Μεσαία Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Βραχώδης Εκταση ■ Αεροδιάδρομος Νο1 ■ Γκαζον ■ Αμπελώνες ■ Ελαιώνες ■ Λαχανόκηπος ■ Αεροδιάδρομος Νο2 ■ Νερό ■ Πυκνή Δόμηση ■ Μεσαία Δόμηση ■ Γυμνό Έδαφος ■ Μεσαία - Αραιή Δόμηση - Γυμνό Έδαφος 	
Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI	<ul style="list-style-type: none"> ■ <-2 sd ■ -2 sd to -1 sd ■ -1 sd to mean ■ mean to +1 sd ■ +1 sd to +2 sd ■ > +2 sd 	Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI	Παλινδρόμηση εικόνας		
					
Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Συνδυασμένη ανάλυση	Σύγκριση μετά από ταξινόμηση		
				<ul style="list-style-type: none"> ■ Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση ■ Αραίωση της Δόμησης ■ Πύκνωση της Δόμησης ■ Αραίωση της Βλάστησης ■ Πύκνωση της Βλάστησης ■ Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος 	

Το πέμπτο πολύγωνο απεικονίζει την περιοχή του διεθνούς αεροδρομίου Αθηνών Ελευθέριος Βενιζέλος'. Τα πρώτα σχέδια μεταφοράς του αεροδρομίου στην συγκεκριμένη τοποθεσία, άρχισαν επί Δικτατορίας το 1968. Το 1979, λόγω της παγκόσμιας πετρελαϊκής κρίσης και αφού είχαν ολοκληρωθεί τα σχέδια, διακόπηκαν οι προκαταρκτικές εργασίες που είχαν ξεκινήσει. Η τελετή θεμελίωσης και η κατασκευή του αεροδρομίου άρχισαν πάλι τον Σεπτέμβριο του 1996. Οι εργασίες κατασκευής ολοκληρώθηκαν στα τέλη του 2000 και η λειτουργία του διεθνούς Αεροδρομίου ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2001. Η περιοχή του Αεροδρομίου περιλαμβάνει τις κτιριακές εγκαταστάσεις, τους αεροδιαδρόμους και ενδιάμεσα βλάστηση. Τριγύρω της περιοχής του Αεροδρομίου εκτείνονται γεωργικές εκτάσεις με Αμπελώνες και Ελαιώνες. Στο πάνω αριστερό τμήμα του πολυγώνου, βρίσκεται ο οικισμός των Σπατών.

Ταξινομημένη εικόνα Ιουνίου 2000

Την συγκεκριμένη χρονολογία η περιοχή του Αεροδρομίου βρίσκεται υπό κατασκευή (στα τελειώματα). Οι κτιριακές εγκαταστάσεις και οι αεροδιάδρομοι, έχουν υλοποιηθεί στο μεγαλύτερο μέρος τους και η βλάστηση ενδιάμεσα και το κύριο οδικό δίκτυο που θα ενώσει το Αεροδρόμιο με την υπόλοιπη Αττική, δεν έχουν ολοκληρωθεί ακόμη. Στην ταξινομημένη εικόνα παρατηρούνται οι κτιριακές εγκαταστάσεις με κόκκινο χρώμα, και οι αεροδιάδρομοι με γκρι. Η βλάστηση, τριγύρω από την περιοχή του Αεροδρομίου, έχει ταξινομηθεί ορθά, με Αμπελώνες και Ελαιώνες. Ο οικισμός των Σπατών, παρουσιάζει μεσαία πυκνότητα δόμησης. Στο κάτω αριστερό τμήμα του πολυγώνου, διακρίνεται το γυμνό έδαφος, ενδιάμεσα από τα τμήματα της βλάστησης.

Ταξινομημένη εικόνα Ιουνίου 2018

Την χρονολογία του 2018, όλες οι εργασίες του Αεροδρομίου έχουν ολοκληρωθεί. Στην ταξινομημένη εικόνα, διακρίνονται εμφανώς οι κτιριακές εγκαταστάσεις (με κόκκινο χρώμα), οι δύο τύποι ασφάλτου των αεροδιαδρόμων, η κύρια οδική αρτηρία (ανοιχτό γκρι) που διαπερνάει την έκταση του Αεροδρομίου, καθώς και η βλάστηση μέσα σε αυτό. Περιμετρικά του αεροδρομίου εκτείνονται ορθά οι γεωργικές εκτάσεις που απαρτίζονται από Αμπελώνες και Ελαιώνες. Ο οικισμός των Σπατών έχει πυκνή πυκνότητα δόμησης, ενώ και τα μεγαλύτερα υψόμετρα της περιοχής, από τις βουνοκορφές που απαρτίζονται με πυκνή πυκνότητα κωνοφόρας βλάστησης.

Σύγκριση ταξινομήσεων

Στο συγκεκριμένο τμήμα του πολυγώνου παρατηρούνται διαχρονικές αλλαγές ανάμεσα στις περιόδους 2000 και 2018. Αρχικά στην περιοχή του Αεροδρομίου και στις κτιριακές εγκαταστάσεις, παρατηρείται αύξηση, οι αεροδιάδρομοι έχουν αλλαγή ως προς τον τύπο της ασφάλτου (αφού την χρονολογία του 2000 ήταν ημιτελής). Η κύρια οδική αρτηρία, που ενώνει το Αεροδρόμιο με την υπόλοιπη Αττική, την χρονολογία 2000 δεν είχε κατασκευαστεί ακόμη, ενώ την χρονολογία 2018 διακρίνεται καθαρά. Η περιοχή των Σπατών (πάνω αριστερά του πολυγώνου) φαίνεται να έχει διαφοροποιηθεί ως προς την πυκνότητα (υπήρχε διαχρονική αύξηση), ενώ στο κάτω δεξί τμήμα του πολυγώνου, η ποσότητα της βλάστησης έχει αυξηθεί.

Σύγκριση μετά από ταξινόμηση

Στην εικόνα της σύγκρισης μετά από ταξινόμηση παρουσιάζονται οι παραπάνω αλλαγές που παρατηρήθηκαν από την σύγκριση των ταξινομήσεων. Οι σκουρόχρωμες αποχρώσεις απεικονίζουν τις μεγαλύτερες αλλαγές στις χρήσεις γης. Οι μεγαλύτερες αλλαγές παρατηρούνται αρχικά στην περιοχή των Σπάτων (πάνω αριστερά) καθώς όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η περιοχή έχει αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο χρονολογίες, και έχει διαφοροποιηθεί η πυκνότητα δόμησης. Ακόμη, διάσπαρτες αλλά σημαντικές είναι οι αλλαγές από γυμνό έδαφος σε βλάστηση. Στην περιοχή του αεροδρομίου, αλλαγές παρατηρούνται στους αεροδιαδρόμους, όπου όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, έχουν διαφοροποιηθεί ως προς το είδος της ασφάλτου.

Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην εικόνα της διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI παρουσιάζονται οι τυποποιημένες τιμές της εικόνας διαφοράς. Με κόκκινο και μπλε χρώμα είναι οι μεγαλύτερες διαφορές, ενώ ακολουθούν οι διαφορές με πράσινο και ροζ. Με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται οι πολύ μικρές διαφορές-σχεδόν αμελητέες. Από οπτική παρατήρηση και σύγκρισή της εικόνας διαφοράς με τις δυο εικόνες 2000 και 2018, οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται στην έκταση περιμετρικά του αεροδρομίου, καθώς και σε περιοχές που έχει μεταβληθεί η κατηγορία, κυρίως από γυμνό έδαφος σε βλάστηση. Στην εικόνα παρατηρούνται και οι αλλαγές εντός της έκτασης του αεροδρομίου, κυρίως στις κτιριακές εγκαταστάσεις.

Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην διαδική εικόνα της μεθόδου του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI, με άσπρο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που δεν υπάρχει μεταβολή, ενώ με μαύρο χρώμα, οι περιοχές που υπάρχει μεταβολή. Με οπτική παρατήρηση της εικόνας, διακρίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της εικόνας έχει διαφοροποιηθεί. Από τα αμετάβλητα χαρακτηριστικά μεταξύ των δυο χρονολογιών είναι οι αεροδιαδρόμοι του αεροδρομίου, καθώς και κάποιες καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Παλινδρόμηση εικόνας

Η εικόνα της τεχνικής της παλινδρόμησης, παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις, εντός της έκτασης του αεροδρομίου. Στις κτιριακές εγκαταστάσεις, στους αεροδιαδρόμους και στο ξεκίνημα της οδικής αρτηρίας της Αττικής Οδού, από το αεροδρόμιο. Από την παρατήρηση των αρχικών εικόνων και των ταξινομήσεων, οι αλλαγές που έχουν βάση, είναι αυτές των αεροδιαδρόμων και της οδικής αρτηρίας της Αττικής Οδού. Το υπόλοιπο τμήμα της εικόνας, με τις καλλιέργειες και την κωνοφόρα βλάστηση, δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές. Τέλος η αστική περιοχή των Σπατών, στο πάνω αριστερό τμήμα της εικόνας, έχει απεικονιστεί με πιο σκουρόχρωμες αποχρώσεις από την υπόλοιπη εικόνα, αντικείμενο που φανερώνει κάποια αλλαγή.

Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA)

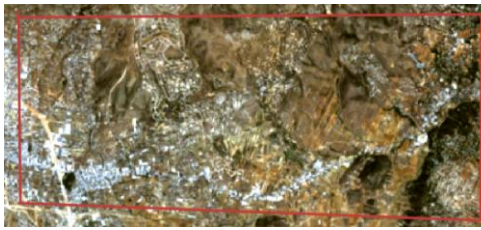
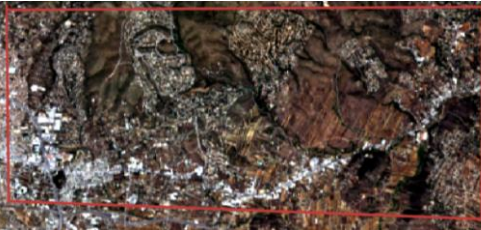

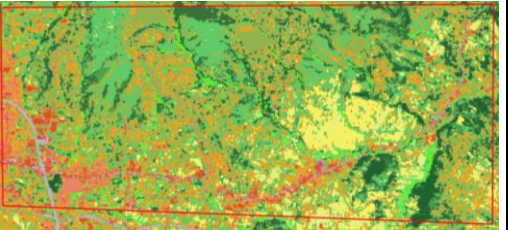
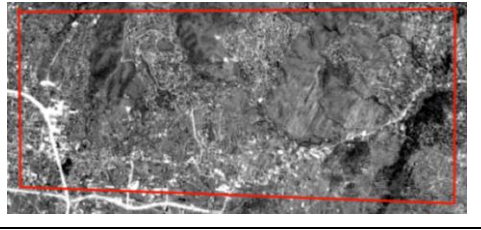
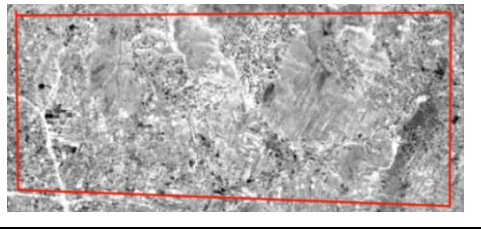
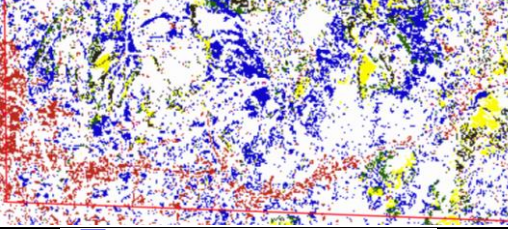
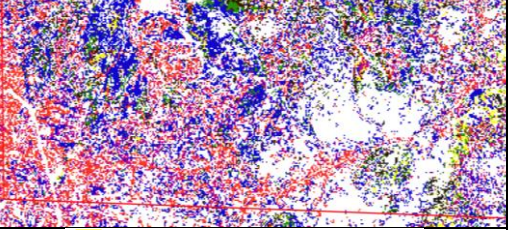
Η τεχνική της ανάλυσης του διανύσματος μεταβολής CVA, αποτελείται από δυο εικόνες. Η πρώτη αποτελεί την εικόνα Magnitude, δηλαδή παρουσιάζει το μέγεθος του Vector και

δείχνει το ποσό της αλλαγής, και η δεύτερη είναι η εικόνα Direction που δείχνει την συνιστώσα της κατεύθυνσης, δηλαδή ενημερώνει για τον τόπο της αλλαγής. Και οι δύο εικόνες παρουσιάζονται με αποχρώσεις του γκρι, όπου οι σκουρόχρωμες αποχρώσεις απεικονίζουν τα αμετάβλητα χαρακτηριστικά και οι ανοιχτόχρωμες τα μεταβλητά. Στην εικόνα Magnitude, οι μεγαλύτερες αλλαγές προκύπτουν στην έκταση του αεροδρομίου, και κυρίως στις κτιριακές εγκαταστάσεις. Η κατεύθυνση των αλλαγών είναι μεγάλη, όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα Direction. Αμελητέες είναι οι αλλαγές στους αεροδιαδρόμους. Ενώ, οι μεταβολές στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις, υπάρχουν, αλλά δεν είναι τόσο μεγάλες.

Συνδυασμένη ανάλυση

Η ταξινομημένη εικόνα της συνδυασμένης ανάλυσης, παρέχει πληροφορίες για την θέση και το είδος των μεταβαλλόμενων και μη εικονοστοιχείων. Η μεγαλύτερη διαχρονική διαφοροποίηση αφορά, την αστική περιοχή των Σπατών (πάνω αριστερό τμήμα της εικόνας), όπου υπάρχει πύκνωση των δομημένων επιφανειών και το γυμνό έδαφος που έχει μετατραπεί σε βλάστηση. Στο υπόλοιπο τμήμα της εικόνας, οι κατηγορίες έχουν ταξινομηθεί ορθά, με τις κτιριακές εγκαταστάσεις του αεροδρομίου να ανήκουν στην κατηγορία πυκνή δόμηση, το οδικό δίκτυο και οι αεροδιάδρομοι να διαχωρίζονται και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις να είναι σωστά χωροθετημένες.

Πίνακας 37. Πολύγωνο 6, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.

Πολύγωνο 6			
Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2000	Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2018	Ταξινόμηση εικόνας 2000	Ταξινόμηση εικόνας 2018
			
Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI	Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI	Παλινδρόμηση εικόνας	<ul style="list-style-type: none"> ■ Αμπέλωνες ■ Ελαιώνες ■ Λαχανόκηπος ■ Αεροδιάδρομος No2 ■ Νερό ■ Πυκνή Δόμηση ■ Μεσαία Δόμηση ■ Γυμνό Έδαφος ■ Μεσαία - Αραιή Δόμηση - Γυμνό Έδαφος ■ Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία - Πυκνή Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Οδικό Δίκτυο Υφιστάμενο ■ Μεσαία Κωνοφόρα Βλάστηση ■ Μεσαία Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Αραιή Κωνοφόρα Βλάστηση - Γυμνό Έδαφος ■ Βραχώδης Εκταση ■ Αεροδιάδρομος No1 ■ Γκαζόν
Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών	Συνδυασμένη ανάλυση	Σύγκριση μετά από ταξινόμηση
			
		<ul style="list-style-type: none"> ■ Γυμνό έδαφος σε Βλάστηση ■ Αραίωση της Δόμησης ■ Πύκνωση της Δόμησης 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Αραίωση της Βλάστησης ■ Πύκνωση της Βλάστησης ■ Βλάστηση σε Γυμνό Έδαφος

Το έκτο πολύγωνο βρίσκεται στο Βόριο τμήμα της εικόνας της Ανατολικής Αττικής και περιλαμβάνει τις οικιστικές περιοχές (από δεξιά προς τα αριστερά), Νέος Πόντος, Βουνόπολη, Οικισμός Πεύκο, Δασομάρι, Πικέρμι, Ντράφι, Νέα Παλλήνη, Πανόραμα, Κάτω Χαρβάτι, Καρούζι, Άγιος Αθανάσιος και Γέρακας. Την περιοχή διασχίζουν, δυο μεγάλες οδικές αρτηρίες, η Αττική Οδός και η Λεωφόρος Μαραθώνος. Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής, απαρτίζεται από βλάστηση, καθώς βρίσκεται στους πρόποδες του Πεντελικού Όρους. Το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής ανέρχεται στα 782m. Στο κάτω δεξί τμήμα του πολυγώνου, κοντά στον Οικισμό Πεύκο, υπάρχουν γεωργικές εκτάσεις με Αμπελώνες και Ελαιώνες.

Ταξινομημένη εικόνα Ιουνίου 2000

Στην ταξινομημένη εικόνα του 2000, παρατηρείται σύγχυση των κατηγοριών της αραιής αστικής περιοχής και του γυμνού εδάφους. Το γεγονός αυτό προκύπτει, καθώς οι περισσότεροι οικισμοί είναι αρκετά αραιοκατοικημένοι, και η διακριτική ικανότητα του δορυφόρου Landsat είναι σχετικά μικρή, ώστε να διαχωρίσει με ακρίβεια αυτές τις εκτάσεις. Ακριβέστερα στοιχεία προκύπτουν στους οικισμούς Καρούζι και Γέρακα, που είναι πιο πυκνοκατοικημένοι, με την πυκνότητα δόμησης να παρουσιάζεται ως μεσαία. Το οδικό τμήμα της Λεωφόρου Μαραθώνος, δεν διαχωρίζεται από της δομημένες επιφάνειες, γίνεται όμως αντιληπτή η ύπαρξη οδικού δικτύου, από την μεσαία και μεσαία αραιή δόμηση – γυμνό έδαφος, που ακολουθεί γραμμικό μοτίβο γύρω από την Λεωφόρο. Το τμήμα της Αττικής Οδού, έχει διαχωριστεί από το υπόλοιπο περιβάλλον (στο κάτω αριστερό τμήμα του πολυγώνου). Ποικιλία πυκνότητας βλάστησης παρατηρείται στο πάνω μέρος του πολυγώνου, με τα υψηλότερα σημεία να έχουν πυκνότερη βλάστηση από τα χαμηλότερα. Σημαντική πληροφορία για το ανάγλυφο της περιοχής, παρέχεται από την κατηγορία της υγιούς βλάστησης, που δείχνει τις Μισγάγκιες της περιοχής, δηλαδή την κατεύθυνση των υδάτινων πόρων. Οι καλλιέργειες έχουν διαχωριστεί σε ευρύ επίπεδο, με την κατηγορία των Αμπελώνων να κυριαρχεί.

Ταξινομημένη εικόνα Ιουνίου 2018

Στην ταξινομημένη εικόνα του 2018, οι οικισμοί διαχωρίζονται επαρκώς, με τους περισσότερους να σημειώνουν μεσαία-αραιή πυκνότητα δόμησης – γυμνό έδαφος, εκτός από τον Γέρακα και το Καρούζι που παρουσιάζουν μεσαία πυκνότητα δόμησης και σε κάποια σημεία πυκνή. Και οι δύο οδικές αρτηρίες έχουν διαχωριστεί από το τριγύρω περιβάλλον, με την περιοχή κατά μήκος της Λεωφόρου Μαραθώνος να παρουσιάζει πυκνή πυκνότητα δόμησης. Η κωνοφόρα βλάστηση, στο πάνω μέρος του πολυγώνου, παρουσιάζει αρκετές διακυμάνσεις πυκνότητας, με τα υψηλότερα υψόμετρα να έχουν πυκνότερη βλάστηση από τα χαμηλότερα. Χάρη στην κατηγορία της υγιούς βλάστησης, διακρίνονται οι υδάτινες απορροές καθώς και το ανάγλυφο. Τέλος οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις έχουν εντοπιστεί ορθά στο κάτω-δεξί τμήμα της εικόνας.

Σύγκριση ταξινομήσεων

Οι δυο χρονολογίες, αφορούν ένα μεγάλο διάστημα 18 χρόνων, όπου οι αλλαγές στις χρήσεις γης είναι λογικές. Όσο αφορά την βλάστηση που υπάρχει στο πάνω μέρος του πολυγώνου (πρόποδες του Πεντελικού Όρους), με τα χρόνια έχει διαφοροποιηθεί σε πυκνότητα (την χρονολογία 2000, υπήρχαν περισσότερες πυκνές περιοχές ως προς την Κωνοφόρα

βλάστηση), το οποίο δεν αποτελεί σφάλμα, αφού στην περιοχή διαχρονικά έχουν υπάρξει αρκετές πυρκαγιές. Στις περισσότερες αστικές περιοχές, η πυκνότητα δόμησης δεν έχει διαφοροποιηθεί, με εξαίρεση τον οικισμό του Γέρακα και Καρούζι, που παρατηρείται πυκνότερη δόμηση. Το οδικό δίκτυο παραμένει αναύλωτο και στις δυο χρονολογίες, με αύξηση πυκνότητας δόμησης κατά μήκος της Λεωφόρου Μαραθώνος. Αλλαγή ακόμη παρατηρείται στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις, που όπως υποδουλώνουν οι δύο ταξινομήσεις, προκύπτει μεταβολή από Αμπελώνες σε Ελαιώνας, αντικείμενο που κατά πάσα πιθανότητα δεν αληθεύει στην πραγματικότητα και έχει προκύψει από σφάλμα αντιστοίχισης των κατηγοριών. Το γεγονός αυτό πιθανότατα οφείλεται στις μικρές γεωργικές εκτάσεις (χωράφια) που εναλλάσσονται από Αμπελώνες σε Ελαιώνας και η διακριτική ικανότητα του δορυφόρου αδυνατεί να τα εντοπίσει με ακρίβεια.

Σύγκριση μετά από ταξινόμηση

Στην εικόνα της σύγκρισης μετά από ταξινόμηση παρουσιάζονται οι παραπάνω αλλαγές που παρατηρήθηκαν από την σύγκριση των ταξινομήσεων. Στο μεγαλύτερο μέρος της εικόνας παρατηρούνται αλλαγές. Λίγες είναι οι περιοχές που δεν έχουν υποστεί. Οι μεγαλύτερες, φαίνονται στις περιοχές που υπάρχει μεγάλη υψομετρική διαφορά, και αυτό οφείλεται σε πιθανόν σκιάσεις που υπάρχουν. Όπως παρατηρήθηκε και από την σύγκριση των ταξινομήσεων, η πυκνότητα στην κωνοφόρα βλάστηση έχει διαφοροποιηθεί στο μεγαλύτερο μέρος, αντικείμενο που απεικονίζεται και στην εικόνα Land Cover Changes.

Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην εικόνα της διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI, παρουσιάζονται οι τυποποιημένες τιμές της εικόνας διαφοράς. Με κόκκινο και μπλε χρώμα είναι οι μεγαλύτερες διαφορές, ενώ ακολουθούν οι διαφορές με πράσινο και ροζ. Με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται οι πολύ μικρές διαφορές-σχεδόν αμελητέες. Από οπτική παρατήρηση και σύγκρισή της εικόνας διαφοράς με τις δυο εικόνες 2000 και 2018, οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται στις περιοχές με την κωνοφόρα βλάστηση, όπως και στις μισγάγγειες. Η περιοχή έχει αρκετές υψομετρικές διαφορές, οπότε οι σκιάσεις και η απορροές των υδάτων, έχουν σημαντική θέση στο αποτέλεσμα της μεθόδου.

Διαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI

Στην δυαδική εικόνα της μεθόδου του λόγου των δεικτών βλάστησης NDVI, με άσπρο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που δεν υπάρχει μεταβολή, ενώ με μαύρο χρώμα, οι περιοχές που υπάρχει μεταβολή. Με οπτική παρατήρηση της εικόνας, διακρίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της εικόνας έχει διαφοροποιηθεί, αντικείμενο που προέκυψε και στις παραπάνω μεθόδους. Οι κατηγορίες που υπέστησαν τις μικρότερες διαφοροποιήσεις είναι αυτές της αστικής δόμησης, και κυρίως στην περιοχή Βουνόπολη (αριστερό τμήμα της εικόνας).

Παλινδρόμηση εικόνας

Στην εικόνα της τεχνικής της παλινδρόμησης είναι εμφανή οι αλλαγές που αφορούν την αστική περιοχή. Έχουν διαχωριστεί οι οδικές αρτηρίες και οι δομημένες επιφάνειες γύρω από αυτές. Σημαντικό χαρακτηριστικό, αποτελεί η βλάστηση, η οποία φαίνεται να παρουσιάζει

μικρότερες διαφοροποιήσεις. Τέλος στην εικόνα, διακρίνεται με ευκρίνεια το ανάγλυφο της περιοχής.

Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA)

Το αποτέλεσμα της τεχνικής της ανάλυσης του διανύσματος μεταβολής CVA, αποτελείται από δυο εικόνες. Η πρώτη αποτελεί την εικόνα Magnitude, δηλαδή παρουσιάζει το μέγεθος του Vector και δείχνει το ποσό της αλλαγής, και η δεύτερη είναι η εικόνα Direction που δείχνει την συνιστώσα της κατεύθυνσης, δηλαδή ενημερώνει για τον τόπο της αλλαγής. Και οι δύο εικόνες παρουσιάζονται με αποχρώσεις του γκρι, όπου οι σκουρόχρωμες αποχρώσεις απεικονίζουν τα αμετάβλητα χαρακτηριστικά και οι ανοιχτόχρωμες τα μεταβλητά. Στην εικόνα Magnitude, οι μεγαλύτερες αλλαγές προκύπτουν στην κατηγορία του οδικού δικτύου. Από την εικόνα Direction, παρατηρούνται και μεταβολές στις κατηγορίες της βλάστησης, στην εικόνα, μικρότερες σε μέγεθος (αφού παρουσιάζονται με πιο σκούρες αποχρώσεις στην εικόνα magnitude), το οποίο υποδηλώνει αλλαγή σε κοντινές κατηγορίες (πχ από πυκνή σε μεσαία πυκνότητα κωνοφόρας βλάστησης).

Συνδυασμένη ανάλυση

Η ταξινομημένη εικόνα της συνδυασμένης ανάλυσης, παρέχει πληροφορίες για την θέση και το είδος των μεταβαλλόμενων και μη εικονοστοιχείων. Αλλαγές που διακρίνονται, αφορούν τις δομημένες επιφάνειες όπου έχει προέλθει πύκνωση των κτιριακών εγκαταστάσεων, και στις αστικές περιοχές, αλλά και γραμμικά του οδικού δικτύου. Ακόμη αλλαγές υπάρχουν και στην κωνοφόρα βλάστηση, όπου παρατηρείται πύκνωση στο δεξί τμήμα της εικόνας, και αραιώση στο πάνω και αριστερό τμήμα της εικόνας. Η ταξινόμηση, έχει διαχωρίσει τις βασικές κατηγορίες (αστικός ιστός, οδικό δίκτυο, κωνοφόρα βλάστηση και καλλιέργειες), όμως παρατηρείται σύγχυση στις υποκατηγορίες κυρίως της κωνοφόρας βλάστησης στο πάνω τμήμα της εικόνας. Τέλος προκύπτουν και αλλαγές από το γυμνό έδαφος σε βλάστηση, αντικείμενο λογικό, λόγω του μεγάλου διαστήματος μεταξύ των δυο χρονολογιών. Τα κίτρινα τμήματα, χαρακτηρίζουν αραιώση της κωνοφόρας βλάστησης, το οποίο μπορεί να δικαιολογηθεί παρατηρώντας τον χάρτη των πυρκαγιών.

8. Συμπεράσματα

Ο κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανίχνευση των αλλαγών χρήσεων γης και του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής της Ανατολικής Αττικής μεταξύ των περιόδων 2000 και 2018, με τηλεπισκοπικά δεδομένα του δορυφόρου Landsat και η εύρεση της κατάλληλης τεχνικής ανίχνευσης. Η εμπειρία αυτής της εργασίας αποδεικνύει ότι είναι δυνατόν να εντοπιστούν τόσο μεγάλες όσο και μικρότερες αλλαγές χρησιμοποιώντας την επιστήμη της τηλεπισκόπησης.

Η ανίχνευση των αλλαγών, πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή δυο γενικών τεχνικών. Η πρώτη αφορούσε την επεξεργασία των δεδομένων αλγεβρικά, χωρίς ταξινόμηση, με τις μεθόδους Image Differencing, Image Ratioing, Image Regression και Change Vector Analysis όπου τα αποτελέσματα παρουσίαζαν ποσοτικά τις αλλαγές, και η δεύτερη τεχνική αφορούσε την επεξεργασία των δεδομένων με ταξινόμηση, δηλαδή, την ταξινόμηση των εικόνων μεμονωμένα και σύγκριση των ταξινομήσεων για την ανίχνευση της αλλαγής και ομαδοποίηση των αρχικών δεδομένων και έπειτα ταξινόμηση με περιοχές εκπαίδευσης τις μεταβλητές επιφάνειες, όπου εκτός από τις ποσοτικές πληροφορίες των τεχνικών προέκυψαν και οι ποιοτικές, που αφορούσαν το είδος της αλλαγής.

Η τεχνική Image Differencing, με τις τυποποιημένες τιμές, έδωσε ένα αξιόλογο αποτέλεσμα για την χωροθέτηση των αλλαγών, και κυρίως των αλλαγών που αφορούσαν την βλάστηση. Η τεχνική Image Ratioing, για την περιοχή μελέτης της Ανατολικής Αττικής, παρουσίασε κάποια σύγχυση στα αποτελέσματα των αλλαγών μεταξύ των δυο χρονολογιών, αντικείμενο που δείχνει και την σημαντικότητα του κατάλληλου κατωφλίου της εικόνας. Η τεχνική Image Regression, παρουσίασε μια καλή εκτίμηση των αλλαγών της περιοχής, δίνοντας έμφαση στις δομημένες επιφάνειες (αστική περιοχή, οδικές αρτηρίες) και λιγότερο στις περιοχές με βλάστηση. Οι δυο εικόνες της τεχνικής Change Vector Analysis, Magnitude και Direction, αποτύπωσαν με περισσότερη λεπτομέρεια τις αλλαγές και φάνηκε κατάλληλη για την ανίχνευση των αλλαγών και των δομημένων εκτάσεων αλλά και της βλάστησης. Η φωτοερμηνεία και ανάλυση των εικόνων CVA, ήταν δυσκολότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες αλγεβρικές τεχνικές. Η μέθοδος με ταξινόμηση, όπου ταξινομήθηκαν οι αρχικές εικόνες και έπειτα συγκρίθηκαν οι ταξινομήσεις, έδωσε μια πιο σαφή εικόνα για τις αλλαγές των χρήσεων γης, όμως αποτελούσε ως προϋπόθεση την εμπειρία του ερευνητή, ώστε να κατηγοριοποιηθούν σωστά οι χρήσεις γης και στη συνέχεια να ταξινομηθούν σωστά. Τέλος, η τεχνική όπου ομαδοποιήθηκαν οι αρχικές εικόνες και η Image Differencing, και σχηματίστηκαν πολύγωνα στις αλλαγμένες περιοχές, έδωσε το καλύτερο αποτέλεσμα ως προς την χωροθέτηση και το είδος των αλλαγών, αλλά εξίσου το αποτέλεσμα εξαρτάται από την εμπειρία του ερευνητή.

Σημαντικός παράγοντας για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου, αποτεούν οι αλλαγές χρήσεων γης που ενδιαφέρουν την εκάστοτε μελέτη και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Το χρονικό διάστημα των 18 ετών είναι αρκετά μεγάλο, και παράγοντες όπως η κλιματική αλλαγή και οι σκιές πρέπει σίγουρα να ληφθούν υπόψη.

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά επιλεγμένων δορυφορικών αισθητήρων. (Πηγή: (Townshend, 1988)).....	16
Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά των αστικών και φυσικών τοπίων με τις αντίστοιχες απαιτήσεις χωρικής και φασματικής ανάλυσης. (Πηγή: (Jensen, 1999), (Franklin S. E., 2000))	17
Πίνακας 4. Κανάλια Landsat 5. (Πηγή: (USGS))	48
Πίνακας 5. Κανάλια Landsat 8. (Πηγή: (USGS))	48
Πίνακας 6. Απόκτηση εικόνων 2000, 2018. (Πηγή: (Explorer))	50
Πίνακας 7. Στατιστικά διαδικασίας FLAASH	54
Πίνακας 8. Εικόνες περιοχής μελέτης (RGB-321, φυσικά χρώματα), μετά την προεπεξεργασία των δεδομένων.	55
Πίνακας 9. Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης των εικόνων 2000 και 2018.	56
Πίνακας 10. Μέθοδος κυρίων συνιστωσών των εικόνων 2000 και 2018.	57
Πίνακας 11. Διαφορά εικόνας των δεικτών βλάστησης.	58
Πίνακας 12. Κατωφλίωση εικόνας διαφοράς με την μέθοδο Otsu.	59
Πίνακας 13. Κατωφλίωση εικόνας διαφοράς με τις τυποποιημένες τιμές.	60
Πίνακας 14. Εικόνα διαφοράς, κατωφλιωμένη εικόνα διαφοράς - μέθοδος Otsu, κατωφλιωμένη εικόνα διαφοράς - τυποποιημένες τιμές	61
Πίνακας 15. Λόγος εικόνων κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης, λόγος εικόνων κυρίων συνιστωσών και κατωφλίωση εικόνων με τη μέθοδο Otsu.	63
Πίνακας 16. Συνάρτηση παλινδρόμησης του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και των κυρίων συνιστωσών.	63
Πίνακας 17. Εικόνες παλινδρόμησης κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και κυρίων συνιστωσών.	64
Πίνακας 18. Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών για τις εικόνες του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και των κυρίων συνιστωσών.	66
Πίνακας 19. Κατηγορίες πολυγώνων εκπαίδευσης και φασματικές υπογραφές.....	66
Πίνακας 20. Κατηγορίες πολυγώνων εκπαίδευσης με στατιστικά (αριθμός πολυγώνων και έκταση).....	73
Πίνακας 21. Κατηγορίες πολυγώνων ελέγχου με στατιστικά (αριθμός πολυγώνων και έκταση)	74
Πίνακας 22. Ταξινόμηση εικόνας 2000, με το υπόμνημα και τα στατιστικά στοιχεία.	75
Πίνακας 23. Αντιστοίχιση κατηγοριών με αρίθμηση.....	76
Πίνακας 24. Στατιστικά στοιχεία ταξινομημένης εικόνας 2000 για την κάθε κατηγορία.	77
Πίνακας 25. Ταξινόμηση εικόνας 2018, με το υπόμνημα και τα στατιστικά στοιχεία.	78
Πίνακας 26. Στατιστικά στοιχεία ταξινομημένης εικόνας 2018 για την κάθε κατηγορία.....	79
Πίνακας 27. Μεταβολές της κάθε κατηγορίας και σχολιασμός.	80
Πίνακας 28. Ποσοτικές μεταβολές των κατηγοριών.	82
Πίνακας 29. Ποιοτικές μεταβολές των κατηγοριών.	84
Πίνακας 30. Κατηγορίες πολυγώνων εκπαίδευσης και ελέγχου για τη συνδιασμένη ανάλυση.	89
Πίνακας 31. Αποτελέσματα ταξινόμησης συνδιασμένης ανάλυσης με στατιστικά στοιχεία.	89
Πίνακας 32. Στατιστικά στοιχεία ταξινομημένης συνδιασμένης ανάλυσης για την κάθε κατηγορία.....	91

Πίνακας 33. Πολύγωνο 1, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.....	96
Πίνακας 34. Πολύγωνο 2, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.....	100
Πίνακας 35. Πολύγωνο 3, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.....	104
Πίνακας 36. Πολύγωνο 4, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.....	108
Πίνακας 37. Πολύγωνο 5, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.....	112
Πίνακας 38. Πολύγωνο 6, τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών.....	116

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα . Εικόνα 1. Τα επτά βήματα που αποτελούν το βασικό σύνολο επεξεργασίας των διαστημικών δεδομένων τηλεπισκόπησης. (Πηγή: (Αθηνών, 2014)).....	12
Εικόνα 2. Προσομοίωση Δορυφορικού Σχηματισμού. (Πηγή: (Μπούσιας-Αλεξάκης, 2013))	13
Εικόνα 3. Βήματα Ανίχνευσης Αλλαγής. (Πηγή: (AI-doski, 2013)).....	19
Εικόνα 4. Image Differencing (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014))	29
Εικόνα 5. Παλινδρόμηση Εικόνας.(Πηγή: (Βασιλάκη, 2014))	31
Εικόνα 6. Φασματική Υπογραφή Βλάστησης. (Πηγή: (Καρτάλης, 2017)).....	32
Εικόνα 7. Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών - CVA. (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014)).....	33
Εικόνα 8. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών. (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014)).....	35
Εικόνα 9. Διάγραμμα Τεχνικής μετά-ταξινόμησης. (Πηγή: (AI-doski, 2013)).....	36
Εικόνα 10. Σύγκριση μετά από ταξινόμηση και παράδειγμα του πίνακα αλλαγών. (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014)).....	36
Εικόνα 11. Άμεση ταξινόμηση πολλών ημερομηνιών μαζί. (Πηγή: (Βασιλάκη, 2014)).....	37
Εικόνα 12. Δείκτης Gini στην εύρεση βέλτιστων ορίων διαχωρισμού. (Πηγή: (Πατσαλίδης, 2018)).....	39
Εικόνα 13. Παράδειγμα ταξινόμησης άγνωστης τάξης εικονοστοιχείων με τον αλγόριθμο Random Forest. (Πηγή: (Random forest, 2021)).....	40
Εικόνα 14. Απόσπασμα περιοχής μελέτης (Πηγή: Google Earth).....	43
Εικόνα 15. Δημοτικές ενότητες περιοχής μελέτης (Πηγή: (Νομαρχία Ανατολικής Αττικής, 2021)).....	43
Εικόνα 16. Πρωτογενής Τομέας (Πηγή: (ΑΓΡΟΤύπος) (Kozanilife.gr) (Radio-ANTENNA-N.ΕΛΛΑΣ)).....	44
Εικόνα 17. Ολικό ύψος Υετού.....	45
Εικόνα 18. Μέση Ταχύτητα Ανέμου	45
Εικόνα 19. Μέση Θερμοκρασία Αέρα	45
Εικόνα 20. Υψηλότερα σημεία Περιοχής Μελέτης.....	45
Εικόνα 21, Χρήσεις Γης, ΥΠΕΚΑ (Πηγή: (yρεka))	46
Εικόνα 22. Πυρκαγιές Ανατολική Αττική 1999-2018. (Πηγή: (Seviri_Monitor))	46
Εικόνα 23. Συχνότητα Πυρκαγιών Ανατολική Αττική 1999-2018. (Πηγή: (Seviri_Monitor)) ...	47
Εικόνα 24. Δορυφορική σάρωση της επιφάνειας της γης, από το αισθητήρα OLI (Landsat 8). (Πηγή: (Μανατάκης Χαράλαμπος, 2018)).....	48
Εικόνα 25. Απόσπασμα Radiometric Calibration - ENVI.....	52
Εικόνα 26. Απόσπασμα FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters - ENVI....	53
Εικόνα 27. Απόσπασμα FLAASH Advanced Settings - ENVI	53
Εικόνα 28. Εικόνα 2000 μετά την προεπεξεργασία με φυσικά χρώματα.....	55
Εικόνα 29. Εικόνα 2018 μετά την προεπεξεργασία με φυσικά χρώματα.....	55

Εικόνα 30. Υπολογισμός ευκλείδειας απόστασης στην τεχνική ανάλυσης του διανύσματος αλλαγών με τα κανάλια 3 και 4 (κόκκινο και υπέρυθρο).....	65
Εικόνα 31. Στοιχεία εισόδου στο plugin 'dzetsaka'.....	73
Εικόνα 32. Εισαγωγή στοιχείων για υπολογισμό της ακρίβειας στο plugin 'Semi-automatic classification'.....	74
Εικόνα 33. Ποσοτικές μεταβολές των 5 κατηγοριών.....	83
Εικόνα 34. Ποσοτικές μεταβολές των 5 κατηγοριών χωρίς τις κατηγορίες του γυμνού εδάφους 24 και 26.....	83
Εικόνα 35. Ποσοτικές μεταβολές των 4 κατηγοριών (χωρίς την κατηγορία με τα αμετάβλητα στοιχεία).....	83
Εικόνα 36.. Ποσοτικές μεταβολές των 4 κατηγοριών χωρίς τις κατηγορίες του γυμνού εδάφους 24 και 26 και των αμετάβλητων στοιχείων.....	83
Εικόνα 37. Αμετάβλητα Στοιχεία.....	84
Εικόνα 38. Αμετάβλητα στοιχεία, χωρίς τις κατηγορίες του γυμνού εδάφους 24 και 26.	84
Εικόνα 39. Ποσοτικές μεταβολές 0-5000 εικονοστοιχεία.....	84
Εικόνα 40. Ποσοτικές μεταβολές 0-5000 εικονοστοιχεία, χωρίς τις κατηγορίες του γυμνού εδάφους 24 και 26.....	84
Εικόνα 41. Ποσοτικές μεταβολές 5000-10000 εικονοστοιχεία.....	84
Εικόνα 42. Ποσοτικές μεταβολές 5000-10000 εικονοστοιχεία, χωρίς τις κατηγορίες του γυμνού εδάφους 24 και 26.....	84
Εικόνα 43. Ποσοτικές μεταβολές 10000+ εικονοστοιχεία.....	84
Εικόνα 44. Ποσοτικές μεταβολές 10000+ εικονοστοιχεία, χωρίς τις κατηγορίες του γυμνού εδάφους 24 και 26.....	84
Εικόνα 45. Ποιοτικές μεταβολές των 7 κατηγοριών.....	85
Εικόνα 46. Ποιοτικές μεταβολές των 4 κατηγοριών.....	85
Εικόνα 47. Μεταβολές της Βλάστησης.....	86
Εικόνα 48. Μεταβολές της Δόμησης.....	87
Εικόνα 49. Μεταβολές του γυμνού εδάφους και της βλάστησης.....	87
Εικόνα 50. Διαχωρισμός μεταβολών από την ταξινόμηση με τη συνδιασμένη ανάλυση.....	90
Εικόνα 51. Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2000.....	92
Εικόνα 52. Έγχρωμο σύνθετο RGB εικόνας 2018.....	92
Εικόνα 53. Ταξινόμηση εικόνας 2000.....	93
Εικόνα 54. Ταξινόμηση εικόνας 2018.....	93
Εικόνα 55. Τυποποιημένες τιμές εικόνας διαφοράς των δεικτών βλάστησης NDVI.....	94
Εικόνα 56. Δυαδική αναπαράσταση του λόγου εικόνας των δεικτών βλάστησης NDVI.....	94
Εικόνα 57. Παλινδρόμηση εικόνας.....	94
Εικόνα 58. Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Magnitude που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών.....	95
Εικόνα 59. Ανάλυση διανύσματος μεταβολής (CVA), εικόνα Direction που δημιουργήθηκε από τα δύο νέα κανάλια της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών.....	95
Εικόνα 60. Συνδυασμένη ανάλυση.....	95
Εικόνα 61. Σύγκριση μετά από ταξινόμηση.....	95

Αναφορές

- Akin, S. B. (2009). Assessing Different Remote Sensing Techniques to Detect Land Use/Cover Changes in the Eastern Mediterranean. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 46-53.
- Al-doski, J. S. (2013). Change detection process and techniques. *Civil and Environmental Research*.
- Barnsley, M. J.-J. (2000). Inferring urban land use by spatial and structural pattern recognition. *Remote Sensing and Urban Analysis, London: Taylor and Francis*, 115-144.
- Bayarsaikhan, U. e. (2009). Change detection and classification of land cover at Hustai National Park in Mongolia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 273-280.
- Berberoglu, S. a. (2009). Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 46-53.
- Berberoglu, S. a. (2009). Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 46-53.
- Binh, T. N. (2005). Land cover changes between 1968 and 2003 in Cai Nuoc, Ca Mau peninsula, Vietnam. *Environment, Development and Sustainability*, 519-536.
- Borak, J. S. (2000). The use of temporal metrics for land cover change detection at coarse spatial scales. *International Journal of Remote Sensing*, 1415-1432.
- Cardille, J. A. (2003). Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995. *Evidence from integrated satellite and census data. Remote Sensing of Environmen*, 551-562.
- Chavula, G. P. (2011). Land use and land cover change (LULC) in the Lake Malawi Drainage Basin, 1982-2005. *International Journal of Geosciences*, 172.
- Chen, X. L. (2005). A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time. *Remote Sensing of Environment*, 63-79.
- Cheng, F.-Y. a. (2008). Application of high resolution land use and land cover data for atmospheric modeling in the Houston–Galveston metropolitan area, Part I: Meteorological simulation results. *Atmospheric Environment*, 7795-7811.
- Civco, D. L. (2002). A comparison of land use and land cover change detection methods. *ASPRS-ACSM Annual Conference*.

- Cohen, W. B. (1998). An efficient and accurate method for mapping forest clearcuts in the Pacific Northwest using Landsat imagery. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 293-299.
- Coppin, P. R. (1996). Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote sensing reviews*, 207-234.
- Criminisi, A. J. (2011). Decision forests for classification, regression, density estimation, manifold learning and semi-supervised learning. *Microsoft Research Cambridge, Tech. Rep. MSRTR-2011*.
- Cutler, D. R. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 2783-2792.
- Desclée, B. P. (2006). Forest change detection by statistical object-based method. *Remote sensing of environment*, 1-11.
- Dewidar, K. M. (2004). Detection of land use/land cover changes for the northern part of the Nile delta (Burullus region), Egypt. *International journal of remote sensing*, 4079-4089.
- Dewidar, K. M. (2004). Detection of land use/land cover changes for the northern part of the Nile delta (Burullus region), Egypt. *International journal of remote sensing*, 4079-4089.
- Diallo, Y. G. (2009). Applications of remote sensing in land use/land cover change detection in Puer and Simao Counties, Yunnan Province. *Journal of American Science*, 157-166.
- Donnay, J.-P. M. (2000). Remote sensing and urban analysis. *GISDATA 9. CRC Press*.
- Explorer, U. E. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Fadhil, A. M. (2009). LAND DEGRADATION DETECTION USING GEO-INFORMATIONTECHNOLOGY FOR SOME SITES IN IRAQ. *Al-Nahrain Journal of Science*, 94-108.
- Fan, F. Q. (2007). Land use and land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on Landsat TM/ETM+ imagery. *Sensors*, 1323-1342.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote sensing of environment*, 185-201.
- Franklin, S. E. (2000). Incorporating texture into classification of forest species composition from airborne multispectral images. *International journal of remote sensing*, 61-79.
- Franklin, S. E. (2001). Remote sensing for sustainable forest management. *CRC press*.
- Franklin, S. E. (2002). Remote sensing methods in medium spatial resolution satellite data land cover classification of large areas. *Progress in Physical Geography*, 173-205.
- Fung, T. (1990). An assessment of TM imagery for land-cover change detection. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 681-684.

- Gallego, F. J. (2004). Remote sensing and land cover area estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 3019-3047.
- Geymen, A. a. (2008). Monitoring urban growth and detecting land-cover changes on the Istanbul metropolitan area. *Environmental monitoring and assessment*, 449-459.
- Gier., H. a. (1994). Forest cover change detection analysis using remote sensing: a test for the spatially resolved area production model. *EGIS-MARI 1994: conference proceedings 5th european conference and exhibition on GIS*, 1825-1834.
- Hastie, T. R. (2009). Random forests. *The elements of statistical learning*. Springer, New York, NY,, 587-604.
- Henebry, G. M. (1993). Detecting change in grasslands using measures of spatial dependence with Landsat TM data. *Remote sensing of environment*, 223-234.
- Houet, T. P. (2010). Monitoring and modelling landscape dynamics. *Landscape Ecology* , 163-167.
- Jaiswal, R. K. (1999). Application of remote sensing technology for land use/land cover change analysis. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* , 123-128.
- Jensen. (2005). A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification. *Remote Sensing of Environment*, 326-340.
- Jensen, J. R. (1999). Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 611-622.
- Jin, H. P. (2008). Land cover classification using multitemporal CHRIS/PROBA images and multitemporal texture. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
- Kennedy, R. E. (2009). Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects. *Remote sensing of environment*, 1382-1396.
- Kesgin, B. a. (2009). Land cover changes on the coastal zone of Candarli Bay, Turkey using remotely sensed data. *Environmental monitoring and assessment*, 89-96.
- Kozanilife.gr. (χ.χ.). *Η κτηνοτροφία στην Ελλάδα, ο δεύτερος κύριος τομέας της πρωτογενούς παραγωγής.* Ανάκτηση από Kozanilife.gr:
<https://www.kozanilife.gr/2019/12/16/%CE%B7-%CE%BA%CF%84%CE%B7%CE%BD%CE%BF%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%AF%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%CE%BF-%CE%B4%CE%B5%CF%8D%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%82-%CE%BA/>
- Lam, R. a. (2002). Spatial methods for characterising land cover and detecting land-cover changes for the tropics. *International Journal of Remote Sensing*, 2457-2474.

- Lambin, E. F. (1994). Change-vector analysis in multitemporal space: A tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data. *Remote sensing of environment*, 231-244.
- Lambin, E. F. (1997). Land-cover changes in sub-Saharan Africa (1982–1991): Application of a change index based on remotely sensed surface temperature and vegetation indices at a continental scale. *Remote sensing of environment*, 181-200.
- Lawrence, R. L. (1999). Calculating change curves for multitemporal satellite imagery: Mount St. Helens 1980–1995. *Remote sensing of environment*, 309-319.
- Lillesand, R. K. (1994). Remote sensing and image interpretation. (4th ed.), Wiley.
- Lillesand, T. K. (2004). Remote sensing and image interpretation.
- Liu, J. e. (2015). Sensitive electrochemical immunosensor for α -fetoprotein based on graphene/SnO₂/Au nanocomposite. *Biosensors and Bioelectronics*, 82-87.
- Lo, C. P. (1990). A GIS approach to land-use change dynamics detection. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1483-1491.
- Loveland, T. R. (2002). A Strategy for Estimating the Rates of Recent United States Land-Cover Changes. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1091-1099.
- Lu, D. e. (2004). Change detection techniques. *International journal of remote sensing*, 2365-2401.
- Lyon, J. G. (1998). A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 143-150.
- M. K. Ridd and J. Liu. (1998). A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in an Urban Environment. *Remote Sensing of Environment*, 95-100.
- Macías, D. A.-G. (2014). The relevance of deep chlorophyll maximum in the open Mediterranean Sea evaluated through 3D hydrodynamic-biogeochemical coupled simulations. *Ecological Modelling*, 26-37.
- Macleod, R. D. (1998). A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 207-216.
- Malila, W. A. (1980). Change vector analysis: an approach for detecting forest changes with Landsat. *LARS symposia*.
- Martinez-Fernandez, C. e. (2012). Shrinking cities: Urban challenges of globalization. *International journal of urban and regional research*, 213-225.
- Meyer, W. B. (1992). Human population growth and global land-use/cover change. *Annual review of ecology and systematics*, 39-61.

- Mo, M. e. (2009). Ecosystem health assessment of Honghu Lake wetland of China using artificial neural network approach. *Chinese Geographical Science*, 349.
- Morisette, J. T. (1999). Land-cover change detection enhanced with generalized linear models. *International journal of remote sensing*, 2703-2721.
- Moshen, Y. M. (1999). Method for Cleaning the Outer and Inner Surface of the Cylinder with Swirling Water Jet. *CHINA SAFETY SCIENCE JOURNA*.
- Muchoney, D. M. (1994). Change detection for monitoring forest defoliation. *Photogrammetric engineering and remote sensing* , 1243-1252.
- Müllerová, J. (2005). Use of digital aerial photography for sub-alpine vegetation mapping: A case study from the Krkonoše Mts., Czech Republic. *Plant Ecology*, 259-272.
- Muttitanon, W. a. (2005). Land use/land cover changes in the coastal zone of Ban Don Bay, Thailand using Landsat 5 TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 2311-2323.
- Naumann, S. a. (2004). Object-oriented image analysis and change detection of land-use on Tenerife related to socio-economic conditions. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IV*.
- Nordberg, M.-L. a. (2003). Monitoring change in mountainous dry-heath vegetation at a regional Scale Using multitemporal landsat TM data. *A Journal of the Human Environment*, 502-509.
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 62-66.
- P. J. Howarth and G. M. Wickware. (1981). Procedures for Change Detection Using Landsat Digital Data. *International Journal of Remote Sensing*, 277-291.
- Paola, J. D. (1997). The effect of neural-network structure on a multispectral land-use/land-cover classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 535-544.
- Paradzayi, C. e. (2008). Field surveys for biomass assessment in African savanna woodlands. *IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
- Paradzayi, C. e. (2008). Field surveys for biomass assessment in African savanna woodlands. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
- Pellemans, A. M. (1993). Merging multispectral and panchromatic SPOT images with respect to the radiometric properties of the sensor. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 81-87.
- Perea, A. J. (2009). Application of Numenta® Hierarchical Temporal Memory for land-use classification. *South African Journal of Science*, 370-375.

- Prakash, A. a. (1998). Land-use mapping and change detection in a coal mining area-a case study in the Jharia coalfield, India. *International journal of remote sensing*, 391-410.
- R. Nelson, 7. (1983). Detecting Forest Canopy Change Due to Insect Activity Using Landsat MSS,. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1303- 1314.
- Radio-ANTENNA-N.ΕΛΛΑΣ. (χ.χ.). Επίσπευση των διαδικασίες καταγραφής των ζημιών στους ελαιώνες ζητά το ΜέΡΑ25. Ανάκτηση από ANTENNA N.ΕΛΛΑΣ Radio: <https://ant1south.gr/%CE%B5%CF%80%CE%AF%CF%83%CF%80%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AE/>
- Random forest.* (2021, 2 1). Ανάκτηση από wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Random_forest#/media/File:Random_forest_diagram_complete.png
- Rao, P. K. (2002). Remote sensing: A technology for assessment of sugarcane crop acreage and yield. *Sugar Tech*, 97-101.
- Ridd, M. K. (1998). A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. *Remote sensing of environment*, 95-100.
- Rokach, L. (2010). Ensemble-based classifiers. *Artificial intelligence review*, 1-39.
- Seviri_Monitor. (χ.χ.). Ανάκτηση από <http://195.251.203.238/seviri/>
- Shalaby, A. a. (2007). Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 28-41.
- Sidike, A. S. (2014). Estimating soil salinity in Pingluo County of China using QuickBird data and soil reflectance spectra. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 156-175.
- Singh, A. (1989). Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International journal of remote sensing*, 989-1003.
- Sohl, T. L. (1999). Change analysis in the United Arab Emirates: an investigation of techniques. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 475-484.
- Song, C. e. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote sensing of Environment*, 230-244.
- Stoney, W. E. (2006). ASPRS guide to land imaging satellites. *NOAA Commercial Remote Sensing Symposium: Key Trends and Challenges in the Global Marketplace*.

- Stramondo, S. e. (2006). Satellite radar and optical remote sensing for earthquake damage detection: results from different case studies. *International Journal of Remote Sensing*, 4433-4447.
- Strobl, C. a. (2008). Danger: High power!—exploring the statistical properties of a test for random forest variable importance.
- Stroppiana, D. e. (2002). Radiometric analysis of SPOT-VEGETATION images for burnt area detection in Northern Australia. *Remote Sensing of Environment*, 21-37.
- Sun, Z. R. (2009). Using Landsat data to determine land use changes in Datong basin, China. *Environmental geology*, 1825-1837.
- Sunar, F. (1998). An analysis of changes in a multi-date data set: a case study in the Ikitelli area, Istanbul, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 225-235.
- Teng, X. P. (2008). Modulation classification based on spectral correlation and SVM. *4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. IEEE*,.
- Tong, X.-Y. e. (2020). Land-cover classification with high-resolution remote sensing images using transferable deep models. *Remote Sensing of Environment*, 111-322.
- Torahi, A. A. (2011). Land cover classification and forest change analysis, using satellite imagery-a case study in Dehdez area of Zagros Mountain in Iran. *Journal of geographic information system*.
- Townshend, J. R. (1988). Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations. *International Journal of Remote Sensing*, 187-236.
- Treitz, P. M. (1992). Application of satellite and GIS technologies for land-cover and land-use mapping at the rural-urban fringe: a case study. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 439-448.
- Tyler, S. (1996). Chernobyl Revisited: Monitoring Change with Change Vector Analysis. *Geocarto International*, 13-27.
- USGS. (χ.χ.). *Landsat 4-5 TM and Landsat 7 ETM+ bands and their uses*. Ανάκτηση από <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-4-5-tm-and-landsat-7-etm-bands-and-their-uses>
- USGS. (χ.χ.). *Landsat 8 band designations*. Ανάκτηση από <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-band-designations>
- Verburg, P. H. (2003). Methodology for multi-scale land-use change modelling: Concepts and challenges. *Global environmental change and land use*. Springer, Dordrecht, 17-51.
- Wang, F. (1993). A knowledge-based vision system for detecting land changes at urban fringes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 136-145.

- Wang, X. e. (2013). Changes of glacial lakes and implications in Tian Shan, central Asia, based on remote sensing data from 1990 to 2010. *Environmental Research Letters*, 44-52.
- Williams, D. L. (2006). Landsat. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* , 1171-1178.
- Williams, D. L. (2006). Landsat. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1171-1178.
- Woodwell, G. M. (1986). Changes in the area of forests in Rondônia, Amazon Basin, measured by satellite imagery. *The changing carbon cycle*, 242-257.
- Xie, H. Y. (2011). Land use/cover change study of Lianyungang coastal zone based on remote sensing. *19th International Conference on Geoinformatics*.
- Xiubin, L. (1996). A review of the international researches on land use/land cover change. *Acta Geographica Sinica*.
- γρεκα. (χ.χ.). Ανάκτηση από <http://msa.γρεκα.gr/>
- Yue, T. X. (2002). A curve-theorem based approach for change detection and its application to Yellow River Delta. *International Journal of Remote Sensing*, 2283-2292.
- Zaki, R. A. (2011). Land use and land cover changes in arid region: The case new urbanized zone, northeast cairo, egypt. *Journal of Geographic Information System*, 173.
- Zhang, Q. (2002). Urban built-up land change detection with road density and spectral information from multi-temporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 3057-3078.
- Zhang, R. a. (2011). Study of land cover classification based on knowledge rules using high-resolution remote sensing images. *Expert Systems with Applications*, 3647-3652.
- Zhou, X. a.-C. (2011). Dynamics of land surface temperature in response to land-use/cover change. *Geographical Research*, 23-36.
- Zoran, M. a. (2006). The use of multi-temporal and multispectral satellite data for change detection analysis of the Romanian Black Sea coastal zone. *Journal of optoelectronics and advanced materials*, 252.
- ΑΓΡΟΤύπος. (χ.χ.). Ανάκτηση από ΑΓΡΟΤύπος:
<https://www.agrotypos.gr/kalliergeies/ampeli/nea-dedomena-sto-pollaplastiastiko-yliko-ampelou-ti-perilamvanei-i-schetiki>
- Αθηνών, Χ. Π. (2014, Ιούνιος). *Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση*. Ανάκτηση από Slideshare:
<https://www.slideshare.net/JohnTzortzakis/ss-44126824>
- Βασιλάκη, Π. (2014). Παρακολούθηση των αλλαγών της κάλυψης γης με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. *ΑΠΘ*, 1-160.
- Καρτάλης, Κ. (2017). Υποστηρικτικές σημειώσεις για το μάθημα κλίμα και κλιματική αλλαγή. *Διάδοση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας*, 19.

Μανατάκης Χαράλαμπος, Δ. Ε. (2018). Διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών των χρήσεων γης στο Δήμο Χανίων, με χρήση λόγων φασματικών καναλιών του δορυφόρου Landsat. *Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης*, 1.

Μπούσιας-Αλεξάκης. (2013). *Προσομοίωση προηγμένων τεχνικών εκτίμησης και βελτίωσης σχεδιασμού και μελέτης δορυφορικών γεωδαιτικών συστημάτων επόμενης γενιάς*. Ανάκτηση από DOCplayer: <https://docplayer.gr/40414470-Prosomoiosi-proigmenon-tehnikon-ektimisis-kai-veltiosis-shediasmoyn-kai-meletis-doryforikon-geodaitikon-systimaton-epomenis-genias.html>

Νομαρχία Ανατολικής Αττικής. (2021, 1 8). Ανάκτηση από Βικιπαίδεια: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%AF%CE%B1_%CE%91%CE%BD%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82_%CE%91%CF%84%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82

Πατσαλίδης, Σ. (2018). Αξιολόγηση της απόδοσης και ευαισθησίας του ταξινομητή Random Forest για τη δημιουργία θεματικών χαρτών κάλυψης/χρήσης γης, με τη χρήση δεδομένων Sentinel-2 και Landsat-8. *Πτυχιακή εργασία*, 31.

Περιφέρεια-Αττικής. (2014). Περιφερειακή ενότητα Ανατολικής Αττικής, διεύθυνση αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής. *Γη: Τροφός της Γεωργίας και των Αγαθών της*, 1-71.

Το_κλίμα_της_Ελλάδας. (χ.χ.). Ανάκτηση από <http://klimaonline.weebly.com/kappalambdaiotamualpha-epsilonlambdalambdaalphadeltaalphasigma.html>