

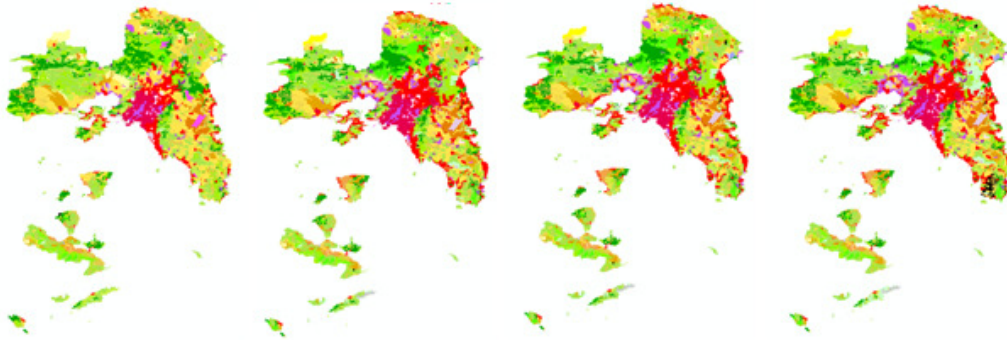


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

**ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΩΝ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΝΟΙΧΤΑ  
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ  
ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΚΩΔΙΚΑ**



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπούσουλας Γρηγόριος

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ

---

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

**ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΩΝ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΝΟΙΧΤΑ  
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΚΩΔΙΚΑ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπούσουλας Γρηγόριος

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 28η Σεπτεμβρίου 2016

.....  
.....

Κ. Καράντζαλος

Δ. Αργιαλάς

Μ. Κόκλα

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Επ.Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Επιβλέπων

---

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016

Μπούσουλαι Γρηγόριος

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

---

Copyright © Μπούσουλαι Γρηγόριος, 2016

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 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

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο «*Δημιουργία και Οπτικοποίηση χωρο-χρονικών δεδομένων από υψηλής ανάλυσης ανοιχτά τηλεπισκοπικά δεδομένα με χρήση λογισμικού ελεύθερου κώδικα*» εκπονήθηκε στον Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με κύριο στόχο τη δημιουργία χωρο-χρονικών δεδομένων από δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης και τη διερεύνηση και αξιολόγηση μεθόδων οπτικοποίησης.

Η επιστήμη και κατάρτιση του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού τον βοηθά να έχει υψηλού επιπέδου αντίληψη του γεωγραφικού χώρου, της ακρίβειας και της γεωπληροφορίας. Επιπλέον, η βελτίωση της τεχνολογίας και η αξιοποίηση νέων επιστημονικών δεδομένων έχει δώσει μια νέα ώθηση να παρέχει γρήγορες, οικονομικές και ακριβείς μεθόδους για τις εφαρμογές της Γεωπληροφορικής, κάτι που αποτέλεσε και το κίνητρο για την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Πριν την παρουσίαση της εργασίας μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου, κ. Καραντζαλο Κωνσταντίνο, για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράστασή του σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Τέλος –και πιο σημαντικό–θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου: τη σύζυγό μου Δήμητρα, που με υποστήριξε με κάθε τρόπο, όλα αυτά χρόνια των σπουδών μου στο Ε.Μ.Π, τη μητέρα της, για την αμέριστη βοήθειά της · αφιερώνεται στο γιο μου Φίλιππο.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Πρόλογος</b> .....	<b>5</b>
<b>Περίληψη</b> .....	<b>9</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>13</b>
1.1. Αντικείμενο και Στόχοι της εργασίας .....	16
1.2. Δομή Εργασίας .....	17
<b>2. Σύγχρονα Δορυφορικά Συστήματα, Οπτικοποίηση Δεδομένων και Αναπαράσταση Χωρο-χρονικών φαινομένων</b> .....	<b>19</b>
2.1. Σύγχρονα Δορυφορικά Συστήματα Υψηλής Χωρικής Ανάλυσης.....	19
2.1.1. Γενικά Στοιχεία Δορυφόρου Landsat.....	19
2.1.2. Οι Δορυφόροι Landsat 4, 5, 7.....	20
2.1.3. Θεματικός Χαρτογράφος TM .....	21
2.1.4. Επαυξημένος Θεματικός Χαρτογράφος (ETM+) .....	22
2.1.5. Ο Δορυφόρος Landsat 8 .....	23
2.1.6. Τεχνικά χαρακτηριστικά προϊόντων .....	26
2.1.7. Παραδείγματα εφαρμογής έγχρωμων σύνθετων Landsat .....	26
2.2. Τι είναι η οπτικοποίηση .....	28
2.2.1. Οπτικοποίηση πληροφορίας (Information Visualization) .....	30
2.3. Αναπαράσταση χωρο-χρονικών φαινομένων .....	33
2.3.1. Η Έννοια του χρόνου.....	33
2.3.2. Τυποποιημένα Μοντέλα Χώρου και χρόνου .....	38
2.3.3. Οπτικοποίηση του χρόνου.....	41
2.3.4. Οπτικοποίηση του χώρου.....	44
2.3.5. Οπτικοποίηση χώρο χρονικών δεδομένων .....	45
<b>3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Τηλεπισκόπησης</b> .....	<b>61</b>
3.1. Ανασκόπηση Βασικών Αρχών Τηλεπισκόπησης.....	61
3.1.1. Πηγές ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και αρχές ακτινοβολίας .....	61
3.1.2. Ανακλαστικότητα Επιφανειών .....	62
3.1.3. Τηλεπισκοπικοί Αισθητήρες.....	65
3.1.4. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων .....	65
3.1.5. Πολυφασματική Εικόνα.....	66
3.1.6. Συγχώνευση εικόνων (Pansharpering) .....	67
3.1.7. Ραδιομετρική Διόρθωση .....	70
3.1.8. Γεωμετρική Διόρθωση.....	72

3.1.9. Μαθηματική Μορφολογία.....	73
3.1.10. Ταξινόμηση Εικόνων.....	76
<b>4. Ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη Δημιουργία και Οπτικοποίηση Χωρο- χρονικών Δεδομένων.....</b>	<b>79</b>
4.1. Περιοχή Μελέτης.....	79
4.2. Γεωχωρικά Δεδομένα.....	80
4.2.1. Δορυφορικές Εικόνες Landsat.....	80
4.2.2. Διανυσματικά Δεδομένα (Vector).....	83
4.3. Προεπεξεργασίες.....	83
4.3.1. Δημιουργία Πολυφασματικής Εικόνας.....	84
4.3.2. Συγχώνευση εικόνων (Pansharpering).....	84
4.3.3. Περικοπή εικόνων.....	85
4.4. Ορισμός μεθόδου – κλάσεων ταξινόμησης για την εφαρμογή επιβλεπόμενης ταξινόμησης.....	85
4.5. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	86
4.5.1. Αποτελέσματα εφαρμογής ταξινόμησης για τα έτη 1987 – 2015.....	88
4.6. Οπτικοποίηση χωρο-χρονικών δεδομένων.....	92
4.6.1. Διαμόρφωση Δεδομένων.....	92
4.6.2. Υλοποίηση οπτικοποίησης.....	94
<b>5. Ποσοτική και Ποιοτική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....</b>	<b>97</b>
5.1. Δημιουργία Πίνακα Σύγκρισης.....	97
5.2. Στατιστική Επεξεργασία.....	99
5.3. Ποιοτική Αξιολόγηση της τεχνικής οπτικοποίησης.....	101
<b>6. Συμπεράσματα και Προτάσεις.....</b>	<b>103</b>
6.1. Γενικά Συμπεράσματα.....	103
6.2. Ειδικότερα Συμπεράσματα.....	104
6.3. Προτάσεις.....	104
6.4. Επίλογος.....	105
<b>7. Βιβλιογραφία και Διαδικτυακοί Τύποι.....</b>	<b>107</b>
Παράρτημα Ι.....	113



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μεταπτυχιακή αυτή εργασία πραγματεύεται διεξοδικά μεθόδους και τεχνικές δημιουργίας και οπτικοποίησης χωρο-χρονικών δεδομένων, μέσα από τεχνικές Τηλεπισκόπησης, Χαρτογραφίας και GIS. Το τελικό αποτέλεσμα έχει κανονικοποιημένη (raster) μορφή, για να είναι εφικτή η περαιτέρω εκμετάλλευσή τους σε εφαρμογές οπτικοποίησης των χωρο-χρονικών δεδομένων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν διαχρονικές δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης Landsat (ανοιχτά δεδομένα) και το QGIS (λογισμικό ελεύθερου κώδικα).

Η μελέτη αυτή ουσιαστικά διερευνά το κατά πόσο δύναται τα παραχθέντα χωρο-χρονικά δεδομένα να ενταχθούν σε μία διαδικασία οπτικοποίησης και να γίνουν αντικείμενο εύκολης παρουσίασης και αξιοποίησης από τον τελικό χρήστη. Πιο συγκεκριμένα:

Στο *πρώτο Κεφάλαιο* παρουσιάζεται ο στόχος και η συνεισφορά της εργασίας.

Στο *δεύτερο Κεφάλαιο* παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του προγράμματος Landsat της USGS, ενώ ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα σύγχρονα δορυφορικά συστήματα Landsat 8 υψηλής χωρικής ανάλυσης. Επίσης, πραγματοποιείται μια εισαγωγή στην έννοια της Οπτικοποίησης και εξηγείται γιατί είναι σημαντικό να παρουσιάζεται η πληροφορία. Τέλος, αναλύεται η σημασία του χρόνου και παρουσιάζονται τα σημαντικότερα χωροχρονικά μοντέλα, ενώ στη συνέχεια αναλύονται οι σημαντικότερες εργασίες που συνδέονται με την οπτικοποίηση του χώρου, του χρόνου, καθώς και των χωροχρονικών δεδομένων.

Στο *τρίτο Κεφάλαιο* πραγματοποιείται μια ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Αναλύονται οι βασικότερες αρχές της Τηλεπισκόπησης και οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν για την εκπόνηση της εργασίας.

Στη συνέχεια, στο *Κεφάλαιο 4* παρουσιάζονται οι πειραματικές προεπεξεργασίες που έγιναν στα γεωχωρικά δεδομένα, τα αποτελέσματα από τις ταξινομήσεις που πραγματοποιήθηκαν, ώστε να προκύψουν τα χωρο-χρονικά δεδομένα, καθώς και το τελικό προϊόν της οπτικοποίησης.

Στο πέμπτο *Κεφάλαιο* πραγματοποιείται ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του προηγούμενου κεφαλαίου.

Τέλος, στο *Κεφάλαιο 6* περιλαμβάνονται τα τελικά συμπεράσματα από το σύνολο της διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και προτάσεις για μελλοντική βελτίωση και επέκταση πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

,\*

## ABSTRACT

The primary goal of this MSc thesis was to study methods and techniques for developing and visualizing spatio-temporal data, through Remotesensing, Cartography and GIS processing. The end result is raster format, so it can be further exploited in visualization applications of spatio-temporal data. For this purpose, enduring high spatial resolution Landsat satellite images (open data) and QGIS (open source software) were used.

This study essentially explores whether can the generated spatiotemporal data integrate in a visualization process and become subject to easy presentation and use by the end user.

More specifically:

*In the first Chapter*, the purpose and contribution of the thesis are presented.

In *Chapter 2* there is a detailed presentation of the main characteristics of the USGS Landsat program, with particular reference in modern system of Landsat 8 high spatial resolution. Furthermore, it includes an introduction to the concept of Visualization and the importance of presenting information. Finally, the importance of time, the most prominent spatio-temporal models, and the major studies associated with the visualization of space, time and spatiotemporal data are presented.

*In the third chapter*, a review of the state-of-the-art is presented. In the beginning, the basic principles of remote sensing are presented, and then methodologies applied in this study are analyzed.

Chapter 4 presents the experimental preprocessing made in geospatial data, the results of the classifications that were fulfilled in order to create the space-time data, and the final product visualization.

*Chapter 5* includes the qualitative and quantitative evaluation of the results of the previous chapter, by using standard indexes.

Finally, *Chapter 6* includes the conclusions of the thesis, as well as recommendations for future improvement and extension on this particular subject.



## 1. Εισαγωγή

Οι αεροφωτογραφίες και οι δορυφορικές εικόνες παρέχουν μία τεράστια ποσότητα δεδομένων για την επιφάνεια της γης για λεπτομερή ανάλυση, για ανίχνευση μεταβολών και παρακολούθηση, αλλά και για εξαγωγή χαρακτηριστικών (Mayer, 2008).

Τα σημερινά Τηλεπισκοπικά, Φωτογραμμετρικά και Χαρτογραφικά ψηφιακά συστήματα επεξεργασίας παρέχουν πλέον τη δυνατότητα παρακολούθησης του παγκοσμίου περιβάλλοντος με ολοένα και πιο αυτοματοποιημένες μεθόδους. Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ανοιχτών δεδομένων οδηγούν στην ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων και δυνατοτήτων για ποικίλους επιστημονικούς τομείς, όπως τη Γεωπληροφορική. Έτσι λοιπόν για όλες τις εφαρμογές που προκύπτουν, έχουν αναπτυχθεί αντίστοιχα στους τομείς της Φωτογραμμετρίας, της Τηλεπισκόπησης, της Όρασης Υπολογιστών και της Τεχνητής Νοημοσύνης ημιαυτόματες και αυτόματες μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο «*Δημιουργία και Οπτικοποίηση χωρο-χρονικών δεδομένων από υψηλής ανάλυσης ανοιχτά τηλεπισκοπικά δεδομένα με χρήση λογισμικού ελεύθερου κώδικα*» διερευνήθηκαν και υλοποιήθηκαν μέθοδοι δημιουργίας και οπτικοποίησης χωρο-χρονικών δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα με τον όρο:

- «*δημιουργία*» εννοούμε τη μοντελοποίηση του αντικειμένου, συμπεριλαμβάνοντας τουλάχιστον τη γεωμετρική του περιγραφή. Ουσιαστικά αναφερόμαστε στον εντοπισμό και στην οριοθέτηση πάνω στην ψηφιακή εικόνα καλύψεων γης τοπογραφικού ενδιαφέροντος. Πρόκειται για ανθρωπογενείς κατασκευές, όπως δρόμοι και κτίρια, χρήσεις / καλύψεις γης κ.α.

- «*οπτικοποίηση*» εννοούμε την ανάπτυξη και τη χρήση οπτικών μέσων ώστε να καταστεί πιο κατανοητό ένα θέμα. Ο όρος χρησιμοποιείται συνήθως για να αποδοθεί η γραφική αναπαράσταση δεδομένων και εννοιών. Προσφέρεται η δυνατότητα αξιοποίησης υπολογιστικών γραφικών για την επεξεργασία δεδομένων και τη μετατροπή τους σε στατικές ή δυναμικές εικόνες δύο ή τριών διαστάσεων.

- «*ανοιχτά τηλεπισκοπικά δεδομένα*» εννοούμε δεδομένα που μπορούν ελεύθερα να χρησιμοποιηθούν, να επαναχρησιμοποιηθούν και να αναδιανεμηθούν από οποιονδήποτε – υπό τον όρο να γίνεται αναφορά στους δημιουργούς και να διατίθενται, με τη σειρά τους, υπό τους ίδιους όρους. Είναι διαθέσιμα για λήψη, κατά κύριο λόγο από το διαδίκτυο και δίνονται σε κάποια μορφή πρακτικά αναγνώσιμη.

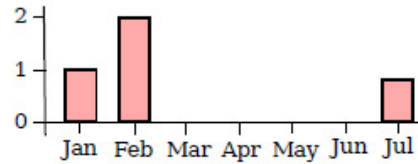
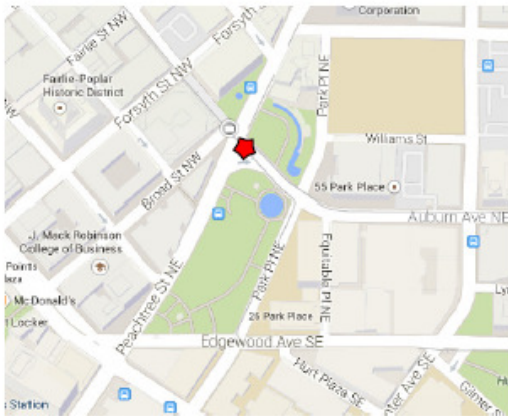
Συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία αναφερόμαστε σε πολυφασματικές εικόνες υψηλής ανάλυσης που προέρχονται από δορυφορικούς δέκτες Landsat, χωρικής ανάλυσης 15-30 m.

- «*λογισμικό ανοιχτού κώδικα*» είναι το λογισμικό που ο καθένας μπορεί ελεύθερα να χρησιμοποιεί, να αντιγράψει, να διανέμει και να τροποποιεί ανάλογα με τις ανάγκες του. Βασίζεται στην ελεύθερη διάθεση του πηγαίου κώδικα, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα αλλαγών ή βελτιώσεων ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες αυτού που το χρησιμοποιεί. Αποτελείται από μια μεγάλη κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών, οι οποίοι συνεργάζονται για τη συνεχή βελτίωση του λογισμικού, παρέχοντας γνώσεις και εργασία. (αναπτύσσουν και διορθώνουν τον κώδικα των προγραμμάτων, κυκλοφορώντας νέες βελτιωμένες εκδόσεις λογισμικού.) Με αυτό τον τρόπο συμβάλλουν καθημερινά στην δημιουργία νέων κοινών αγαθών.

Τα *χωροχρονικά δεδομένα* περιλαμβάνουν δεδομένα που αποτελούνται από χώρο (τοποθεσία) και χρόνο. Ανάλογα με την πηγή των δεδομένων, αυτά μπορεί να διαθέτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Επιπρόσθετα, μπορεί να διαφέρει η ακρίβεια όσον αφορά το χρόνο και το χώρο. Για παράδειγμα, η τοποθεσία μπορεί να δοθεί σε γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος (φ,λ) ή σε συντεταγμένες Χ-Υ σε κάποια προβολή ή μπορεί να δηλωθεί ως αναφορά σε μια άλλη τοποθεσία π.χ. «Νότια του Κέντρου της Αθήνας». Αυτού του είδους οι περιγραφικές τοποθεσίες είναι συνήθεις σε δεδομένα που προέρχονται από κείμενα και δεν δύναται να απεικονιστούν σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Παρόμοια παραδείγματα εμφανίζονται και σε περιπτώσεις ακρίβειας του χρόνου.

Οι περιπτώσεις χρήσης χωρο-χρονικών δεδομένων διαφέρουν ανάλογα με την περίπτωση. Ένα δορυφορικό σύστημα μπορεί να απαιτεί ακρίβεια δεδομένων σε *microseconds*, ενώ ένας τοπογράφος ή πολιτικός μηχανικός μπορεί να απαιτεί δεδομένα ανά κάποιες ημέρες, μήνες ή ένα μεγάλο διάστημα (χρόνια).

Πολλοί ειδικοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για το μετασχηματισμό και την ανάλυση των δεδομένων. Παρ' όλα αυτά, λίγοι αλγόριθμοι όπως η οπτικοποίηση και η οπτική ανάλυση, έφεραν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι αναπαραστάσεις χωρο-χρονικών δεδομένων προσανατολίζονται ειδικά στην οπτικοποίηση δεδομένων που περιλαμβάνουν χώρο και χρόνο. Εστιάζουν στο να τονίσουν τις διαφορετικές όψεις των δεδομένων, και έχουν ως κοινό στόχο να αποκαλύψουν κρυφές δομές και διατάξεις που ενυπάρχουν στα δεδομένα.



Latitude	Longitude	Month	Accidents
33.756256	-84.388473	Jan	1
33.756256	-84.388473	Feb	2
33.756256	-84.388473	Jul	1

Εικόνα 1-1: Απεικόνιση ενός σετ δεδομένων με διαφορετικό τρόπο οπτικοποίησης

Πηγή : Shrestha, 2014

Στην παραπάνω εικόνα εμφανίζονται τρεις διαφορετικές απεικονίσεις χρησιμοποιώντας το ίδιο σετ χωροχρονικών δεδομένων. Η αριστερή απεικόνιση δείχνει έναν χάρτη. Η επάνω δεξιά δείχνει ένα ιστόγραμμα των δεδομένων, ενώ η κάτω δεξιά απεικονίζει τα δεδομένα σε διάταξη πίνακα.

Επειδή οι χάρτες αγνοούν την χρονική πληροφορία, όλα τα γεγονότα που συμβαίνουν στην ίδια τοποθεσία σε διαφορετικές στιγμές, συγχωνεύονται σε ένα σημείο. Αντίστοιχα, στο ιστόγραμμα εμφανίζεται μόνο ο χρόνος και η συχνότητα των συμβάντων, αλλά όχι η τοποθεσία. Τέλος, στην πινακωτή μορφή εμφανίζονται μεν και τα δύο είδη της πληροφορίας, αλλά η ανάγνωση της πληροφορίας είναι δύσκολη και δυσχεραίνει περισσότερο όσο αυξάνουν τα δεδομένα.

Στην Εικόνα 1-1, οι τρεις μορφές οπτικοποίησης απεικονίζονται ταυτόχρονα. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτό μπορεί να είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί για πολλούς λόγους (π.χ. μεγάλος όγκος δεδομένων). Όταν μια αυτές τις μορφές αγνοηθεί, μεγάλος όγκος πληροφορίας μπορεί να χαθεί και υπάρχει περίπτωση ο χρήστης να οδηγηθεί σε λανθασμένα συμπεράσματα, όσον αφορά το φαινόμενο που απεικονίζεται.

Συνεπώς, κάθε μορφή οπτικοποίησης έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η μορφή που θα επιλεγεί επηρεάζει τον τρόπο παρουσίασης και βαρύνουσας σημασίας των δεδομένων.

## 1.1. Αντικείμενο και Στόχοι της εργασίας

Βασικό αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση και ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη δημιουργία και οπτικοποίηση χωρο-χρονικών δεδομένων, με χρήση ανοιχτών δεδομένων και λογισμικό ελεύθερου κώδικα. Συνεπώς το αντικείμενο της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας εντάσσεται στα πεδία της Τηλεπισκόπησης, της Χαρτογραφίας και της Όρασης Υπολογιστών, τομείς του ευρύτερης επιστήμης της Γεωπληροφορικής.

Τα επιστημονικά πεδία της Τηλεπισκόπησης συμβάλλει από την πλευρά του στην εξαγωγή στοιχείων όπως το σχήμα, την υφή, το μέγεθος, το πρότυπο, τη θέση και διάταξη στο χώρο των αντικειμένων στο φυσικό περιβάλλον, το επιστημονικό πεδίο της Όρασης Υπολογιστών συμβάλλει με τη γνώση για μεθοδολογίες και τεχνικές ανάλυσης και επεξεργασίας πληροφορίας, ενώ η Χαρτογραφία βοηθά να αναπαρασταθούν γραφικά τα φαινόμενα του γεωγραφικού χώρου (φυσικού και ανθρωπογενούς), καθώς επίσης και αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των. Με αυτόν τον τρόπο τα παραπάνω επιστημονικά πεδία αλληλοσυμπληρώνονται στην προσπάθεια για εξαγωγή και παρουσίαση χαρακτηριστικών.

Κίνητρο αποτέλεσε η συχνότητα με την οποία πραγματοποιούνται συνεχώς λήψεις από τους δορυφόρους και η ευκολία των χρηστών στην προσβασιμότητα και απόκτηση των νέων πληροφοριών. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι πλέον στις μέρες μας, με την τεχνολογική πρόοδο που έχει επιτευχθεί, κύρια επιδίωξη δεν είναι τόσο η ανάλυση της υπάρχουσας πληροφορίας, αλλά η απόκτηση, συλλογή, αξιοποίηση και παρουσίαση κάθε νέας πληροφορίας.

Διαχρονικά έχουν αναπτυχθεί πολλά εμπορικά λογισμικά, τα οποία χρησιμοποιούν μεγάλο πλήθος εξειδικευμένων αλγορίθμων. Σε αντίθεση με τα ελεύθερα λογισμικά η απόκτηση τους δεν είναι δωρεάν και υπάρχουν συγκεκριμένοι περιορισμοί σχετικά με τη χρήση και τη διανομή τους. Αντίστοιχα με τα εμπορικά λογισμικά, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί πολλά ελεύθερα λογισμικά ανοιχτού κώδικα. Η χρήση των ελεύθερων λογισμικών χαρακτηρίζεται από πληθώρα πλεονεκτημάτων, μερικά από τα οποία είναι η ελεύθερη και δωρεάν διανομή, η εξάπλωση της τεχνογνωσίας, η τροποποίηση του πηγαίου κώδικα σύμφωνα με τις ατομικές ανάγκες κάθε χρηστή και ο πολλαπλός έλεγχος του κώδικα, καθιστώντας πιο εύκολη τη διαδικασία εκσφαλμάτωσης (debugging).

Η συνεισφορά της παρούσας εργασίας συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία:

- Διερεύνηση και ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη δημιουργία χωρο-χρονικών δεδομένων από υψηλής ανάλυσης ανοιχτά τηλεπισκοπικά δεδομένα με χρήση λογισμικού ελεύθερου κώδικα, με βάση την τεχνική της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.



- Διερεύνηση και ανάπτυξη μεθοδολογίας για την οπτικοποίηση χωρο-χρονικών δεδομένων με χρήση λογισμικού ελεύθερου κώδικα, ώστε να γίνουν αντικείμενο εύκολης παρουσίασης και αξιοποίησης από τον τελικό χρήστη.

## 1.2. . Δομή Εργασίας

Αρχικά, όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή, στο *Κεφάλαιο 1*, που αποτελεί την εισαγωγή στο αντικείμενο, τον στόχο και την συνεισφορά της εργασίας. Στην συνέχεια ακολουθούν άλλα έξι (6) κεφάλαια.

Στο *δεύτερο Κεφάλαιο* αναλύονται τα σύγχρονα δορυφορικά συστήματα Landsat υψηλής χωρικής ανάλυσης, παρουσιάζεται η έννοια της Οπτικοποίησης, αναλύεται η σημασία του χρόνου, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα χωροχρονικά μοντέλα, ενώ στη συνέχεια αναλύονται οι σημαντικότερες εργασίες που συνδέονται με την οπτικοποίηση του χώρου, του χρόνου, καθώς και των χωροχρονικών δεδομένων.

Στο *τρίτο Κεφάλαιο* πραγματοποιείται μια ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Αρχικά, αναλύονται οι βασικότερες αρχές της Τηλεπισκόπησης και οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν για την εκπόνηση της εργασίας.

Στο *Κεφάλαιο 4* παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και οι προεπεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν, τα αποτελέσματα από τις ταξινομήσεις ώστε να προκύψουν τα χωρο-χρονικά δεδομένα. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία κατάλληλης μορφοποίησης και οργάνωσης των χωρο-χρονικών δεδομένων και κατασκευάζεται η κινούμενη οπτικοποίηση.

Στο πέμπτο *Κεφάλαιο* πραγματοποιείται ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του προηγούμενου κεφαλαίου.

Τέλος, στο *Κεφάλαιο 6* περιλαμβάνονται τα τελικά συμπεράσματα από το σύνολο της διπλωματικής εργασίας, τόσο από τη θεωρητική μελέτη όσο και από την υλοποίηση της κινούμενης απεικόνισης, καθώς επίσης και προτάσεις για μελλοντική βελτίωση και επέκταση πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο. Το τεύχος ολοκληρώνεται στο *Κεφάλαιο 7*, με την παράθεση της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε για την σύνταξη της παρούσας εργασίας.



## **2. Σύγχρονα Δορυφορικά Συστήματα, Οπτικοποίηση Δεδομένων και Αναπαράσταση Χωρο-χρονικών φαινομένων**

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του προγράμματος Landsat της USG και πραγματοποιείται μια εισαγωγή στην έννοια της οπτικοποίησης και αναπαράστασης των χωροχρονικών δεδομένων.

### **2.1. Σύγχρονα Δορυφορικά Συστήματα Υψηλής Χωρικής Ανάλυσης**

Μετά την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου Landsat το 1972, που αρχικά ονομαζόταν ERTS, οι δορυφορικές εικόνες άρχισαν να είναι διαθέσιμες και για πολιτικές εφαρμογές. Οι δορυφόροι αυτού του τύπου είχαν σαν κύρια εφαρμογή την ταξινόμηση των απεικονιζόμενων αντικειμένων, γι ' αυτό απαιτούνταν μια καλή φασματική ανάλυση και όχι μια υψηλή γεωμετρική ανάλυση. Το 1986 εκτοξεύτηκε ο SPOT-1, ο πρώτος δορυφόρος που σχεδιάστηκε καθαρά για χαρτογραφικούς σκοπούς. Η εκτόξευση του δορυφόρου IKONOS το Σεπτέμβριο του 1999 άλλαξε τα δεδομένα στις εμπορικά διαθέσιμες εικόνες υψηλής ανάλυσης επειδή μπορούσε να συλλέγει εικόνες με διακριτική ικανότητα 0,82 μέτρα. Η επανάσταση ήρθε με την εκτόξευση του δορυφόρου World\_View-2 στις 8 Οκτωβρίου 2009, ο οποίος δίνει εικόνες χωρικής ανάλυσης 0,5m.

Τα πολυφασματικά δεδομένα που ελήφθησαν από τους δορυφορικούς αισθητήρες οδήγησαν σε μία βελτιωμένη κατανόηση θεμάτων για τις καλλιέργειες, τα πετρώματα, τα εδάφη, την αστικοποίηση και πολλά άλλα επιφανειακά χαρακτηριστικά και διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στη γήινη επιφάνεια.

#### **2.1.1. Γενικά Στοιχεία Δορυφόρου Landsat**

Οι δορυφόροι Landsat αποτελούν παγκοσμίως τη μεγαλύτερη συλλογή διαστημικών τηλεπισκοπικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης, για εφαρμογές παρατήρησης της επιφάνειας της Γης. Παρέχουν δεδομένα για τέσσερις συνεχόμενες δεκαετίες σε διάφορους τομείς, όπως η γεωργία, η γεωλογία, η χωροταξία, η χαρτογράφηση και η παρακολούθηση των αλλαγών χρήσεων γης. ([http://landsat.usgs.gov/about\\_project\\_descriptions.php](http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php), 2016).

Το πρόγραμμα δορυφόρων Landsat ξεκίνησε τη λειτουργία του με τον πρώτο δορυφόρο με ονομασία Landsat 1 στις 23 Ιουλίου του 1972 τελειώνοντας τη λειτουργία του στις 6 Ιανουαρίου του 1978, παρέχοντας δεδομένα για διάστημα

περίπου 6 ετών ([http://landsat.usgs.gov/about\\_landsat1.php](http://landsat.usgs.gov/about_landsat1.php), 2016). Στις 22 Ιανουαρίου του 1975 εκτοξεύθηκε η δεύτερη σειρά δορυφόρου με ονομασία Landsat 2 και με χαρακτηριστικά περίπου όμοια με τα αντίστοιχα του πρώτου δορυφόρου και τερμάτισε τη λειτουργία του στις 27 Ιουλίου του 1983 ([http://landsat.usgs.gov/about\\_landsat2.php](http://landsat.usgs.gov/about_landsat2.php), 2016). Ο Landsat 3 ξεκίνησε τη λειτουργία του στις 5 Μαρτίου του 1978 λειτουργώντας για 5 χρόνια και τερμάτισε τη λειτουργία του στις 7 Σεπτεμβρίου του 1983. Η λειτουργία του Landsat 4 διήρκησε από τις 26 Ιουλίου του 1982 έως τις 14 Δεκεμβρίου του 1993.

Τη δεκαετία του '80 ωστόσο η εταιρεία USGS εκτόξευσε την 1 Μαρτίου του 1984 το δορυφόρο με ονομασία Landsat 5, τερματίζοντας τη λειτουργία του τον Ιανουάριο του 2013, μετά από 29 χρόνια. Έγινε προσπάθεια για εκτόξευση του δορυφόρου Landsat 6, αλλά δεν κατάφερε να πιάσει τροχιά και πρακτικά δεν παρείχε ποτέ δεδομένα. Η σειρά ολοκληρώνεται με τους δύο δορυφόρους Landsat 7 και Landsat 8. Ο πρώτος ξεκίνησε τη λειτουργία του στις 15 Απριλίου του 1999 και ο δεύτερος στις 11 Φεβρουαρίου 2013.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας, όσον αφορά τα τηλεπισκοπικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες από τους δορυφόρους Landsat 4,5,7 και 8, ώστε να μπορέσουν να δημιουργηθούν τα διαχρονικά χωρο-χρονικά δεδομένα. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των ανωτέρω δορυφόρων.

### 2.1.2. Οι Δορυφόροι Landsat 4, 5, 7

Ο πολυφασματικός απεικονιστής Multispectral Scanner (MSS) φέρεται επί όλων των δορυφόρων της σειράς LANDSAT. Αρχικά, ο απεικονιστής αυτός κατέγραφε σε 4 φασματικούς διαύλους, με 79 x 57μ. χωρική διακριτική ικανότητα. Έπειτα, μετά από τεχνική αναδόμησης εικόνας, διατέθηκαν με χωρική ανάλυση 60 x 60m. Μια τυπική εικόνα MSS αποτελείται από 2340 γραμμές σάρωσης με 3240 εικονοστοιχεία σε κάθε γραμμή, δηλαδή περίπου 7.581.600 εικονοστοιχεία ανά φασματικό δίαυλο.

Multispectral Scanner (MSS)	Landsat 1-3	Landsat 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 4	Band 1	0.5-0.6	60*
	Band 5	Band 2	0.6-0.7	60*
	Band 6	Band 3	0.7-0.8	60*
	Band 7	Band 4	0.8-1.1	60*

Πίνακας 2-1: Ζώνες μήκων κύματος στον MSS

Πηγή: [http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)

### 2.1.3. Θεματικός Χαρτογράφος TM

Ο Θεματικός Χαρτογράφος (Thematic Mapper, TM) είναι ένα όργανο μηχανικής σάρωσης όπως και ο MSS, αλλά διαθέτει βελτιωμένα φασματικά και ραδιομετρικά χαρακτηριστικά και μπορεί να θεωρηθεί ως η δεύτερη γενιά του MSS. Ενώ ο MSS διαθέτει 4 φασματικές ζώνες καταγραφής (διαύλους) όπως και στους Landsat 1, 2 και 3, ο Θεματικός Χαρτογράφος TM έχει 7 φασματικές ζώνες καταγραφής.

Οι διαφορές με το σύστημα MSS είναι ότι το στιγμιαίο εύρος πεδίου του δημιουργεί χωρική διακριτική ικανότητα 30 χ 30 μέτρα, ο TM είναι ένα οπτικομηχανικό σύστημα σάρωσης το οποίο καταγράφει, συγχρόνως, ανακλώμενη και εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία και ότι ο TM καταγράφει την επιφάνεια της γης σε 7 τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (τρία στο οπτικό, τρία στο υπέρυθρο και ένα στο θερμικό), έναντι 4 του MSS.

Οι ζώνες των μηκών κύματος που είναι ανιχνεύσιμες στον TM του Landsat\_4 και Landsat\_5 δίδονται στον παρακάτω πίνακα:

Thematic Mapper (TM)	Landsat 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1	0.45-0.52	30
	Band 2	0.52-0.60	30
	Band 3	0.63-0.69	30
	Band 4	0.76-0.90	30
	Band 5	1.55-1.75	30
	Band 6	10.40-12.50	120* (30)
	Band 7	2.08-2.35	30

Πίνακας 2-2: Ζώνες μηκών κύματος στον TM Landsat-4 και -5

Πηγή: [http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)

Τα τρία πρώτα κανάλια είναι ευαίσθητα στο ορατό τμήμα του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας, 0,45-0,52μm (μπλε), 0,52-0,60μm (πράσινο) και 0,63-0,69μm (κόκκινο). Το κανάλι 4 είναι ευαίσθητο στο εγγύς υπέρυθρο (0,76-0,90μm), τα κανάλια 5 και 7 είναι ευαίσθητα στο μέσο υπέρυθρο (1,55-1,75μm και 2,08-2,35μm αντίστοιχα) και τέλος, το κανάλι 6 είναι ευαίσθητο στην περιοχή του θερμικού υπέρυθρου (10,4-12,5μm). Η χωρική Δι του Θεματικού Χαρτογράφου είναι 30m για όλα τα κανάλια πλην του θερμικού υπέρυθρου, το οποίο έχει Δι 120m. Η μεγάλη χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα του Θεματικού Χαρτογράφου τον

καθιστά πολύτιμο τηλεπισκόπηση δέκτη για το μεγαλύτερο ποσοστό των σχετικών εφαρμογών.

Τα δεδομένα του *καναλιού 1 TM* συμβάλλουν στη βυθομετρική αποτύπωση, κατά μήκος ακτών και παραθαλάσσιων περιοχών, στην παρατήρηση της χλωρίδας στον γήινο φλοιό αλλά και στην διαφοροποίηση και αναγνώριση τύπων δασικών εκτάσεων. Το *κανάλι 2* συλλαμβάνει την πράσινη ανάκλαση από την υγιή βλάστηση (ευαισθητοποιείται στην περιοχή ανακλαστικότητας του πράσινου). Το *κανάλι 3* έχει κατασκευαστεί για να ανιχνεύει την χλωροφύλλη μέσα στην βλάστηση (ευαισθητοποιείται στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης) και βοηθά στη διάκριση φυτικών ειδών. Το *κανάλι TM 4* είναι ιδανικό για την ανίχνευση ανάκλασης που εντοπίζεται μέσα στην υγιή βλάστηση αλλά και στον εντοπισμό υδάτινων επιφανειών. Είναι χρήσιμο για την εκτίμηση της βιομάζας ενός δασικού συστήματος και γενικότερα της βλάστησης. Τα δύο μέσα υπέρυθρα IR (*κανάλι 5 TM και 7 TM*) είναι χρήσιμα για μελέτες πάνω στη βλάστηση και στην χλωρίδα και στο διαχωρισμό μεταξύ ορεινών –βραχώδη επιφάνειες και στις υδάτινες περιοχές. Το θερμικό *κανάλι 6* είναι σχεδιασμένο να εξυπηρετεί σε ένα θερμικό χάρτη, και χρησιμοποιείται για την μελέτη χλωρίδας και βλάστησης. Επίσης είναι χρήσιμο για την ανίχνευση της κατάστασης της βλάστησης και του βαθμού υγρασίας εδάφους. Τέλος, το *κανάλι 7* ως ευαίσθητο στην υγρασία της βλάστησης συμβάλλει θετικά στο διαχωρισμό οξιάς, μαύρης πεύκης και ελάτης, ειδικά μάλιστα στο διαχωρισμό κωνοφόρων από πλατύφυλλα.

Τυπικά, τα *κανάλια 4,3,2* του TM μπορούν να συνδυάσουν ένα τεχνητό χρώμα για να συνθέσουν εικόνες στις οποίες το *κανάλι 4* αντιπροσωπεύεται από το κόκκινο, το *κανάλι 3* από το πράσινο και το *κανάλι 2* αντιπροσωπεύει το μπλε των σημείων – περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτός ο συνδυασμός καναλιών κάνει την χλωρίδα να εμφανίζεται σε τόνους του κόκκινου, με τα φωτεινότερα κόκκινα να απεικονίζουν την ταχύτερα αναπτυσσόμενη βλάστηση.

#### **2.1.4. Επαυξημένος Θεματικός Χαρτογράφος (ETM+)**

Ο Επαυξημένος Θεματικός Χαρτογράφος (Enhanced Thematic Mapper, ETM+) καταγράφει την επιφάνεια της γης σε 8 τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (τρία στο οπτικό, τρία στο υπέρυθρο, ένα στο θερμικό και ένα παγχρωματικό). Παρέχει κάλυψη σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων για τα κανάλια που βρίσκονται στο ορατό, κοντινό υπέρυθρο και μικροκυματικό υπέρυθρο, 60 μέτρων για τα θερμικά κανάλια και 15 μέτρων για το παγχρωματικό κανάλι.

Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Landsat 7	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1	0.45-0.52	30
	Band 2	0.52-0.60	30
	Band 3	0.63-0.69	30
	Band 4	0.77-0.90	30
	Band 5	1.55-1.75	30
	Band 6	10.40-12.50	60 * (30)
	Band 7	2.09-2.35	30
	Band 8	.52-.90	15

Πίνακας 2-3: Ζώνες μηκών κύματος και χωρικής ανάλυσης στον ETM+

Πηγή: [http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)

Παρακάτω ακολουθεί ο συγκριτικός Πίνακας - μεταξύ των δορυφόρων που παρουσιάστηκαν:

Sensor					
Satellite	Sensor	Band#s	Spectral Range	Scene Size	Pixel Res
L 1-4	MSS multi-spectral	1,2,3,4	0.5 - 1.1 $\mu\text{m}$	185 X 185 km	60 meter
L 4-5	TM multi-spectral	1,2,3,4,5,7	0.45 - 2.35 $\mu\text{m}$		30 meter
L 4-5	TM thermal	6	10.40 - 12.50 $\mu\text{m}$		120 meter
L 7	ETM+ multi-spectral	1,2,3,4,5,7	0.450 - 2.35 $\mu\text{m}$		30 meter
L 7	ETM+ thermal	6.1, 6.2	10.40 - 12.50 $\mu\text{m}$		60 meter
Panchromatic	ETM+ thermal	8	0.52 - 0.90 $\mu\text{m}$		15 meter

Πίνακας 2-4: Συγκριτικός Πίνακας μεταξύ των δορυφόρων Landsat 4,5,7

Πηγή : <http://glcf.umd.edu/data/landsat, 2016>

### 2.1.5. Ο Δορυφόρος Landsat 8

Ο δορυφόρος Landsat 8 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 από την αεροπορική βάση Vandenberg στην Καλιφόρνια, ο οποίος αναπτύχθηκε από τη NASA, σε συνεργασία με την γεωλογική υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS). Η NASA ανέλαβε το σχεδιασμό, την κατασκευή, την εκτόξευση και τα εν τροχιά στάδια βαθμονόμησης του δορυφόρου, περίοδο κατά την οποία ο δορυφόρος ονομαζόταν Landsat Data Continuity Mission (LDCM). Στις 30 Μαΐου του 2013 το USGS ανέλαβε τις διαδικασίες λειτουργίας του δορυφόρου και πλέον, οι διαδικασίες βαθμονόμησης, ο δορυφορικός χειρισμός, η παραγωγή και η αποθήκευση δεδομένων στο κέντρο Earth Resources Observation and Science (EROS) είναι αντικείμενο εργασίας του USGS.

Ο Landsat 8 μεταφέρει δύο όργανα καταγραφής: i) το Operational Land Imager (OLI) και ii) το Thermal Infrared Sensor (TIRS). Αυτοί οι δύο αισθητήρες παρέχουν εποχιακή κάλυψη της παγκόσμιας ξηράς σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων για τα κανάλια που βρίσκονται στο ορατό, κοντινό υπέρυθρο και μικροκυματικό υπέρυθρο, 100 μέτρων για τα θερμικά κανάλια και 15 μέτρων για το παγχρωματικό

κανάλι. Ο αισθητήρας OLI συλλέγει δεδομένα στο ορατό κοντινό υπέρυθρο, μικροκυματικό υπέρυθρο καθώς και στο παγχρωματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τέλος, ο αισθητήρας OLI παρέχει δύο νέες φασματικές ζώνες, μία προσαρμοσμένη ειδικά για την ανίχνευση νεφών (κανάλι 9) και μία για παρατηρήσεις της παράκτιας ζώνης (κανάλι 1). Όσον αφορά τον αισθητήρα TIRS συλλέγει δεδομένα σε 2 φασματικά κανάλια στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου, σε αντίθεση με τους προηγούμενους δορυφόρους του προγράμματος Landsat στους οποίους υπήρχε μόνο 1 φασματικό κανάλι στο συγκεκριμένο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ο Landsat 8 αποστέλλει περίπου 400 λήψεις εικόνων ανά ημέρα στο αρχείο δεδομένων του USGS (150 παραπάνω από τον Landsat 7), αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για λήψεις εικόνων χωρίς σύννεφα. Τα προϊόντα του είναι διαθέσιμα για το κοινό από το site της USGS Earth Resources Observation and Science και υπάρχει άμεση πρόσβαση σε περισσότερες από 22.000 εικόνες που έχουν συλλεχθεί από τις 12 Απριλίου 2013 μέχρι σήμερα.

Τα φασματικά κανάλια του δορυφόρου Landsat 8 είναι:

- Κανάλι 1: Ονομάζεται κανάλι coastal/aerosol, λόγω των δύο κύριων χρήσεων του: απεικόνιση ρηχών υδάτων και την παρακολούθηση των λεπτών σωματιδίων, όπως η σκόνη και ο καπνός.
- Κανάλι 2: Κατάλληλο για χαρτογράφηση του βυθού και διαχωρισμό εδάφους και βλάστησης.
- Κανάλι 3: Κατάλληλο για την ανίχνευση της καλύτερης κατάστασης των φυτών (υγιής βλάστηση).
- Κανάλι 4: Χρησιμεύει για τη διάκριση της βλάστησης σε πλαγιές.
- Κανάλι 5: Μετράει το κοντινό υπέρυθρο. Αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη μελέτη του περιεχομένου της βιομάζας και των ακτογραμμών.
- Κανάλια 6, 7: καλύπτουν διαφορετικά τμήματα του μικροκυματικού υπέρυθρου. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τον διαχωρισμό υγρού και ξηρού εδάφους και για τη γεωλογία (πετρώματα και εδάφη που φαίνονται παρόμοια σε άλλα φασματικά κανάλια έχουν ισχυρές αντιθέσεις στο μικροκυματικό υπέρυθρο).
- Κανάλι 8: Είναι το παγχρωματικό κανάλι, το πιο ευκρινές κανάλι, με 15 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα



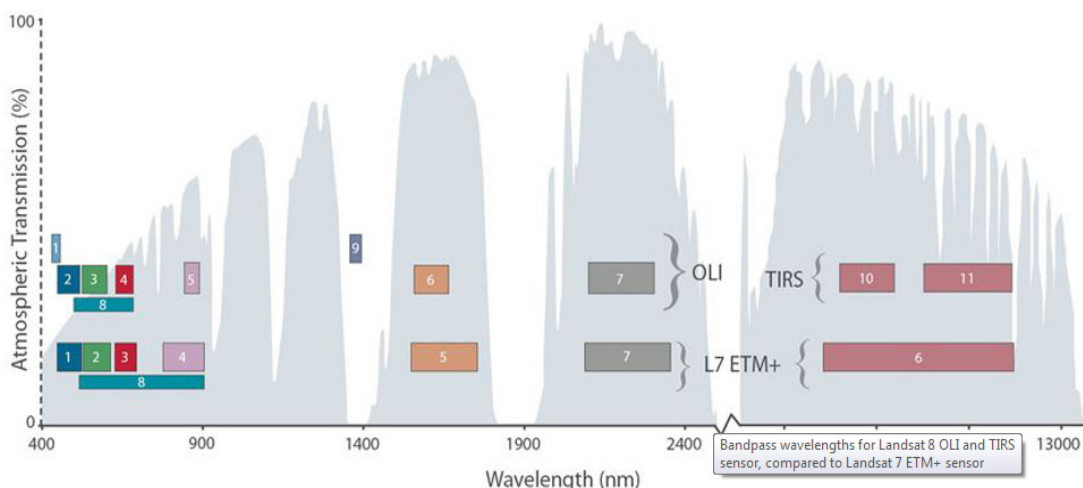
- Κανάλι 9: καταγράφει τη λιγότερη πληροφορία, αφού καλύπτει ένα πολύ μικρό κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ( $1370 \pm 10\text{nm}$ ). Καταγράφει μόνο τα σύννεφα.
- Κανάλια 10,11: βρίσκονται στο θερμικό υπέρυθρο και καταγράφουν την θερμότητα. Αντί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα, όπως οι μετεωρολογικοί σταθμοί, καταγράφεται η θερμοκρασία του εδάφους, το οποίο είναι συνήθως αρκετά θερμότερο. Έχουν 100 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα.

<b>Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)</b>  <b>Launched February 11, 2013</b>	<b>Bands</b>	<b>Wavelength (micrometers)</b>	<b>Resolution (meters)</b>
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

Πίνακας 2-5: Ζώνες μηκών κύματος και χωρικής ανάλυσης στον Lansat 8

Πηγή: [http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)

Ακολουθεί διάγραμμα που απεικονίζει τις διαφορές στα μήκη κύματος για τα διάφορα κανάλια μεταξύ του Landsat 8 και του Landsat 7.



Εικόνα 2-1: Γραφική απεικόνιση μεταξύ των φασματικών καναλιών των αισθητήρων OLI & TIRS Landsat 8 και Landsat 7

Πηγή : <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2013/07/24/band-combinations-for-landsat-8, 2016>

### 2.1.6. Τεχνικά χαρακτηριστικά προϊόντων

Τα προϊόντα που παρέχονται από το δορυφόρο Landsat 8 είναι 16-bit εικόνες σε μορφή GeoTIFF. Πρόκειται για το εικόνων TIFF, σε συνδυασμό με πληροφορία γεωαναφοράς. Το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται είναι το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα (WGS84) στο προβολικό σύστημα UTM. Τα προϊόντα παραλαμβάνονται σε συμπιεσμένη μορφή .tar.gz και καταλαμβάνουν 1GB συμπιεσμένα και 2GB ασυμπιεστά.

Ακολουθεί πίνακας που συνοψίζει τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που παρέχει ο δορυφόρος Landsat 8.

Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Χ στο έδαφος (m)	[Band 1-7, 9]: 30
Μέγεθος εικονοστοιχείου κατά άξονα Υ στο έδαφος (m)	[Band 1-7, 9]: 30
Αριθμός εικονοστοιχείων ανά γραμμή (στήλη)	7500
Κανάλια που περιέχονται στην εικόνα (αριθμητικά)	11
Τύπος των ψηφιακών τιμών	Unsigned int 16-bit
Τύπος δεδομένων (vector, raster)	Raster
Μέγεθος ψηφιακού αρχείου	2G ασυμπιεστό
Περιοχή που καλύπτει η εικόνα στο έδαφος (m <sup>2</sup> )	4,9*10 <sup>10</sup>

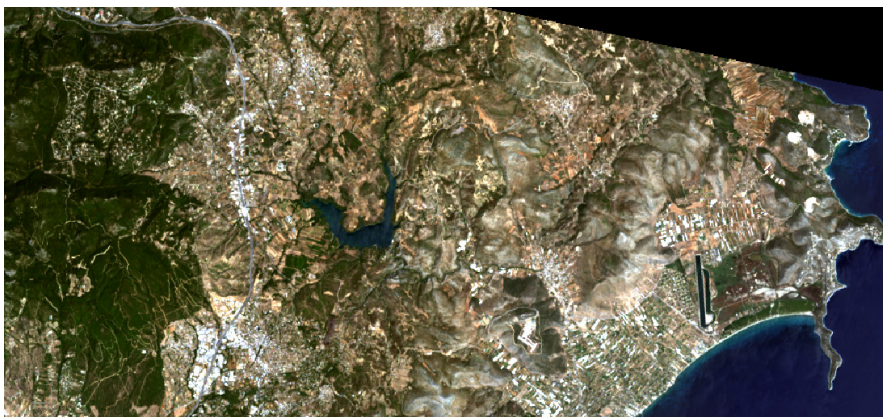
Πίνακας 2-6: Χαρακτηριστικά Δεδομένων Landsat 8

Πηγή: [http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)

### 2.1.7. Παραδείγματα εφαρμογής έγχρωμων σύνθετων Landsat

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται διάφορα έγχρωμα σύνθετα που δημιουργήθηκαν στο QGIS, με σκοπό την ανάδειξη συγκεκριμένων κάθε φορά χαρακτηριστικών ή θεματικών ενοτήτων των πολυφασματικών εικόνων.

✓ **Έγχρωμο σύνθετο R:4 G:3 B:2:** Με το συγκεκριμένο έγχρωμο σύνθετο αποδίδεται το φυσικό χρώμα στις εικόνες. Οι θεματικές κατηγορίες παρουσιάζονται με το πραγματικό τους χρώμα, διευκολύνοντας τη διαδικασία της φωτοερμηνείας.



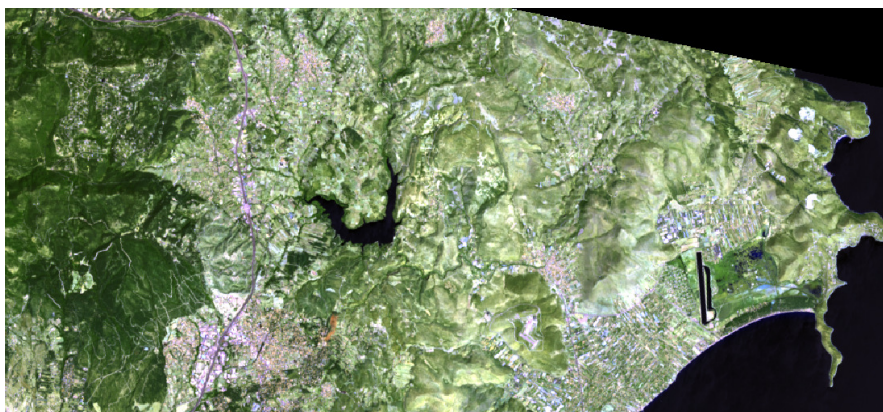
Εικόνα 2-2: Έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 στην περιοχή της λίμνης Μαραθώνα

✓ Έγχρωμο σύνθετο **R:5 G:4 B:3**: Με το συγκεκριμένο έγχρωμο σύνθετο αποδίδεται το υπέρυθρο χρώμα, το οποίο χρησιμοποιείται για τη φωτοερμηνεία της βλάστησης απεικονίζοντάς την με κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 2-3: Έγχρωμο σύνθετο 5-4-3 στην περιοχή της λίμνης Μαραθώνα

✓ Έγχρωμο σύνθετο **R:7 G:6 B:4**: Με το συγκεκριμένο έγχρωμο σύνθετο πραγματοποιείται εύκολα η φωτοερμηνεία του αστικού ιστού και του αστικού εξοπλισμού με ανοιχτές μωβ αποχρώσεις.



Εικόνα 2-4: Έγχρωμο σύνθετο 7-6-4 στην περιοχή της λίμνης Μαραθώνα

## 2.2. Τι είναι η οπτικοποίηση

Οπτικοποίηση είναι η οπτική αναπαράσταση δεδομένων χρησιμοποιώντας αλγόριθμους. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ο όρος «αλγόριθμος», γιατί ξεχωρίζει την οπτικοποίηση στην επιστήμη των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών από άλλους επιστημονικούς κλάδους. Επιπρόσθετα, η οπτικοποίηση που δημιουργείται από αλγόριθμους διασφαλίζει ικανότητα αναπαραγωγής: η ίδια οπτικοποίηση επιτυγχάνεται ανεξαρτήτως χρήστη, πλατφόρμας ή γλώσσας προγραμματισμού που επιλέγεται, αρκεί να μην υπάρξει αλλοίωση πρωτογενών δεδομένων και να ακολουθηθούν επακριβώς τα βήματα του αλγορίθμου.

Η καλή και ορθή οπτικοποίηση δεδομένων παρέχει ευκολία χρήσης και κατανόησης των δεδομένων από το κοινό στο οποίο απευθύνεται. Ένα καλό παράδειγμα είναι η τετράδα του Anscombe (Quartet), που αποτελείται από τέσσερα είδη δεδομένων με πανομοιότυπες ιδιότητες, τα οποία όμως απεικονίζονται με διαφορετικό τρόπο σε ένα διάγραμμα.

I		II		III		IV	
x	y	x	y	x	y	x	y
10.0	8.04	10.0	9.14	10.0	7.46	8.0	6.58
8.0	6.95	8.0	8.14	8.0	6.77	8.0	5.76
13.0	7.58	13.0	8.74	13.0	12.74	8.0	7.71
9.0	8.81	9.0	8.77	9.0	7.11	8.0	8.84
11.0	8.33	11.0	9.26	11.0	7.81	8.0	8.47
14.0	9.96	14.0	8.10	14.0	8.84	8.0	7.04
6.0	7.24	6.0	6.13	6.0	6.08	8.0	5.25
4.0	4.26	4.0	3.10	4.0	5.39	19.0	12.50
12.0	10.84	12.0	9.13	12.0	8.15	8.0	5.56
7.0	4.82	7.0	7.26	7.0	6.42	8.0	7.91
5.0	5.68	5.0	4.74	5.0	5.73	8.0	6.89

Πίνακας 2-7 : Η τετράδα του Anscombe

Πηγή : Wikipedia, 2016

Ο Πίνακας 2.7 παρουσιάζει την τετράδα του Anscombe με τέσσερα σετ, από το I έως το IV, που το καθένα περιέχει 11 τιμές x και y.

Η Wikipedia περιγράφει την τετράδα σαν τέσσερα είδη δεδομένων με πανομοιότυπες στατιστικές ιδιότητες. Κάθε σετ δεδομένων αποτελείται από έντεκα (11) σημεία συντεταμένων (x,y). Κατασκευάστηκαν το 1973 από τον στατιστικολόγο

Francis Anscombe για να δηλώσουν τόσο τη σημασία της απεικόνισης των δεδομένων πριν την ανάλυσή τους, όσο και την επιρροή των ακραίων τιμών στις στατιστικές ιδιότητες.

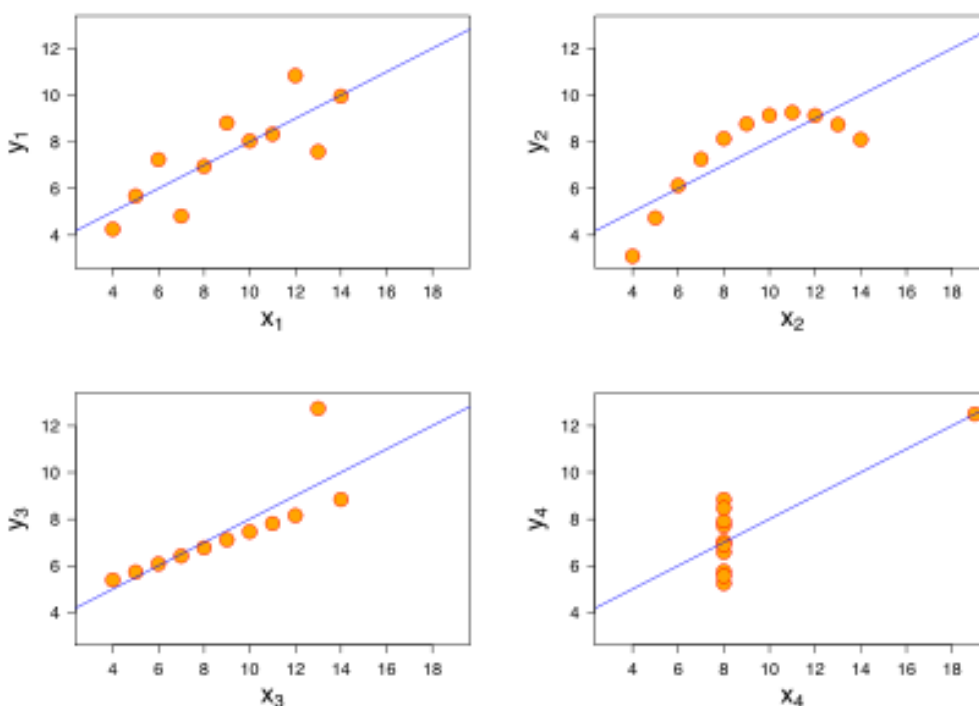
Για κάθε ένα σετ δεδομένων ισχύουν τα κάτωθι :

Μέση τιμή  $x$  και  $y$ :  $\mu_x = 9$  και  $\mu_y = 7,50$

Διασπορά:  $\sigma^2_x = 11$  και  $\sigma^2_y = 4,1$

Γραμμική απόκλιση εξαρτημένης μεταβλητής:  $y = 3,00 + 5,00x$

Εάν κάποιος παρατηρούσε μόνο τα στατιστικά στοιχεία, θα κατέληγε στο συμπέρασμα ότι τα σημεία είναι πανομοιότυπα. Μόλις όμως τα σημεία  $x, y$  απεικονιστούν σε διάγραμμα διασποράς, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-5, εμφανίζουν μια τελείως διαφορετική εικόνα. Το Κουαρτέτο του Anscombe είναι ένα από τα πολλά παραδείγματα που τονίζουν τη σημασία της οπτικοποίησης.

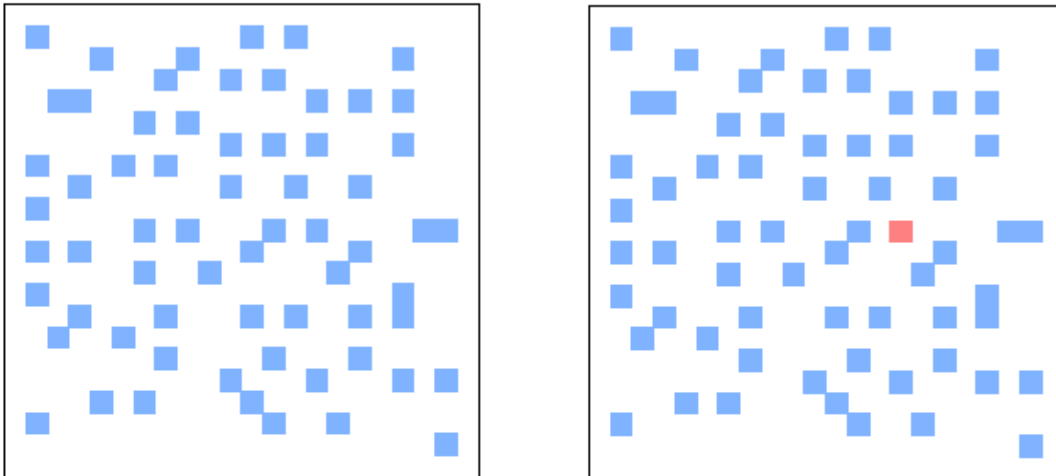


Εικόνα 2-5: Διαγράμματα διασποράς των τεσσάρων σετ δεδομένων του Anscombe

Πηγή : Wikipedia, 2016

Επίσης, η οπτικοποίηση συχνά βοηθά στην υποσυνείδητη (ασυναίσθητη) απόκτηση πληροφορίας από τα δεδομένα, σαν μια προπαρασκευαστική διαδικασία (pre-attentive processing). Μερικά χαρακτηριστικά ακούσιας συγκέντρωσης προσοχής περιλαμβάνουν τη θέση, τον προσανατολισμό, την κλίμακα, το χρώμα, τη

φωτεινότητα και την απόχρωση (Treisman, 1985). Ένα απλό παράδειγμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-6. Η αριστερή εικόνα αποτελείται από όμοια μπλε τετράγωνα ενώ στη δεξιά, ένα μπλε τετράγωνο έχει γίνει κόκκινο. Μελέτες (Treisman, 1985) έχουν δείξει ότι η πληροφορία της ύπαρξης του κόκκινου τετραγώνου λαμβάνεται αμέσως μόλις ο χρήστης κοιτάξει την εικόνα, διότι ο εγκέφαλος το επεξεργάζεται και αμέσως μπορεί να αναγνωρίσει το διαφορετικό αντικείμενο. Αυτό φανερώνει την αξία της οπτικοποίησης.



Εικόνα 2-6: Απλό παράδειγμα διαφορετικής απόχρωσης

Αριστερά: Ο στόχος είναι απών Δεξιά : Ο στόχος είναι παρόν

Πηγή : Treisman, 1985

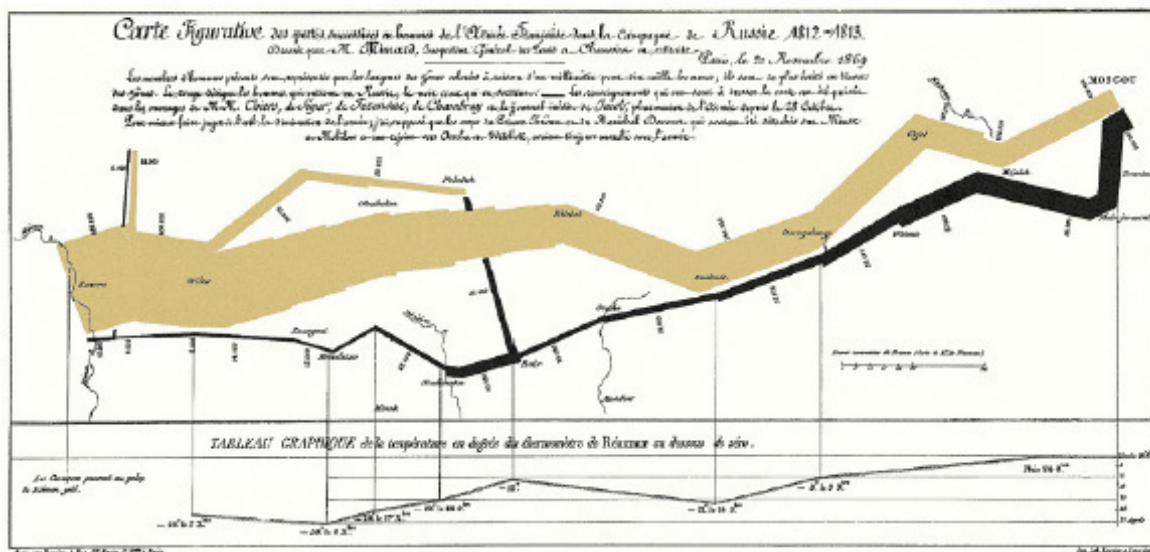
### 2.2.1. Οπτικοποίηση πληροφορίας (Information Visualization)

Η οπτικοποίηση δεδομένων μπορεί να διαιρεθεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες: Οπτικοποίηση πληροφορίας και επιστημονική οπτικοποίηση.

Η επιστημονική οπτικοποίηση αφορά δεδομένα που προέρχονται από θετικές και φυσικές επιστήμες. Σχετίζεται με τη δημιουργία δικτύων σύνδεσης και την προσομοίωση της λειτουργίας διαφορετικών φαινομένων. Ένα παράδειγμα επιστημονικής αστικοποίησης θα ήταν η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου ηφαιστείου (πεδίο Γεωλογίας) ή τρισδιάστατου μηχανολογικού μοντέλου αεροσκάφους για τον έλεγχο της ναυσιπλοΐας του σε τεχνητό τούνελ ανέμων (πεδίο Αεροναυπηγικής).

Αντίθετα, η αστικοποίηση πληροφορίας αφορά δεδομένα που προέρχονται από κοινωνικές επιστήμες. Ένα σπουδαίο παράδειγμα είναι η πορεία του

Ναπολέοντα στη Ρωσία το 18<sup>ο</sup> αιώνα, σχεδιασμένη από τον Minard (Google, 1986) όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2-7.



Εικόνα 2-7: Η εκστρατεία του Ναπολέοντα στη Ρωσία από τον Minard

Πηγή :Tufte, 1986

Η αχνή κίτρινη γραμμή απεικονίζει την πορεία προς τη Ρωσία και η μαύρη την επιστροφή προς τα πίσω. Το πάχος των γραμμών αντιστοιχεί με το μέγεθος του στρατεύματος σε εκείνο το σημείο. Όπως παρατηρείται, το στράτευμα μειώθηκε στο μισό όταν ο Ναπολέων έφτασε στη Ρωσία και συνέχισε να μειώνεται καθώς επέστρεφε. Το γραμμικό διάγραμμα ακριβώς από κάτω απεικονίζει τη θερμοκρασία και συσχετίζει, το θάνατο των στρατιωτών με αυτήν. Η συγκεκριμένη οπτικοποίηση είναι εντυπωσιακή, δεδομένου ότι εμφανίζει πολλές μεταβλητές σε ένα χάρτη-διάγραμμα. Οι που απεικονίζονται είναι το μέγεθος του στρατεύματος, η τοποθεσία και η θερμοκρασία.

Η οπτικοποίηση πληροφορίας είναι μια ευρεία κατηγορία, με πολλά παρακλάδια και υποκατηγορίες: δυσδιάστατη οπτικοποίηση, τρισδιάστατη οπτικοποίηση και θεωρία χρωμάτων.

Η 2D οπτικοποίηση εκτείνεται κατά μήκος δύο αξόνων και άρα γίνεται ευκολότερα αντιληπτή. Περιλαμβάνει διαγράμματα γραμμικά, διαγράμματα ράβδων, διαγράμματα πίτας (Εικόνα 2-8), χάρτες και πίνακες.



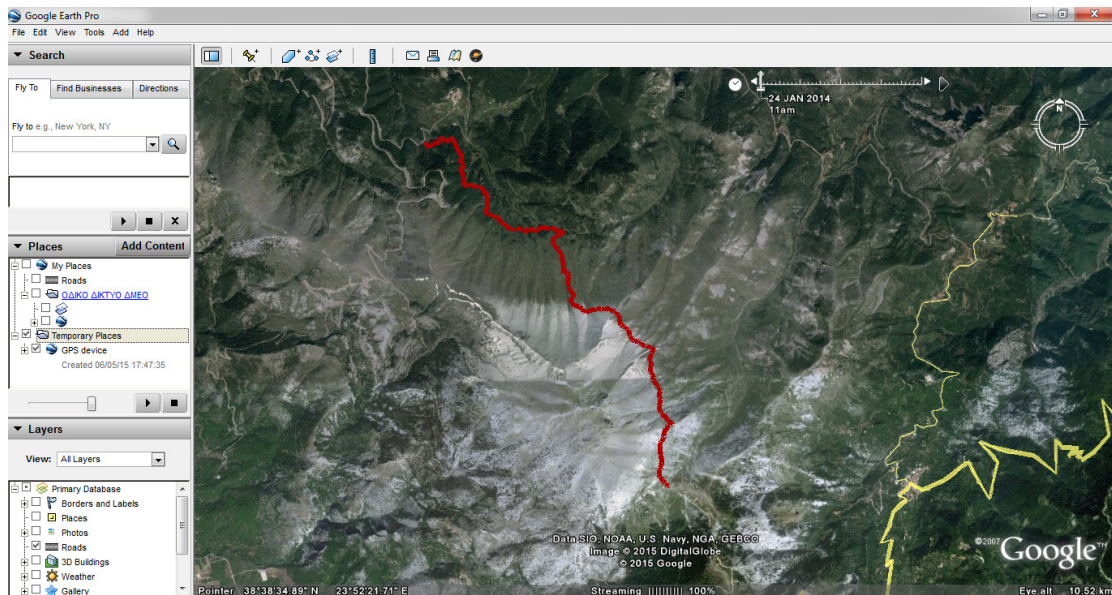
Εικόνα 2-8: Παραδείγματα 2D οπτικοποίησης

Πηγή : *Google Chart Examples, 2016*

Πολλές φορές, οι διαστάσεις των δεδομένων είναι περισσότερες από δύο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οπτικά χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος, το σχήμα και το χρώμα μπορούν να αλλάζουν, ώστε να υπάρχει σαφής διάκριση ή να χρησιμοποιηθούν τρισδιάστατες (3D) απεικονίσεις. Δεδομένα από συσκευές GPS θα ήταν πρόσφορα για 3D οπτικοποίηση, διότι περιλαμβάνουν γεωγραφικό μήκος και πλάτος, που σε συνδυασμό με χάρτες μπορούν να δώσουν και πληροφορία υψομέτρου. Όμως, η 3D οπτικοποίηση πάσχει από υπερβολική συγκέντρωση καταγραφών που μπορεί να οδηγήσει το χρήστη σε σύγχυση.

Ένας έξυπνος τρόπος να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα είναι η ενεργή συμμετοχή του χρήστη (interactivity) στην οπτικοποίηση. Αυτή περιλαμβάνει τη μεταβλητή εστίαση (zooming) σε διαφορετικές περιοχές, τη μετακίνηση (panning) αντικειμένων ώστε να είναι ορατά από διαφορετικές οπτικές γωνίες και το φιλτράρισμα (filtering). Το Google Earth (Εικόνα 2-9) είναι ένα καλό παράδειγμα που περιλαμβάνει όλα τα επίπεδα διαδραστικότητας.





Εικόνα 2-9: Ορειβατική διαδρομή επί υποβάθρου Google Earth

Τέλος, η θεωρία χρωμάτων αφορά την επιλογή κατάλληλου χρώματος για τη βελτίωση της αναγνωσιμότητας ή την υποβοήθηση στην οπτική ανάλυση των δεδομένων.

## 2.3. Αναπαράσταση χωρο-χρονικών φαινομένων

### 2.3.1. Η Έννοια του χρόνου

Ο χρόνος εννοείται "η ακαθόριστη κίνηση της ύπαρξης και των γεγονότων στο παρελθόν, το παρόν και το μέλλον, θεωρούμενη ως σύνολο". (Blackburn,1996). Γενικά χρόνος χαρακτηρίζεται η ακριβής μέτρηση μιας διαδικασίας από το παρελθόν στο μέλλον.

#### ➤ Αντίληψη του Χρόνου

Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον χρόνο με δύο τρόπους: γραμμικά και κυκλικά. Και οι δύο αυτές αντιλήψεις προέρχονται από την ανθρώπινη εμπειρία: από τη μια μεριά, υπάρχει η γραμμική πορεία της ζωής από τη γέννηση ως τον θάνατο, ενώ από την άλλη η κυκλική εναλλαγή της ημέρας και της νύχτας και των εποχών. Παρά το γεγονός ότι η κυκλική διάσταση του χρόνου συνδέεται με τον κύκλο της γεωργικής παραγωγής καθώς και με το πολύ σημαντικό για τον άνθρωπο φαινόμενο του ρυθμού, οι περισσότεροι πολιτισμοί δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στη γραμμικότητα. Ακόμη και όσοι φαίνεται να προβάλλουν την κυκλική διάσταση, φαίνεται ότι βλέπουν τον χρόνο ως μια γραμμική διαδοχή κύκλων.

Οι άνθρωποι κατά κανόνα αντιλαμβάνονται τον χρόνο σαν μια γραμμή που εκτείνεται απεριόριστα προς το παρελθόν και προς το μέλλον· ο άξονας του χρόνου μπορεί να παρασταθεί γραφικά ως εξής:

Παρελθόν     $\longrightarrow$     παρόν     $\longrightarrow$     μέλλον

Κεντρικό σημείο του άξονα είναι το παρόν, το οποίο βέβαια δεν είναι σταθερό· όχι μόνο είναι διαφορετικό για κάθε άνθρωπο, αλλά μετακινείται ανά πάσα στιγμή στο επόμενο σημείο της ευθείας. Στην αντίληψή μας όμως τα όρια του παρόντος μπορούν να επεκταθούν σχεδόν απεριόριστα: το *τώρα* μπορεί να αναφέρεται πραγματικά σε μία στιγμή ή σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Πρόκειται για μία από τις εκδηλώσεις της υποκειμενικότητας που χαρακτηρίζει την αντίληψη του χρόνου, η οποία φαίνεται καθαρά και από το ότι ορισμένοι άνθρωποι έχουν καλή και άλλοι κακή αίσθηση του χρόνου.

Εν τούτοις, ο χρόνος αντιστοιχεί περισσότερο σε μια τέταρτη διάσταση, παρόμοια (αλλά όχι ίδια) με τις τρεις γνωστές διαστάσεις του Χώρου. Εάν επιχειρούσε κάποιος να αποδώσει τη συγκεκριμένη 4η διάσταση διατηρώντας 2 από τις 3 διαστάσεις του Χώρου, τότε η μεταβολή στον χρόνο θα περιγραφόταν στην 3η διάσταση (Πανόπουλος, 2013).

Η καταγραφή των χρονικών ιδιοτήτων των χωρικών φαινομένων εμπεριέχει την ανθρώπινη εμπειρία και παρατήρηση. Η μετακίνηση και η πορεία φαινομένων στο χρόνο, από το παρελθόν μέχρι το μέλλον, λαμβάνουν χώρα μέσω της *μεταβολής*. Η μεταβολή χαρακτηρίζει τη μετάθεση μεταξύ δύο διαφορετικών καταστάσεων ενός χωρικού αντικειμένου.

### ➤ Συσχέτιση του Χρόνου με τα Χωρικά Φαινόμενα

Η χωρική μεταβολή σχετίζεται άμεσα με το χρόνο. Για μεγάλο διάστημα, τα ιστορικά δεδομένα δεν αναλύονταν με τη βοήθεια κάποιου Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), αλλά με προγράμματα στατιστικής ανάλυσης. Έχει όμως πλέον γίνει κατανοητό ότι δεν επαρκεί να περιγραφεί μόνο η χρονική πληροφορία ενός φαινομένου, αλλά απαιτείται να μελετηθεί σε συνάρτηση με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του φαινομένου, κατά την πορεία της εξέλιξής του.

Ο χρόνος και οι μεταβολές που συντελούνται κατά το πέρασμά του έχουν μεγάλη σημασία για πολλές επιστήμες, όπως την Ιστορία, την Πολεοδομία, τη Χωροταξία, τη Χαρτογραφία κ.α., και απαιτούνται κατάλληλα Συστήματα

Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), για την απεικόνιση των χρονικών χαρακτηριστικών των χωρικών οντοτήτων έχει πλέον αναγνωρισθεί.

Σύμφωνα με τους Gregory and Ell (2007) απαιτείται η ικανοποίηση τριών βασικών απαιτήσεων για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων ενός GIS για εργασίες Χώρο-χρονικής Ανάλυσης :

- ✓ Το σύστημα οφείλει να είναι κατάλληλα σχεδιασμένο για να καταγράφει τη χρονική πληροφορία.
- ✓ Το σύστημα πρέπει να δίνει έμφαση στις απαιτήσεις ακριβείας τόσο στα χωρικά χαρακτηριστικά όσο και στη χρονική πληροφορία.
- ✓ Τα εργαλεία διαχείρισης και ανάλυσης που προσφέρονται σε ένα περιβάλλον GIS είναι αποτελεσματικότερα στη χρήση ποσοτικών παρά ποιοτικών δεδομένων (η χρονική πληροφορία συχνά είναι περιγραφική και ποιοτική, μέσω κειμένου).

Η κάλυψη των απαιτήσεων αυτών είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί η λειτουργία ενός «Χρονικού» GIS (Temporal GIS), το οποίο θα επιτρέψει ανάλυση των δεδομένων και τη διατύπωση κατάλληλων χώρο-χρονικών ερωτημάτων. Η Peuquet (1994) έχει διατυπώσει τρία (3) βασικά είδη ερωτήσεων στα οποία θα πρέπει να μπορεί να ανταπεξέλθει ένα Temporal GIS:

- ✓ Ερώτημα Μεταβολών σε ένα Αντικείμενο – πχ μετακίνηση αντικειμένου.
- ✓ Ερώτημα Μεταβολών στα Χωρικά χαρακτηριστικά ενός Αντικειμένου – πχ αλλαγή χρήσης γης .
- ✓ Ερώτημα Μεταβολών των Χρονικών Συσχετίσεων μεταξύ πολλαπλών γεωγραφικών φαινομένων – πχ αλλαγή χρήσεων γης εντός κάποιας απόστασης, μετά από κάποιο συμβάν.

### ➤ **Ιδιότητες της Μεταβολής**

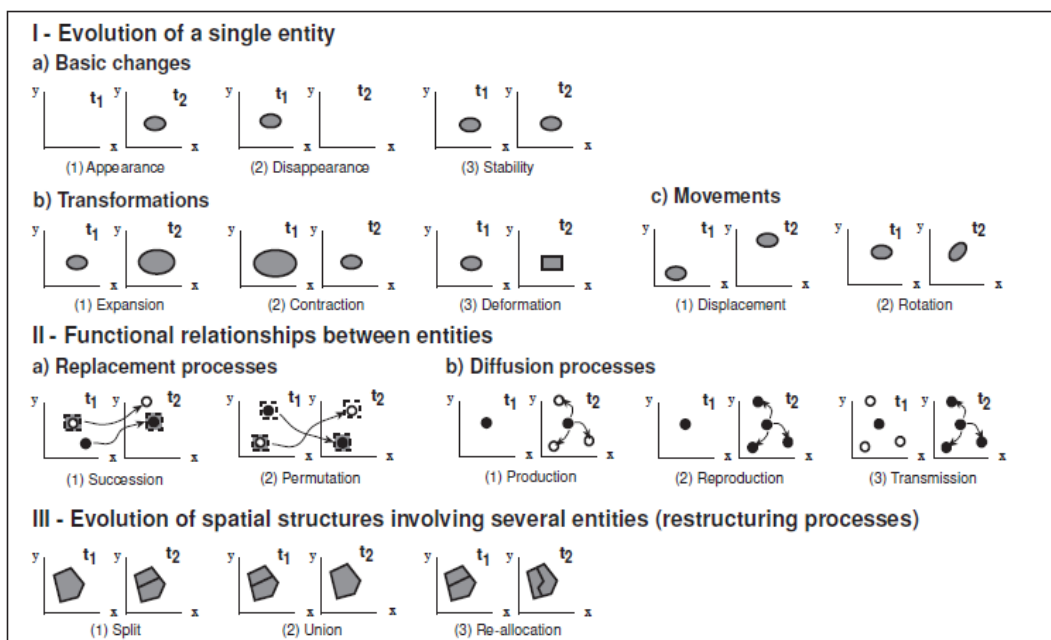
Η *μεταβολή* λαμβάνει χώρα όταν μια σειρά συμβάντων μεταβάλλει την κατάσταση μίας ή περισσοτέρων οντοτήτων. Τέτοια μεταβολή μπορεί να αφορά είτε στην ταυτότητα των οντοτήτων, είτε στην θέση τους, είτε/και στα χαρακτηριστικά τους. Σε ένα μοντέλο πεδίου, η μεταβολή λαμβάνει χώρα όταν ένα συμβάν σε μία γεωγραφική θέση μεταβάλλει την κατάσταση όλων (ή κάποιων) φαινομένων στη θέση αυτή (Πανόπουλος, 2013).

Ένας τρόπος να διαχωριστούν οι μεταβολές είναι βάσει του χρονικού πλαισίου στο οποίο συμβαίνουν. Μπορούν να υπάρξουν σταδιακές-συνεχείς μεταβολές, όπως

μπορούν και να υπάρξουν συμβάντα που μεταβάλλουν οντότητες απότομα. Ωστόσο, το αν είναι «σταδιακή» ή «απότομη» μια μεταβολή εξαρτάται σημαντικά από το πεδίο εφαρμογής και τη χρονική κλίμακα που χρησιμοποιείται.

Εντάσσοντας τις μεταβολές σε ένα ενιαίο 4διάστατο περιβάλλον χώρου και χρόνου, οι Claramunt και Thériault (1996) περιγράφουν τι μπορεί να συμβεί σε ένα μεμονωμένο αντικείμενο, αλλά και πως μπορεί να επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει συσχετίσεις μεταξύ και πολλαπλών αντικειμένων (Εικόνα 2-10).

Ορίζονται δύο κατηγορίες μεταβολής στα οποία μπορεί να υποβληθεί μία οντότητα (Panopoulos and Kanouras, 2001). Η *Ουσιώδης Μεταβολή* (Essential Change) αφορά στην ταυτότητα και τον κύκλο ζωής κάθε οντότητας, δηλαδή παύει η ύπαρξη της οντότητας και στη θέση της δημιουργείται μία (ή περισσότερες) νέες οντότητες. Αντίθετα, η *Επουσιώδης Μεταβολή* (Non-Essential Change) αφορά σε εσωτερικές αλλαγές στην οντότητα.



Εικόνα 2-10: Τυπολογία Χωροχρονικών διαδικασιών (Μεταβολών)

Πηγή : Claramunt et Thériault, 1996

### ➤ Διερευνητικές τεχνικές και χωροχρονική ανάλυση δεδομένων

Η ανάλυση χωροχρονικών δεδομένων συμβάλλει στην κατανόηση παλαιών και σημερινών στοιχείων, προτύπων (patterns) και δομών και επιπλέον επιτρέπει να γίνουν μελλοντικές προβλέψεις για την εξέλιξή τους, με βάση τα υπάρχοντα χωροχρονικά δεδομένα (Andrienko et al., 2007).

Τα πρότυπα αποτελούνται από χωροχρονικές αλλαγές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των ετών. Η Block (2000), ταξινομεί αυτές τις αλλαγές στις παρακάτω κατηγορίες:

✓ *Αλλαγές στην ύπαρξη* (Existential changes) όπως η εμφάνιση ή εξαφάνιση ενός αντικειμένου (object) ή / και μιας σχέσης (relationship).

✓ *Αλλαγές σε χωρικές ιδιότητες* (Changes of spatial properties) όπως η τοποθεσία, το σχήμα, το μέγεθος, ο προσανατολισμός.

✓ *Αλλαγές σε θεματικές ιδιότητες* (Changes of thematic properties) π.χ. αλλαγές στις τιμές των χαρακτηριστικών.

Για να ανιχνευτούν αυτές οι αλλαγές, η Peuquet (1994) χωρίζει τα χωροχρονικά δεδομένα σε τρία κύρια συστατικά : χώρος (space / where), χρόνος (time / when) και αντικείμενα (objects / what).

Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ αυτών των συστατικών,(Εικόνα 2-11) που σημαίνει ότι ο συνδυασμός τους επιτρέπει σε κάποιον να θέσει τα ακόλουθα ερωτήματα:

✓ " Πότε " + " Που " → " Τι "

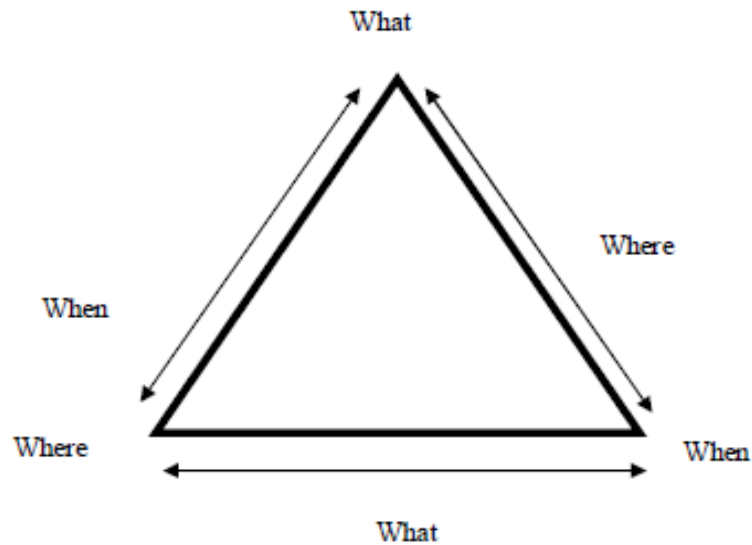
Περιγράφει το αντικείμενο ή τα αντικείμενα που υπάρχουν σε μια δεδομένη τοποθεσία σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

✓ " Πότε " + " Τι " → " Που "

Περιγράφει την τοποθεσία που καταλαμβάνεται από συγκεκριμένα αντικείμενα σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

✓ " Που " + " Τι " → " Πότε "

Περιγράφει τη χρονική στιγμή κατά την οποία αντικείμενο ή αντικείμενα βρίσκονται σε μια δοθείσα τοποθεσία.



Εικόνα 2-11: Ερωτήματα που προκύπτουν κατά την ανίχνευση αλλαγών σε χωροχρονικά δεδομένα

Πηγή : *Peuquet, 1994*

Οι Andrienko et al. (2003) το πηγαίνουν ένα βήμα παραπέρα και προτείνουν η χωροχρονική ανάλυση να περιλαμβάνει δύο επίπεδα έρευνας, ένα ειδικό (elementary) όταν επικεντρώνεται σε ένα αντικείμενο και ένα γενικό (general), όταν επικεντρώνεται σε περισσότερα αντικείμενα.

### 2.3.2. Τυποποιημένα Μοντέλα Χώρου και χρόνου

Η ανάγκη συνδυασμού χωρικών και χρονικών χαρακτηριστικών σε ένα ενιαίο Σύστημα υφίσταται για χρόνια, και γίνεται συνεχώς εντονότερη. Υπάρχουν αρκετά μοντέλα για χώρο-χρονικές οντότητες στη διεθνή βιβλιογραφία (Abraham and Roddick, 1996 - Pelekis et al., 2004 - Gregory and Ell, 2007 - van Oosterom and Stoter, 2010 - Πανόπουλος, 2013).

#### ➤ Στιγμιότυπα (snapshot model)

Πρόκειται για το απλούστερο μοντέλο, με διαδοχικά χρονικά "στιγμιότυπα" (snapshots). Δημιουργούνται πολλαπλά layers, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε διαφορετική χρονική στιγμή – σαν κάποιος να φωτογραφίζει την υπάρχουσα κατάσταση ανά τακτά χρονικά διαστήματα (Langran, 1992).

Εφαρμόζεται συχνά λόγω της απλότητάς του μοντέλου και της ευκολίας υλοποίησής του. Παρ' όλα αυτά, μειονεκτεί στο ότι δεν καταγράφονται οι μεταβολές μεταξύ στιγμιότυπων (πρέπει να τις εντοπίζει ο χρήστης). Επίσης, διατηρούνται

πλήρη αντίγραφα των φαινομένων για κάθε χρονική στιγμή, ακόμη κι αν δεν υπήρξε καμία μεταβολή.

### ➤ **Αποτύπωση του Χρόνου (Time-Stamping)**

Στο μοντέλο της Αποτύπωσης του Χρόνου, κάθε οντότητα έχει δύο αποτυπώματα χρονικών στιγμών: τη στιγμή της δημιουργίας της και τη στιγμή της παύσης της. Ουσιαστικά διατηρείται μόνο ο λεγόμενος «ενεργός» χρόνος (valid time), ως ένα ακόμη χαρακτηριστικό των αντικειμένων.

Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερος διαδεδομένη, για την τήρηση εκδόσεων των αντικειμένων. Μειονεκτεί στο ότι περιγράφει τη μεταβολή μέσω των αποτελεσμάτων που επιφέρει και όχι ως συγκεκριμένη πληροφορία, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να απαντήσει αποτελεσματικά σε ερωτήματα για το "τι συνέβη" ή "πότε συνέβη".

### ➤ **Ιστορικό Γράφημα (History Graph)**

Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, ορίζονται τρία διαφορετικά είδη συμπεριφοράς των οντοτήτων σε συνάρτηση με το χρόνο: συνεχώς μεταβαλλόμενα αντικείμενα, στατικά αντικείμενα που μεταβάλλονται σε συνεχείς περιόδους και στατικά αντικείμενα που μεταβάλλονται με αιφνίδια συμβάντα.

Στόχος του μοντέλου είναι να εντοπίσει τις χρονικές συμπεριφορές των αντικειμένων. Στηρίζεται στην ιδέα πως ένα αντικείμενο μπορεί να είναι είτε στατικό είτε μεταβαλλόμενο είτε θα έχει παύσει να υπάρχει. Ουσιαστικά συνδυάζει το μοντέλο της αποτύπωσης του Χρόνου με την καταγραφή των συμβάντων. Βασικό του πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα διατύπωσης ερωτημάτων σχετικών με την μεταβολή και την κίνηση.

### ➤ **Τρεις Περιγραφικές Περιοχές (Three-domain)**

Στο μοντέλο των Τριών Περιγραφικών Περιοχών (Yuan, 1994) απεικονίζεται ο χώρος, ο χρόνος και οι σημασιολογικές οντότητες ξεχωριστά. Η περιοχή των σημασιολογικών οντοτήτων περιλαμβάνει καθορισμένα αντικείμενα που αντιστοιχούν σε ανθρώπινες έννοιες, ανεξάρτητα από τη χρονική και γεωγραφική τους θέση.

Διαφέρει από άλλα μοντέλα, όπου πχ ο ιδιοκτήτης ενός γεωτεμαχίου απεικονίζεται απλώς ως μία ιδιότητα του γεωτεμαχίου. Στο μοντέλο των τριών

περιοχών, ο ιδιοκτήτης αποτελεί σημασιολογική οντότητα, συνδεδεμένη με ένα γεωτεμάχιο (χωρική οντότητα) και οι μεταβολές του γεωτεμαχίου συνδέονται με ημερομηνίες (χρονικό αντικείμενο).

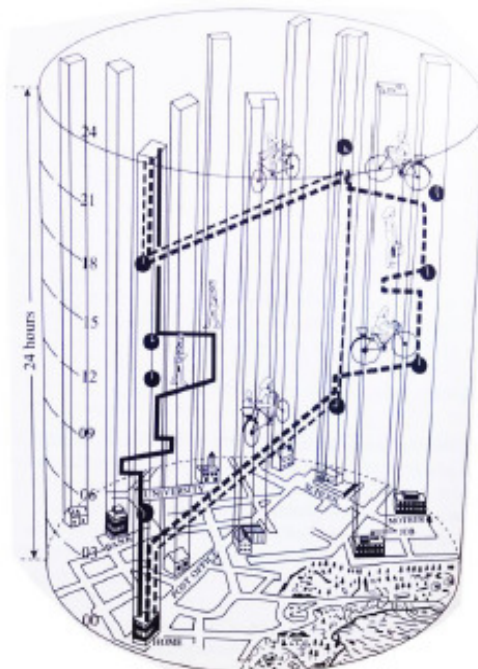
Το μοντέλο διατηρεί την δυναμική όλων των χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου, αλλά υστερεί στην περιγραφή των συσχετίσεων μεταξύ αντικειμένων.

### ➤ Κινούμενα Αντικείμενα (m-objects)

Η θέση του αντικειμένου στο χώρο θεωρείται σχετική. Εάν το αντικείμενο είναι σημειακό, τότε η βασική αφαιρετική απεικόνιση είναι το "κινούμενο σημείο" (mpoint). Εάν είναι επιφανειακό και άρα εξετάζεται η έκταση του αντικειμένου, τότε η "κινούμενη επιφάνεια" (mregion) συλλαμβάνει την κίνησή του, μελετώντας τη μεγέθυνση του ή τη συρρίκνωσή του.

Η προσθήκη του χρόνου  $t$  στη δομή και συμπεριφορά των αντικειμένων επιτρέπει την καταγραφή της συνεχούς κίνησης και συνεπώς συμβάλλει στη μελέτη της μεταβολής τους (Revesz, 2010).

Αναπαριστώντας τα ως συναρτήσεις, το κινούμενο σημείο είναι η συνάρτηση  $f : \text{time} \rightarrow \text{σημείο}$ , η κινούμενη γραμμή  $f : \text{time} \rightarrow \text{γραμμή}$  και η κιν. επιφάνεια  $f : \text{time} \rightarrow \text{πολύγωνο}$ . Τα κινούμενα σημεία, γραμμές και επιφάνειες θεωρούνται τρισδιάστατες οντότητες (Εικόνα 2-12).



Εικόνα 2-12: Τροχιές οι οποίες αντιστοιχούνται σε m-points ή m-regions

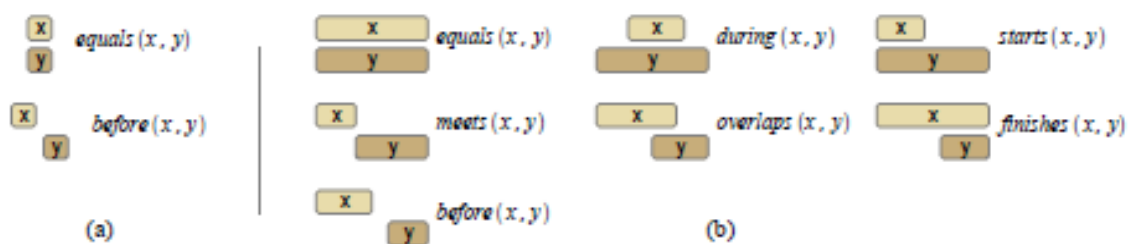
Πηγή : Wachowicz, 1999



Το μοντέλο χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές όπου υπάρχει συνεχής κίνηση οντοτήτων (ενημέρωσης θέσης αντικειμένων με δέκτες GPS) π.χ. εφαρμογές πλοήγησης, διαχείρισης στόλου, μετεωρολογικών προγνώσεων κ.α. (Sack et al., 2011). Βασικό πλεονέκτημα του μοντέλου αποτελεί η εξέλιξη της τεχνολογίας και η βελτίωση των τεχνικών οπτικοποίησης.

### 2.3.3. Οπτικοποίηση του χρόνου

Γενικά ο χρόνος οπτικοποιείται με τη χρήση δύο αρχικών χρονικών επιλογών – χρονικό σημείο ή χρονικό διάστημα (Aigner et al., 2007).

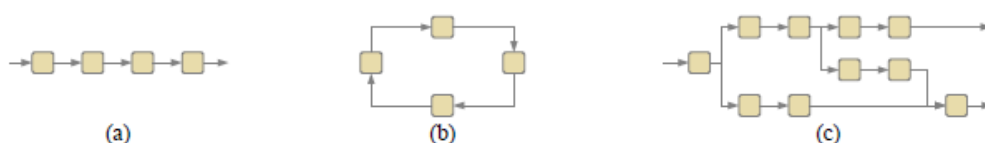


Εικόνα 2-13: Χρονικές προεπιλογές (primitives)

Πηγή: Aigner et al., 2007

Διαφορετικά είδη ερωτήσεων μπορούν να απαντηθούν, αναλόγως της εκάστοτε επιλογής. Η χρήση σημείου περιορίζει στην απάντηση ερωτήσεων, όπως αν δύο γεγονότα έλαβαν χώρα την ίδια χρονική στιγμή ή εάν ένα συμβάν προηγήθηκε ενός άλλου. Αντίθετα, η χρήση διαστημάτων πραγματεύεται ερωτήματα όπως εάν γεγονότα άρχισαν/ ολοκληρώθηκαν ταυτόχρονα ή εάν γεγονότα επικαλύπτονται.

Ένας κοινός στόχος, ανεξάρτητα της μεθόδου που επιλέγεται, είναι η σύγκριση δεδομένων σε διαφορετικά σημεία στο χρόνο και η παρατήρηση αλλαγών. Για την επίτευξη του σκοπού, ανεξάρτητα από την επιλογή κατάλληλων δεδομένων, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την οπτικοποίηση, όπως η φύση των δεδομένων (χωρικά ή ασαφή), ο τρόπος περιγραφής του χρόνου (γραμμικός, κυκλικός, με διακλαδώσεις, όπως Εικόνα 2-14 ),



Εικόνα 2-14: Δομή περιγραφής του χρόνου

Πηγή :Aigner et al., 2007

ο τρόπος αναπαράστασης καθώς και η αναγκαιότητα ή μη της διαδραστικότητας. (Aigner et al., 2008).

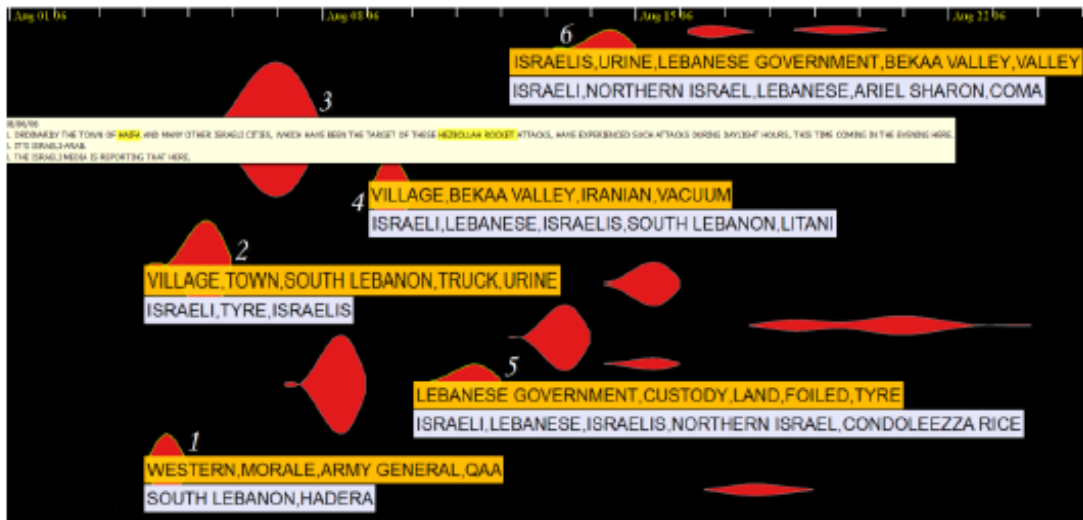
Στην Εικόνα 2-15 παρατίθεται ένα σχήμα κατηγοριοποίησης των μεθόδων οπτικοποίησης για ανάλυση χρονικών δεδομένων.

Time	Temporal primitives	time points	time intervals
	Structure of time	linear	cyclic
Data	Frame of reference	abstract	spatial
	Number of variables	univariate	multivariate
	Level of abstraction	data	data abstractions
Representation	Time dependency	static	dynamic
	Dimensionality	2D	3D

Εικόνα 2-15: Σχήμα κατηγοριοποίησης των μεθόδων οπτικοποίησης για ανάλυση χρονικών δεδομένων

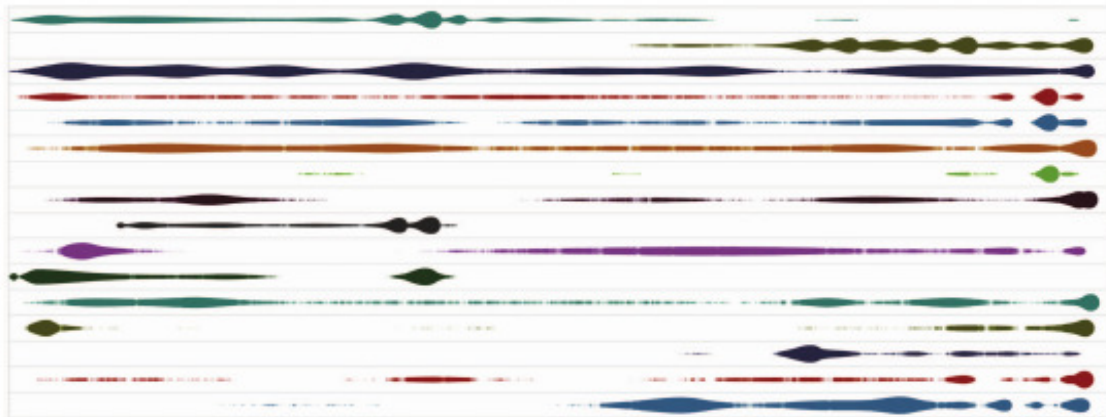
Πηγή: Aigner et al., 2008

Χαρακτηριστικές εφαρμογές οπτικοποίησης χρόνου είναι οι αφηγηματικές απεικονίσεις (Narratives) των Fisher et al. (2008), ο Ποταμός Γεγονότων (Event River) των Luo et al. (2012) και το Cloudlines (2011), οι οποίες εστιάζουν στο πως θέματα σε διαφορετικά σώματα κειμένων εξελίχθηκαν στο χρόνο. Το αποτέλεσμα των Narratives είναι ένα γραμμικό διάγραμμα, με το χρόνο στον οριζόντιο άξονα και τη συχνότητα εμφάνισης των θεμάτων σε διάφορα έγγραφα στον κατακόρυφο άξονα. Το Event River και Cloudlines χρησιμοποιούν παρόμοιους άξονες, αλλά κάθε θέμα απεικονίζεται σαν μια φουσαλίδα, της οποίας το πλάτος αντιστοιχεί στο διάστημα χρόνου, ενώ το ύψος στη συχνότητα εμφάνισης.



Εικόνα 2-16: Event River για τον πόλεμο στο Λίβανο

Πηγή : Luo et al., 2012

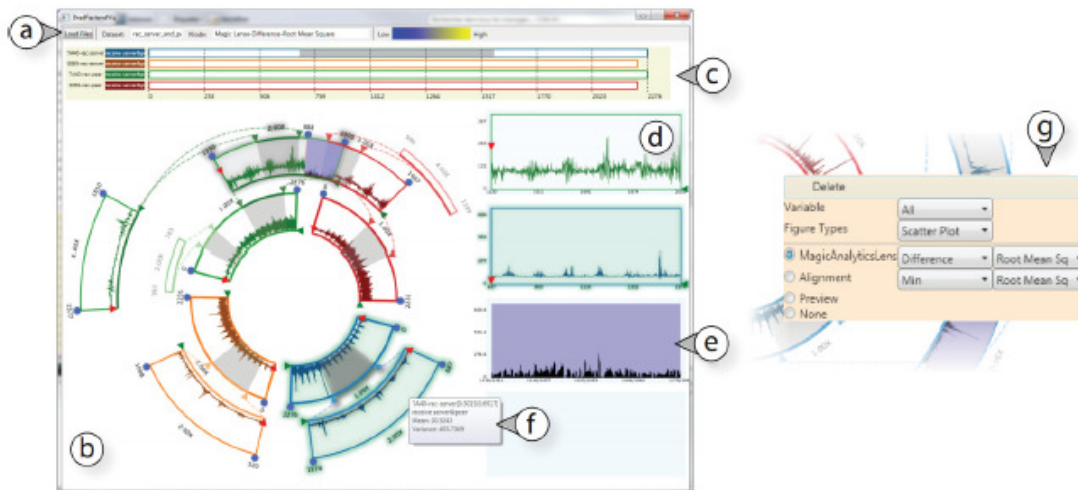


Εικόνα 2-17: CloudLines για την εμφάνιση ονομάτων πολιτικών στον τύπο

Πηγή: Krstajic et al., 2011

Το Event River εφαρμόζει μια προσέγγιση προκαθορίζοντας το ύψος, ενώ το Cloudlines υπολογίζει τις επικαλύψεις σημείων και αυξάνει το ύψος της φυσαλίδας αντίστοιχα.

Οι Zhao et al. το 2011 δημιούργησαν το *KronoMiner*, μια ακτινωτή οπτικοποίηση που παρουσιάζει τα γεγονότα σαν τμήματα ενός δακτυλιδιού. Αυτά που συμβαίνουν την ίδια χρονική στιγμή παρουσιάζονται ως ομόκεντροι κυκλικοί τομείς. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα χρήσης διασυνδεδεμένων παραθύρων για περισσότερη πληροφορία όσον αφορά τα δεδομένα.



Εικόνα 2-18: Πληροφορίες για τέσσερις χρηματαγορές με τη χρήση του KronoMiner

Πηγή: Zhao et al., 2011

### 2.3.4. Οπτικοποίηση του χώρου

Στην οπτικοποίηση του φυσικού χώρου πάντοτε κυριαρχούσαν οι χάρτες. Οι χάρτες είναι μια θεματική αναπαράσταση των χωρικών εννοιών (Bagrow, 1964).

Οι πρώτοι χάρτες που έχουν ανακαλυφθεί προέρχονται από τη Βαβυλώνα και χρονολογούνται από το 2300 Π.Χ. Κατά τη διάρκεια των αιώνων, με την ανάπτυξη της χαρτογραφίας άρχισε να βελτιώνεται η αναπαράσταση των χαρτών.

Η ανάπτυξη των Γεωγραφικών συστημάτων Πληροφοριών (GIS) το 1960 έφερε καινούριες ευκαιρίες για την ανάλυση χωρικών δεδομένων, και επίσης άλλαξε την αντίληψη της χρήσης του χάρτη από αντικείμενο αναπαράστασης σε διαδραστικό εργαλείο εξερεύνησης χωρικών δεδομένων (Anselin et al., 2006).

Με την άνθηση του διαδικτύου, έχουν αναπτυχθεί πολλά online χαρτογραφικά εργαλεία, όπως Google Maps, Google Earth, Open Street Maps και Bing Maps κ.α. Το Open Street Maps περιορίζεται μόνο σε διανυσματικούς (vector) χάρτες, σε αντίθεση με τα Google Maps και Bing Maps που παρέχουν και δορυφορικές εικόνες σαν θεματικά επίπεδα (Layers). Τέλος, το Google Earth παρέχει 3D απεικονίσεις κτιρίων και υποστηρίζει την εμφάνιση κίνησης (animation). Όλα τα χαρτογραφικά εργαλεία επιτρέπουν στο χρήστη να ψάξει, να εστιάσει και να μετακινηθεί επάνω σε διάφορες τοποθεσίες, καθώς και να βελτιώσει τη λειτουργικότητα τους ικανοποιώντας τις εκάστοτε ανάγκες του.

### 2.3.5. Οπτικοποίηση χώρο χρονικών δεδομένων

Για να πραγματοποιηθεί μια ανάλυση χωροχρονικών δεδομένων, απαιτούνται κάποιες τεχνικές οπτικής διερεύνησης και παρουσίασης (Goncalves et al, 2014.). Πρόκειται για μια αποτελεσματική προσέγγιση, που παρέχει υλικό και μπορεί να υποβοηθήσει την ικανότητα αντίληψης του ανθρώπου στη χαρτογράφηση χρονικής πληροφορίας με χωροχρονικές αλλαγές. Ουσιαστικά, η οπτική διερεύνηση υποδηλώνει την οπτικοποίηση των δεδομένων.

Οι Keim et al. (2008) ταξινομούν την οπτικοποίηση σε επιστημονική οπτικοποίηση (scientific) και οπτικοποίηση πληροφορίας (information). Η επιστημονική οπτικοποίηση είναι η οπτικοποίηση επιστημονικών δεδομένων που έχουν χρονικές και χωρικές αναφορές. Η οπτικοποίηση πληροφορίας αφορά οπτικοποίηση αφηρημένων (abstract) δεδομένων που δεν έχουν χρονικές ούτε χωρικές αναφορές.

Η γεω-οπτικοποίηση (geovisualization) είναι ένας τύπος οπτικοποίησης που ενσωματώνει προσεγγίσεις από επιστημονική οπτικοποίηση, οπτικοποίηση πληροφορίας, χαρτογραφία, ανάλυση εικόνων, διερευνητική ανάλυση δεδομένων και GIS, για να παρέχουν θεωρία, μεθόδους και εργαλεία, για οπτική διερεύνηση, ανάλυση, σύνθεση και παρουσίαση χωροχρονικών δεδομένων (Kraak and MacEachren, 1994).

Ένα από τα πιο συχνά εργαλεία στην γεω-οπτικοποίηση είναι οι χρονικοί χάρτες. Οι Kraak and MacEachren (1994) ορίζουν τους χρονικούς χάρτες σαν μια αναπαράσταση ή τεχνική απεικόνισης αλλαγών μια γεωγραφικής πραγματικότητας: ένα οπτικό εργαλείο (ψηφιακό ή απτό) για την αναπαράσταση γεωγραφικής πληροφορίας, της οποίας τα τοπικά χαρακτηριστικά ή τα χαρακτηριστικά των δομικών συστατικών της αλλάζουν με το πέρασμα του χρόνου.

Ο Monmonier (1990) διαχωρίζει τους χρονικούς χάρτες σε τέσσερις (4) κατηγορίες:

(i) απλοί στατικοί χάρτες (π.χ. χρονικά σύμβολα, συγκεντρώσεις στο χρόνο, χάρτες που αναπαριστούν κίνηση και αλλαγές δεικτών ή απολύτων τιμών)

(ii) πολλαπλοί στατικοί χάρτες (Διασύνδεση χαρτών και στατιστικών διαγραμμάτων)

(iii) Απλοί δυναμικοί χάρτες (Σύμβολα που υποδηλώνουν κίνηση) (iv) Πολλαπλοί δυναμικοί χάρτες maps (animations, διαδραστική γραφική ανάλυση) .

Ο Kraak (2003) πραγματοποιεί παρόμοια ταξινόμηση, ενοποιώντας τις τελευταίες δύο κατηγορίες όπως παρακάτω:

- (i) απλοί χάρτες;
- (ii) πολλαπλοί χάρτες και
- (iii) χάρτες κίνησης (animated maps).

Οι δύο πρώτες κατηγορίες καλύπτουν στατικούς και δυναμικούς χάρτες.

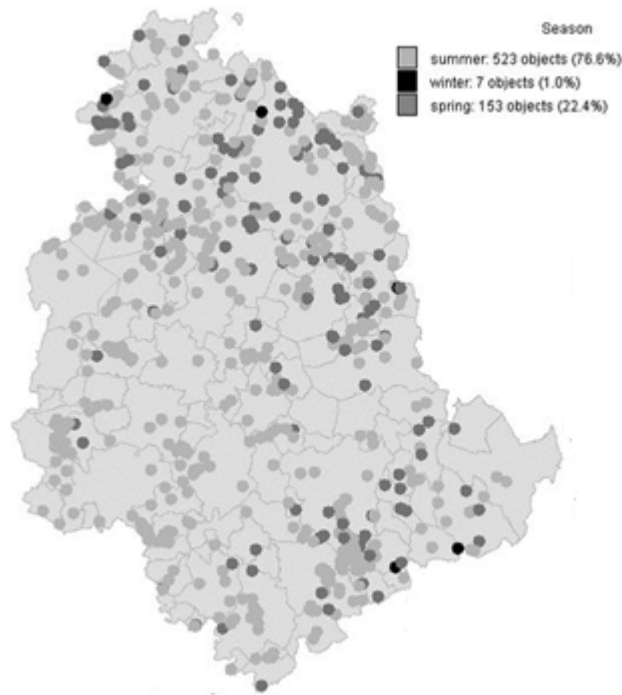
Γενικά, οι τεχνικές της οπτικοποίησης χωροχρονικών δεδομένων χωρίζονται σε απλούς στατικούς χάρτες, πολλαπλές απεικονίσεις (Multiple views), Τρισδιάστατες απεικονίσεις φαινομένων (isosurfaces), κινούμενες εικόνες (animation) και συνδυασμός των ανωτέρω( υβριδικές τεχνικές).

Ακολούθως περιγράφονται μερικές από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους απεικόνισης.

#### ➤ **Απλοί στατικοί χάρτες (Single Maps)**

Πρόκειται για μια στατική αναπαράσταση ενός σετ δεδομένων σε ένα χάρτη δύο διαστάσεων χρησιμοποιώντας ένα γραφικό σύστημα συμβόλων (Sign system). Για να παρουσιαστεί η κίνηση, χρησιμοποιούνται σύνθετα σημειακά σύμβολα, χρονικά λογότυπα / φωτοσύνθεσης, γενικευμένες σύγχρονες επιφάνειες, χάρτες με σύνδεση ροής, κ.α. (Monmonier, 1990). Για να απεικονιστούν οι χωρο-χρονικές ιδιότητες ενός σετ δεδομένων, από τα αρχικά σημεία στον τελικό τους προορισμό, χρησιμοποιούνται γραμμές και βέλη (Goncalves et al., 2014).

Χρησιμοποιώντας ένα χαρτογραφικό υπόβαθρο, τα χώρο-χρονικά αντικείμενα μπορούν να αποδοθούν υπό μορφή θεματικών συμβόλων. Θα πρέπει να επιλεχθεί ένα «βήμα» display time, στο οποίο θα πρέπει να συνενωθούν τα πλησιέστερα φαινόμενα και να αποδοθούν στο χάρτη ταξινομημένα βάσει της χρονικής αυτή κλίμακας (Andrienko and Andrienko, 2006).



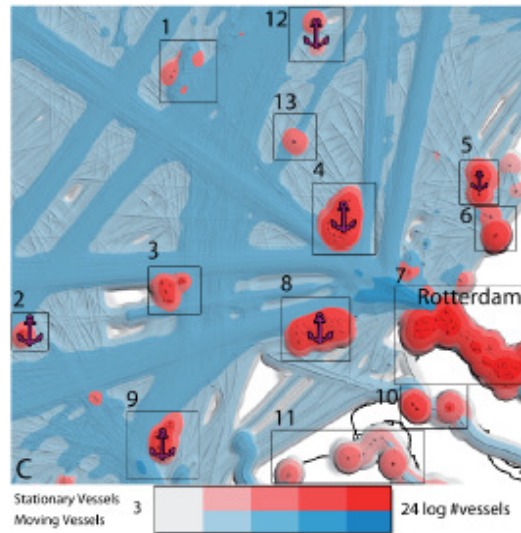
Εικόνα 2-19: Στατικός χάρτης δασικών πυρκαγιών με θεματικά σύμβολα ταξινομημένα σε χρονική κλίμακα απόδοσης

Πηγή : *Andrienko and Andrienko, 2006*

Προκαθορισμένα σύμβολα και ετικέτες δύνανται να χρησιμοποιηθούν για να απεικονίσουν την εμφάνιση διαφορετικών γεγονότων ή την αλλαγή τιμών (π.χ. αύξηση πληθυσμού). Επιπλέον, άλλα οπτικά χαρακτηριστικά όπως το χρώμα, το πάχος (stroke) και η διαφάνεια (transparency) μπορούν να αξιοποιηθούν για να χαρακτηρίσουν γεγονότα ή αλλαγές.

Στην Εικόνα 2-20 παρουσιάζεται χάρτης πυκνότητας πλοίων, ο οποίος εμφανίζει τη συμπεριφορά πλοίων που κινούνται με μικρή ταχύτητα στο λιμάνι του Ρότερνταμ για χρονικό διάστημα μιας εβδομάδας.

Οι περιοχές διακίνησης και οι περιοχές στάθμευσης απεικονίζονται αντίστοιχα από μπλέ και κόκκινο χρώμα, με αντίστοιχη χρωματική διαβάθμιση και προκαθορισμένα σχήματα.



Εικόνα 2-20: Απλός Χάρτης πυκνότητας πλοίων

Πηγή: *Scheepens et al., 2011*

Οι απλοί χάρτες χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στην οπτικοποίηση χωροχρονικών δεδομένων για μια συγκεκριμένη στιγμή ή για να εμφανίσουν μια συνολική εικόνα. Εξ' αιτίας της ιδιότητας της στατικότητας, ο χρήστης στερείται το φαινόμενο κίνησης, την ικανότητα πλοήγησης στο χρόνο, την ευκολία κατανόησης των επιμέρους συσχετίσεων καθώς και την εξέλιξη των δεδομένων στη διάρκεια του χρόνου.

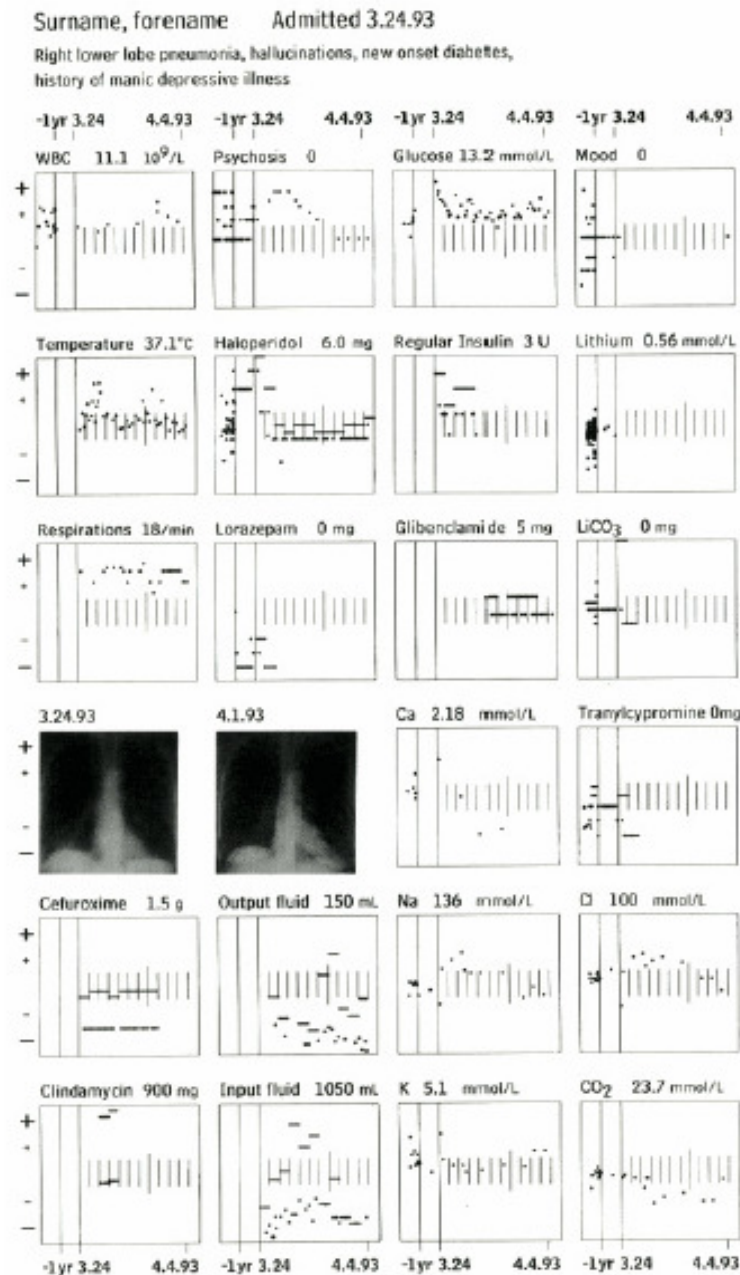
### ➤ Πολλαπλοί Στατικοί Χάρτες (Multiple Maps) και Κινούμενες Απεικονίσεις (Animated Maps)

Οι πολλαπλοί χάρτες και οι κινούμενες απεικονίσεις χρησιμοποιούν την ίδια προσέγγιση για να απεικονίσουν χωροχρονικά δεδομένα. Και στις δύο περιπτώσεις, ένα σετ χρονικών χαρτών παραθέτει μια διαφορετική κατάσταση των πραγμάτων στο πέρασμα του χρόνου (Goncalves et al., 2014).

Στους *Πολλαπλούς χάρτες*, μια σειρά χρονικών χαρτών (πλαίσια/frames) τοποθετούνται πλάι – πλάι κατά σειρά. Παρουσιάζουν το χώρο και το χρόνο σε διαφορετικές οπτικά πεδία, ενώ η πλειοψηφία τους χρησιμοποιεί την τεχνική του Tufte "small multiples" – πολλά στιγμιότυπα εξέλιξης μιας παραμέτρου μέσα στο χρόνο, με παραλλαγές του ίδιου χάρτη ως σειρά στιγμιότυπων, ένα για κάθε βήμα της χρονικής κλίμακας απόδοσης (Tufte, 1991).



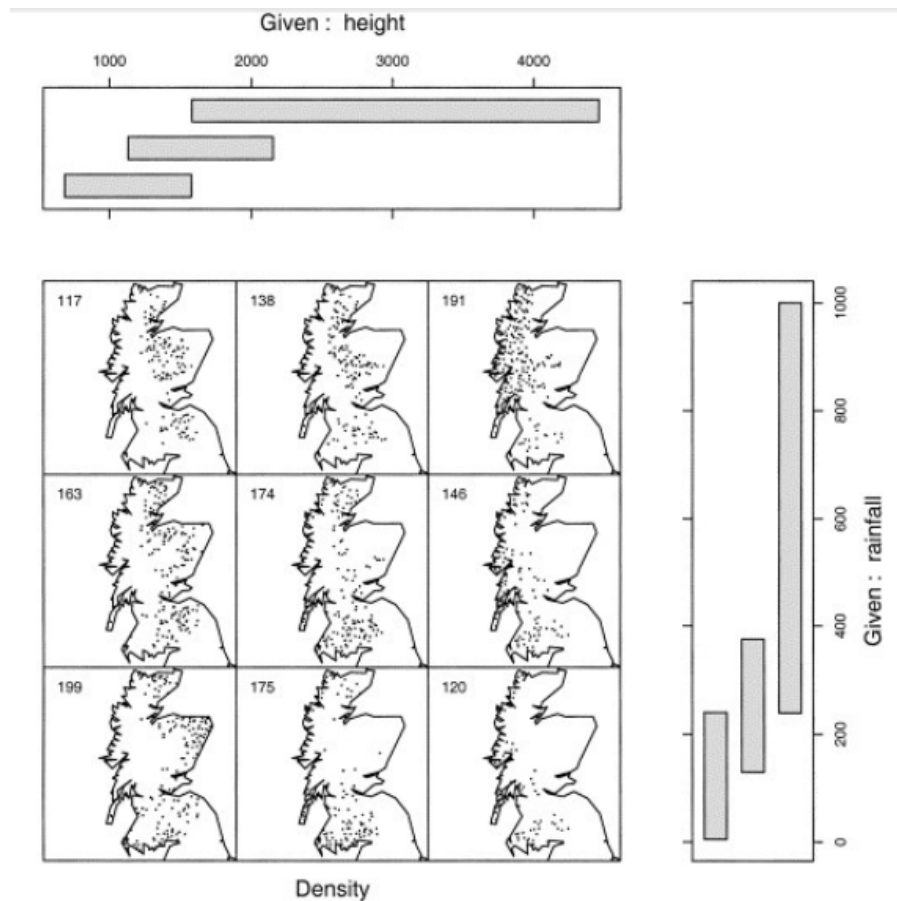
Οι Powsner και Tufte (1994) χρησιμοποιούν την ανωτέρω τεχνική για να παρουσιάσουν την κλινική κατάσταση ασθενούς. Μελετάται η αλλαγή μιας παραμέτρου με το πέρασμα του χρόνου.



Εικόνα 2-21: Μελέτη κλινικής κατάστασης ασθενούς

Πηγή :Powsner και Tufte, 1994

Αυτή η τεχνική, σε μια παραλλαγή της, χρησιμοποιείται στα co-maps του Brunsdon (2001). Οι εικόνες απεικονίζουν τις αλλαγές σε μια μόνο οντότητα (entity). Η παρακάτω εικόνα δείχνει τη διασπορά της βροχόπτωσης στη Σκωτία.



Εικόνα 2-22: Βροχόπτωση στη Σκωτία

Πηγή : *Brunsdon* , 2001

Η τεχνική αυτή είναι χρήσιμη και εφαρμόσιμη στην οπτικοποίηση και σύγκριση μικρού αριθμού στατικών χαρτών. Όταν όμως ο αριθμός των frames είναι μεγάλος, η τεχνική αυτή είναι δύσκολα εφαρμόσιμη, διότι είναι δύσκολο για κάποιον να διαβάσει και να συγκρίνει όλα τα πλαίσια χάρτου που παρατίθενται (Dorling και Openshaw, 1992).

Στους *χάρτες κίνησης*, τα πλαίσια παρατίθενται με διαδοχική σειρά (αλληλουχία) σε μια μόνο οπτική εικόνα. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι οι χάρτες πρόβλεψης καιρού, μέσω των οποίων δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να βλέπει τις αλλαγές στις ατμοσφαιρικές συνθήκες στο πέρασμα του χρόνου.

Στην Εικόνα 2-23 παρουσιάζεται μια σύγκριση μεταξύ πολλαπλών στατικών χαρτών και κινούμενων απεικονίσεων. Στους πολλαπλούς στατικούς χάρτες κάθε χάρτης αναπαριστά μια ημέρα καταγεγραμμένης κίνησης και όλοι οι χάρτες είναι ορατοί. Αντίθετα, στις κινούμενες απεικονίσεις κάθε χάρτης αναπαριστά μια στιγμή στο χρόνο, ενώ μόνο ένας χάρτης απεικονίζεται τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.



Εικόνα 2-23: Σύγκριση μεταξύ πολλαπλών στατικών χαρτών(A) και κινούμενων απεικονίσεων (B)

Πηγή : *Goncalves et al. 2014*

Η κινούμενη απεικόνιση (animation) στη γεω-οπτικοποίηση αφορά την οπτικοποίηση των αλλαγών στα συστατικά στοιχεία των χωροχρονικών δεδομένων. Δείχνει τις αλλαγές και τις συσχετίσεις μεταξύ του χώρου, των χαρακτηριστικών και του χρόνου (Kraak, 1997). Η απεικόνιση με κίνηση είναι χρήσιμη στην αποκάλυψη τάσεων, διαδικασιών και δυσδιάκριτων χωροχρονικών δομών και διατάξεων που δεν είναι εμφανείς στη στατική απεικόνιση.

Οι Dorling και Openshaw (1992) κατέδειξαν της ζωτικής σημασίας συνεισφορά της απεικόνισης με κίνηση στους χρονικούς χάρτες, όταν ερεύνησαν τους δείκτες παιδικής λευχαιμίας στη Βόρεια Αγγλία για χρονικό διάστημα 20 ετών. Μέχρι τότε, με τη χρήση στατικών απεικονίσεων για την αναπαράσταση της ύπαρξης αυτών των περιστατικών, δε μπορούσε να ανιχνευτεί κανένα pattern και το μοναδικό συμπέρασμα ήταν ότι αυτές οι περιπτώσεις ήταν μεμονωμένα σημεία σε μια τυχαία κατανομή. Μόλις λήφθηκε υπόψη ο παράγοντας χρόνος, η κινούμενη απεικόνιση αποκάλυψε hot-spots που δεν είχαν προηγουμένως ανιχνευτεί (αύξηση και μείωση κρουσμάτων στις πόλεις Newcastle και Manchester).

Η κινούμενη απεικόνιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στη οπτικοποίηση διαδρομών κινούμενων αντικειμένων (δεδομένα τροχιών). Σε αντίθεση με τις στατικές απεικονίσεις, η κίνηση φανερώνει λεπτομέρειες σχετικά με την ταχύτητα, την επιτάχυνση και την αλληλεπίδραση μεταξύ ανεξάρτητων αντικειμένων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Για την κινούμενη απεικόνιση ενός σετ αντικειμένων, μπορούν να ακολουθηθούν οι παρακάτω προσεγγίσεις (Andrienko et al, 2003):

✓ Ένα *στιγμιότυπο* (Snapshot in time) είναι η πιο απλή προσέγγιση που τοποθετεί όλα τα αντικείμενα στη θέση τους σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να μην είναι βολική όταν χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση περισσότερων από ενός αντικειμένων.

✓ Το *ιστορικό μετακίνησης* (Movement history) περιλαμβάνει την απεικόνιση αντικειμένων και τροχιών (από τα αρχικά τους σημεία μέχρι τα σημεία που καταλήγουν). Αυτή η προσέγγιση είναι χρήσιμη για να γίνει αντιληπτή η εξέλιξη των παρατηρούμενων αντικειμένων και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους, χωρίς να χάνεται κάποιο ίχνος τους. Παρ όλα αυτά, σε περίπτωση μεγάλων και πολύπλοκων τροχιών, η οπτικοποίηση μπορεί να γίνει υπερβολικά κορεσμένη και δυσνόητη.

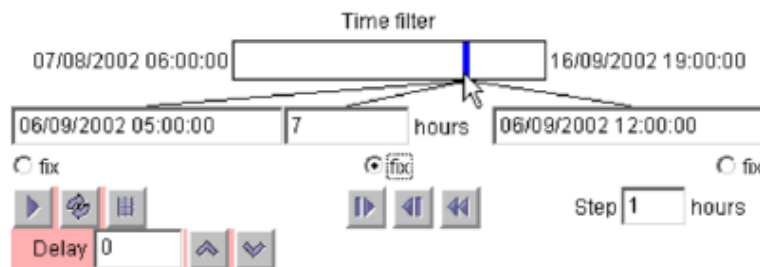
✓ Το *παράθυρο χρόνου* (Time window) δρα όπως η προηγούμενη προσέγγιση, με τη μόνη διαφορά ότι απεικονίζεται ένα μόνο μέρος των τροχιών, που βασίζεται σε καθορισμένα όρια. Αυτή η αλλαγή έρχεται να δώσει λύση στο μειονέκτημα της προηγούμενης προσέγγισης για τις περίπλοκες τροχιές.

Για ένα χρήστη ενός χάρτη κινούμενης απεικόνισης, είναι σημαντικό να υπάρχουν εργαλεία που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση καθώς παρατηρεί τον εν λόγω χάρτη (Monmonier και Gluck, 1994).

Ένα *υπόμνημα χρόνου* (temporal legend) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Βοηθά στο να καθοδηγήσει το χρήστη στο χρόνο, να καταλάβει πως σχετίζονται τα δεδομένα, ενώ παράλληλα λειτουργεί σαν ένα εργαλείο πλοήγησης για τον έλεγχο της κινούμενης απεικόνισης (Kraak, 1997). Συνήθως αποτελείται από επιμέρους δράσεις που περιλαμβάνουν λειτουργίες κίνησης, παύσης και περιήγησης στο χρόνο.

Το στυλ του υπομνήματος χρόνου μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τα χωρο-χρονικά φαινόμενα που θα απεικονιστούν, τη φύση των χρονικών ερωτημάτων (queries) που οι χρήστες αναμένεται να θέσουν, και το σχήμα γνώσης (knowledge schema) αναφορικά με τις χωρο-χρονικές οντότητες (Kraak, 1997). Ένα κυκλικό ή σε σχήμα ρολογιού υπόμνημα χρόνου είναι καλύτερο για δεδομένα που μετριοούνται σε κυκλικό χρόνο, όπως η ημέρα ή οι εποχές. Αντίθετα, ένα υπόμνημα χρόνου με μορφή συρόμενης μπάρας και δείκτη επισήμανσης της τρέχουσας χρονικής στιγμής προτιμάται για δεδομένα γραμμικού χρόνου (Εικόνα 2-24). Αριθμητικές επεξηγήσεις

για τη χρονική στιγμή είναι επίσης απαραίτητες (π.χ. Σάββατο, Ιούλιος 20 2016 4:27).



Εικόνα 2-24: Υπόμνημα χρόνου μορφής συρόμενης μπάρας με δυνατότητα δράσης, παύσης και μετακίνησης στο χρόνο

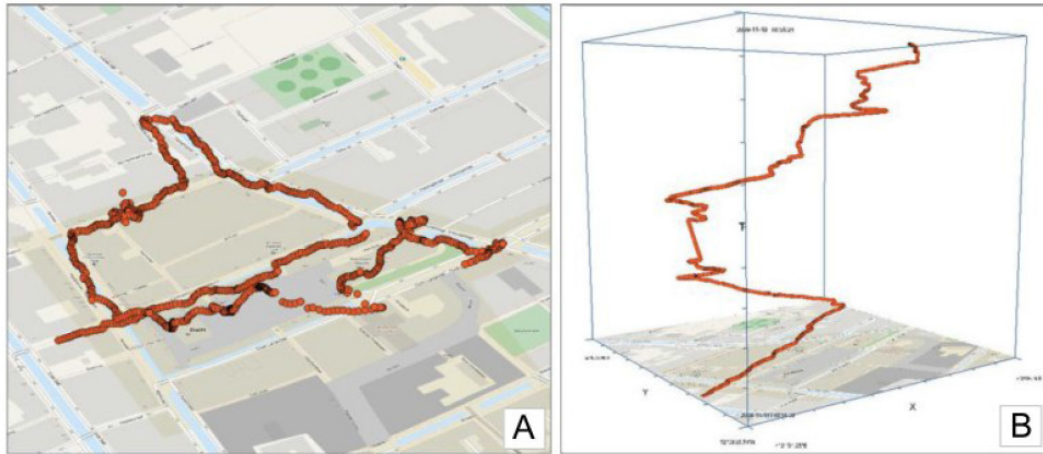
Πηγή : Andrienko, et al. ,2007

Παρ' ότι συνίσταται η επιλογή της κατάλληλης μορφής του υπομνήματος χρόνου για τον εκάστοτε χρήστη, μελέτες έχουν δείξει ότι ανεξάρτητα από την επιλογή μορφής υπομνήματος χρόνου, δεν υπάρχει αξιοσημείωτη επίπτωση στην απόδοση, στο χρόνο απόκρισης ή την ορθότητα των αποτελεσμάτων (Edsall et al. , 1997).

### ➤ Τρισδιάστατη απεικόνιση φαινομένων (Isosurface)

Οι Τρισδιάστατες απεικονίσεις φαινομένων είναι μια πολύ δημοφιλής μέθοδος οπτικοποίησης χωροχρονικών δεδομένων, διότι υποστηρίζει τρεις διαστάσεις (οι διαστάσεις X-Y αναπαριστούν το Γεωγραφικό πλάτος φ και το Γεωγραφικό Μήκος λ και η διάσταση Z αναπαριστά το χρόνο).

Η διεθνής βιβλιογραφία κυριαρχείται από *χωροχρονικούς κύβους* (space time cubes) και τα παράγωγά τους. Πρόκειται για μια μέθοδο οπτικοποίησης που έλαβε μεγάλη προσοχή τα τελευταία χρόνια. Αυτή η τεχνική προτάθηκε από τον Hagerstrand το 1970 και υποστηρίζει ότι ο χρόνος και χώρος τελικά σχετίζονται απόλυτα . Χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο διάγραμμα ο χωρο-χρονικός κύβος αξιοποιεί τις δύο διαστάσεις για να απεικονίσει το γεωγραφικό χώρο (συνήθως τους άξονες x και y) και την τρίτη διάσταση (συνήθως τον άξονα z) για να αναπαραστήσει το χρόνο (Εικόνα 2-25).

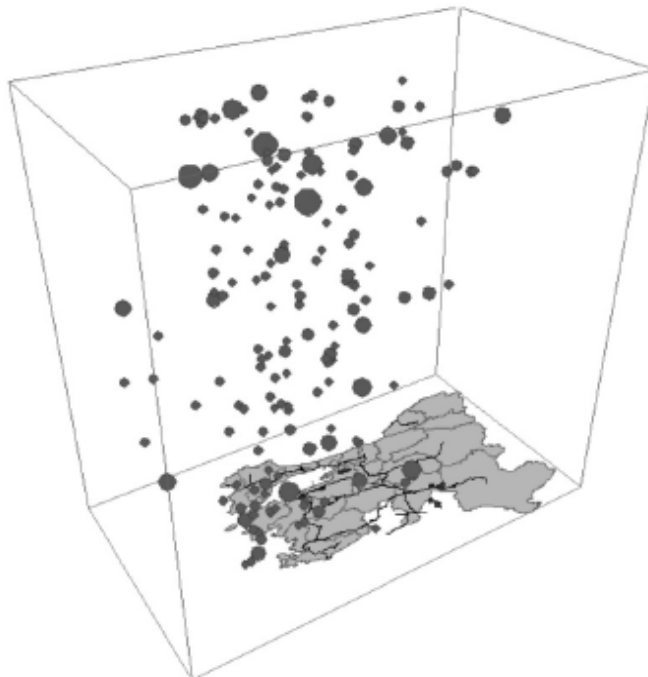


Εικόνα 2-25: Σύγκριση δεδομένων τροχιάς σε έναν απλό στατικό χάρτη (A) και στον χωρο-χρονικό κύβο (B)

Πηγή : Kveladze et al., 2009

Η κίνηση αντικειμένων εμφανίζεται σαν μια τρισδιάστατη γραμμή που ενώνει τις διαδοχικές θέσεις (*space-time path*). Η κλίση μεταξύ των τμημάτων της γραμμής υποδεικνύει την ταχύτητα του αντικειμένου, π.χ. κλιμακωτή άνοδος σημαίνει υψηλή ταχύτητα, απότομο βήμα υποδηλώνει αργή κίνηση  $m$ , ενώ κάθετα τμήματα αντιστοιχούν σε χρονικά διαστήματα χωρίς κίνηση (Andrienko et al, 2007).

Η έρευνα των Andrienko et al. (2003) πραγματεύεται τις υπάρχουσες τεχνικές και τα ερωτήματα (*queries*) που οι οπτικοποιήσεις υποστηρίζουν.



Εικόνα 2-26: Χωρο-χρονικό κύβος και ερωτήματα

Πηγή : Andrienko et al., 2003

Το μέγεθος και το σχήμα των κουκίδων αναπαριστούν πρόσθετα χαρακτηριστικά των δεδομένων.

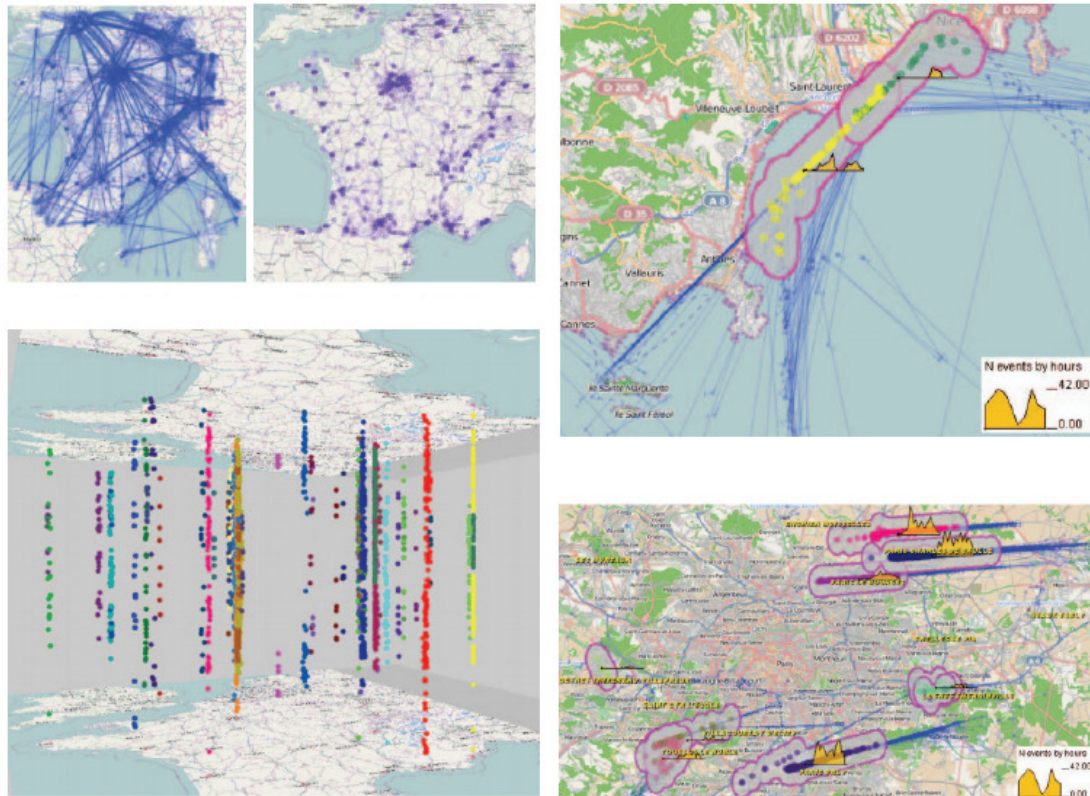
Παλαιότερα, η δημιουργία τέτοιων διαγραμμάτων ήταν δύσκολη, διότι απαιτούνταν μεγάλες δεξιότητες σχεδίασης για να απεικονίσει με ακρίβεια σε ένα δισδιάστατο χαρτί ένας τρισδιάστατος χρονικός χάρτης με χωρικές πορείες (τροχιές). Σήμερα, χάρη στις σύγχρονες τεχνολογίες γραφικών σε περιβάλλον Η/Υ, οι απεικονίσεις σε τρεις διαστάσεις είναι συνηθισμένες και επιτυγχάνονται εύκολα. Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκε μεγάλη έρευνα γύρω από αυτή την τεχνική.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ο βαθμός εφαρμογής της σε διαφορετικούς τύπους ανάλυσης και δεδομένων, ειδικά στην ανάλυση σύνθετων χωρο-χρονικών δομών (Lins et al., 2013)

Επειδή ο χρόνος αναπαριστάται σε μια χωρική θέση, δεν είναι απαραίτητο κάποιο οπτικό εργαλείο, όπως η κινούμενη απεικόνιση, για να παρουσιάζει την εξέλιξη του φαινομένου στο πέρασμα του χρόνου. Παρ' όλα αυτά, επειδή οι άνθρωποι είναι συνηθισμένοι να αναλύουν δισδιάστατους χάρτες, αυτή η τεχνική δε μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή, ιδιαίτερα σε αρχάριους χρήστες. Επιπλέον, εξ αιτίας θεμάτων αντίληψης του ανθρώπου σε πληροφορία τριών διαστάσεων, αυτή η οπτικοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα παρερμηνείας ή ασυναίσθητης άγνοιας της μετρικής πληροφορίας (Kristensson et al., 2009).

### ➤ Υβριδικές Τεχνικές

Τα τελευταία χρόνια, πολλοί συγγραφείς έχουν αναπτύξει τεχνικές που συνδυάζουν τρισδιάστατη απεικόνιση φαινομένων (isosurfaces) με πολλαπλές απεικονίσεις (multiple views) με στόχο να παρέχουν συμπληρωματική πληροφορία στο χρήστη. Η Εικόνα 2-27 παρουσιάζει τη δουλειά των Andrienko et al. (2012), η οποία αναφέρεται στην οπτικοποίηση τροχιών κίνησης και προσγείωσης αεροσκαφών.



Εικόνα 2-27: Τροχιές και θέσεις προσγείωσης από δεδομένα πτήσεων

Πηγή : Andrienko et al., 2012

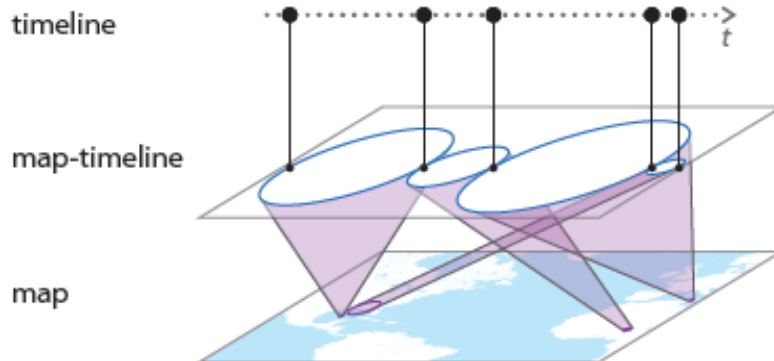
Οι κίτρινες και πράσινες κουκίδες απεικονίζουν τις συγκεντρώσεις (συστάδες) σημείων προσγείωσης στο αεροδρόμιο της Nice. Το διάγραμμα του χρόνου δείχνει τη δυναμική των προσγειώσεων στις δύο κατευθύνσεις. Ο χωρο-χρονικός κύβος δείχνει τις προσγειώσεις, ομαδοποιημένες κατά θέση και διεύθυνση, ενώ το διάγραμμα χρόνου δείχνει τη δυναμική των προσγειώσεων στο αεροδρόμιο του Παρισιού.

Επιπρόσθετα, οι Kristensson et al. (2009), οπτικοποίησαν δεδομένα πορείας ανθρώπων επάνω σε ένα δυσδιάστατο επίπεδο βάσης. Κάθε ανθρώπινο ον αναπαριστάται με διαφορετικό χρώμα . Χρησιμοποιήθηκαν πινακίδες (labels) για να εμφανιστεί ο χρόνος στο χάρτη. Οι ετικέτες απεικονίζουν τις χρονικές στιγμές έναρξης και λήξης της πορείας ενός ατόμου προς ένα συγκεκριμένο σημείο στο χάρτη.





διαστημάτων (timelines) εστιάζουν στη χρονική ακολουθία, δίνοντας λιγότερη αξία στο χωρικό παράγοντα. Αντίθετα, οι map-timelines δίνουν την ίδια αξία σε τοποθεσία και χρόνο.



Στην έρευνα των Thudt et al., η τοποθεσία παρουσιάζεται σαν μια ακολουθία από τα μέρη που επισκέφθηκε ο χρήστης και παρουσιάζονται σαν επιμέρους τμήματα (segments) χάρτη, επάνω σε μια χρονολογική γραμμή (timeline). Απεικονίζονται με χρονολογική σειρά, εμφανίζεται η διάρκεια παραμονής και η συχνότητα επίσκεψης στον ίδιο τόπο.



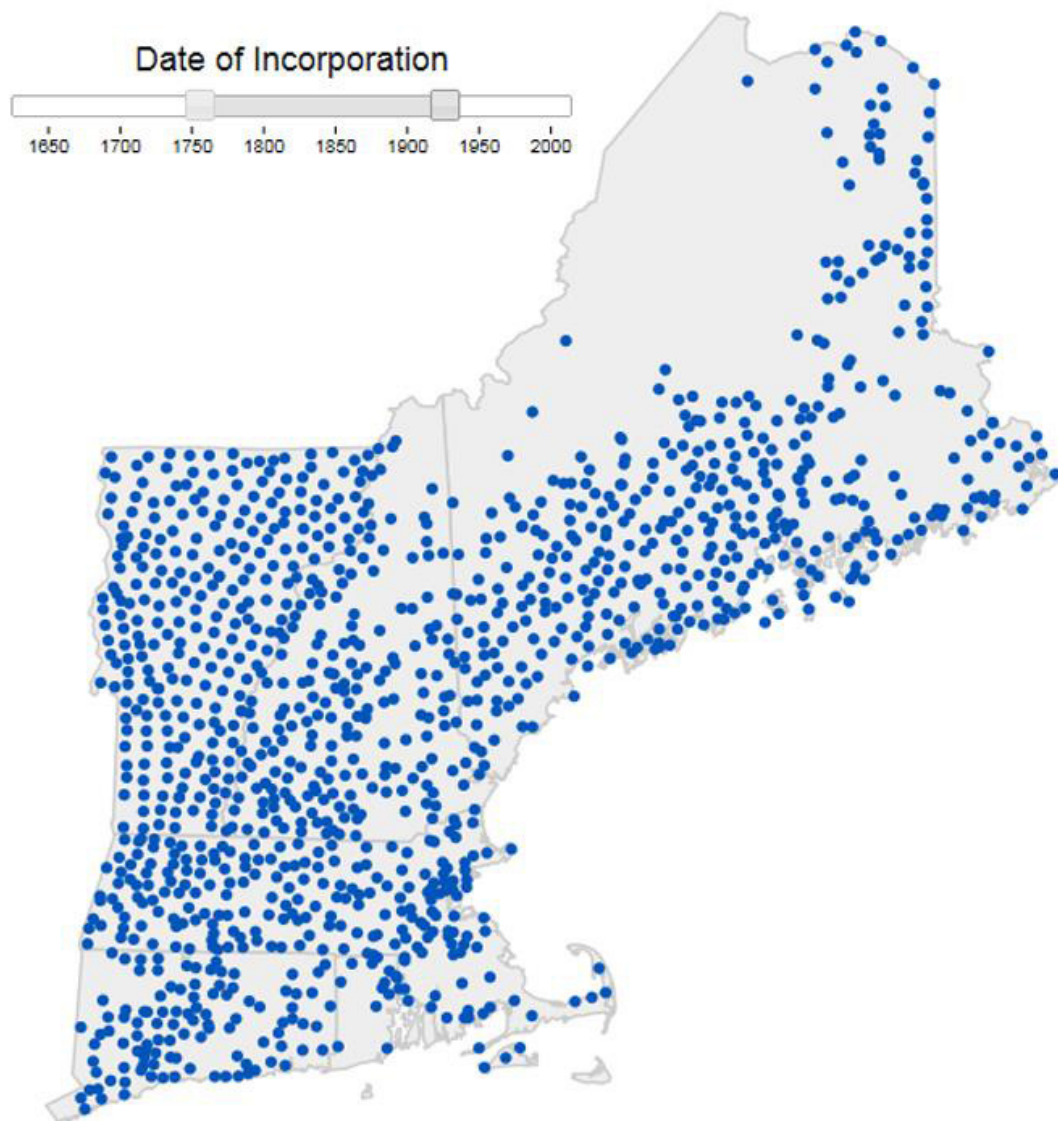
Κάθε τμήμα έχει ένα μέγεθος που καθορίζεται από τη διάρκεια στη γραμμή χρόνου (περισσότερος χρόνος σημαίνει μεγαλύτερος κύκλος), ενώ παράλληλα δείχνει που αντιστοιχίζεται στον παγκόσμιο χάρτη.

Εικόνα 2-30: Map-timelines

Πηγή: Thudt et al, 2013

➤ **Στάσιμοι χάρτες οπτικοποίησης χρονικών ερωτημάτων**

Ειδική επιλογή απόδοσης χώρο-χρονικών φαινομένων είναι οι στάσιμοι χάρτες οπτικοποίησης *χρονικών ερωτημάτων*. Στην περίπτωση αυτή, εναλλάσσεται το αποδιδόμενο χωρικό κομμάτι των αντικειμένων, αναλόγως των περιορισμών που τίθενται στη χρονική κλίμακα, όπως ερωτήματα επιλογής χωρικών χαρακτηριστικών με κριτήριο «από  $t_1$  έως  $t_2$ » (Rabinowitz, 2011). Η φύση των συγκεκριμένων ερωτημάτων εξυπηρετεί τη χρονική ανάλυση, και μπορούν να υλοποιηθούν σε ένα χρονικό GIS.



Εικόνα 2-31: Τα χρονικά χαρακτηριστικά ως κριτήριο σε Ερώτημα

Πηγή : Rabinowitz, 2011



### 3. Βιογραφική Ανασκόπηση Τηλεπισκόπησης

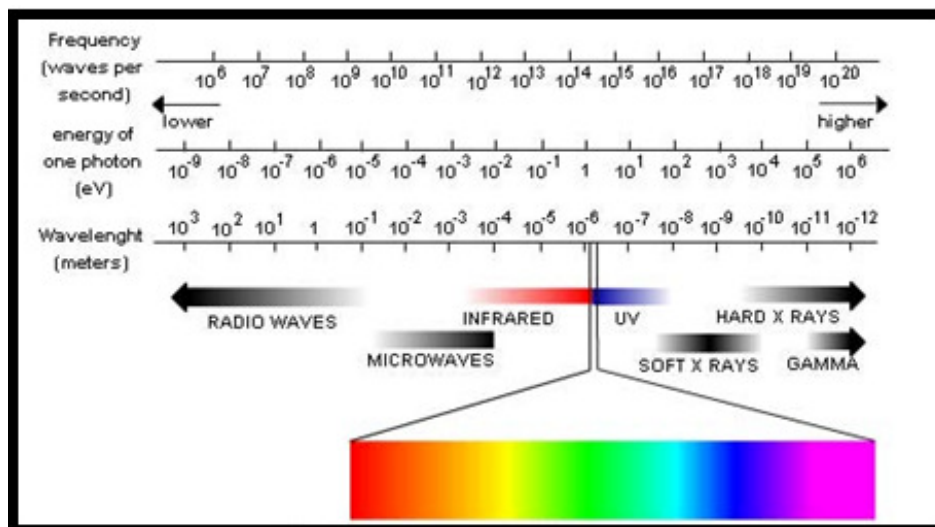
Στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται μια ανασκόπηση των βασικών αρχών της Τηλεπισκόπησης και των σημαντικότερων εργασιών που έχουν αξιοποιηθεί στην παρούσα εργασία.

#### 3.1. Ανασκόπηση Βασικών Αρχών Τηλεπισκόπησης

Η τηλεπισκόπηση ασχολείται με την απομακρυσμένη συλλογή και ερμηνεία πληροφοριών που αφορούν τα φυσικά χαρακτηριστικά αντικειμένων ή περιοχών, αξιοποιώντας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από αυτά. Η συλλογή και η καταγραφή της ακτινοβολίας πραγματοποιείται υπό μορφή ψηφιακών εικόνων από τηλεπισκοπικούς αισθητήρες προσαρτημένους σε δορυφόρους (Ιερωνυμίδα, 2009).

##### 3.1.1. Πηγές ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και αρχές ακτινοβολίας

Το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας η οποία ακτινοβολείται από τον ήλιο στη γη συνιστά το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.



Εικόνα 3-1: Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Πηγή: <http://panacea.med.uoa.gr/topic.aspx?id=920>, 2016

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια περιγράφεται από την κυματική θεωρία ως μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Στην Τηλεπισκόπηση, είναι πιο συνηθισμένο να κατηγοριοποιούνται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ανάλογα με τη

θέση τους μέσα στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η πιο καθιερωμένη μονάδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του μήκους κύματος κατά μήκος του φάσματος είναι το *μικρόμετρο* ( $1 \cdot 10^{-6}$  m).

Η ακτινοβολία που μπορεί να εντοπιστεί από το ανθρώπινο μάτι (από 400 έως 700 nm) δεν είναι παρά ένα πολύ μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το μπλε χρώμα απεικονίζεται στο εύρος από 0,4 έως 0,5μm περίπου. Το πράσινο από 0,5 έως 0,6μm, ενώ κόκκινο από 0,6 έως 0,7μm περίπου.

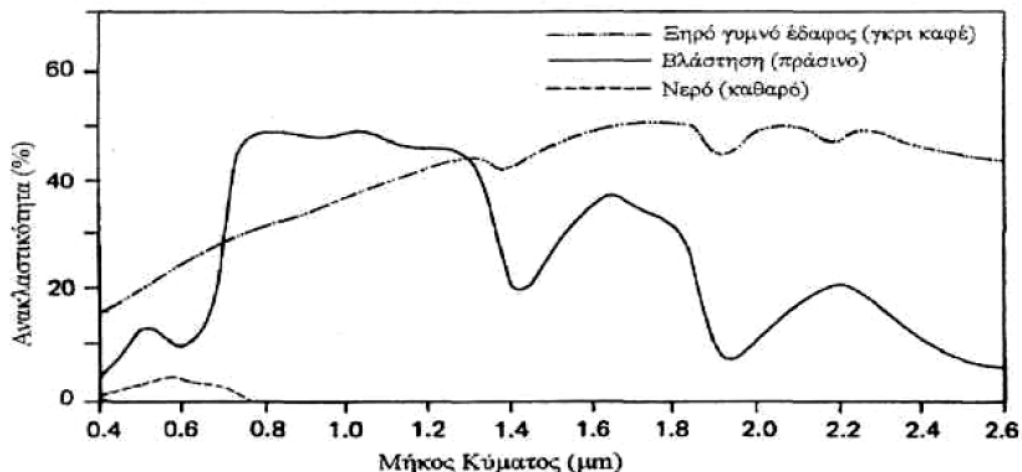
Η υπεριώδης ακτινοβολία (Ultraviolet radiation) έχει συχνότητα λίγο παραπάνω από αυτή του ορατού φωτός. Το μήκος κύματος της εκτείνεται από 50 μέχρι και 400 nm.

Η υπέρυθη ακτινοβολία (Infrared radiation) εκτείνεται σε ένα μήκος κύματος από εκεί που σταματάει η ορατή ακτινοβολία, δηλαδή περίπου τα 700 nm μέχρι περίπου το ένα χιλιοστό. Στο τέλος του κόκκινου (τέλος ορατής περιοχής) συνορεύουν 3 διαφορετικές κατηγορίες υπέρυθρων κυμάτων: Το εγγύς υπέρυθρο (από 0.7 έως 1.3μm), το μέσο υπέρυθρο (από 1.3 έως 3μm) και το θερμικό υπέρυθρο (πέρα των 3μm). Η μικροκυματική περιοχή του φάσματος βρίσκεται μεταξύ του 1mm και του 1m (Αργιαλάς, 2000).

### 3.1.2. Ανακλαστικότητα Επιφανειών

Κάθε υλικό ανακλά την προσπίπτουσα σε αυτό ακτινοβολία με διαφορετικό και χαρακτηριστικό τρόπο, ως προς το ποσοστό της ανάκλασης και τα μήκη κύματος στα οποία παρατηρείται αυτή. Η διαφοροποίηση αυτή εξαρτάται κυρίως από τη σύσταση και τη δομή των υλικών.

Για κάθε αντικείμενο η κατανομή της καταγεγραμμένης εκπεμπόμενης ή ανακλώμενης ακτινοβολίας στα διάφορα μήκη κύματος περιγράφεται από μια καμπύλη. Η καμπύλη αυτή είναι μοναδική για κάθε αντικείμενο και αποτελεί τη φασματική ταυτότητα αυτού. Βάσει της φασματικής υπογραφής ενός αντικειμένου καθίσταται δυνατή η αναγνώριση και διάκριση του από τα υπόλοιπα (Ιερωνυμίδα, 2009).



Εικόνα 3-2: Τυπικές Καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για βλάστηση, νερό και έδαφος

Πηγή: Αργιαλάς, 2000

Το διάγραμμα στην Εικόνα 3-2 παρουσιάζει τις τυπικές καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για τρία βασικά είδη γήινων χαρακτηριστικών: πράσινη υγιής βλάστηση, ξηρό και γυμνό έδαφος και καθαρό λιμναίο νερό. Οι γραμμές στο διάγραμμα αυτό, απεικονίζουν καμπύλες μέσης φασματικής ανακλαστικότητας που στηρίζονται σε μετρήσεις ενός σημαντικού δείγματος. Σε γενικές γραμμές, η μορφή της καμπύλης μέσης φασματικής ανακλαστικότητας είναι ένας δείκτης του είδους και των συνθηκών ενός υλικού, στο οποίο αυτές εφαρμόζονται. Αν και η ανακλαστικότητα του κάθε είδους υλικού θα μεταβάλλεται σημαντικά περί τον μέσο όρο, οι καμπύλες αυτές επισημαίνουν μερικά θεμελιώδη σημεία, όσον αφορά στην φασματική ανακλαστικότητα.

Η χλωροφύλλη απορροφά σημαντικά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που βρίσκεται περί τα 0.45 και 0.67μm. Συνεπώς, βλέπουμε την υγιή βλάστηση ως πράσινη λόγω της μεγάλης απορρόφησης της μπλε και κόκκινης ενέργειας από τα φύλλα των φυτών, και μεγάλης ανάκλασης της πράσινης ενέργειας. Εάν ένα φυτό είναι σε ασθενική κατάσταση, η οποία διακόπτει την κανονική του ανάπτυξη και παραγωγικότητα, αυτό μπορεί να παρουσιάσει ελάτπωση ή παύση χλωροφύλλης. Το αποτέλεσμα είναι η λιγότερη απορρόφηση της μπλε και κόκκινης ακτινοβολίας. Όταν η κόκκινη ακτινοβολία αυξηθεί, τότε το φυτό φαίνεται να κιτρινίζει (συνδυασμός πράσινου και κόκκινου). Καθώς το μήκος κύματος αυξάνεται από το ορατό προς το εγγύς υπέρυθρο μέρος του φάσματος, γύρω στα 0.7μm, η ανακλαστικότητα της υγιούς βλάστησης αυξάνεται σημαντικά. Στην περιοχή από 0.7 μέχρι 1.3μm, το φύλλωμα των φυτών τυπικώς ανακλά το 40-50% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Πέρα από τα 1.3μm, η προσπίπτουσα στη βλάστηση ακτινοβολία, απορροφάται ουσιαστικά, ή ανακλάται, χωρίς να διαπερνά το φύλλωμα.

Η καμπύλη ανακλαστικότητας του εδάφους δείχνει πολύ μικρότερες μεταβολές. Άρα, οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα των εδαφών, ενεργούν σε λιγότερο συγκεκριμένες φασματικές ζώνες. Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα του εδάφους, είναι η περιεχόμενη υγρασία, η υφή του εδάφους, η επιφανειακή τραχύτητα, η παρουσία οξειδίων του σιδήρου και η περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά. Αυτοί οι παράγοντες είναι σύνθετοι, μεταβλητοί και αλληλοσυσχετιζόμενοι. Για παράδειγμα, η ύπαρξη υγρασίας στο έδαφος ελαττώνει την ανακλαστικότητα του. Όπως και στη βλάστηση, η επίδραση αυτή είναι μέγιστη στις ζώνες υδατοαπορρόφησης που βρίσκονται περίπου στα 1.4, 1.9 και 2.7μm. Η υγρασία του εδάφους σχετίζεται άμεσα με την εδαφική υφή: χονδρόκοκκα, αμμώδη εδάφη παρουσιάζουν συνήθως καλή αποστράγγιση, με αποτέλεσμα να έχουν χαμηλό ποσοστό υγρασίας και σχετικά υψηλή ανακλαστικότητα. Λεπτόκοκκα εδάφη με χαμηλή αποστράγγιση θα έχουν γενικά χαμηλότερη ανακλαστικότητα. Απουσία ύδατος, όμως, τα εδάφη συνήθως εμφανίζονται αντιστρόφως: τα χονδρόκοκκα εδάφη θα παρουσιάζονται σκουρότερα από τα λεπτόκοκκα.

Όσον αφορά στη φασματική απορρόφηση του νερού, πιθανώς το πιο διακριτό χαρακτηριστικό που συνάγεται από την καμπύλη μέσης φασματικής ανακλαστικότητας του νερού, είναι η απορρόφηση της ενέργειας σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν στην εγγύς υπέρυθρη περιοχή. Εν συντομία, το νερό απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία είτε ως λίμνη, θάλασσα ή ποτάμι, είτε ως συστατικό της βλάστησης ή του εδάφους. Λόγω αυτής της ιδιότητας του η ανίχνευση, ο εντοπισμός και η οριοθέτηση των υδατικών μαζών γίνονται σχετικά εύκολα στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Όμως, συγκεκριμένες συνθήκες των υδατικών μαζών εκδηλώνονται φασματικά, κυρίως στο ορατό τμήμα του φάσματος. Οι αλληλεπιδράσεις ενέργειας/νερού είναι σύνθετες και εξαρτώνται από πολλούς και αλληλοσυσχετιζόμενους παράγοντες. Για παράδειγμα, η ανακλαστικότητα των υδατικών μαζών μπορεί να πηγάζει από μια αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την επιφάνεια των υδατικών μαζών (κατοπτρική ανάκλαση), με τα αιωρούμενα στο νερό σωματίδια, ή με τον πυθμένα των υδατικών μαζών (για ρηχά νερά). Στα βαθιά νερά, όπου οι επιδράσεις στον πυθμένα είναι αμελητέες, η ανακλαστικότητα ενός υδάτινου σώματος είναι συνάρτηση, όχι μόνο καθεαυτού του νερού, αλλά και των υλικών που βρίσκονται σ' αυτό (Αργιαλάς, 2000).



### 3.1.3. Τηλεπισκοπικοί Αισθητήρες

Κάθε εικονοστοιχείο (pixel) των καταγεγραμμένων ψηφιακών εικόνων αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη περιοχή της επιφάνειας της γης, και εμφανίζει συγκεκριμένη τιμή ακτινοβολίας στην οποία αποδίδεται συγκεκριμένο χρώμα ή τόνος του γκρι. Η διάσταση της γήινης επιφάνειας που αντιστοιχεί σε ένα εικονοστοιχείο καθορίζει και τη χωρική διαχωριστική ικανότητα ή χωρική ανάλυση του αισθητήρα, δηλαδή τη δυνατότητα διάκρισης των αντικειμένων στον χώρο.

Οι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες χαρακτηρίζονται επίσης και από τη φασματική ανάλυση τους, η οποία εξαρτάται από τα μήκη κύματος του φάσματος που καταγράφει κάθε αισθητήρας. Η πληροφορία που καταγράφεται από μια στενή περιοχή μηκών κύματος (φασματική ζώνη) συλλέγεται και αποθηκεύεται σε ένα φασματικό κανάλι. Όσο αυξάνεται η φασματική ανάλυση, τόσο μειώνεται ο αριθμός των μηκών κύματος που καταγράφει το κάθε φασματικό κανάλι του αισθητήρα, γεγονός που συνεπάγεται ακριβέστερη απόδοση της φασματική καμπύλης ενός υλικού.

Ανάλογα με εύρος της ζώνης, οι αισθητήρες διακρίνονται σε υπερφασματικούς και πολυφασματικούς. Οι υπερφασματικοί καταγράφουν από 32 έως και περισσότερες από 256 φασματικές ζώνες και καλύπτουν το ορατό και υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι πολυφασματικοί αισθητήρες συνήθως δεν υπερβαίνουν τις οκτώ ζώνες καταγραφής (π.χ. δορυφόρος World\_View-2).

### 3.1.4. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων

Η ανάλυση δορυφορικών εικόνων είναι η διαδικασία διάκρισης των φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών που αποτυπώνονται σε αυτές και μπορούν να εντοπιστούν με βάση τον τρόπο με τον οποίο ανακλούν και εκπέμπουν ακτινοβολία. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία καταγράφεται από το δορυφορικό αισθητήρα και απεικονίζεται σε μία εικόνα με τους διάφορους τόνους του γκρι.

Η αναγνώριση των φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών αποτελεί το κλειδί για την ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων και την εξαγωγή πληροφορίας από αυτές. Η ανάλυση των δορυφορικών εικόνων γίνεται κυρίως με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- Ο *τόνος* αφορά τη σχετική φωτεινότητα ή το χρώμα των αντικειμένων στις απεικονίσεις. Ο *τόνος* είναι ένα βασικό οπτικό χαρακτηριστικό για τον διαχωρισμό των στοιχείων στην εικόνα. Οι μεταβολές στον τόνο επιτρέπουν την διάκριση και άλλων οπτικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων, όπως σχήμα, υφή κ.α.

- Η *υφή* είναι η συχνότητα των αλλαγών του τόνου σε μία συγκεκριμένη περιοχή της εικόνας. Οι διαβαθμίσεις του γκρι χρώματος δημιουργούνται επειδή τα διάφορα αντικείμενα αντανακλούν ή εκπέμπουν ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος και ενεργειακής έντασης.

- Το *σχήμα* αναφέρεται στην γενική μορφή, δομή και περίγραμμα ενός αντικειμένου. Επίσης το σχήμα των αντικειμένων είναι ένα σημαντικό στοιχείο για την ερμηνεία της εικόνας. Πολλά αντικείμενα μπορούν να αναγνωριστούν με μεγάλη βεβαιότητα από το σχήμα τους ή την μορφή τους

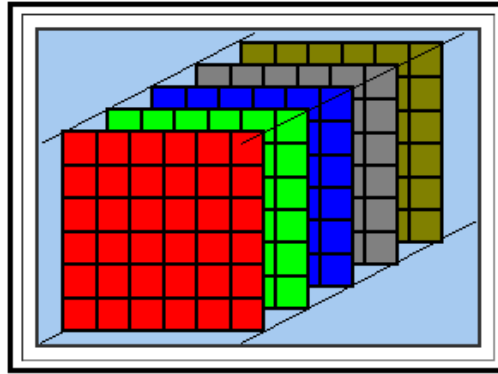
- Το *μέγεθος* σχετίζεται με τις φαινομενικές διαστάσεις όπως μήκος, ύψος, εμβαδόν και όγκο. Το μέγεθος ενός αντικειμένου στην εικόνα είναι συνάρτηση της χωρικής κλίμακας.

- Η *διάταξη*. Μια συστηματική επανάληψη παρόμοιων τόνων και υψών δημιουργεί μια διακριτική και συνεπώς αναγνωρίσιμη μορφή. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν π.χ. γεωργικές δραστηριότητες, όπως αγροκτήματα είτε αστική δόμηση με συνεχή κτίσματα.

- Η *σκίαση*, που χρησιμεύει για την ερμηνεία της εικόνας επειδή μπορεί να δώσει στοιχεία για το προφίλ και το σχετικό ύψος ενός αντικειμένου, και καθιστά την αναγνώριση του πιο εύκολη. Η σκιά τονίζει την τοπογραφία και μορφολογία του εδάφους, όμως αποκρύπτει πληροφορίες της περιοχής που καλύπτει.

### 3.1.5. Πολυφασματική Εικόνα

Για τη δημιουργία μιας πολυφασματικής εικόνας είναι απαραίτητη η επίθεση του ενός φασματικού καναλιού επάνω στο άλλο. Η χρησιμότητα της είναι ιδιαίτερα μεγάλη, διότι συνενώνονται τα μεμονωμένα κανάλια εικόνων (image bands) σε μια ενιαία πολυφασματική εικόνα. Επίσης, συχνά χρησιμοποιείται για να συνδυάσει παράγωγα της εικόνας με άλλα κανάλια για περαιτέρω αναλύσεις π.χ. εικόνα που προέκυψε με το δείκτη NDVI σε συνδυασμό με άλλα κανάλια για την πραγματοποίηση βέλτιστης ταξινόμησης.



Εικόνα 3-3: Πολυφασματική εικόνα που αποτελείται από πέντε κανάλια

Πηγή : [www.crisp.nus.edu.sg/~research](http://www.crisp.nus.edu.sg/~research), 2016

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην επιλογή των καναλιών της δορυφορικής εικόνας που θα συνδυαστούν, διότι πρέπει να έχουν την ίδια χωρική ανάλυση. Καλό είναι τα παγχρωματικά και τα θερμικά κανάλια, που συνήθως έχουν διαφορετική ανάλυση, να παραμένουν σε ξεχωριστά αρχεία.

Η πολυφασματική εικόνα συνεπώς αποτελείται από επιμέρους εικόνες, έκαστη των οποίων καταγράφει στενές περιοχές μηκών κύματος (φασματικά κανάλια). Η αλληλεπίδραση μεταξύ των υλικών της γήινης επιφάνειας και της ηλιακής ακτινοβολίας διαφοροποιείται με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Κατ' επέκταση, το ίδιο υλικό εμφανίζεται με διαφορετικό τρόπο σε κάθε κανάλι (π.χ. η βλάστηση εμφανίζεται σκουρόχρωμη στα κανάλια του ορατού και ανοιχτόχρωμη στο εγγύς υπέρυθρο).

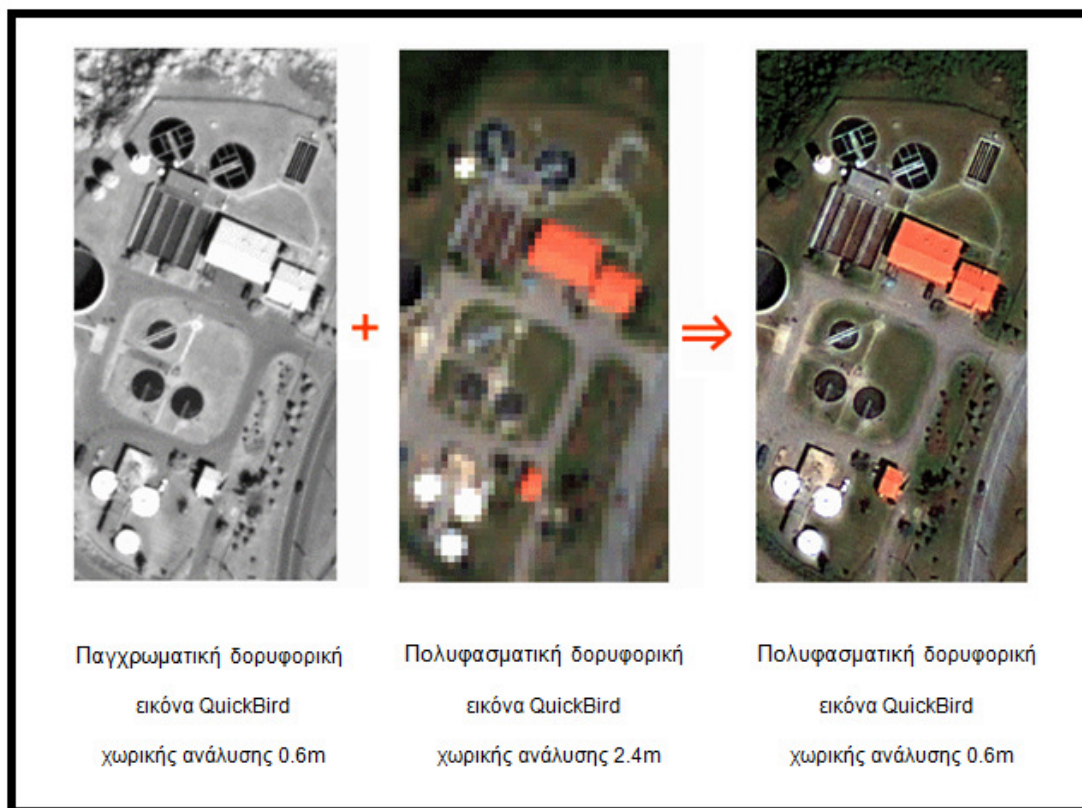
Η ψηφιακή απεικόνιση της φασματικής πληροφορίας που περιλαμβάνουν τα κανάλια μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας συνδυασμούς τριών καναλιών, σε κάθε ένα από τα οποία αποδίδεται ένα από τα τρία βασικά χρώματα (κόκκινο, πράσινο, κίτρινο). Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται ο ποιοτικός διαχωρισμός επιφανειών ή αντικειμένων (π.χ. γυμνά ή πρόσφατα καλλιεργημένα εδάφη, δασικές περιοχές, κ.α.).

### 3.1.6. Συγχώνευση εικόνων (Pansharpering)

Το μειονέκτημα των ψηφιακών εικόνων που καταγράφονται από κάθε κανάλι των πολυφασματικών αισθητήρων είναι η χαμηλή χωρική ανάλυση. Σε αρκετές εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης παρατηρείται η ανάγκη εικόνων που παρέχουν

ταυτόχρονα την υψηλή χωρική ανάλυση των παγχρωματικών και την υψηλή φασματική ανάλυση των πολυφασματικών εικόνων. Σε εμπορικό τουλάχιστον επίπεδο, δεν υπάρχουν αισθητήρες που να καταγράφουν τέτοιου τύπου εικόνες. Η συγχώνευση εικόνων αποτελεί, μέχρι σήμερα, την καλύτερη λύση σε αυτό το πρόβλημα.

Η συγχώνευση αφορά το συνδυασμό εικόνων, με διαφορετικά και συμπληρωματικά χαρακτηριστικά, για τη δημιουργία μιας νέας εικόνας που περιλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερο από τα χαρακτηριστικά και τις πληροφορίες των αρχικών δεδομένων. Η πληροφορία που εξάγεται από την τελική εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη και η ερμηνεία αυτής αρκετά πιο εύκολη, σε σύγκριση με την ερμηνεία των μεμονωμένων αρχικών εικόνων, όπως παρατηρείται και στην κάτωθι Εικόνα 3-4:

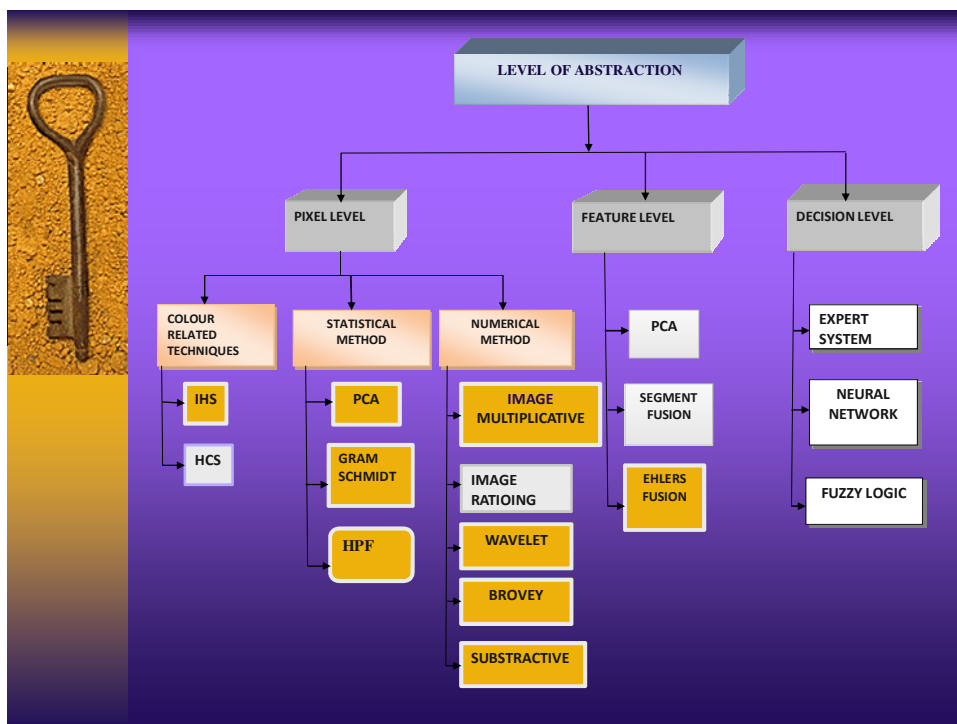


Εικόνα 3-4: Αποτέλεσμα του Pan-sharpening

Πηγή : <http://www.geosage.com/highview/imagefusion.html>

Η θεωρία της συγχώνευσης εικόνων αποτέλεσε, από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, και συνεχίζει να αποτελεί αντικείμενο μελέτης για διάφορους ερευνητές. Συγχώνευση εικόνων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε τρία διαφορετικά επίπεδα (Pohl and Van Genderen, 1998):

- *Επίπεδο εικονοστοιχείου*, όπου το εικονοστοιχείο της μιας εικόνας συγχωνεύεται με το αντίστοιχο εικονοστοιχείο της δεύτερης εικόνας, με την προϋπόθεση οι δύο εικόνες να έχουν ίδιες διαστάσεις εικονοστοιχείων.
- *Επίπεδο χωρικών γνωρισμάτων* που περιλαμβάνονται στις εικόνες, όπως κτήρια, γεωλογικές γραμμώσεις, ποτάμια, κ.ά. Σκοπός είναι η εξαγωγή και ο συνδυασμός παρόμοιων αντικειμένων που εμφανίζονται στα διαθέσιμα δεδομένα.
- *Επίπεδο αποφάσεων*. Κυρίως χρησιμοποιείται για βελτίωση της ακρίβειας στην ταξινόμηση των ψηφιακών εικόνων, συνδυάζοντας ήδη ταξινομημένες εικόνες.



Εικόνα 3-5: Επίπεδα συγχώνευσης εικόνων

Κάποιες από τις περισσότερο διαδεδομένες στη βιβλιογραφία τεχνικές συγχώνευσης είναι:

- Μετασχηματισμός “Ένταση–Απόχρωση–Κορεσμός” – IHS
- Ανάλυση Κυριών Συνιστωσών – PCA
- Μετασχηματισμός Κυματιδίων – WTF
- Μετασχηματισμός «À trous»
- Συνδυασμοί μετασχηματισμών
- Μετασχηματισμός HCS

Ο μετασχηματισμός Hyperspherical Color Space Pan Sharpening σχεδιάστηκε αποκλειστικά έχοντας κατά νου τις δορυφορικές εικόνες World View-2. Παρ' όλα αυτά, δουλεύει κανονικά για όλα τα πολυφασματικά δεδομένα, από 3 κανάλια και πάνω.

Στον παρακάτω Πίνακα 3-1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης τεσσάρων αλγορίθμων, οι οποίοι είναι ο HIS αλγόριθμος, ο PCA αλγόριθμος, ο Gramm-Schmidt αλγόριθμος και ο HCS αλγόριθμος.

Algorithm	$Q_{red}$	$Q_{green}$	$Q_{blue}$	$CC_{red}$	$CC_{green}$	$CC_{blue}$	$Ave(Q_{\lambda})$	$Ave(CC_{\lambda})$	$Q_{PS}$
PCA	0.891	0.878	0.898	0.847	0.859	0.816	0.889	0.841	0.747
GS	0.898	0.886	0.900	0.882	0.869	0.853	0.895	0.868	0.777
HIS	0.920	0.860	0.780	0.960	0.996	0.984	0.853	0.980	0.836
HCS Smart	0.929	0.904	0.878	0.929	0.946	0.909	0.904	0.928	0.839

Πίνακας 3-1: Αξιολόγηση τεσσάρων αλγορίθμων Pansharpening σε δορυφορική εικόνα WV-2

Πηγή: Pohl και Van Genderen, 1998

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα των αλγορίθμων από την φασματική πλευρά, ο HCS δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα, ακολουθούμενος από τους GS και PCA, ενώ ο HIS παράγει το χειρότερο αποτέλεσμα. Από χωρική άποψη, ο HIS είναι ο πιο ακριβής, ακολουθούμενος από τους HCS, GS και τελευταίο τον PCA.

Συνολικά, ο αλγόριθμος HCS έχει την καλύτερη ισορροπία μεταξύ φασματικής και χωρικής ποιότητας αποτελεσμάτων (Βαϊόπουλος, 2013).

### 3.1.7. Ραδιομετρική Διόρθωση

Η ραδιομετρική διόρθωση αποσκοπεί στη διόρθωση των ραδιομετρικών αλλοιώσεων της εικόνας, που προκύπτουν κατά τη σάρωση, καταγραφή και αναπαραγωγή της εικόνας. Πρέπει να ελαχιστοποιηθούν οι χρωματικές διαφορές που προέρχονται από τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη στιγμή της λήψης, πριν χρησιμοποιηθούν οι εικόνες για ερμηνεία (Γκιούρου, 2007).

Όταν η εκπεμπόμενη ή ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία λαμβάνεται από έναν αισθητήρα, η μετρούμενη ενέργεια δεν συμπίπτει με την ενέργεια που εκπέμπεται ή αντανάκλαται από το ίδιο το αντικείμενο, όταν αυτό παρατηρείται από κοντινή απόσταση. Αυτό οφείλεται στο αζιμούθιο του ήλιου και στο υψόμετρο, στις ατμοσφαιρικές συνθήκες όπως ομίχλη, στην απόκριση του αισθητήρα κ.α., τα οποία

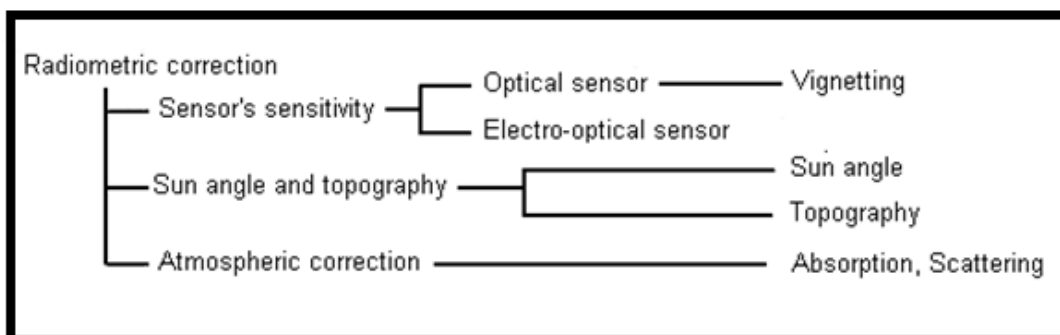
επηρεάζουν την μετρούμενη ενέργεια. Ως εκ τούτου, προκειμένου να ληφθεί το πραγματικό ποσοστό ακτινοβολίας ή ανάκλασης, οι εν λόγω ραδιομετρικές στρεβλώσεις πρέπει να διορθωθούν.

Οι Ραδιομετρικές διορθώσεις κατατάσσονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3-6:

- Η ραδιομετρική διόρθωση των επιδράσεων που οφείλονται στην *ευαισθησία του αισθητήρα*. Στην περίπτωση των οπτικών αισθητήρων, με τη χρήση φακού, μια περιοχή στις άκρες θα είναι πιο σκούρα σε σύγκριση με μια κεντρική περιοχή. Στην περίπτωση των ηλεκτρο-οπτικών αισθητήρων, τα δεδομένα βαθμονόμησης μεταξύ της ακτινοβολίας και του σήματος εξόδου του αισθητήρα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για ραδιομετρική διόρθωση.

- Η ραδιομετρική διόρθωση για τη *γωνία του ήλιου* και του *αναγλύφου*. Η ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται διάχυτα στην επιφάνεια του εδάφους, κάτι που οδηγεί σε φωτεινότερες περιοχές σε μια εικόνα. Μπορεί να διορθωθεί με την εκτίμηση της καμπύλης σκίαση η οποία προσδιορίζεται από την ανάλυση Fourier. Η επίδραση σκίασης λόγω τοπογραφικού ανάγλυφου μπορεί να διορθωθεί με τη χρήση της γωνίας μεταξύ της κατεύθυνσης της ηλιακής ακτινοβολίας και το κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια του εδάφους.

- Ατμοσφαιρική διόρθωση. Διάφορες ατμοσφαιρικές επιδράσεις προκαλούν απορρόφηση και σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 3-6: Είδη Ραδιομετρικών διορθώσεων

Πηγή: <http://wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp/~wataru/lecture/rsgis/rsnote/cp9/cp9-1.htm>

### 3.1.8. Γεωμετρική Διόρθωση

Πραγματοποιείται με τη γεωαναφορά, η οποία ονομάζεται και επαναδειγματοληψία της εικόνας.

Με τη γεωαναφορά δημιουργείται ένας γεωγραφικός χώρος με το επιθυμητό σύστημα αναφοράς π.χ. ΕΓΣΑ '87. Αρχικά δημιουργείται μια εικόνα με εικονοστοιχεία χωρίς τιμές φωτεινότητας. Έπειτα, με βάση τύπους μετασχηματισμού συντεταγμένων, βρίσκεται η αντιστοιχία των εικονοστοιχείων με αυτά της αρχικής εικόνας και έτσι εντοπίζονται οι αντίστοιχες τιμές φωτεινότητας που μεταφέρονται στη γεωαναφερόμενη εικόνα (Αστάρας, 2010).

Τα κύρια σημεία της γεωαναφοράς είναι τα εξής:

- Εντοπίζονται συγκεκριμένα σημεία, τα “σημεία ελέγχου” (*Ground Control Points*) πάνω στην εικόνα, τα οποία έχουν γνωστές συντεταγμένες στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς. Η επιλογή τους γίνεται με γνώμονα την όσο το δυνατόν ομοιόμορφη κατανομή τους στην περιοχή. Επιπλέον, πρέπει να είναι ευδιάκριτα, ώστε να μπορούν να «σκοπευτούν» με ακρίβεια (π.χ. διασταυρώσεις κάθετων οδών, γέφυρα, χαρακτηριστικές εξοχές πετρωμάτων, γωνίες καλλιεργειών κλπ). τόσο στην εικόνα όσο και στον χάρτη.

- Με τη βοήθεια αλγορίθμων, μετατρέπονται οι συντεταγμένες εδάφους/χάρτη σε συντεταγμένες της γεωαναφερόμενης εικόνας, ανάλογα με τις διαστάσεις των εικονοστοιχείων της εικόνας (χωρική ανάλυση).

- Εντοπίζονται οι τιμές φωτεινότητας της αρχικής εικόνας που πρέπει να αποδοθούν στην γεωαναφερόμενη. Επειδή το σημείο ελέγχου στις υπολογιζόμενες συντεταγμένες δε συμπίπτει με το κέντρο του αντίστοιχου εικονοστοιχείου στην αρχική, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος παρεμβολής

- Τέλος, ελέγχεται εάν και κατά πόσο συμπίπτει το τελικό διορθωμένο προϊόν με το αρχικό υπόβαθρο, ώστε να επαληθευτεί η ορθότητα της γεωμετρικής διόρθωσης και η ακρίβειας της αναγωγής.

Οι σημαντικότερες μέθοδοι παρεμβολής- επαναδειγματοληψίας είναι οι εξής:

- του *εγγύτερου γείτονα* (ως τιμή φωτεινότητας ενός εικονοστοιχείου, θεωρείται η τιμή φωτεινότητας του κοντινότερου εικονοστοιχείου)



- της *διγραμμικής παρεμβολής* (η τιμή φωτεινότητας ενός εικονοστοιχείου υπολογίζεται από την τιμή φωτεινότητας των τεσσάρων εγγύτερων εικονοστοιχείων του αρχικού καννάβου, στα οποία αποδίδονται διαφορετικά βάρη )
- της *δικυβικής παρεμβολής* (η τιμή της φωτεινότητας του εικονοστοιχείου προκύπτει από τα 16 εγγύτερα εικονοστοιχεία).

Κάθε μέθοδος είναι περισσότερο χρήσιμη σε συγκεκριμένες εργασίες, ανάλογα με τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σε σχέση με κάποια άλλη.

Οι τιμές των χρωμάτων των εικονοστοιχείων της εικόνας που προκύπτει από τη μέθοδο του *εγγύτερου γείτονα* έχει είναι ίδιες με τις τιμές χρωμάτων των ρίχελ της αρχικής εικόνας, με αποτέλεσμα η εικόνα που προκύπτει είναι καλύτερη στη φωτοερμηνεία και πιο χρήσιμη στις ταξινομήσεις. Επίσης, παρουσιάζει μικρή πολυπλοκότητα.

Οι τιμές των χρωμάτων των εικονοστοιχείων της εικόνας που προκύπτει με τη μέθοδο της *Διγραμμικής παρεμβολής*, προσεγγίζουν τις πραγματικές τιμές και η εικόνα έχει σωστή γεωμετρία. Επίσης, παρατηρείται μία σχετική ομαλοποίηση των ακμών.

Στη μέθοδο της *Δικυβικής Παρεμβολής* έχουμε ενίσχυση των ορίων, των διαχωριστικών επιφανειών και ακόμη μεγαλύτερη ομαλοποίηση των ακμών (smoothing). Προκαλεί όμως αλλοίωση των πραγματικών χρωμάτων.

Μετά τις γεωμετρικές διορθώσεις είναι εφικτή η απεικόνιση των δορυφορικών εικόνων σε ενιαίο χαρτογραφικό υπόβαθρο και η άμεση σύγκριση με όλα τα υπόλοιπα διαθέσιμα δεδομένα.

### **3.1.9. Μαθηματική Μορφολογία**

Η *μαθηματική μορφολογία* αποτελεί ένα εργαλείο εξαγωγής χαρακτηριστικών από εικόνες. Η συγκεκριμένη τεχνική αρχικά αναπτύχθηκε από τους Matheron και Serra στο Ecole des Mines στο Παρίσι. Πρόκειται για μια θεωρία και τεχνική για την ανάλυση και επεξεργασία γεωμετρικών δομών, με βάση τις θεωρίες συνόλων, δικτύων, την τοπολογία και επιμέρους μαθηματικές διαδικασίες. Η μαθηματική μορφολογία αφορούσε αρχικά σε δυαδικές εικόνες αλλά αργότερα επεκτάθηκε και σε εικόνες τόνων του γκρι (Grayscale Morphology). Σήμερα, χρησιμοποιείται κυρίως σε

ψηφιακές εικόνες, με εφαρμογή σε τομείς όπως η τηλεπισκόπηση και η όραση υπολογιστών.

Οι μορφολογικές λειτουργίες ορίζονται από την μετακίνηση ενός δομικού στοιχείου – παραθύρου πάνω στην εικόνα, με τέτοιο τρόπο ώστε να βρίσκεται πάνω σε όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας σε κάποια χρονική στιγμή. Το δομικό στοιχείο – παράθυρο είναι μια γεωμετρική σχέση μεταξύ των εικονοστοιχείων, δηλαδή ένας τρόπος συγκέντρωσης των τοπικών φωτεινότητων μιας εικόνας. Όταν το δομικό στοιχείο βρίσκεται πάνω σε ένα σημείο της εικόνας, μια λογική λειτουργία εκτελείται στα εικονοστοιχεία που καλύπτονται από το δομικό στοιχείο, οδηγώντας έτσι σε μια δυαδική έξοδο.

Οι περισσότερες μορφολογικές πράξεις μπορούν να οριστούν χρησιμοποιώντας τις δύο βασικές μορφολογικές πράξεις οι οποίες είναι η *συστολή* (erosion) και η *διαστολή* (dilation).

Έστω το αντικείμενο  $A$  και το δομικό στοιχείο  $B$  εικόνες του δισδιάστατου χώρου, ενώ  $Bx$  η μετατροπή του  $B$  ώστε η αρχή του να είναι το  $x$ .

Η συστολή της εικόνας  $A$  με δομικό στοιχείο  $B$  ορίζεται σαν το σύνολο των σημείων  $x$  τέτοια ώστε το  $Bx$  περιλαμβάνεται στην εικόνα  $A$ . Αντίστοιχα, η διαστολή της εικόνας  $A$  με δομικό στοιχείο  $B$  ορίζεται σαν το σύνολο των σημείων  $x$  τέτοια ώστε το  $Bx$  και η εικόνα  $A$  έχουν μη κενή τομή.

Το δομικό στοιχείο μπορεί να είναι ένας οποιοσδήποτε πίνακας (διαστάσεων μικρότερων από την αρχική εικόνα) ο οποίος περιλαμβάνει για στοιχεία του μηδέν και μονάδες με τρόπο τέτοιο ώστε να σχηματίζουν ένα γεωμετρικό σχήμα. Το πιο διαδεδομένο δομικό στοιχείο είναι :

0	1	0
1	1	1
0	1	0

που είναι το πλησιέστερο σχήμα στον κύκλο στον κλίμακα μιας εικόνας.

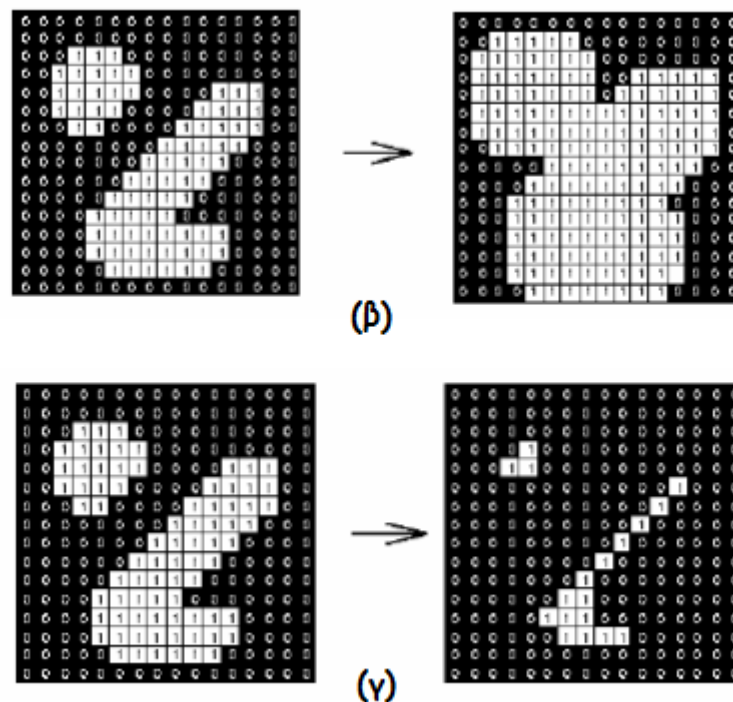
Με βάση το δομικό στοιχείο, κατά την *δυαδική διαστολή*, υπολογίζεται μια νέα τιμή σε κάθε θέση της αρχικής εικόνας. Η νέα τιμή είναι η μέγιστη τιμή όλων των εικονοστοιχείων στη γειτονιά του αρχικού εικονοστοιχείου. Επομένως αν έστω ένα

από τα γειτονικά εικονοστοιχεία έχει τιμή 1, η νέα τιμή του κεντρικού εικονοστοιχείου θα είναι 1.

Με βάση το δομικό στοιχείο, κατά την *δυναμική συστολή*, υπολογίζεται μια νέα τιμή σε κάθε θέση της αρχικής εικόνας. Η νέα τιμή είναι η ελάχιστη τιμή όλων των εικονοστοιχείων στη γειτονιά του αρχικού εικονοστοιχείου. Επομένως αν έστω ένα από τα γειτονικά εικονοστοιχεία έχει τιμή 0, η νέα τιμή του κεντρικού εικονοστοιχείου θα είναι 0.

Η εφαρμογή της διαστολής σε μία ασπρόμαυρη εικόνα ισοδυναμεί με εφαρμογή του κεντρικού σημείου του δομικού στοιχείου σε κάθε σημείο του υποβάθρου και αν υπάρχει τομή με την εικόνα, τότε το σημείο αυτό μετατρέπεται σε σημείο εικόνας (σχήμα β). Δηλαδή η διαστολή ισοδυναμεί με διόγκωση-διαστολή του φόντου της εικόνας.

Αντίστοιχα, η εφαρμογή της συστολής ισοδυναμεί με εφαρμογή του κεντρικού σημείου του δομικού στοιχείου σε κάθε σημείο της εικόνας και αν όλα τα σημεία του δομικού στοιχείου δεν περιλαμβάνονται στην εικόνα, τότε το σημείο αυτό μετατρέπεται σε σημείο υποβάθρου (σχήμα γ). Η συστολή ισοδυναμεί με διάβρωση-συρρίκνωση της εικόνας.



Εικόνα 3-7: Εφαρμογή συστολής και διαστολής

Πηγή: Β. Γάτος, Ψηφιακή Επεξεργασία και Αναγνώριση Εγγράφων

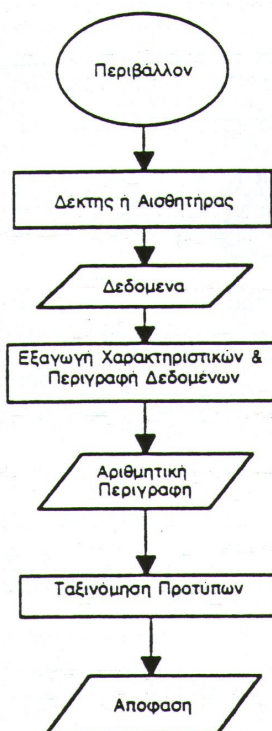
Συνεπώς, η διαστολή έχει την ιδιότητα να μεγαλώνει σε γενικές γραμμές το αντικείμενο, ενώ αντίθετα η συστολή να το μικραίνει (εξού και οι ονομασίες τους). Το πόσο πολύ ή με ποιον τρόπο αναπτύσσεται ή συρρικνώνεται εξαρτάται από την επιλογή του στοιχείου δόμησης.

### 3.1.10. Ταξινόμηση Εικόνων

Ο σκοπός της ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων είναι η κατηγοριοποίηση όλων των εικονοστοιχείων της εικόνας σε διάφορες τάξεις κάλυψης γης ή σε αντικείμενα. Συνήθως στη διαδικασία της ταξινόμησης χρησιμοποιούνται πολυφασματικά δεδομένα. Τα αντικείμενα ή οι κατηγορίες γης εκφράζονται από διαφορετικούς συνδυασμούς ψηφιακών τιμών στα κανάλια μιας εικόνας, ανάλογα με τις ιδιότητες της φασματικής εκπομπής και ανακλαστικότητας (Αργιαλάς, 1998). Η διαδικασία της ταξινόμησης, όπως περιγράφεται στην Εικόνα 3-8, μπορεί να διαχωριστεί σε δύο βασικές τεχνικές:

- *Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση*, η οποία απαιτεί από το χρήστη τη συλλογή ενός συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης από κάθε θεματική κατηγορία. Πρόκειται συνήθως για πολύγωνα, με γνωστή εκ των προτέρων ταυτότητα, που τα ομαδοποιεί ο χρήστης και χρησιμοποιούνται για την επίβλεψη του αλγορίθμου ταξινόμησης. Τα δεδομένα εκπαίδευσης πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά και πλήρη. Κατόπιν, αφού δημιουργηθούν φασματικές υπογραφές για κάθε τάξη, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ταξινόμησης σε ολόκληρη την εικόνα, με αποτέλεσμα την κατηγοριοποίηση της στις θεματικές τάξεις που υπέδειξε ο χρήστης με το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης. Οι κυριότεροι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης από τους μέσους, ο αλγόριθμος του παραλληλεπιπέδου και ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας.

- *Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση*, η οποία χωρίς δεδομένα εκπαίδευσης, κατηγοριοποιεί την ψηφιακή εικόνα σε ομοιογενείς φασματικές τάξεις (όχι όμως θεματικές). Η σχέση των ταξινομηθέντων με τις επιθυμητές θεματικές τάξεις προσδιορίζεται μετά το στάδιο της ταξινόμησης, με τη βοήθεια εργασιών πεδίου, επίγειων ελέγχων, φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών κ.α. Οι κυριότεροι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι ο αλγόριθμος των Κ-Κέντρων και ο IsoData.



Εικόνα 3-8: Γενική Διαδικασία Ταξινόμησης

Πηγή : Αργιαλάς, 1998

Συνεπώς, στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση ο χρήστης ορίζει τις θεματικές κατηγορίες και κατόπιν εξετάζει τη φασματική τους διαχωριστικότητα, ενώ στη μη επιβλεπόμενη πρώτα προσδιορίζονται οι φασματικώς διαχωρίσιμες κατηγορίες και έπειτα η θεματική κατηγορία στην οποία ανήκουν.



## **4. Ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη Δημιουργία και Οπτικοποίηση Χωρο-χρονικών Δεδομένων**

Η διερεύνηση των δυνατοτήτων δημιουργίας χωρο-χρονικών δεδομένων έγινε αξιοποιώντας διαχρονικά δεδομένα από το δορυφορικό τηλεπισκοπικό δέκτη Landsat, καθώς και διανυσματικά δεδομένα από τον ελληνικό ισόχωρο Δημοσίων και Ανοιχτών Δεδομένων [geodata.gov.gr](http://geodata.gov.gr). Παράλληλα, επισημαίνεται πως βασικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι η αξιοποίηση και χρήση δεδομένων και λογισμικών που διέπονται από τις αρχές των ανοιχτών προτύπων και του ανοιχτού λογισμικού αντίστοιχα. Αφορά την ευρύτερη περιοχή του Νομού Αττικής.

### **4.1. Περιοχή Μελέτης**

Η περιοχή μελέτης είναι ο Νομός Αττικής. *Αττική* είναι ιστορική περιοχή της Ελλάδας που περιλαμβάνει την πόλη της Αθήνας, η οποία είναι και πρωτεύουσα της Ελλάδας, και την πόλη του Πειραιά (Ο νομός περιλαμβάνει και την υπόλοιπη Νομαρχία Πειραιά όπου ανήκουν από διοικητικής πλευράς τα νησιά του Αργοσαρωνικού, τα Κύθηρα και τα Αντικύθηρα και η επαρχία της Τροιζηνίας). Αποτελεί τμήμα μίας από τις 13 περιφέρειες της χώρας. Έχει έκταση 3.808 χλμ<sup>2</sup> και καλύπτει το 2,9% της συνολικής έκτασης της χώρας.

Η Αττική είναι μια τριγωνική χερσόνησος η οποία προεξέχει στο Αιγαίο Πέλαγος. Χωρίζεται στα βόρεια από τη Βοιωτία με την οροσειρά του Κιθαιρώνα, μήκους 16 χιλιομέτρων. Στα δυτικά, συνορεύει με τη θάλασσα και τη διώρυγα της Κορίνθου. Ο Σαρωνικός κόλπος βρίσκεται στο νότο, και το νησί της Εύβοιας βρίσκεται προς το βορρά και τις ανατολικές ακτές. Βουνά χωρίζουν τη χερσόνησο στην πεδιάδα των Μεσογείων και Ιασίου. Τα όρη της Αττικής είναι ο Υμηττός, το ανατολικό τμήμα των Γερανείων, η Πάρνηθα, το Αιγάλεω και η Πεντέλη.

Τονίζεται ότι η περιοχή μελέτης έχει χαρακτηριστικά αστικού, ημιαστικού, ορεινού, ημιορεινού και θαλάσσιου περιβάλλοντος.



Εικόνα 4-1: Χάρτης απεικόνισης Ν. Αττικής

Πηγή : <http://wfd.ypeka.gr/index.php>, 2016

## 4.2. Γεωχωρικά Δεδομένα

### 4.2.1. Δορυφορικές Εικόνες Landsat

Σε έναν δορυφορικό δέκτη καταγράφεται η ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια περιοχή της γης σε διάφορα μήκη κύματος. Η περιοχή αποτυπώνεται από τον αισθητήρα σε τόσες εικόνες όσες και οι αντίστοιχες φασματικές περιοχές (κανάλια) της ακτινοβολίας την οποία καταγράφει ο αισθητήρας. Η πολυφασματική εικόνα αποτελείται από περισσότερα του ενός κανάλια. Μπορεί να παρουσιαστεί είτε ξεχωριστά σε κάθε κανάλι ως ασπρόμαυρη εικόνα είτε συνδυάζοντας 3 κανάλια ταυτόχρονα σε μια χρωματική σύνθεση. Συνεπώς, μια δορυφορική εικόνα μπορεί να είναι έγχρωμη ή σε αποχρώσεις του γκρι. Οι μεταβολές στη φωτεινότητα του γκρι και στις αποχρώσεις των χρωμάτων αποτελούν τη βάση για την ερμηνεία της εικόνας. Οι δορυφορικές εικόνες, ανάλογα με τον αριθμό των καναλιών τους χωρίζονται σε παγχρωματικές και πολυφασματικές.

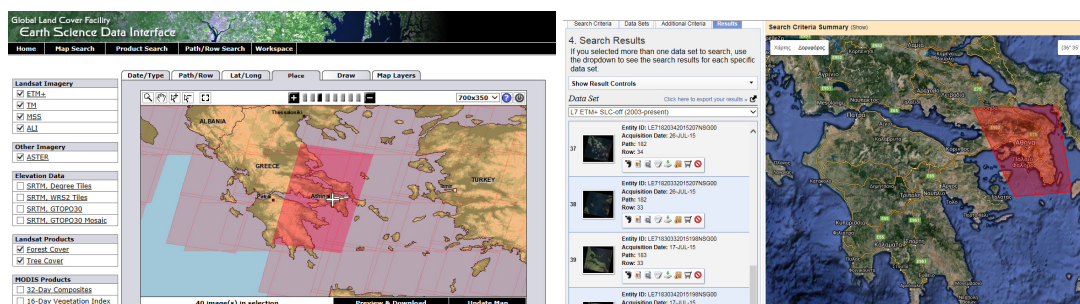
Τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι διαχρονικές δορυφορικές εικόνες από το δορυφορικό σύστημα Landsat. Η υψηλή διακριτική ικανότητα σε συνδυασμό με το υψηλό βάθος τόνου καθιστούν τα δεδομένα ικανά να καλύψουν πολλές εφαρμογές.

Για τη σωστή επιλογή των δεδομένων, αρχικά, ήταν απαραίτητο να επιλεγεί η ιδανική εποχή έτσι ώστε τα δεδομένα να έχουν όσο το δυνατόν λιγότερα σύννεφα,



ενώ παράλληλα, οι συνθήκες λήψης των δορυφορικών εικόνων να είναι κατάλληλες για την εφαρμογή διαδικασιών ταξινόμησης. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκαν καλοκαιρινοί μήνες, κατά τους οποίους η πιθανότητα ύπαρξης σύννεφων είναι αρκετά περιορισμένη. Επιπλέον, τους καλοκαιρινούς μήνες μεγάλο μέρος των καλλιεργειών βρίσκεται σε κατάσταση προχωρημένης ανάπτυξης, γεγονός που διευκολύνει την ανίχνευση τους.

Οι σκηνές που επιλέχθηκαν λήφθηκαν από τις ιστοσελίδες GLOBAL LAND COVER FACILITY και USGS (Εικόνα 4-2) σαν ξεχωριστά μεμονωμένα κανάλια.



Εικόνα 4-2: Ιστόχωροι λήψης δορυφορικών εικόνων

Για την επιλογή των δεδομένων, αρχικά, βρέθηκε το μονοπάτι (path) και η στήλη (row) του δορυφόρου Landsat που πραγματοποιεί λήψη σκηνών, οι οποίες καλύπτουν την περιοχή της Αττικής. Παρατηρήθηκε, πως οι καταλληλότερες σκηνές για το σκοπό αυτό είναι οι: 183-034. Παράλληλα, τέθηκε το ανώτατο όριο συννεφοκάλυψης ίσο με 15%. Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω περιορισμούς, επιλέχθηκαν για την εφαρμογή οι σκηνές που παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Έτος	Δέκτης	Ανάλυση	Path - Row	Ημερομηνία λήψης
1987	Landsat TM	30m	183 - 34	10/6/1987
1991	Landsat TM	30m	183 - 34	21/6/1991
1999	Landsat ETM	30m	183 - 34	06/08/1999
2003	Landsat ETM	30m	183 - 34	05/08/2003
2009	Landsat TM	30m	183 - 34	20/5/2009
2015	Landsat OLI	30m	183 - 34	23/08/2015

Πίνακας 4-1: Περιγραφή δεδομένων Landsat



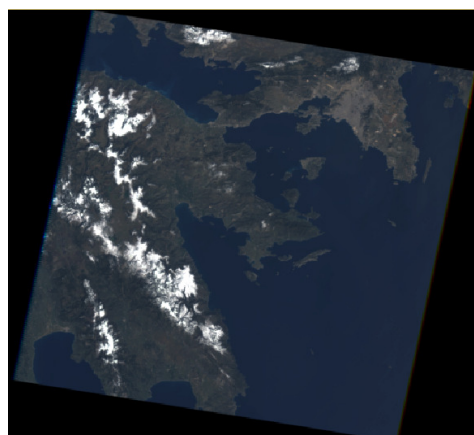
Landsat 5 TM, 1987



Landsat 4 TM, 1991



Landsat 7 ETM, 1999



Landsat 7ETM, 2003



Landsat 5TM, 2009



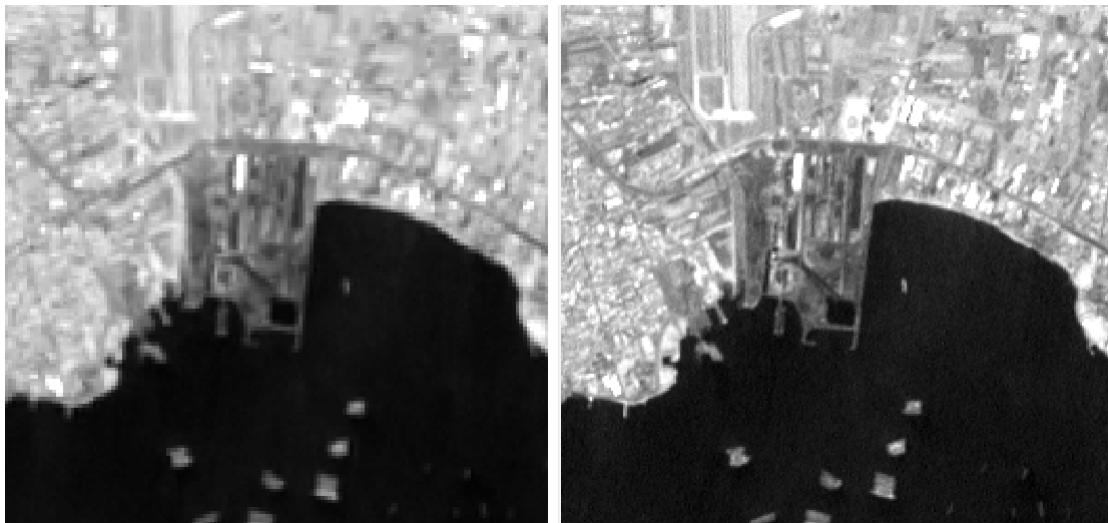
Landsat 8, 2015

Εικόνα 4-3: Έγχρωμα Σύνθετα Λήψεων με τη χρήση δορυφόρου Landsat

Οι δορυφορικές εικόνες Landsat που χρησιμοποιήθηκαν είναι σε εγκάρσια μερκατορική προβολή (UTM, Zone 34), με ελλειψοειδές αναφοράς το WGS84.

Η παγχρωματική εικόνα αποτελείται από ένα μόνο κανάλι στην περιοχή του ορατού. Απεικονίζεται σε επίπεδα του γκρι, έτσι ώστε η φωτεινότητα του κάθε εικονοστοιχείου να είναι ανάλογη της ψηφιακής τιμής του στο αρχείο, η οποία σχετίζεται με την αντανακλαστικότητα της επιφάνειας που καταγράφει ο αισθητήρας. Παγχρωματικά δεδομένα λήφθηκαν για τους δορυφόρους Landsat 7 ETM (έτη 1999 κ' 2003) και Landsat 8 (έτος 2015), με διακριτική ικανότητα 15 μέτρα.

Στην Εικόνα 4-4 γίνεται μια οπτική σύγκριση της χωρικής διακριτικής ικανότητας της παγχρωματικής (15m) με την πολυφασματική (30m) δορυφορική εικόνα Landsat.



Εικόνα 4-4: Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας πολυφασματικής (Κανάλι 4, 30m) και παγχρωματικής (15 m) δορυφορικής εικόνας Landsat

#### 4.2.2. Διανυσματικά Δεδομένα (Vector)

Λήφθηκαν διανυσματικά δεδομένα από τον ελληνικό ιστόχωρο Δημοσίων και Ανοιχτών Δεδομένων [geodata.gov.gr](http://geodata.gov.gr), τα οποία αφορούν τα όρια των Νομών της ΕΛ.ΣΤΑΤ.

Με ένα ερώτημα επιλογής (Selection Query), ζητήθηκαν οι Δήμοι του Ν. Αττικής και δημιουργήθηκε ένα νέο shapefile που περιλαμβάνει μόνο αυτούς (Παράρτημα Ι).

#### 4.3. Προεπεξεργασίες

Τα στάδια της προεπεξεργασίας είναι πολύ σημαντικά, διότι δίνουν την δυνατότητα στο χρήστη να αξιοποιήσει στο έπακρο τα δεδομένα του και να τα φέρει

στην επιθυμητή για χρήση μορφή. Πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό *QGIS* και παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Ι.

#### 4.3.1. Δημιουργία Πολυφασματικής Εικόνας

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να συνδυαστούν τα επιμέρους φασματικά κανάλια των δορυφορικών εικόνων Landsat σε μια εικόνα πραγματοποιήθηκε επιθέτοντας το ένα κανάλι πάνω στο άλλο και λήφθηκε ως αποτέλεσμα πολυφασματική εικόνα με τύπο αρχείου (.tif).

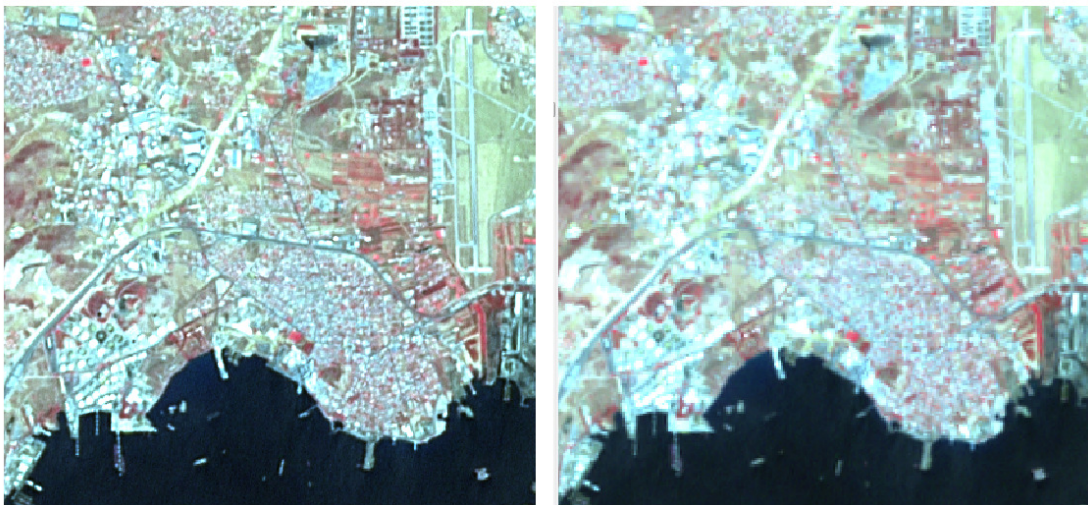
#### 4.3.2. Συγχώνευση εικόνων (Pansharpening)

Για να αξιοποιηθεί η παγχρωματική λήψη με την υψηλή χωρική ανάλυση, εφαρμόζεται για τις Landsat 7 ETM (έτη 1999 κ' 2003) και Landsat 8 (έτος 2015), διαδικασία συγχώνευσης εικόνων. Συγκεκριμένα, η παγχρωματική σε συνδυασμό με την πολυφασματική θα δώσει μια νέα πολυφασματική εικόνα με διακριτική ικανότητα 15 μέτρα. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η κάτωθι :

Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο BundleToPerfectSensor του orfeotoolbox που πραγματοποιεί τη διαδικασία του pansharpening, χρησιμοποιήθηκε η πολυφασματική εικόνα που δημιουργήθηκε καθώς και το αντίστοιχο παγχρωματικό κανάλι.

Ως αποτέλεσμα (δεδομένο εξόδου) προέκυψε μια πολυφασματική εικόνα (GeoTif) υψηλότερης διακριτικής ικανότητας (15 μέτρα) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εργασίες επεξεργασίας εικόνας.

Ακολουθεί παράδειγμα από την εφαρμογή του αλγορίθμου για την ημερομηνία 05/08/2003, path: 183 και row: 34.



Εικόνα 4-5: Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας συγχωνευμένης (15 m) και πολυφασματικής (30m) δορυφορικής εικόνας Landsat 7 ETM του 1999

### 4.3.3. Περικοπή εικόνων

Δεν χρησιμοποιήθηκαν αυτούσιες εικόνες, αλλά δημιουργήθηκαν τμήματα αυτών (*subset images*), με βάση το πολύγωνο του Ν.Αττικής.

Χρησιμοποιώντας για δεδομένα εισόδου τις πολυφασματικές εικόνες, και ως βάση περικοπής *shapfile* του Ν.Αττικής, λαμβάνεται ως αποτέλεσμα μια νέα πολυφασματική εικόνα της περιοχής μελέτης, ως τύπος αρχείου *.tif*.

### 4.4. Ορισμός μεθόδου – κλάσεων ταξινόμησης για την εφαρμογή επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Για τον ορισμό των κλάσεων, μελετήθηκε η μεθοδολογία CLC2000, γνωστή ως CORINE LAND COVER 2000. Η CLC είναι μια μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε το 2000, από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος και είχε σαν στόχο να ταξινομήσει τις χρήσεις γης σε όλο τον κόσμο, με τη βοήθεια των δορυφορικών αισθητήρων LANDSAT. Στηρίζεται στις αποχρώσεις R-G-B που συνθέτουν τα χρώματα στη δορυφορική εικόνα, από κάθε χρήση γης. Δημοσίευσε ένα υπόδειγμα (CLC Legend) στο οποίο αναγράφονται χρήσεις γης (κλάσεις) και ο χαρακτηριστικός αριθμός χρώματος (RGB) για κάθε χρήση. Το υπόδειγμα αυτό συνοδεύει ένας χάρτης χρήσεων γης παγκόσμιος, ο οποίος επικαιροποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η τελευταία επικαιροποίηση έγινε το 2012. Για μια περιοχή μεγέθους σαν την μελετώμενη, δεν θεωρείται αξιόπιστη μέθοδος μιας και η ακρίβεια της είναι ανά 100μέτρα, έναντι στα 15- 30 μέτρα των εικόνων LANDSAT. Τα αποτελέσματα της CLC2000 μελετήθηκαν προκειμένου να οριστούν οι κλάσεις για την κατηγοριοποίηση της προς μελέτη περιοχής. Οι κλάσεις που ορίστηκαν ήταν συνολικά τέσσερις, επιλεγμένες, με στρατηγικό τρόπο έτσι ώστε να στα δίνουν στα αποτελέσματα τη δυνατότητα να αξιοποιηθούν μετέπειτα σε υλικοτεχνικές μελέτες από άλλους κλάδους για την περιοχή εφαρμογής. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι κλάσεις:

A/A	Περιγραφή	Περιεχόμενες χρήσεις
1	Νερά (Water)	Θάλασσα – ποτάμια – λίμνες
2	Τεχνητές Επιφάνειες (Built up)	Κτίρια – Α/Δ– Δρόμοι
3	Βλάστηση	Δασικές εκτάσεις, καλλιέργειες, θάμνοι
4	Γυμνό Έδαφος (Bare Soil)	Έδαφος ανεκμετάλλευτο — φυσικά βράχια

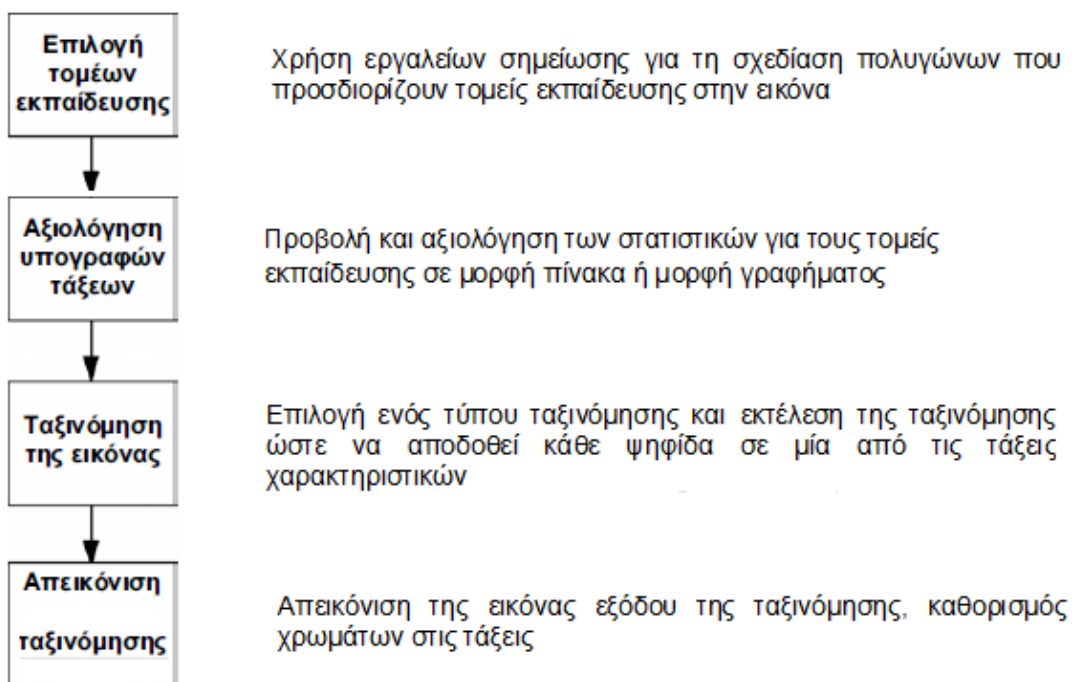
Πίνακας 4-2: Περιγραφή τεσσάρων κλάσεων ταξινόμησης

Με βάση αυτές τις κλάσεις έγινε η ταξινόμηση των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης.

#### 4.5. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Στην παρούσα παράγραφο αναλύονται συνοπτικά τα βήματα της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης των εικόνων, με σκοπό τη δημιουργία των χωρο-χρονικών δεδομένων.

Η διαδικασία εκτέλεσης της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, που ακολουθήθηκε για όλες τις δορυφορικές εικόνες, είναι η κάτωθι :



Αναλυτικά, παρουσιάζεται στο Παράρτημα Ι η διαδικασία της Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης στην δορυφορική εικόνα Landsat 5 TM του 1987, η οποία εκτελέστηκε με τη χρήση του λογισμικού QGIS.

#### Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Όσον αφορά τη διαδικασία της ταξινόμησης δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των κατάλληλων δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου, των κατάλληλων καναλιών που θα χρησιμοποιηθούν στον αλγόριθμο ταξινόμησης καθώς και στην επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου, ο οποίος θα αντιμετώπιζε αποτελεσματικά την ταξινόμηση των κατηγοριών.

➤ *Καθορισμός των δεδομένων εισόδου*

Για την εκτέλεση τη ταξινόμησης επιλέγονται ως δεδομένα εισόδου η εκάστοτε πολυφασματική, τα πεδία εκπαίδευσης και ελέγχου καθώς και ένα αρχείο μορφής .xmi, για την αποθήκευση των φασματικών υπογραφών.

➤ *Συλλογή Πεδίων Εκπαίδευσης και περιοχών ελέγχου*

Τα δείγματα εκπαίδευσης και ελέγχου, σε συνθήκες πραγματικής εργασίας, πρέπει να αποκτηθούν στο ύπαιθρο με χρήση GPS και ακριβή προσδιορισμό της κάθε θέσης. Στη συγκεκριμένη μελέτη δημιουργήθηκαν αντιπροσωπευτικά πολύγωνα χρησιμοποιώντας το *Corine* για την συγκεκριμένη περιοχή, καθώς και με οπτική μελέτη (φωτοερμηνεία) της εικόνας.

Για να δημιουργηθούν, αρχικά απαιτείται ο σχεδιασμός μιας περιοχής ενδιαφέροντος (Region of Interest). Επιλέγοντας το πολύγωνο ως τρόπο συλλογής, πραγματοποιήθηκε εστίαση στην περιοχή μελέτης και συλλέχθηκε το πρώτο δείγμα. Απαιτούνται τουλάχιστον τρία δείγματα για κάθε κατηγορία, έτσι ώστε να υπάρχει μια καλή αναπαράσταση του κάθε πεδίου.

Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για όλα τα πεδία εκπαίδευσης. Επιλέχθηκαν συνολικά τέσσερα πεδία εκπαίδευσης:

Water : MC ID = 1 (Υδάτινες Επιφάνειες)

Vegetation : MC ID = 2 (Βλάστηση)

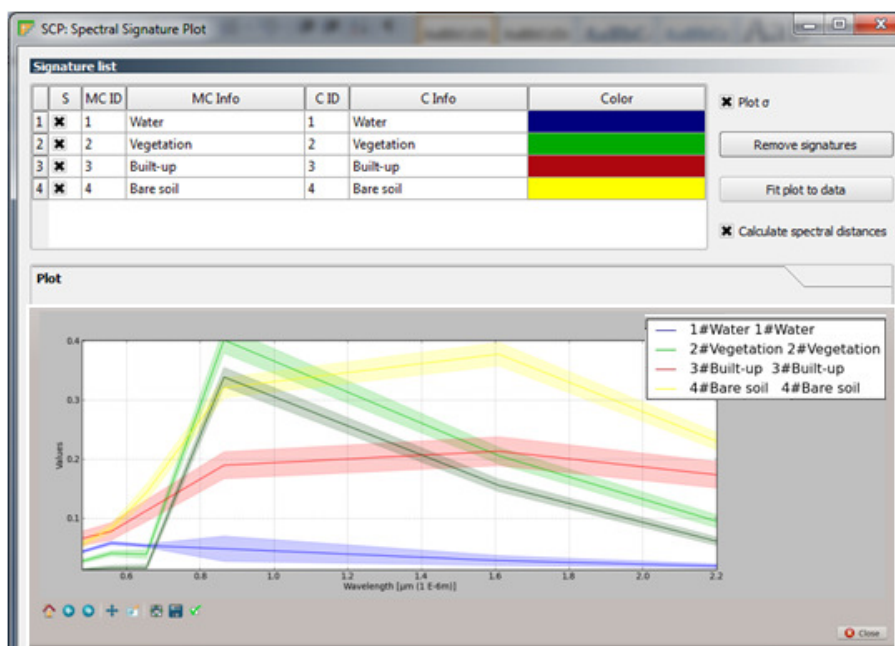
Built-up : MC ID = 3 (Ανθρωπογενείς κατασκευές)

Bare soil : MC ID = 4 (Έδαφος)

➤ *Δημιουργία και Έλεγχος Φασματικών υπογραφών*

Μόλις ήταν έτοιμο το αρχείο με όλες τις περιοχές εκπαίδευσης που επιλέχθηκαν, δημιουργήθηκε το αρχείο των φασματικών υπογραφών (Εικόνα 4-6), το οποίο αποθηκεύτηκε για να χρησιμοποιηθεί στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

Όπως προκύπτει από την παρατήρηση των φασματικών υπογραφών στο διάγραμμα ανακλαστικότητας των πεδίων εκπαίδευσης, τις χαμηλότερες τιμές εμφανίζει η κατηγορία Water, ενώ τις υψηλότερες η κατηγορία Built-up. Επίσης, οι υδάτινες επιφάνειες της εικόνας εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στο κανάλι 1, ενώ στα κανάλια 4, 5 και 6 αρκετά μικρότερες τιμές.








Εικόνα 4-6: Φασματικές υπογραφές των πεδίων εκπαίδευσης

.Αν σε ένα ζευγάρι καναλιών υπάρχει ανεξαρτησία δύο κατηγοριών χρήσεων γης, τότε μπορούν αυτές οι κατηγορίες να εξακριβωθούν σωστά. Αν μια κατηγορία χρήσης γης δεν εμφανίζεται ως ανεξάρτητη σε κανένα συνδυασμό καναλιών, τότε αυτή η κατηγορία δεν είναι δυνατό να διακριθεί.

#### ➤ Ταξινόμηση της Περιοχής Μελέτης

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε η επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη μέθοδο της μεγίστης πιθανοφάνειας και λήφθηκε το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για κάθε έτος, με τον αντίστοιχο χρωματισμό της κάθε τάξης (Εικόνα 4-7).

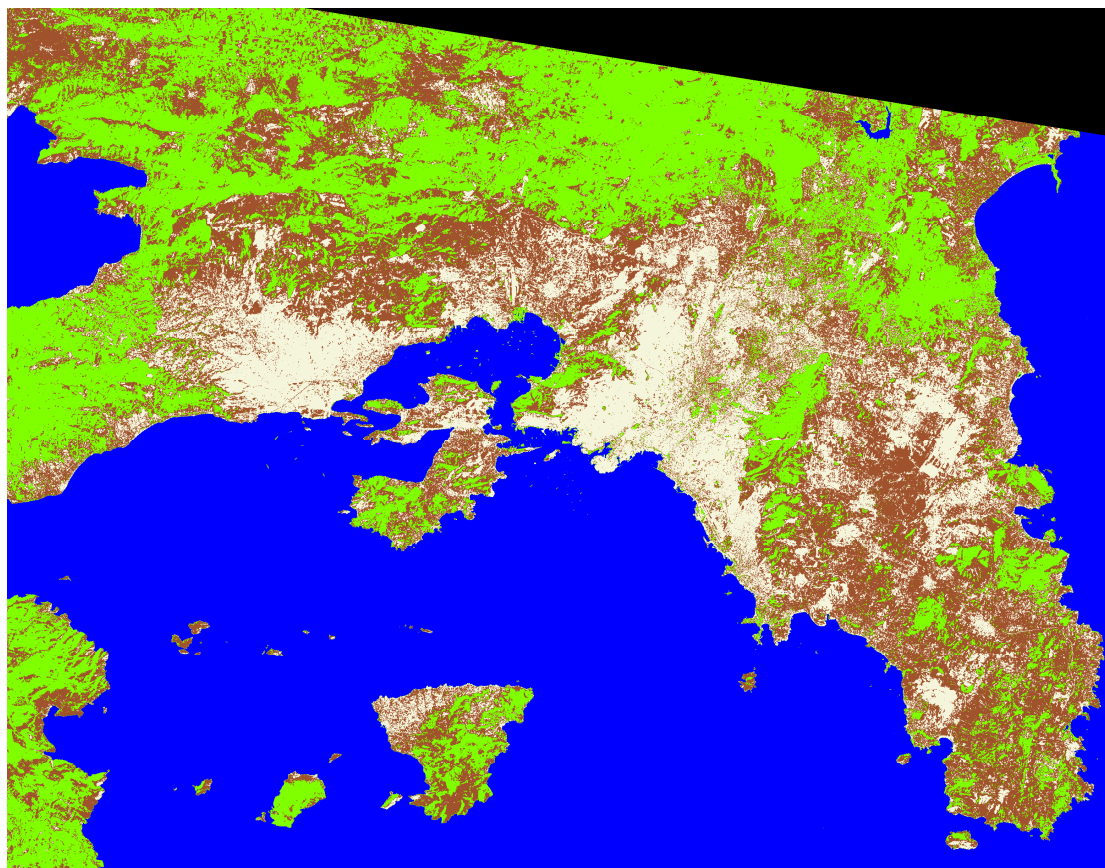
Αταξινόμητα	
Water	
Vegetation	
Built-up	
Bare soil	

Εικόνα 4-7: Καθορισμός χρωμάτων στις τάξεις

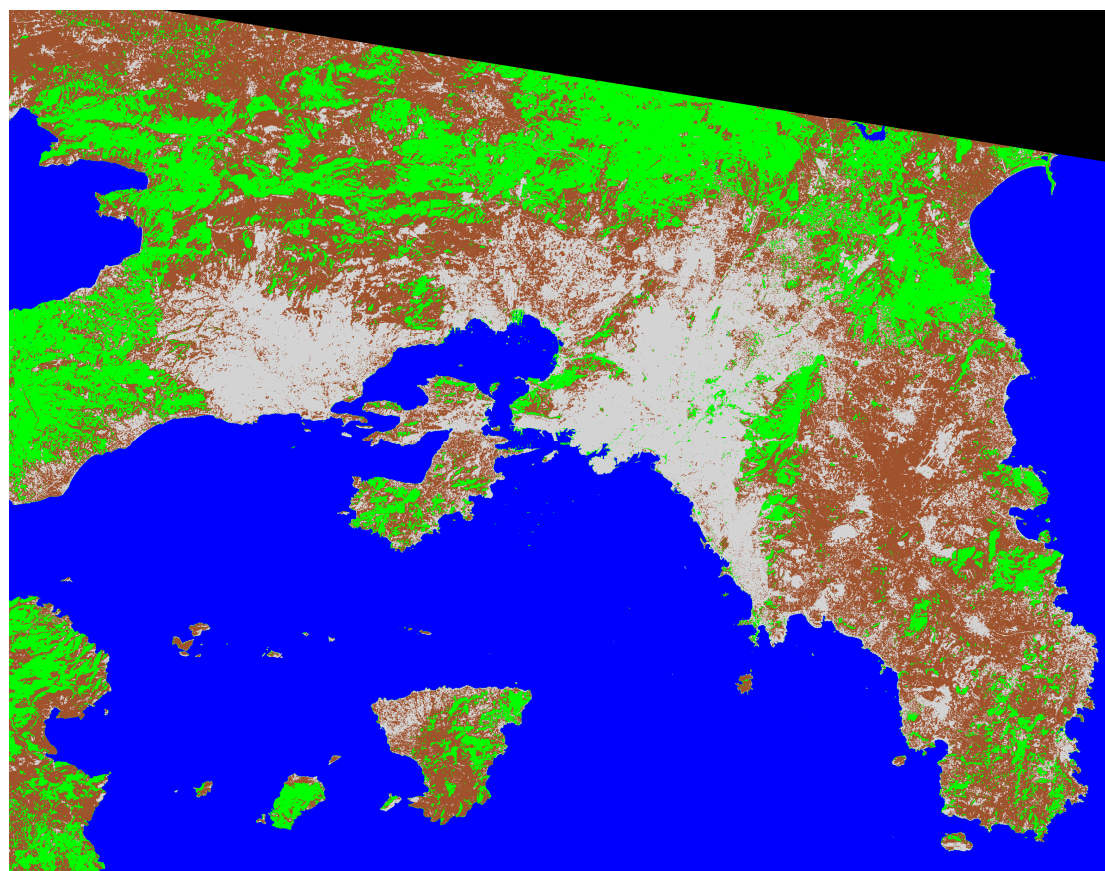
#### 4.5.1. Αποτελέσματα εφαρμογής ταξινόμησης για τα έτη 1987 – 2015

Με τη μέθοδο της μεγίστης πιθανοφάνειας, λήφθηκαν τα κάτωθι αποτελέσματα ταξινόμησης.

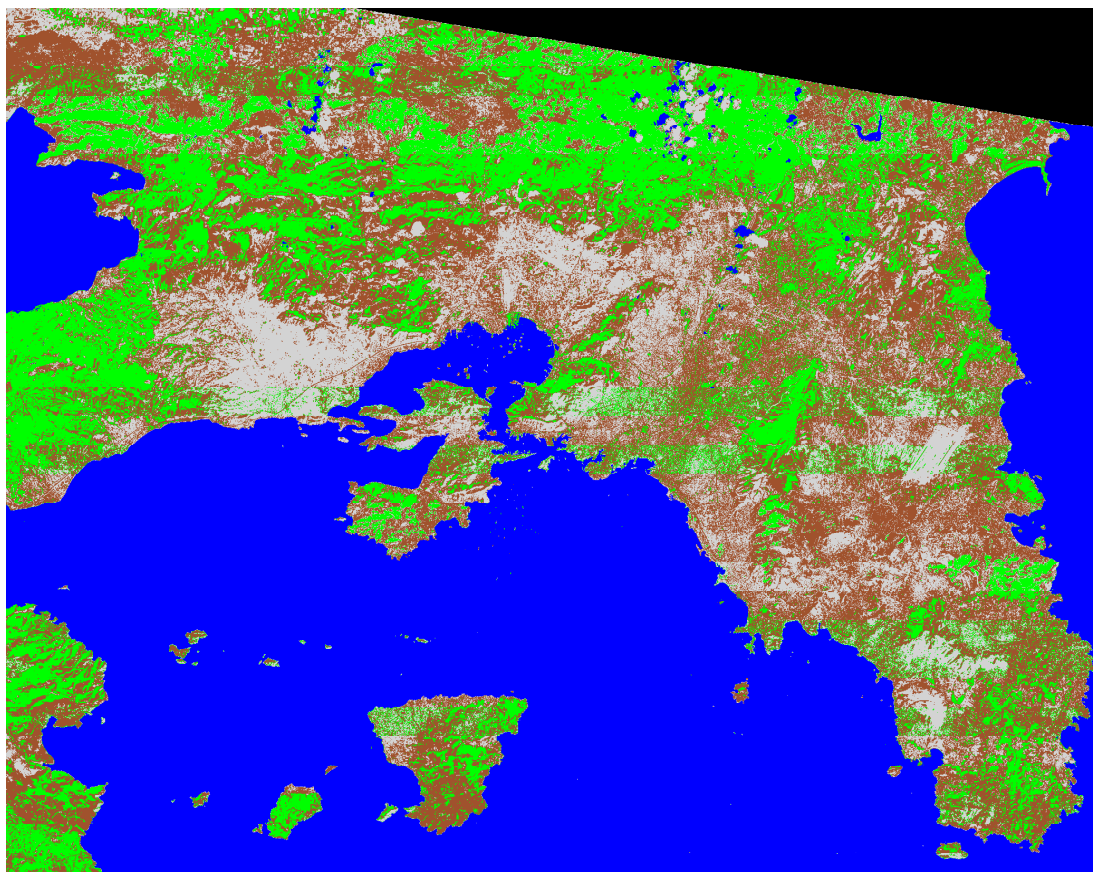




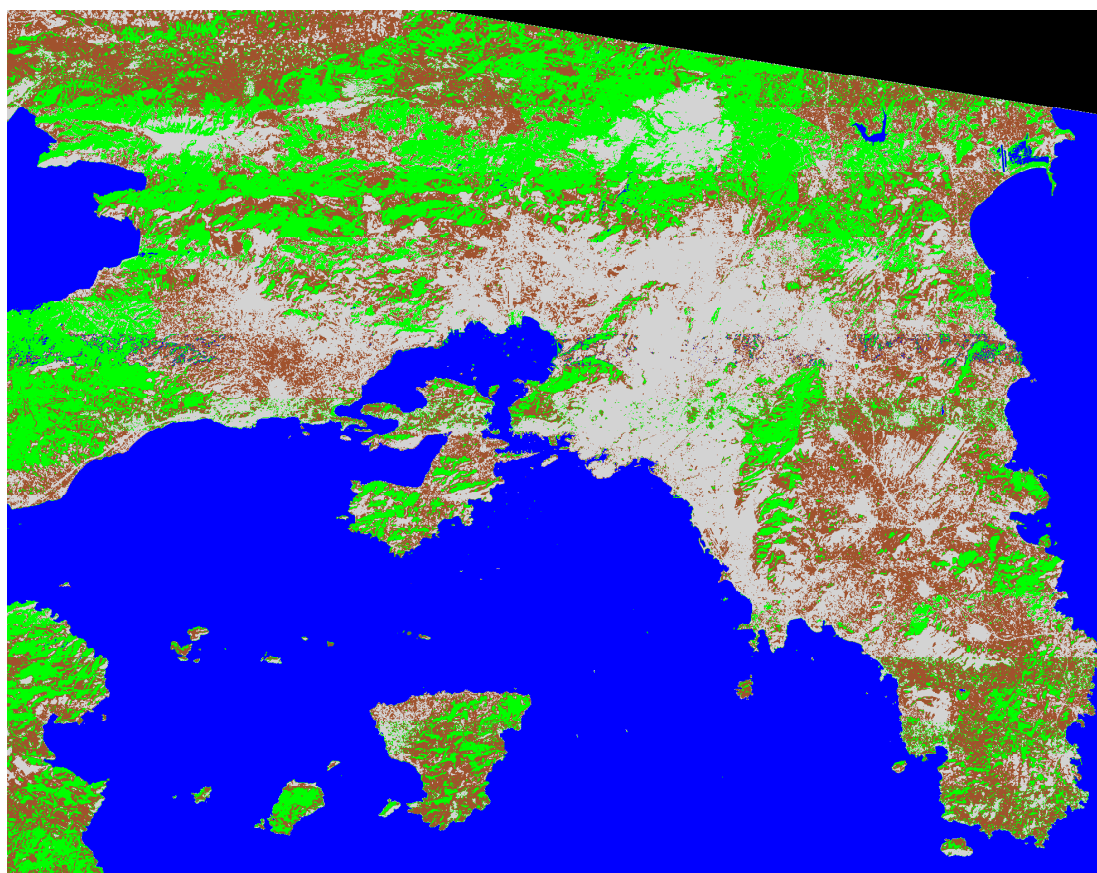
Εικόνα 4-8: Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 1987



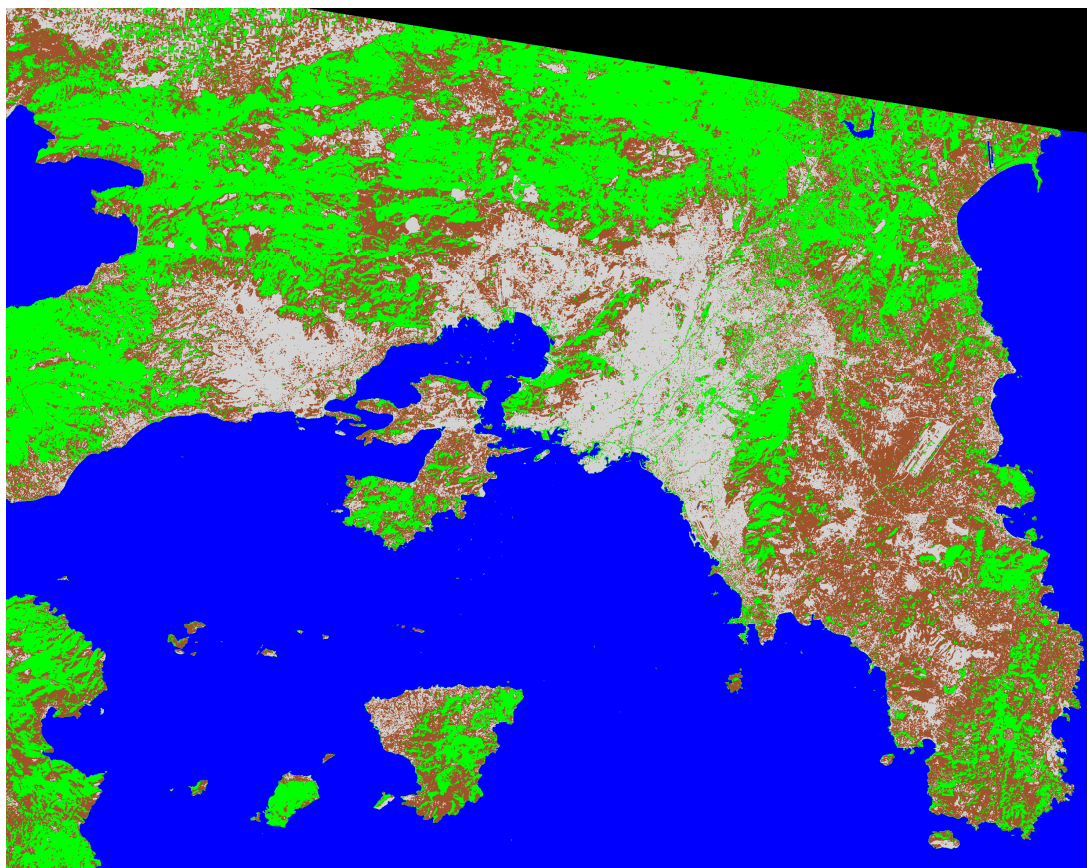
Εικόνα 4-9 : Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 1991



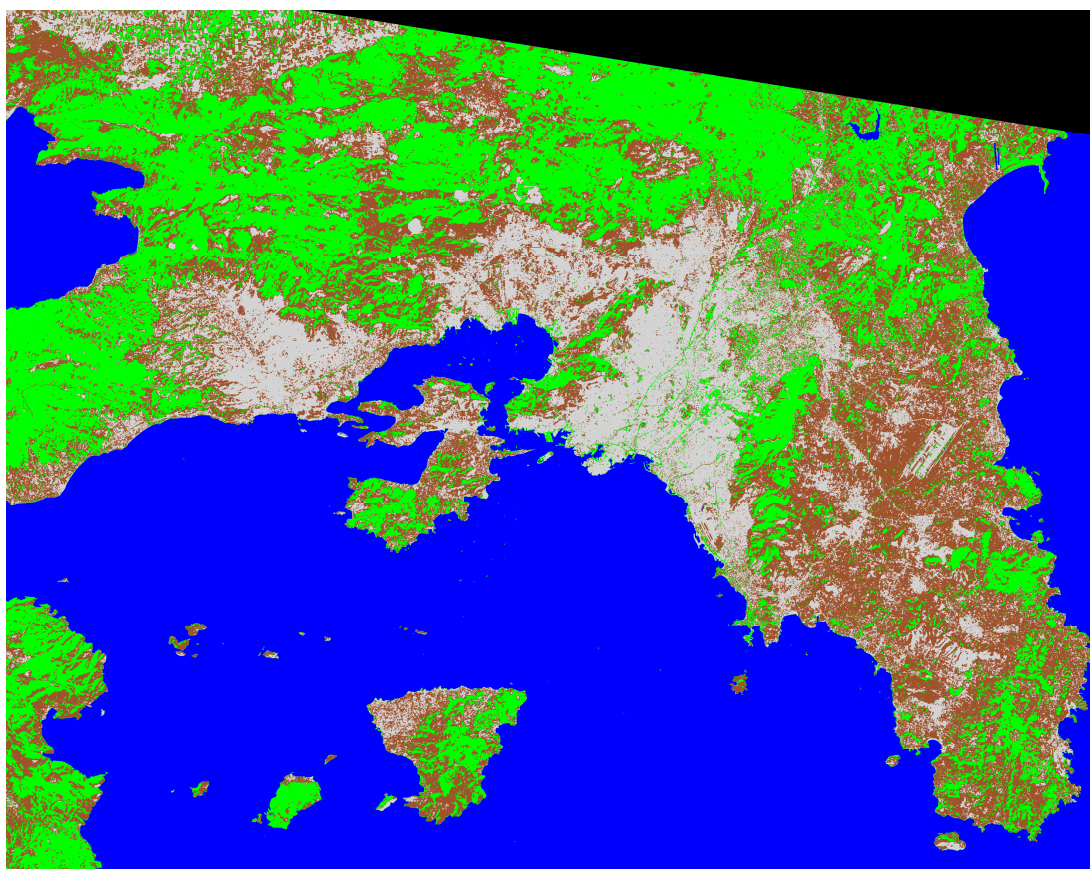
Εικόνα 4-10: Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 1999



Εικόνα 4-11: Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 2003



Εικόνα 4-12: Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 2009



Εικόνα 4-13: Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 2015

## 4.6. Οπτικοποίηση χωρο-χρονικών δεδομένων

Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση των χωρο-χρονικών δεδομένων, που δημιουργήθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, απαιτούνται κάποιες τεχνικές οπτικής διερεύνησης και παρουσίασης.

Η τεχνική της οπτικοποίησης που επιλέχτηκε είναι οι κινούμενες εικόνες (animation). Πρόκειται για μια αποτελεσματική προσέγγιση, που παρέχει υλικό και μπορεί να υποβοηθήσει την ικανότητα αντίληψης του ανθρώπου στη χαρτογράφηση πληροφορίας με χωροχρονικές αλλαγές.

### 4.6.1. Διαμόρφωση Δεδομένων

Το Plug-in *TimeManager* του QGIS παρέχει τη δυνατότητα του animation, με τη χρήση τόσο διανυσματικών όσο και κανονικοποιημένων δεδομένων. Τα vector δεδομένα, για να εισαχθούν στον *TimeManager* πρέπει να είναι σε μορφότυπο.shp, ενώ τα raster σε μορφότυπο .nc.

✓ *Κανονικοποιημένα δεδομένα*

Το NetCDF (*Network Common Data Form*) είναι ένα σύνολο εργαλείων λογισμικού και αυτοπεριγραφής, διάφορων μορφών δεδομένων που είναι ανεξάρτητα από τα λειτουργικά συστήματα Η/Υ και υποστηρίζουν τη δημιουργία, την πρόσβαση και την ανταλλαγή επιστημονικών δεδομένων. Η NetCDF έκδοση 4.0 και άνω ενσωματώνει και τη μορφή HDF5, που έχουν σχεδιαστεί για να εξυπηρετούν την αποθήκευση και την οργάνωση μεγάλων ποσοτήτων χωρο-χρονικών δεδομένων.

Τα αποτελέσματα ταξινόμησης λήφθηκαν σε μορφότυπο .tif, οπότε και κρίθηκε απαραίτητο να μεταπέσουν σε μορφότυπο .nc. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε αλγόριθμος σε γλώσσα *Python*, κάνοντας χρήση συναρτήσεων καθώς και των διάφορων βιβλιοθηκών της.

Η *Python* είναι μια διερμηνευόμενη, υψηλού επιπέδου γλώσσα με δυναμική σημασιολογία (semantics). Η φιλοσοφία της ενθαρρύνει την αναγνωσιμότητα του κώδικα και έχει μια αρκετά μεγάλη κύρια βιβλιοθήκη (standard library). Διαθέτει μια από τις πιο ολοκληρωμένες συλλογές βιβλιοθηκών, καθώς η διασύνδεσή της με τις γλώσσες C και C++ είναι πολύ εύκολη. Χρησιμοποιείται για όλων των ειδών τις

εφαρμογές και έχει πολλές δυνατότητες για επιστημονικούς υπολογισμούς. Επιπλέον πλεονέκτημά της, είναι η εκπαιδευτική της αξία λόγω της σύνταξης πολύ υψηλού επιπέδου. Η βιβλιοθήκη *NumPy* είναι μια συλλογή συναρτήσεων και τύπων που αποσκοπεί στην επίλυση μαθηματικών προβλημάτων. Διαθέτει ένα βασικό τύπο δεδομένων που είναι ο πολυδιάστατος πίνακας (multi-dimensional array) πάνω στον οποίο είναι βασισμένες ρουτίνες για αριθμητική ανάλυση, γραμμική άλγεβρα, μιγαδικούς αριθμούς, ανάλυση Fourier κλπ. Η βιβλιοθήκη *SciPy* είναι συμπληρωματική της *NumPy* και παρέχει ρουτίνες και αλγορίθμους για πιο σύνθετες επιστημονικές διαδικασίες όπως για παράδειγμα Γραμμική Παλινδρόμηση, Φίλτρα Kalman, Ανάλυση Σήματος, Μαθηματική Μορφολογία, Ανάλυση Εικόνας, Στατιστική, και πολλά άλλα.

Η ανάγνωση απλών εικόνων, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της βιβλιοθήκης *Scipy*, η οποία δύναται να διαβάζει απλές παγχρωματικές και έγχρωμες εικόνες (έως τρία κανάλια), σαν μονοδιάστατους και τρισδιάστατους πίνακες αντίστοιχα. Οι πολυφασματικές απεικονίσεις, δεν είναι εφικτό να απεικονιστούν με την παραπάνω διαδικασία (βιβλιοθήκη *scipy*), δεδομένου ότι απαιτούν πολυδιάστατους πίνακες για την εκχώρηση του κάθε ενός από τα πολλαπλά κανάλια της. Ο χειρισμός πολυφασματικών δεδομένων, απαιτεί την ειδική βιβλιοθήκη *GDAL*. Παράλληλα, με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης *matplotlib*, που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση, οι εικόνες αυτές μπορούν να επιδειχθούν στον ενσωματωμένο Viewer.

Ακολουθεί ο αλγόριθμος μετατροπής σε μορφότυπο .nc για το αποτέλεσμα της ταξινόμησης έτους 1987, ο οποίος εφαρμόστηκε για όλα τα υπόλοιπα έτη.

### **### import libraries and functions**

```
import numpy as np
import datetime as dt
import os
import gdal
import netCDF4
import re
import PIL
```

### **# import initial image**

```
file1 = p183r34_5t19870610_stack_subset1_uns2_10_99_rec.tif'
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
from PIL import Image
```

**# Use my GDAL based functions to read and write data**

```
execfile('geoimread.py')  
execfile('geoimwrite.py')
```

**# Read image with georeference**

```
(imdata, geoTransform, proj, drv_name) = geoimread(file1)  
gdal_translate -of netCDF -co "FORMAT=NC4" "file1" "1987_.nc"
```

```
# of format : Select the format to create the new file as  
# co format : Passes a creation option to the output format driver
```

**# create NetCDF file**

```
1987_ = netCDF4.Dataset('1987_.nc','w') # write mode to create a new file
```

Με την εκτέλεση του ανωτέρου αλγορίθμου, δημιουργείται ένα νέο raster αρχείο μορφής .nc

**4.6.2. Υλοποίηση οπτικοποίησης**

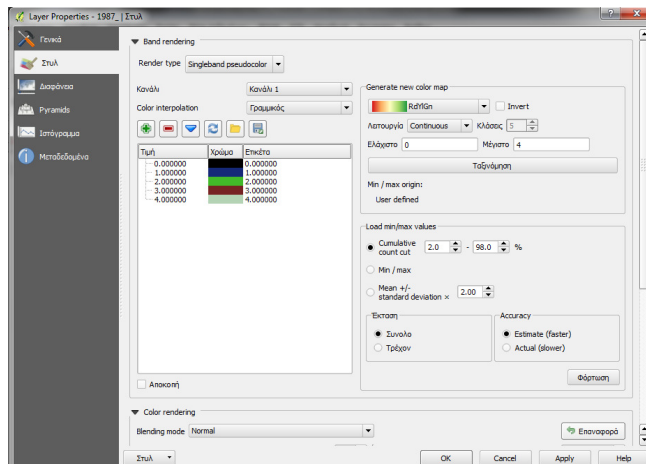
Αφού εισαχθούν τα δεδομένα στο περιβάλλον του λογισμικού QGIS, γίνεται κατάλληλη επεξεργασία ώστε να υπάρξει η βέλτιστη οπτική απόδοση.






✓ *Διανυσματικά Δεδομένα*

Όσον αφορά τα vector δεδομένα (Πολύγωνα Δήμων Αττικής), οπτικά χαρακτηριστικά όπως το χρώμα, το πάχος (stroke) και η διαφάνεια (transparency) δύναται να αξιοποιηθούν για την καλύτερη δυνατή οπτικοποίηση.

✓ *Κανονικοποιημένα δεδομένα*

Αρχικά, όλα τα raster layers μορφότυπου .nc εισήχθησαν στο λογισμικό QGIS. Πραγματοποιήθηκε επιλογή χρωμάτων για κάθε κατηγορία κάλυψης γης, ενώ δε δόθηκε καθόλου διαφάνεια.



Αταξινόμητα		Class 0
Water		Class 1
Vegetation		Class 2
BareSoil		Class 3
Built-up		Class 4

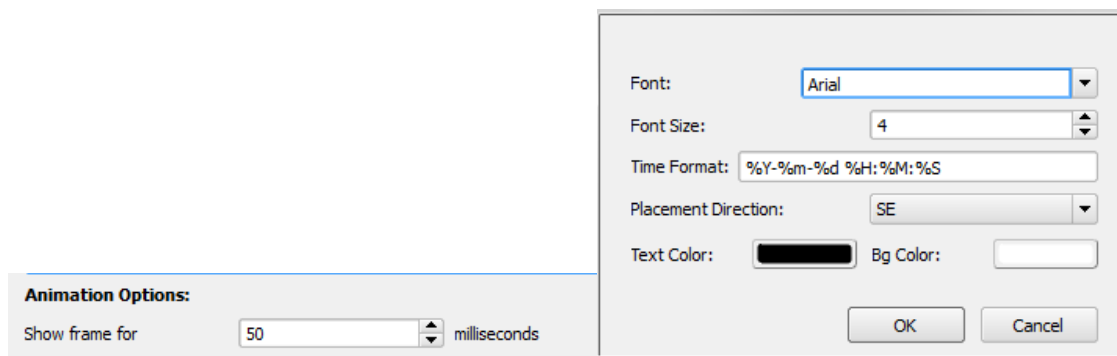
Εικόνα 4-14: Διαμόρφωση κανονικοποιημένων δεδομένων

Έπειτα, αφού κλήθηκε η επέκταση (Plug-in) Time Manager, φορτώθηκαν ένα – ένα τα raster layers και καθορίστηκαν οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης της προβολής κάθε στιγμιότυπου.

	Layer name	Start	End (optional)	Enabled	Index	Time format
1	1987_	1987-01-01	1990-12-31	<input checked="" type="checkbox"/>	1987_NetCdf20...	%Y-%m-%d
2	1991_	1991-01-01	1998-12-31	<input checked="" type="checkbox"/>	1991201607171...	%Y-%m-%d
3	1999_	1999-01-01	2002-12-31	<input checked="" type="checkbox"/>	1999_201607171...	%Y-%m-%d
4	2003_	2003-01-01	2008-12-31	<input checked="" type="checkbox"/>	2003_201607171...	%Y-%m-%d
5	2009_	2009-01-01	2014-12-31	<input checked="" type="checkbox"/>	2009_201607171...	%Y-%m-%d
6	2015_	2015-01-01	2015-12-31	<input checked="" type="checkbox"/>	2015_201607171...	%Y-%m-%d

Πίνακας 4-3: Πίνακας Χωρο-χρονικών δεδομένων

Επιπλέον, καθορίστηκε ο χρόνος απεικόνισης κάθε στιγμιότυπου και η μορφή της οπτικής απόδοσης της τρέχουσας χρονικής στιγμής.



Εικόνα 4-15: Ορισμός χρόνου απεικόνισης κάθε frame και μορφής παρουσίασης της τρέχουσας χρονικής στιγμής





## 5. Ποσοτική και Ποιοτική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Με την ολοκλήρωση της ταξινόμησης πραγματοποιήθηκαν διαδικασίες μετά-ταξινόμησης έτσι ώστε να ελεγχθεί η ακρίβεια της ταξινόμησης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα πολύγωνα ελέγχου προκειμένου να ελεγχθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, ο έλεγχος της ποιότητας και αξιοπιστίας της. Τέλος, αξιολογήθηκε και η τεχνική της οπτικοποίησης που επιλέχτηκε.

### 5.1. Δημιουργία Πίνακα Σύγκυσης

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης αξιολογήθηκαν ποσοτικά, χρησιμοποιώντας τα πολύγωνα ελέγχου και υπολογίζοντας τον πίνακα σύγκυσης.

<b>Classification</b>	<b>Water</b>	<b>Vegetation</b>	<b>Built up</b>	<b>Soil</b>	<b>Total</b>
<b>Water</b>	87	0	0	0	87
<b>Vegetation</b>	0	115	1	3	119
<b>Built up</b>	0	0	111	32	143
<b>Soil</b>	0	5	12	78	95
<b>Total</b>	87	120	124	113	444

Πίνακας 5-1: Πίνακας Σύγκυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 1987

Overall accuracy 0,88

<b>Classification</b>	<b>Water</b>	<b>Vegetation</b>	<b>Built up</b>	<b>Soil</b>	<b>Total</b>
<b>Water</b>	63	0	0	0	63
<b>Vegetation</b>	0	75	1	7	83
<b>Built up</b>	0	0	55	32	87
<b>Soil</b>	0	12	27	78	117
<b>Total</b>	63	87	83	117	350

Πίνακας 5-2: Πίνακας Σύγκυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 1991

Overall accuracy 0,77

<b>Classification</b>	<b>Water</b>	<b>Vegetation</b>	<b>Built up</b>	<b>Soil</b>	<b>Total</b>
<b>Water</b>	27	0	0	0	27
<b>Vegetation</b>	0	93	1	27	121
<b>Built up</b>	0	0	45	18	63
<b>Soil</b>	0	17	22	77	116
<b>Total</b>	27	110	68	122	327

Πίνακας 5-3: Πίνακας Σύγκυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 1999

Overall accuracy 0,74

<b>Classification</b>	<b>Water</b>	<b>Vegetation</b>	<b>Built up</b>	<b>Soil</b>	<b>Total</b>
<b>Water</b>	37	0	0	0	37
<b>Vegetation</b>	0	75	1	27	103
<b>Built up</b>	0	0	55	32	87
<b>Soil</b>	0	23	27	82	132
<b>Total</b>	37	98	83	141	359

Πίνακας 5-4: Πίνακας Σύγχυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 2003

Overall accuracy 0,69

<b>Classification</b>	<b>Water</b>	<b>Vegetation</b>	<b>Built up</b>	<b>Soil</b>	<b>Total</b>
<b>Water</b>	57	0	0	0	57
<b>Vegetation</b>	0	75	1	7	83
<b>Built up</b>	0	0	67	22	89
<b>Soil</b>	0	8	18	78	104
<b>Total</b>	57	83	86	107	333

Πίνακας 5-5: Πίνακας Σύγχυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 2009

Overall accuracy 0,83

<b>Classification</b>	<b>Water</b>	<b>Vegetation</b>	<b>Built up</b>	<b>Soil</b>	<b>Total</b>
<b>Water</b>	43	0	0	0	43
<b>Vegetation</b>	0	117	1	27	145
<b>Built up</b>	0	0	55	29	84
<b>Soil</b>	0	23	27	84	134
<b>Total</b>	43	140	83	140	406

Πίνακας 5-6: Πίνακας Σύγχυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 2015

Overall accuracy 0,73

Από τους παραπάνω πίνακες σύγχυσης προκύπτει η εκτίμηση της ποιότητας των ταξινομήσεων.

Η συνολική ακρίβεια είναι σχετικά καλή, με ποσοστά από 69% μέχρι και 88%.

Τα εικονοστοιχεία εκπαίδευσης τα οποία ταξινομήθηκαν στις κατάλληλες (ορθές) κατηγορίες κάλυψης γης, βρίσκονται πάνω στην κύρια διαγώνιο του πίνακα σφαλμάτων. Όλα τα στοιχεία που δεν ανήκουν στην κύρια διαγώνιο αντιπροσωπεύουν σφάλματα παράλειψης (αποκλεισμού) της ταξινόμησης και σφάλματα συμπερίληψης. Τα σφάλματα αποκλεισμού αντιστοιχούν στα μη διαγώνια στοιχεία των στηλών του πίνακα, ενώ τα σφάλματα συμπερίληψης αντιπροσωπεύονται από τα μη διαγώνια στοιχεία των γραμμών του πίνακα.

Η πιο αξιόπιστη κατηγορία είναι τα νερά, ακολουθούμενη από τη βλάστηση. Υπάρχει μία μικρή σύγχυση μεταξύ βλάστησης και γυμνού εδάφους και μια μεγαλύτερη μεταξύ ανθρωπογενών κατασκευών και γυμνού εδάφους.

Το πρόβλημα οφείλεται στη διαφορετική ραδιομετρία των εικόνων, στη μη πραγματοποίηση ραδιομετρικής διόρθωσης καθώς και σε επικάλυψη των φασματικών προτύπων.

## 5.2. Στατιστική Επεξεργασία

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε η στατιστική επεξεργασία του αποτελέσματος, λαμβάνοντας τα στατιστικά της ταξινόμησης, καθώς και τις εμβαδομετρήσεις των κατηγοριών (m<sup>2</sup>) και σε ποσοστό επί τοις εκατό (%) για κάθε μία εικόνα. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν συγκριτικά διαγράμματα διαχρονικών αλλαγών χρήσεων γης για τα έτη 1987-2015.

Class	PixelSum	Percentage %	Area [metre <sup>2</sup> ]
0.0	419771	5.46568282787	340958994.75
1.0	3171428	41.2939901981	2575992393.0
2.0	1607080	20.9251938772	1305350730.0
3.0	1571413	20.460787071	1276380209.25
4.0	910428	11.8543460258	739495143.0

Πίνακας 5-7: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 1987

Class	PixelSum	Percentage %	Area [metre <sup>2</sup> ]
0.0	581995	7.5779414905	472725438.75
1.0	3161811	41.1687708005	2568180984.75
2.0	1184051	15.4170898371	961745424.75
3.0	1747035	22.7474961329	1419029178.75
4.0	1005228	13.088701739	816496443.0

Πίνακας 5-8: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 1991

Class	PixelSum	Percentage %	Area [metre <sup>2</sup> ]
0.0	1445885	4.70809139764	293605022.813
1.0	12733800	41.4638053782	2585757262.5
2.0	4868862	15.853990669	988683289.875
3.0	6926814	22.5550949117	1406576167.88
4.0	4735279	15.4190176434	961557591.938

Πίνακας 5-9: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 1999

Class	PixelSum	Percentage %	Area [metre <sup>2</sup> ]
0.0	1023930	3.69425496864	230384250.0
1.0	11491283	41.4596010653	2585538675.0
2.0	4586134	16.5463931288	1031880150.0
3.0	5263881	18.9916483926	1184373225.0
4.0	5351592	19.3081024447	1204108200.0

Πίνακας 5-10: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 2003

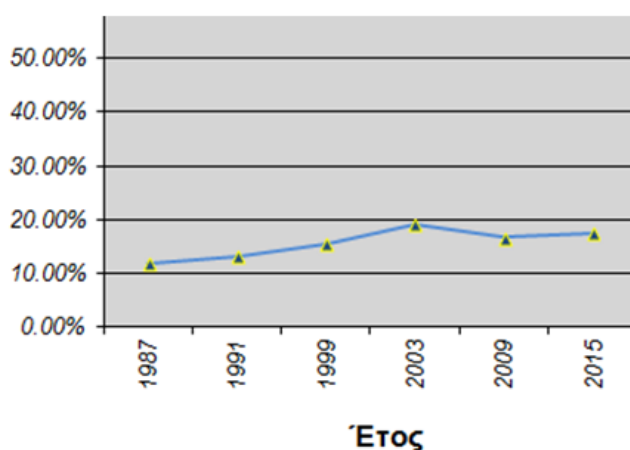
Class	PixelSum	Percentage %	Area [metre <sup>2</sup> ]
0.0	369992	5.33780218024	332992800.0
1.0	2861905	41.2881433886	2575714500.0
2.0	1157442	16.6981892341	1041697800.0
3.0	1394560	20.1190442184	1255104000.0
4.0	1147643	16.5568209787	1032878700.0

Πίνακας 5-11: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 2009

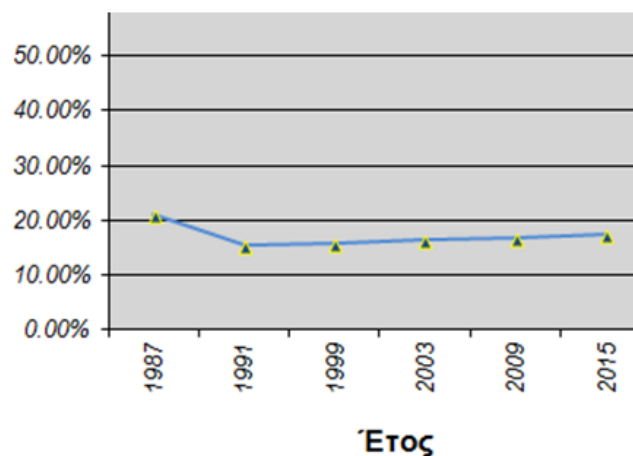
Class	PixelSum	Percentage %	Area [metre <sup>2</sup> ]
0.0	1520578	5.48611998057	342130050.0
1.0	11543963	41.6496661594	2597391675.0
2.0	4820756	17.3928899491	1084670100.0
3.0	5002700	18.0493288913	1125607500.0
4.0	4828823	17.4219950196	1086485175.0

Πίνακας 5-12: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 2015

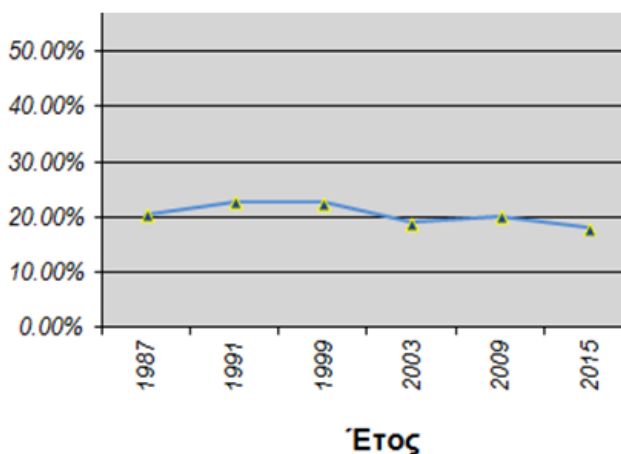
Μεταβολή Κλάσης Τεχνητές Επιφάνειες



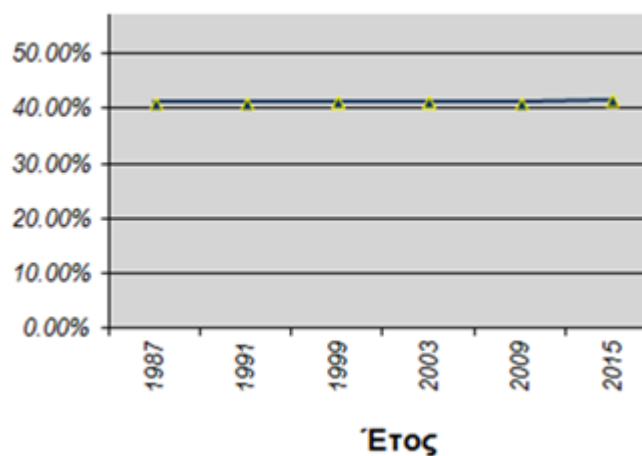
Μεταβολή Κλάσης Βλάστηση



Μεταβολή Κλάσης Γυμνό Έδαφος



Μεταβολή Κλάσης Νερά



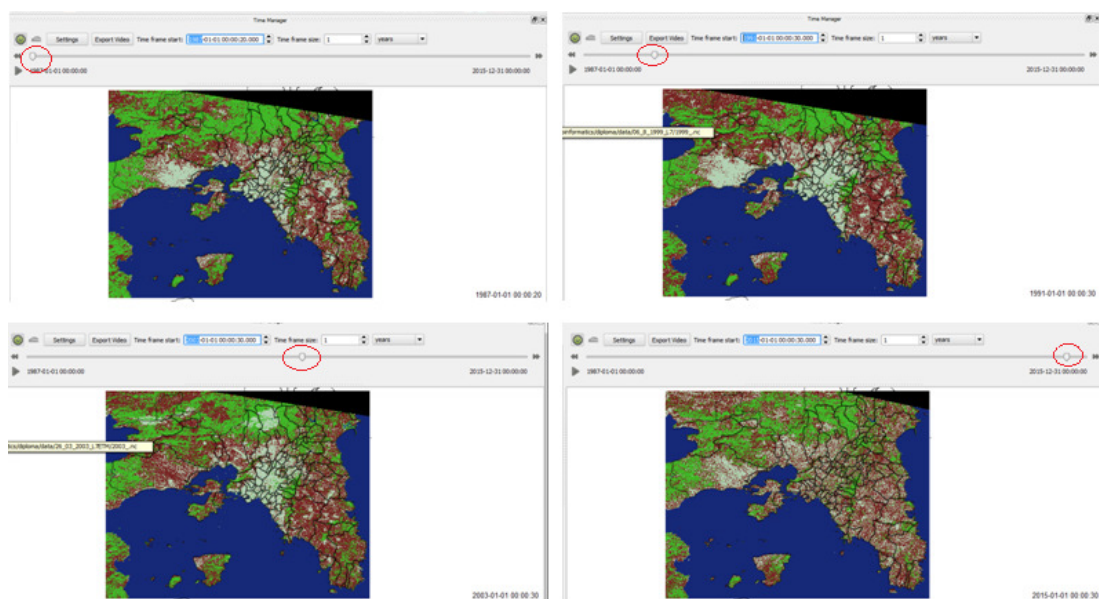
Διάγραμμα 5-1: Συγκριτικά διαγράμματα διαχρονικών αλλαγών χρήσεων γης

Γενικά παρατηρείται αύξηση και στη συνέχεια σταθεροποίηση των ανθρωπογενών κατασκευών από το 1987 μέχρι το 2015. Αρχικά παρατηρείται μια αύξηση μέχρι και το 2003. Αυτό οφείλεται τόσο στην εξάπλωση των οικιστικών περιοχών στην Ανατολική Αττική (Σπάτα, Ντράφι, Ανθούσα, Μαρκόπουλο, Ν. Μάκρη), όσο και στη δημιουργία νέων αναπτυξιακών έργων υποδομής. Έπειτα, λόγω της οικονομικής κρίσης παρατηρείται μια σταθεροποίηση του φαινομένου. Τα αποτελέσματα αναφέρονται σε όλη την περιοχή μελέτης. Θα είχε περισσότερο ενδιαφέρον η τμηματική εξέταση των περιοχών, μέσω ορισμού υπο-περιοχών.

Όσον αφορά τη βλάστηση, παρατηρείται μια αισθητή μείωση της και στη συνέχεια σταθεροποίηση. Προφανώς οφείλεται στις πυρκαγιές που ξέσπασαν όλα τα χρόνια σε Πεντέλη και άλλους ορεινούς όγκους, καθώς και στην οικιστική εξάπλωση, ακόμα και σε δασικές εκτάσεις. Τα τελευταία χρόνια, λόγω αναδασώσεων και οικονομικής κρίσης, έχει σταθεροποιηθεί.

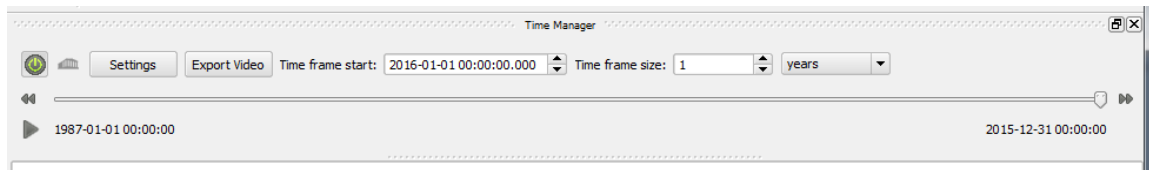
### 5.3. Ποιοτική Αξιολόγηση της τεχνικής οπτικοποίησης

Η κινούμενη απεικόνιση αφορά την οπτικοποίηση των αλλαγών στα συστατικά στοιχεία (καλύψεις γης) των χωροχρονικών δεδομένων. Σκοπός είναι να αναδείξει τις αλλαγές και τις συσχετίσεις μεταξύ του χώρου, των χαρακτηριστικών και του χρόνου.

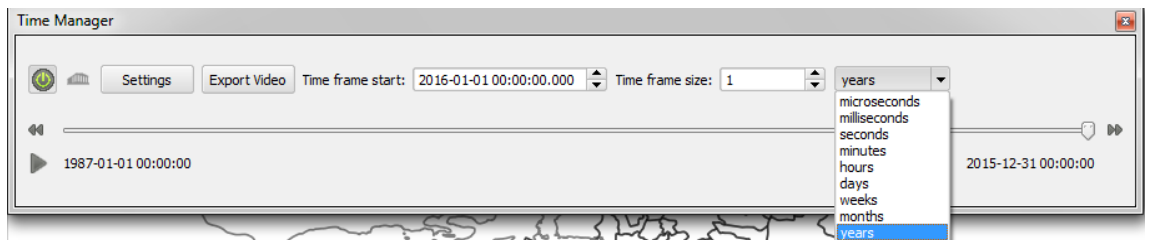


Ο χρήστης έχει τον απόλυτο έλεγχο της απεικόνισης, διότι υπάρχουν εργαλεία που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση καθώς παρατηρεί την κινούμενη απεικόνιση. Έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας και θέασης των δεδομένων σε οποιαδήποτε κλίμακα, μέσω των λειτουργιών pan και zoom, και έπειτα να θέσει σε λειτουργία την απεικόνιση, για εκτέλεση ανάλυσης σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Υπάρχει ένα υπόμνημα χρόνου με μορφή συρόμενης μπάρας, με δυνατότητα δράσης, παύσης και μετακίνησης στο χρόνο. Καθοδηγεί το χρήστη στο χρόνο, ενώ παράλληλα λειτουργεί σαν ένα εργαλείο πλοήγησης για τον έλεγχο της κινούμενης απεικόνισης.



Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα επιλογής της χρονικής στιγμής έναρξης του animation (αφετηρία προβολής), καθώς και δυνατότητα επιλογής του χρονικού διαστήματος εναλλαγής των σκηνών( από δευτερόλεπτα μέχρι και χρόνια αναλόγως την εφαρμογή).



Επιπλέον, υπάρχει δείκτης επισήμανσης της τρέχουσας χρονικής στιγμής (Έτος, Μήνας, Ημερομηνία, Ώρα).

Τέλος, δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής της κινούμενης απεικόνισης στιγμιότυπο-στιγμιότυπο (frame-by-frame), ώστε να αξιοποιηθούν στη δημιουργία ενός video (διαδραστική μορφή).

## 6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από όλες τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πέραν αυτών, αξίζει να αναφερθούν ορισμένες προτάσεις που προέκυψαν για την βελτίωση των αποτελεσμάτων και την διαχείριση των προβλημάτων που αντιμετωπίστηκαν κατά τη δημιουργία και οπτικοποίηση των χωρο-χρονικών δεδομένων από τις συγκεκριμένες δορυφορικές εικόνες χωρικής ανάλυσης 15-30m.

### 6.1. Γενικά Συμπεράσματα

- Η ποιοτική και ποσοτική πληροφορία που λαμβάνουμε από μεθόδους παρατήρησης γης και τηλεπισκοπικούς αισθητήρες μπορεί να μην είναι προφανώς χρονικά πυκνή και λεπτομερής αν συγκρίνει κανείς με τις κλασσικές τοπογραφικές μετρήσεις στο πεδίο, παρέχεται επίσης η δυνατότητα για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση καλύψεων-χρήσεων γης, χωρίς χρονοβόρες και κοστοβόρες διαδικασίες συλλογής δεδομένων.

- Δεδομένου του εύρους των φασματικών χαρακτηριστικών που υπάρχουν σε μία δορυφορική εικόνα, διαπιστώθηκε ότι είναι πολύ δύσκολο ο χρήστης να επεξεργαστεί και αξιολογήσει απ' ευθείας μία δορυφορική εικόνα σε όλη της την έκταση και χωρική ανάλυση. Αποδοτικός και αποτελεσματικός τρόπος σε μεγάλης έκτασης δεδομένα είναι η κατάλληλη επιλογή υπο-περιοχών που ενσωματώνουν όλες τις χωρικές και φασματικές διαφοροποιήσεις της εικόνας και η πιλοτική επεξεργασία και αξιολόγηση των αλγορίθμων σε αυτές τις υπο-περιοχές. Επίσης, ο χρήστης αποκτά το πλεονέκτημα της γρηγορότερης εύρεσης των σωστών παραμέτρων εισαγωγής για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος και τη μετέπειτα εφαρμογή τους.

- Τα λογισμικά για τις ταξινομήσεις υλοποιούν πάνω-κάτω τους ίδιους αλγορίθμους ταξινόμησης. Η χρήση ενός λογισμικού είτε για μεμονωμένες περιπτώσεις εξαγωγής χαρακτηριστικών είτε στην περίπτωση χρήσης του σε γραμμή παραγωγής απαιτεί ο χρήστης να είναι έμπειρος, έτσι ώστε να είναι ικανός να ανταποκριθεί στις δυσκολίες που προκύπτουν.

## 6.2. Ειδικότερα Συμπεράσματα

- Ο μετασχηματισμός των δεδομένων μέσω αλγορίθμων pansharpening βελτίωσε ραδιομετρικά τις εικόνες, προσφέροντας τη δυνατότητα για υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης.
- Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Έγινε αντιληπτό ότι τα προβλήματα στην ταξινόμηση παρόμοιων φασματικών χαρακτηριστικών αποτελούν μία σημαντική πηγή λαθών. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά μεταξύ ανθρωπογενών κατασκευών και εδάφους.
- Λόγω των διαφορετικών φασματικών και χωρικών χαρακτηριστικών που έχει μία εικόνα δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί ένα μοναδικό συγκεκριμένο μοντέλο περιοχών εκπαίδευσης για μεγάλο αριθμό εικόνων.
- Τα υψηλά ποσοστά επιτυχίας (> 90%) απαιτούν επέμβαση του ίδιου του χρήστη για τη βελτίωση του αποτελέσματος, με το χρονικό διάστημα να ποικίλλει ανάλογα με την εμπειρία του.
- Η μελέτη αυτή εξήγαγε συμπεράσματα με αποδεκτά όρια σφαλμάτων για τη διαχρονική αλλαγή χρήσεων γης με χρήση εικόνων LANDSAT, οι οποίες είναι ελεύθερες (freeware) στο διαδίκτυο.

## 6.3. Προτάσεις

Παρακάτω αναφέρονται κάποιες προτάσεις που θα βοηθήσουν στην βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας δημιουργίας και οπτικοποίησης χωρο-χρονικών δεδομένων:

- Προτείνεται η διερεύνηση για το εάν η αντικειμενοστραφής ανάλυση μπορεί να δώσει πλεονεκτήματα στον χρήστη σε σχέση με τις μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Σημαντικό ρόλο μπορεί να διαδραματίσει στη διαδικασία η κατάτμηση της εικόνας.
- Εφαρμογή προηγμένων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (machine learning), που είναι ικανοί να βελτιώνουν την απόδοσή τους, αξιοποιώντας προγενέστερη



γνώση και εμπειρία, με σκοπό την εξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων, μέσω της επεξεργασίας δεδομένων.

- Είναι σημαντική η διερεύνηση της εφαρμογής φίλτρων στο αποτέλεσμα των ταξινομήσεων (post processing) για τη βελτίωσή τους.
- Μελέτη και άλλων μεθόδων οπτικοποίησης και παρουσίασης χωρο-χρονικών δεδομένων.

#### 6.4. Επίλογος

. Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκαν, αναπτύχθηκαν και αξιολογήθηκαν μέθοδοι και τεχνικές δημιουργίας και οπτικοποίησης χωρο-χρονικών δεδομένων από δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης.

Μέσα από ένα κατάλληλο πλαίσιο επεξεργασιών μπορεί να πραγματοποιηθεί δημιουργία και οπτικοποίηση χωρο-χρονικών δεδομένων, και να απαιτηθεί μικρή παρέμβαση του χρήστη για τον καθορισμό του αποτελέσματος και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Βέβαια, στο τέλος, όσα ερωτήματα και αν απαντώνται μέσα από τη διαδικασία της επεξεργασίας των εικόνων, άλλα τόσα γεννιούνται καθοδηγώντας το χρήστη στον επιθυμητό στόχο: τη διερεύνηση και τη μάθηση.



## 7. Βιβλιογραφία και Διαδικτυακοί Τόποι

### Διεθνής Βιβλιογραφία

- Abraham, T., & Roddick, J. (1996). *Survey of Spatio-Temporal Databases*. University of South Australia: School of Computer and Information Science.
- Aigner, W., Miksch, S., Miller, W., Schumann, H., & Tominski, C. (2007). Visualizing timeoriented data systematic view. *Computers and Graphics, vol. 31, no. 3* , 401-409.
- Aigner, W., Miksch, S., Muller, W., Schumann, H., & Tominski, C. (2008). Visual methods for analyzing time-oriented data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 14, no. 1* , 47-60.
- Andrienko, G., Andrienko, N., & Wrobel, S. (2007). Visual analytics tools for analysis of movement data. *ACM SIGKDD Explorations* .
- Andrienko, G., Andrienko, N., Mladenov, M., Mock, M., & Politz, C. (2012). Identifying place histories from activity traces with an eye to parameter impact. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 18, no. 5* , 675-688.
- Andrienko, G., Andrienko, N., Mladenov, M., Mock, M., & Politz, C. (2012). Identifying place histories from activity traces with an eye to parameter impact. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 18, no. 5* , 675-688.
- Andrienko, N., & Andrienko, G. (2006). Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data – A Systematic Approach. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* .
- Andrienko, N., Andrienko, G., & Gatalisky, P. (2003). Exploratory spatio-temporal visualization: an analytical review. *Journal of Visual Languages & Computing* , 503-541.
- Anselin, L., Syabri, I., & Kho, Y. (2006). Geoda: an introduction to spatial data analysis. *Geographical analysis, vol. 38, no. 1* , 5-22.
- Bagrow, L. (1964). *History of cartography*. Transaction Publishers.
- Blackburn, S. (1996). *The Oxford Dictionary of Philosophy*. Oxford University Press.
- Blok, C. A. (2000). *Monitoring Change: Characteristics of Dynamic Geo-spatial Phenomena for Visual Exploration, volume 1849 of Lecture Notes in Computer Science* . Berlin: Heidelberg.
- Brunsdon, C. (53-68). The comap: exploring spatial pattern via conditional distributions. *Computers, environment and urban systems, vol. 25, no. 1* , 2001.

- Claramunt, C., & Thériault, M. (1996). Towards Semantics for Modeling Spatio-Temporal Processes within GIS. *Advances in GIS Research II, Seventh International Symposium on Spatial Data Handling (SDH'96)* , 2.27-2.43.
- Dorling, D., & Openshaw, S. (1992). Using computer animation to visualize space-time patterns. *Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 19, no.6* , 639-650.
- Edsall, R., Kraak, M., MacEachren, A., & Peuquet, D. (1997). Assessing the effectiveness of temporal legends in environmental visualization. *GIS/LIS*. 677-685.
- Fisher, D., Hoff, A., Robertson, G., & Hurst, M. (2008). Narratives: A visualization to track narrative events as they develop. *Proceedings of IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology* , 115-122.
- Gatalisky, P., Andrienko, N., & Andrienko, G. (2004). Interactive analysis of event data using space-time cube. *Proceedings. Eighth International Conference on Information Visualisation* , 145-152.
- Goncalves, T., Afonso, A., & Martins, B. (2014). Visualization Techniques of Trajectory Data: Challenges and Limitations. *ceur-ws.org* , 1-10.
- Gregory, N., & Ell, S. (2007). Historical GIS: Technologies, Methodologies and Scholarship. *Cambridge Studies in Historical Geography* .
- Hagerstrand, T. (1970). What about people in Regional Science. *Papers of the Regional Science Association, vol. 24, no.1* , 6-21.
- Keim, D., Andrienko, G., Fekete, J., Gorg, C., Kohlhammer, J., & Melancon, G. (2008). Visual analytics: Definition, process, and challenges. *In Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), volume 4950 LNCS* , 154-175.
- Kraak, M. (2003). The space-time cube revisited from a geovisualization perspective. *Proc. 21st International Cartographic Conference* , 10-16.
- Kraak, M., & MacEachren, A. (1994). Visualization of spatial data's temporal component. *In Spatial Data Handling, Advances in GIS Research* , 5-9.
- Kraak, M., Edsall, R., & MacEachren, A. (1997). Cartographic animation and legends for temporal maps: Exploration and or interaction. *Proceedings of the 18th International Cartographic Conference* , 253-261.
- Kristensson, P., Dahlback, N., Anundi, D., Bjornst, M., Gillberg, H., Haraldsson, J., και συν. (2009). An evaluation of space time cuberepresentation of spatiotemporal patterns. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on vol.15, no4* , 696-702.

- Krstajic, M., Bertini, E., & Keim, D. (2011). Cloudlines: Compact display of event episodes in multiple time-series. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 17, no. 12, 2432-2439.
- Kveladze, S., Vanderspek, C., & Kraak, M. (2009). The Recognition of Temporal Patterns in Pedestrian Behaviour Using Visual Exploration Tools.
- Langran, G. (1992). *Time in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis.
- Lins, L., Klosowski, J., & Scheideg, C. (2013). Nanocubes for real-time exploration of spatiotemporal datasets. *IEEE transactions on visualization and computer graphics* vol.19, no 12, 2456-2465.
- Luo, D., Yang, J., Krstajic, M., Ribarsky, W., & Keim, D. (2012). Eventriver: Visually exploring text collections with temporal references. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, vol. 18, no. 1, 93-105.
- Mayer, H. (2008). "Object extraction in photogrammetric computer vision. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* .
- Monmonier, M. (1990). Strategies for the visualization of geographic time-series data. *The International Journal for Geographic Information* vol.27, no.1 .
- Monmonier, M., & Gluck, M. (1994). Focus Groups for Design Improvement in Dynamic Cartography.
- Padwick, C., Deskevich, M., Pacifici, F., & Small, S. (2010). WorldView 2 Pan-Sharpener. *ASPRS Annual Conference*. San Diego.
- Pelekis, N., Theodoulidis, B., Kopanakis, I., & Theodoridis, Y. (2004). Literature review of spatiotemporal database models. *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 19, Issue 03, 235 – 274.
- Peuquet, D. J. (1994). It's About Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems.
- Pohl, C., & Van Genderen, J. (1998). Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, vol.19, no. 5, 823-854.
- Powsner, S., & Tufte, E. R. (1994). Graphical summary of patient status. *The Lancet*, vol. 344, no. 8919, 386-389.
- Revesz, P. (2010). *Introduction to Databases: From Biological to Spatio-Temporal*. London: Springer.

- Sack, J., Speckmann B., B., Van Loon, E., & Weibel, R. (2011). Representation, Analysis and Visualization of Moving Objects. *Dagstuhl Seminar Proceedings*. Schloss Dagstuhl: Leibniz Center for Informatics.
- Shrestha, A. (2014). *Visualizing Spatio-Temporal data*. Dissertation, Georgia State University.
- Treisman, A. (1985). Preattentive processing in vision. *Computer vision, graphics, and image processing, vol.31, no.2* , 156-177.
- Tufte, E. (1991). Envisioning information. *Optometry & Vision Science, vol. 68, no. 4* , 322-324.
- Tufte, E. R. (1986). The visual display of quantitative information. *Cheshire, CT, USA : Graphics Press* .
- Wachowicz, M. (1999). *Object-Oriented Design for Temporal GIS*. London: Taylor & Francis.
- Yuan, M. (1994). Wildfire Conceptual Modeling for Building GIS Space-Time models. *Proceedings of GIS/LIS'94* , .860-869.
- Zhao, J., Chevalier, F., & Balakrishna, R. (2011). Kronominer: using multi-foci navigation for the visual exploration of time-series data. *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems, ser. CHI '11. New York, NY, USA:ACM* , 1737-1746.

## Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αργιαλάς, Δ. (1998), *Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση*, Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Αργιαλάς, Δ. (2000), *Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση*, Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Αστάρας, Θ. (2010), *Τηλεπισκόπηση - Φωτοερμηνεία στις γεωεπιστήμες*, Εκδόσεις Γκιούρδας, Αθήνα
- Βαϊόπουλος, Α. (2013), *Διερεύνηση και αξιολόγηση μεθόδων συγχώνευσης πολυφασματικών και παγχρωματικών δορυφορικών δεδομένων*, Μεταπτυχιακή Εργασία στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα Γεωπληροφορική της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Γκιούρου, Α. (2007), *Εφαρμογή τηλεπισκόπησης στην καταγραφή της κατανάλωσης του αρδευτικού νερού στον Κάμπο του Ν.Χανίων*, Αθήνα
- Ιερωνυμίδα, Ε. (2009), *Ανάπτυξη μεθόδων συγχώνευσης τηλεπισκοπικών δεδομένων και εφαρμογή στην παρατήρηση βλάστησης σε περιοχές με προηγούμενη*

*μεταλλευτική δραστηριότητα, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Κρήτη*

Πανόπουλος, Γ. (2013), *Μοντέλα Χώρου - Χρόνου για την Περιγραφή Γεωγραφικών Φαινομένων σε Χωρικές Πληροφοριακές Υποδομές*, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα

### **Διαδικτυακοί Τόποι**

<http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2013/07/24/band-combinations-for-landsat-8>, 2016

<http://earthexplorer.usgs.gov/>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Anscombe%27s quartet](http://en.wikipedia.org/wiki/Anscombe%27s_quartet) - Wikipedia, (2016)

<http://glcf.umd.edu/data/landsat/>

[http://landsat.usgs.gov/about\\_project\\_descriptions.php](http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php), 2016

[http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)

<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/API> - Open street map api

<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research>, 2016

<http://www.geosage.com/highview/imagefusion.html>

<http://www.microsoft.com/maps/> - Microsoft. (2016) Bing maps api.

<https://developers.google.com/chart/interactive/docs/gallery>- Google (2016)

<https://developers.google.com/maps/> - Google maps (2016)

<https://www.python.org>





## Παράρτημα Ι

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1-1: Απεικόνιση ενός σετ δεδομένων με διαφορετικό τρόπο οπτικοποίησης	15
Εικόνα 2-1: Γραφική απεικόνιση μεταξύ των φασματικών καναλιών των αισθητήρων OLI & TIRS Landsat 8 και Landsat 7	25
Εικόνα 2-2: Έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 στην περιοχή της λίμνης Μαραθώνα	27
Εικόνα 2-3: Έγχρωμο σύνθετο 5-4-3 στην περιοχή της λίμνης Μαραθώνα	27
Εικόνα 2-4: Έγχρωμο σύνθετο 7-6-4 στην περιοχή της λίμνης Μαραθώνα	27
Εικόνα 2-5: Διαγράμματα διασποράς των τεσσάρων σετ δεδομένων του Anscombe	29
Εικόνα 2-6: Απλό παράδειγμα διαφορετικής απόχρωσης	30
Εικόνα 2-7: Η εκστρατεία του Ναπολέοντα στη Ρωσία από τον Minard	31
Εικόνα 2-8: Παραδείγματα 2D οπτικοποίησης	32
Εικόνα 2-9: Ορειβατική διαδρομή επί υποβάθρου Google Earth	33
Εικόνα 2-10: Τυπολογία Χωροχρονικών διαδικασιών (Μεταβολών)	36
Εικόνα 2-11: Ερωτήματα που προκύπτουν κατά την ανίχνευση αλλαγών σε χωροχρονικά δεδομένα	38
Εικόνα 2-12: Τροχιές οι οποίες αντιστοιχούνται σε m-points ή m-regions	40
Εικόνα 2-13: Χρονικές προεπιλογές (primitives)	41
Εικόνα 2-14: Δομή περιγραφής του χρόνου	41
Εικόνα 2-15: Σχήμα κατηγοριοποίησης των μεθόδων οπτικοποίησης για ανάλυση χρονικών δεδομένων	42
Εικόνα 2-16: Event River για τον πόλεμο στο Λίβανο	43
Εικόνα 2-17: CloudLines για την εμφάνιση ονομάτων πολιτικών στον τύπο	43
Εικόνα 2-18: Πληροφορίες για τέσσερις χρηματαγορές με τη χρήση του KronoMiner	44
Εικόνα 2-19: Στατικός χάρτης δασικών πυρκαγιών με θεματικά σύμβολα ταξινομημένα σε χρονική κλίμακα απόδοσης	47
Εικόνα 2-20: Απλός Χάρτης πυκνότητας πλοίων	48
Εικόνα 2-21: Μελέτη κλινικής κατάστασης ασθενούς	49
Εικόνα 2-22: Βροχόπτωση στη Σκωτία	50
Εικόνα 2-23: Σύγκριση μεταξύ πολλαπλών στατικών χαρτών(A) και κινούμενων απεικονίσεων (B)	51
Εικόνα 2-24: Υπόμνημα χρόνου μορφής συρόμενης μπάρας με δυνατότητα δράσης, παύσης και μετακίνησης στο χρόνο	53
Εικόνα 2-25: Σύγκριση δεδομένων τροχιάς σε έναν απλό στατικό χάρτη (A) και στον χωρο-χρονικό κύβο (B)	54
Εικόνα 2-26: Χωρο-χρονικό κύβος και ερωτήματα	54
Εικόνα 2-27: Τροχιές και θέσεις προσγείωσης από δεδομένα πτήσεων	56
Εικόνα 2-28: Πινακίδες για απεικόνιση χρόνου στο χάρτη	57
Εικόνα 2-29: Χάρτες Growth Ring	57
Εικόνα 2-30: Map-timelines	58
Εικόνα 2-31: Τα χρονικά χαρακτηριστικά ως κριτήριο σε Ερώτημα	59
Εικόνα 3-1: Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα	61

Εικόνα 3-2: Τυπικές Καμπύλες φασματικής ανακλαστικότητας για βλάστηση, νερό και έδαφος.....	63
Εικόνα 3-3: Πολυφασματική εικόνα που αποτελείται από πέντε κανάλια .....	67
Εικόνα 3-4: Αποτέλεσμα του Pansharpening .....	68
Εικόνα 3-5: Επίπεδα συγχώνευσης εικόνων .....	69
Εικόνα 3-6: Είδη Ραδιομετρικών διορθώσεων .....	71
Εικόνα 3-7: Εφαρμογή συστολής και διαστολής.....	75
Εικόνα 3-8: Γενική Διαδικασία Ταξινόμησης.....	77
Εικόνα 4-1: Χάρτης απεικόνισης Ν. Αττικής .....	80
Εικόνα 4-2: Ιστόχρωροι λήψης δορυφορικών εικόνων .....	81
Εικόνα 4-3: Έγχρωμα Σύνθετα Λήψεων με τη χρήση δορυφόρου Landsat .....	82
Εικόνα 4-4: Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας πολυφασματικής (Κανάλι 4, 30m) και παγχρωματικής (15 m) δορυφορικής εικόνας Landsat .....	83
Εικόνα 4-5: Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας συγχωνευμένης (15 m) και πολυφασματικής (30m) δορυφορικής εικόνας Landsat 7 ETM του 1999.....	84
Εικόνα 4-6: Φασματικές υπογραφές των πεδίων εκπαίδευσης .....	88
Εικόνα 4-7: Καθορισμός χρωμάτων στις τάξεις.....	88
Εικόνα 4-8: Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 1987 .....	89
Εικόνα 4-9 : Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 1991 .....	89
Εικόνα 4-10: Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 1999 .....	90
Εικόνα 4-11: Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 2003 .....	90
Εικόνα 4-12: Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 2009 .....	91
Εικόνα 4-13: Απεικόνιση της εικόνας ταξινόμησης έτους 2015 .....	91
Εικόνα 4-14: Διαμόρφωση κανονικοποιημένων δεδομένων .....	95
Εικόνα 4-15: Ορισμός χρόνου απεικόνισης κάθε frame και μορφής παρουσίασης της τρέχουσας χρονικής στιγμής.....	95

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

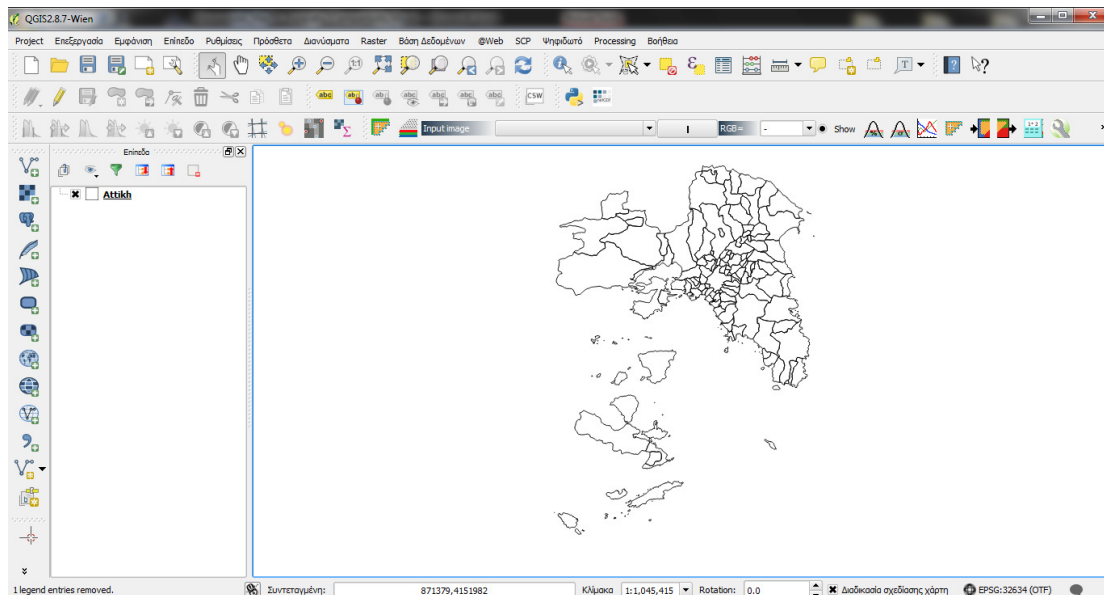
Διάγραμμα 5-1: Συγκριτικά διαγράμματα διαχρονικών αλλαγών χρήσεων γης.....	100
--	-----

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 2-1: Ζώνες μηκών κύματος στον MSS .....	20
Πίνακας 2-2: Ζώνες μηκών κύματος στον TM Landsat-4 και -5.....	21
Πίνακας 2-3: Ζώνες μηκών κύματος και χωρικής ανάλυσης στον ETM+ .....	23
Πίνακας 2-4: Συγκριτικός Πίνακας μεταξύ των δορυφόρων Landsat 4,5,7 .....	23
Πίνακας 2-5: Ζώνες μηκών κύματος και χωρικής ανάλυσης στον Lansat 8.....	25
Πίνακας 2-6: Χαρακτηριστικά Δεδομένων Landsat 8.....	26
Πίνακας 2-7 : Η τετράδα του Anscombe.....	28
Πίνακας 3-1: Αξιολόγηση τεσσάρων αλγορίθμων Pansharpening σε δορυφορική εικόνα WV-2 .....	70
Πίνακας 4-1: Περιγραφή δεδομένων Landsat .....	81
Πίνακας 4-2: Περιγραφή τεσσάρων κλάσεων ταξινόμησης .....	85
Πίνακας 4-3: Πίνακας Χωρο-χρονικών δεδομένων.....	95
Πίνακας 5-1: Πίνακας Σύγχυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 1987 .....	97
Πίνακας 5-2: Πίνακας Σύγχυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 1991 .....	97
Πίνακας 5-3: Πίνακας Σύγχυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 1999 .....	97
Πίνακας 5-4: Πίνακας Σύγχυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 2003 .....	98
Πίνακας 5-5: Πίνακας Σύγχυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 2009 .....	98
Πίνακας 5-6: Πίνακας Σύγχυσης εικόνας ταξινόμησης έτους 2015.....	98
Πίνακας 5-7: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 1987 .....	99
Πίνακας 5-8: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 1991 .....	99
Πίνακας 5-9: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 1999 .....	99
Πίνακας 5-10: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 2003 .....	99
Πίνακας 5-11: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 2009 .....	100
Πίνακας 5-12: Στατιστικά Δεδομένα εικόνας ταξινόμησης έτους 2015.....	100

## Δημιουργία shapefile Ν.Αττικής

Με ένα ερώτημα επιλογής (Selection Query), ζητήθηκαν οι Δήμοι του Ν. Αττικής και δημιουργήθηκε ένα νέο shapefile που περιλαμβάνει μόνο αυτούς.



Δημιουργία shapefile Ν.Αττικής

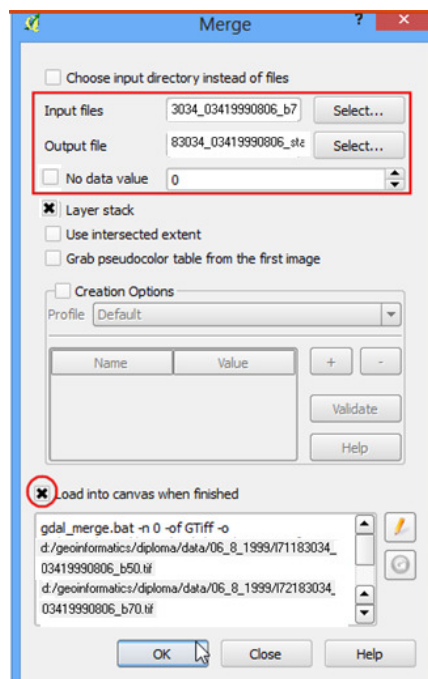
OBJECTID_1	OBJECTID	CODE_OTA	Shape_Leng	NAME_OTA	CODE_NOM	NAME_NOM	Shape_Le_1	Shape_Area	
0	1	914	A1010000	37643.35203530...	ΔΗΜΟΣ ΑΘΗΝΑΙΩΝ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	37669.77096440...	39034849.36479...
1	2	915	A1020000	7249.628440000...	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	7254.376335490...	2174469.151000...
2	3	916	A1030000	13626.17746360...	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	13636.42241260...	8391312.149520...
3	4	917	A1040000	12700.48129970...	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	12709.32443520...	4990117.218270...
4	5	918	A1050000	11239.69441160...	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΩΝ ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	11247.47532000...	3267888.551779...
5	6	919	A1060000	10668.61737170...	ΔΗΜΟΣ ΑΙΓΑΛΕΩ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	10675.73163920...	6429782.393260...
6	7	920	A1070000	15471.74112380...	ΔΗΜΟΣ ΑΛΙΜΟΥ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	15482.47271300...	5991798.889689...
7	8	921	A1080000	18049.99895480...	ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	18063.31350590...	13461534.33770...
8	9	922	A1090000	17134.93848210...	ΔΗΜΟΣ ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗΣ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	17147.25461100...	7998212.825589...
9	10	923	A1100000	9197.94736275000	ΔΗΜΟΣ ΒΡΙΑΝΣΙΩΝ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	9204.908937580...	3548929.142179...
10	11	924	A1110000	15109.63836160...	ΔΗΜΟΣ ΒΥΡΩΝΟΣ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	15120.58494800...	9659884.578810...
11	12	925	A1120000	9785.993918360...	ΔΗΜΟΣ ΓΑΛΑΤΣΙΟΥ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	9792.959388140...	4182719.410769...
12	13	926	A1130000	26460.03766960...	ΔΗΜΟΣ ΓΛΥΦΑΔΑΣ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	26479.09168770...	25625035.64710...
13	14	927	A1140000	7036.481268210...	ΔΗΜΟΣ ΔΑΦΝΗΣ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	7041.411561630...	1360032.716100...
14	15	928	A1150000	15809.46808030...	ΔΗΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	15820.55381920...	7675779.360089...
15	16	929	A1160000	14410.86099910...	ΔΗΜΟΣ ΣΣΓΡΑΦΟΥ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	14421.40277340...	8615045.648259...
16	17	930	A1170000	16723.11583040...	ΔΗΜΟΣ ΗΛΙΟΥΠΟΛΗΣ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	16735.18374120...	12888367.32190...
17	18	931	A1180000	9762.611324730...	ΔΗΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	9769.622736140...	4691006.179360...
18	19	932	A1190000	19461.60869690...	ΔΗΜΟΣ ΙΛΙΟΥ (ΝΕΩΝ ΛΙΩΣΙ...	A1	NOMARXIA AGHNΩN	19474.83375610...	8109888.109609...
19	20	933	A1200000	16218.66599090...	ΔΗΜΟΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	16230.51728850...	7793234.593460...
20	21	934	A1210000	11119.14618790...	ΔΗΜΟΣ ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	11126.70068530...	4712296.482400...
21	22	935	A1220000	12429.51588750...	ΔΗΜΟΣ ΚΑΜΑΤΕΡΟΥ	A1	NOMARXIA AGHNΩN	12438.00036910...	6274665.381400...

Τμήμα Πίνακα Περιγραφικών Χαρακτηριστικών shapefile Αττικής

## Δημιουργία Πολυφασματικής Εικόνας

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να συνδυαστούν τα επιμέρους φασματικά κανάλια των δορυφορικών εικόνων Landat σε μια εικόνα είναι η κάτωθι :

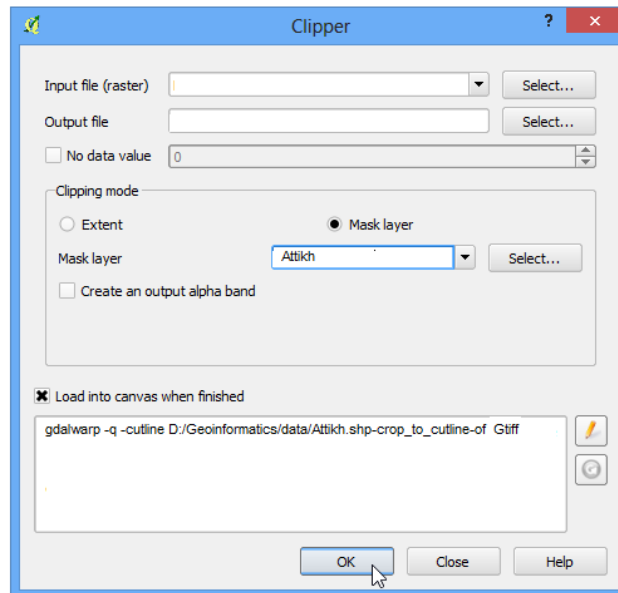
Τρέχοντας την εντολή Merge στο *QGIS*, επιλέγεται το Layer Stack χρησιμοποιώντας για δεδομένα εισόδου με τη σειρά τα φασματικά κανάλια, επιθέτοντας το ένα πάνω στο άλλο και λαμβάνεται ως αποτέλεσμα (δεδομένο εξόδου) η πολυφασματική εικόνα ως τύπος αρχείου (.tif).



Δημιουργία πολυφασματικής εικόνας

## Περικοπή εικόνων

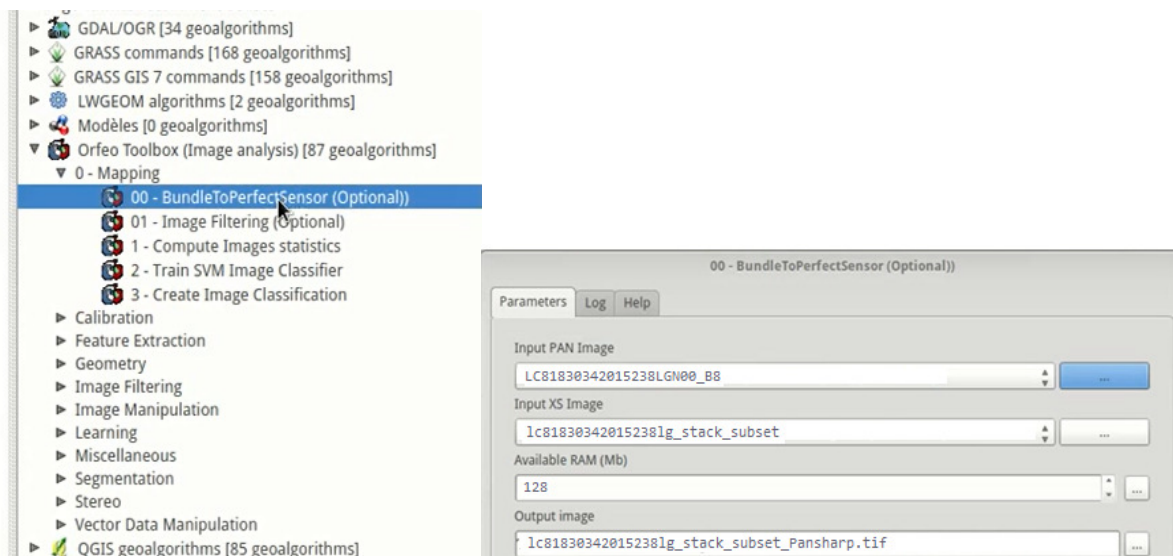
Τρέχοντας την εντολή Extraction Clipper στο *QGIS*, χρησιμοποιώντας για δεδομένα εισόδου τις πολυφασματικές εικόνες, και ως βάση περικοπής shapefile του Ν.Αττικής, λαμβάνεται ως αποτέλεσμα (δεδομένο εξόδου) μια νέα πολυφασματική εικόνα της περιοχής μελέτης, ως τύπος αρχείου (.tif).



Περικοπή πολυφασματικής εικόνας

## Συγχώνευση εικόνων (Pansharpening)

Αφού εγκαταστάθηκε το orfeotoolbox, εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο BundleToPerfectSensor που πραγματοποιεί τη διαδικασία του pansharpening, χρησιμοποιήθηκε η πολυφασματική εικόνα που δημιουργήθηκε καθώς και το αντίστοιχο παγχρωματικό κανάλι.



Συγχώνευση εικόνων

Ως αποτέλεσμα (δεδομένο εξόδου) προέκυψε μια πολυφασματική εικόνα (Geotif) υψηλότερης διακριτικής ικανότητας (15 μέτρα) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εργασίες επεξεργασίας εικόνας.

## Ταξινόμηση

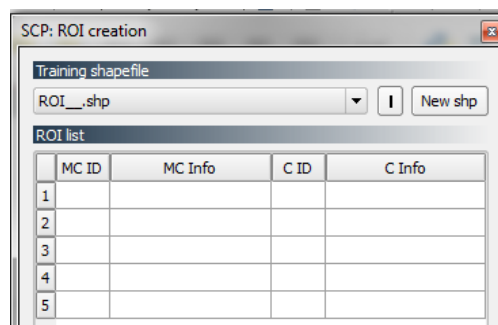
Για την εκτέλεση τη ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε η επέκταση Semi-Automatic Classification Plug-in (SCP) του QGIS.

### ➤ Καθορισμός των δεδομένων εισόδου (inputs)

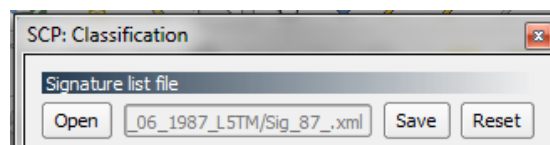
Στο γράφημα εργαλείων του SCP, επιλέγεται ως δεδομένο εισόδου (input image) η εκάστοτε πολυφασματική εικόνα (στο παράδειγμα αυτή του 1987).

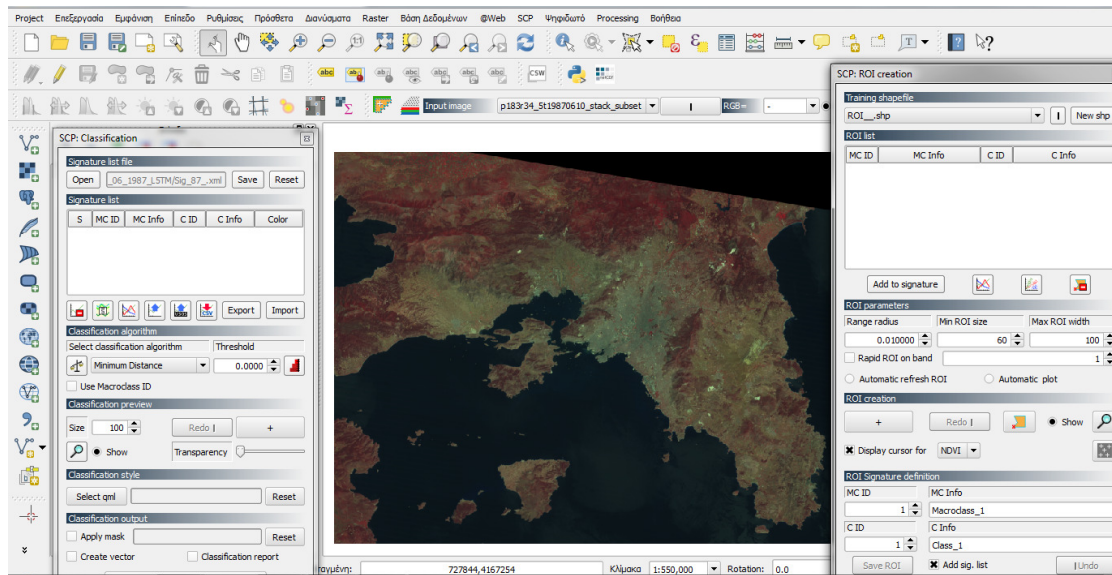


Για να δημιουργηθούν τα πεδία εκπαίδευσης και ελέγχου, στο παράθυρο ROI creation επιλέγεται η δημιουργία ενός νέου shapefile (New shp, το όνομά του και η περιοχή που θα αποθηκευτεί).



Τέλος, στο παράθυρο Classification, δημιουργείται ένα αρχείο μορφής .xml, για την αποθήκευση των φασματικών υπογραφών με όλες τις περιοχές εκπαίδευσης και ελέγχου που επιλέχτηκαν.





Καθορισμός δεδομένων εισόδου

### ➤ Συλλογή Πεδίων Εκπαίδευσης, Ελέγχου και Δημιουργία Φασματικών Υπογραφών

Τα πεδία εκπαίδευσης και ελέγχου (περιοχές ενδιαφέροντος /ROI) είναι πολύγωνα που σχεδιάζονται επάνω σε ομοιογενείς περιοχές της εικόνας και αναπαριστούν κλάσεις κάλυψης γης. Υπάρχει δυνατότητα να επιλεγούν είτε χειροκίνητα είτε με τη διαδικασία region growing. Μέσω του Plug-in υπολογίζονται οι φασματικές υπογραφές (οι οποίες χρησιμοποιούνται από τους αλγόριθμους ταξινόμησης), λαμβάνοντας υπ όψη τις τιμές των pixels κάθε πολυγώνου.

Η επέκταση SCP επιτρέπει τον καθορισμό κυρίων κατηγοριών (Macroclasses) με το αντίστοιχο ID (MC ID), καθώς και επιμέρους υποκατηγοριών (κλάσεων) με το δικό τους ID (C ID), που είναι οι κωδικοί ταυτοποίησης των κλάσεων κάλυψης γης.

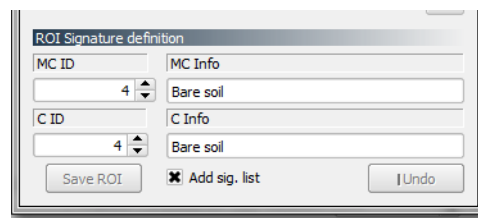
Στις κύριες κατηγορίες (Macroclasses) επιτρέπεται η ταξινόμηση υλικών που έχουν διαφορετικές φασματικές υπογραφές (υπολογίζονται ξεχωριστά), αλλά ανήκουν στην ίδια κύρια κατηγορία. Για παράδειγμα μπορεί να ταξινομηθεί η κλάση γρασίδι (C ID = 1) και η κλάση δέντρα (C ID = 2) στην κύρια κατηγορία βλάστηση (MC ID=1). Κάθε ROI (ή φασματική υπογραφή) έχουν μοναδικό C ID, ενώ κάθε MC ID μπορεί να περιλαμβάνει πολλά ROIs.



Για να δημιουργηθεί μια περιοχή εκπαίδευσης ή ελέγχου, στο πεδίο ROI creation επιλέγεται το + Create a ROI και με κατάλληλο zoom επάνω στην εικόνα σχεδιάζεται το αντίστοιχο πολύγωνο.



Στο ROI Signature definition δίνεται μια σύντομη περιγραφή για το τι περιλαμβάνει το πολύγωνο που σχεδιάστηκε, ενώ καθορίζονται Macroclass ID and Class ID.



Για να αποθηκευτεί το ROI στο shapfile των περιοχών εκπαίδευσης ή ελέγχου επιλέγεται το Save ROI to shapfile. Εάν το Add sig.list είναι επιλεγμένο, τότε υπολογίζεται η φασματική υπογραφή (ΜΟ των τιμών των pixels σε όλα τα κανάλια) και προστίθεται στον πίνακα της Signature list.

Επιλέχθηκαν συνολικά τέσσερα πεδία εκπαίδευσης (Macroclasses):

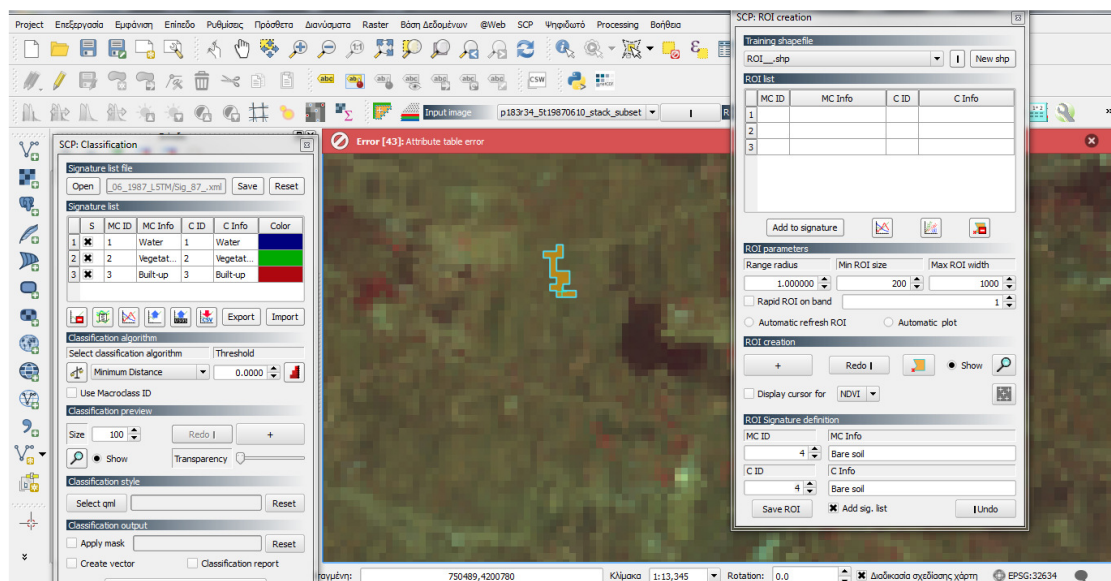
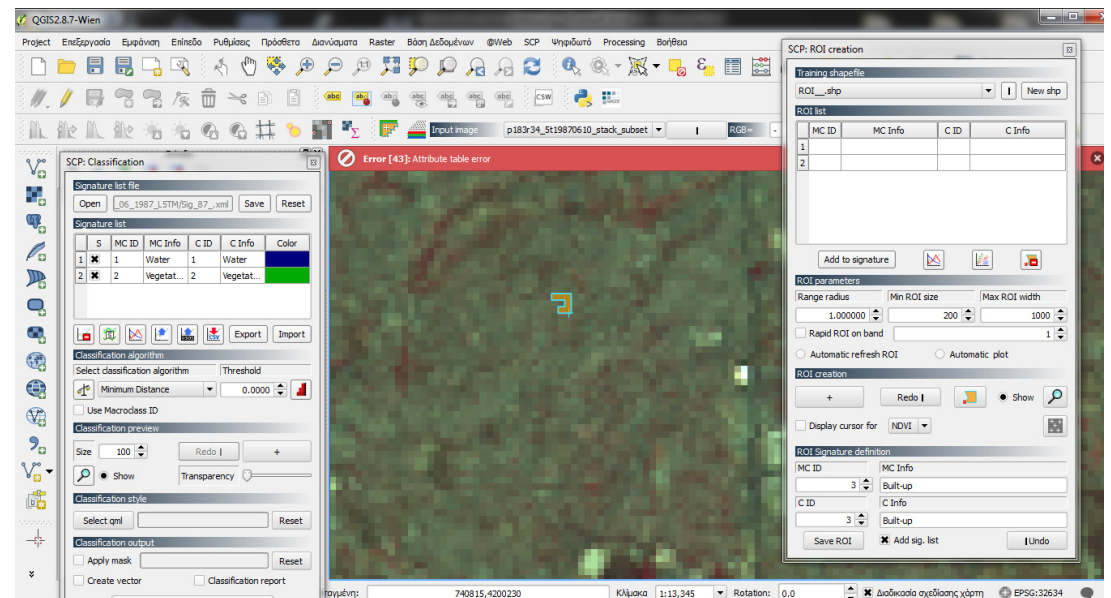
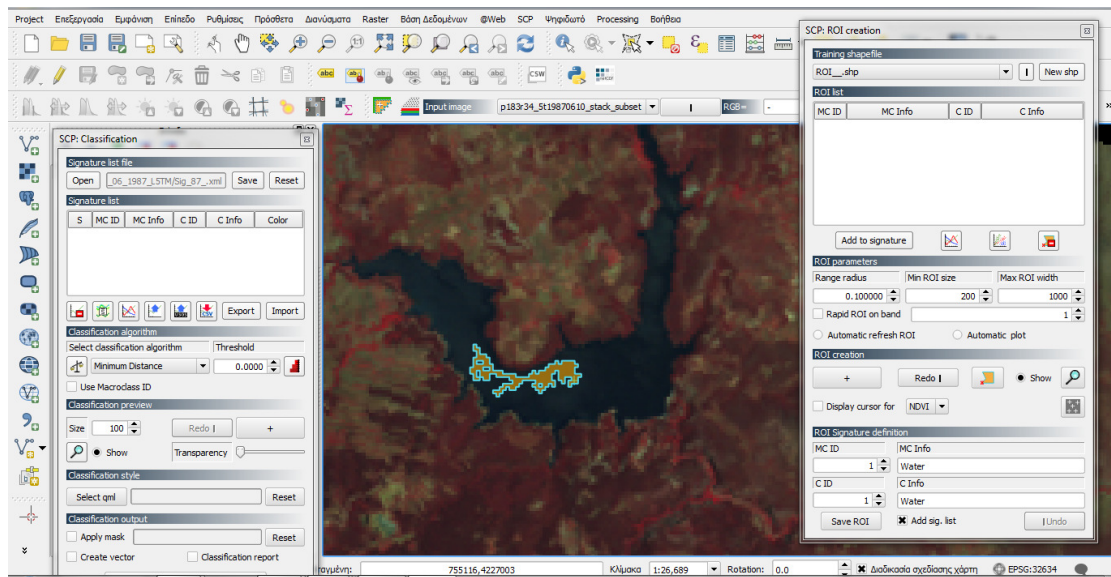
Water : MC ID = 1 (Υδάτινες Επιφάνειες)

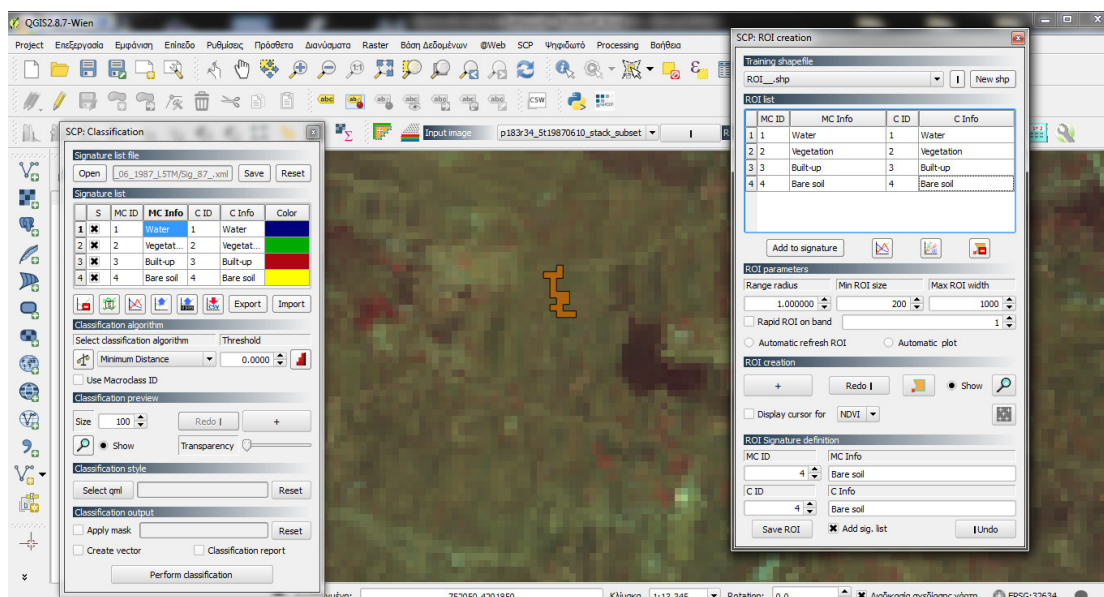
Vegetation : MC ID = 2 (Βλάστηση)

Built-up : MC ID = 3 (Ανθρωπογενείς κατασκευές)

Bare soil : MC ID = 4 (Έδαφος)

Ακολουθούν παραδείγματα δημιουργίας πεδίων εκπαίδευσης για κάθε μια κατηγορία κάλυψης γης.





Πεδία εκπαίδευσης για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση

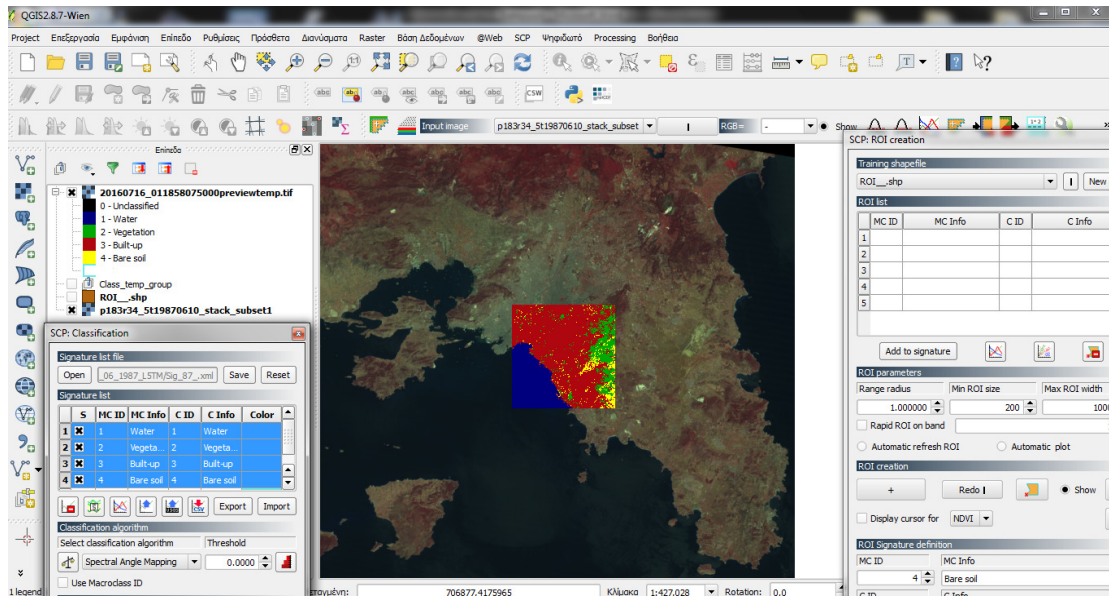
Μόλις ήταν έτοιμο το αρχείο με όλες τις περιοχές εκπαίδευσης που επιλέχθηκαν, δημιουργήθηκε το αρχείο των φασματικών υπογραφών, το οποίο αποθηκεύτηκε για να χρησιμοποιηθεί στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

### ➤ Εκτέλεση ταξινόμησης

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε η επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Το Plug-in SCP παρέχει τη δυνατότητα της προεπισκόπησης της Ταξινόμησης, σε ένα μέρος της εικόνας.

Στο μενού Classification, στο Classification preview ορίζεται Size = 500 (πλευρά της προεπισκόπησης ταξινόμησης σε μονάδες pixel), και σαν αλγόριθμος επιλέγεται αυτός της μεγίστης πιθανοφάνειας (άλλες επιλογές είναι η Spectral Angle Mapping και η ελάχιστη απόσταση). Επιλέγεται το κουμπί + , έπειτα ένα σημείο στην εικόνα και λαμβάνεται το αποτέλεσμα της προεπισκόπησης της ταξινόμησης.

Αν τα αποτελέσματα της προεπισκόπησης είναι ικανοποιητικά και οι κατηγορίες διαχωρίζονται επιτυχώς, τότε πραγματοποιείται η ταξινόμηση ολόκληρης της εικόνας. Ειδάλλως, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής νέων περιοχών εκπαίδευσης και η δημιουργία νέων φασματικών υπογραφών.



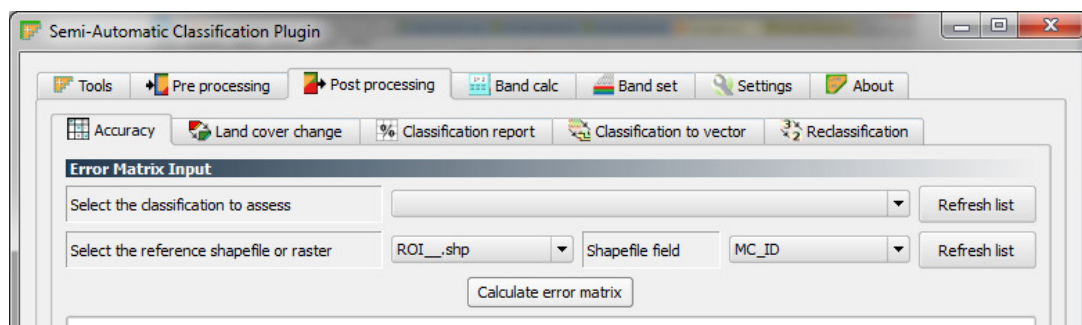
### Προεπισκόπηση Ταξινόμησης

Για να πραγματοποιηθεί η τελική ταξινόμηση, επιλέγεται το Perform classification και ορίζεται που θα αποθηκευτεί το παράγωγο προϊόν (classification.tif).

### Υπολογισμός της ακρίβειας ταξινόμησης

Ο υπολογισμός της ακρίβειας της ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε συγκρίνοντας το raster αποτέλεσμα της ταξινόμησης, με το αρχείο αναφοράς των περιοχών ελέγχου (reference shapefile).

Από το μενού Post processing > Accuracy του SCP



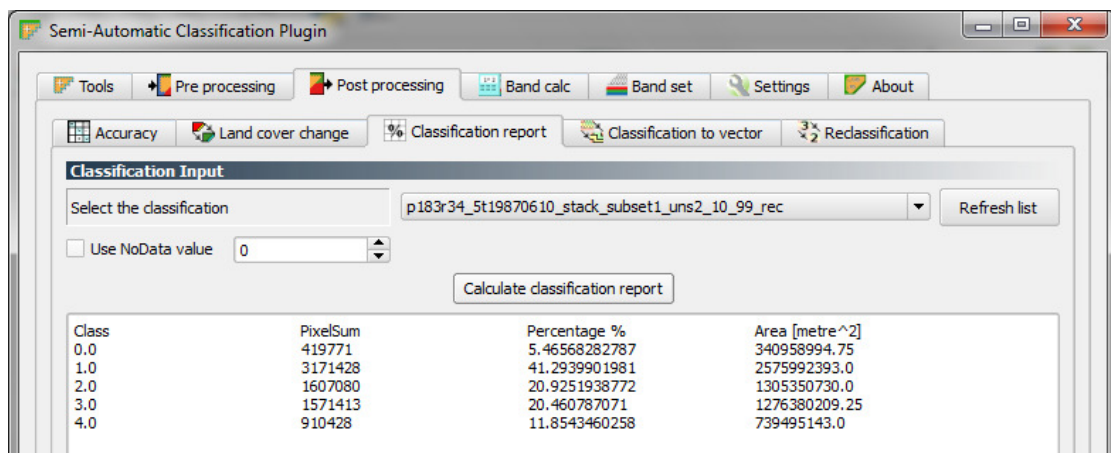
επιλέγεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στο πεδίο *Select the classification to assess* και το ROI shapefile των περιοχών ελέγχου στο *Select the reference shapefile*.

Με το *Calculate error matrix*, υπολογίζονται οι πίνακες σύγχυσης, οι οποίοι και απεικονίζονται. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης του κάθε πίνακα σε αρχείο .csv , για περαιτέρω επεξεργασία.

### Υπολογισμός των εμβαδών των κλάσεων

Από το menu *Post processing*, επιλέγεται το *Classification report*.

Στο *Select the classification* ορίζεται εται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης και με το *Calculate classification report* λαμβάνεται η αναφορά της ταξινόμησης. Το Plug-in SCP παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού των συνολικών pixel /κλάση, καθώς και του εμβαδού σε m<sup>2</sup> και σε ποσοστό (%) κάθε κλάσης.



Στατιστικά Δεδομένα Ταξινόμησης