

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ
ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»

ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΥ Α. ΗΡΩ



Επιβλέποντες: Καλύβας Διονύσιος & Πετρόπουλος Γεώργιος

ΑΘΗΝΑ

2013

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ
ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»

Επιβλέποντες: Καλύβας Διονύσιος & Πετρόπουλος Γεώργιος

Εξεταστική Επιτροπή: Καλύβας Διονύσιος, Κοσμάς Κωνσταντίνος και
Πετρόπουλος Γεώργιος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	7
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σημασία χαρτογράφησης της αστικής βλάστησης.	9
1.2 Στόχοι παρούσας μελέτης.	13
1.3 Δομή της εργασίας.	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ

2.1. Εισαγωγή.	15
2.2. Βασικές έννοιες Τηλεπισκόπησης.	15
2.3. Δορυφόροι και συστήματα Αισθητήρων.	19
2.3.1. Πολυφασματικά Δεδομένα και Πολυφασματικοί Αισθητήρες.	20
2.3.2. Υπερφασματικά Δεδομένα και Υπερφασματικοί Αισθητήρες.	21
2.3.3. Τηλεπισκοπικά Δεδομένα.	23
2.4.Χαρτογράφηση αστικής βλάστησης με χρήση δεδομένων Τηλεπισκόπησης.	24
2.4.1 Πολυφασματικά Δεδομένα.	24
2.4.2 Υπερφασματικά Δεδομένα.	27
2.5. Συμπεράσματα από την βιβλιογραφική ανασκόπηση και συμβολή της παρούσας μελέτης.	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 Γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης.	32
3.2 Ιστορική Εξέλιξη του αστικού πρασίνου στη πόλη της Αθήνας.	33
3.3. Οικιστική ανάπτυξη και αναλογία πρασίνου στη πόλη της Αθήνας.	34
3.4. Υλικά και Δεδομένα.	37
3.4.1. Δορυφόρος EO-1 και αισθητήρας Hyperion.	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1. Εισαγωγή.	42
4.2. Προ-επεξεργασία των δεδομένων.	42
4.3. Επιλογή των αλγόριθμων ταξινόμησης και γενική περιγραφή.	42
4.4. Αλγόριθμοι μη-επιβλεπόμενης ταξινόμησης	45
4.5. Αλγόριθμοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης.	45
4.6. Ο αλγόριθμος Μηχανής Υποστήριξης Διανυσμάτων (Support Vector Machine, SVM).	46
4.7. Ο αλγόριθμος Χαρτογράφου φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapper).	47
4.8. Εφαρμογή της ταξινόμησης.	49
4.8.1. Επιλογή σημείων ταξινόμησης και σημείων αξιολόγησης.	49
4.8.2. Ταξινόμηση της εικόνας.	53
4.9. Περιγραφή της διαδικασίας αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης.	55
4.10. Σύγκριση των ψηφιοποιημένων περιοχών με τους θεματικούς χάρτες των αλγορίθμων.	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Πίνακες ακρίβειας των αλγόριθμων.	61
5.2. Χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων.	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1. Συζήτηση των αποτελεσμάτων.	71
----------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

7.1. Συμπεράσματα.	74
7.2. Προοπτικές.	76

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	77
---------------------	----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αστικό πράσινο αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο του περιβάλλοντος αντιπροσωπεύοντας έναν καίριας σημασίας παράγοντα στις αλληλεπιδράσεις του ανθρώπου με το περιβάλλον στο οποίο ζει. Οποιαδήποτε πληροφορία για την χωρική κατανομή της αστικής βλάστησης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για έναν αειφόρο αστικό σχεδιασμό και μια ορθή περιβαλλοντική διαχείριση καθώς και για τη μελέτη ενός μεγάλου εύρους περιβαλλοντικών και μη θεμάτων. Τα πρόσφατα τεχνολογικά επιτεύγματα στους δορυφορικούς αισθητήρες συνετέλεσαν και στην ανάπτυξη των υπερφασματικών συστημάτων ανίχνευσης τα οποία έχουν την ικανότητα να συλλέξουν φασματική πληροφορία σε ένα μεγάλο εύρος διακριτών φασματικών ζωνών καταγραφής εικόνων στο ορατό και στο υπέρυθρο φάσμα. Με αυτό τον τρόπο ενισχύθηκε σημαντικά η δυνατότητα του ανθρώπου να μπορεί να προσδιορίζει με ακρίβεια διαφορετικούς στόχους στην επιφάνεια της Γης. Τέτοια δορυφορικά δεδομένα συνδυασμένα με Γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα (ΓΠΣ) χρησιμοποιούνται σε διάφορα πεδία έρευνας συμπεριλαμβανομένης και της χαρτογράφησης της αστικής βλάστησης.

Η παρούσα μελέτη στοχεύει στην αξιολόγηση της δυνατότητας χρήσης υπερφασματικών δεδομένων από τον υπερφασματικό αισθητήρα Hyperion για την χαρτογράφηση του αστικού πράσινου στη πόλη της Αθήνας. Ο αισθητήρας Hyperion είναι από τους ελάχιστους δορυφορικούς υπερφασματικούς αισθητήρες που βρίσκονται αυτή τη στιγμή σε τροχιά και είναι σε θέση να συλλέξει φασματικά δεδομένα σε 242 φασματικά κανάλια από το ορατό έως το υπέρυθρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με χωρική ανάλυση 30 μέτρων. Ειδικότερα, στη παρούσα εργασία, έγινε συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων χαρτογράφησης της περιοχής μελέτης δύο αλγορίθμων επιβλεπόμενης ταξινόμησης και πιο συγκεκριμένα της Μηχανής Υποστήριξης Διανυσμάτων (Support Vector Machine) και του Χαρτογράφου Φασματικής Γωνίας (Spectral Angle Mapper).

Για την εκτέλεση της εργασίας χρησιμοποιήθηκε μια δορυφορική εικόνα του αισθητήρα Hyperion με ημερομηνία 27/08/2009 ενώ για τον έλεγχο της ακρίβειας της ταξινόμησης από την εφαρμογή της κάθε τεχνικής ταξινόμησης, χρησιμοποιήθηκε η εικόνα της ίδιας ημερομηνίας η οποία παρέχεται δωρεάν από το Google Earth. Η ανάλυση των δεδομένων καθώς και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε χρησιμοποιώντας τα εξειδικευμένα λογισμικά επεξεργασίας ψηφιακών χωρικών δεδομένων ENVI 4.7 και ArcGis 10. Δεδομένα από τον Δήμο Ιλίου χρησιμοποιήθηκαν για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων ταξινόμησης των δύο αλγορίθμων και εξετάστηκε η ταύτισή τους με πραγματικά δεδομένα πρασίνου. Η συνολική ακρίβεια (overall accuracy) ταξινόμησης της υπερφασματικής εικόνας ισούται με 86,53% για τον SVMs αλγόριθμο και 75,13% για τον

SAM αλγόριθμο. Τέλος στην επαλήθευση των αποτελεσμάτων αυτών στον Δήμο Ιλίου προέκυψαν ικανοποιητικά ποσοστά σύμπτωσης με τα πραγματικά δεδομένα πρασίνου του δήμου τα οποία όμως χρειάζονται περαιτέρω βελτίωση.

Συμπερασματικά τα υπερφασματικά δορυφορικά δεδομένα έχουν ήδη ανοίξει μια νέα εποχή στη χαρτογράφηση γης και ιδιαίτερα στην χαρτογράφηση αστικών περιοχών υπερτερώντας έναντι των πολυφασματικών δεδομένων. Ωστόσο περαιτέρω έρευνα είναι απαραίτητη με τη χρήση διαφορετικών τεχνικών ταξινόμησης οι οποίες θα αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τον μεγάλο όγκο φασματικής πληροφορίας που λαμβάνεται από τα υπερφασματικά δεδομένα.

Λέξεις κλειδιά: Υπερφασματικά δεδομένα, Hyperion, επιβλεπόμενη ταξινόμηση, Τηλεπισκόπηση, Γεωγραφικά Πληροφοριακά συστήματα, Αθήνα, Ελλάδα.

ABSTRACT

Vegetation represents a crucial factor in urban systems and plays a significant role in human-environment interactions. Open green spaces in modern cities provide to human beings a suitable environment to live and work. Information on its spatial distribution is very useful in practical terms for many reasons. For example, it can assist to sustainable urban planning and resourceful environmental management and to also studying a range of issues in environmental sciences. Recent technological advancements in remote sensors technology have resulted to the development of hyperspectral sensing systems, which collect spectral information in a large number of discrete, narrow spectral bands. This enhances dramatically our ability to accurately identify different targets on the Earth's surface. Such data, often combined with Geographical Information Systems (GIS), are widely used in a wide range of applications, including urban vegetation cover mapping.

In this context, the present study explores the use of Hyperion hyperspectral imagery in obtaining urban vegetation cartography for the city of Athens, the capital of Greece. Hyperion is one of the few satellite hyperspectral sensors currently in orbit, collecting spectral data in 242 spectral bands from visible to middle-infrared regions of electromagnetic spectrum and at a spatial resolution of 30 meters. In particular, the combined use of Hyperion with the Support Vector Machines (SVMs) and the Spectral Angle Mapper (SAM) in deriving maps of urban cover distribution was evaluated herein.

For the study implementation, a single Hyperion hyperspectral imagery acquired on 27/08/2009 over Athens was used. Validation of the derived maps was performed using Google Earth imagery of the same acquisition date. Accuracy assessment was performed using ENVI 4.7 and ArcGis 10 software platforms. Information on the spatial distribution of green vegetation derived from Ilion municipality was used together with the error matrix analysis to validate the results of the two algorithms in terms of their ability to map the extend of urban green areas. An overall accuracy of 86,53% and 75,13% was reported in the thematic maps derived from the SVMs and SAM algorithms implementation respectively. In addition, the comparisons of the derived green urban areas from the two algorithms against those from the Ilion municipality returned satisfactory results. Yet, results suggested that there is a lot of potential for further enhancement from the perspective of algorithm development for the retrievals of those parameters exists.

Conclusively, hyperspectral data seems to be effective in urban vegetation classification. Yet, further research is needed with the inclusion of more classification techniques which are able to confront the vast amount of spectral information.

KEYWORDS: *remote sensing, Geographical Information Systems, hyperspectral data, Hyperion, supervised classification method, Athens, Greece.*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα μέσα από καρδιάς να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους εκείνους που συνέβαλλαν στην υλοποίηση του θέματος της παρούσας μελέτης. Συνέβαλλαν στην επίτευξη ενός πολύ σημαντικού προσωπικού στόχου και χωρίς την βοήθειά τους κάτι τέτοιο θα ήταν αδύνατον.

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου κ. Καλύβα Διονύσιο, για την ανάθεση του θέματος, την εποπτεία του και την επιτυχημένη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια συγγραφής της μελέτης. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον συνεπιβλέποντα καθηγητή, κ. Πετρόπουλο Γεώργιο ο οποίος με στήριξε και με καθοδήγησε με όλες του τις δυνάμεις από την πρώτη στιγμή για την πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής. Η καθοδήγησή του και η εμπειρία του στα θέματα της Τηλεπισκόπησης και της χρήσης του λογισμικού ENVI 4.7 ήταν καταλυτική.

Η μετάδοση των γνώσεών τους προκειμένου να καταφέρω να προσεγγίσω επιστημονικά το θέμα της διπλωματικής μου, οι συμβουλές τους και η βιβλιογραφική υποστήριξη που μου παρείχαν ήταν για μένα πολύτιμες ενώ η συνεργασία μας ήταν άψογη. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κοσμά Κωνσταντίνο για την παρουσία του στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, τους στενούς μου φίλους και συναδέλφους για την κατανόηση που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος και ιδιαίτερα κατά τη συγγραφή της διπλωματικής μου μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΗΜΑΣΙΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Η διαχείριση των εκτάσεων της γης περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη του περιβάλλοντα χώρου που σχετίζεται με τη γη. Μελέτες χρήσεων γης και σχεδιασμός περιοχών για περιβαλλοντικές επιδράσεις συνιστούν μερικά από τα αντικείμενα της διαχείρισης της γης. Οι μελέτες αυτές πραγματοποιούνται από επιστήμονες διαφορετικών γνωστικών αντικειμένων, που ωστόσο όλοι σήμερα αρχίζουν να χρησιμοποιούν τα συστήματα Τηλεπισκόπησης για τη συλλογή των δεδομένων τους (Μερτίκας, 2006). Επομένως, η χαρτογράφηση εκτάσεων γης αποτελεί έναν ευρέως ζητούμενο στόχο για ερευνητές, κρατικούς λειτουργούς ή απλούς πολίτες. Για μια επιτυχημένη χαρτογράφηση απαιτείται ταχεία και διαρκής ενημέρωση των δεδομένων καθώς και σύνδεση τους με την ακριβή τους θέση στο χώρο. Αυτό συνεπάγεται υψηλή ακρίβεια εντοπισμού ώστε να αποφευχθούν λανθασμένες συγκρίσεις και λοιπά σφάλματα. Η Τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν λύσεις που θα ικανοποιήσουν αυτές τις απαιτήσεις και θα αποδώσουν ασφαλή και ακριβή αποτελέσματα.

Με τον όρο Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π) ή Geographical Information Systems (GIS), περιγράφεται το πληροφοριακό σύστημα που είναι σχεδιασμένο για να διαχειρίζεται ένα σύνολο διαδικασιών λήψης, αποθήκευσης, ανάλυσης αλλά και γενικότερα διαχείρισης δεδομένων με γεωγραφική αναφορά στον χώρο. Αποτελούν με λίγα λόγια ένα πολύτιμο εργαλείο για τους χρήστες προκειμένου να καταχωρούν, να επεξεργάζονται, να διορθώνουν, να αναλύουν και να παρουσιάζουν στην οθόνη ή έντυπα τους θεματικούς χάρτες που προκύπτουν έπειτα από την επεξεργασία των δεδομένων. Με τα δεδομένα της Τηλεπισκόπησης μειώνεται κατά πολύ ο χρόνος επεξεργασίας των δεδομένων ενώ με τη βοήθεια των κατάλληλων αλγορίθμων επιτυγχάνεται η ταξινόμηση της εικόνας ως προς τα αντικείμενα που μελετώνται, αλλά ταυτόχρονα με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών οι χρήστες επεξεργαζόμενοι τη γεωγραφική πληροφορία των δεδομένων είναι σε θέση να αποδώσουν χαρτογραφικά τα αποτελέσματα της έρευνας καθώς και να ενημερώνουν τους θεματικούς χάρτες στο μέλλον για όποιες αλλαγές μπορεί να προκύψουν στην περιοχή μελέτης. Η διαχείριση των φυσικών πόρων, η αειφόρος ανάπτυξη και ο σχεδιασμός μιας περιοχής μπορούν να επωφεληθούν από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει μια επιτυχημένη χαρτογράφηση. Ο συνδυασμός των Γεωγραφικών Πληροφοριακών συστημάτων με την Τηλεπισκόπηση είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος προς την χαρτογράφηση και παρακολούθηση περιοχών ενδιαφέροντος λόγω της υπεροχής τους έναντι άλλων παραδοσιακών μεθόδων

χαρτογράφησης, λόγω του χαμηλού κόστους υλοποίησής τους και λόγω της δυνατότητας συνεχούς ενημέρωσης των πληροφοριών που λαμβάνονται.

Η Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) θεωρείται μια ελκυστική μέθοδος στην μελέτη διαφόρων φαινομένων εξαιτίας της δυνατότητας εξαγωγής χωρικών δεδομένων αλλά και της δυνατότητας χρήσης των δεδομένων Τηλεπισκόπησης σε διάφορα επιστημονικά πεδία. Αυτές οι δυνατότητες που παρέχουν τα δεδομένα της Τηλεπισκόπησης είναι ο λόγος που δίνουν μεγαλύτερη βαρύτητα στα αποτελέσματα και μεγαλύτερο εύρος στη χρήση τους. Τα δεδομένα που προέρχονται από δορυφορικές εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκφράσουν κοινωνικά φαινόμενα, να συγκεντρώσουν επιπρόσθετα δεδομένα για το περιβάλλον και να ποσοτικοποιήσουν τις περιβαλλοντικές συνέπειες μιας διαδικασίας (Rindfuss & Stern, 1998). Για παράδειγμα σύμφωνα με τους Lo & Faber (1997), μέσω του ποσοστού της αστικής βλάστησης, τα περιβαλλοντικά δεδομένα Τηλεπισκόπησης μπορούν να συνδυαστούν με κοινωνικο-οικονομικά δεδομένα προκειμένου να επιτευχθεί μια κοινωνική μελέτη που θα αφορά τις πόλεις όπως για παράδειγμα μια μελέτη για την φτώχεια στις πόλεις, για το επίπεδο διαβίωσης των πολιτών και την ποιότητα ζωής τους. Έτσι τα τηλεπισκοπικά δεδομένα πλεονεκτούν έναντι άλλων πηγών πληροφόρησης. Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα τους όμως θεωρείται και το χαμηλό κόστος απόκτησής τους, το οποίο μειώνεται συνεχώς τις τελευταίες δεκαετίες. Τα υπερφασματικά δεδομένα έχουν ως βασικό πλεονέκτημα την υψηλή φασματική ανάλυση με αποτέλεσμα η χρήση τους στον αστικό ιστό να δίνει περισσότερες πληροφορίες.

Η χαρτογράφηση της αστικής βλάστησης αποτελεί ένα εξίσου ενδιαφέρον αντικείμενο μελέτης. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες πάνω από το 45% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές με το ποσοστό αυτό να αναμένεται να αγγίξει το 60% μέχρι το 2030 (Yunhao et al, 2006). Η αστική βλάστηση επηρεάζει σημαντικά τις συνθήκες διαβίωσης στο αστικό περιβάλλον, τις ενεργειακές ροές λόγω της επιλεκτικής απορρόφησης και ανάκλασης της ακτινοβολίας και επομένως τη ποιότητα του αέρα και κατ' επέκταση την υγεία των ανθρώπων που ζουν στη πόλη (Wagrowski & Hites, 1997). Επομένως από τον επιτυχημένο προσδιορισμό χώρων αστικού πρασίνου προκύπτουν πολλαπλά οφέλη για την κοινωνία και τον άνθρωπο.

Επιπροσθέτως, υπάρχει μεγάλη ανάγκη καταγραφής και μελέτης του μικροκλίματος σε μια αστική περιοχή. Το κλίμα σε κάθε περιοχή του πλανήτη μπορεί να περιγραφεί σε τρία διαφορετικά επίπεδα, πηγαίνοντας από το γενικό προς το ειδικό, από τη μεγαλύτερη κλίμακα στη μικρότερη: το μακροκλίμα, το μεσοκλίμα και το μικροκλίμα. Το μακροκλίμα μιας περιοχής αφορά τα γενικότερα κλιματικά χαρακτηριστικά της. Ορίζεται από κλιματικά δεδομένα, όπως είναι η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η ηλιοφάνεια, ο άνεμος, η υγρασία, τα νέφη και οι βροχοπτώσεις. Το μεσοκλίμα μιας περιοχής είναι ο μετασχηματισμός του μακροκλίματος, λόγω τοπικών ιδιαιτεροτήτων, όπως είναι το ανάγλυφο του εδάφους, η ύπαρξη μεγάλων επιφανειών νερού και η βλάστηση. Το

μικροκλίμα μιας περιοχής είναι η διαφοροποίηση του μακροκλίματος και του μεσοκλίματος, η οποία οφείλεται κυρίως σε ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως π.χ. το δομημένο περιβάλλον ή οι γεωργικές καλλιέργειες (Μπουγιατιώτη, 2010).

Σύμφωνα με μελέτες, επεισόδια ακραίων υψηλών θερμοκρασιών έχουν καταστροφική επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό ενώ θεωρούνται υπεύθυνα για πολλούς θανάτους στις αναπτυσσόμενες χώρες. Πόλεις όπως η Νέα Υόρκη, η Σανγκάη, η Ρώμη, η Αθήνα, το Παρίσι και η Φιλαδέλφεια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, έχουν θανατηφόρα κρούσματα τις τελευταίες δεκαετίες από κύματα ζέστης τα οποία εκδηλώθηκαν (Grimmond et al., 2010). Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (urban heat island, UHI) αναφέρεται στην ύπαρξη υψηλότερων θερμοκρασιών στα αστικά κέντρα σε σχέση με τις γύρω αστικές περιοχές και η ένταση του φαινομένου εκφράζεται από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κέντρου της πόλης και της ανοιχτής υπαίθρου. Εκτός όμως από την επίδραση αυτού του φαινομένου στην καθημερινότητα και στη ζωή των κατοίκων των πόλεων, η αστική θερμική νησίδα επηρεάζει και τη κατανάλωση και τη ζήτηση ενέργειας στα αστικά κέντρα. Με τη σειρά της η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας αυξάνει την έκκληση αερίων του θερμοκηπίου όπως CO₂ γεγονός το οποίο έχει ως συνέπεια την επιτάχυνση της κλιματικής αλλαγής. Κατά τους θερινούς μήνες δε η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία των κλιματιστικών αυξάνεται κατά 15-25% περισσότερο από τη κατανάλωση στις γύρω μη αστικές περιοχές (Grimmond et al., 2010).

Η βλάστηση παρέχει θερμικά προνόμια, απομακρύνει τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, απορροφά το CO₂, ανακουφίζει από το καθημερινό στρες, μετριάζει την ένταση της απορροής κατά τη διάρκεια σφοδρών βροχοπτώσεων και βοηθά στην εξάλειψη των πλημμυρών στις αστικές περιοχές (Grimmond et al., 2010). Επομένως τονίζεται για άλλη μια φορά η ανάγκη ύπαρξης βλάστησης στις αστικές κυρίως περιοχές.

Η περίπτωση της πόλης της Αθήνας παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον και τα χαρακτηριστικά του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στην πόλη μελετώνται συστηματικά από το 1996, με στόχο να διερευνηθεί η ένταση του φαινομένου, η ανάπτυξη του στον χώρο και η χρονική μεταβολή του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του αυξημένου ενδιαφέροντος για το συγκεκριμένο αντικείμενο έρευνας, αποτελεί και το πρόγραμμα THERMOPOLIS το οποίο υλοποιήθηκε το καλοκαίρι του 2009 χρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (European Space Agency) σε συνεργασία με το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Ινστιτούτο Αστρονομίας, Αστροφυσικής, Διαστημικών Ερευνών και Τηλεπισκόπησης) και άλλους φορείς. Η συγκεκριμένη έρευνα είχε ως περιοχή μελέτης την πόλη της Αθήνας, όπου με τη χρήση αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων και επίγειων δεδομένων μελετήθηκε το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας στην πόλη.

Η ανάλυση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας πραγματοποιείται με τη λήψη τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας από σταθμούς εγκατεστημένους στην

ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και των προαστίων της. Έτσι η ένταση του φαινομένου αποτυπώνεται με τη μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του κέντρου της πόλης και της ανοικτής υπαίθρου να φτάνει έως τους 14 °C και τη μέση αύξηση της θερμοκρασίας στην περιοχή του κέντρου να φτάνει έως τους 10 °C. Επίσης η ένταση του φαινομένου είναι μικρότερη στους χώρους πρασίνου όπου η θερμοκρασία εκεί είναι έως 6 °C υψηλότερη από τις περιαστικές περιοχές ενώ η χωρική κατανομή του φαινομένου δείχνει ότι αρχικά οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας και αργότερα οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στις δυτικές συνοικίες της πόλης (Μπουγιατιώτη, 2010). Σύμφωνα με το THERMOPOLIS (ESA, Thermopolis campaign, 2009) οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του Ιουλίου και του Αυγούστου στην Αθήνα είναι υψηλότερες από 37.8 °C στις μέρες εκδήλωσης καύσωνα. Αυτές οι μέρες κατά τις οποίες η θερμοκρασία υπερβαίνει αυτό το όριο έχουν αυξηθεί κατά τη δεκαετία 1992-2001 και η πόλη της Αθήνας πλήττεται από το φαινόμενο της αστικής νησίδας ολοένα και περισσότερο. Αυτό, σύμφωνα πάντα με το THERMOPOLIS, οφείλεται στην αυξημένη δόμηση και βιομηχανοποίηση της πόλης κατά τις τελευταίες δεκαετίες καθώς και στην ανάπτυξη στενού οδικού δικτύου που σε συνδυασμό με την έλλειψη επαρκών χώρων πρασίνου δημιουργούν μια αίσθηση δυσφορίας κατά τη διάρκεια των κυμάτων ζέστης στους κατοίκους και στους τουρίστες της πόλης. Στα δημοτικά διαμερίσματα της πόλης όπου η βλάστηση είναι αραιή και ελάχιστης έκτασης, παρατηρούνται υψηλότερες θερμοκρασίες κάνοντας το φαινόμενο περισσότερο έντονο και ακραίο.

Επομένως, τονίζεται η ανάγκη παρουσίας βλάστησης και χώρων πρασίνου σε μια πόλη ειδικά όταν πρόκειται για μια πυκνοκατοικημένη πόλη όπως η Αθήνα με τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν και με ένα τόσο σοβαρό φαινόμενο όπως της αστικής θερμικής νησίδας να τη πλήττει τόσο συχνά. Με μια αποτελεσματικότερη χαρτογράφηση των χώρων αστικού πρασίνου μπορεί να βελτιωθεί ο αστικός σχεδιασμός καθώς και να παρακολουθείται στενά το περιβάλλον της πόλης με άμεση κινητοποίηση των αρχών και των αρμόδιων φορέων σε περίπτωση ανάγκης, βελτίωσης και συντήρησης των χώρων αυτών. Η ανάπτυξη της αστικής βλάστησης μπορεί να αντιμετωπίσει το φαινόμενο της αστικής νησίδας αναβαθμίζοντας το περιβάλλον στην πόλη και προσφέροντας ένα υψηλότερο επίπεδο διαβίωσης για όλους τους κατοίκους της.

1.2. ΣΤΟΧΟΙ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην περιοχή της πόλης της Αθήνας, η οποία αποτελεί την πρωτεύουσα της χώρας αλλά ταυτόχρονα και την περισσότερο πυκνοκατοικημένη πόλη της Ελλάδας.

1. Αξιολόγηση της ακρίβειας ταξινόμησης αστικού πρασίνου με χρήση υπερφασματικής δορυφορικής εικόνας από τον αισθητήρα Hyperion,.
2. Διερεύνηση της καταλληλότητας δύο διαφορετικών μεθόδων επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την εξαγωγή αστικού πρασίνου από υπερφασματικά δορυφορικά δεδομένα σε αστικό περιβάλλον. Αξιολόγηση της ακρίβειας που έχουν επιτύχει οι αλγόριθμοι και χωρικά.

Η βιβλιογραφική αναζήτηση σε επιστημονικές πηγές έδειξε ότι τα υπερφασματικά δεδομένα από τον αισθητήρα Hyperion δεν έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς στον Ελλαδικό χώρο και ιδιαίτερα στην πόλη της Αθήνας για την εξαγωγή τέτοιων θεματικών χαρτών. Η ανάδειξη της χρησιμότητας και της καταλληλότητας των υπερφασματικών δεδομένων σε μελέτες αστικού πρασίνου θα συμβάλλει στην βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος της πόλης και θα δώσει νέα ώθηση στη χρήση αυτών των τεχνικών και στον ελλαδικό χώρο. Επίσης η παρούσα μελέτη συμβάλει στις προσπάθειες που γίνονται σήμερα παγκοσμίως για την εκτίμηση της χρήσης των αλγόριθμων επιβλεπόμενης ταξινόμησης υπερφασματικών δεδομένων από τον Hyperion.

1.3. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο *Κεφάλαιο 2* που ακολουθεί παρατίθεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση για την ταξινόμηση της αστικής βλάστησης μέχρι σήμερα. Το αντικείμενο μελέτης παρουσιάζει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον και είναι αλληλένδετο με διάφορους επιστημονικούς τομείς. Έχει απασχολήσει αρκετούς ερευνητές και επιστήμονες οι οποίοι με το έργο τους συνέβαλλαν στην πρόοδο και στην ανάπτυξη της χρήσης δορυφορικών δεδομένων στην επιτυχή χαρτογράφηση μιας περιοχής. Ωστόσο οι εργασίες που έχουν γίνει μέχρι στιγμής ποικίλλουν καθώς έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο υπερφασματικά όσο και πολυφασματικά δεδομένα, διαφορετικοί αισθητήρες με διαφορετικά χαρακτηριστικά και έχοντας διαφορετικούς στόχους. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια ανασκόπησης εργασιών με στόχο την ανάδειξη της σημασίας της παρούσας μελέτης.

Στη συνέχεια στο *Κεφάλαιο 3* παρατίθεται μια λεπτομερή περιγραφή της περιοχής μελέτης καθώς και μία ιστορική αναδρομή της οικιστικής της ανάπτυξης. Επιπλέον γίνεται μια ανάλυση στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της μελέτης. Ακολουθεί το *Κεφάλαιο 4* το οποίο περιλαμβάνει την ακριβή περιγραφή όλης της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε με όλες τις επεξεργασίες και τις τεχνικές που εφαρμόστηκαν. Επίσης περιγράφεται και η επαλήθευση της ορθότητας των μεθόδων και πως αυτή εφαρμόστηκε. Το *Κεφάλαιο 5* περιλαμβάνει την σύνοψη των κυριότερων αποτελεσμάτων περιλαμβάνοντας τα στατιστικά αποτελέσματα που προέκυψαν και την ακρίβεια στη ταξινόμηση που επετεύχθη από κάθε αλγόριθμο ταξινόμησης ξεχωριστά. Με αυτό τον τρόπο γίνεται και η σύγκριση των αλγορίθμων προκειμένου να ακολουθήσει η εξαγωγή συμπερασμάτων. Το *Κεφάλαιο 6* περιλαμβάνει την συζήτηση των αποτελεσμάτων και τέλος στο *Κεφάλαιο 7* παραθέτονται τα συμπεράσματα της συγκεκριμένης μελέτης καθώς και προτάσεις για μελλοντική συνέχιση της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ

ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ

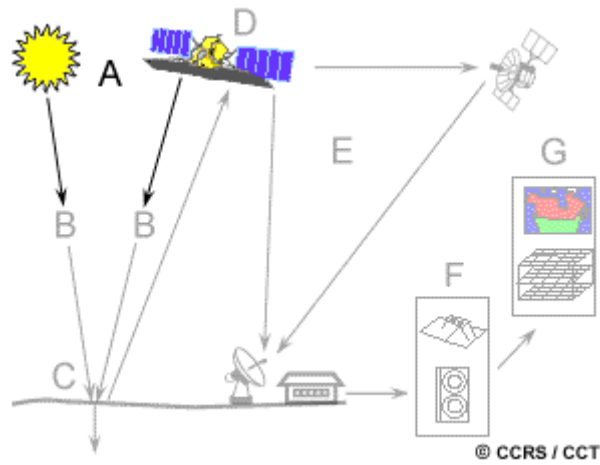
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν κεφάλαιο έχει ως στόχο την περιληπτική παρουσίαση της βιβλιογραφίας που μελετήθηκε για την συγγραφή της παρούσας μελέτης. Αρχικά δίνονται κάποιες βασικές έννοιες σχετικά με την Τηλεπισκόπηση. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά των πολυφασματικών και ιδιαίτερα των υπερφασματικών δεδομένων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και στη παρούσα εργασία. Τέλος γίνεται αναφορά στους διαφορετικούς αλγόριθμους ταξινόμησης που υπάρχουν αλλά ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στους αλγόριθμους που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία και στη παρουσία τους στη βιβλιογραφία για την χαρτογράφηση αστικού πρασίνου.

2.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Ο όρος **Τηλεπισκόπηση** ή τηλεανίχνευση (**remote sensing**) ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από έναν στόχο με στόχο την αναγνώριση αλλά και την μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας παράλληλα τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς ωστόσο να υπάρχει πραγματική και άμεση επαφή με αυτόν. Η Τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει τρία στάδια: τη συλλογή δεδομένων, μέσω ορισμένων οργάνων, την ανάλυση και την ερμηνεία των δεδομένων, πάλι μέσω ειδικών οργάνων. Παραδείγματα μετρήσεων Τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν τη συμβατική φωτογραφία, την αεροφωτογραφία, τη λήψη εικόνων με radar, τις μετρήσεις βαρύτητας κλπ. Στην πράξη όμως οι μελέτες Τηλεπισκόπησης περιορίζονται μόνο σε συστήματα απεικονίσεων ή εικόνων όπως αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες (Μερτίκας, 2006).

Ο όρος **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (electromagnetic spectrum)** εκφράζει την ταξινόμηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σύμφωνα με το μήκος κύματος ή σύμφωνα με τη συχνότητα ή την ενέργεια. Για την Τηλεπισκόπηση, το πιο σημαντικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι εκείνο που δημιουργείται από την ακτινοβολία του Ήλιου.



Σχήμα 2.1 Απλοποιημένο διάγραμμα συστήματος Τηλεπισκόπησης (WWW2).

Ο όρος **μήκος κύματος (wavelength)** εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών του αρμονικού κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ολόκληρο το εύρος των μηκών κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Πίνακας 2.1 Οι κυριότερες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Όνομα	Μήκος Κύματος
Ακτίνες γ <0.03 nm	<0.03 nm
Ακτίνες Χ 0.03-300 nm	0.03-300 nm
Υπεριώδη 0.30-0.38 μm	0.30-0.38 μm
Ορατή 0.38-0.72 μm	0.38-0.72 μm
Μπλε 0.38-0.50 μm	0.38-0.50 μm
Πράσινη 0.50-0.60 μm	0.50-0.60 μm
Κόκκινη 0.60-0.72 μm	0.60-0.72 μm
Υπέρυθρη 0.72-15.0 μm	0.72-15.0 μm
Εγγύς υπέρυθρη 0.72-1.10 μm	0.72-1.10 μm
Βραχεία υπέρυθρη 1.10-3.00 μm	1.10-3.00 μm
Μέση υπέρυθρη 3.00-5.00 μm	3.00-5.00 μm
Μακρά υπέρυθρη 5.00-15.0 μm	5.00-15.0 μm
Ραντάρ 0.75-100 cm	0.75-100 cm
Μικροκύματα	
Χ περιοχή	2.75-3.80 cm
С περιοχή	3.80-7.60 cm
L περιοχή	19.3-30.0 cm
Ραδιοκύματα	≥ 30 cm
P περιοχή	30.0-76.9 cm

Μια **φασματική ζώνη (spectral band)** αποτελείται από κάποια καθορισμένη ομάδα φασματικών γραμμών όπου κάθε φασματική γραμμή αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο μήκος κύματος. Σημαντική εφαρμογή τις τελευταίες δεκαετίες εμφανίζει η **δορυφορική Τηλεπισκόπηση (satellite remote sensing)** σύμφωνα με την οποία η καταγραφή των δεδομένων γίνεται από αισθητήρες που βρίσκονται στις πλατφόρμες δορυφόρων. Αυτοί οι αισθητήρες καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που είτε ανακλάται είτε εκπέμπεται από κάποια επιφάνεια σε κάποιες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στα δορυφορικά συστήματα Τηλεπισκόπησης μπορεί να διαφέρει ο τύπος της πλατφόρμας που μεταφέρει το όργανο Τηλεπισκόπησης και επομένως μπορεί να είναι αεροπλάνο, επίγειο όργανο ή όπως στη περίπτωση της παρούσας μελέτης διαστημική πλατφόρμα, ενώ μπορεί να διαχωρίζονται και σε ενεργητικά ή παθητικά δορυφορικά συστήματα Τηλεπισκόπησης. Τα παθητικά συστήματα είναι αυτά που εντοπίζουν και καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπου αυτή διατίθεται φυσικά όπως για παράδειγμα από τον ήλιο. Από την άλλη πλευρά τα ενεργητικά συστήματα είναι αυτά που παρέχουν την δική τους πηγή ενέργειας ενώ έχουν την δυνατότητα να εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και να αναλύουν αυτή που επιστρέφει πίσω σε αυτά. Βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι μπορούν να πραγματοποιούν μετρήσεις ανά πάσα στιγμή άσχετα από την εποχή ή την ώρα με μειονέκτημα την απαίτηση μεγάλης ποσότητας ενέργειας (WWW2).

Τα συστήματα Τηλεπισκόπησης παράγουν δεδομένα προς επεξεργασία και από τα χαρακτηριστικά αυτών διαμορφώνεται και η ποιότητά τους. Επομένως διαμορφώνονται διαφορετικοί τύποι ανάλυσης δεδομένων οι οποίοι είναι οι παρακάτω:

α) φασματική διαχωριστική ανάλυση (spectral resolution) η οποία αναφέρεται στον τρόπο που καταγράφεται η καμπύλη φασματικής απόκρισης. Ο αισθητήρας καθορίζει τα διαστήματα μήκους κύματος και όσο πιο υψηλή είναι η φασματική ανάλυση τόσο πιο στενά θα είναι αυτά τα διαστήματα με αποτέλεσμα να δημιουργείται κίνδυνος επικάλυψης μεταξύ των φασματικών ζωνών.

β) χωρική διαχωριστική ανάλυση (spatial resolution) η οποία σχετίζεται με την ικανότητα του συστήματος να διακρίνει αντικείμενα στη γεωμετρική τους διάσταση. Αντιστοιχεί στην οπτική γωνία του αισθητήρα ο οποίος καθορίζει το μέγεθος της περιοχής που θα είναι ορατή από ένα συγκεκριμένο ύψος για μία δεδομένη χρονική στιγμή.

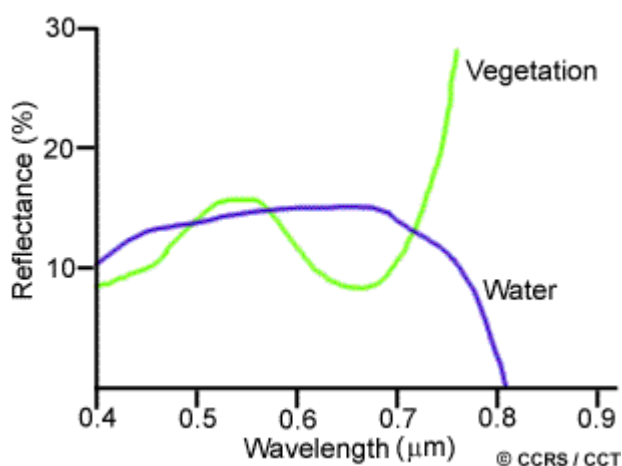
γ) ραδιομετρική διαχωριστική ανάλυση (radiometric resolution) η οποία αναφέρεται στον αριθμό των διαβαθμίσεων του τόνου του γκρι που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας εκφραζόμενη με τον αριθμό των ψηφιακών τιμών (bits)

δ) και τέλος η διαχρονική διαχωριστική ανάλυση (temporal resolution) η οποία είναι η συχνότητα της κάλυψης μιας δεδομένης περιοχής.

Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι η αποτελεσματικότητα του κάθε συστήματος που

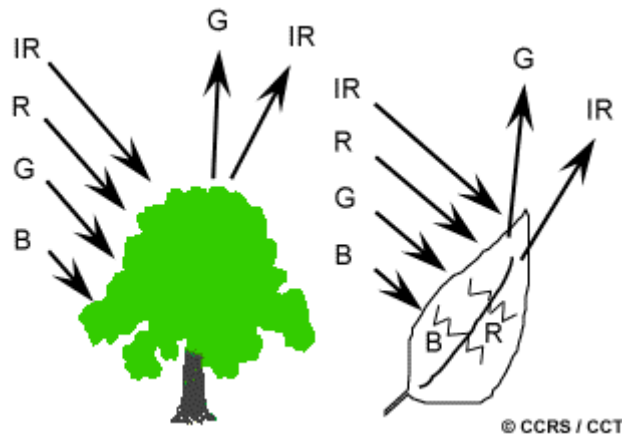
χρησιμοποιείται ποικίλλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εκάστοτε δεδομένων.

Η ακτινοβολία η οποία δεν διαχέεται ή απορροφάται από την ατμόσφαιρα μπορεί να φτάσει και τελικώς να αλληλεπιδράσει με την επιφάνεια της γης και τα αντικείμενα που υπάρχουν πάνω σε αυτή. Υπάρχουν τρεις μορφές αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας με τα αντικείμενα της γης: η ανάκλαση (reflection) , η απορρόφηση (absorption) και η σκέδαση (transmission) και αυτές ακριβώς μελετά και η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης. Το ποσοστό που η κάθε ενέργεια από αυτές τις τρεις θα επιδράσει σε κάποιο αντικείμενο εξαρτάται από το είδος του αντικειμένου, από τις συνθήκες που επικρατούν και από το μήκος κύματος της ενέργειας. Η μελέτη αυτής ακριβώς της φασματικής απόκρισης ενός αντικειμένου σε σχέση με το μήκος κύματος ονομάζεται **φασματική υπογραφή (spectral signature)** και είναι μοναδική για κάθε αντικείμενο.



Σχήμα 2.2. Αναπαράσταση παραδείγματος φασματικών υπογραφών (WWW2).

Σε αυτό το σημείο θα παρατεθεί το παράδειγμα της βλάστησης προκειμένου να γίνει κατανοητό το πώς απεικονίζεται σε μια δορυφορική εικόνα. Όπως είναι γνωστό η παρουσία της χλωροφύλλης στο φύλλωμα των φυτών είναι αυτή που ευθύνεται για την μέγιστη απορρόφηση ακτινοβολίας στη περιοχή του κόκκινου και του μπλε ενώ παρουσιάζει τη μέγιστη ανάκλαση στη περιοχή του πράσινου. Αυτός είναι και ο λόγος που ο άνθρωπος βλέπει τα φύλλα πράσινα και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού το πράσινο χρώμα εμφανίζεται εντονότερο ενώ το φθινόπωρο που η χλωροφύλλη είναι μειωμένη, μειώνεται η ανάκλαση στη περιοχή του πράσινου και αυξάνεται στη περιοχή του κόκκινου (αυτός είναι ο λόγος που τα φύλλα εμφανίζονται κίτρινα ή κόκκινα). Στη πραγματικότητα εάν εξεταστεί η περιοχή ενδιαφέροντος στο εγγύς υπέρυθρο (near IR reflectance) είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς τη παρουσία βλάστησης αλλά πιο εξειδικευμένα τη παρουσία υγιούς ή μη βλάστησης (WWW2).



Σχήμα 2.3. Σχηματική απεικόνιση απορρόφησης & ανάκλασης ακτινοβολίας σε βλάστηση (WW2).

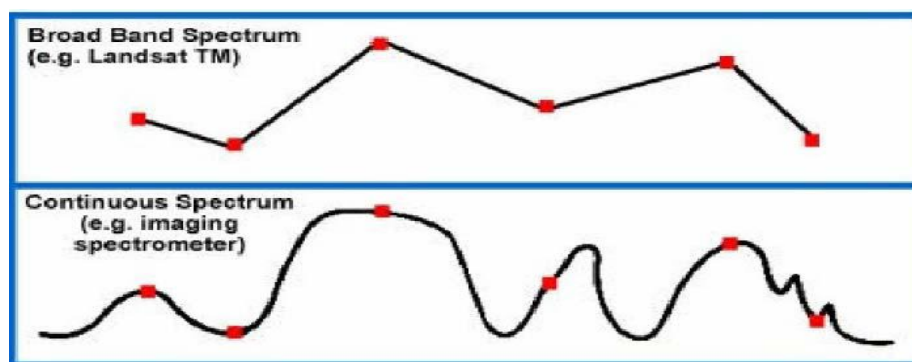
2.3. ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Ανάλογα με τον στόχο που πρέπει να επιτευχθεί, επιλέγονται και τα ανάλογα δεδομένα της Τηλεπισκόπησης που θα χρησιμοποιηθούν. Για παράδειγμα όπως αναφέρθηκε ήδη στην παράγραφο 2.2, το νερό με τη βλάστηση μπορούν εύκολα να διαχωριστούν λόγω της διαφορετικής φασματικής υπογραφής τους και της κλάσης στην οποία ανήκει ο κάθε τύπος. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό όταν πρέπει για παράδειγμα να διαχωριστούν διαφορετικοί τύποι εδαφικών ορυκτών ή διαφορετικοί τύποι βλάστησης. Και αυτό γιατί βρίσκονται σε λιγότερο διακριτά μεταξύ τους φάσματα απαιτώντας με αυτόν τον τρόπο μικρότερο εύρος στα μήκη κύματος και επομένως μεγαλύτερη φασματική ανάλυση. Σύμφωνα με την αναφορά που έγινε στην προηγούμενη παράγραφο, διαφορετικά συστήματα Τηλεπισκόπησης μπορεί να παράγουν διαφορετικό τύπο ανάλυσης των δεδομένων.

Οι οπτικοί αισθητήρες ταξινομούνται σε τρεις ομάδες: τους παγχρωματικούς αισθητήρες όπου συμπεριλαμβάνεται ένας διάυλος και χρησιμοποιούνται στην ορατή περιοχή του φάσματος, τους πολυφασματικούς αισθητήρες οι οποίοι περιλαμβάνουν δεκάδες διαύλους και χρησιμοποιούνται σε πολλές περιοχές του οπτικού φάσματος και τέλος τους υπερφασματικούς αισθητήρες οι οποίοι περιλαμβάνουν εκατοντάδες διαύλους και χρησιμοποιούνται σε πολλές και πολύ μικρές περιοχές του οπτικού φάσματος. Μεταβάλλοντας επομένως την φασματική διαχωριστική ανάλυση (spectral resolution) του συστήματος επιτυγχάνεται διαφορετική ποιότητα στα αποτελέσματα που προκύπτουν σύμφωνα πάντα με τον στόχο της εκάστοτε εφαρμογής.

2.3.1. ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Οι πολυφασματικοί αισθητήρες έχουν χωρική ανάλυση της τάξεως του 1m x 1m ή και καλύτερη με παγχρωματικές εικόνες ή εικόνες στο εγγύς υπέρυθρο. Δώδεκα συστήματα υψηλής χωρικής ανάλυσης παρέχουν πολύ καλή γεωμετρική ανάλυση στην επιφάνεια της γης με μικρότερη εδαφική κάλυψη (4-36km) και πολυφασματικής ικανότητας. Οι υπερφασματικοί αισθητήρες από την άλλη πλευρά διαθέτουν ανιχνευτές με 32 έως 256 (ενδεχομένως και περισσότερες) φασματικές ζώνες καταγραφής εικόνων στο ορατό και το υπέρυθρο. Η χωρική ανάλυση σε αυτά τα συστήματα φτάνει το πολύ τα 30m x 30m (Μερτίκας, 2006).



Σχήμα 2.4. Παράδειγμα φασματικής σύγκρισης μεταξύ πολυφασματικών και υπερφασματικών δεδομένων (Τσακίρη-Στρατή Μ., 2007).

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, τα υπερφασματικά δεδομένα αποδίδουν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια την φασματική πληροφορία συγκριτικά με τα πολυφασματικά δεδομένα. Η φασματική ικανότητα των υπερφασματικών δεδομένων είναι στα 10nm ενώ η αντίστοιχη των πολυφασματικών στα 100nm. Μία πολυφασματική εικόνα είναι στην ουσία μία συλλογή διαφόρων μονοχρωματικών εικόνων του ίδιου αντικειμένου, η κάθε μία εκ των οποίων έχει ληφθεί με διαφορετικό αισθητήρα. Μία πολύ γνωστή πολυφασματική εικόνα είναι η RGB εικόνα η οποία αποτελείται από μία κόκκινη, μία πράσινη και μία μπλε εικόνα οι οποίες έχουν ληφθεί με διαφορετικούς αισθητήρες, ο καθένας ευαίσθητος στα συγκεκριμένα μήκη κύματος. Με διαφορετικούς συνδυασμούς των μονοχρωματικών εικόνων, δημιουργούνται νέες εικόνες οι οποίες είναι ψευδέγχρωμες δίνοντας διαφορετικές πληροφορίες στον χρήστη.

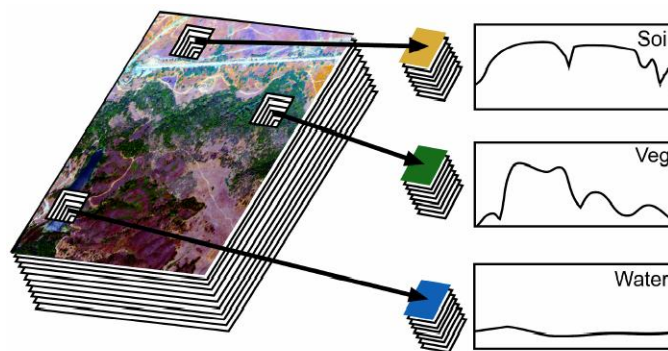
2.3.2. ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Η εμφάνιση των υπερφασματικών συστημάτων ξεκίνησε κατά κύριο λόγο στα τέλη της δεκαετίας του '70. Μέσω της ανάπτυξης των γραμμικών και δισδιάστατων ανιχνευτών, η συλλογή εκατοντάδων φασματικά κοντινών και χωρικά συνδεδεμένων απεικονίσεων έγινε δυνατή. Ένα από τα πρώτα συστήματα σε αερομεταφερόμενη πλατφόρμα που χρησιμοποίησε την υπερφασματική τεχνολογία για τους σκοπούς της Τηλεπισκόπησης στην επιφάνεια της γης ήταν το Airborne Imaging Spectrometer(AIS). Από τότε η ανάπτυξη των Υπερφασματικών συστημάτων ήταν ραγδαία, με βελτιώσεις σε όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν στη λήψη μίας απεικόνισης. Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται ενδεικτικά, διάφορα υπερφασματικά συστήματα που υπάρχουν σήμερα και χρησιμοποιούνται για διάφορες εφαρμογές.

Πίνακας 2.2. Υπερφασματικά συστήματα και τα χαρακτηριστικά τους (R. Schowengerdt, 2007).

SENSOR	OBJECTIVE	TYPICAL ALTITUDE	SPECTRAL RANGE	NUMBER OF BANDS	GROUND PIXEL SIZE	GROUND SWATH
AHI	University R&D	3km	7.9-11.5 μm	210	3m	0.7km
AIS	SCIENCE R&D	4km	1.2-2.4 μm	128	8m	0.3km
ARCHER	CIVIL AIR PATROL	2km	0.5-1.1 μm	512	5m	1.3km
AVIRIS	SCIENCE R&D	20km	0.4-2.5 μm	224	20m	11km
CASI	COMMERCIAL OPERATIONAL	2km	0.4-1.1 μm	288	1m	1.4km
COMPASS	MILITARY DEMONSTRATE	3km	0.4-2.5 μm	256	1m	1.6km
HYDICE	MILITARY R&D	6km	0.4-2.5 μm	210	3m	1km
HyMAP	COMMERCIAL OPERATIONAL	2km	0.45-2.5 μm	126	5m	2.3km
HYPERION	SPACE DEMONSTRATION	705km	0.4-2.5 μm	200	30m	7.5km
SEBASS	MILITARY R&D	3km	2-5 and 8-14 μm	128 and 128	3m	0.4km
TRWIS III	COMMERCIAL R&D	3km	0.3-2.5 μm	384	3m	0.7km

Τα υπερφασματικά δεδομένα διαθέτουν άφθονη φασματική πληροφορία η οποία όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό και την αναγνώριση φασματικά παρόμοιων υλικών πάνω στη γήινη επιφάνεια τα οποία όμως είναι μοναδικά. Τα χαρακτηριστικά απορρόφησης και ανάκλασης αυτών των αντικειμένων είναι διαγνωστικά σε διαύλους πολύ στενού φάσματος ενώ “χάνονται” σε διαύλους μεγάλου εύρους φάσματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνίσταται η χρήση υπερφασματικών δεδομένων τα οποία θα δώσουν ακριβέστερη και λεπτομερέστερη πληροφορία συγκριτικά με τα πολυφασματικά δεδομένα. Επιπροσθέτως τα υπερφασματικά συστήματα συλλέγουν πληροφορίες από περίπου 200 διαύλους με αποτέλεσμα να κατασκευάζεται ένα συνεχές φάσμα ανάκλασης για κάθε ψηφίδα της εικόνας. Με τη προσεκτική μελέτη αυτού του φάσματος ανάκλασης κάθε υλικού διαφαίνονται όλες οι λεπτομέρειες και επομένως είναι δυνατός ο διαχωρισμός πολλών φασματικά παρόμοιων υλικών. Επιπλέον τα εκατοντάδες κανάλια των υπερφασματικών αισθητήρων δίνουν τη δυνατότητα αναγνώρισης περισσότερων του ενός υλικού σε μια ψηφίδα. Αυτό είναι και ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των υπερφασματικών δεδομένων που συντέλεσε και στην διαδεδομένη χρήση τους τα τελευταία χρόνια.



Εικόνα 2.1. Η υπερφασματική απεικόνιση όπου υπάρχουν εκατοντάδες φασματικές εικόνες, ενώ κάθε ψηφίδα (pixel) αντιστοιχεί σε ένα συνεχές φάσμα που χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση διαφόρων υλικών (Αδάμος, 2006).

Σχετικά με τον όγκο των υπερφασματικών δεδομένων, η αποθήκευση, η μεταφορά και η διαχείριση των δεδομένων χρειάζεται περαιτέρω έρευνα και βελτίωση. Παρά τη σημερινή πρόοδο στα υπολογιστικά συστήματα, ο μεγάλος αριθμός των φασματικών διαύλων καθώς και η ραδιομετρική ανάλυση των υπερφασματικών εικόνων συνεπάγονται μεγάλη αύξηση του μεγέθους αυτών των δεδομένων ιδιαίτερα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα πολυφασματικά δεδομένα.

Η φασματική ανάλυση του κάθε αισθητήρα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην χαρτογράφηση αστικού περιβάλλοντος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των φασματικών

διαύλων, όπως συμβαίνει στη περίπτωση των υπερφασματικών δεδομένων, τόσο πιο μεγάλη λεπτομέρεια της φύσης των υλικών που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης θα επιτευχθεί. Αυτό όμως ταυτόχρονα σημαίνει και μεγαλύτερη δυσκολία στην επεξεργασία της εικόνας και πλεονασμός δεδομένων λόγω υψηλής συσχέτισης μεταξύ των γειτονικών φασματικών διαύλων. Έτσι η αύξηση των φασματικών διαύλων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια της ταξινόμησης μόνο όμως εάν αυτοί οι δίαυλοι χρησιμεύουν στον διαχωρισμό των κλάσεων (Thenkabail et al., 2004). Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές οι οποίες έχουν ως στόχο την εύρεση και την απομάκρυνση αυτών των διαύλων αλλά και στον μετασχηματισμό των δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνεται η διάστασή τους χωρίς να απομακρύνεται χρήσιμη πληροφορία.

Μεταξύ των κυριοτέρων πλεονεκτημάτων των υπερφασματικών δεδομένων είναι:

- 1) Το γεγονός ότι παρέχουν μεγάλο όγκο χρήσιμης φασματικής πληροφορίας η οποία βοηθά στον αποτελεσματικό διαχωρισμό φασματικά παρόμοιων υλικών που είναι ωστόσο διαφορετικά μεταξύ τους και μοναδικά.
- 2) Παρέχουν τη δυνατότητα εξαγωγής λεπτομερέστερων και ακριβέστερων πληροφοριών για τις επιφάνειες που απεικονίζουν.
- 3) Λόγω του μεγάλου αριθμού διαύλων που έχουν είναι σε θέση να κατασκευάσουν ένα συνεχές φάσμα ανάκλασης για κάθε ψηφίδα της εικόνας.
- 4) Επιτρέπουν την αναγνώριση περισσότερων του ενός υλικού σε μια ψηφίδα εξαιτίας του μεγάλου αριθμού διαύλων.

2.3.3. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα έχουν αναμφισβήτητη πλήθος πλεονεκτημάτων έναντι παραδοσιακών μεθόδων επεξεργασίας δεδομένων σε ένα μεγάλο εύρος επιστημονικών πεδίων. Μέσω της Τηλεπισκόπησης παρατηρούνται φυσικά φαινόμενα της γης, καιρικά φαινόμενα, η ατμόσφαιρα, η κλιματική αλλαγή, η βλάστηση, η γεωλογία, η γεωργία, το αστικό περιβάλλον αλλά και οι φυσικές καταστροφές με ένα τρόπο μοναδικό. Οι πληροφορίες και τα δεδομένα που παρέχονται είναι ακριβή χωρίς την ανάγκη επίσκεψης στον χώρο, χωρίς παρέμβαση στην περιοχή μελέτης ενώ το ιδιαίτερα χαμηλό κόστος συλλογής όλων αυτών των δεδομένων αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα της μεθόδου. Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι στη διαχείριση κρίσεων και στη λήψη αποφάσεων.

Όσον αφορά τις εφαρμογές των υπερφασματικών δεδομένων συγκεκριμένα, έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς από γεωλόγους για τη χαρτογράφηση ορυκτών στην επιφάνεια της γης, από εδαφολόγους για τον εντοπισμό διαφόρων ιδιοτήτων του εδάφους, από γεωπόνους για την ταυτοποίηση ειδών βλάστησης και τη μελέτη της

χημικής σύνθεσης φυτών όπως και για τον εντοπισμό ασθενειών της βλάστησης ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμα και από επιστήμονες στην ιατρική.

2.4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΣΤΙΚΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

2.4.1. ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική έρευνα, μέχρι σήμερα υπάρχουν αρκετές σημαντικές εργασίες οι οποίες έχουν χρησιμοποιήσει πολυφασματικά δεδομένα Τηλεπισκόπησης αποσκοπώντας στην ταξινόμηση αστικής βλάστησης. Η χωρική ανάλυση που μας παρέχουν τα δεδομένα είναι μια ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Με την χωρική ανάλυση της εικόνας που λαμβάνεται, προσδιορίζεται το μέγεθος του μικρότερου δυνατού χαρακτηριστικού που μπορεί να εξαχθεί από την εικόνα. Επομένως στη περίπτωση για παράδειγμα μιας αδιαπέρατης επιφάνειας (impervious surface) που κυριαρχεί σε ένα αστικό τοπίο, είναι πολύ σημαντικό να χρησιμοποιούνται δεδομένα με υψηλή χωρική ανάλυση καθώς πρέπει να διαχωρίζονται στοιχεία όπως δρόμοι, κτίρια, δέντρα κτλ. Πριν το 1999 υπήρχε απουσία εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης (μικρότερη από 10m) και επομένως υπάρχει ελάχιστη έρευνα με την χρήση Τηλεπισκόπησης στις αστικές περιοχές. Με την άφιξη των εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης όπως η IKONOS (1999), QUICKBIRD (2001) και ORBVIEW (2003), έγιναν μεγάλες προσπάθειες ώστε να εφαρμοστούν οι συγκεκριμένες εικόνες των πολυφασματικών δεδομένων σε μελέτες αστικού τοπίου και περιβάλλοντος. Μερικοί από τους ερευνητές που χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης είναι οι Cablk et al., 2003; Goetz et al, 2003; Lu & Weng, 2009; Wu, 2009; Hu & Weng, 2011. Τα δεδομένα που χρησιμοποίησαν οι παραπάνω ερευνητές περιείχαν πλούσια χωρική πληροφορία και παρείχαν τη δυνατότητα να εξαχθεί ακόμα πιο λεπτομερής θεματική πληροφορία όπως για παράδειγμα χρήση γης και κάλυψη γης, χαρτογραφικές λεπτομέρειες όπως κτίρια και δρόμοι καθώς και μετρικές πληροφορίες με στερεοσκοπικές εικόνες όπως είναι το υψόμετρο. Αυτό έχει ως συνέπεια όλες αυτές οι λεπτομέρειες που παρέχονται από τα πολυφασματικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης να είναι ιδιαιτέρως χρήσιμες στην αξιολόγηση και στην χαρτογράφηση των αστικών περιοχών (Weng, 2012).

Τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση τέτοιων δεδομένων είναι οι σκιές που υπάρχουν στην εικόνα και οφείλονται στη τοπογραφία, στα ψηλά κτίρια που ενδεχομένως υπάρχουν ή στα δέντρα (Dare, 2005) καθώς και στην υψηλή φασματική διακύμανση που επικρατεί μέσα σε μία κλάση (Hsieh et al, 2001). Αυτά τα μειονεκτήματα

μπορεί να οδηγήσουν σε χαμηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης εάν οι αλγόριθμοι ταξινόμησης που θα χρησιμοποιηθούν δεν καταφέρουν να τα χειριστούν επιτυχώς και να τα υπερβούν (Cushnie, 1987). Η λύση για να επιτευχθεί σημαντικός περιορισμός των μειονεκτημάτων που προαναφέρθηκαν είναι η ελαχιστοποίηση της υψηλής φασματικής διακύμανσης που επικρατεί μέσα στις κλάσεις. Σύμφωνα με τους Lu & Weng (2007), οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν συνδυασμό φασματικής και χωρικής πληροφορίας είναι και οι αποτελεσματικότεροι για την χαρτογράφηση αστικών περιοχών.

Το φάσμα αναφοράς ή *endmember* είναι η φασματική ανάκλαση ενός καθαρού χαρακτηριστικού και έτσι οι φασματικές ιδιότητες είναι ομογενείς σε όλη την εικόνα που μελετάται. Η τεχνική *Linear spectral mixture analysis-LSMA*, είναι μία τεχνική που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε πολυφασματικές εικόνες όπως η *Landsat TM/ETM+* προκειμένου να εξαχθούν τα φάσματα αναφοράς (*endmembers*) (Weng, 2007). Με αυτή τη τεχνική δίνεται η δυνατότητα να καθαριστούν οι μη αμιγείς ψηφίδες και τελικά να εξαχθεί η φασματική υπογραφή κάθε αμιγούς ψηφίδας.

Οι Soe W. Myint et al. (2011), χρησιμοποίησαν δεδομένα υψηλής ανάλυσης (εικόνα *QuickBird*) με στόχο την ταξινόμηση της αστικής περιοχής της πόλης του Φοίνιξ στην Αριζόνα των Η.Π.Α. Αξιολογήθηκαν οι σημειακοί ταξινομητές (*per-pixel classifiers*) και οι ταξινομητές συνάφειας (*object-based classifiers*) ως προς την ακρίβεια που επέδειξαν. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα οι σημειακοί ταξινομητές δεν κρίθηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στις απαιτήσεις της ταξινόμησης μιας αστικής περιοχής ενώ οι ταξινομητές συνάφειας επέδειξαν καλύτερα αποτελέσματα.

Ο Rashed (2008) χρησιμοποίησε ως περιοχή μελέτης τη πόλη του Λος Άντζελες, Η.Π.Α έχοντας ως στόχο να απεικονίσει τις διαχρονικές αλλαγές της συγκεκριμένης αστικής περιοχής. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πολλαπλών φασμάτων αναφοράς (*endmembers*) (*MESMA method*), η ασαφής λογική καθώς και στατιστικά μεγέθη της περιοχής. Ως υλικά της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες από τον *Landsat TM* χρονολογίας 1990 και 2000 ενώ τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι ο συνδυασμός των παραπάνω τεχνικών είναι ικανός αντικειμενικά και συστηματικά να οδηγήσει σε συμπεράσματα για την μεταβολή της σύνθεσης και της διάρθρωσης του αστικού τοπίου της πόλης.

Ανάλογη εργασία με χρήση *MESMA* τεχνικής και δεδομένων από *Landsat ETM+* παρουσίασαν οι Powell et al.(2007) έχοντας ως περιοχή μελέτης την πόλη του Μανάους στη Βραζιλία. Ο στόχος της μελέτης ήταν η χαρτογράφηση των υλικών που αποτελούν το αστικό τοπίο της πόλης. Παρουσιάστηκε για την ακρίβεια μια μέθοδος κατασκευής μιας φασματικής βιβλιοθήκης των υλικών που κυριαρχούν σε ένα αστικό περιβάλλον.

Ο Villa (2012) χρησιμοποιώντας πολυφασματικά δεδομένα (εικόνα *Landsat TM-ETM+*) μελέτησε την αστική ανάπτυξη της πόλης του Μιλάνου στην Ιταλία με τη πάροδο 20 ετών (1984-2003) μέσω της μελέτης διεύρυνσης των μη διαπερατών επιφανειών. Στην

εργασία χρησιμοποιήθηκε και ο δείκτης SVI (soil vegetation index) ο οποίος εφαρμόζεται για τον διαχωρισμό διαπερατών και μη διαπερατών επιφανειών.

Στην εργασία των Tooke et al., (2009) παρουσιάζεται η ταξινόμηση της αστικής βλάστησης, στην πόλη του Βανκούβερ στον Καναδά. Τα δεδομένα της συγκεκριμένης εργασίας ήταν πολυφασματικά (εικόνα υψηλής ανάλυσης QuickBird), ενώ οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν ήταν ο γραμμικός φασματικός καθαρισμός της εικόνας (spectral unmixing) και το δέντρο των αποφάσεων (decision tree). Τα δεδομένα LiDAR (Light Detection and Ranging) που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη περίπτωση αποτελούν ένα μοντέλο επιφανείας το οποίο μπορεί να αποδώσει τις σκιές που υπάρχουν στη περιοχή μελέτης από τις διαφορές υψομέτρου (π.χ πολύ ψηλά κτίρια, δέντρα κτλ) προκειμένου να δοθούν περαιτέρω πληροφορίες για την εφαρμογή του 'decision tree' αλγορίθμου.

Πίνακας 2.3. Ενδεικτικός πίνακας εργασιών με πολυφασματικά δεδομένα με στόχο την μελέτη αστικής βλάστησης.

Βιβλιογραφία	Έρευνα	Περιοχή Μελέτης
Powell et al., 2007	LANDSAT ETM+ MESMA, φασματική βιβλιοθήκη, V-I-S μοντέλο	Μανάους, Βραζιλία
Tarek Rashed, 2008	LANDSAT MESMA, Ασαφή λογική (fuzzy logic)	Λος Άντζελες, Καλιφόρνια, Η.Π.Α
Tooke et al., 2009	QUICKBIRD, LiDAR Δέντρο αποφάσεων (decision tree) SMA (spectral mixture analysis)	Βανκούβερ, Καναδάς
Myint et al., 2011	QUICKBIRD, Σημειακοί ταξινομητές-ταξινομητές συνάφειας	Φοίνιξ, Αριζόνα, Η.Π.Α
Paolo Villa, 2012	Landsat TM-ETM+ Χρήση του SVI δείκτη Διαχωρισμός αστικής-μη αστικής περιοχής για τη μελέτη της διαχρονικής οικιστικής ανάπτυξης της πόλης	Μιλάνο, Ιταλία

2.4.2. ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα υπερφασματικά δεδομένα έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται τις τελευταίες δεκαετίες έχοντας σημαντικές εφαρμογές σε μελέτες που αφορούν την ατμόσφαιρα, την γεωργία, την γεωλογία, την δασολογία, την υδρολογία και την παρακολούθηση του περιβάλλοντος (Borengrasser et al., 2008). Ωστόσο η χρήση των υπερφασματικών δεδομένων Τηλεπισκόπησης σε αστικό περιβάλλον, συγκριτικά με μελέτες πολυφασματικών δεδομένων, παραμένει σε μεγάλο βαθμό μη ανεπτυγμένη. Σε γενικές γραμμές υπάρχει πλήθος μελετών που χρησιμοποιούν υπερφασματικά δεδομένα σε αστικό περιβάλλον και αφορούν:

- 1) εφαρμογές στις μεταφορές όπως αξιολόγηση της κατάστασης της ασφάλτου στους δρόμους και ταυτοποίηση υλικών δρόμων,
- 2) το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας,
- 3) τη παρουσία βλάστησης, γυμνού εδάφους και μη διαπερατών επιφανειών στον αστικό ιστό δεδομένου ότι μπορούν να επηρεάσουν το ποσοστό απορροής, την μόλυνση και την αστική υποβάθμιση γενικότερα.

Η παρουσία βλάστησης στον αστικό ιστό έχει μελετηθεί περισσότερο για διάφορους λόγους με τη βοήθεια υπερφασματικών δεδομένων. Οι σημαντικότεροι είναι οι εξής:

- 1) Εντοπισμός βλάστησης και ποσοστού βλάστησης στην επιφάνεια εδάφους,
- 2) Υπολογισμός αστικής βλάστησης που βρίσκεται σε κατάσταση stress,
- 3) Υπολογισμός φυλλικής επιφάνειας (urban leaf area) και πυκνότητα φυτοστοιβάδας (canopy density),
- 4) Διαχωρισμός μεταξύ δέντρων σε γένη ή είδη,
- 5) Χαρτογράφηση βλάστησης σε αστική επιφάνεια.

Για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ταξινόμησης μιας εικόνας υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν. Οι εκάστοτε ερευνητές θα πρέπει να εξετάσουν τις ανάγκες και τους στόχους της έρευνας τους, τα διαθέσιμα τηλεπισκοπικά δεδομένα, τη συμβατότητα με προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες, την διαθεσιμότητα των αλγορίθμων και του αντίστοιχου λογισμικού προγράμματος για την υλοποίηση της έρευνας καθώς και το χρονικό περιορισμό που ενδεχομένως να υπάρχει (Lu & Weng, 2007). Όπως έχουν καταλήξει πολλοί μελετητές, η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου αποτελεί το πρωταρχικό βήμα για μια επιτυχημένη εφαρμογή στην έρευνα. Η σύγκριση λοιπόν της απόδοσης κάποιων αλγορίθμων κατά την εφαρμογή τους σε διαφορετικές συνθήκες με διαφορετικούς στόχους, είναι δομικό στοιχείο στην ανάπτυξη και την πρόοδο της επιστήμης.

Έχει επισημανθεί από πολλούς ερευνητές ότι για την βέλτιστη χρησιμότητα των υπερφασματικών δεδομένων στη ταξινόμηση αστικών περιοχών, θα πρέπει να ληφθεί

σοβαρά υπόψη το φαινόμενο της διαστατικότητας των δεδομένων (curse of dimensionality) εντός της κάθε κλάσης ταξινόμησης και όχι μόνο η φασματική υπογραφή του κάθε υλικού (Hardin P. et al., 2013). Οι αστικές περιοχές συνήθως περιλαμβάνουν πλήθος διαφορετικών υλικών όπως γυμνό έδαφος, ασφαλτος, τσιμέντο, βλάστηση κτλ. Τα υπερφασματικά δεδομένα είναι σε θέση να χαρτογραφήσουν επιτυχώς δύο διαφορετικές κλάσεις ταξινόμησης μιας αστικής περιοχής (για παράδειγμα ασφαλτος και ταράτσες σπιτιών) όπου κυριαρχούν παρόμοια υλικά και οι φασματικές υπογραφές τους είναι εξίσου παρόμοιες σύμφωνα με τον Herold et al, (2006). Αυτό συμβαίνει διότι επιπρόσθετη χωρική και ποιοτική πληροφορία συμβάλει στην επιτυχή ταξινόμηση χρήσεων γης σε μια αστική περιοχή (Gong et al., 1992; Stuckens et al., 2000; Herold et al., 2003).

Να τονιστεί ότι στη τεχνική LSMA ο μέγιστος αριθμός 'endmembers' είναι ανάλογος με τον αριθμό των φασματικών διαύλων που χρησιμοποιούνται. Επομένως οι υπερφασματικές εικόνες είναι περισσότερο αποτελεσματικές στην εξαγωγή 'endmembers' συγκριτικά με τις πολυφασματικές εικόνες. Σύμφωνα με αρκετούς ερευνητές τα υπερφασματικά δεδομένα έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για την ταξινόμηση χρήσεων/κάλυψης γης, για χαρτογράφηση βλάστησης και για τη χαρτογράφηση υδάτων. Ισχυρό προτέρημα των υπερφασματικών δεδομένων είναι επίσης το γεγονός ότι σε εικόνα από τον αισθητήρα Hyperion υπάρχει η δυνατότητα να διαχωρίζονται επιτυχώς υλικά χαμηλού υψομέτρου πράγμα που δεν είναι εφικτό με τη χρήση πολυφασματικών δεδομένων σε μια αστική περιοχή (Weng et al., 2008).

Οι αστικές περιοχές έχουν ιδιαιτερότητες και περιέχουν πολλά και διαφορετικά στοιχεία. Επομένως η επιλογή ενός μόνο 'endmember' δεν αρκεί για να αντιπροσωπεύσει όλους τους τύπους του αστικού τοπίου. Οι Lu and Weng (2004) πρότειναν την χρήση πολλαπλών endmembers (MESMA method) και τη χρήση υπερφασματικών δεδομένων. Μια ενδεικτική εργασία που χρησιμοποίησε MESMA τεχνική είναι αυτή των Franke et al., 2009. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν υπερφασματικά δεδομένα Hymap. Η περιοχή μελέτης ήταν η Βόννη της Γερμανίας και στόχος της εργασίας ήταν η πληροφορίες για την αστική περιοχή να είναι ενημερωμένες και υψηλής ακρίβειας. Εφαρμόστηκε μια ιεραρχική μέθοδος προσέγγισης σύμφωνα με την οποία η MESMA τεχνική εφάρμοσε τέσσερα επίπεδα πολυπλοκότητας τα οποία κυμαίνονταν από το πιο απλό επίπεδο που περιελάμβανε δύο κλάσεις (την διαπερατή και μη διαπερατή από το νερό) έως το πιο περίπλοκο επίπεδο που περιελάμβανε είκοσι κλάσεις. Από τη προσέγγιση αυτής της εργασίας αποδείχθηκε ότι η εφαρμογή της τεχνικής MESMA σε συνδυασμό με μια ιεραρχική προσέγγιση των επιπέδων πολυπλοκότητας από το ένα επίπεδο στο επόμενο, είναι αποτελεσματική στον διαχωρισμό των αντικειμένων μέσα σε κλάσεις με μεγάλη φασματική διακύμανση.

Μια άλλη τεχνική βασίζεται στον συνδυασμό των υπερφασματικών δεδομένων με δεδομένα άλλων αισθητήρων όπως τα δεδομένα LiDAR. Τα δεδομένα LiDAR είναι ευρέως

χρησιμοποιούμενα από πολλούς ερευνητές λόγω τη υψηλής ανάλυσης που διαθέτουν, του μικρού χρονικού διαστήματος που χρειάζονται για την επεξεργασία τους καθώς και λόγω του χαμηλού τους κόστους. Τα συγκεκριμένα δεδομένα απέφεραν πολύ καλά αποτελέσματα στην χαρτογράφηση κτιρίων και δρόμων καθώς τα υψομετρικά δεδομένα παρέχονται ευκολότερα και σε υψηλότερη ανάλυση συγκριτικά με φωτογραμμετρικές τεχνικές. Γενικότερα τα υψομετρικά και άλλα επιπρόσθετα γεωμετρικά δεδομένα συμβάλλουν στη βελτίωση της εξαγωγής κτιρίων αλλά και δρόμων σε ένα αστικό περιβάλλον καθώς μειώνουν την ασάφεια και την σύγχυση ανάμεσα σε αυτά και τα χαρακτηριστικά που τα περιβάλλουν. Στην εργασία των Brook et al., (2010) χρησιμοποιούνται υπερφασματικά δεδομένα σε συνδυασμό με LiDAR δεδομένα για την αξιολόγηση και ακριβή ταξινόμηση υλικών αστικής περιοχής.

Η χρήση των δεικτών βλάστησης ακολουθείται από αρκετούς ερευνητές στην ταξινόμηση αστικών περιοχών με υπερφασματικά δεδομένα. Οι δείκτες βλάστησης συνδυάζουν φασματικές πληροφορίες από επιλεγμένα μήκη κύματος σε μία τιμή, η οποία σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ή μια ιδιότητα της βλάστησης. Περισσότεροι από 150 δείκτες βλάστησης έχουν δημοσιευτεί στην επιστημονική βιβλιογραφία αλλά μόνο ένα μικρό ποσοστό έχει σημαντική βιοφυσική βάση ή έχει μελετηθεί συστηματικά (ENVI User's Guide). Μια πολύ ενδιαφέρουσα εργασία είναι αυτή των Heiden et al. (2012), στην οποία έγινε χρήση υπερφασματικών δεδομένων και δεικτών κάλυψης γης σε αστικό περιβάλλον στη περιοχή του Μονάχου της Γερμανίας. Πρόκειται για μια πολύ-επίπεδη μέθοδο ιδιαίτερα διαδεδομένη στις Γερμανικές πόλεις η οποία συμβάλλει στον αποτελεσματικό αστικό σχεδιασμό (UST-Urban Structure Type). Το μόνο μειονέκτημα που προέκυψε ήταν η σύγχυση ανάμεσα σε κάποια είδη βλάστησης, αποτέλεσμα της ετερογένειας της περιοχής που οδηγεί σε φασματικές επικαλύψεις ανάμεσα στις κλάσεις.

Οι Rejas et al., (2007) χρησιμοποίησαν υπερφασματικά δεδομένα για την χαρτογράφηση ημι-αστικών περιοχών διαχωρίζοντας με αυτό τον τρόπο περιοχές με βλάστηση και περιοχές χωρίς βλάστηση. Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο AHS (Airborne Hyperspectral Scanner). Έπειτα από την επιλογή των σημείων εκπαίδευσης εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος SAM (Spectral Angle Mapper) ενώ χρησιμοποιήθηκαν και θερμικά δεδομένα του ίδιου αισθητήρα για τον επιτυχή χαρακτηρισμό διαφόρων υλικών.

Στην εργασία των Petropoulos et al., (2012) η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην Αθήνα, Ελλάδα ενώ χρησιμοποιήθηκε υπερφασματική εικόνα από τον αισθητήρα Hyperion. Στόχος της μελέτης ήταν η εξαγωγή χάρτη χρήσεων γης με χρήση δύο διαφορετικών τεχνικών ταξινόμησης με σκοπό την ανάδειξη του καταλληλότερου βάσης των αποτελεσμάτων της ακρίβειας της ταξινόμησης. Οι δύο τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο αλγόριθμος Μηχανής Υποστήριξης Διανυσμάτων (Support Vector Machine, SVM) και δικτύων τεχνητής νοημοσύνης (ANNs). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και οι δύο

τεχνικές απέφεραν ικανοποιητικά αποτελέσματα αλλά ο SVMS σημείωσε υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας.

Οι Benediktsson et al., (2003) και σε άλλη εργασίας τους το 2005 χρησιμοποίησαν υπερφασματικά δεδομένα υποστηρίζοντας ότι διαφορετικά αστικά αντικείμενα (σπίτια, δρόμοι κτλ) έχουν διαφορετικά μορφολογικά προφίλ και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντικείμενα αναφοράς για τον διαχωρισμό από άλλα αντικείμενα. Η περιοχή μελέτης τους ήταν η πόλη της Παβίας στην Ιταλία.

Πίνακας 2.4. Ενδεικτικός πίνακας εργασιών με υπερφασματικά δεδομένα με στόχο την μελέτη αστικής βλάστησης.

Βιβλιογραφία	Έρευνα	Περιοχή Μελέτης
Roberts et al., (1999)	Σχεδιασμός διαχείρισης πυρκαγιάς μέσω του υπολογισμού ενεργής υγρασίας καύσιμης ύλης και βιομάζας	Καλιφόρνια, Η.Π.Α
Platt & Goetz (2004)	Συγκριτική μελέτη ανάμεσα σε υπερφασματικά και πολυφασματικά δεδομένα προς ταξινόμηση αστικής περιοχής	Κολοράντο, Η.Π.Α
Jung et al. (2005)	Αστική βλάστηση σε κατάσταση stress με μελέτη του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας	Gyongyos, Ουγγαρία
Walker & Briggs (2007)	Χαρτογράφηση αστικής βλάστησης	Φοίνιξ, Αριζόνα, Η.Π.Α
DU Pei-jun et al., (2009)	Ταξινόμηση αστικής περιοχής	Πεκίνο, Κίνα
Jensen et al., (2009)	Μελέτη συσχέτισης ανάμεσα στον δείκτη φυλλικής επιφάνειας και άλλων φασματικών χαρακτηριστικών (δεικτών)	Terre Haute, Ιντιάνα, Η.Π.Α
Franke et al., (2009)	Δημιουργία φασματικής βιβλιοθήκης για την ταξινόμηση αστικής περιοχής, HyMap	Βόννη, Γερμανία
Golubiewski & Wessman (2010)	Χρήση spectral unmixing για να μελετηθεί πως τα ποσοστά βλάστησης αλλάζουν με την αύξηση της αστικής πυκνότητας	Κολοράντο, Η.Π.Α
Heiden et al., 2012	Ταξινόμηση αστικής περιοχής, HyMap	Μόναχο, Γερμανία

2.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

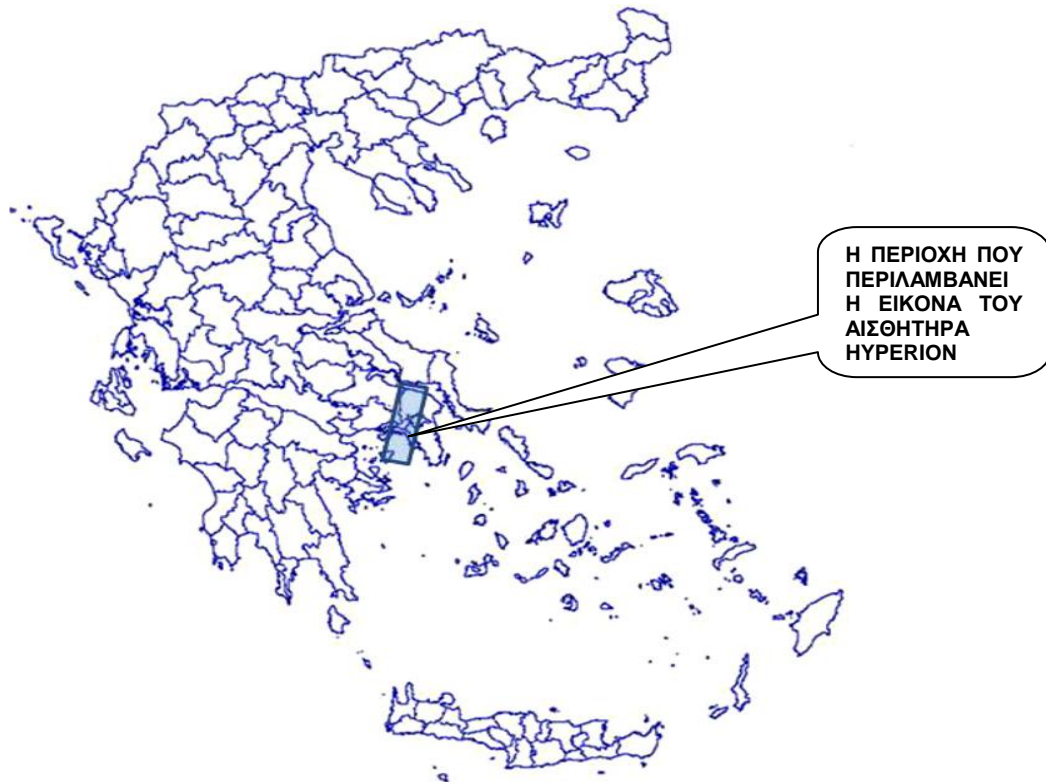
Στην προηγούμενη ενότητα έγινε αναφορά σε κάποιες από τις σημαντικότερες δημοσιευμένες εργασίες οι οποίες χρησιμοποιούν είτε πολύφασματικά είτε υπερφασματικά δεδομένα προκειμένου να επιτύχουν είτε τον προσδιορισμό της βλάστησης είτε την χαρτογράφηση της περιοχής σε αστικό περιβάλλον. Όλοι οι ερευνητές έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η αυτόματη εξαγωγή ταξινόμησης αστικής περιοχής είναι πολύ δύσκολη καθώς υπάρχει μεγάλη ετερογένεια μέσα στις ίδιες τις κλάσεις και μεγάλη ποικιλομορφία των υλικών στη περιοχή. Επομένως ένας μη παραμετρικός αλγόριθμος αποδεικνύεται εκ των πραγμάτων μια καλύτερη επιλογή για την ταξινόμηση αστικών περιοχών. Επιπλέον από την μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας προέκυψε το συμπέρασμα ότι δεν έχουν ολοκληρωθεί αρκετές εργασίες με αντικείμενο την χαρτογράφηση αστικού πρασίνου χρησιμοποιώντας υπερφασματικά δεδομένα ενώ δεν έχουν γίνει αρκετές μελέτες στον ελλαδικό χώρο και ιδιαίτερα στην πόλη της Αθήνας. Είναι επομένως επιβεβλημένο να γίνει μια τέτοια έρευνα η οποία θα αναδείξει την χρησιμότητα των υπερφασματικών δεδομένων του αισθητήρα Hyperion και την καταλληλότητα των αλγορίθμων ταξινόμησης. Με τον εντοπισμό των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των αλγορίθμων ταξινόμησης θα βελτιωθεί η χρήση των υπερφασματικών δεδομένων σε θέματα αστικού περιβάλλοντος καθώς και στην παρακολούθηση της αστικής βλάστησης. Στην εργασία των Lu & Weng (2007) γίνεται εκτενής αναφορά διαφόρων μεθόδων ταξινόμησης καθώς και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει την ευρύτερη περιοχή της πόλης της Αθήνας, της πρωτεύουσας της Ελλάδας, η οποία βρίσκεται στον Νομό Αττικής. Η εικόνα που μελετάται εκτείνεται από 23°39' έως 23°42' ανατολικά και από 38°4' έως 37°55' βόρεια. Η εν λόγω περιοχή αποτελεί αντιπροσωπευτική αστική περιοχή με μεγάλο βαθμό δόμησης και μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού. Στο μεγαλύτερο ποσοστό της καλύπτεται από κτίρια και δρόμους ενώ η βλάστηση δεν κυριαρχεί. Η εικόνα του αισθητήρα Hyperion που χρησιμοποιήθηκε αποκτήθηκε από μια προηγούμενη δημοσιευμένη εργασία για την ίδια περιοχή (Petropoulos et al., 2012).



Εικόνα 3.1. Η περιοχή μελέτης στον Ελλαδικό χώρο.

Η Αθήνα απλώνεται στο κεντρικό λεκανοπέδιο της Αττικής, το επονομαζόμενο Αθηναϊκό πεδίο, το οποίο περιβάλλεται από το όρος Αιγάλεω στα δυτικά, το όρος της Πάρνηθας στα βόρεια, την Πεντέλη στα βορειοανατολικά και τον Υμηττό στα ανατολικά, ενώ βρέχεται από το Σαρωνικό κόλπο στα νοτιοδυτικά (WWW4). Η σημερινή περιφέρεια Αττικής περιλαμβάνει το νοτιοανατολικό τμήμα της Στερεάς Ελλάδας, την Τροιζηνία στην χερσόνησο της Αργολίδας, τα περισσότερα νησιά του Αργοσαρωνικού και τα νησιά Κύθηρα και Αντικύθηρα. Έχει έκταση 3.808 χλμ² και καλύπτει το 2,9% της συνολικής έκτασης της χώρας. Έχει έδρα την Αθήνα, την διοικητική πρωτεύουσα της Ελλάδας η οποία αποτελεί την πρώτη σε πληθυσμό και πιο πυκνοκατοικημένη περιφέρεια της Ελλάδας, αφού σε αυτήν βρίσκεται το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας που αποτελεί την πρωτεύουσα της Ελλάδας, συγκεντρώνοντας το 1/3 του πληθυσμού της χώρας, δηλαδή 3.089.698 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011.

3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΣΤΗ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Ξένοι περιηγητές, που έρχονται στην Αθήνα κατά την Τουρκοκρατία και λίγο προ της Επανάστασης του '21, συναντούν μία μικρή πόλη ανάμεσα σε γυμνούς και άδενδρους λόφους. Εντυπωσιάζονται από την παρουσία της καμήλας και μεμονωμένα δένδρα φοίνικα και κυπαρισσιού. Την κατάσταση αυτή συναντάει και το νεοσύστατο Ελληνικό Κράτος στη δεκαετία του 1830, η οποία και θα παραμείνει αναλλοίωτη για τέσσερις δεκαετίες ακόμα. Πρώτη πράσινη επιφάνεια θα είναι ο Βασιλικός Κήπος, κατά την περίοδο του Όθωνα. Στα 1877 το Τμήμα Δασών του Υπουργείου Οικονομικών επιχειρεί και επιτυγχάνει την πρώτη αναδάσωση στο λόφο του Αρδηττού, γύρω από το Στάδιο, με χαλέπιο πεύκη. Κοντά στο Ζάππειο λειτουργεί το πρώτο δασικό φυτώριο με νερό του Ιλισού. Αμέσως μετά ακολουθεί η αναδάσωση του Λυκαβηττού από τη βόρεια πλευρά, πάνω από τον Αγ. Νικόλαο. Η θέση αυτή παίρνει το όνομα “πευκάκια” από τις πρώτες αναδασώσεις. Η αναδάσωση συνεχίζεται στο λόφο του Φιλοπάππου και την Ακρόπολη. Στο Άλσος Παγκρατίου, στο Δαφνί, στη Σχολή Ευελπίδων και σε άλλους λόφους. Το πρόγραμμα αναδάσωσης των λόφων της Αθήνας συναντάει δυσκολίες σε ιδιοκτησίες και καταπατήσεις. Μεγάλα τμήματα των λόφων είχαν αγορασθεί από τους αναχωρήσαντες Οθωμανούς. Στις αρχές του 20ου αιώνα καθιερώνεται ο θεσμός των αναδασωτέων εκτάσεων και πολλές διαθέσιμες εκτάσεις κηρύσσονται αναδασωτές. Η αναδάσωση συνεχίζεται στους δυτικούς πρόποδες του Υμηττού. Ολόκληρη η περιοχή μεταξύ Ιλισού και Υμηττού είχε κηρυχθεί αναδασωτέα και είχε φυτευτεί. Στα βόρεια της Αθήνας, η μεταξύ Πύργου Βασιλίσσης και Άλσους Φιλαδέλφειας περιοχή 3000στρμ. κηρύσσεται αναδασωτέα με την προοπτική να αποτελέσει το μεγάλο πάρκο της πρωτεύουσας. Δυστυχώς όμως, μετά τη Μικρασιατική Καταστροφή και την έλευση των προσφύγων, τα σχέδια αυτά ανατρέπονται. Οι προσφυγικοί οικισμοί της Καισαριανής, του Βύρωνα, της Ν. Ελβετίας, της Ν. Φιλαδέλφειας

δημιουργούνται σε αναδασωτές και εν πολλοίς φυτεμένες εκτάσεις. Το Άλσος της Φιλαδέλφειας είναι απομεινάρι αυτής της εκτάσεως. Το αστικό πράσινο της Αθήνας δοκιμάζεται κατά την περίοδο της Γερμανικής Κατοχής. Πολλά δέντρα υλοτομούνται για τις ανάγκες θέρμανσης, αλλά αμέσως μετά αντικαθίστανται με νέες φυτεύσεις.

Το “αστικό πράσινο” δεν υπήρχε ως πολεοδομική ή χωροταξική έννοια. Ούτε μετά το 1950, που η επέκταση της Αθήνας κατέλαβε όλο το λεκανοπέδιο, έγινε αντιληπτή η έννοια του αστικού πρασίνου ως λειτουργικό συστατικό της πόλης, ούτε από τους δημόσιους φορείς, ούτε από τους ιδιώτες, που είχαν την πρωτοβουλία της τμηματικής επέκτασης των οικισμών . Ούτε η αντίληψη του κηποτεχνικώς διαμορφωμένου πάρκου υπήρχε. Με μόνη εξαίρεση το Πεδίο του Άρεως, που διαμορφώθηκε κηποτεχνικά ως δημόσιο πάρκο, μετά το 1936 κανένας άλλος χώρος πρασίνου δεν είχε εξ’ αρχής σχεδιαστεί έτσι. Ο Εθνικός Κήπος σχεδιάστηκε ως περιβάλλον χώρος των ανακτόρων. Οι διαμορφώσεις του Άλσους της Φιλαδέλφειας έγιναν πάνω σε ένα ήδη ανεπτυγμένο πευκοδάσος. Ανάλογη περίπτωση είναι ο Πύργος της Βασιλίσσης Αμαλίας στους Αγ. Αναργύρους. Ενώ το Άλσος Συγγρού στα Ανάβρυτα ήταν ένας ιδιωτικός κήπος. Σήμερα, ως περιαστικό πράσινο της Αθήνας θεωρούνται οι επικλινείς δασικές εκτάσεις των γύρω βουνών του λεκανοπεδίου, οι οποίες έμειναν αδόμητες και βλέπουν προς την Αθήνα ή, διευρύνοντας το ζήτημα στη δομημένη Αττική, το σύνολο των ορεινών δασικών εκτάσεων της Αττικής. Το περιαστικό πράσινο της Αθήνας (ή και ευρύτερα της δομημένης Αττικής) δεν απαλλάχθηκε ποτέ από τα προβλήματα των πυρκαγιών, της αυθαίρετης δόμησης και της βοσκής, με αποτέλεσμα, παρά τη σημαντική έκταση που καταλαμβάνει, να μην έχει την ανάπτυξη, την ηλικία και τη δομή, που θα το καθιστούσε πραγματικά και αποτελεσματικά λειτουργικό και θα προσέφερε πολλαπλές υπηρεσίες στο σύστημα της πόλης. Να σημειωθεί δε ότι οι καλύτερες, από εδαφική άποψη, εκτάσεις στους πρόποδες των βουνών έχουν καταληφθεί από τον οικιστικό ιστό και ό, τι απέμεινε σε μεγάλο ποσοστό είναι βραχώδεις εκτάσεις ή εκτάσεις με αβαθή, ισχυρά επικλινή εδάφη και πολλούς περιορισμούς στην ανάπτυξη αξιόλογης βλάστησης (WWW1).

3.3. ΟΙΚΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΣΤΗ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Ο πολεοδομικός ιστός της Αθήνας αναπτύχθηκε τους τελευταίους δύο αιώνες στον ίδιο γεωγραφικό χώρο που εκτεινόταν ο ιστός του ευρύτερου αρχαίου οικιστικού δικτύου. Στην συγκρότηση της σύγχρονης πόλης, οι σχέσεις με τον χώρο των αρχαίων υπολειμμάτων είναι υπαρκτές. Στις μέρες μας επιχειρείται μάλιστα η ενοποίησή τους μέσω του προγράμματος για την ενοποίηση των αρχαιολογικών χώρων (Αττική SOS), πράγμα που από μόνο του αποδεικνύει την έστω μικρή, αλλά πραγματική, μορφολογική συμμετοχή τους στην συγκρότηση του πολεοδομικού ιστού. Η σημασία των σχέσεων αυτών συνδέεται ωστόσο και με την προσπάθεια που έγινε για την εδραίωση ενός επιλεκτικού βλέμματος,

όχι μόνον τοπικού αλλά και ευρωπαϊκού, προς το παρελθόν. Το βλέμμα αυτό συνέπλευσε με την αντίληψη του 19ου αιώνα για την διαμόρφωση του κεντρικού πυρήνα της πόλης. Η αρχική αυτή αντιμετώπιση συνέβαλε στον εγκλωβισμό της λειτουργικής ανάπτυξης της σύγχρονης πόλης της Αθήνας. Κύρια νομοθετικά κείμενα, (όπως νομοθετικό διάταγμα του 1923, κ.ά.) που αναπαρήγαγαν ευρωπαϊκά πρότυπα της πολεοδομίας του 19ου κυρίως αιώνα αλλά και του 20ου δεν εδραίωσαν παρά μόνον μερικώς την επικοινωνία των θεωρητικών αντιλήψεων και των θεσμών, με τις διαδοχικές εναλλαγές των μεταβατικών καταστάσεων και των πληθυσμιακών μεγεθύνσεων που συνοδεύτηκαν από δύσκολες κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες καθ' όλη την σύγχρονη ελληνική αστική ιστορία. Κατά συνέπεια, και οι δημόσιοι ανοιχτοί χώροι της ευρύτερης πόλης της Αθήνας διαμορφώθηκαν σε ένα σύγχρονο, από άποψη οικοδομικής, αστικό περιβάλλον αλλά με έντονα στοιχεία προσωρινότητας. Οι δημόσιοι χώροι της Αθήνας υπάγονται στο σύνολο αυτών της αστικής Ευρώπης αλλά μέσα στο πλαίσιο που περιγράψαμε, και με κυρίαρχο το χαρακτήρα της πολεοδομικής αντίληψης του 19ου και την οικιστική ανάπτυξη του 20ου αιώνα (Αβδελίδης Κ., 2007).

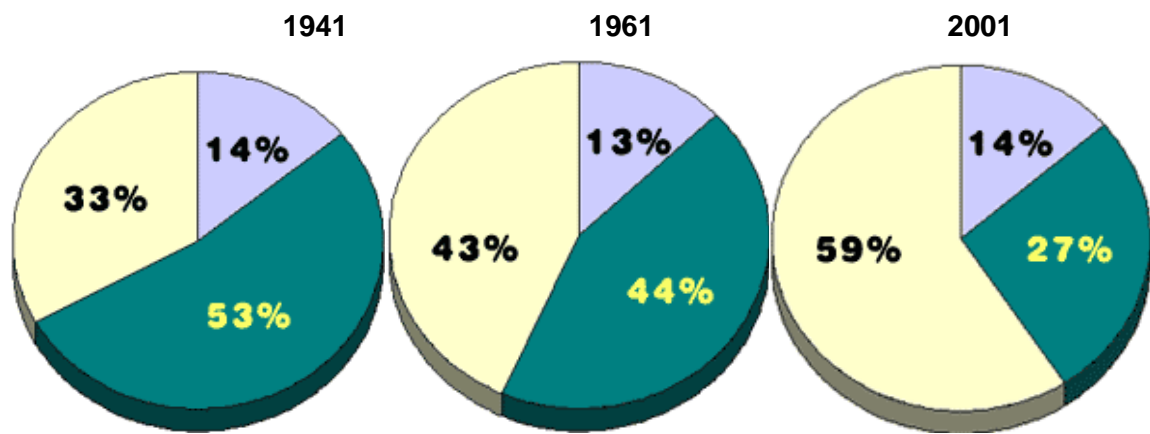
Ας επισημανθεί όμως σε αυτό το σημείο τι εννοείται με τον όρο "χώροι πρασίνου στον αστικό ιστό ή πιο απλά αστικό πράσινο". Το αστικό πράσινο αποτελείται από πάρκα, κήπους, παρτέρια και γενικά τους κοινόχρηστους χώρους που καλύπτονται σε ποσοστό 60-80% από φυτικό υλικό. Στους αστικούς κοινόχρηστους χώρους περιλαμβάνονται οι δρόμοι οι οποίοι εξυπηρετούν κυρίως ανάγκες αποκλειστικής κυκλοφορίας οχημάτων, οι πεζόδρομοι οι οποίοι είναι δρόμοι που έχουν ως αποκλειστικό προορισμό τους τη κίνηση πεζών, οι πλατείες, τα αστικά πάρκα, τα άλση και τέλος οι δημόσιοι κήποι. Στην πόλη της Αθήνας περιλαμβάνονται δύο δημόσιοι κήποι, ο Διομήδειος Βοτανικός κήπος και ο Βοτανικός κήπος του Πανεπιστημίου Αθηνών και ο Εθνικός κήπος ο οποίος είναι ο παλαιός ανακτορικός κήπος.

Η βέλτιστη επιφάνεια πρασίνου που αναλογεί ανά κάτοικο είναι 100-150τ.μ. Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία το επιθυμητό μέγεθος ελεύθερων χώρων ανά κάτοικο ορίζεται σε 8m² (Ζωνζήλου Γ., 2010). Το 2004, οι νέες οικοδομές στα όρια της νομαρχίας Αθηνών έφθασαν τις 3.212, οι οποίες κατέλαβαν 2.061.946 τ.μ., ενώ σε ολόκληρη την Αττική ανεγέρθηκαν συνολικά 8.588 νέες κατοικίες συνολικής επιφάνειας 4.506.535 τ.μ. Ταυτόχρονα, οι δημόσιοι, ελεύθεροι χώροι συμπιέζονται. Τα δέκα μεγαλύτερα πάρκα της πρωτεύουσας καταλαμβάνουν έκταση μικρότερη των 4.000 στρεμμάτων, τη στιγμή που μόνο το Hyde Park του Λονδίνου ξεπερνά τα 2.500 στρέμματα (WWW5). Η αναλογία 2,55 m² ή 3,55 m² πρασίνου ανά κάτοικο στην Αθήνα αναφέρεται συχνά ως ο χαρακτηριστικός δείκτης που αναδεικνύει το ιδιαίτερα μικρό ποσοστό χώρων πρασίνου της πόλης έναντι άλλων πόλεων του ευρωπαϊκού χώρου που είναι σαφώς υψηλότερα. Αναφέρεται ότι το 15 m² πρασίνου ανά κάτοικο, αντιπροσωπεύει, διεθνώς, την απαραίτητη αναλογία για μια σύγχρονη πόλη (Αβδελίδης Κ., 2007).

Πίνακας 3.1. Αναλογία χώρων πρασίνου σε τετραγωνικά μέτρα ανά κάτοικο σε διάφορες ενδεικτικές πόλεις της Ευρώπης και της Αμερικής, 1994. (Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής αλλαγής, WWW6)

ΠΟΛΗ	σε m2/κατ.
Αθήνα	2,55
Θεσσαλονίκη	2,73
Λονδίνο	9,00
Παρίσι	8,54
Ρώμη	9,00
Βιέννη	20,00
Βαρσοβία	18,00
Άμστερνταμ	27,00
Ρότερνταμ	28,00
Χάγη	27,00
Ζυρίχη	10,00
Βόνη	35,00
Μπορντό	2,00
Βερολίνο	13,00
Ουάσιγκτον	50,00

Η αστικοποίηση του ελληνικού πληθυσμού άρχισε από τα μέσα του προπερασμένου αιώνα και κορυφώθηκε στη δεκαετία του 1960, κατά την οποία ο αστικός και ο ημιαστικός πληθυσμός έφθασε στο 66% και το 2001 στο 73%, σε αντίθεση με τον αγροτικό πληθυσμό που μειώθηκε αντίστοιχα στο 44% και στο 27%. Σήμερα ο αγροτικός πληθυσμός διαμένει στο 76% της εκτάσεως της ελληνικής γης με μέση πυκνότητα 15 κατοίκων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, ενώ η πυκνότητα στο σύνολο του πληθυσμού είναι 83%. Το πολεοδομικό συγκρότημα των Αθηνών και η ευρύτερη περιοχή της Αττικής, στη σύγχρονη εποχή, συγκεντρώνει το 1/3 του πληθυσμού της χώρας. Το ήμισυ του πληθυσμού της χώρας διαμένει στο λεκανοπέδιο της Αττικής και στη Θεσσαλονίκη και το μείζον στις πόλεις και κωμοπόλεις κατά μήκος των μεγάλων οδικών αξόνων. Η επαρχία ερημώνεται (WWW5).

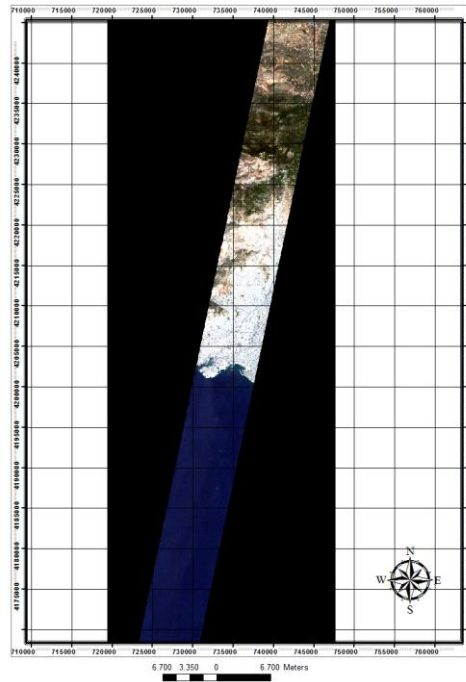


Εικόνα 3.2. Η εξέλιξη της κατανομής του πληθυσμού στην Ελλάδα (WWW9).

- **Αστικός πληθυσμός** (οικισμοί με περισσότερους από 10.000 κατοίκους)
- **Ημιαστικός πληθυσμός** (οικισμοί από 2.000 – 10.000 κατοίκους)
- **Αγροτικός πληθυσμός** (οικισμοί με λιγότερους από 2.000 κατοίκους)

3.4. ΥΛΙΚΑ & ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την επίτευξη του στόχου της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του υπερφασματικού αισθητήρα Hyperion. Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε είναι ημερομηνίας 27 Αυγούστου 2009. Ο διαδικτυακός χώρος του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου των Η.Π.Α, USGS (WWW7) παρέχει τη δυνατότητα να αποκτηθούν εικόνες των αισθητήρων Hyperion σε συγκεκριμένες ημερομηνίες ανάλογα με τους εκάστοτε στόχους που έχουν οι χρήστες. Στη προκειμένη περίπτωση η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ήδη βαθμονομημένη και ατμοσφαιρικά διορθωμένη επομένως δεν έγιναν τέτοιου είδους προ-επεξεργασίες.



Εικόνα 3.3. Η εικόνα Hyperion.

Για την εισαγωγή, την ανάλυση και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν το λογισμικό επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων ENVI 4.7 και το λογισμικό Γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων ArcGIS 10. Η χρήση του Google Earth επίσης βοήθησε στην αξιολόγηση της υπερφασματικής εικόνας και του εντοπισμού των σημείων εκπαίδευσης.

Η περιοχή μελέτης εμφανίζει μεγάλο ενδιαφέρον καθώς πρόκειται για μια αστική περιοχή η οποία βρίσκεται στην πρωτεύουσα της χώρας και με τα υπερφασματικά δεδομένα του Hyperion, θα μελετηθεί κατά πόσο αυτή η περιοχή μπορεί να ταξινομηθεί επιτυχώς με τις συγκεκριμένες τεχνικές που θα ακολουθηθούν ενώ ταυτόχρονα θα προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα και για την παρουσία αστικού πρασίνου στη πόλη. Επομένως τα αποτελέσματα μπορεί να είναι χρήσιμα τόσο για περιβαλλοντικούς (υποβάθμιση της βλάστησης, φαινόμενο αστικής θερμικής νησίδας) όσο και για κοινωνικούς λόγους (βελτίωση στη παρακολούθηση και ενημέρωση των χώρων πρασίνου).

3.4.1 Ο ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ EO-1 ΚΑΙ Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ HYPERION

Τον Νοέμβριο του 2000 η NASA (National Aeronautics and Space Administration) έθεσε σε τροχιά τον δορυφόρο EO-1 ως μέρος του πειραματικού της προγράμματος "Earth Observing". Στόχος του προγράμματος ήταν η παροχή δεδομένων παρατήρησης της γης αλλά και η αξιολόγηση νέων τεχνολογιών για μείωση του κόστους. Τελικά λόγω

του αυξημένου ενδιαφέροντος της ερευνητικής κοινότητας για τα δεδομένα που παρείχε ο δορυφόρος, επετεύχθη συμφωνία ανάμεσα στη NASA και το Γεωλογικό Ινστιτούτο των Η.Π.Α (United States Geological Survey) για την συνέχιση του προγράμματος. Στον δορυφόρο βρίσκονται σε τροχιά ο πολυφασματικός αισθητήρας ALI (Advanced Land Imager) και ο υπερφασματικός αισθητήρας Hyperion.

Ο δορυφόρος EO-1 ακολουθεί την ίδια τροχιά με τον δορυφόρο Landsat-7 υστερώντας κατά 1 περίπου λεπτό (± 5 δευτερόλεπτα).

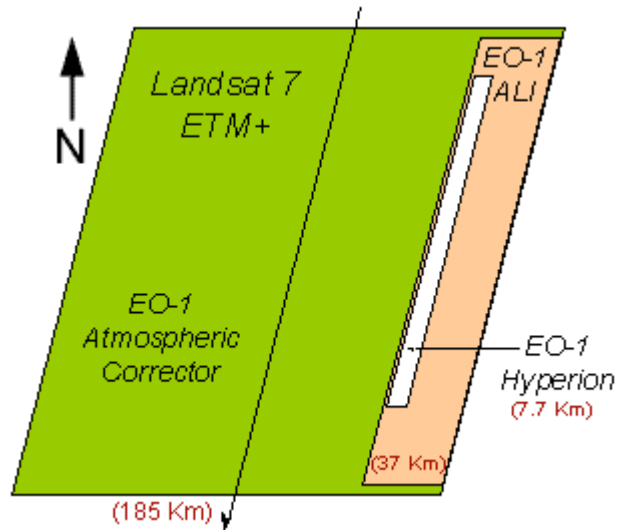


Εικόνα 3.4. Ο αισθητήρας Hyperion και ο αισθητήρας ALI αντίστοιχα (Κουκουβιάδης Δ., 2009)

Εκτός από τις περιοχές που περιλαμβάνονται μέσα στην τρέχουσα διαδρομή του δορυφόρου (διαδρομή ναδίρ), οι αισθητήρες του EO-1 έχουν την δυνατότητα να σκοπεύουν και πλάγια, επιτρέποντας την απόκτηση εικόνων από περιοχές ενδιαφέροντος οι οποίες δεν καλύπτονται κατά την τρέχουσα διαδρομή του δορυφόρου. Ουσιαστικά δηλαδή, υπάρχει η δυνατότητα για προγραμματισμό λήψεων σε τρεις διαφορετικές διαδρομές του EO-1. Οι διαδρομές αυτές είναι:

- η διαδρομή ναδίρ (κατακόρυφο πέρασμα, μία φορά κάθε 16 μέρες).
- η δυτική διαδρομή (ο δορυφόρος στοχεύει ανατολικά, 7 μέρες μετά το πέρασμα στη διαδρομής ναδίρ).
- η ανατολική διαδρομή (ο δορυφόρος στοχεύει δυτικά, 9 μέρες μετά το πέρασμα στη διαδρομή ναδίρ).

Το πλάτος της περιοχής που απεικονίζεται σε κάθε εικόνα που έχει αποκτηθεί από τον αισθητήρα Hyperion είναι ίσο με 7,7 km. Το μήκος κάθε εικόνας από τον αισθητήρα Hyperion είναι ίσο με 42 km ή ίσο με 185 km, ανάλογα με τις διαστάσεις οι οποίες έχουν καθοριστεί κατά τον προγραμματισμό. Μία κανονικού μεγέθους εικόνα (μήκους 42 km) από τον αισθητήρα ALI ή τον αισθητήρα Hyperion απαιτεί περίπου 6 δευτερόλεπτα συλλογής δεδομένων.



Εικόνα 3.5 Το πλάτος της περιοχής που απεικονίζεται σε κάθε εικόνα που έχει αποκτηθεί από τον αισθητήρα Hyperion (WWW10).

Ο αισθητήρας Hyperion αποτελεί ένα επιστημονικό όργανο το οποίο χαρακτηρίζεται από την πολύ υψηλής ποιότητας βαθμονόμηση του και βασίζεται στην τεχνολογία του υπερ-φασματικού οργάνου απεικόνισης LEWIS (HSI). Οι δυνατότητες του αισθητήρα παρέχουν ανάλυση των ιδιοτήτων των επιφανειών που σαρώνονται σε εκατοντάδες φασματικούς διαύλους, σε αντίθεση με τον μικρό αριθμό διαύλων των παραδοσιακών πολύ-φασματικών οργάνων απεικόνισης. Με την χρήση αυτού του μεγάλου αριθμού φασματικών διαύλων, τα περίπλοκα γήινα οικοσυστήματα χαρτογραφούνται και ταξινομούνται με ακρίβεια. Ο αισθητήρας Hyperion παρέχει υπερ-φασματικά δεδομένα σε 220 φασματικούς διαύλους (από 0,4 έως 2,5 μm) με χωρική ανάλυση 30 μέτρων. Αυτό το όργανο είναι ικανό να απεικονίσει μια περιοχή 7,5km από μια περιοχή 100km της εικόνας και να εξάγει λεπτομερή χαρτογράφηση και για τα 220 κανάλια με υψηλή ραδιομετρική ακρίβεια. Τα βασικότερα εξαρτήματα του οργάνου είναι: ένα εμπρόσθιο οπτικό σύστημα και δύο φασματομέτρα . Ένα για την βραχεία υπέρυθρη περιοχή (SWIR: Shortwave Infrared) και ένα για την ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχή (VNIR: Visual Near Infrared) (WWW8).

Πίνακας 3.2. Τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα Hyperion (Pearlman Jay S., 2003).

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	HYPERION
Όγκος (μήκος x πλάτος x ύψος)	(39 x 75 x 66) cm
Βάρος	49 kg
Μέση Ισχύς	51 W
Άνοιγμα τηλεσκοπίου	12 cm
Στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV)	0.043 mrad
Κατά πλάτος οπτικό πεδίο (Crosstrack FOV)	0.63 deg
Φασματική περιοχή (L1 data)	356-2477 nm
Φασματική ανάλυση	10 nm
Αριθμός φασματικών διαύλων	242(220)
Ραδιομετρική ανάλυση	12 bits
Frame rate	223,4 Hz

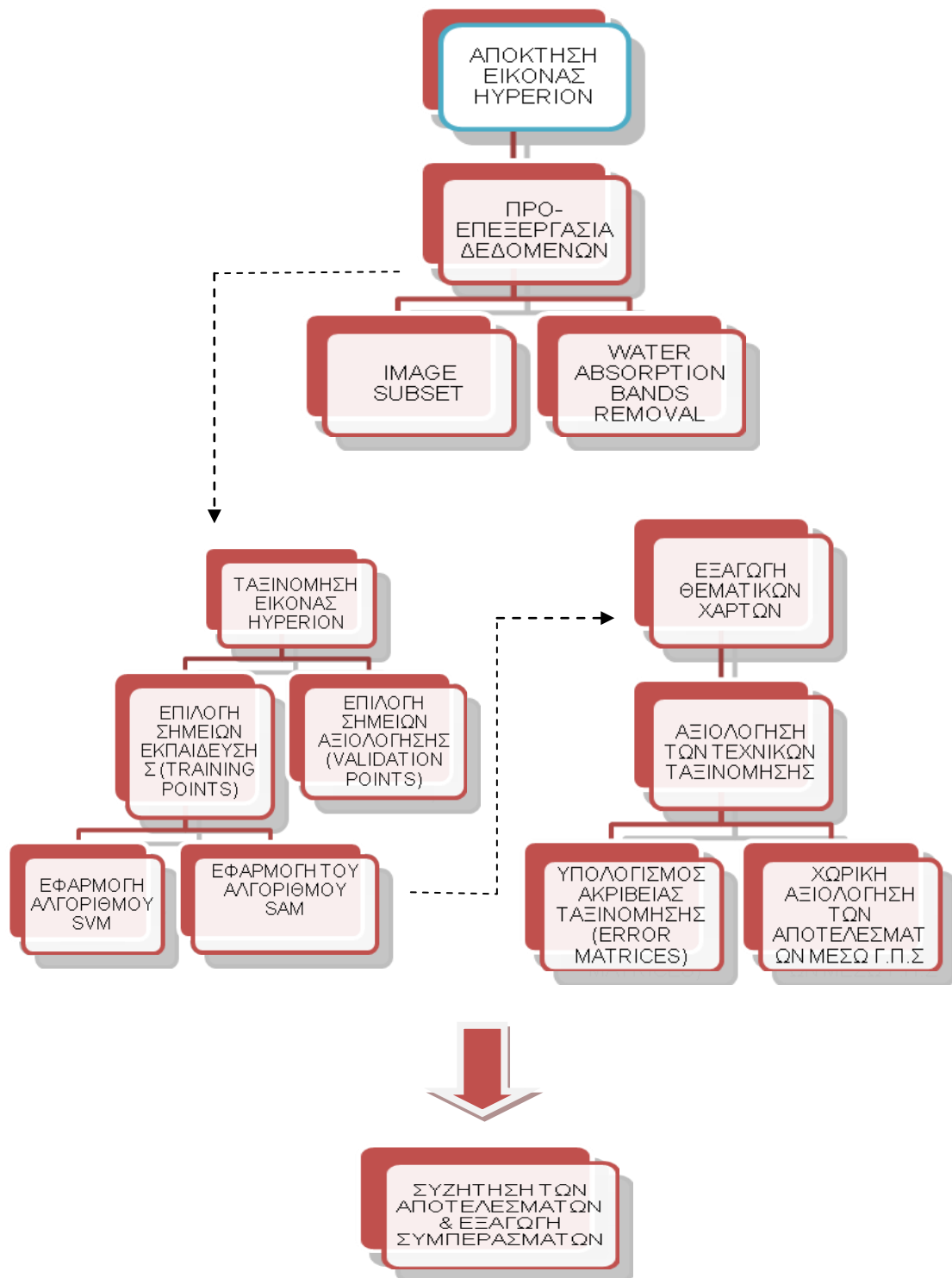
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε με όλες τις επεξεργασίες και τις τεχνικές που εφαρμόστηκαν. Ακολουθεί η επαλήθευση της ορθότητας των μεθόδων και πως αυτή εφαρμόστηκε.

4.2. ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η εικόνα του αισθητήρα Hyperion που χρησιμοποιήθηκε από την δημοσιευμένη εργασία Petropoulos et al., 2012b, ήταν ήδη ατμοσφαιρικά και γεωμετρικά διορθωμένη. Με λίγα λόγια αναφέρεται ότι από την αρχική εικόνα Hyperion απομακρύνθηκαν τα φασματικά κανάλια απορρόφησης νερού ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση από την ατμοσφαιρική διάχυση και την απορρόφηση νερού που προκλήθηκε από το μείγμα αερίων. Ακολούθως εφαρμόστηκε η τεχνική Minimum Noise Fraction (MNF) σε όλα τα φασματικά κανάλια τα οποία δεν είχαν αφαιρεθεί νωρίτερα (136 συνολικά). Η τεχνική αυτή πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ENVI 4.7 ως γραμμικός μετασχηματισμός προκειμένου να διαχωρίσει τον θόρυβο από τα δεδομένα και να μειώσει την επίδραση του συστηματικού θορύβου του αισθητήρα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας της εικόνας. Το τελικό σύνολο δεδομένων του Hyperion έπειτα και από την διαδικασία της τεχνικής MNF περιλαμβάνει 136 φασματικά κανάλια, εκ των οποίων 46 ανήκουν στην ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχή (VNIR) και 90 στη βραχεία υπέρυθρη περιοχή (SWIR). Στη συνέχεια ακολούθησε περιορισμός της αρχικής δορυφορικής εικόνας στη περιοχή που εξυπηρετούσε την παρούσα εργασία μέσω της διαδικασίας του “image subset”. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώθηκε στο λογισμικό του ENVI 4.7 από το βασικό μενού επιλογών και είχε ως στόχο τον περιορισμό της περιοχής μελέτης στο κομμάτι εκείνο της εικόνας που περιλαμβάνει αστικό ιστό και αστική βλάστηση χωρίς δασικές ή καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα της εργασίας.



Εικόνα 4.1. Σχηματικό διάγραμμα της διαδικασίας που εφαρμόστηκε στη παρούσα εργασία.

Στην αρχική εικόνα λήψης από τον αισθητήρα, η εικόνα επεκτεινόταν περιλαμβάνοντας ένα μεγάλο κομμάτι της περιοχής της Πάρνηθας και επομένως αρκετή δασική έκταση καθώς και λοιπές καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Αυτό έπρεπε να περιοριστεί για τις ανάγκες της εργασίας δεδομένου ότι δεν υπάρχει λόγος να γίνει ταξινόμηση σε περιοχές που δεν περιλαμβάνεται αστική δόμηση αλλά δάσος και άλλες χρήσεις γης.

Η επόμενη επεξεργασία που εφαρμόστηκε στην εικόνα είναι μία μάσκα προκειμένου να μην συμπεριληφθεί στην διαδικασία της ταξινόμησης η κατηγορία του νερού. Μέσω της εντολής Basic tools, από τη βασική γραμμή εντολών του λογισμικού επιλέγεται η εντολή Masking, στη συνέχεια ακολουθεί η εντολή Build mask και τέλος επιλέγεται η εικόνα που έχει δημιουργηθεί στο προηγούμενο βήμα η οποία περιλαμβάνει τη περιοχή που θα ταξινομηθεί στη συνέχεια. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να δημιουργηθεί κάποια έκφραση με την οποία θα δίνεται εντολή στο πρόγραμμα να αφαιρέσει όλα τα σημεία που περιέχουν νερό ώστε να μη συμπεριληφθούν στη ταξινόμηση της εικόνας η οποία θα ακολουθήσει με την εφαρμογή των αλγορίθμων. Αυτή η διαδικασία θα συνεισφέρει στην παράλειψη των επιπρόσθετων σφαλμάτων κατά την ταξινόμηση της εικόνας. Η έκφραση που εφαρμόστηκε είναι

[b1*b2] B1: Band Math(b1 EQ 1):water_mask B2: Band Math, (b1 EQ 1):MASK



Εικόνα 4.2 Η τελική δορυφορική εικόνα Hyperion της περιοχής μελέτης μετά τον περιορισμό της στην αστική μόνο περιοχή και μετά την αφαίρεση της κατηγορίας του νερού.

4.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Έπειτα από αρκετές δοκιμές που έγιναν, χρησιμοποιήθηκαν δύο αλγόριθμοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την υλοποίηση της συγκριτικής μελέτης στην περιοχή ενδιαφέροντος. Άλλωστε όπως έχει ήδη αναφερθεί, η επιλογή του καταλληλότερου αλγορίθμου εξαρτάται από μια σειρά από παράγοντες σύμφωνα με την εκάστοτε περίπτωση μελέτης. Από την περίπτωση μελέτης θα εξαρτηθεί και η επιτυχία εφαρμογής του αλγορίθμου. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης μπορεί να εφαρμόζονται σε επίπεδο εικονοστοιχείου (per-pixel), σε επίπεδο υπό-εικονοστοιχείου (sub-pixel) και ανά πεδίο (per field). Σε περιπτώσεις μη ομογενών εικονοστοιχείων (όπως σε μια αστική περιοχή), αλλάζει και η ακρίβεια της ταξινόμησης. Επομένως σε περιπτώσεις που υπάρχει πληθώρα συνδυασμών φασματικών υπογραφών, ποικιλομορφία στο περιεχόμενο και την υφή μιας περιοχής προτιμούνται μη παραμετρικοί αλγόριθμοι όπως για παράδειγμα τα νευρωνικά δίκτυα (neural network) ή τα δέντρα των αποφάσεων (decision trees). Συνοψίζοντας, οι τρεις βασικότεροι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι ο στόχος της ταξινόμησης, τα διαθέσιμα λογισμικά προγράμματα για την επεξεργασία των δεδομένων και ο αποτελεσματικός διαχωρισμός των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης. Φυσικά δε θα πρέπει να παραλείπεται και η εμπειρία του ερευνητή καθώς και τα διαθέσιμα δεδομένα προς ανάλυση. Επιπλέον θα πρέπει να τονιστεί ότι ο συνδυασμός βοηθητικών δεδομένων, όπως τοπογραφικά, εδαφολογικά και άλλα, αναλόγως της εργασίας, μπορούν να βελτιώσουν αισθητά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης και να βοηθήσουν σημαντικά τα δορυφορικά δεδομένα. Τα Γ.Π.Σ. έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τα αποτελέσματα που δίνουν οι αλγόριθμοι (Lu & Weng, 2007).

4.4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΜΗ-ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Στους αλγόριθμους μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, ο αλγόριθμος αναλαμβάνει να διαχωρίσει αυτόματα τις κατηγορίες μιας περιοχής βασιζόμενος καθαρά και μόνο στις αριθμητικές-στατιστικές πληροφορίες των δεδομένων. Ο ερευνητής απλά καθορίζει τον αριθμό των κατηγοριών που θέλει να δημιουργηθούν (WWW2). Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας αποτελούν οι αλγόριθμοι ISODATA και K-MEANS.

Η μέθοδος ταξινόμησης ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος ταξινόμησης και κατά την εφαρμογή της υπάρχουν κάποιοι παράμετροι που θα πρέπει να εισάγει ο χρήστης. Μερικές από αυτές είναι οι εξής: Πρώτον ο μέγιστος αριθμός κατηγοριών που θα αναγνωριστούν, έπειτα το μέγιστο ποσοστό των εικονοστοιχείων που οι τιμές τους επιτρέπεται να παραμείνουν αμετάβλητες μεταξύ των επαναλήψεων και τέλος όταν ο αριθμός των διαφορετικών

εικονοστοιχείων υπερβεί αυτό το κατώφλι, ο αλγόριθμος τερματίζεται ενώ ο χρήστης μπορεί να καθορίσει και τον μέγιστο αριθμό των επαναλήψεων. Ο αλγόριθμος K-MEANS δεν διαφέρει πολύ από τον ISODATA. Χρησιμοποιεί μια απλή προσέγγιση για το διαχωρισμό των φασματικών κατηγοριών και απαιτεί από το χρήστη, την επιλογή του αριθμού των ομάδων που θα δημιουργηθούν από τα δεδομένα. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος αυθαίρετα, εντοπίζει τα κέντρα των κατηγοριών και τελικά μετά από μια επαναληπτική διαδικασία τα επαναπροσδιορίζει, έως ότου επιτευχθεί ένας ικανοποιητικός φασματικός διαχωρισμός (WWW2). Στη παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι δύο παραπάνω αλγόριθμοι μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης προκειμένου να γίνει ένας αρχικός διαχωρισμός των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης. Αποτέλεσε μια πρώτη προσέγγιση της περιοχής μελέτης και προτείνεται από αρκετούς ερευνητές πριν την εφαρμογή των αλγόριθμων επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Μερτίκας, 1999).

4.5. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Στις τεχνικές επιβλεπόμενης ταξινόμησης, ο ερευνητής είναι αυτός που θα προσπαθήσει να απεικονίσει ομογενή και αντιπροσωπευτικά σημεία-περιοχές διαφορετικών κατηγοριών και στη περίπτωση της παρούσας εργασίας διαφορετικών τύπων κάλυψης γης. Αυτά τα σημεία ονομάζονται σημεία εκπαίδευσης (training samples) και επιλέγονται με βάση την εμπειρία και τη γνώση του ερευνητή για την περιοχή που μελετάται, μέσω οπτικής επιθεώρησης ή μπορεί και να βασίζονται σε άλλα δεδομένα όπως ήδη υπάρχοντες χάρτες ή αποτελέσματα επιτόπιων ελέγχων. Έτσι ο ερευνητής επιβλέπει τον διαχωρισμό των κατηγοριών και εκπαιδεύει το σύστημα να αναγνωρίζει φασματικά παρόμοιες περιοχές σε κάθε κατηγορία. Το σύστημα χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο προκειμένου να αποφασίσει τις αριθμητικές φασματικές υπογραφές που ανήκουν σε κάθε κατηγορία. Μόλις το σύστημα ταξινομήσει όλες τις υπογραφές κάθε κατηγορίας, η κάθε κυψελίδα της εικόνας συγκρίνεται με αυτές και τελικά η κάθε κατηγορία ταξινομείται ανάλογα με το ποια φασματική υπογραφή “πλησιάζει” περισσότερο. Προβλήματα που προκύπτουν σε απεικονίσεις αστικών περιοχών είναι το μεγάλο φασματικό εύρος κοινών κατηγοριών, που αναγκάζει το χρήστη σε διαχωρισμό τους, η αραιή βλάστηση που δυσκολεύει την καταγραφή τύπων εδάφους και τα πολλά σκιασμένα εικονοστοιχεία που υπάρχουν σε πυκνοδομημένες περιοχές.

Για την καλύτερη επιλογή των αλγορίθμων που εν τέλει θα βασιστεί η συγκριτική μελέτη, έγιναν αρκετές δοκιμές. Οι επιπλέον αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) και ο αλγόριθμος της απόστασης Mahalanobis. Η μέθοδος της απόστασης Mahalanobis χρησιμοποιεί τα στατιστικά στοιχεία κάθε φασματικής κατηγορίας για την υλοποίηση της ταξινόμησης. Είναι όμοια με την τεχνική της μέγιστης απόστασης και θεωρεί ότι η συμμεταβλητότητα των

κατηγοριών που περιλαμβάνουν τα δεδομένα είναι ίσες. Όλα τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται στην πλησιέστερη κατηγορία εκτός και αν οριστεί ένα κατώφλι απόστασης. Στην περίπτωση που κάποια εικονοστοιχεία δεν φτάσουν σε αυτό το κατώφλι τότε παραμένουν αταξινόμητα (ENVI User's Guide). Επομένως, για την εφαρμογή του συγκεκριμένου αλγορίθμου για την ταξινόμηση ενός άγνωστου εικονοστοιχείου σε κάποια από τις φασματικές κατηγορίες, ο χρήστης πρέπει πρώτα να υπολογίσει τον πίνακα συμμεταβλητότητας για κάθε μία φασματική κατηγορία, βασιζόμενος φυσικά στα σημεία εκπαίδευσης που έχει επιλέξει. Το κάθε άγνωστο εικονοστοιχείο ταξινομείται στην ομάδα από την οποία απέχει την ελάχιστη απόσταση.

Η τεχνική της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood) χρησιμοποιεί τα δεδομένα των περιοχών εκπαίδευσης και θεωρεί ως δεδομένο ότι τα στατιστικά της κάθε κατηγορίας σε κάθε διάυλο είναι κανονικά κατανεμημένα υπολογίζοντας την πιθανότητα μια κυψελίδα να ανήκει στη συγκεκριμένη κατηγορία. Ο αλγόριθμος, για την υλοποίηση των ταξινομήσεων, εκτός από τις μέσες τιμές, λαμβάνει υπόψη και τη μεταβλητότητα των τιμών φωτεινότητας για κάθε φασματική κατηγορία. Κάθε κυψελίδα ταξινομείται τελικά στη κατηγορία στην οποία έχει την μέγιστη πιθανότητα και όλες οι κυψελίδες ταξινομούνται εκτός και εάν ο ερευνητής θέσει κάποιο κατώφλι (threshold) κάτω από το οποίο η κυψελίδα παραμένει μη ταξινομημένη (Paola & Schowengerdt, 1995).

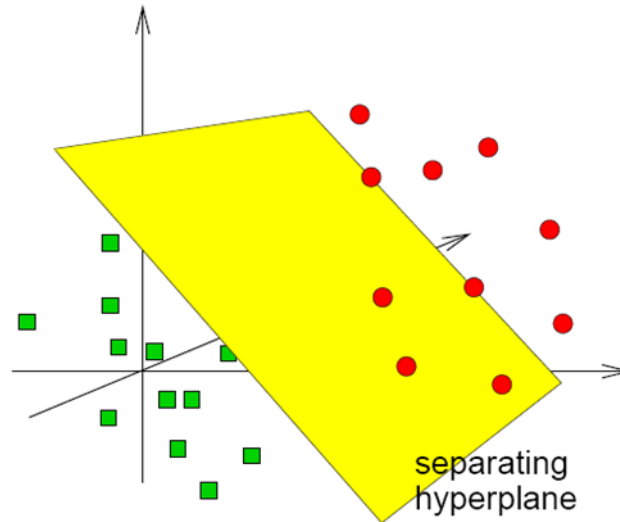
4.6. Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΩΝ (Support Vector Machine, SVMs)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η συγκριτική μελέτη θα βασιστεί στην εφαρμογή δύο αλγορίθμων. Ο αλγόριθμος 'SVMs' είναι μια μη παραμετρική στατιστική μέθοδος εκπαίδευσης. Η κύρια ιδέα λειτουργίας αυτού του αλγορίθμου είναι η εύρεση ενός υπερ-επιπέδου απόφασης το οποίο θα διαχωρίζει το σύνολο των δεδομένων σε προκαθορισμένες και διακριτές κατηγορίες-κλάσεις. Η ιδιαιτερότητά του έγκειται στο γεγονός ότι διαχωρίζει τα δεδομένα με τη μέγιστη δυνατή απόσταση κάνοντας τα λιγότερα δυνατά λάθη (Vapnik, 1995).

Ο αλγόριθμος εμφανίζεται με τη μορφή τεσσάρων διαφορετικών τύπων συναρτήσεων: γραμμικός (linear function), πολυωνυμικός (polynomial function), σιγμοειδής (sigmoid function) και ακτινοειδής (radial basis function-RBF) η οποία είναι και προεπιλεγμένη από το πρόγραμμα του ENVI 4.7 καθώς παρουσιάζει καλά αποτελέσματα. Οι αντίστοιχες μαθηματικές εκφράσεις των παραπάνω τύπων είναι οι εξής:

Γραμμική	$K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$
Πολυωνυμική	$K(x_i, x_j) = (\gamma x_i^T x_j + r)^d, \gamma > 0$
RBF	$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \ x_i - x_j\ ^2), \gamma > 0$
Σιγμοειδής	$K(x_i, x_j) = \tanh(\gamma x_i^T x_j + r)$

(ENVI User's Guide)

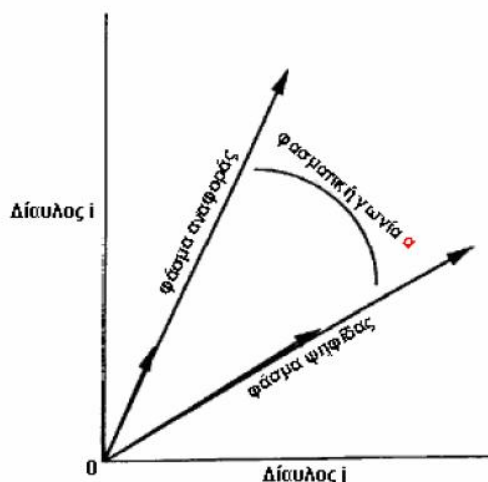


Εικόνα 4.3. Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας του αλγόριθμου.

4.7. Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΟΥ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΓΩΝΙΑΣ (Spectral Angle Mapper, SAM).

Η μέθοδος SAM επιτρέπει ταχύτατη ταξινόμηση, υπολογίζοντας τη φασματική ομοιότητα μεταξύ του φάσματος που προέρχεται από τη ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση και τη φασματική ανακλαστικότητα αναφοράς (Kruse et al., 1993). Εξετάζει κάθε εικονοστοιχείο της απεικόνισης και αξιολογεί την ομοιότητα που εμφανίζουν οι φασματικές υπογραφές, για να αναιρέσει την επίδραση της σκίασης, τονίζοντας έτσι τα χαρακτηριστικά της ανάκλασης. Η τεχνική του Spectral Angle Mapper μετρά τη φασματική ομοιότητα, υπολογίζοντας τη γωνία μεταξύ δύο φασμάτων, που τα θεωρεί ως διανύσματα σε ένα n -διάστατο χώρο. Μικρές γωνίες μεταξύ των δύο διανυσμάτων υποδεικνύουν μεγάλη ομοιότητα και μεγάλες γωνίες μικρή ομοιότητα. Τα βασικά πλεονεκτήματα του αλγόριθμου SAM είναι ότι αποτελεί ένα γρήγορο και εύκολο τρόπο για τη χαρτογράφηση της ομοιότητας μεταξύ της άγνωστης φασματικής ανακλαστικότητας μιας απεικόνισης με το φάσμα αναφοράς. Είναι επίσης μία ισχυρή μέθοδος ταξινόμησης, καθώς μπορεί και καταστέλλει την επιρροή των σκιασμένων περιοχών της εικόνας, τονίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο τα χαρακτηριστικά των στόχων(endmembers), δηλαδή την ανακλαστικότητα

αναφοράς, η καθαρότητα της οποίας είναι σημαντική για την ακρίβεια του αποτελέσματος της ταξινόμησης (ENVI User's Guide).



Εικόνα 4.4. Το φάσμα του εικονοστοιχείου και το φάσμα του στόχου (Τσακίρη-Στρατή Μ., 2007).

4.8. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

4.8.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

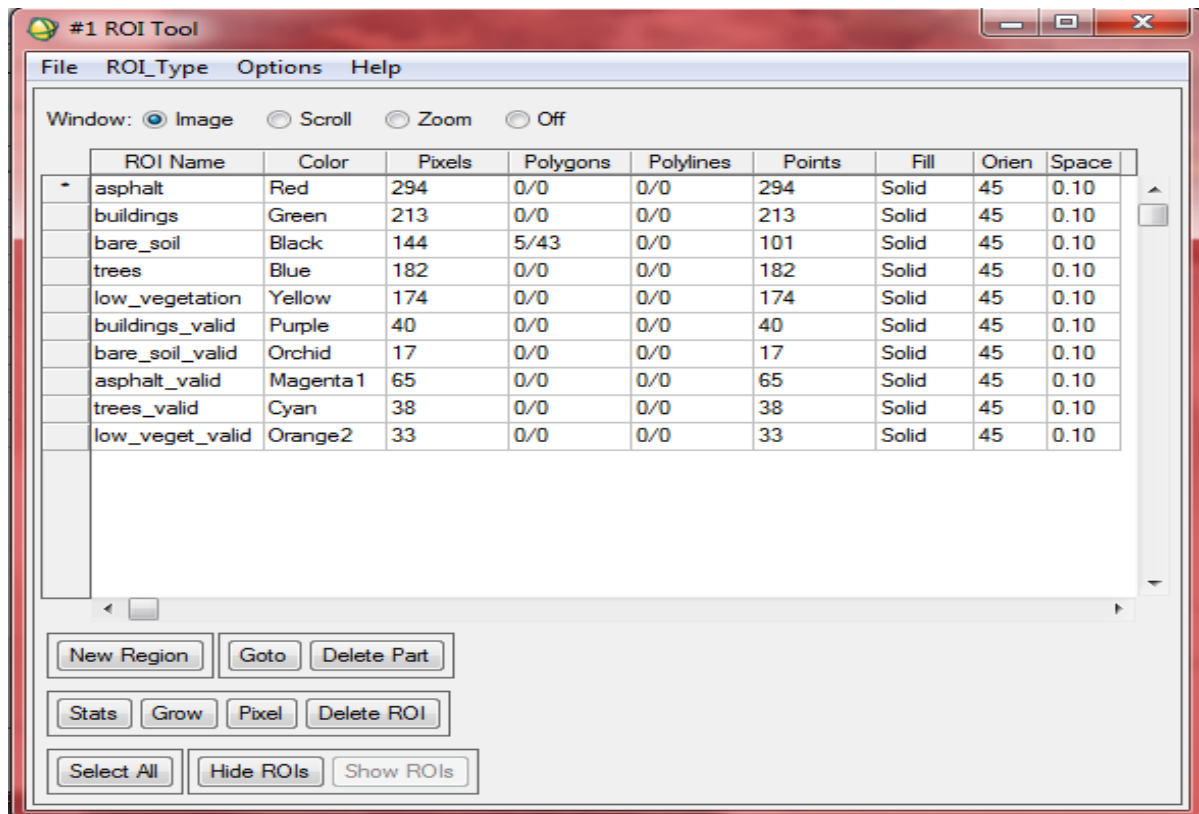
Η εικόνα που χρησιμοποιείται έχει 136 φασματικούς διαύλους (φασματικά κανάλια). Για την επίτευξη μιας σωστής ταξινόμησης της εικόνας της περιοχής μελέτης, απαιτείται η επιλογή των κατάλληλων σημείων εκπαίδευσης (training samples). Στην εφαρμογή του ENVI 4.7 ονομάζονται ROI's (regions of interest). Αυτά τα σημεία θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο αντιπροσωπευτικά και αριθμητικά επαρκή. Τα σημεία εκπαίδευσης επιλέγονται συνήθως από το πεδίο εργασίας ή από αεροφωτογραφίες υψηλής χωρικής ανάλυσης και άλλες δορυφορικές εικόνες. Στην περίπτωση της μελέτης μας, επειδή πρόκειται για αστική περιοχή η οποία είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και με μεγάλη ετερογένεια, η επιλογή των σημείων γίνεται δύσκολα. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως το Zoom παράθυρο εργασίας και έγινε επιλογή κάθε εικονοστοιχείου ξεχωριστά και όχι πολυγώνων για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια στη συλλογή των κατάλληλων σημείων. Κύρια βοήθεια στο αρχικό στάδιο των σημείων είναι η αντίστοιχη εικόνα από το Google Earth της ίδιας ημερομηνίας. Επιπρόσθετα, η υπερφασματική εικόνα επεξεργάζεται στη "CIR band" καθώς πρακτικά με αυτόν τον τρόπο η βλάστηση φαίνεται με μεγάλη ευκρίνεια στις περιοχές με κόκκινο χρώμα.

Πρακτικά τα βήματα που ακολουθούνται είναι: Από το βασικό μενού επιλογών: επιλέγεται Basic Tools, στη συνέχεια Region of interest και τέλος ROI tool. Στη στήλη ROI name δημιουργώ τις κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης και μόλις ολοκληρωθεί αυτό το βήμα οι κατηγορίες αποθηκεύονται σε αρχείο.

Πίνακας 4.1. Οι κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ/ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ	A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Άσφαλτος	1	Περιοχές που καλύπτονται από άσφαλο, τσιμέντο (δρόμοι)
Κτίρια	2	Περιοχές που είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό δομημένες
Γυμνό Έδαφος	3	Ανοιχτές περιοχές μη δομημένες, χωρίς βλάστηση σε πολύ μεγάλο βαθμό, βραχώδης ή καμένες
Δέντρα	4	Περιοχές που καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό από δέντρα
Χαμηλή Βλάστηση	5	Περιοχές που καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό από χαμηλή βλάστηση (π.χ. γρασίδι, θάμνοι)

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ότι η επιλογή των συγκεκριμένων κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης έγινε με σκοπό να δώσει μια όσο το δυνατόν καλύτερη ταξινόμηση της αστικής περιοχής. Αρχικά έγινε ο διαχωρισμός σε διαπερατά από νερό και μη διαπερατά από νερό σημεία προκειμένου να διαχωριστεί νοητικά ο χώρος σε σημεία όπου υπάρχει βλάστηση και σε σημεία όπου ο χώρος είναι δομημένος. Έχοντας αυτό ως αρχή, δημιουργήθηκαν περαιτέρω κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης που αντιπροσώπευαν αυτά τα σημεία. Δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες των κτιρίων και της ασφάλτου οι οποίες αντιπροσώπευαν τις μη διαπερατές σε νερό επιφάνειες καθώς περιελάμβαναν τους δρόμους και όλα τα κτίρια είτε πρόκειται για κατοικίες με ταράτσες ή κεραμοσκεπές είτε πρόκειται για επαγγελματικούς χώρους όπως εργοστάσια. Οι υπόλοιπες κατηγορίες που δημιουργήθηκαν και ανταποκρίνονταν στα διαπερατά από το νερό σημεία είναι η κατηγορία των δέντρων, η οποία περιλαμβάνει πάρκα ή εκτάσεις όπου κυριαρχεί η παρουσία δέντρων, η κατηγορία της χαμηλής βλάστησης η οποία περιλαμβάνει τα γήπεδα ή τις εκτάσεις που κυριαρχεί το γρασίδι ή οι θάμνοι και τέλος η κατηγορία του γυμνού εδάφους που περιλαμβάνει περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει δόμηση, αλλά δεν υπάρχει και βλάστηση όπως για παράδειγμα περιοχές στις οποίες είχε προηγηθεί πυρκαγιά ή περιοχές στις οποίες επιτελούνται ίσως κάποια έργα.



Εικόνα 4.5. Το εικονίδιο στο οποίο φαίνονται τα σημεία εκπαίδευσης (ROI's) και τα σημεία αξιολόγησης (validation ROI's) της περιοχής μελέτης.

Η επιλογή του αριθμού των σημείων εκπαίδευσης ανά κατηγορία χρήσης/κάλυψης γης έγινε βάση κανόνων που υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Οι Rosenfield et al. (1982) καθόρισαν κάποιες κατευθυντήριες γραμμές για την επιλογή του ελάχιστου αριθμού εικονοστοιχείων. Η προσέγγισή τους βασίστηκε στο ότι ο αριθμός των εικονοστοιχείων έπρεπε να διασφαλίζει ότι ο μέσος όρος των εικονοστοιχείων (ο αριθμός των ορθών ταξινομήσεων διαιρούμενος με τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων ανά κατηγορία) είναι στο 10% του μέσου όρου όλων των εικονοστοιχείων (η ακρίβεια της ταξινόμησης για τη συγκεκριμένη κατηγορία) σε ένα επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Με αυτό τον τρόπο έδιναν προτεραιότητα στη διασφάλιση του ότι η ακρίβεια των εικονοστοιχείων είναι μια λογική και πιστή προσέγγιση της ακρίβειας του πραγματικού χάρτη.

Οι Van Genderen et al (1978) από την άλλη, στήριξαν τη προσέγγισή τους στην διασφάλιση του ότι το σετ των εικονοστοιχείων που έχει επιλεχθεί είναι αρκετά αντιπροσωπευτικό. Και οι δύο προσεγγίσεις έχουν τα μειονεκτήματά τους, εντούτοις εάν συνδυαστούν σε μία πρακτική μέθοδο προκύπτει ότι ο ιδανικός αριθμός δειγμάτων ανά κατηγορία είναι μεταξύ 30 και 60 δείγματα ανά κατηγορία (Richards & Xiuping, 2006). Μια ευρεία κατευθυντήρια γραμμή είναι τουλάχιστον 50 σημεία ανά κατηγορία, ωστόσο τα σημεία αυξάνονται σε 100 εάν η περιοχή μελέτης μεγαλώνει και θα πρέπει πάντα να

λαμβάνεται υπόψη η φασματική διακύμανση της περιοχής μελέτης η οποία θα μεταβάλλει και τον αριθμό των σημείων αντίστοιχα.

Ο αριθμός των σημείων εκπαίδευσης που έχει επιλεχθεί θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχουν υπάρχουν περισσότερα σημεία σε κατηγορίες οι οποίες περιλαμβάνουν αμιγείς κατηγορίες και λιγότερα σε κατηγορίες οι οποίες περιλαμβάνουν περισσότερο συγκεχυμένες κατηγορίες. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η ακρίβεια της ταξινόμησης. Ο στόχος είναι να παραληφθούν τόσα σημεία ώστε να ανταποκρίνονται στις στατιστικές αρχές και να προκύψει ένα επαρκές σύνολο σημείων το οποίο θα δημιουργήσει και ένα κατάλληλο πίνακα λάθους (error matrix) όσον αφορά τον χρόνο, το κόστος και τους πρακτικούς περιορισμούς που σχετίζονται με την συγκεκριμένη εφαρμογή της Τηλεπισκόπησης.

Ένας απλός κανόνας υπολογισμού του κατάλληλου αριθμού δειγμάτων είναι ο εξής:

$$n = B\pi_i(1-\pi_i) / b^2$$

όπου:

- n : ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων
- n_i : η συχνότητα που παρατηρείται σε κάθε κατηγορία i με $i = 1, \dots, k$
- π_i : η αναλογία των εικονοστοιχείων σε μία κατηγορία i με π_i να ανήκει σε ένα διάστημα S που θα είναι τουλάχιστον $1-\alpha$
- b_i : η επιθυμητή ακρίβεια της κατηγορίας i
- B : η τιμή που έχει προκύψει από τον χ^2 (chi square) πίνακα όπου θεωρείται: βαθμοί ελευθερίας 1 και $1-\alpha/k$ με k : ο συνολικός αριθμός των κατηγοριών και α : η επιθυμητή συνολική ακρίβεια ταξινόμησης.

Σε περίπτωση που υπάρξει ένα χειρότερο σενάριο, όταν δηλαδή $\pi=50\%$ οπότε και η αναλογία των κατηγοριών (π 's) είναι άγνωστη (τότε πριν τη ταξινόμηση) ισχύει:

$$n = B / 4b^2$$

(Congalton & Green, 1999).

Για να ακολουθήσει η αξιολόγηση των παραπάνω μεθόδων ταξινόμησης, θα πρέπει για τα σημεία εκπαίδευσης της κάθε κατηγορίας να επιλεχθούν και τα αντίστοιχα σημεία αξιολόγησης (validation points) για όλες τις κατηγορίες. Αυτά τα σημεία δεν θα πρέπει να συμπίπτουν με τα σημεία εκπαίδευσης και ο αριθμός τους να είναι περίπου στο 1/5 του αριθμού των σημείων εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία. Αφού έχουν επιλεχθεί όλα τα σημεία εκπαίδευσης και αξιολόγησης, το επόμενο βήμα είναι η εφαρμογή των αλγορίθμων επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

4.8.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Από το βασικό μενού επιλογών του προγράμματος ENVI, επιλέγονται με τη σειρά οι παρακάτω εντολές: πρώτα επιλέγεται Classification, στη συνέχεια supervised και τέλος SVMs. Στο κύριο παράθυρο του αλγορίθμου επιλέγονται οι πέντε κατηγορίες που έχουν δημιουργηθεί και περιλαμβάνουν τα σημεία εκπαίδευσης και στην επιλογή που βρίσκεται παρακάτω και αφορά την επιλογή του τύπου συνάρτησης του αλγορίθμου που θα χρησιμοποιηθεί, διενεργήθηκαν δοκιμές και για τον προεπιλεγμένο RBF (radial basis function) τύπο αλλά και για τον πολυωνυμικό (polynomial) προκειμένου να ελεγχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια πάλι με τον ίδιο τρόπο από το βασικό μενού επιλογών του προγράμματος ENVI, επιλέγονται με τη σειρά οι παρακάτω εντολές: πρώτα επιλέγεται Classification, στη συνέχεια supervised και τέλος Spectral Angle Mapper. Στον συγκεκριμένο αλγόριθμο θα πρέπει να επιλεγθούν τα σημεία εκπαίδευσης από τον φάκελο που είναι αποθηκευμένα και με αυτόν τον τρόπο να εισαχθούν στους υπολογισμούς. Σε αυτόν τον αλγόριθμο έγιναν δοκιμές θέτοντας ως μέγιστη γωνία 0,1 (το οποίο είναι και προεπιλεγμένο), μέγιστη γωνία 0,3 και μέγιστη γωνία 0,4. Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι κατά την επιλογή της γωνίας 0,3 και 0,4 τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου εμφάνισαν ίσα ποσοστά ακρίβειας ενώ ήταν εμφανώς καλύτερη η επίδοση του αλγόριθμου με πολύ υψηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης συγκριτικά με την προεπιλεγμένη γωνία 0,1.

Τα αντικείμενα του αστικού τοπίου μπορούν να αναγνωριστούν και να ξεχωρίσουν δύσκολα κάποιες φορές λόγω της χωρικής ανάλυσης και της ετερογένειας του τοπίου, αλλά ωστόσο αυτό που θα βοηθήσει πολύ στην αναγνώρισή τους είναι η φασματική ανακλαστικότητα τους. Η μελέτη του τοπίου δηλαδή θα βελτιωθεί αισθητά από την εκμετάλλευση των ιδιοτήτων των εικόνων μετρώντας την ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε όρους μήκους κύματος. Υπενθυμίζεται ότι κάποια υλικά ανακλούν ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος, ενώ άλλα απορροφούν τα ίδια μήκη κύματος. Στη συγκεκριμένη εργασία παρατίθενται παρακάτω οι φασματικές υπογραφές των αντικειμένων προς μελέτη. Η κάθε κατηγορία χρήσης/κάλυψης γης ανακλά ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος και αυτή η πληροφορία μπορεί να φανεί ιδιαιτέρως χρήσιμη στον διαχωρισμό των κατηγοριών καθώς και να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικούς λόγους.

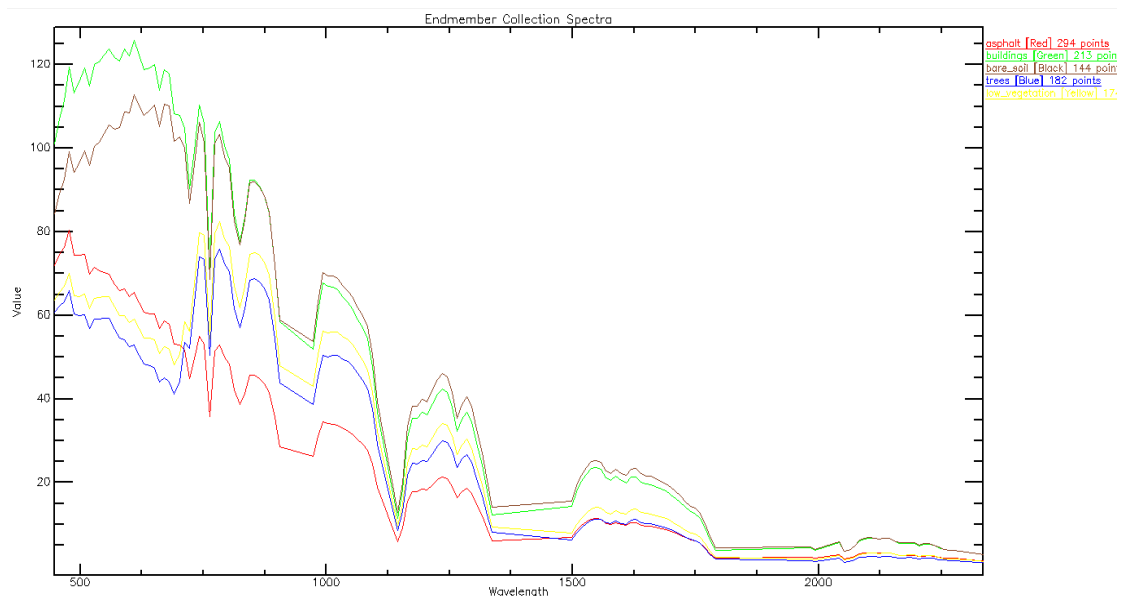
Ακολουθεί ο πίνακας στον οποίο φαίνεται η φασματική διαχωρισιμότητα ανάμεσα στα ζεύγη των σημείων εκπαίδευσης όπως υπολογίστηκε από το λογισμικό ENVI 4.7. ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence), Pair Separation (least to most) (Richards, 1999).

Πίνακας 4.2 Δείκτης φασματικού διαχωρισμού για όλα τα ζευγάρια των κλάσεων.

asphalt [Red] 294 points and buildings [Green] 213 points	2.00000000
asphalt [Red] 294 points and low_vegetation [Yellow] 174 points	2.00000000
trees [Blue] 182 points and low_vegetation [Yellow] 174 points	2.00000000
asphalt [Red] 294 points and trees [Blue] 182 points	2.00000000
buildings [Green] 213 points and low_vegetation [Yellow] 174 points	2.00000000
buildings [Green] 213 points and trees [Blue] 182 points	2.00000000
buildings [Green] 213 points and bare_soil [Black] 144 points	2.00000000
asphalt [Red] 294 points and bare_soil [Black] 144 points	2.00000000
bare_soil [Black] 144 points and low_vegetation [Yellow] 174 points	2.00000000
bare_soil [Black] 144 points and trees [Blue] 182 points	2.00000000

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται η φασματική διαχωρισιμότητα των σημείων εκπαίδευσης που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση της περιοχής με τη χρήση των ανωτέρω αλγορίθμων. Το λογισμικό ENVI 4.7 ολοκλήρωσε τους υπολογισμούς ανά ζεύγη και όπως φαίνεται το αποτέλεσμα είναι άνω του 1,9. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η φασματική διαχωρισιμότητα είναι πολύ καλή και επομένως τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι κατάλληλα για την ταξινόμηση και τη χρήση τους από τους αλγόριθμους με σκοπό να δοθούν έγκυρα αποτελέσματα.

Με τη βοήθεια των φασματικών υπογραφών που φαίνονται στο επόμενο διάγραμμα, επαληθεύτηκαν τα σημεία εκπαίδευσης. Με αυτά τα διαγράμματα φαίνεται και η φασματική ανακλαστικότητα του κάθε υλικού που συμπεριλαμβάνεται στη περιοχή μελέτης.



Εικόνα 4.6. Αντιπροσωπευτικά διαγράμματα φασματικής ανακλαστικότητας όλων των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης (training points).

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα οι φασματικές υπογραφές των αντικειμένων είναι αρκετά συγκεχυμένες, πράγμα που επιβεβαιώνει την ιδιαιτερότητα της αστικής περιοχής. Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων ταξινόμησης και παρέχεται η ακρίβεια της κάθε ταξινόμησης. Παράλληλα αναφέρονται και οι τεχνικές αξιολόγησης των αποτελεσμάτων που εφαρμόστηκαν.

4.9. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Αφού έχουν εφαρμοστεί οι τεχνικές ταξινόμησης, θα πρέπει να ακολουθήσει η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και η καταγραφή των σφαλμάτων προκειμένου να τεκμηριωθεί η καλύτερη επίδοση του αλγόριθμου. Στη παρούσα εργασία, για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική του πίνακα ακρίβειας (Congalton, 1991). Με αυτή τη μέθοδο αξιολογείται η ακρίβεια των χαρτών κάλυψης γης που προκύπτουν από την εφαρμογή των δύο αλγορίθμων.

Κατά την εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης προκύπτουν σφάλματα τα οποία μπορεί να προέρχονται από: τη μη αναγνώριση των τεμαχίων γης, την υπερβολική γενίκευση, τα σφάλματα καταγραφής, τις μεταβολές στην ερμηνεία των εικόνων κ.ά. Η απλούστερη αιτία σφαλμάτων σχετίζεται με την εσφαλμένη αντιστοίχιση των ειδών της πληροφορίας με τις φασματικές κατηγορίες. Στον πίνακα που προκύπτει, για κάθε

δειγματοληπτικό σημείο με το οποίο ελέγχεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης, παρουσιάζεται η προκύπτουσα ταξινόμηση, κατά στήλες, ενώ η επαλήθευση με στοιχεία εδάφους δίδεται κατά γραμμές. Τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα δείχνουν τους αριθμούς των δειγμάτων στα οποία τα αποτελέσματα της ταξινόμησης συμφωνούν με τα στοιχεία αναφοράς που είναι επαληθευμένα. Τα εκτός διαγωνίου στοιχεία και σε κάθε γραμμή του πίνακα αντιστοιχούν στους αριθμούς των δειγμάτων που έχουν καταχωρηθεί εσφαλμένα κατά τη ταξινόμηση της εικόνας. Τα σφάλματα αυτά της ταξινόμησης ονομάζονται σφάλματα παρερμηνείας (commission errors). Τα εκτός διαγωνίου στοιχεία και σε κάθε στήλη του πίνακα ενδεχομένων είναι τα σφάλματα παράβλεψης (omission errors).

Το πρωταρχικό στατιστικό στοιχείο του πίνακα που εξετάζεται είναι η συνολική ακρίβεια (overall accuracy) της ταξινόμησης. Αντιπροσωπεύει το ποσοστό των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων και ισούται με τον συνολικό αριθμό των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων κάθε κατηγορίας χρήσης/κάλυψης γης προς το σύνολο των εικονοστοιχείων κάθε κατηγορίας. Στη συνέχεια εξετάζοντας τον πίνακα, λαμβάνονται σημαντικά στοιχεία από την ακρίβεια του χρήστη (user's accuracy), δηλαδή τι πιθανότητα έχει κάποιο εικονοστοιχείο που έχει ταξινομηθεί σε κάποια κατηγορία να αντιπροσωπεύει αυτή τη κατηγορία και στη πραγματικότητα.

Επιπρόσθετα στοιχεία λαμβάνονται και από την ακρίβεια του αναλυτή (producer's accuracy), δηλαδή πόσο επιτυχώς έχουν ταξινομηθεί τα σημεία εκπαίδευσης σε κάποια κατηγορία από τον αλγόριθμο. Αν από το 100 αφαιρεθεί το ποσοστό της ακρίβειας του χρήστη (user's accuracy), προκύπτει το % ποσοστό του σφάλματος παρερμηνείας ($100 - \text{user's accuracy} = \% \text{ commission error}$). Αν από το 100 αφαιρεθεί το ποσοστό της ακρίβειας του αναλυτή, προκύπτει το σφάλμα παράβλεψης ($100 - \text{producer's accuracy} = \text{omission error}$).

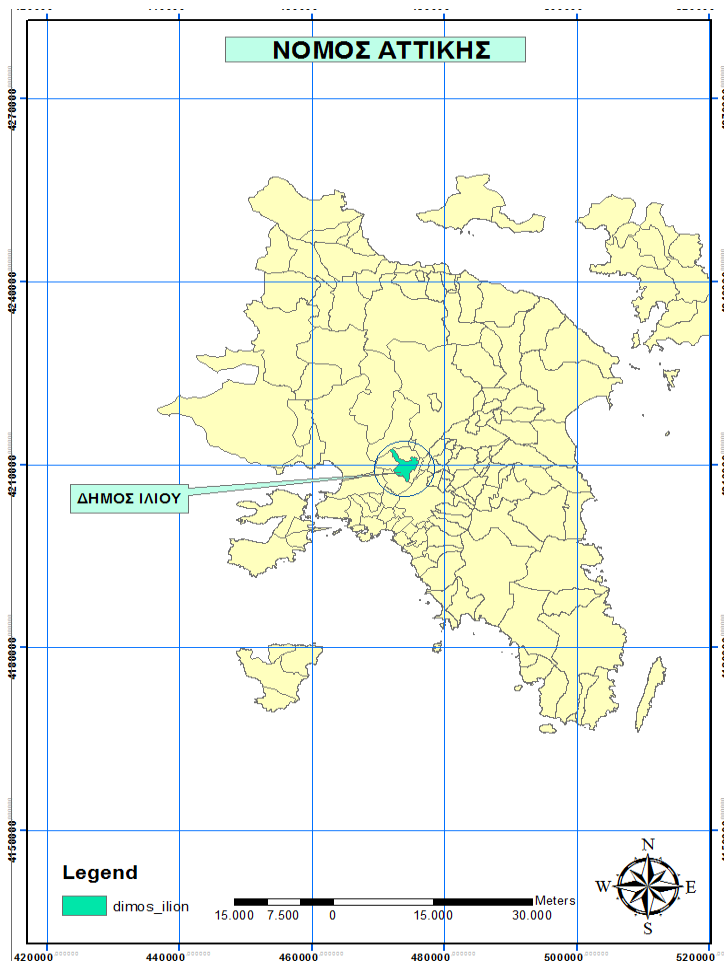
Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ακρίβεια που έχει τη δυνατότητα να επιτύχει ένας αλγόριθμος είναι ο συντελεστής Kappa. (Kappa statistic, k). Από τον συγκεκριμένο συντελεστή κρίνεται εάν τα αποτελέσματα στον πίνακα ενδεχομένων είναι σημαντικά καλύτερα από τυχαία ή συμπτωματική ταξινόμηση, καταδεικνύοντας μια πιο συντηρητική εκτίμηση από μια απλή % τιμή. Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής kappa είναι: περίπου 0,8 όπου καταδεικνύεται μια ισχυρή συμφωνία των αποτελεσμάτων με την πραγματικότητα, 0,4-0,8 όπου καταδεικνύεται μια μέτρια συμφωνία και τιμές μικρότερες από 0,4 όπου καταδεικνύεται πολύ μικρή συμφωνία των αποτελεσμάτων με την πραγματικότητα (Congalton, 1991).

Ο δείκτης φασματικού διαχωρισμού (ROI's separability) μεταξύ των σημείων εκπαίδευσης αποτελεί ένα επιπρόσθετο κριτήριο για την αξιολόγηση της επιτυχίας ταξινόμησης ενός αλγόριθμου. Τα σημεία εκπαίδευσης αξιολογούνται ως προς τον επιτυχή φασματικό διαχωρισμό τους ανά ζεύγη. Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 2 υποδεικνύοντας

πόσο καλά διαχωρίζονται τα ζεύγη σημείων μεταξύ τους από στατιστική άποψη. Το λογισμικό ENVI 4.7 χρησιμοποιεί δύο στατιστικούς δείκτες αξιολόγησης, τους Jeffries-Matusita και Transformed Divergence. Τιμές άνω του 1,9 υποδεικνύουν καλή φασματική διαχωρισιμότητα ανάμεσα στα ζεύγη των ROI's. Σε περίπτωση που οι τιμές του δείκτη είναι μικρότερες από 1,9 τότε θα πρέπει να επιλεγθούν εκ νέου τα σημεία εκπαίδευσης. (ENVI User's guide).

Εφόσον έχουν εξαχθεί τα αποτελέσματα με την ακρίβεια της ταξινόμησης της εικόνας που πέτυχε ο κάθε αλγόριθμος ξεχωριστά έχει επιτευχθεί η αξιολόγηση της ικανότητας του κάθε αλγόριθμου να ταξινομήσει επιτυχώς τις περιοχές αστικού πρασίνου. Το επόμενο βήμα είναι η χρήση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων για την επιπρόσθετη αξιολόγηση της ταξινόμησης της εικόνας και χωρικά. Με αυτόν τον τρόπο δε θα περιοριστεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων στατιστικά, ενώ χρησιμοποιώντας δωρεάν και πραγματικά δεδομένα γίνεται ευκολότερη η εξαγωγή συμπερασμάτων και δίνεται επιπλέον βαρύτητα στην εργασία.

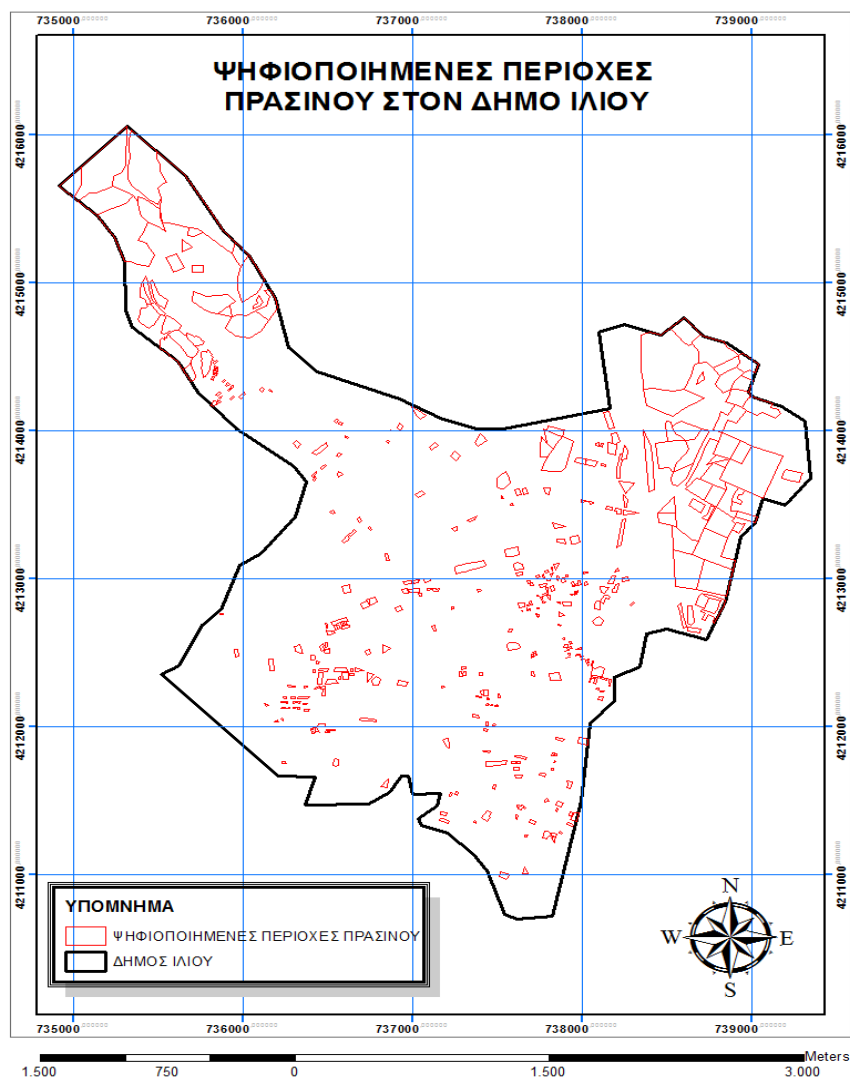
Η εφαρμογή έγινε στα όρια του Δήμου Ιλίου με πραγματικά δεδομένα που παρέχονται δωρεάν από τον χάρτη του κτηματολογίου. Στην περιοχή μελέτης συμπεριλαμβάνονται εξ' ολοκλήρου οι παρακάτω δήμοι: Δήμος Αγίας Βαρβάρας, Αιγάλεω, Ίλιον, Πειραιά, Ρέντη, Πετρούπολης, Περιστερίου, Αγίων Αναργύρων, Καματερού, Μοσχάτου, Ταύρου και οι δήμοι Καλλιθέας και Χαλκηδόνας με ένα πολύ μικρό κομμάτι τους να παραμένει εκτός. Οι παρακάτω δήμοι επίσης καλύπτονται από την εικόνα του δορυφόρου αλλά όχι εξ' ολοκλήρου: Δήμος Αθηνών, Δραπετσώνας, Αχαρνών, Ν. Φιλαδέλφειας, Κερατσινίου, Κορυδαλλού, Λιοσίων, Νέου Φαλήρου, Παλαιού Φαλήρου, Νίκαιας, Χαϊδαρίου και Ζεφυρίου.



Εικόνα 4.7. Τα όρια του δήμου Ιλίου στον Νομό Αττικής.

Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα ψηφιοποίησης αστικού πρασίνου από εικόνα Google Earth τα οποία συγκρινόμενα με τους θεματικούς χάρτες των δύο αλγορίθμων επαλήθευσαν τα αποτελέσματα ταξινόμησης τους και τόνισαν τα σφάλματα και τις αδυναμίες τους. Το πρώτο και βασικότερο βήμα ήταν η ψηφιοποίηση των περιοχών βλάστησης που περιλαμβάνονται στα όρια του δήμου Ιλίου ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ως περιοχή μελέτης. Αυτό εξυπηρετεί προκειμένου να εντοπιστούν όλες οι περιοχές αστικής βλάστησης είτε πρόκειται για δέντρα είτε για χαμηλή βλάστηση οι οποίες αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα. Η ψηφιοποίηση έγινε απευθείας σε πραγματική εικόνα του bingmap κτηματολογίου που παρέχεται δωρεάν, σε περιβάλλον ArcMap 10. Ως πράσινες περιοχές προς ψηφιοποίηση συμπεριλήφθησαν πάρκα, πλατείες, ανοιχτά γήπεδα και γενικότερα περιοχές όπου κυριαρχούν τα δέντρα και η χαμηλή βλάστηση. Κατά την ψηφιοποίηση, σε κάθε πολύγωνο που αντιστοιχεί στη κλάση της χαμηλής βλάστησης δίδεται ο αριθμός 1 (ID:1) και σε κάθε πολύγωνο που αντιστοιχεί στη κλάση των δέντρων δίδεται ο αριθμός 2 (ID:2). Στη συνέχεια θα διαπιστωθεί κατά πόσο συμφωνούν τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των αλγορίθμων τα

οποία ολοκληρώθηκαν στο ENVI 4.7 με τα αποτελέσματα αυτής της ψηφιοποίησης.



Εικόνα 4.8. Οι ψηφιοποιημένες περιοχές αστικής βλάστησης στον Δήμο Ιλίου – Αττική.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας ψηφιοποίησης, είναι αναγκαία η μεταφορά των εικόνων ταξινόμησης των δύο αλγορίθμων στο ArcMap για να προχωρήσει η διαδικασία της αξιολόγησης. Οι δύο εικόνες που αντιστοιχούν στη χαρτογράφηση του κάθε αλγόριθμου είναι σε ψηφιδωτό αρχείο (raster). Ένα ψηφιδωτό αρχείο αποτελείται από έναν πίνακα ισοδιάστατων κυψελίδων όπου σε κάθε κυψελίδα αποθηκεύεται η τιμή μιας μεταβλητής η οποία έχει μετρηθεί στη θέση που βρίσκεται η κυψελίδα. Για τον συμβολισμό των ψηφιδωτών δεδομένων σε κάθε κυψελίδα αντιστοιχεί ένα χρώμα επομένως θα είναι ξεκάθαρες οι κλάσεις που έχουν δημιουργηθεί από τους αλγόριθμους στα προηγούμενα βήματα.

4.10. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΟΥΣ ΘΕΜΑΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ.

Για να επαληθευτεί το ποσοστό των περιοχών πρασίνου από τους δύο αλγόριθμους κάνοντας σύγκριση με τα δεδομένα ψηφιοποίησης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος υπολογισμού του ποσοστού πρασίνου (detected area efficiency) (Kontoes et al., 2009). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο υπολογίζονται τρία ποσοστά:

Το πρώτο ποσοστό είναι το ποσοστό των κοινών διακριτών περιοχών πρασίνου που υπολογίστηκαν από τους δύο αλγόριθμους χρησιμοποιώντας τα υπερφασματικά δεδομένα του αισθητήρα Hyperion και από τα ψηφιοποιημένα δεδομένα αναφοράς χρησιμοποιώντας πραγματική Google Earth εικόνα (**DGA=detected green areas**). Το δεύτερο ποσοστό είναι το ποσοστό πρασίνου που υπήρχε στα ψηφιοποιημένα δεδομένα αναφοράς αλλά όχι στα δεδομένα των αλγορίθμων (**SGA=skipped green areas**). Αυτό το ποσοστό αντιπροσωπεύει τις περιοχές πρασίνου που δεν συμπεριλήφθησαν στα δεδομένα των αλγορίθμων και ο αισθητήρας δεν κατάφερε να εντοπίσει και να κατατάξει στις αντίστοιχες κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης δέντρων ή χαμηλής βλάστησης. Ωστόσο όπως προέκυψε από την ψηφιοποίηση της πραγματικής εικόνας Google Earth, αυτές οι περιοχές ανήκουν σε αυτές τις κατηγορίες. Είναι ουσιαστικά τα λάθη παράβλεψης (omission errors). Τέλος το τρίτο ποσοστό είναι το ποσοστό που υπήρχε στα δεδομένα των αλγορίθμων αλλά όχι στα ψηφιοποιημένα δεδομένα αναφοράς (**FGA=false green areas**). Πρόκειται για λανθασμένα ταξινομημένες περιοχές πρασίνου που συμπεριλήφθησαν στους χάρτες των αλγορίθμων αλλά δεν αντιπροσώπευαν στην πραγματικότητα κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης δέντρων ή χαμηλής βλάστησης. Είναι ουσιαστικά τα λάθη παρερμηνείας (commission errors).

Καθένα από αυτά τα ποσοστά υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους:

- **Detected area rate = $DGA/DGA+SGA$**
- **Skipped area rate = $SGA/DGA+SGA$**
- **False area rate = $FGA/DGA+FGA$**

Η παραπάνω μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε αναφέρεται αναλυτικά στη δημοσιευμένη εργασία των Kontoes et al., 2009 και χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό ποσοστού καμμένων εκτάσεων. Στη παρούσα εργασία έγινε χρήση της μεθόδου για τον υπολογισμό του ποσοστού αστικού πρασίνου που έχει υπολογιστεί από τους δύο αλγόριθμους και συμφωνούν με τα ψηφιοποιημένα δεδομένα αναφοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η ανάδειξη των αποτελεσμάτων ταξινόμησης των δύο αλγορίθμων και η εξέταση των επιμέρους σφαλμάτων. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι η σύγκρισή τους και η ανάδειξη του καταλληλότερου για την επιτυχή χαρτογράφηση αστικού πρασίνου.

Έπειτα από την εφαρμογή του αλγόριθμου Support Vector machine με εφαρμογή της ακτινοειδούς (radial basis function-RBF) συναρτήσεως, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα προς συζήτηση.

- Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης (overall accuracy): 86,5285%
- Συντελεστής Kappa: 0.8229

Πίνακας 5.1 Πίνακας ακριβείας του αλγόριθμου SVMs, RBF function.

	ΑΣΦΑΛΤΟΣ_ VALID (pixels)	ΚΤΙΡΙΑ_ VALID (pixels)	ΓΥΜΝΟ ΕΛΔΑΦΟΣ_ VALID (pixels)	ΔΕΝΤΡΑ_ VALID (pixels)	ΧΑΜΗΛΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ_ VALID (pixels)	ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ %
ΜΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΑ	0	0	0	0	0	
ΑΣΦΑΛΤΟΣ	63	0	0	0	8	71 88,73
ΚΤΙΡΙΑ	0	38	6	0	0	44 86,36
ΓΥΜΝΟ ΕΛΔΑΦΟΣ	1	2	11	0	1	15 73,33
ΔΕΝΤΡΑ	1	0	0	36	5	42 85,71
ΧΑΜΗΛΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	0	0	2	19	21 90,48
ΣΥΝΟΛΟ	65	40	17	38	33	193
ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΑΝΑΛΥΤΗ%	96,92	95,00	64,71	94,74	57,58	86,5285

Η εφαρμογή του αλγόριθμου SVMs απέφερε ως συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης ένα ποσοστό 86,53% το οποίο είναι αρκετά υψηλό. Από τα αποτελέσματα του εν λόγω αλγόριθμου φαίνεται ότι κάποιες από τις περιοχές εκπαίδευσης εμφανίζουν πολύ καλό διαχωρισμό, με συνέπεια ο αλγόριθμος ταξινόμησης να κατατάσσει την πλειοψηφία των εικονοστοιχείων στις σωστές κατηγορίες. Επιπλέον ο συντελεστής kappa εμφανίζει τιμή ίση με 0,823 η οποία σύμφωνα με τη βιβλιογραφία δείχνει ότι τα αποτελέσματα συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με την πραγματικότητα. Πιο αναλυτικά, η ακρίβεια του αναλυτή (producer's accuracy) η οποία δείχνει πόσο επιτυχώς έχουν ταξινομηθεί τα σημεία εκπαίδευσης στις κατηγορίες από τον αλγόριθμο SVMs, κυμαίνεται σε αρκετά υψηλά ποσοστά. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό εμφανίζεται στη κατηγορία της ασφάλτου με 96,92%, ακολουθεί η κατηγορία των κτιρίων με ποσοστό 95%, ακολουθεί η κατηγορία των δέντρων με ποσοστό 94,74%, η κατηγορία του γυμνού

εδάφους με ποσοστό 64,71% και τέλος η κατηγορία της χαμηλής βλάστησης με ποσοστό 57,58%. Αντίστοιχα η ακρίβεια του χρήστη (user's accuracy) η οποία δείχνει τι πιθανότητα έχει κάποιο εικονοστοιχείο που έχει ταξινομηθεί σε κάποια κατηγορία να αντιπροσωπεύει αυτή τη κατηγορία και στη πραγματικότητα επίσης παρουσιάζει υψηλά ποσοστά. Συγκεκριμένα το μεγαλύτερο ποσοστό εμφανίζεται στη κατηγορία της χαμηλής βλάστησης με 90,48%, ακολουθεί η κατηγορία της ασφάλτου με ποσοστό 88,73%, ακολουθεί η κατηγορία των κτιρίων με ποσοστό 86,36%, η κατηγορία των δέντρων με ποσοστό 85,71% και τέλος η κατηγορία του γυμνού εδάφους με ποσοστό 73,33%.

Συμπερασματικά φαίνεται ότι ο αλγόριθμος SVMs έχει καταφέρει να ταξινομήσει την αστική περιοχή στις συγκεκριμένες κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης με επιτυχία. Η άσφαλτος είναι το αντικείμενο το οποίο μπορεί να ταξινομήσει καλύτερα ο αλγόριθμος ενώ οι περιοχές με χαμηλή βλάστηση και γυμνού εδάφους είναι αυτές στις οποίες ο αλγόριθμος απέφερε χαμηλά ποσοστά. Ωστόσο όπως φαίνεται από τα ποσοστά της ακρίβειας του χρήστη οι περιοχές με χαμηλή βλάστηση εμφανίζουν το μεγαλύτερο ποσοστό επομένως επέρχεται μια εξισορρόπηση κατά κάποιο τρόπο στα αποτελέσματα για αυτή τη κατηγορία καθώς δείχνει ότι αυτά τα εικονοστοιχεία που ταξινομήθηκαν από τον αλγόριθμο ανταποκρίνονται στη πραγματικότητα. Η κατηγορία του γυμνού εδάφους παρουσιάζει και στην ακρίβεια του χρήστη χαμηλό ποσοστό πράγμα που δείχνει ότι οι περιοχές με γυμνό έδαφος ταξινομήθηκαν σε λιγότερο ικανοποιητικό βαθμό σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές.

Στη συνέχεια για την εφαρμογή της συγκριτικής μελέτης που πρέπει να ολοκληρωθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγόριθμου Spectral angle mapper (με μέγιστη γωνία 0,3).

- Συνολική ακρίβεια ταξινόμησης (overall accuracy): 75,1295%
- Συντελεστής Kappa: 0.6722

Πίνακας 5.2. Πίνακας ακριβείας του αλγόριθμου SAM.

	ΑΣΦΑΛΤΟΣ_ VALID (pixels)	ΚΤΙΡΙΑ_ VALID (pixels)	ΓΥΜΝΟ ΕΔΑΦΟΣ_ VALID (pixels)	ΔΕΝΤΡΑ_ VALID (pixels)	ΧΑΜΗΛΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ_ VALID (pixels)	ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ %
ΜΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΑ	0	0	0	0	1	1
ΑΣΦΑΛΤΟΣ	64	5	0	0	12	81
ΚΤΙΡΙΑ	0	31	4	1	0	36
ΓΥΜΝΟ ΕΔΑΦΟΣ	1	4	13	1	4	23
ΔΕΝΤΡΑ	0	0	0	28	7	35
ΧΑΜΗΛΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0	0	0	8	9	17
ΣΥΝΟΛΟ	65	40	17	38	33	193
ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΑΝΑΛΥΤΗ %	98,46	77,50	76,47	73,68	27,27	75,1295

Η εφαρμογή του αλγόριθμου SAM απέφερε ως συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης ένα ποσοστό 75,13% το οποίο είναι επαρκώς ικανοποιητικό. Από τα αποτελέσματα του εν λόγω αλγόριθμου φαίνεται ότι κάποιες από τις περιοχές εκπαίδευσης εμφανίζουν καλό διαχωρισμό, με συνέπεια ο αλγόριθμος ταξινόμησης να κατατάσσει την πλειοψηφία των εικονοστοιχείων στις σωστές κατηγορίες. Επιπλέον ο συντελεστής kappa εμφανίζει τιμή ίση με 0,672 η οποία σύμφωνα με τη βιβλιογραφία δείχνει ότι τα αποτελέσματα συμφωνούν σε μέτριο βαθμό με την πραγματικότητα. Πιο αναλυτικά, η ακρίβεια του αναλυτή (producer's accuracy) η οποία δείχνει πόσο επιτυχώς έχουν ταξινομηθεί τα σημεία εκπαίδευσης στις κατηγορίες από τον αλγόριθμο SAM, είναι σε ικανοποιητικά ποσοστά. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό εμφανίζεται στη κατηγορία της ασφάλτου με 98,46%, ακολουθεί η κατηγορία των κτιρίων με ποσοστό 77,50%, ακολουθεί η κατηγορία του γυμνού εδάφους με ποσοστό 76,47%, η κατηγορία των δέντρων με ποσοστό 73,68% και τέλος η κατηγορία της χαμηλής βλάστησης με ποσοστό 27,27%. Αντίστοιχα η ακρίβεια του χρήστη (user's accuracy) η οποία δείχνει τι πιθανότητα έχει κάποιο εικονοστοιχείο που έχει ταξινομηθεί σε κάποια κατηγορία να αντιπροσωπεύει αυτή τη κατηγορία και στη πραγματικότητα επίσης παρουσιάζει ικανοποιητικά ποσοστά. Συγκεκριμένα το μεγαλύτερο ποσοστό εμφανίζεται στη κατηγορία των κτιρίων με 86,11%, ακολουθεί η κατηγορία των δέντρων με ποσοστό 80%, ακολουθεί η κατηγορία της ασφάλτου με ποσοστό 79,01%, η κατηγορία του γυμνού εδάφους με ποσοστό 56,52% και τέλος η κατηγορία της χαμηλής βλάστησης με ποσοστό 52,54%.

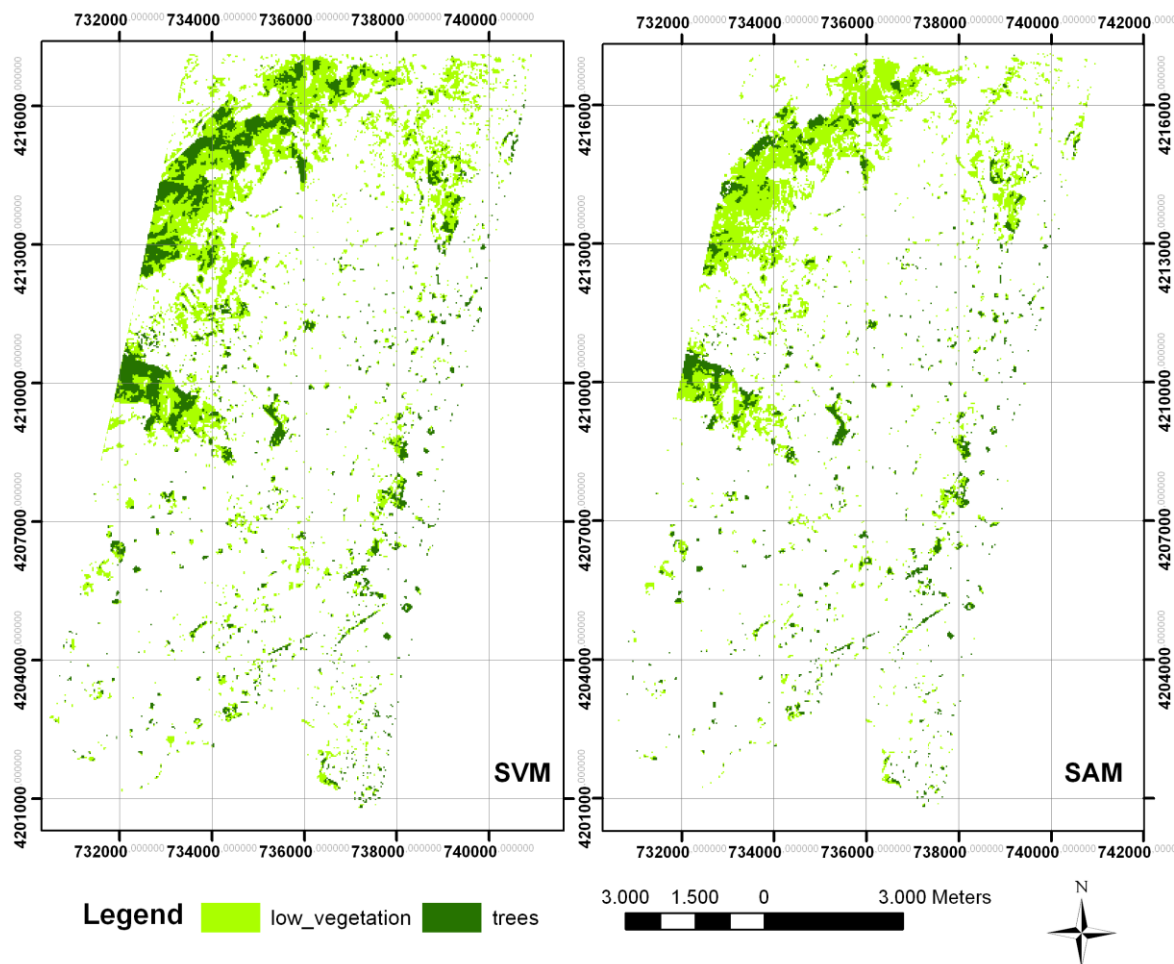
Συμπερασματικά φαίνεται ότι ο αλγόριθμος SAM έχει καταφέρει να ταξινομήσει την αστική περιοχή όχι όμως με την ίδια επιτυχία για όλες τις κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης. Η ασφαλτος είναι το η κατηγορία η οποία μπορεί να ταξινομήσει καλύτερα ο αλγόριθμος ενώ οι περιοχές γυμνού εδάφους, κτιρίων και δέντρων ταξινομούνται σε ικανοποιητικό βαθμό από τον αλγόριθμο. Η κατηγορία που ο αλγόριθμος παρουσίασε τη χαμηλότερη ακρίβεια η κατηγορία της χαμηλής βλάστησης καθώς η ακρίβεια του αναλυτή είναι μόλις 27,27%, ποσοστό ιδιαίτερος χαμηλό. Από τα ποσοστά της ακρίβειας του χρήστη επιβεβαιώνεται το πρόβλημα ταξινόμησης των περιοχών χαμηλής βλάστησης ενώ τα υπόλοιπα ποσοστά κυμαίνονται σε ικανοποιητικά επίπεδα χωρίς όμως να είναι ιδιαίτερος υψηλά.

Πίνακας 5.3. Συγκεντρωτικός Πίνακας αποτελεσμάτων των δύο αλγόριθμων.

Ακρίβεια %				
Κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης	SVMS Ακρίβεια Αναλυτή (%)	SVMS Ακρίβεια Χρήστη (%)	SAM Ακρίβεια Αναλυτή (%)	SAM Ακρίβεια Χρήστη (%)
Ασφαλτος	96.92	88.73	98.46	79.01
Κτίρια	95.00	86.36	77.50	86.11
Γυμνό έδαφος	64.71	73.33	76.47	56.52
Δέντρα	94.74	85.71	73.68	80.00
Χαμηλή βλάστηση	57.58	90.48	27.27	52.94
Ακρίβεια Αναλυτή (%)	86.53		75.13	
Συντελεστής Kappa	0.823		0.672	

5.2. ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ήταν αναμενόμενη η αδυναμία των αλγορίθμων να ταξινομήσουν επιτυχώς μικρότερα πολύγωνα πρασίνου εξαιτίας τις χωρικής ανάλυσης του αισθητήρα Hyperion που είναι στα 30 μέτρα, όπως και κάποια σφάλματα κυρίως στη κατηγορία της χαμηλής βλάστησης εξαιτίας της φασματικής ετερογένειας ανά κυψελίδα. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η παρουσία του αστικού πρασίνου στην περιοχή μελέτης με τη βοήθεια του ArcMap 10. Με ανοιχτό πράσινο απεικονίζεται η χαμηλή βλάστηση και με σκούρο πράσινο τα δέντρα σύμφωνα με την ταξινόμηση που εφάρμοσαν ο SVMs και ο SAM αντίστοιχα.



Εικόνα 5.3. Τα αποτελέσματα ταξινόμησης των δύο αλγόριθμων για το αστικό πράσινο όπως φαίνονται με χρήση ΓΠΣ για την περιοχή μελέτης της εικόνας Hyperion.

Το επόμενο βήμα είναι να αποδοθούν και οι χωρικές πληροφορίες των αρχείων προκειμένου να ολοκληρωθεί η σύγκριση μεταξύ των πραγματικών δεδομένων (οι περιοχές πρασίνου από το αρχείο της ψηφιοποίησης) και των δεδομένων που προέρχονται από τις εικόνες ταξινόμησης των αλγορίθμων. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να ακολουθήσουν οι πράξεις χωρικής ανάλυσης. Επομένως μετατρέπονται τα ψηφιδωτά αρχεία (raster) των δύο αλγορίθμων σε πολυγωνικά. Στη συνέχεια, η πρώτη πράξη χωρικής ανάλυσης είναι η ένωση των επιπέδων που εξετάζονται (union). Με τη πράξη αυτή υπολογίζεται η γεωμετρική ένωση των αρχικών επιπέδων (του επικαλυπτόμενου και των επιτιθέμενων) και το αποτέλεσμα είναι ένα νέο επίπεδο το οποίο περιέχει όλες τις ομάδες οντοτήτων των αρχικών επιπέδων. Αναφέρεται στην πράξη OR της άλγεβρας Boolean και χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν κάποια κριτήρια και πρέπει να τηρείται ή το ένα ή το άλλο κριτήριο. Στη παρούσα εργασία, το επικαλυπτόμενο επίπεδο είναι το αρχείο της ταξινομημένης εικόνας του SVMS και του SAM αντίστοιχα και τα επιτιθέμενα είναι το αρχείο του δήμου Ιλίου και των ψηφιοποιημένων περιοχών πρασίνου

στον δήμο Ιλίου. Έτσι το τελικό επίπεδο θα περιέχει πληροφορίες για τα πολύγωνα του δήμου Ιλίου, τα πολύγωνα που έχουν ψηφιοποιηθεί στον bingmap και τα πολύγωνα που αντιπροσωπεύουν περιοχές πρασίνου σύμφωνα με την ταξινόμηση των αλγορίθμων αντίστοιχα.

Η δεύτερη πράξη που εκτελείται είναι η πράξη της αποκοπής (clip) κατά την οποία περιορίζονται τα πολύγωνα του επιπέδου του προηγούμενου βήματος (union) στα όρια του επιτιθέμενου επιπέδου το οποίο είναι ο Δήμος Ιλίου. Επομένως μετά την εφαρμογή της αποκοπής το αρχείο που προκύπτει περιλαμβάνει τα πολύγωνα που έχουν ψηφιοποιηθεί στον bingmap και τα πολύγωνα που αντιπροσωπεύουν περιοχές πρασίνου σύμφωνα με την ταξινόμηση των αλγορίθμων μόνο όμως για τον Δήμο Ιλίου.

Συμπερασματικά λοιπόν έχουν προκύψει τα δύο επίπεδα που αφορούν τους δύο αλγορίθμους ξεχωριστά και περιλαμβάνουν τα πολύγωνα που έχουν ταξινομηθεί και τα πολύγωνα που έχουν ψηφιοποιηθεί στα όρια του δήμου. Μεταφέροντας τα δεδομένα από το κάθε επίπεδο σε δύο αντίστοιχες γεωβάσεις προκύπτουν τα τελικά αρχεία που χρειάζονται περιλαμβάνοντας και τις πληροφορίες του εμβαδού και της περιμέτρου για κάθε πολύγωνο. Τέλος εφαρμόζοντας τις κατάλληλες πράξεις μέσω της επιλογής select by attributes για τον πίνακα δεδομένων των γεωβάσεων προκύπτουν τα χρήσιμα συμπεράσματα για το πόση έκταση έχει ταξινομηθεί από τον κάθε αλγόριθμο και πόση ανταποκρίνεται στη πραγματικότητα. Με τους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύμπτωσης των αλγορίθμων ταξινόμησης.

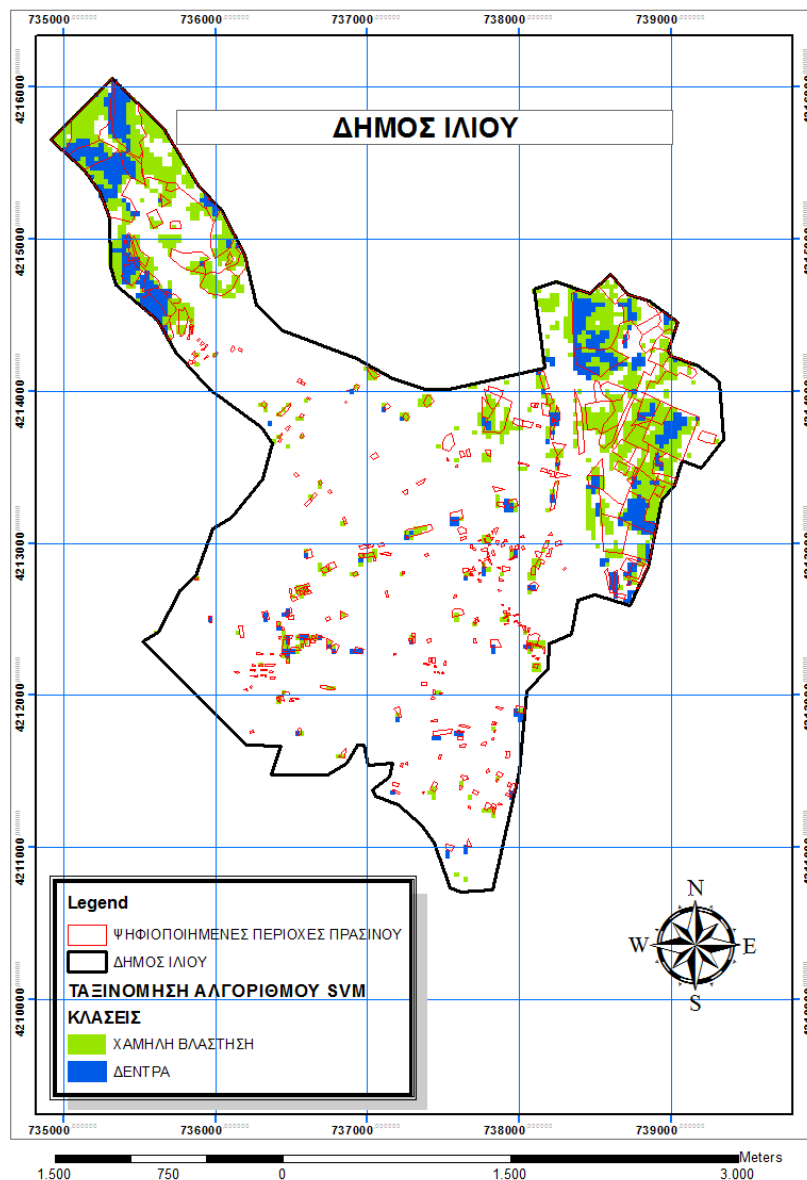
Πίνακας 5.4. Σύμπτωση των αποτελεσμάτων του αλγόριθμου SVMS με τις πραγματικές ψηφιοποιημένες πράσινες περιοχές σε ποσοστό έκτασης.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ SVMS	ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟΝ BING MAP			
	ΆΛΛΟ(m2)	ΧΑΜΗΛΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ(m2)	ΔΕΝΤΡΑ(m2)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m2)
ΆΛΛΟ(m2)				7526320,876
ΔΕΝΤΡΑ(m2)	123027,0157	42700,51146	353088,0662	518815,5934
ΧΑΜΗΛΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ(m2)	400802,5286	363716,3514	453204,6507	1217723,531
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΜΒΑΔΟΝ (m2)	523829,5443	406416,8629	806292,717	1736539,124

Εμβαδόν Δήμου Ιλίου συνολικά: 9262860 m2

Ποσοστό Σύμπτωσης βλάστησης στο εμβαδόν δέντρων: 76,29%

Ποσοστό Σύμπτωσης βλάστησης στο εμβαδόν χαμηλής βλάστησης: 67,09%



Εικόνα 5.4. Ο χάρτης στον οποίο διακρίνονται οι περιοχές που ταξινομήθηκαν από τον SVM και οι ψηφιοποιημένες από τον Bingmap.

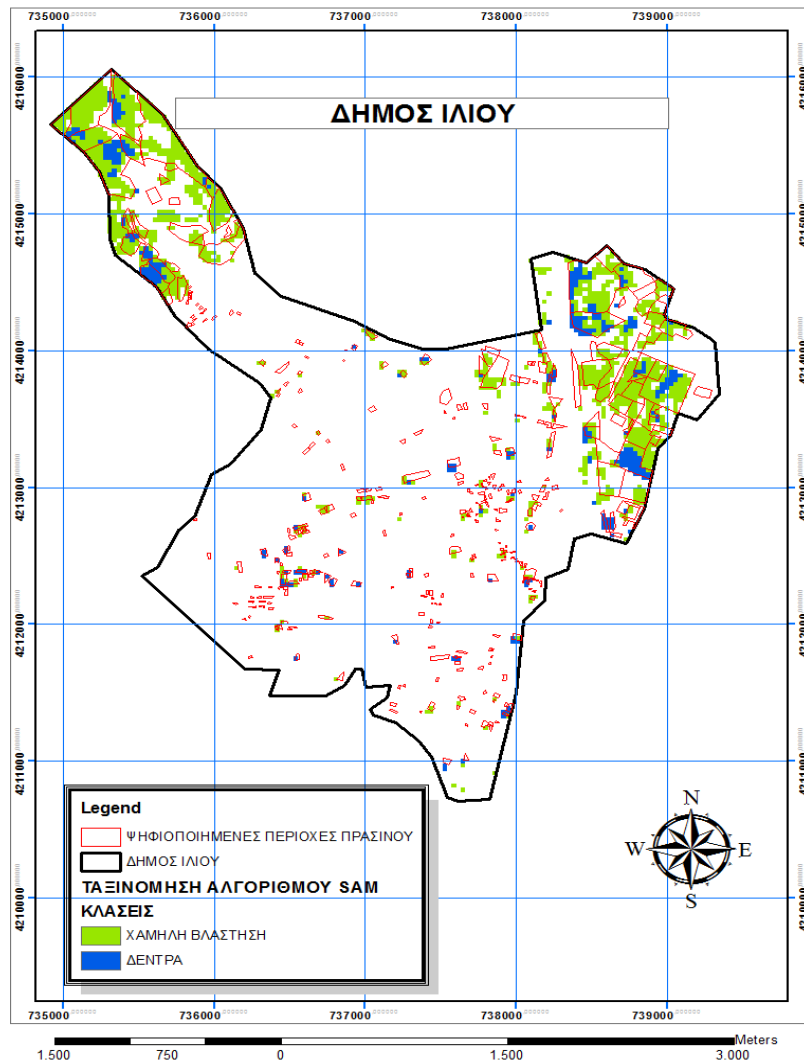
Πίνακας 5.5. Σύμπτωση των αποτελεσμάτων του αλγόριθμου SAM με τις πραγματικές ψηφιοποιημένες πράσινες περιοχές σε ποσοστό έκτασης.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ SAM	ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟΝ BING MAP			
	ΆΛΛΟ(m2)	ΧΑΜΗΛΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ(m2)	ΔΕΝΤΡΑ(m2)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m2)
ΆΛΛΟ(m2)				7860514,766
ΔΕΝΤΡΑ(m2)	68217,10446	13259,97217	196342,0444	277819,121
ΧΑΜΗΛΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ(m2)	317621,6814	292079,5837	514824,848	1124526,113
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΜΒΑΔΟΝ (m2)	385838,7858	305339,5558	711166,8924	1402345,234

Εμβαδόν Δήμου Ιλίου συνολικά: 9262860 m²

Ποσοστό Σύμπτωσης βλάστησης στο εμβαδόν δέντρων: 75,45%

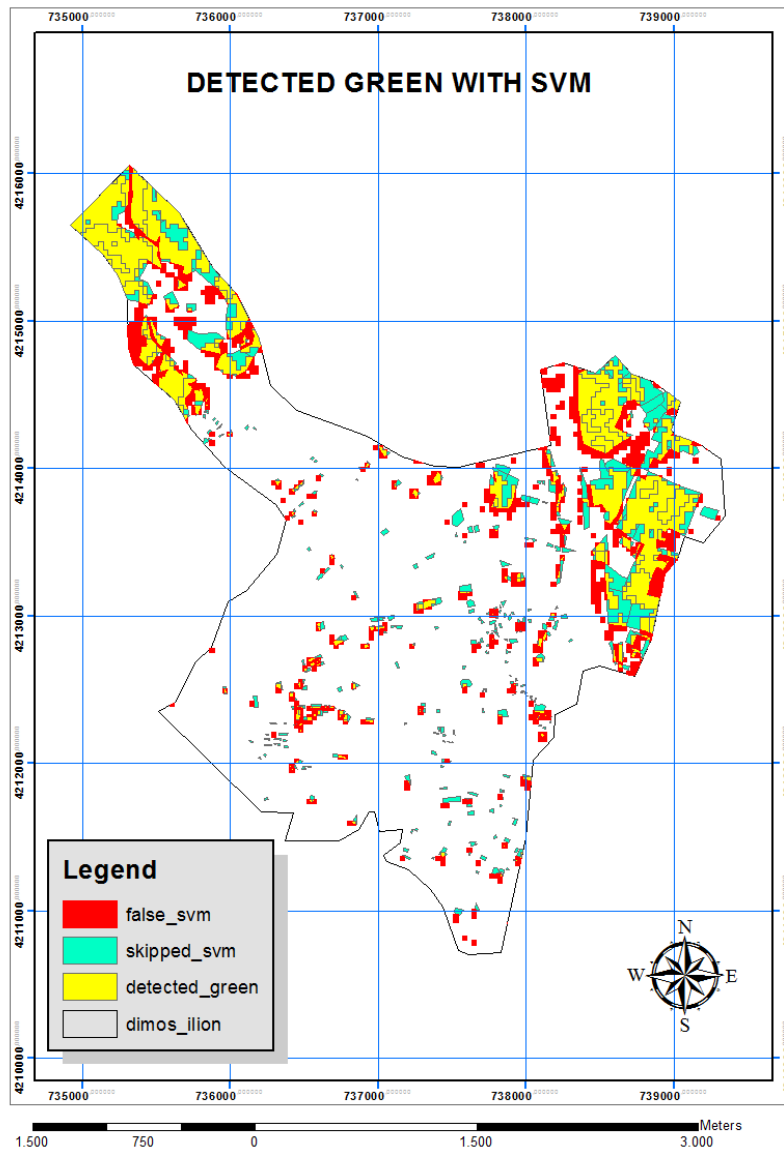
Ποσοστό Σύμπτωσης βλάστησης στο εμβαδόν χαμηλής βλάστησης: 71,76%



Εικόνα 5.5. Ο χάρτης στον οποίο διακρίνονται οι περιοχές που ταξινομήθηκαν από τον SAM και οι ψηφιοποιημένες από τον bingmap.

Πίνακας 5.6. Αποτελέσματα των ποσοστών σύμπτωσης των αποτελεσμάτων των δύο αλγορίθμων με τις πραγματικές ψηφιοποιημένες πράσινες.

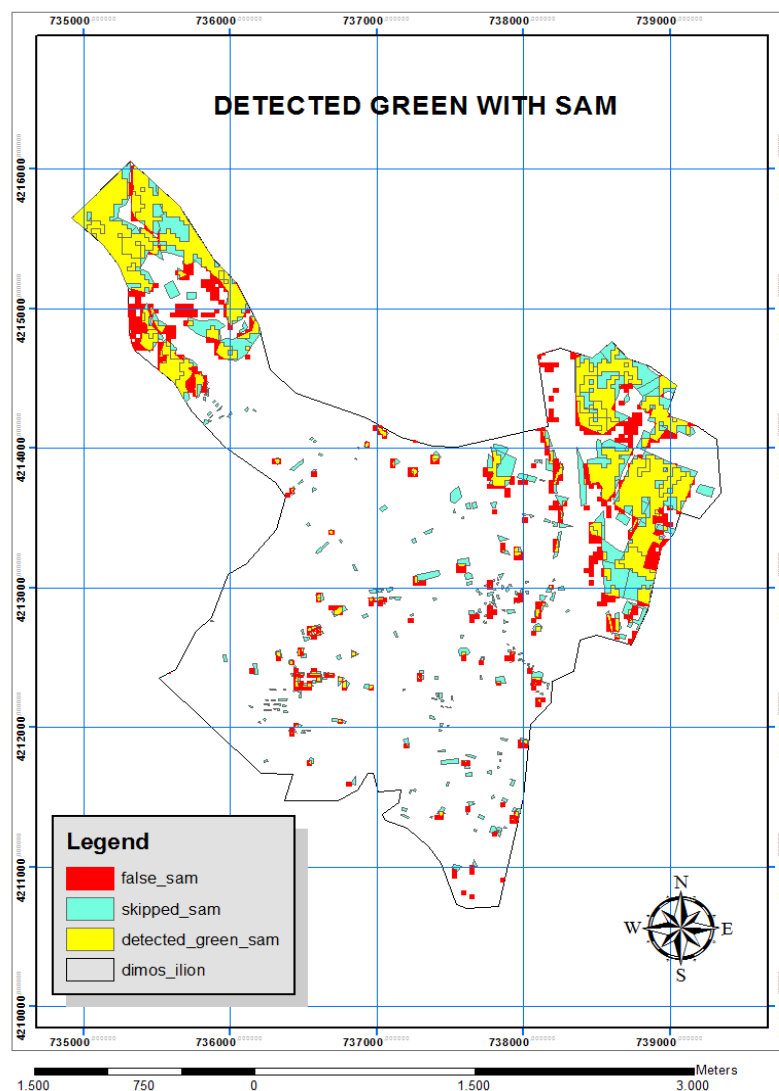
Μέθοδος ταξινόμησης	(DGA) (m2)	(FGA) (m2)	(SGA) (m2)	Detection efficiency rate(%) [DGA/(DGA+SGA)]	Commision error(false rate)(%) [FGA/(DGA+FGA)]	Omission error(%) [SGA/(DGA+SGA)]
SVMS	1127339	609199	521566	0,68	0,35	0,32
SAM	1016506	385838	632398	0,62	0,28	0,38



Εικόνα 5.6. Ο χάρτης στον οποίο διακρίνονται τα αποτελέσματα σύγκρισης μεταξύ SVMS αλγόριθμου και ψηφιοποιημένων περιοχών.

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω χάρτη, οι περιοχές με κίτρινο χρώμα απεικονίζουν τις περιοχές πρασίνου που κατάφερε να εντοπίσει ο αλγόριθμος SVMS και αυτό το ποσοστό που προέκυψε ήταν 68%. Το γαλάζιο χρώμα απεικονίζει τις περιοχές που δεν εντοπίστηκαν από τον αλγόριθμο, δηλαδή τις περιοχές που απεικονίζουν αστικό πράσινο αλλά ο αλγόριθμος δεν τις εντόπισε. Το ποσοστό αυτών των περιοχών ήταν 32%. Τέλος το κόκκινο χρώμα απεικονίζει περιοχές που λανθασμένα ταξινομήθηκαν από τον αλγόριθμο ως πράσινο ενώ στην πραγματικότητα σύμφωνα με τα δεδομένα της

ψηφιοποίησης δεν ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία χρήσης γης. Το ποσοστό αυτό ήταν 35%.



Εικόνα 5.7. Ο χάρτης στον οποίο διακρίνονται τα αποτελέσματα σύγκρισης μεταξύ SAM αλγορίθμου και ψηφιοποιημένων περιοχών.

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω χάρτη, οι περιοχές με κίτρινο χρώμα απεικονίζουν τις περιοχές πρασίνου που κατάφερε να εντοπίσει ο αλγόριθμος SAM και το ποσοστό που προέκυψε ήταν 62%. Το γαλάζιο χρώμα απεικονίζει τις περιοχές που δεν εντόπισε ο αλγόριθμος, δηλαδή τις περιοχές που απεικονίζουν αστικό πράσινο αλλά ο αλγόριθμος δεν τις εντόπισε. Το ποσοστό αυτών των περιοχών ήταν 38%. Τέλος το κόκκινο χρώμα απεικονίζει περιοχές που λανθασμένα ταξινομήθηκαν από τον αλγόριθμο ως πράσινο ενώ στην πραγματικότητα σύμφωνα με τα δεδομένα της ψηφιοποίησης δεν ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία χρήσης γης. Το ποσοστό αυτό ήταν 28%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ

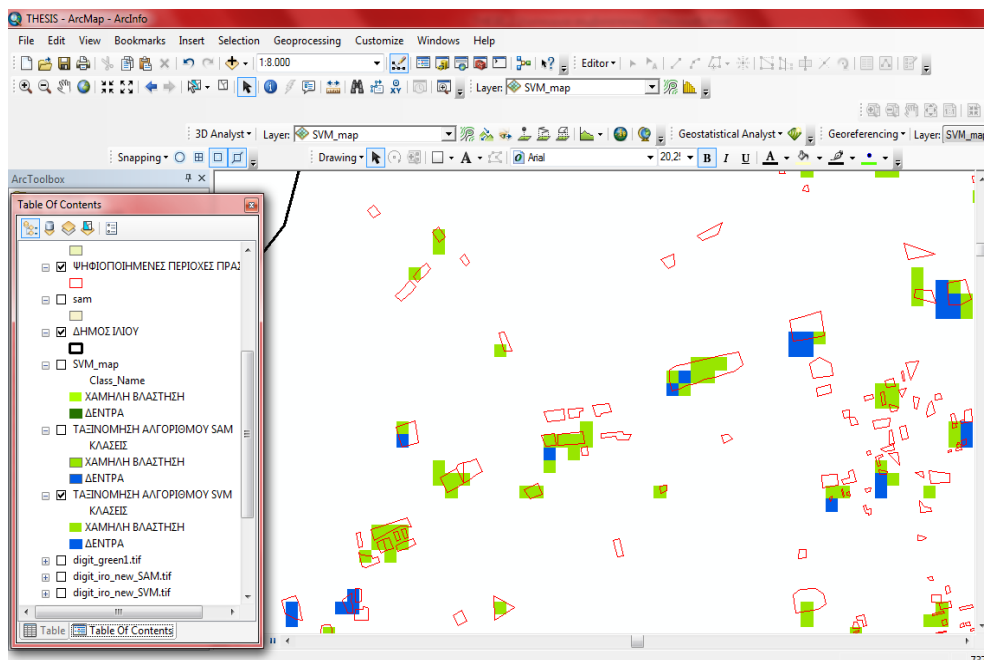
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στη παρούσα μελέτη ο πρωταρχικός στόχος ήταν η ταξινόμηση της αστικής περιοχής με χρήση των δύο αλγορίθμων επιβλεπόμενης ταξινόμησης, SVMs και SAM, προκειμένου να μελετηθεί η ικανότητα και η χρησιμότητά τους σε παρόμοιες περιοχές μελέτης. Ο SVMs αλγόριθμος παρουσίασε υψηλότερο ποσοστό ακριβείας συγκριτικά με τον SAM για το ίδιο σετ δεδομένων, αποδεικνύοντας με αυτόν τον τρόπο την υπεροχή του σε μια αρκετά περίπλοκη αστική περιοχή. Όπως είχε διαπιστωθεί και στην εργασία των Plaza et al., (2006) ο αλγόριθμος SVMs απέφερε καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τον αλγόριθμο Μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood), τα δέντρα των αποφάσεων (decision tree) ή νευρωνικά δίκτυα (neural network). Ωστόσο τα σφάλματα που προέκυψαν στις επιμέρους κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης οφείλονται στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του αισθητήρα Hyperion όπως στην χωρική ανάλυση και στην υψηλή φασματική του ανάλυση. Επιπρόσθετα η φύση της περιοχής μελέτης η οποία αντιπροσωπεύει μια αστική περιοχή με μεγάλη ετερογένεια ανά κυψελίδα δημιουργεί περαιτέρω προβλήματα. Λόγω της φύσης των υπερφασματικών δεδομένων τα οποία μπορούν να δώσουν μεγάλη φασματική πληροφορία, πολλοί ερευνητές στο παρελθόν έδωσαν βαρύτητα στην δημιουργία φασματικών βιβλιοθηκών οι οποίες θα καλύπτουν όσο το δυνατόν περισσότερα υλικά αστικών περιοχών (Ben-Dor et al., 2001). Σύμφωνα με αυτή την μελέτη, τα υλικά των αστικών περιοχών εμφανίζουν συγκεκριμένες φασματικές υπογραφές βάση των οποίων είναι εύκολος ο διαχωρισμός τους ενώ ακόμα και με πολύ μικρές διαφοροποιήσεις στους φασματικούς στόχους, επιτρέπουν την αυτόματη ταυτοποίηση διαφορετικών υλικών. Η χρήση φασμάτων αναφοράς για επαλήθευση των φασμάτων μελέτης σε κάθε αστική περιοχή είναι επιτακτική και για τον λόγο αυτό οι Herold et al., (2004) στην εργασία τους επιχείρησαν να δημιουργήσουν μια φασματική βιβλιοθήκη 4500 διαφορετικών φασμάτων τα οποία αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά αστικού περιβάλλοντος. Στην εργασία των Kontoes et al., (2009) αποδείχθηκε ότι η μέθοδος υπολογισμού του ποσοστού DBA (detected burnt area) απέδωσε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα για τον υπολογισμό καμμένων περιοχών.

Οι δύο αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη σε συνδυασμό με την φασματική πληροφορία που παρέχεται από τα υπερφασματικά δεδομένα μπορούν να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα ο αλγόριθμος SVMs είναι ικανός να προσδιορίζει ένα υπερ-επίπεδο για τον διαχωρισμό των φασμάτων με το μικρότερο

δυνατό σφάλμα στη ταξινόμηση δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα (Huang et al., 2002). Από την άλλη ο αλγόριθμος SAM δεν επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία, επομένως δεν απαιτεί ατμοσφαιρική διόρθωση ενώ καταστέλλει και την επίδραση της σκίασης (De Carvalho & Meneses, 2000). Ωστόσο μια μέθοδος η οποία θα βασιζόταν περισσότερο στα φασματικά χαρακτηριστικά των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης θα βελτίωνε την ακρίβεια της ταξινόμησης και θα μείωνε τα σφάλματα που οφείλονται στη ετερογένεια των εικονοστοιχείων. Θα ήταν επομένως σημαντικό για την βελτίωση των αποτελεσμάτων να επιλεχθούν αμιγή φάσματα (endmembers) ως επιπρόσθετα δεδομένα της ανάλυσης. Επίσης τα υπερφασματικά δεδομένα υστερούν από στερεοσκοπική άποψη, διεισδυτικότητα των σύννεφων, περιορισμούς λόγω καιρού, υψόμετρου και επομένως η χρήση δεδομένων άλλων αισθητήρων όπως ο LIDAR (Light Detection and Ranging) και IFSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) είναι προτεινόμενη καθώς τα δεδομένα αυτά προσφέρουν ακρίβεια στις πληροφορίες υψόμετρου και εξαγωγή πληροφοριών. Σε κάποιες περιπτώσεις όπου δεν επιτρέπεται η λήψη πληροφοριών λόγω περιορισμού καιρικών συνθηκών ή λόγω παρουσίας σύννεφων ενδείκνυται η χρήση δεδομένων ραντάρ SAR. Έτσι τα θερμικά δεδομένα μπορούν να αποδειχθούν πολύ χρήσιμα σε μελέτες του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας για παράδειγμα, αλλά και στον εντοπισμό αστικής βλάστησης. Επομένως η συνδυαστική χρήση επιπλέον δεδομένων με τα υπερφασματικά δεδομένα του αισθητήρα Hyperion θα βελτίωναν περισσότερο τα αποτελέσματα της ταξινόμησης. Κάποιες μελέτες στις οποίες οι ερευνητές συνδύασαν δεδομένα από διαφορετικούς αισθητήρες για τη χαρτογράφηση αστικής περιοχής είναι των Brook et al., 2010 και των Herper et al., 1998.

Τα υπερφασματικά δεδομένα και οι αλγόριθμοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς σε αστικές περιοχές μελέτης αλλά με περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων και με τον εντοπισμό καθαρών φασμάτων (endmembers) προκειμένου να εντοπιστούν οι φασματικές υπογραφές των υλικών. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να ταξινομηθούν και τα υλικά που με τους αλγόριθμους της παρούσας μελέτης δεν ταξινομήθηκαν επαρκώς ή σωστά αλλά και να βελτιωθούν τα ποσοστά ακρίβειας της ταξινόμησης.



Εικόνα 6.1. Ενδεικτική εικόνα από το περιβάλλον εργασίας ArcMap 10, κατά το οποίο φαίνεται η σύμπτωση των πολυγώνων της ψηφιοποίησης με τις περιοχές πρασίνου από τον SVMs εξ'ολοκλήρου ή κατά ένα μόνο ποσοστό.

Τέλος η χαρτογράφηση του αστικού πρασίνου της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό γεγονός που επαληθεύτηκε με τα δεδομένα ψηφιοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα αναφοράς. Το κυριότερο μειονέκτημα που σημειώθηκε ήταν η αδυναμία εντοπισμού πολύ μικρών πολυγώνων από τους αλγόριθμους γεγονός που οφείλεται κυρίως στην χωρική ανάλυση του αισθητήρα. Ωστόσο ακόμα και σε διάφορα ποσοστά οι δύο αλγόριθμοι πέτυχαν σύμπτωση με τα πολύγωνα πρασίνου. Επιπρόσθετα η μεγάλη φασματική ετερογένεια μέσα στις κυψελίδες ευθύνεται για το ποσοστό λάθους ταξινόμησης από τους αλγόριθμους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ

ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

7.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη έγινε μια προσπάθεια ταξινόμησης της περιοχής με τη χρήση των αλγόριθμων επιβλεπόμενης ταξινόμησης SVMs και SAM για την αστική βλάστηση. Από αυτή την συγκριτική μελέτη προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την ικανότητα επιτυχημένης χρήσης των συγκεκριμένων μεθόδων σε αστική περιοχή με στόχο την εξαγωγή χαρτών αστικής βλάστησης.

Στην περίπτωση αυτής της εργασίας, τα αποτελέσματα ολικής ακρίβειας των δύο αλγόριθμων κρίνονται ικανοποιητικά ενώ ο αλγόριθμος Μηχανής Υποστήριξης Διανυσμάτων (Support Vector Machine, SVMs) παρουσίασε μεγαλύτερο ποσοστό ακρίβειας. Ο αλγόριθμος Χαρτογράφου φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapper, SAM) δεν παρουσίασε ικανοποιητικά αποτελέσματα ιδιαίτερα στη κατηγορία της χαμηλής βλάστησης. Παρατηρήθηκε ωστόσο ότι και οι δύο αλγόριθμοι κατάφεραν να πετύχουν υψηλά ποσοστά ακρίβειας στις κατηγορίες της ασφάλτου και των κτιρίων. Όσον αφορά τον διαχωρισμό διαπερατών και μη διαπερατών επιφανειών και οι δύο αλγόριθμοι κρίνονται κατάλληλοι δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Τα χαμηλά ποσοστά ακρίβειας κυρίως στη κατηγορία της χαμηλής βλάστησης στην περίπτωση του αλγόριθμου SAM αλλά και του γυμνού εδάφους στη περίπτωση του αλγόριθμου SVMs ενδεχομένως να οφείλονται στη φασματική ετερογένεια που παρατηρείται στο αστικό περιβάλλον σε επίπεδο κυψελίδας αλλά και στην αυξημένη συσχέτιση των περιοχών που επιλέγονται ως περιοχές εκπαίδευσης. Στο αστικό περιβάλλον δεν αρκεί η χρήση μόνο των φασματικών υπογραφών για να δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι ιδιαίτερος δύσκολο να διαχωριστεί το γυμνό έδαφος από το τσιμέντο, η ασφαλτος που βρίσκεται στους δρόμους των πόλεων από διάφορα υλικά κατασκευής οροφών στα κτίρια ή τα ίδια τα υλικά στις οροφές των κτιρίων μεταξύ τους. Ακόμα η φασματική υπογραφή του κάθε υλικού μεταβάλλεται ανάλογα με την ηλικία του ή με το επίπεδο αλλοίωσης του (Herold et al., 2006). Επιπλέον κάποιες φορές γίνεται εσφαλμένη ταξινόμηση ανάμεσα σε κατηγορίες δέντρων και κατηγορίες κτιρίων λόγω σκίασης ή ανάμεσα σε κατηγορίες δέντρων και κατηγορίες δρόμων λόγω επικάλυψης. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η μελέτη των Van der Linden & Hostert (2009) στο Βερολίνο. Στην εργασία αυτή το σφάλμα ταξινόμησης των κτιρίων ανήλθε στο 16% ενώ επιπρόσθετα το 30% της κατηγορίας των δρόμων

ταξινομήθηκαν εσφαλμένα ως βλάστηση λόγω της κάλυψης των δρόμων από δέντρα.

Ένας άλλος παράγοντας σφάλματος ενδεχομένως να είναι κάποια χαρακτηριστικά του ίδιου του αισθητήρα όπως είναι η χωρική ανάλυση η οποία είναι στα 30 m. Αυτό γίνεται κυρίως αντιληπτό κατά την χωρική αξιολόγηση με τα ΓΣΠ καθώς παρατηρείται ότι υπάρχουν πολύ μικρά πολύγωνα από την ψηφιοποίηση τα οποία αντιπροσωπεύουν αστική βλάστηση, όμως δεν συμπεριλήφθησαν στα αποτελέσματα των αλγορίθμων καθώς ήταν πολύ μικρές περιοχές και δεν ήταν εύκολος ο εντοπισμός τους από τον αλγόριθμο. Όπως επίσης παρατηρήθηκαν πολύγωνα τα οποία εντοπίστηκαν κατά ένα μόνο ποσοστό αλλά όχι εξ' ολοκλήρου από τον αλγόριθμο ταξινόμησης.

Και στην παρούσα εργασία όπως και σε αρκετές άλλες δημοσιευμένες μελέτες η χρήση των SVMs ως μέθοδο ταξινόμησης αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους (Pal & Mather 2004; Melgani & Bruzzone, 2004;) ενώ η χρήση των υπερφασματικών δεδομένων σε σύγκριση με τα πολυφασματικά δεδομένα σε αστικές περιοχές υπερέχουν (Cavalli et al., 2008; Xu & Gong 2007; Herold & Roberts 2006; Falcone & Gomez 2005). Τέλος η χρήση των Γ.Π.Σ για την επιπλέον αξιολόγηση των αποτελεσμάτων βοήθησε στην εξαγωγή επιπρόσθετων συμπερασμάτων δίνοντας ωστόσο χαμηλότερα ποσοστά συγκριτικά με τις εργασίες των Kontoes et al., 2009 και Petropoulos et al., 2012c οι οποίες βέβαια χρησιμοποίησαν διαφορετικούς αισθητήρες και είχαν ως στόχο τον εντοπισμό καμμένων εκτάσεων.

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν υπερφασματικά δεδομένα από αισθητήρα Hyperion για την ταξινόμηση αστικής περιοχής και την εξαγωγή θεματικών χαρτών αστικού πρασίνου. Αυτό είναι ένα γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό καθώς παρόμοιες μελέτες με τα συγκεκριμένα δεδομένα για αστική περιοχή και για την ταξινόμηση αστικού πρασίνου δεν υπάρχουν σε μεγάλο βαθμό στην βιβλιογραφία. Έτσι με αυτή τη μελέτη ενισχύεται η συμβολή των υπερφασματικών δεδομένων στη χαρτογράφηση αστικών περιοχών ενώ ταυτόχρονα κρίνονται οι ικανότητες των δύο αλγορίθμων (SVMs και SAM). Παρά τα μειονεκτήματα των δύο μεθόδων χαρτογράφησης και παρά τις ιδιαιτερότητες της περιοχής μελέτης, η παρούσα εργασία θα συμβάλει στην περαιτέρω ανάπτυξη και έρευνα προς την κατεύθυνση της επιτυχούς χαρτογράφησης αστικών περιοχών καθώς και στη διάδοση της χρήσης των υπερφασματικών δεδομένων τηλεπισκόπησης στο μέλλον.

7.2. Προοπτικές

Η παρούσα ανάλυση μπορεί να έχει συνέχεια και προοπτική για περαιτέρω ανάπτυξη της έρευνας. Προτείνεται περαιτέρω στατιστική ανάλυση με τη χρήση ενός Mc Nemar στατιστικού τεστ για να τονιστεί η στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων. Επιπρόσθετα προτείνεται η χρήση μιας μεθόδου ταξινόμησης η οποία θα κάνει χρήση των φασματικών υπογραφών των υλικών που μελετώνται, στη προκειμένη περίπτωση των κατηγοριών χρήσης/κάλυψης γης δέντρων και χαμηλής βλάστησης, έτσι ώστε να καταπολεμηθεί το φαινόμενο της φασματικής ετερογένειας σε επίπεδο κυψελίδας (sub-pixels analysis methods, spectral unmixing analysis methods). Επίσης τέλος θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από κάποιον άλλον δορυφόρο, ενδεχομένως και θερμικά δεδομένα, πράγμα που θα βοηθούσε και στη χρήση των δεδομένων πρασίνου σε θέματα περιβαλλοντικού χαρακτήρα όπως το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας που απασχολεί όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αβδελίδης Καλλισθένης, (2007): Χρήση Φυσικών Χώρων Αθήνας - ένας δείκτης ποιότητας ζωής των κατοίκων της πόλης. Ινστιτούτο Αστικής και Αγροτικής κοινωνιολογίας, έκθεση αποτελεσμάτων για το ερευνητικό πρόγραμμα «Τάσεις κοινωνικού μετασχηματισμού στον αστικό χώρο: κοινωνική αναπαραγωγή, κοινωνικές ανισότητες και κοινωνική συνοχή στην Αθήνα του 21ου αιώνα».
- Αδάμος Α., (2006): Αλγόριθμοι ταξινόμησης δεδομένων υπερφασματικής απεικόνισης για την ανίχνευση, τμηματοποίηση και ταυτοποίηση χαρακτηριστικών διαγνωστικής σημασίας. Διπλωματική Εργασία Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Ζωνζήλου Γ., (2010): Η διερεύνηση του χαρακτήρα, των χρήσεων και της κάλυψης των σύγχρονων αναγκών των επισκεπτών των χώρων πρασίνου του Άλσους Βεΐκου, του πάρκου Φλοίσβου και του κτήματος Συγγρού. Μεταπτυχιακή Διατριβή τμήματος Φυτικής Παραγωγής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Θέμελης Αθανάσιος, (2010): Ταξινόμηση Αστικού Χώρου με χρήση Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης. Διπλωματική εργασία Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
- Μερτίκας, Σ.Π., (1999): Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, Εκδόσεις ΙΩΝ.
- Μπουγιατιώτη Φλώρα-Μαρία, Αρχιτέκτονας Μηχανικός Α.Π.Θ., ΜΔΕ Ε.Μ.Π., Δρ. Ε.Μ.Π, (2010): Διάλεξη-Σημειώσεις: Το αστικό μικρόκλιμα. Βιοκλιματικές παρεμβάσεις για τη βελτίωσή του.
- Κουκουβιάδης Δ., (2009): 'Υπερφασματική Εικόνα Hyperion: Ατμοσφαιρική Διόρθωση, Μείωση Θορύβου, Εξαγωγή Πληροφορίας'. Διπλωματική εργασία ΑΠΘ
- Τσακίρη-Στρατή Μ., 2007, Διαχείριση Τηλεπισκοπικής Παραγωγής-Παραδόσεις για το μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών 'Γεωπληροφορική', Α.Π.Θ.

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ben-dor, E., N. Levin and H. Saaroni, 2001. A spectral based recognition of the urban environment using the visible and near-infrared spectral region (0.4-1.1 nm). IJRS, 22(11): 2193-2218.
- Borengrasser, M., Hungate, W.S and Watkins, R. (2008). Hyperspectral remote sensing: Principles and applications. Boca Raton FL: CRC Press
- Brook, A. E., Ben-Dor, E., and Richter, R. (2010). Fusion of hyperspectral and lidar data

- for civil engineering structure monitoring. In: Proceeding from the hyperspectral 2010 Workshop, March 17-19, Frascati, Italy
- C.S.B. Grimmond, M. Roth, T.R. Oke, Y.C. Au, M. Best, R. Betts, G. Carmichael, H. Cleug, W. Dabberdt, R. Emmanuel, E. Freitas, K. Fortuniak, S. Hanna, P. Kleinm, L.S. Kalkstein, C.H. Liu, A. Nickson, D. Pearlmutter, D. Sailor and J. Voogt.(2010) Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producers/Capabilities Perspective), ELSEVIER, pp. 247–274.
- Cablk, M., & Minor, T.B. (2003). Detecting and discriminating impervious cover with high resolution IKONOS data using principal component analysis and morphological operators, *International journal of remote sensing*, 24, 4627-4645
- Chen Yunhao, Shi Peijun, Li Xiaobing, Chen Jin, Li Jing (2006). A combined approach for estimating vegetation cover in urban/suburban environments from remotely sensed data. *ELSEVIER, Computers & Geosciences* 32, 1299-1309
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35–46.
- Congalton Russel, Kass Green (1999). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*, p: 24-27.
- Cushnie, J.L., (1987). The interactive effect of spatial resolution and degree of internal variability within land-cover types on classification accuracies. *International Journal of Remote Sensing*, 8,15-29
- De Carvalho, O.A. and Meneses, P.R.(2000). Spectral correlation mapper (SCM); An improvement on the Spectral Angle Mapper (SAM). *Summaries of the 19th JPL Airborne Earth Science Workshop. JPL Publication 00-18*, 9 p.
- Dare P.M. (2005). Shadow analysis in high-resolution satellite imagery of urban areas. *Photogrammetics Engineering and Remote Sensing*. 71,169-177.
- ENVI User's Guide (2013)
- Falcone, J.A. and Gomez, R., (2005). Mapping impervious surface type and sub-pixel abundance using Hyperion hyperspectral imagery. *Geocarto international* 20, pp. 3-10.
- Goetz, S.T.J., Wright, R.K., Smith, A. J., Zinecker, E., & Schaub, E. (2003). IKONOS imagery for resource management: tree cover impervious surfaces and ripariant buffer analyses in the mid-Atlantic region. *Remote Sensing of Environment*, 88, 195-208.
- Gong, P., & Howarth, P.J. (1992). Frequency – based contextual classification and gray – level vector reduction for land – use identification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* – 58(4), 423-437.
- Hardin Perry and Hardin Andrew (2013). Hyperspectral remote sensing of urban areas. *Geography compass* 7/1, 7-21.

- Hepner, G.F., Houshmand, B., Kulikov, I. and Bryant, N. (1998). Investigation of the potential for the integration of AVIRIS and IFSAR for urban analysis. *Photogrammetric Engineering and remote sensing* 64, pp. 813-820.
- Herold, M., Liu, X., & Clark, K.C. (2003). Spatial metrics and image texture for mapping urban land use. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(9), 991-1001.
- Herold, M., D.A. Roberts, M.E Gardner and P.E. Dennison, 2004. Spectrometry for urban area remote sensind – Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400nm. *Remote Sensing in Environment* 91 (3-4): 304-319.
- Herold, M., Schiefer, S., Hostert P., & Roberts, D., A., (2006). Applying imaging spectrometry in urban areas. In Q.Weng, & D. Quattrochi (Eds.), *Urban Remote Sensing* (pp.137-161). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Hsieh, P.F., Lee, L. C., & Chen, N.-Y. (2001). Effect of spatial resolution on classification errors of pure and mixed pixels in remote sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39, 2657-2663
- Hu, X., & Weng, Q. (2009). Estimating impervious surfaces from medium spatial resolution imagery using the self-organizing map and multi-layer perception neural networks. *Remote Sensing of Environment* – 113(10), 2089-2102.
- Hu, X., & Weng, Q. (2011). Impervious surface area extraction from IKONOS imagery using an object based fuzzy method. *Geocart international*, 26(1), 3-20.
- Huang, C., Song, K., Kim, S., Townshend, J.R.G., Davis, P., Masek, J., G., et al. (2008). Use of dark object concept and support vector machines to automate forest cover change analysis. *Remote sensing of Environment*, 112, 970-985
- J.A. Richards, 1999, *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, p. 240
- Jonas Franke, Dar A.Roberts, Kerry Halligan, Gunter Menz (2009). Hierarchical Multiple Endmemeber Spectral Mixture Analysis (MESMA) of Hyperspectral imagery for urban environments. *ELSEVIER, Remote Sensing of Environment*, 113, 1712-1723.
- J.L. Van Genderen, B.F. Lock and P.A. Vass, 1978: *Remote Sensing: Statistical Testing of Thematic Map Accuracy*. *Remote Sensing of Environment*, 7, 3–14.
- Kruse, F.A., Boardman, J.W., Lefkoff, A.B., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., and Goetz, A.F.H. (1993). The spectral image processing system (SIPS) –Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote sensing of environment*, Vol. 44, p. 145-163
- Lo, C.P., & Faber, B.J. (1997), Integration of Landsat Thematic Mapper and census data for quality of life assessment. *Remote Sensing of Environment*, 62(2), 143-157.
- Lu D., & Weng, Q. (2004). Spectral mixture analysis of the urban landscape and in Indianapolis with Landsat ETM+ imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70, 1053-1062.

- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International journal of remote sensing*, 28 (5), 823-870.
- Melgani, F. and Bruzzone, L.(2004). Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing* 42, pp. 1778-1790.
- Mountrakis G., Jungho Im, Caesar Ogole (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ELSEVIER, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 66, 247-259.
- Myint W. Soe, Patricia Gober, Antony Brazel, Susanne Grossman-Clarke, Qihao Weng (2011). Per-pixel vs object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *ELSEVIER, Remote Sensing of Environment*, 115, 1145-1161
- Pal, M. and Mather, P.M. (2004). Assessment of the effectiveness of support vector machines for hyperspectral data. *Future generation computer systems* 20., pp. 1215-1225.
- Paola, J. D., & Schowengerdt, R. A. (1995). A review and analysis of back propagation neural networks for classification of remotely sensed multispectral imagery. *International Journal of remote sensing*, 16, 3033-3058.
- Pearlman Jay S., 2003, 'Hyperion Validation Report', NASA/GSFC, U.S.A.
- Petropoulos P. George, Chariton Kalaitzidis, Krishna Prasad Vadrevu (2012)a. Support vector machines and object-based classifications for obtaining land-use /cover cartography from hyperion hyperspectral imagery. *ELSEVIER, Computers & Geosciences* 41, 99-107.
- Petropoulos P. George, Kostas Arvanitis, Nick Sigrimis (2012)b. Hyperion hyperspectral imagery analysis combined with machine learning classifiers for land use/cover mapping. *ELSEVIER Expert systems with Applications* 39, 2800-3809.
- Petropoulos P. George, Charalambos C. Koutoes, Iphigenia Keramitsoglou (2012)c. Land cover mapping with emphasis to burnt area delineation using co-orbital ALI and Landsat TM imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18 (2012) 344–355.
- Powell L. Rebecca , Dar A.Roberts, Phillip E.Dennison, Laura L. Hess (2007). Sub-pixel mapping of urban land cover using multiple endmember spectral mixture analysis: Manaus, Brazil. *ELSEVIER, Remote Sensing of Environment*, 106, 253-267.
- Qihao Weng (2012). Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirement, Methods and trends. *ELSEVIER, Remote sensing of Environment*,117, 34-49.

- Richards A. John & Xiuping Jia, (2006). Remote sensing digital image analysis, fourth edition, p. 306).
- Rindfuss, R.R., & Stern, P.C (1998). Linking remote sensing and social science: The need and the challenges. In D. Liverman, E.F. Moran, R.R. Rindfuss, & P.C. Stern (Eds.), People and pixels: Linking remote sensing and social science (pp. 1-27), Washington, DC: National Academy Press.
- Rosenfield G.H, K. Fitzpatrick-Lins and H.S. Ling, 1982: Sampling for Thematic Map Accuracy Testing. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48, 131–137
- Schowengerdt A. Robert, Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing, 3rd Edition, Elsevier, 2007
- Stuckens, J., Coppin, P., R., & Bauer, M.E.(2000). Integrating contextual information with per-pixel classification for improved land cover classification. Remote Sensing of Environment, 71, 282-296.
- Tarek Rashed. (2008). Remote sensing of within- class change in urban neighborhood structures. Computers, Environment & Urban Systems, ELSEVIER, 32, 343-354.
- Thenkabail, P.S., Enclona, E. A., Ashton, M.S., Legg, C., & de Dieu, M.. J. (2004a). Hyperion, IKONOS, ALI and ETM+ sensors in the study of African rainforests. Remote Sensing of Environment, 90, 23-43.
- Thoreau Rory Tooke, Nicholas C.Coops, Nicholas Goodwin, James A.Voogt (2009). Extracting urban vegetation characteristics using spectral mixture analysis and decision tree classifications. ELSEVIER, Remote Sensing of Environments 113, 398-407.
- Uta Heiden, Wieke Heldens, Sigrid Roessner, Karl Segl, Thomas Esch, Andreas Mueller (2012). Urban structure type characterization using hyperspectral remote sensing & height information. ELSEVIER, Landscape & Urban Planning, 105, 361-375.
- Vapnik, V., (1995). The nature of statistical learning theory. Springer-Verlag, New York, NY
- Van der Linden, S. and Hostert, P. (2009). The influence of urban structures on impervious surface maps from airborne hyperspectral data. Remote sensing of Environment 113, pp. 2298-2305.
- Van der Linden, S. et al., (2010). Classifying segmented hyperspectral data from heterogeneous urban environments using support vector machines. Journal of applied remote sensing 1, article 013543
- Wagrowski, D.M., Hites, R.A., 1997. Polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation in urban, suburban and rural vegetation. Environmental Science and Technology 31, 279-282
- Weng, Q., Hu, X., & Lu, D.(2008). Extracting impervious surface from medium spatial resolution multispectral & hyperspectral imagery: A comparison. International Journal

of Remote Sensing, 29(11), 3209-3232.

- Wu, C. (2009). Quantifying high-resolution impervious surfaces using spectral mixture analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 30(11) 2915-2932
- Xu, B. and Gong, P. (2007). Land use / land cover classification with multispectral and hyperspectral EO-1 data. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 73, pp. 955-965.
- Zhu, G., Blumberg, D. G., (2002). Classification using ASTER data and SVMs algorithms; the case study of BeerSheva, Israel. *Remote Sensing of Environment* 80(2), 233-240.

ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

WWW1: <http://www.asda.gr/elxoroi/>, Παρατηρητήριο Ελεύθερων Χώρων Αθήνας-Αττικής (02/02/2013)

WWW2: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geography-boundary/remote-sensing/fundamentals/1430>, Fundamentals of Remote Sensing, A Canada Centre for Remote Sensing Remote Sensing Tutorial, Natural Resources of Canada (19/01/2013)

WWW3: <http://www.esa.int> (25/01/2013)

WWW4: Wikipedia.org (05/04/2013)

WWW5: http://www.evliko.gr/htmls/perivallon/kallisto_files/_Anthrop_periv.pdf, Πρόγραμμα ανοικτών περιβαλλοντικών τάξεων «Καλλιστώ» (05/02/2013)

WWW6: <http://www.minenv.gr/>, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής (10/02/2013)

WWW7: <http://earthexplorer.usgs.gov>, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Η.Π.Α (26/11/2012)

WWW8: <http://eo1.usgs.gov> (10/12/2012)

WWW9: <http://geogr.eduportal.gr> (03/04/2013)

WWW10: <http://www.ga.gov.au/earth-observation/satellites-and-sensors/legacy/eo-1-satellite.html>, GEOSCIENCE AUSTRALIA (06/05/2013)

