



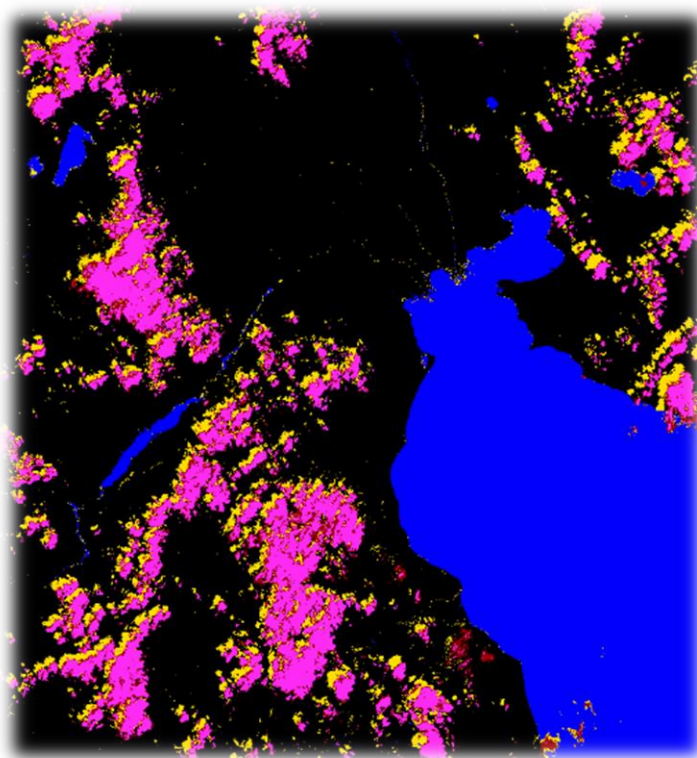
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

Εντοπισμός Σύννεφων και Σκιών από Δεδομένα Landsat 8 με Μηχανές Διανυσματικής Υποστήριξης. Σύγκριση με τον Αλγόριθμο F- mask.

Detecting Clouds and Shadows from Landsat-8 data with Support Vector
Machines. A comparison Against the F-mask algorithm



Διπλωματική Εργασία

Σκέμβρης Σπύρος

Αθήνα, Οκτώβριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

Εντοπισμός Σύννεφων και Σκιών από Δεδομένα Landsat 8 με Μηχανές Διανυσματικής Υποστήριξης. Σύγκριση με τον Αλγόριθμο F- mask.

Detecting Clouds and Shadows from Landsat-8 data with Support Vector
Machines. A comparison Against the F-mask algorithm

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Κ. Καραντζαλος

Β. Καραθανάση

Δ. Αργιαλάς

.....

.....

.....

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με τη σημαντική πρόοδο στις τεχνολογίες του διαστήματος σήμερα η παγκόσμια κοινότητα έχει στη διάθεσή της ολοένα και περισσότερα δορυφορικά δεδομένα για ποικίλες μελέτες και εφαρμογές. Παρόλα αυτά, τα οπτικά δορυφορικά δεδομένα είναι ευάλωτα στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και κυρίως στα σύννεφα και τις σκιές, τα οποία καλύπτουν κατά μέσο όρο το 50% της ατμόσφαιρας του πλανήτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές πληροφορίες για εκτεταμένες περιοχές με σύννεφα να αποκρύπτονται και να μην απεικονίζονται στις εικόνες. Ο εντοπισμός των σύννεφων και σκιών με αυτόματο τρόπο και με μεγάλη ακρίβεια είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την αξιοποίηση των δεδομένων και την τυποποίηση και ανάπτυξη γεωχωρικών εφαρμογών.

Προς την κατεύθυνση αυτή, στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε ένα μοντέλο εντοπισμού σύννεφων και σκιών με βάση μηχανές διανυσματικής υποστήριξης. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν πολυάριθμες εικόνες Landsat 8 από ένα συγκεκριμένο path/row της χρονιάς 2016 από τα οποία δημιουργήθηκαν δεδομένα εκπαίδευσης/ελέγχου για την κάθε εικόνα καθώς και δείκτες για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων. Με τη χρήση μηχανών διανυσματικής υποστήριξης και των δεδομένων εκπαίδευσης, δημιουργήθηκαν μοντέλα εντοπισμού σύννεφων και σκιών για την κάθε εικόνα τα οποία αξιολογήθηκαν βάσει των δεδομένων ελέγχου. Στην συνέχεια, το μοντέλο με τα καλύτερα αποτελέσματα στον εντοπισμό σύννεφων και σκιών, χρησιμοποιήθηκε για να συγκριθεί με τον αλγόριθμο Fmask. Το μοντέλο που δημιουργήθηκε είναι ικανό να αναγνωρίζει και να εντοπίζει τα σύννεφα και τις σκιές σε ποσοστό από 89% έως 98%. Σε ορισμένες εικόνες τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα από εκείνα του αλγόριθμου Fmask, ενώ η επιπρόσθετη ανάλυση που υλοποιήθηκε με βάση τις χρονοσειρές των δεδομένων αναδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

Λέξεις-Κλειδιά: Landsat 8, Fmask, επιβλεπόμενη ταξινόμηση, SVM, μάσκες σύννεφων, σύννεφα, σκιά σύννεφων.

ABSTRACT

With the recent significant advances in space technology, the earth observation community has gained access to an unprecedented volume of satellite data, leveraging several new applications. However, optical satellite data are vulnerable to atmospheric conditions, particularly clouds, which account for an average of 50% of the planet's atmosphere, and as well as cloud shadows. Therefore, important information over extensive regions covered with clouds is missing from the acquired images. The detection of clouds and cloud shadows in an automatic and highly accurate manner is important for the effective exploitation of data and the development of operational geospatial services.

Following this direction, in this diploma thesis, a technique for the detection of clouds and cloud shadows based on support vector machines has been developed and evaluated. Multiple Landsat 8 images were used from a specific path / row of the year 2016, from which reference data was created for each image, as well as some indices to improve the results. Using a support vector machine scheme, cloud and cloud shadow detection models were created for each image that were evaluated based on the control data. Then, the best-performing model in cloud and cloud shadow detection was used for comparison with the Fmask algorithm. The developed model could detect clouds and cloud shadows with an overall accuracy ranging from 89% to 98%. In certain cases, results were better than those of the Fmask algorithm. Further analysis based on time series analysis highlight the need for further research in this area.

Key-words: Landsat, Landsat 8 OLI/TIRS, Fmask, supervised classification, SVM, cloud masking, clouds, cloud shadow.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών κ. Κωνσταντίνο Καράτζαλο για την δυνατότητα εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας που μου παρείχε, όπως επίσης για την καταλυτική του εποπτεία και χρήσιμες συμβουλές.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στην Δρ. Μαρία Βακαλοπούλου για την βοήθεια της, και για όλες τις εναλλακτικές λύσεις που είχε πάντα σε οποιοδήποτε πρόβλημα και αν παρουσιαζόταν.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια Δρ. Χριστίνα Καρακίζη για τις εύστοχες διορθώσεις της και για τον χρόνο που αφιέρωσε και τον Άρη Βαϊόπουλο για την υποστήριξη του στο τεχνικό κομμάτι.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε ολόκληρο τον τομέα της Τηλεπισκόπησης που πάντα με αντιμετώπιζαν με όρεξη και καλή διάθεση

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω του γονείς μου για την συνεχή και ακατάπαυστη συμπαράσταση σε κάθε βήμα της ζωής μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Γενικά.....	9
1.2 Αντικείμενο και Στόχοι της Εργασίας.....	10
1.3 Δομή Εργασίας	10
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	12
2.1 Τηλεπισκόπηση	12
2.2 Δορυφορικά Προγράμματα Landsat.....	13
2.3 Μάσκες Σύννεφων – Cloud Masking	22
2.4 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας.....	23
2.5 Ο Αλγόριθμος FMASK.....	25
2.5.1 Βήματα λειτουργίας αλγορίθμου FMASK	26
2.5.2 Object-based cloud and cloud shadow match	32
2.5.3 Fmask για τις εικόνες Landsat 8	34
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	35
3.1 Περιοχή Μελέτης και Επιλογή Δεδομένων.	35
3.2 Προ-Επεξεργασία εικόνων.....	41
3.3 Παραγωγή Δεδομένων Εκπαίδευσης/Ελέγχου (Ground Truth)	42
3.4 Δημιουργία Δεικτών NDVI NDSI CSI	46
3.5 Δημιουργία Μοντέλων Ταξινόμησης με τη Χρήση της LibSVM	46
3.5.1 Μοντέλα 10 καναλιών	47
3.5.2 Μοντέλα 10 καναλιών και 3 δεικτών	47
3.6 Αξιολόγηση Μοντέλων	48
3.7 Εφαρμογή Αλγορίθμου Fmask.....	48
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	52
4.1 Πειράματα με διαφορετικές παραμέτρους	54
4.1.1 Πείραμα 1 ^ο	54
4.1.2 Πείραμα 2 ^ο	57

4.1.3 Πείραμα 3 ^ο	60
4.1.4 Πείραμα 4 ^ο	63
4.1.5 Πείραμα 5 ^ο	66
4.1.6 Πείραμα 6 ^ο	69
4.2 Χρήση Μοντέλου σε Εικόνες Διαφορετικών Ημερομηνιών και Σύγκριση με τον Fmask.	76
4.2.1 Εικόνα LC81840322016200LGN00	76
4.2.2 Εικόνα LC81840322016248LGN00	81
4.3 Ανάλυση Χρονοσειρών.....	85
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	95

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η ατμόσφαιρα μαζί με τον ωκεανό αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του κλιματικού μας συστήματος και στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας μελετάται ειδικότερα το κομμάτι της ατμόσφαιρας που αφορά τα σύννεφα. Η ατμόσφαιρα αποτελείται από σχετικά αραιά αέρια που συγκρατούνται γύρω από την γη λόγω της βαρυτικής έλξης. Ο ξηρός αέρας αποτελείται από 78% άζωτο (N₂), 21% οξυγόνο (O₂), και άλλα αέρια. Οι υδρατμοί είναι επίσης παρόντες στην ατμόσφαιρα σε διάφορες καταστάσεις τόσο χωρικά αλλά και χρονικά. Το ποσοστό των υδρατμών μπορεί να κυμαίνεται από μηδέν, σε αρκετά ξηρά μέρη, μέχρι 4%, σε ζεστές και υγρές περιοχές. Η πίεση και η πυκνότητα στην ατμόσφαιρα μειώνονται με την αύξηση του υψομέτρου, έτσι η ατμόσφαιρα διακρίνεται σε διάφορα στρώματα από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το πάνω μέρος της. Αυτά τα στρώματα είναι η τροπόσφαιρα, η στρατόσφαιρα, η μεσόσφαιρα, η θερμόσφαιρα και τέλος η εξώσφαιρα.

Τα σύννεφα σχηματίζονται από ανοδικά ρεύματα αέρα που κατά την άνοδό τους προς την τροπόσφαιρα ψύχονται αδιαβατικά, δηλαδή η ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα επέρχεται από την εκτόνωσή του και όχι από την εκπομπή θερμότητας στο περιβάλλον. Κατά την ψύξη, τα μόρια των υδρατμών «κολλούν» επάνω σε μικροσκοπικά σωματίδια της ατμόσφαιρας, τους πυρήνες, σχηματίζοντας τα υδροσταγονίδια των νεφών. Με τον τρόπο αυτό επέρχεται συμπύκνωση των υδρατμών όταν η θερμοκρασία αέρος βρεθεί κάτω του σημείου δρόσου του, και σχηματίζονται τα νέφη στα διάφορα ύψη της τροπόσφαιρας. Τα υδροσταγονίδια από τα οποία αποτελούνται τα νέφη έχουν διάμετρο της τάξης του μικρομέτρου. Σύμφωνα με θερμομετρικές μετρήσεις, ο αέρας στα σύννεφα είναι ψυχρότερος από εκείνον που είναι γύρω τους. Αρχικά θεωρείτο ότι οι υδροσταγόνες κατά την δημιουργία τους πληρούνται από ελαφρά αέρια, που είναι συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα π.χ. ήλιο ή υδρογόνο, γι' αυτό δεν κατακρημνίζονται αμέσως μετά τη δημιουργία τους. Η σωστή εξήγηση είναι ότι τα σταγονίδια αυτά, ακόμη και οι παγοκρύσταλλοι, είναι τόσο ελαφρά που το βάρος τους εξουδετερώνεται από την αντίσταση του αέρα. Εκτός από τα ανοδικά ρεύματα του αέρα, που συγκρατούν ούτως ή άλλως τα σύννεφα, σε πολλές περιπτώσεις και μέσα στα σύννεφα κινείται ο αέρας από την βάση τους μέχρι την κορυφή τους. Έτσι, τα υδροσταγονίδια εξακολουθούν να αιωρούνται μέσα στην μάζα τους και, κατ' επέκταση, τα σύννεφα ως σύνολα αυτών στον ατμοσφαιρικό αέρα. Υπάρχουν 4 βασικές κατηγορίες σύννεφων και ταξινομούνται ανάλογα τα υψόμετρο τους από το έδαφος. Τα ανώτερα νέφη σχηματίζονται σε ύψος 6.000 - 12.000 μέτρα. Θεωρούνται με την εμφάνισή τους ως αγγελιαφόροι μεταβολής του καιρού. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τρεις ομάδες νεφών: οι θύσανοι, οι θυσανοσωρείτες και τα θυσανοστρώματα και οι τρεις αυτές ομάδες των ανωτέρων νεφών αποτελούνται από πολύ λεπτούς παγοκρυστάλλους. Τα μέσα νέφη σχηματίζονται σε μέσο ύψος 3.000 μέτρα και αποτελούνται μόνο από υδροσταγονίδια. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν δύο βασικές ομάδες νεφών: οι Υψισωρείτες και τα Υψιστρώματα. Τα κατώτερα νέφη βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια της Γης και το ύψος τους φθάνει τα 2.500 μέτρα. Στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται τρεις ομάδες νεφών: τα Στρώματα, τα Μελανοστρώματα και οι

Στρωματοσωρείτες. Τέλος είναι τα νέφη ανοδικών ρευμάτων και στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι Σωρείτες, και οι Σωρειτομελανίες.

Τα σύννεφα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον υδρολογικό κύκλο της Γης και στην ενεργειακή ισορροπία του κλιματικού συστήματος. Έχουν ισχυρή επίδραση στην ηλιακή θέρμανση αντανακλώντας μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα. Τα σύννεφα μειώνουν επίσης την ικανότητα του πλανήτη να ψύχεται με την παρεμπόδιση μέρους της θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι παγκόσμιες μεταβολές της θερμοκρασίας της επιφάνειας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην ποσότητα των σύννεφων και τον τύπο, συνεπώς δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η μεγαλύτερη αβεβαιότητα στις εκτιμήσεις μοντέλων της υπερθέρμανσης του πλανήτη αλλά και τα μεγαλύτερα σφάλματα και παρεμπόδιση πληροφοριών σε δορυφορικές εικόνες οφείλονται στα σύννεφα. Ο τεράστιο όγκος των δορυφορικών δεδομένων καθώς και η ανάγκη αξιοποίησης της εικόνας στο μέγιστο βαθμός έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφόρων τεχνικών για τον εντοπισμό σύννεφων.

1.2 Αντικείμενο και Στόχοι της Εργασίας

Βασικό αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε η ανάπτυξη και αξιολόγηση μοντέλου για τον εντοπισμό σύννεφων και σκιών. Συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν δεδομένα από τον δορυφόρο Landsat 8 τα οποία χρησιμοποιήθηκαν μαζί με τα δεδομένα εκπαίδευσης για την ανάπτυξη του μοντέλου. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με βάση τα δεδομένα ελέγχου αλλά και την άμεση σύγκριση με τα αποτελέσματα από τον αλγόριθμο Fmask.

Βασική επιδίωξη ήταν η δημιουργία μοντέλου με τη χρήση μηχανών διανυσματικής υποστήριξης και η επίτευξη σχετικά υψηλών ακριβειών. Ταυτόχρονα, στόχος ήταν η μελέτη κυρίως της προέλευσης των σφαλμάτων από τη διαδικασία της ταξινόμησης αλλά και στα αποτελέσματα του F-mask, τόσο στο επίπεδο της εικόνας όσο και στη μορφή χρονοσειρών.

Κίνητρο για την ανάπτυξη ενός μοντέλου εντοπισμού σύννεφων και σκιών αποτέλεσε η ανάγκη αυτοματοποιημένου εντοπισμού τους. Ο τεράστιος αριθμός δορυφορικών δεδομένων που είναι διαθέσιμα για επεξεργασία στους χρήστες καθιστά απαραίτητο τον κατά το δυνατόν αυτόματο εντοπισμό τους αλλά και τις υποκατηγορίες τους με μεγάλη ακρίβεια.

1.3 Δομή Εργασίας

Στα παρακάτω κεφάλαια παρουσιάζονται αναλυτικά οι ενέργειες που έγιναν για την δημιουργία του μοντέλου, τα αποτελέσματα του, και η σύγκριση του με τα αποτελέσματα ενός αλγορίθμου εντοπισμού σύννεφων τον ονομαζόμενο Fmask. Πιο συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται υπάρχοντες αλγόριθμοι εντοπισμού σύννεφων καθώς και ο τρόπος λειτουργίας τους, γίνεται αναλυτική παρουσίαση του αλγορίθμου Fmask καθώς και θεωρητικά αποσπάσματα για το αντικείμενο της εργασίας. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα βήματα καθώς και οι ενέργειες που έγιναν για την δημιουργία του μοντέλου εντοπισμού σύννεφων. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που δημιουργήσαμε καθώς και η ανάλυση των χρονοσειρών για ένα συγκεκριμένο path/

row. Τέλος στο κεφάλαιο 5 αναλύονται τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που προέκυψαν από την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Τα τελευταία 50 χρόνια η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης έχει εξελιχθεί ραγδαία. Οι επιστήμονες αναπτύσσουν διαδικασίες συλλογής και ανάλυσης Τηλεπισκοπικών δεδομένων με στόχο να παρατηρήσουν και να κατανοήσουν καλύτερα τα φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν γύρω τους. Η πρόοδος της τεχνολογίας, η μετατροπή της αναλογικής εικόνας σε ψηφιακή αλλά και η τεράστια πρόοδος των ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθιστούν την Τηλεπισκόπηση ως μια επιστήμη που αναπτύσσεται με ταχύτατους ρυθμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνεχώς νέα πεδία χρήσης της.

2.1 Τηλεπισκόπηση

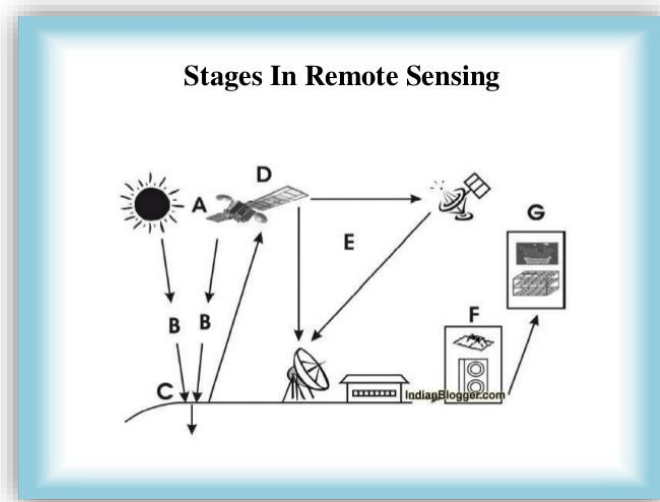
Η Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων τα οποία έχουν αποκτηθεί από μια συσκευή, η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο περιοχή ή φαινόμενο (Αργιάλας,1999). Εδώ και τρεις δεκαετίες χρησιμοποιούνται δεδομένα από δορυφόρους και αερομεταφερόμενους ανιχνευτές για την παρατήρηση της γης. Το αντικείμενο μελέτης της Τηλεπισκόπησης μπορεί να είναι πολύ μεγάλο όπως ένας πλανήτης ή πολύ μικρό όπως τα βιολογικά κύτταρα. Έτσι η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιεί διαφόρων τεχνολογιών καταγραφείς (δέκτες) με τους οποίους γίνεται η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων για το κάθε αντικείμενο ή περιοχή που μας ενδιαφέρει ώστε να γίνει στην συνέχεια ανάλυση των δεδομένων. Όπως είναι φανερό η Τηλεπισκόπηση έχει ένα τεράστιο εύρος εφαρμογής τόσο στην καθημερινή μας ζωή όσο και σε πολύ εξειδικευμένα πεδία επιστημών. Το κτηματολόγιο υλοποιείται με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, η καθημερινή πρόγνωση του καιρού γίνεται αξιοποιώντας δεδομένα από μετεωρολογικούς δορυφόρους, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή τεκμηριώνεται με τη χρήση δορυφόρων που παρακολουθούν τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη, το βαρυτικό πεδίο της Γης χαρτογραφείται με εξειδικευμένα δορυφορικά ζεύγη, η χρήση των μαγνητικών τομογράφων στην Ιατρική. Όλα τα παραπάνω είναι μόνο μερικά από τα πεδία εφαρμογής της Τηλεπισκόπησης.

Για την παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, οι ανιχνευτές μετρούν το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντανακλάται από τα διάφορα υλικά. Κάθε αντικείμενο - επιφάνεια - υλικό που βρίσκεται επάνω στη Γη, έχει ένα μοναδικό τρόπο να αντανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος . Έτσι αυτή ακτινοβολία μετράτε και μεταφράζεται σε πληροφορία για το εκάστοτε αντικείμενο ή φαινόμενο.

Κατά την διαδικασία συλλογής δεδομένων τα ακόλουθα στοιχεία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο:

- οι πηγές ενέργειας
- η διάδοση της ενέργειας διαμέσων της ατμόσφαιρας
- οι αλληλεπιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας
- αναμετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας διαμέσων της ατμόσφαιρας

- αερομεταφερόμενοι ή/και διαστημικοί δέκτες
- τα αποτελέσματα της παραγωγής των δεδομένων των δεκτών σε αναλογική ή και ψηφιακή



Εικόνα 2.1. Η διαδικασία συλλογής Τηλεπισκοπικών δεδομένων.

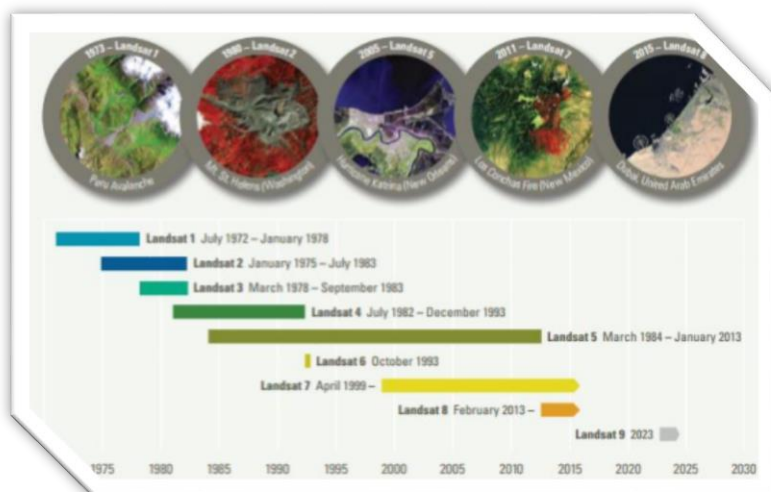
2.2 Δορυφορικά Προγράμματα Landsat

Δορυφόροι ονομάζονται τα τεχνητά σώματα τα οποία εκτελούν περιφορά σε κλειστή καμπύλη γύρω από τον πλανήτη Γη και έχουν τοποθετηθεί σε τροχιά από τον άνθρωπο. Κατά τη διάρκεια του Διεθνούς Γεωφυσικού Έτους (1957) και συγκεκριμένα στις 4 Οκτωβρίου 1957 εκτοξεύτηκε ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος της Γης, ο Σοβιετικός Σπούτνικ 1. Η ημέρα αυτή θεωρείται επίσημα ως η αρχή της εποχής του διαστήματος. Λίγο αργότερα ακολούθησε και ο Αμερικανικός Explorer 1. Έτσι, στη δεκαετία του 1950, οι στρατιωτικοί πύραυλοι έχουν τελειοποιηθεί και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στα οπλοστάσια πολλών κρατών. Κατά την ίδια εποχή άρχισαν να χρησιμοποιούνται «ειδικοί» πύραυλοι και για επιστημονικούς σκοπούς. Έτσι, τα έτη 1957–1958, κατά τον προγραμματισμό του Διεθνούς Γεωφυσικού Έτους (ΔΓΕ), αποφασίστηκε να εκτοξευθούν και τεχνητοί δορυφόροι για την μελέτη ενός ευρύτατου πεδίου, που ενδιέφερε άμεσα τους γεωφυσικούς, τους γεωλόγους, τους σεισμολόγους, τους αστρονόμους. Οπότε με την βοήθεια των δορυφόρων πραγματοποιούνται αστρονομικές παρατηρήσεις μετρήσεις κοσμικής ακτινοβολίας μετεωρολογικές προβλέψεις, χαρτογράφηση ηπείρων και ωκεανών, περιβαλλοντικές έρευνες, γεωλογικές έρευνες κ.λπ... Οι δορυφόροι είναι απαραίτητοι για την διεξαγωγή των τηλεπικοινωνιών, της ναυσιπλοΐας άλλα και για την κατασκόπευση στρατηγικών στόχων. Όλοι οι δορυφόροι σήμερα θέτονται σε τροχιά με την τοποθέτηση τους σε έναν πύραυλο ή σε ένα διαστημικό λεωφορείο. Όταν φτάσουν στο προκαθορισμένο ύψος από την επιφάνεια της Γης οι πύραυλοι αποδεσμεύονται προσδίδοντας την κατάλληλη κλίση και ταχύτητα ώστε να υπάρξει εξισορρόπηση της βαρυτικής έλξης και φυγοκεντρικής δύναμης που ασκούνται πάνω του.

Μερικές από τις κατηγορίες δορυφόρων αναφέρονται παρακάτω:

- Αστρονομικοί δορυφόροι: Πρόκειται για ένα τηλεσκόπιο σε τροχιά γύρω από την Γη. Η όραση ενός αστρονομικού δορυφόρου δεν παρεμποδίζεται από τα αέρια που απαρτίζουν την ατμόσφαιρα της Γης οπότε παράγει καθαρότερες εικόνες από τα επίγεια τηλεσκόπια. Χρησιμοποιούνται για την μελέτη φαινομένων όπως οι μαύρες τρύπες και παρατήρηση μακρινών γαλαξιών.
- Τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι: Χρησιμοποιούνται για τις επικοινωνίες στην Γη επιτρέποντας την μετάδοση σημάτων για την χρήση τηλεόραση, τηλεφώνου και ραδιοφώνου. Πριν τους δορυφόρους η μετάδοση του σήματος ήταν πολύ δύσκολη ως και αδύνατη μιας και το σήμα ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή.
- Δορυφόροι πλοήγησης: Είναι δορυφόροι που επιτρέπουν στα πλοία και στα αεροπλάνα να γνωρίζουν τις συντεταγμένες τους πάνω στην Γη.
- Δορυφόροι Τηλεπισκόπησης: Χρησιμοποιούνται για την μελέτη πόρων που είναι σημαντικοί για τους ανθρώπους όπως η μετανάστευση των ζώων , εντοπισμός κοιτασμάτων αλλά και επίβλεψη της γεωργίας για τυχόν ζημιές από τον καιρό.
- Μετεωρολογικοί δορυφόροι: Παρατηρούν τα καιρικά φαινόμενα και καταγράφουν τις θερμοκρασίες της Γης αλλά και τον σχηματισμό σύννεφων.

Το πρόγραμμα Landsat αποτελεί το μακροβιότερο εγχείρημα συλλογής δορυφορικών δεδομένων για την Γη, Αρχικά το πρόγραμμα ονομαζόταν Earth Resources Technology Satellites program. Αυτό το όνομα χρησιμοποιήθηκε από το 1966 μέχρι το 1975 όπου αλλάζει το όνομα του σε Landsat. Το πρόγραμμα Landsat εμπνεύστηκε από τις φωτογραφίες της Γης που λήφθηκαν από τις αποστολές Apollo στο φεγγάρι την δεκαετία του 1960. Ενώ υπήρχαν μετεωρολογικοί δορυφόροι, δεν ήταν σχεδιασμένοι να συλλέγουν δεδομένα από την επιφάνεια της Γης. Η αρχική ιδέα ήταν να τεθεί ένα διαστημόπλοιο σε τροχιά και να παρακολουθεί την επιφάνεια της Γης. Τα προγράμματα Mercury και Gemini είχαν αποδείξει ότι κάτι τέτοιο ήταν εφικτό αλλά και την χρησιμότητα ενός τέτοιου εγχειρήματος. Το πρόγραμμα είχε ξεκινήσει από το 1967 όπου σχεδιάστηκαν 6 δορυφόροι με την ονομασία ERTS-1,ERTS-2,-3,-4,-5,-6. Η υλοποίηση του προγράμματος έγινε με την εκτόξευση του Landsat-1 στις 23 Ιουλίου 1972 ο οποίος ήταν ο πρώτος μη επανδρωμένος δορυφόρος ειδικά σχεδιασμένος για πολυφασματική Τηλεπισκόπησης. Στις εικόνες 2.2 και 2.3 παρουσιάζονται το χρονοδιάγραμμα των Landsat-1 μέχρι Landsat-7 καθώς και οι δέκτες του κάθε δορυφόρου αντίστοιχα .Ο κάθε δορυφόρος είχε τον δικό του συνδυασμό από 4 διαφορετικούς τύπους δεκτών. Οι δέκτες αυτοί είναι τα φωτογραφικά συστήματα Returned Beam Vidcom(RBV) τον πολυφασματικό σαρωτή Multispectral Scanner(MSS), τον θεματικό χαρτογράφο Thematic Mapper(TM), τον ενισχυμένο θεματικό χαρτογράφο Enhanced Thematic Mapper (ETM) και τον Enhanced Thematic Mapper plus(ETM+).



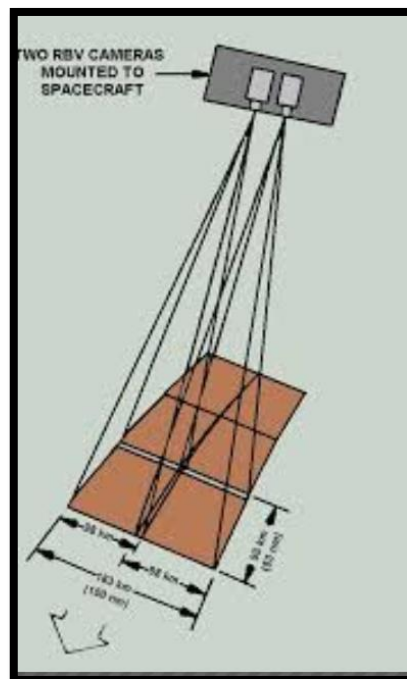
Εικόνα 2.2. Χρονοδιάγραμμα αποστολών Landsat.

Platform	Sensor
Landsat 1	RBV, MSS
Landsat 2	RBV, MSS
Landsat 3	RBV, MSS
Landsat 4	MSS, TM
Landsat 5	MSS, TM
Landsat 7	ETM+

Εικόνα 2.3 Δέκτες ανά δορυφόρο Landsat.

Landsat 1,2,3

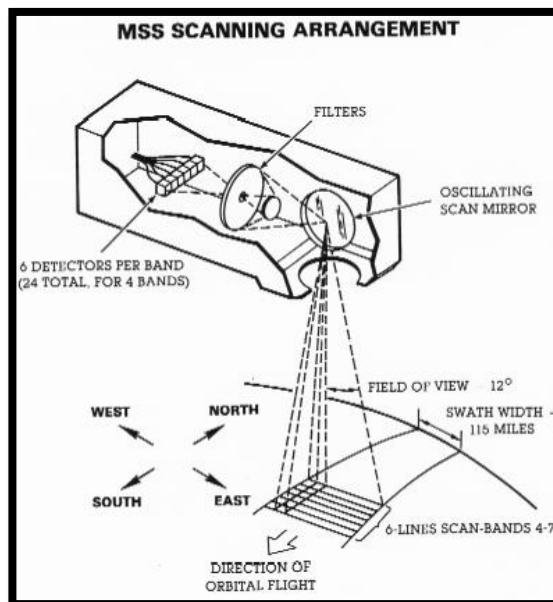
Ο Landsat-1 ξεπέρασε τα χρόνια σχεδιασμού του κατά 5 έτη μένοντας λειτουργικός μέχρι το 1978. Αυτό ξεπέρασε όλες τις προσδοκίες όπως και η ποιότητα και το αντίκτυπο των δεδομένων που συλλέχθηκαν (300.000 εικόνες της επιφάνειας της Γης). Οι Landsat -1 και -2 θεωρούνταν πειραματικά εγχειρήματα όταν εκτοξεύτηκαν το 1975 και 1978 αντίστοιχα. Το 1970 λόγω της επιτυχίας του προγράμματος οι δορυφόροι απέκτησαν πλήρη λειτουργικό χαρακτήρα και η ευθύνη λειτουργίας τους πέρασε από την NASA στην NOAA. Οι Landsat -1,-2,-3, ζύγιζαν περίπου 815 κιλά και εκτοξεύτηκαν σε κυκλικές τροχιές σε ένα ονομαστικό ύψος 900 km και διέρχονταν περί τις 9^ο από τον βόρειο και νότιο πόλο, η περίοδος τροχιάς ήταν περίπου 103 min ή περίπου 14 τροχιές ημερησίως. Επίσης οι δορυφόροι είχαν την δυνατότητα κάλυψης ολόκληρου του πλανήτη μια φορά κάθε 18 ημέρες ή περίπου 20 φορές το χρόνο. Οι Landsat -1-2 εκτοξεύτηκαν με δύο ταυτόσημα τηλεσκοπικά συστήματα: ένα σύστημα RBV τριών καναλιών, και ένα σύστημα MSS 4 καναλιών. Το σύστημα RBV αποτελούνταν από 3 κάμερες που παρατηρούσαν την Γη συγχρόνως με μια επίπεδα επικάλυψη 185x185 km. Η ονομαστική επίπεδα διακριτική ικανότητα των RBV συστημάτων ήταν περίπου 80 m, και η φασματική ευαισθησία της κάθε κάμερας ήταν οι αντίστοιχες με αυτές του έγχρωμου υπέρυθρου φιλμ, δηλαδή η πράσινη ήταν από 0.475 μέχρι 0.575μm, η κόκκινη από 0.580 μέχρι 0.680μm, και η εγγύς υπέρυθρη από 0.690 μέχρι 0.830μm. Αυτές οι φασματικές ζώνες είχαν χαρακτηριστεί ως κανάλια 1,2 και 3. Η κάμερα RBV δεν περιείχε φιλμ και αντί αυτού οι εικόνες εκτίθονταν μέσω ενός μηχανισμού διαφράγματος πάνω σε μία φωτοευαίσθητη επιφάνεια εντός της κάθε κάμερας. Αυτή η επιφάνεια κατόπιν σαρωνόταν από μια εσωτερική δέσμη,



Εικόνα 2.4 Τρόπος λειτουργίας RBV.

ώστε να δημιουργήσει ένα σήμα βίντεο κατά τρόπο παρόμοιο με αυτό που δημιουργούν οι βιντεοκάμερες.

Ο πολυφασματικός σαρωτής MSS των δορυφόρων Landsat -1-2-3 κάλυπτε μια ζώνη πλάτους 185 km σε 4 φασματικά κανάλια: δυο στο ορατό φάσμα δηλαδή από 0.5μm μέχρι 0.6 μm(πράσινο) και 0.6 μm μέχρι 0.7μm(κόκκινο) και δύο στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα από 0.7 μέχρι 0.8μm και από 0.8 μm μέχρι 1.1μm. Αυτά τα κανάλια είχαν χαρακτηριστεί ως κανάλια 4,5,6 και 7. Ο πολυφασματικός σαρωτής MSS του Landsat -3 είχε επίσης ένα θερμικό κανάλι, το κανάλι 8, το οποίο λειτουργούσε στην περιοχή 10.4μm μέχρι 12.6μm. Όμως δημιουργήθηκαν λειτουργικά προβλήματα και αυτό το κανάλι τέθηκε εκτός λειτουργίας σχεδόν αμέσως μετά την εκτόξευση του δορυφόρου. Έτσι όλοι οι πολυφασματικοί σαρωτές MSS παρήγαγαν δεδομένα μόνο σε αυτά τα 4 κανάλια. Ας σημειωθεί ότι αυτές οι φασματικές ζώνες χρησιμοποιήθηκαν και στον πολυφασματικό σαρωτή MSS, ο οποίος υπήρχε στους Landsat -4 και -5 αλλά αυτές οι φασματικές ζώνες είχαν κληθεί κανάλια 1,2,3 και 4 αντίστοιχα.



Εικόνα 2.5 Τρόπος λειτουργίας MSS.

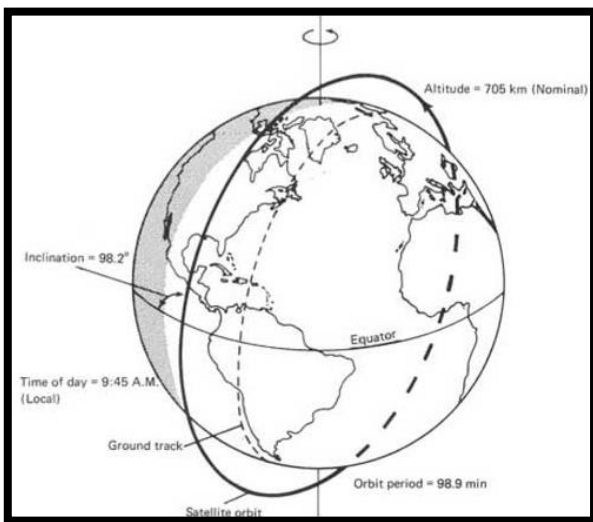
Landsat 1-5 Multispectral Scanner (MSS)	Landsat 1-3	Landsat 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 4 - Green	Band 1 - Green	0.5-0.6	60*
	Band 5 - Red	Band 2 - Red	0.6-0.7	60*
	Band 6 - Near Infrared (NIR)	Band 3 - Near Infrared (NIR)	0.7-0.8	60*
	Band 7 - Near Infrared (NIR)	Band 4 -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

Πίνακας 2.1. Φασματική και χωρική διακριτική ικανότητα Τηλεπισκοπικών δεκτών.

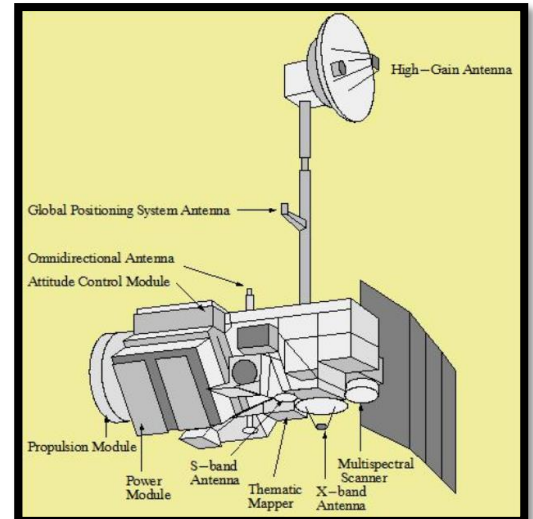
Landsat 4,5

Οι δορυφόροι Landsat -4-5 όπως και οι πρόδρομοι τους εκτοξεύτηκαν σε επαναληπτικές κυκλικές ηλιοσύγχρονες, σχεδόν πολικές τροχιές. Όμως αυτές οι τροχιές ήταν χαμηλότερες δηλαδή αντί των 900 km ήταν 705 km. Ο λόγος που αυτές οι τροχιές επιλέχθηκαν ώστε να είναι σε χαμηλότερο ύψος, ήταν ώστε να υπάρχει η δυνατότητα της ανάκτησης τους από το

διαστημικό λεωφορείο και επίσης για να βελτιωθεί η διακριτική ικανότητα των δεκτών, τους οποίους έφεραν. Οι δορυφόροι είχαν μια γωνία κλίσης με αναφορά τον Ισημερινό 98.2° και η κάθε τροχιά διαρκούσε 99 min και έτσι δημιουργούνται περίπου 14,5 τροχιές κατά την διάρκεια της ημέρας. Οι τροχιές των δορυφόρων Landsat -4 -5 σχεδιάστηκαν να είναι 8 ημέρες εκτός φάσης, έτσι ώστε όταν και οι δύο δορυφόροι ήταν σε λειτουργία να υπάρχει η δυνατότητα οκταήμερης επαναληπτικής κάλυψης. Αυτό το πρότυπο κάλυψης ήταν κάπως διαφορετικό από αυτό των προηγούμενων τριών δορυφόρων οι οποίοι είχαν τροχιακούς κύκλους 18 ημερών και μια ημέρα διαφορά μεταξύ γειτονικών τροχιών. Συνεπώς οι εικόνες των δορυφόρων Landsat -4-5 καταχωρήθηκαν σε ένα Παγκόσμιο σύστημα αναφοράς τροχιών διαφορετικών από αυτών που χρησιμοποιήθηκαν για τους δορυφόρους Landsat -1 -2 και -3. Οι δορυφόροι Landsat -4 -5 περιλάμβαναν δύο συστήματα γεωπαρατήρησης τον MSS και τον TM. Ο MSS έχει συμπεριληφθεί σ' αυτές τις αποστολές κυρίως για να εξασφαλίσει τη συνέχεια αυτών των δεδομένων για σταθμούς λήψης που δεν ήταν σε θέση να λάβουν και να επεξεργαστούν δεδομένα TM. Ο MSS επί των δορυφόρων Landsat -4 και -5 ήταν σχεδόν ταυτόσημος με τους ανιχνευτές MSS των προηγούμενων δορυφόρων Landsat. Η ζώνη της εγκάρσια σάρωσης των 185 km είχε διατηρηθεί στο νέο χαμηλότερο ύψος τροχιάς αυξάνοντας το ολικό οπτικό πεδίο από 11.56° των προηγούμενων συστημάτων σε 14.92° . Η οπτική διάταξη του συστήματος MSS έχει επίσης τροποποιηθεί για να επιφέρει ένα επίγειο εικονοστοιχείο 82 m, το οποίο προσεγγίζει το επίγειο εικονοστοιχείο των 79 m των προηγούμενων συστημάτων. Οι ίδιες τέσσερις φασματικές ζώνες χρησιμοποιούνται για την συλλογή δεδομένων αλλά έχουν επαναριθμηθεί. Αυτό σημαίνει ότι τα κανάλια 1 ως 4 του MSS των Landsat -4 και -5 αντιστοιχούν απευθείας στα κανάλια 4 ως 7 των προηγούμενων συστημάτων MSS (Αργιαλάς 1999).



Εικόνα 2.6. Ηλιοσύγχρονη τροχιά των Landsat -4 και -5.



Εικόνα 2.7. Διάταξη συστημάτων των δορυφόρων Landsat -4 και -5.

Ο Θεματικός Χαρτογράφος TM είναι ένας δέκτης προηγμένης τεχνολογίας, ο οποίος ενσωματώνει έναν αριθμό φασματικών, ραδιομετρικών και γεωμετρικών βελτιώσεων στο σχεδιασμό του σε σχέση με τον MSS. Οι φασματικές βελτιώσεις συμπεριλαμβάνουν τη συλλογή δεδομένων σε επτά κανάλια αντί τεσσάρων, με νέα κανάλια στο ορατό(μπλε), μέσο υπέρυθο και θερμικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Επίσης με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε με την ερμηνεία των δεδομένων MSS και τα αποτελέσματα εκτεταμένης έρευνας με τα ραδιόμετρα πεδίου, το φασματικό εύρος κάθε καναλιού και η θέση των καναλιών του TM μέσα στο φάσμα είχαν επιλεγεί για να βελτιώσουν την φασματική διάκριση των κυρίων θεματικών κατηγοριών της γήινης επιφάνειας. Ραδιομετρικά ,ο TM διεξάγει την μετατροπή του σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό επί του φορέα, σε ένα εύρος κωδικοποίησης 256 ψηφιακών αριθμών δηλαδή η κβαντοποίηση είναι 8 bits.Γεωμετρικά τα δεδομένα του TM συλλέγονται χρησιμοποιώντας ένα επίγειο εικονοστοιχείο 30m. Συνεπώς προέκυψε μια ελάττωση στις γραμμικές διαστάσεις του επίγειου εικονοστοιχείου κατά 7 φορές περίπου. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τα φασματικά κανάλια του TM.

Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM)	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Blue	0.45-0.52	30
	Band 2 - Green	0.52-0.60	30
	Band 3 - Red	0.63-0.69	30
	Band 4 - Near Infrared (NIR)	0.76-0.90	30
	Band 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.55-1.75	30
	Band 6 - Thermal	10.40-12.50	120* (30)
	Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.08-2.35	30

Πίνακας 2.2. Φασματική και χωρική διακριτική ικανότητα Τηλεπισκοπικών Δεκτών.

Landsat 6

Μετά από δύο δεκαετίες επιτυχιών, το πρόγραμμα Landsat γνώρισε την πρώτη του αποτυχία στις 5 Οκτωβρίου του 1993, με την ανεπιτυχή εκτόξευση του Landsat -6 . Αυτός ο δορυφόρος σχεδιάστηκε για να βρίσκεται σε τροχιά ταυτόσημη με αυτή των Landsat -4 και -5. Ο ανιχνευτής που συμπεριλαμβάνονταν επί του φορέα αυτής της αποστολής ήταν ο Enhanced Thematic Mapper (ETM). Για να παρέχει συνέχεια δεδομένων με τους Landsat -4 και Landsat -5, ο ETM ενσωμάτωνε τις ίδιες 7 φασματικές ζώνες και τις ίδιες χωρικές διακριτικές ικανότητες με τον TM. Η κυριότερη βελτίωση του ETM σε σχέση με τον TM ήταν η προσθήκη ενός όγδοου, «παγχρωματικού» καναλιού το οποίο λειτουργούσε στο εύρος από 0.50 μm μέχρι 0.90μm με χωρική διακριτική ικανότητα 15m. Πραγματοποιήθηκαν επίσης αλλαγές στο σχεδιασμό του συστήματος των ανιχνευτών του ETM, για να επιτρέψουν στα δεδομένα να συγγραφούν αυτόματα για όλα τα κανάλια, καθώς αυτά θα συλλέγονται. Η ικανότητα αυτή αναφέρεται ως ένας «μονολιθικός σχεδιασμός ανιχνευτών». Μια άλλη βελτίωση που πραγματοποιήθηκε στο σχεδιασμό του ETM ήταν η δυνατότητα του να ρυθμίζονται οι απολαβές των μεμονωμένων καναλιών από το έδαφος. Ο ETM είχε 9-bit μετατροπέα σήματος αναλογικής σε ψηφιακή μορφή, ο οποίος παρείχε είτε υψηλής είτε χαμηλής απολαβής 8-bit ρύθμιση. Η υψηλή απολαβή θα χρησιμοποιούνταν σε περιοχές χαμηλής

ανακλαστικότητα, και η χαμηλή απολαβή σχεδιάστηκε για να παρέχει αξιόπιστες αναγνώσεις πολύ φωτεινών περιοχών χωρίς κορεσμό του ανιχνευτή (Αργιαλάς 1999).

Landsat -7

Ο δορυφόρος Landsat -7 είναι ο έβδομος δορυφόρος του προγράμματος Landsat. Εκτοξεύτηκε στις 15 Απριλίου το 1999. Ο στόχος του δορυφόρου ήταν να ανανεώσει το παγκόσμιο αρχείο των δορυφορικών εικόνων παρέχοντας σύγχρονες εικόνες και χωρίς σύννεφα. Ο Landsat -7 σχεδιάστηκε με προσδόκιμο χρήσης πέντε χρόνια και έχει την δυνατότητα να συλλέγει και να μεταδίδει μέχρι 532 εικόνες κάθε μέρα. Η τροχιά του είναι πολική ηλιοσύγχρονη το οποίο σημαίνει ότι καλύπτει ολόκληρη την Γη. Επίσης η τροχιά του είναι στα 705 km, η κάθε τροχιά διαρκεί 98.83 min και έτσι δημιουργούνται περίπου 14,5 τροχιές κατά την διάρκεια της ημέρας. Ο κύριος ανιχνευτής του Landsat -7 είναι ο Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του δορυφόρου ήταν: ένα παγχρωματικό κανάλι με χωρική ανάλυση 15m(κανάλι 8), κανάλια ορατού φωτός μπλε, πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο, μέσω υπέρυθρο με χωρική ανάλυση 30m(κανάλια 1-5,7), ένα θερμικό υπέρυθρο κανάλι με χωρική ανάλυση 60 m.

Στις 31 Μαΐου του 2003 ο διορθωτής της γραμμικής σάρωσης (SLC) του ETM+ υπέστη βλάβη. Ο σκοπός του SLC είναι η αντιστάθμιση της πρόσθιας κίνησης του δορυφόρου έτσι ώστε οι σαρώσεις να είναι παράλληλες μεταξύ τους, χωρίς το SLC η κάλυψη της Γης γινόταν με έναν τρόπο ζιγκ ζαγκ με αποτέλεσμα κάποιες περιοχές να απεικονίζονται δύο φορές και κάποιες άλλες να μην απεικονίζονται καθόλου. Περίπου το 22% των δεδομένων χάνονται όταν η συλλογή τους γίνεται χωρίς την χρήση ενός λειτουργικού SLC. Ωστόσο ο Landsat 7 ETM+ συνέχισε να είναι λειτουργικός και ικανός να λαμβάνει χρήσιμα δεδομένα ειδικά στο κεντρικό κομμάτι κάθε εικόνας.

Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Blue	0.45-0.52	30
	Band 2 - Green	0.52-0.60	30
	Band 3 - Red	0.63-0.69	30
	Band 4 - Near Infrared (NIR)	0.77-0.90	30
	Band 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.55-1.75	30
	Band 6 - Thermal	10.40-12.50	60 * (30)
	Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.09-2.35	30
	Band 8 - Panchromatic	.52-.90	15

Πίνακας 2.3 Φασματική και χωρική διακριτική ικανότητα Τηλεπισκοπικών δεκτών.

Landsat 8

Ο Landsat 8 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου του 2013. Το σύστημα αποτελείται από δύο βασικά τμήματα : το παρατηρητήριο και τον επίγειο σταθμό. Το παρατηρητήριο αποτελείται από την διαστημική πλατφόρμα στην οποία είναι τοποθετημένοι οι δύο δέκτες ο Operational Land Imager (OLI) και ο Thermal Infrared Sensor(TIRS). Ο OLI και ο TIRS συλλέγουν δεδομένα από κοινού προκειμένου να παρέχουν εικόνες της επιφάνειας της Γης, παγκοσμίως

συμπεριλαμβανομένων των παράκτιων περιοχών. Των πολικών πάγων των νησιών και των ηπειρωτικών περιοχών. Επιπρόσθετα ο Landsat 8 ακολουθεί την ίδια διέλευση (κάθε κυκλική τροχιά χαρακτηρίζεται ως διέλευση) όπως ο Landsat -4,-5 και -7. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στα επιστημονικά δεδομένα του Landsat 8 να αναφέρονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς με τα ήδη καταγεγραμμένα δεδομένα. Ο δορυφόρος βρίσκεται σε ύψος 705 km πάνω από την Γη και ακολουθεί ηλιοσύγχρονη τροχιά. Εκτελεί κύκλο 233 τροχιών και καλύπτει όλη τη γη κάθε 16 μέρες. Η κλίση της τροχιάς είναι 98,2°. Για να εκτελέσει ένα πλήρη γύρω από την Γη χρειάζεται 98,9 min. Η μετακίνηση του ίχνους της τροχιάς επί του εδάφους γίνεται από Βορρά προς Νότο για μια ημέρα, διασταυρώνοντας στον Ισημερινό στις 10:00 π.μ. τοπική ώρα σε κάθε διέλευση. Επιστρέφει 400 εικόνες κάθε μέρα . Τόσο ο αισθητήρας OLI όσο και ο αισθητήρας TIRS σε κάθε εικόνα καλύπτουν επιφάνεια 185km².

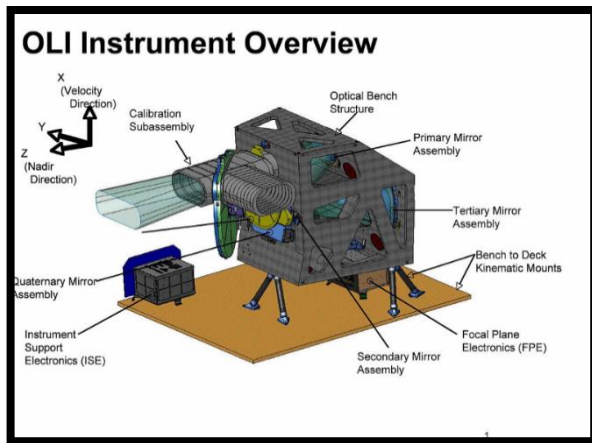
Landsat 8	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Band 1 - Ultra Blue (coastal/aerosol)	0.435 - 0.451	30
	Band 2 - Blue	0.452 - 0.512	30
	Band 3 - Green	0.533 - 0.590	30
	Band 4 - Red	0.636 - 0.673	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.851 - 0.879	30
	Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.566 - 1.651	30
	Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.107 - 2.294	30
	Band 8 - Panchromatic	0.503 - 0.676	15
	Band 9 - Cirrus	1.363 - 1.384	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

Πίνακας 2.4. Φασματική και χωρική διακριτική ικανότητα Τηλεπισκοπικών Δεκτών.

OLI-Operational Land Imager

Ο OLI αποτελεί μια βελτίωση των προηγούμενων δεκτών των δορυφόρων Landsat, η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στον δέκτη Advanced Land imager που βρισκόταν πάνω στον πειραματικό δορυφόρο της NASA EO-1. Ο OLI φέρει έναν σαρωτή επιμήκους σάρωσης (“push broom”) σε αντίθεση με τους προγενέστερους δορυφόρους Landsat που συνήθιζαν να φέρουν σαρωτές εγκάρσιας σάρωσης (whiskbroom). Ο σαρωτής επιμήκους σάρωσης ευθυγραμμίζει τις συστοιχίες ανιχνευτών απεικόνισης κατά μήκος του εστιακού επιπέδου του Landsat 8, επιτρέποντάς του να προβάλλει ολόκληρο το πεδίο διασταύρωσης, διαμέτρου 185 km.

Με περισσότερους από 7.000 ανιχνευτές ανά φασματική ζώνη, ο σχεδιασμός του διανομέα έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη ευαισθησία, λιγότερα κινούμενα μέρη και βελτιωμένη πληροφορία σχετικά με την επιφάνεια της γης. Ο OLI συλλέγει δεδομένα από εννέα φασματικές ζώνες. Οι επτά από τις εννέα ζώνες είναι συμβατές με τους αισθητήρες του Thematic Mapper(TM) και του Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +) που υπάρχουν σε προηγούμενους δορυφόρους Landsat, παρέχοντας συμβατότητα με τα ιστορικά δεδομένα Landsat, βελτιώνοντας ταυτόχρονα τις δυνατότητες μέτρησης. Υπάρχουν δύο νέα φασματικά κανάλια ένα βαθιά μπλε παράκτιο (deep blue coastal) /aerosol και ένα κανάλι υπέρυθρου μικρού κύματος (cirrus band) , επιτρέποντας στους επιστήμονες να μετρήσουν την ποιότητα του νερού και να βελτιώσουν την ανίχνευση υψηλών και λεπτών σύννεφων.



Εικόνα 2.8. Διάταξη συστημάτων δέκτη OLI.

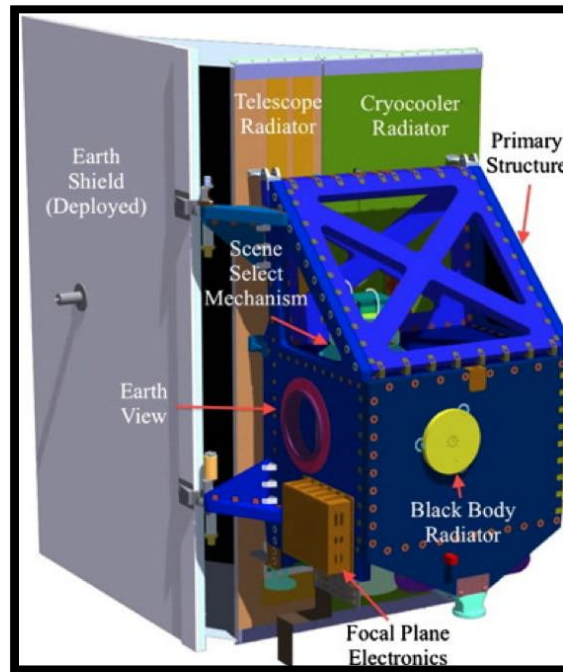


Εικόνα 2.9. Θύσανοι.

Το νέο φασματικό κανάλι του OLI(band 9) μετρά την ακτινοβολία σε μήκη κύματος, ιδιαίτερα ευαίσθητα στην παρουσία θυσάνων. Αυτά τα λεπτά σύννεφα σε μεγάλα ύψη είναι δύσκολο να ανιχνευτούν σε δορυφορικές εικόνες και σε συνδυασμό με τις σκιές που προκαλούν επηρεάζουν τις μετρήσεις.

TIRS-Thermal Infrared Sensor

Ο αισθητήρας θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας (TIRS), που κατασκευάστηκε από το NASA, πραγματοποιεί θερμική απεικόνιση και υποστηρίζει εφαρμογές όπως μετρήσεις ποσοστού εξατμισοδιαπνοής για την παρακολούθηση των υδάτων. Τα δεδομένα TIRS καταχωρούνται μαζί με τα δεδομένα OLI για να δημιουργήσουν ραδιομετρικά, γεωμετρικά και εδαφικά διορθωμένα προϊόντα Landsat 8 στα 12 bit. Όπως και ο OLI, ο TIRS χρησιμοποιεί έναν σαρωτή επιμήκους σάρωσης με πλάτος 185 χιλιομέτρων. Ο TIRS συλλέγει δεδομένα από δύο υπέρυθρα κανάλια μεγάλου μήκους. Οπότε ο TIRS παρέχει στον κόσμο το υπέρυθρο που παρείχε και ο Landsat 7 και προσθέτει ένα καινούργιο. Οι προηγούμενοι δορυφόροι Landsat μετρούσαν την θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο θερμικό κανάλι για την ανίχνευση των μεγάλων μηκών κύματος της εκπεμπόμενης γήινης ακτινοβολίας. Ωστόσο ο TIRS ανιχνεύει σε δύο τμήματα του θερμικού υπέρυθρου φάσματος, τα οποία εμπίπτουν σε ατμοσφαιρικό παράθυρο, με αποτέλεσμα να παρέχουν καλύτερες εκτιμήσεις της γήινης θερμοκρασίας συγκριτικά με ένα ενιαίο θερμικό κανάλι. Ο TIRS ήταν μια προσθήκη της τελευταίας στιγμής στον Landsat 8 έτσι για να επισπεύσουν την κατασκευή του, ώστε να εκτοξευτεί ο Landsat 8, έχει μόνο τριετή διάρκεια σχεδιασμού.



Εικόνα 2.10. Διάταξη συστημάτων του δέκτη TIRS.

2.3 Μάσκες Σύννεφων – Cloud Masking

Καλύπτοντας πάνω από το 50% της παγκόσμιας επιφάνειας, τα σύννεφα αποτελούν σημαντικό παράγοντα στο εκτεινόμενο ισοζύγιο του πλανήτη εξαιτίας της απορρόφησης και διασκόρπισης της ηλιακής και της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τα σύννεφα επηρεάζουν τη μεταφορά ενέργειας ανάμεσα στον ήλιο και στην επιφάνεια της Γης καθώς εμποδίζουν την ακτινοβολία μεταξύ τους, αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι πληροφορίες περιοχών με σύννεφα να χάνονται ή να αλλοιώνονται μειώνοντας έτσι τον ρυθμό αξιοποίησης των δεδομένων. Η κάλυψη των σύννεφων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια και την αξιοπιστία των εικόνων. Έτσι είναι σημαντικό η συλλογή εικόνων χωρίς σύννεφα να γίνεται αυτοματοποιημένα επειδή χρειαζόμαστε μεγάλο αριθμό εικόνων για μελέτες μεγάλων χρονικών διαστημάτων. Κάτι τέτοιο είναι δύσκολο λόγω κλιματικών παραγόντων και εξαιτίας του μεγάλου εύρους παρατήρησης των δορυφόρων. Μέχρι σήμερα μόνο κάποιοι δέκτες μικροκυμάτων μπορούν να παραβλέψουν τα σύννεφα και να πάρουν κατάλληλες εικόνες για την χρήση τους σε Τηλεπισκοπικές εφαρμογές. Έτσι η εξάλειψη περιοχών με σύννεφα μέσω του εντοπισμού τους είναι καίριας σημασίας για την επεξεργασία Τηλεπισκοπικών δεδομένων. Τα σύννεφα χαρακτηρίζονται γενικά από υψηλότερη ανακλαστικότητα και χαμηλότερη θερμοκρασία από την υποκείμενη γήινη επιφάνεια. Έτσι τα ορατά και υπέρυθρα κανάλια μπορούν να μας δώσουν καλά αποτελέσματα στην ανίχνευση σύννεφων. Η ύπαρξη σύννεφων και των σκιών τους ,περιπλέκει την χρήση των δεδομένων σε Τηλεπισκοπικές εφαρμογές αφού οδηγούν σε μη ακριβή ατμοσφαιρική διόρθωση. Έτσι τα σύννεφα μπορούν να θεωρηθούν ως θόρυβος στις δορυφορικές εικόνες, και ο εντοπισμός τους είναι το πρώτο βήμα στις περισσότερες μελέτες. Τα σύννεφα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα παχιά αδιαφανή σύννεφα και τα ημιδιαφανή, τους

λεγόμενους θυσάνους. Τα παχιά σύννεφα είναι σχετικά πιο εύκολα στον εντοπισμό τους λόγω της υψηλής ανακλαστικότητας τους στο ορατό φάσμα, ενώ οι θύσανοι παρουσιάζουν αρκετές δυσκολίες στο εντοπισμό τους καθώς η καταγραφή περιλαμβάνει σύννεφο αλλά και τμήμα της ακτινοβολίας του εδάφους. Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί αρκετοί τρόποι εντοπισμού σύννεφων καθώς ο αυτοματοποιημένος εντοπισμός τους είναι πολύ σημαντικός.

Στο κεφάλαιο 2.4 πραγματοποιείτε μια σύντομη ανασκόπηση της σημαντικότερης βιβλιογραφίας. Η ανασκόπηση επικεντρώνετε στην βιβλιογραφία που συνδέετε άμεσα με την συγκεκριμένη εργασία, δηλαδή αλγόριθμοι εντοπισμού σύννεφων και σκιών .

2.4 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Ο αλγόριθμος ICCP που περιγράφεται από τους **Rossow et al., (1985)**, Rossow and Schiffer (1991), Rossow and Garder (1993) υποθέτει ότι οι παρατηρούμενες ακτινοβολίες του υπέρυθρου και του ορατού φωτός χωρίζονται σε δύο κατηγορίες , από σύννεφα ή από καθαρό έδαφος . Επίσης οι διακυμάνσεις και το εύρος των ακτινοβολιών που συσχετίζονται με αυτές τις κατηγορίες δεν αλληλο-καλύπτονται. Συγκρίνοντας τις τιμές των παρατηρούμενων εικονοστοιχείων με αυτές μιας περιοχής χωρίς σύννεφα μέσω του ορατού καναλιού των 0.6 μm και του υπέρυθρου των 11μm ένα συννεφιασμένο εικονοστοιχείο μπορεί να αναγνωριστεί αν μία από τις δύο ακτινοβολίες είναι διαφορετική από αυτή του καθαρού εικονοστοιχείου, ανάλογα με τα όρια που έχουμε θέσει. Δυστυχώς κάτι τέτοιο μπορεί να προκληθεί από λανθασμένες μετρήσεις αλλά και από φυσική διακύμανση. Ο αλγόριθμος αυτός σχεδιάστηκε να είναι συντηρητικός ελαχιστοποιώντας τα λάθος εντοπισμένα σύννεφα αλλά αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην εντοπίζει σύννεφα που έμοιαζαν με καθαρές συνθήκες.

Ο αλγόριθμος APOLLO που περιγράφεται από τους **Sanders and Kriebe (1988)**, Kriebel et al., (1989) και Gessel (1989), χρησιμοποιεί τα δεδομένα από 5 κανάλια AVHRR πλήρης ανάλυσης για να θέσει ένα κατώφλι σε κάθε κανάλι ανάλογα με τις ιδιότητες του αντικειμένου ώστε να αναγνωρίσουν τα συννεφιασμένα εικονοστοιχεία. Σύμφωνα με τα δεδομένα ένα εικονοστοιχείο αναγνωρίζεται ως σύννεφο όταν η ανακλαστικότητα είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι και η θερμοκρασία μικρότερη. Ένα εικονοστοιχείο μπορεί να θεωρηθεί καθαρό εάν η αναλογία της ανακλαστικότητας ανάμεσα στα κανάλια 2-1 είναι ανάμεσα σε 0,7 και 1,1, η θερμοκρασιακή διαφορά πάνω από το κατώφλι και η χωρική ομοιομορφία είναι και αυτή πάνω από το κατώφλι που έχουμε θέσει, αλλιώς το εικονοστοιχείο θεωρείται μολυσμένο από σύννεφα. Εικονοστοιχεία που καλύπτονται ολοκληρωτικά από σύννεφα μπορούν να διαχωριστούν από τα μερικώς καλυμμένα με την χρήση διαφορετικών κατωφλιών.

Ο αλγόριθμος NOAA CLAVR (**Stowe et al., 1991**) υιοθετεί έναν πίνακα εικονοστοιχείων 2*2 σαν μονάδα αναγνώρισης και χρησιμοποιείται για παγκόσμιο εντοπισμό σύννεφων. Ένα συννεφιασμένο εικονοστοιχείο αναγνωρίζεται όταν και τα 4 εικονοστοιχεία του πίνακα αναγνώρισης 2*2 αναγνωριστούν ως σύννεφα από την αναγνώριση σύννεφων, αλλιώς αναγνωρίζεται ως καθαρός ουρανός. Όταν 1-3 εικονοστοιχεία αναγνωριστούν ως σύννεφα τότε ο πίνακας είναι μικτός. Ένας πίνακας μικτών εικονοστοιχείων μπορεί να αναγνωριστεί ως καθαρός ουρανός όταν τα στοιχεία του μικτού πίνακα πληρούν τις προϋποθέσεις για πάγο/χιόνι, φωτεινή έρημο. Ο αλγόριθμος χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την

κατηγορία της επιφάνεια και στην ώρα παρατήρησης: θάλασσα, έδαφος, κατά την διάρκεια της μέρας ή της νύχτας αντίστοιχα.

Οι **Berendes et al. (1992)** προτείνουν μια ημι-αυτοματοποιημένη διαδικασία για τον υπολογισμό του ύψους της βάσης των σύννεφων χρησιμοποιώντας πολυφασματικά δεδομένα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα πλήθων τεχνικών επεξεργασίας εικόνων για να συσχετίσει τις άκρες των σύννεφων με τις αντίστοιχες σκιές. Στην συνέχεια, το ύψος εκτιμάτε υπολογίζοντας τον διαχωρισμό ανάμεσα στα αντίστοιχα γενικευμένα σημεία αναφορά του μετασχηματισμού Hough. Οι ακρίβειες υπολογισμού του ύψους είναι στα 50m-70m.

Οι **Wang et al.(1999)** πρότειναν έναν αλγόριθμο που χρησιμοποιεί συγχώνευση εικόνων για τον αυτοματοποιημένο εντοπισμό και την αφαίρεση σύννεφων και σκιών. Χρησιμοποιεί δύο δορυφορικές εικόνες, οι περιοχές με σύννεφα εντοπίζονται βασιζόμενες στην διαφορά των αντανακλάσεων με άλλες περιοχές της εικόνας. Οι σκιές εξομαλύνουν τις διακυμάνσεις της φωτεινότητας στο έδαφος έτσι οι σκιές εντοπίζονται με τους μέσους όρους κυματικών μετασχηματισμών. Η μέθοδος αυτή παρέχει καλά αποτελέσματα αλλά εξαρτάτε σε μεγάλο βαθμό από τις δύο εικόνες που θα χρησιμοποιηθούν

Οι **Irish et al. (2000)** πρότειναν έναν αλγόριθμο ανίχνευση τον Automated Cloud Cover Assessment (ACCA). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εφαρμόζει κάποια φασματικά φίλτρα ώστε να εντοπίσει τα σύννεφα και βασίζεται κυρίως στο θερμικό υπέρυθρο κανάλι. Ο ACCA μπορούσε να εντοπίσει με καλή ακρίβεια το ποσοστό των σύννεφων στις εικόνες Landsat ωστόσο δεν παρείχε ακριβή τοποθεσία των σύννεφων και σκιών ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτοματοποιημένες αναλύσεις χρονοσειρών σε εικόνες Landsat.

Ο **Zhang et al., (2002)** ανέπτυξε έναν αλγόριθμο βελτιστοποιημένης μετατόπισης (Haze optimized transformation) για την ανίχνευση χωρικών κατανομών από σύννεφα και ομίχλη στις εικόνες Landsat ,αυτός ο μετασχηματισμός σχεδιάστηκε για να ελαχιστοποιήσει τις επιπτώσεις της επίγειας επιφανείας (Zhang et al., 2002, Zhang and Guindon, 2003). Για τα δεδομένα Landsat-7 ETM + χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Automated Cloud Cover Assessment (ACCA) από την έναρξη λειτουργίας του από τη NASA το 1999.

Οι **Choi et al. (2004)** πρότειναν έναν αλγόριθμο σχεδιασμένο να εντοπίζει σύννεφα πάνω από περιοχές με χιονιά και πάγο χρησιμοποιώντας μια τεχνική συσχετισμού σκιών και ένα αυτοματοποιημένο κατώφλι του δείκτη NDSI. Η μέθοδος αυτή ταιριάζει το πιθανό σύννεφο με την άκρη της σκιάς με την χρήση μιας επαναληπτικής μεθόδου ώστε να υπολογίσει το βέλτιστο κατώφλι του NDSI για τον εντοπισμό σύννεφων. Λειτουργεί καλά πάνω από περιοχές με πάγο αλλά είναι μια χρονοβόρα μέθοδος και λειτουργεί μόνο για επιφάνειες με πάγο και χιόνι.

Οι **Vermote et al. (2007)**, στο πρόγραμμα ατμοσφαιρικής διόρθωσης Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS), παράγει μια μάσκα εντοπισμού σύννεφων. Η μέθοδος χρησιμοποιεί δύο πέρασματα. Στο πρώτο πέρασμα υπάρχουν 4 συνθήκες και στο δεύτερο πέρασμα μια θερμική συνθήκη που είναι παρόμοια με αυτή του ACCA ωστόσο το δεύτερο πέρασμα παράγει μια μάσκα σύννεφων σε αντίθεση με τον ACCA που απλά παράγει το ποσοστό των σύννεφων.

Ο **Luo et al. (2008)** πρότειναν την χρήση των φυσικών χαρακτηριστικών των σκιών σε συνδυασμό με την γεωμετρία των σύννεφων για την παραγωγή μιας μάσκα σκιάς σύννεφων. Αυτή η μέθοδος λειτουργεί καλά πάνω από περιοχές με βλάστηση αλλά τα αποτελέσματα της παρουσιάζουν μειωμένη ακρίβεια όταν η σκιά των σύννεφων βρίσκεται πάνω σε φωτεινές επιφάνειες ή η σκιά προέρχεται από πολύ λεπτά και αραιά σύννεφα.

Οι **Hégarat-Masclé και André (2009)** πρότειναν έναν αυτοματοποιημένο αλγόριθμο ανίχνευσης για σκιά σύννεφων και σύννεφων με την χρήση εικόνων υψηλής ανάλυσης βασισμένο στη χρήση του φορμαλισμού Markov Random Field στα γραφήματα. Η απόδοση του αλγορίθμου ήταν καλή με γρήγορη κάλυψη και χαμηλά ποσοστά λάθους.

Οι **Oreopoulos et al. (2011)** πρότειναν έναν αλγόριθμο που λειτουργεί και παράγει αντίστοιχα αποτελέσματα όπως ο ACCA χωρίς να βασίζετε στο θερμικό κανάλι για να χρησιμοποιηθεί σε εικόνες κυρίως που έχουν ληφθεί χωρίς την θερμική πληροφορία.

Ο **Sedano et al. (2011)** παρουσίασε μια νέα μέθοδο ανίχνευσης σύννεφων για Τηλεπισκοπικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης που βασίζονται σε αναγνώριση εικονοστοιχείων και σε αναγνώριση με βάση το αντικείμενο και το σχήμα. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν ότι μπορεί να αποκτήσει υψηλή ακρίβεια ανίχνευσης για σύννεφα διαφορετικών τύπων σε διάφορες επιφάνειες γης.

Ο **Li et al., (2012)** ανέπτυξε μια νέα μέθοδο βασισμένη σε διαβαθμίσεις για την ανίχνευση σύννεφων με την χρήση καναλιών υπέρυθρου μικρού μήκους κύματος (SWIR) που επιτρέπει τη χωρική ενίσχυση και την μύωση του θολώματος στην ορατή εικόνα. Μια μέθοδος χωρικής-χρονικής ανάκλασης προτάθηκε επίσης για την ανίχνευση σύννεφων χρησιμοποιώντας τη διαφορά μεταξύ της χωρικής και της χρονικής πληροφορίας.

Ο **Lin et al. (2015)** εισήγαγε μια νέα μέθοδο ραδιομετρικής κανονικοποίησης και ανίχνευσης σύννεφων σε δορυφορικές εικόνες με βάση τον κύριο άξονα ενός scatterplot και τα αμετάβλητα εικονοστοιχεία τα οποία μπορούν να προσδιοριστούν από την προτεινόμενη σταθμισμένη τεχνολογία PCA. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορεί να έχει καλή ακρίβεια εικόνες από διάφορες χρονικές περιόδους και για διάφορες κατηγορίες εδάφους.

Οι **Sun et al. (2016)** πρότειναν έναν αλγόριθμο ανίχνευσης σύννεφων (UDTCDA) από μία βάση δεδομένων ανακλαστικότητας που προ υπήρχε και εφαρμόστηκε στις εικόνες MODIS και Landsat 8 για αναγνώριση σύννεφων. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν ότι μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις των μικτών εικονοστοιχείων και των σύνθετων επιφανειακών δομών και να αποκτήσει υψηλή ακρίβεια στην ανίχνευση σύννεφων.

2.5 Ο Αλγόριθμος FMASK

Τα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου είναι η *Top of Atmosphere Reflectance* (TOA) για τα κανάλια 1, 2, 3, 4, 5, 7 και για το κανάλι 6 η *Brightness Temperature* (BT). Για τις εικόνες Landsat L1T, οι τιμές των ψηφιακών αριθμών (DN) μετατρέπονται σε ανακλάσεις TOA και BT (βαθμοί Κελσίου) με το εργαλείο ατμοσφαιρικής διόρθωσης LEDAPS (**Masek et al., 2006, Vermote & Saleous, 2007**). Στη συνέχεια, βασίζόμενοι στις φυσικές ιδιότητες των σύννεφων

και των σκιών τους εξάγετε ένα πιθανό στρώμα σύννεφων και ένα πιθανό στρώμα σκιάς σύννεφου. Τέλος, το τμηματοποιημένο στρώμα σύννεφου βάση γεωμετρικών σχέσεων συνδυάζεται με το πιθανό στρώμα σκιάς σύννεφου, οδηγώντας στην παραγωγή μιας τελικής μάσκας σκιάς και σύννεφου. Αν η εικόνα Landsat έχει χιόνι, ο αλγόριθμος Fmask θα παράγει επίσης μια μάσκα χιονιού εκτός από τη μάσκα για σκιά και σύννεφο.

2.5.1 Βήματα λειτουργίας αλγορίθμου FMASK

Ο αλγόριθμος Fmask συνδυάζει πρώτα διάφορα φασματικά τεστ για να προσδιορίσει τα πιθανά συννεφιασμένα εικονοστοιχεία (Potential Cloud Pixels), τα εικονοστοιχεία εκείνα που μπορεί να είναι συννεφιασμένα αλλά μπορεί να είναι και καθαρά. Αλλιώς, τα εικονοστοιχεία θεωρούνται απολύτως καθαρά. Αυτό το πρώτο πέρασμα περιλαμβάνει έναν αριθμό φασματικών δοκιμών ως εξής:

Πρώτο Πέρασμα

Basic Test= $\text{Band 7} > 0,03$ και $\text{BT} < 27$ και $\text{NDSI} < 0,8$ και $\text{NDVI} < 0,8$

Όπου,

$$\text{NDSI} = (\text{Band 2} - \text{Band 5}) / (\text{Band 2} + \text{Band 5})$$

$$\text{NDVI} = (\text{Band 4} - \text{Band 3}) / (\text{Band 4} + \text{Band 3}).$$

Το "basic test" είναι μία από τις πιο θεμελιώδεις δοκιμές για την αναγνώριση των σύννεφων. Λόγω της φωτεινής και ψυχρής φύσης των σύννεφων, όλα τα είδη σύννεφων θα πρέπει να έχουν ανακλαστικότητα TOA στο Band 7 μεγαλύτερη από 0,03 και BT λιγότερο από 27 ° C. Οι τιμές NDSI και NDVI των σύννεφων είναι συνήθως κοντά στο μηδέν λόγω του "λευκού" χαρακτήρα τους στις ορατές φασματικές ζώνες. Για ορισμένους τύπους σύννεφων, όπως πολύ λεπτά σύννεφα πάνω από περιοχές με υψηλή βλάστηση ή παγωμένα σύννεφα, οι τιμές NDVI και NDSI μπορεί να είναι μεγαλύτερες, αλλά και οι δύο δεν μπορούν να είναι υψηλότερες από 0,8. Το ACCA χρησιμοποιεί επίσης κατώτατο όριο NDSI 0,8 για ξεχωρίσει τα σύννεφα από εικονοστοιχεία χιονιού στο πρώτο πέρασμα. Επομένως, ο αλγόριθμος Fmask χρησιμοποιεί κατώτατα όρια NDSI και NDVI 0,8 για να χωρίσει τα πιθανά συννεφιασμένα εικονοστοιχεία από ορισμένες περιοχές με βλάστηση ή χιόνι.

$$\text{Mean Vis} = (\text{Band 1} + \text{Band 2} + \text{Band 3}) / 3$$

$$\text{Whiteness Test} = \sum_{i=1}^3 |(\text{Band } i - \text{Mean Vis}) / \text{Mean Vis}| < 0,7$$

Αυτός ο δείκτης "λευκότητας" προτάθηκε αρχικά από τους **Gomez-Chova et al. (2007)**. Καθώς τα σύννεφα εμφανίζονται πάντα λευκά λόγω της «επίπεδης» αντανάκλασης στο ορατό φάσμα, χρησιμοποίησαν το άθροισμα της απόλυτης διαφοράς μεταξύ των ορατών καναλιών και της συνολικής φωτεινότητας για να εντοπίσουν τα σύννεφα. Διαιρώντας την διαφορά με τη μέση τιμή των ορατών καναλιών, ο νέος δείκτης "Whiteness" λειτουργεί καλά για τις εικόνες Landsat και το 0,7 φαίνεται να είναι ένα βέλτιστο κατώφλι για τον διαχωρισμό καθαρών εικονοστοιχείων που παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα στο ορατό φάσμα. Ο παραπάνω δείκτης "Λευκότητας" χρησιμοποιείται για να αποκλείσει εικονοστοιχεία που δεν είναι "άσπρα" αρκετά ώστε να είναι σύννεφα. Το τεστ λευκότητας μπορεί επίσης να περιλαμβάνει μερικά εικονοστοιχεία γυμνού εδάφους, άμμου και χιονιού / πάγου καθώς έχουν "επίπεδη" ανάκλαση στο ορατό φάσμα.

HOT test= (Band 1-0.5) *(Band 3-0.08)>0

Αυτή η βελτιστοποιημένη μετατροπή θόλωσης (Haze Optimized Transformation) για δεδομένα Landsat προτάθηκε αρχικά από τους **Zhang et al. (2002)**. Βασίζεται στην ιδέα ότι στο ορατό φάσμα οι περισσότερες επιφάνειες της γης, κάτω από συνθήκες καθαρού ουρανού, συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό, αλλά η φασματική υπογραφή για την ομίχλη και το αραιό σύννεφο είναι διαφορετική για το μπλε και κόκκινο κομμάτι του φάσματος. Η βελτιστοποιημένη μετατροπή θόλωσης του Zhang et al. (2002) κατασκευάζεται εμπειρικά από την παλινδρόμηση των τιμών DN από τα καθαρά εικονοστοιχεία. Αν χρησιμοποιούμε την ανακλαστικότητα TOA ως δεδομένα για την παλινδρόμηση, η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις περισσότερες εικόνες Landsat. Τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τον διαχωρισμό του θορύβου και του αραιού σύννεφου από τα εικονοστοιχεία του καθαρού ουρανού. Παρόμοια δοκιμή έχει επίσης χρησιμοποιηθεί στον εσωτερικό αλγόριθμο κάλυψης σύννεφων LEDAPS. Όλα τα είδη σύννεφων (αραιό και πυκνό) και πιθανώς πυκνά αερολύματα θα αναγνωρίζονται από αυτή τη δοκιμή. Η συγκεκριμένη δοκιμή μπορεί επίσης να περιλαμβάνει μερικά φωτεινά εικονοστοιχεία όπως βράχια, θολά ύδατα ή επιφάνεια χιονιού / πάγου λόγω της μεγάλης ανακλαστικότητας τους στις ορατές ζώνες.

B4/B5 test = Band 4/ Band 5 > 0.75 (4)

Αυτή η φασματική δοκιμή είναι παρόμοια με μια δοκιμή του ACCA (Irish, 2000), στην οποία ο λόγος του καναλιού 4 και καναλιού 5 πρέπει είναι μεγαλύτερος του 1 ,χρησιμοποιείται για να αποκλείσει το φωτεινό πέτρωμα και την έρημο, λόγω του γεγονότος ότι τείνουν να εμφανίζουν υψηλότερη ανακλαστικότητα στο κανάλι 5 από ότι στο κανάλι 4, ενώ το αντίστροφο ισχύει για σύννεφα. Ωστόσο, αυτό το όριο μπορεί επίσης να αποκλείσει κάποια αραιά σύννεφα. Ως εκ τούτου, μειώθηκε αυτό το όριο σε 0,75 στον Fmask για να συμπεριληφθούν όλα τα πιθανά συννεφιασμένα εικονοστοιχεία . Αυτή η δοκιμή μπορεί επίσης να περιλαμβάνει άλλα εικονοστοιχεία , αλλά η κύρια εστίαση αυτής της δοκιμής είναι ο διαχωρισμός των περισσότερων φωτεινών πετρωμάτων από σύννεφα.

Water Test = (NDVI<0.01 και Band 4 <0.11) ή (NDVI<0.1 και Band 4 <0.05)

Αυτό το "Water Test" χωρίζει όλα τα εικονοστοιχεία σε δύο κατηγορίες, τα εικονοστοιχεία νερού και γης. Τα παχιά σύννεφα θα αναγνωρίζονται ως εικονοστοιχεία γης είτε είναι πάνω από το έδαφος είτε από το νερό (τα παχιά σύννεφα αποκλείουν όλες τις πληροφορίες για τον διαχωρισμό του εδάφους και του νερού), ενώ τα λεπτά σύννεφα πάνω από το νερό μπορεί να αναγνωρίζονται ως εικονοστοιχεία νερού. Η αντανάκλαση της ζώνης NIR είναι ένας καλός δείκτης για την αναγνώριση νερού, καθώς το νερό είναι γενικά σκοτεινό σε αυτή τη ζώνη ενώ το έδαφος είναι συνήθως φωτεινό. Επιπλέον, οι τιμές του NDVI είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τον διαχωρισμό των εικονοστοιχείων νερού από τα εικονοστοιχεία γης, επειδή οι τιμές του NDVI για την γη είναι γενικά πάνω από 0,10 και οι τιμές του NDVI για το νερό είναι συνήθως μικρότερες από 0,10 (Vermote & Saleous, 2007). Ορισμένα από τα εικονοστοιχεία ύδατος μπορεί να έχουν σχετικά μεγάλη αντανάκλαση στο κανάλι 4 λόγω της επίδρασης των λεπτών σύννεφων ή των θολερών συνθηκών και να αναγνωριστούν ορίζοντας όρια για τον NDVI μικρότερο από 0,01 και όριο για το κανάλι 4 μικρότερο από 0,11. Το "Water Test" χρησιμοποιείται κυρίως για τον υπολογισμό της πιθανότητας σύννεφων πάνω από το νερό και τη γη στο πέρασμα δύο.

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω φασματικά τεστ ο Fmask αναγνωρίζει τα πιθανός συννεφιασμένα εικονοστοιχεία(PCP) άμα ισχύουν οι εξής συνθήκες :

PCP Test = Basic Test(True) και Whiteness Test (True) και HOT Test(True) και B4/B5 Test (True)

Αν τα πιθανός συννεφιασμένα εικονοστοιχεία είναι πάνω από το 99,9% της εικόνας, θα χρησιμοποιηθούν απευθείας για την τελική μάσκα σύννεφων , καθώς δεν υπάρχουν αρκετά εικονοστοιχεία καθαρού ουρανού (περίπου 50.000 εικονοστοιχεία) για στατιστικές αναλύσεις στο δεύτερο πέρασμα. Εάν τα PCP είναι λιγότερο από το 99,9% της εικόνας, τα PCP και τα καθαρά εικονοστοιχεία θα σταλούν στο δεύτερο πέρασμα. Δεδομένου ότι ο αλγόριθμος τείνει να συμπεριλάβει όλα τα πιθανός συννεφιασμένα εικονοστοιχεία στο πρώτο πέρασμα, ο Fmask απαιτεί ένα σχετικά μικρό ποσοστό (0,1%) της εικόνας να είναι απολύτως καθαρό για να επιτρέψει το δεύτερο πέρασμα να πραγματοποιηθεί.

Δεύτερο Πέρασμα

Μετά την ταυτοποίηση όλων των PCP, τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία (καθαρά εικονοστοιχεία) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της πιθανότητας σύννεφων για όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας. Καθώς οι κατανομές θερμοκρασίας και το εύρος των ανακλάσεων για το έδαφος και το νερό είναι αρκετά μεταβλητές στο χώρο και στο χρόνο, ο Fmask υπολογίζει χωριστά την πιθανότητα σύννεφου για το νερό και τη γη. Τα εικονοστοιχεία νερού και εδάφους ταξινομούνται σύμφωνα με το "Water Test" που εφαρμόζεται στο πρώτο πέρασμα. Η πιθανότητα σύννεφου για το νερό(wCloud_prob) είναι ο συνδυασμός της θερμοκρασιακής πιθανότητας και την πιθανότητα φωτεινότητας(Brightness_Prob)

Temperature probability for water:

Clear-Sky Water = Water Test(True) και Band 7<0.03

T_{water} = 82.5 percentile of Clear-Sky Water pixel's BT

$wTemperature_Prob = (T_{water} - BT) / 4$

Η θερμοκρασία είναι ένας από τις σημαντικότερους παράγοντες στην ανίχνευση σύννεφων. Η διαφορά ,μεταξύ της εκτιμώμενης θερμοκρασίας του νερού (T_{water}) και της BT των εικονοστοιχείων, ορίζεται ως 4 ° C για να υπολογιστεί η πιθανότητα θερμοκρασίας για το νερό (Εξίσωση 9). Τα καθαρά εικονοστοιχεία νερού αναγνωρίζονται με το "Water Test" και ένα κατώφλι ανάκλασης για το κανάλι 7. . Μια σταθερά 4 ° C χρησιμοποιείται για την εκ νέου κλιμάκωση της πιθανότητας θερμοκρασίας επειδή ένα εικονοστοιχείο θα έχει μεγάλη πιθανότητα να είναι σύννεφο εάν η BT ήταν 4 ° C πιο κρύα από την θερμοκρασία της επιφάνειας (Vermote & Saleous, 2007).

Brightness probability:

Το νερό είναι γενικά σκοτεινό, ειδικά στο κανάλι 5. Η ύπαρξη σύννεφων πάνω από το νερό μπορεί να αυξήσει την αντανάκλαση του στο κανάλι 5 σε μεγάλο βαθμό. Ο Fmask χρησιμοποιεί την κανονικοποιημένη ανάκλαση του καναλιού 5 για να υπολογίσει την

πιθανότητα φωτεινότητας για να ανίχνευση σύννεφα πάνω από το νερό. Συνήθως η αντανάκλαση του νερού στο κανάλι 5 είναι μικρότερη από 0,05, εκτός από μερικά σκούρα ή ρηχά σημεία νερού που μπορεί να έχουν υψηλότερη ανάκλαση. Το φωτεινότερο νερό μπορεί να έχει ανακλαστικότητα στο κανάλι 5 έως και 0,11. Ο Fmask υπολογίζει την κανονικοποιημένη πιθανότητα φωτεινότητας με την εξίσωση .

$$\text{Brightness_Prob} = \min(\text{Band5}, 0.11) / 0.11$$

Cloud probability for water:

Η πιθανότητα σύννεφων για εικονοστοιχεία νερού υπολογίζεται συνδυάζοντας τόσο την πιθανότητα θερμοκρασίας όσο και την πιθανότητα φωτεινότητας.. Η πιθανότητα θερμοκρασίας μπορεί να συνεισφέρει περισσότερο από την πιθανότητα φωτεινότητας για ορισμένα πολύ κρύα εικονοστοιχεία λόγω της ευρύτερης ζώνης πιθανότητας.

$$w\text{Cloud_prob} = w\text{Temperature_prob} * \text{Brightness_prob}$$

Η BT και το κανάλι 5 έχουν αρκετά ομοιογενή αντανάκλαση στα εικονοστοιχεία νερού, ο Fmask χρησιμοποιεί ένα σταθερό κατώφλι για να ξεχωρίσει τα σύννεφα πάνω από το νερό. Ένα εικονοστοιχείο νερού αναγνωρίζεται ως σύννεφο εάν το wCloud_Prob είναι μεγαλύτερο από 0,5. Αυτό το σταθερό όριο λειτουργεί καλά για την ανίχνευση σύννεφων πάνω από το νερό. Με τον συνδυασμό πιθανοτήτων θερμοκρασίας και φωτεινότητας, τα εικονοστοιχεία φωτεινού νερού (όπως ρηχά ή θολά σημεία) ή τα εικονοστοιχεία κρύου νερού (υψηλότερα υψόμετρα) θα αποκλείονται εύκολα από τα εικονοστοιχεία σύννεφων, διότι εάν μία από τις πιθανότητες είναι κοντά στο μηδέν, ανεξαρτήτως πόσο μεγάλη είναι η πιθανότητα σύννεφου η πιθανότητα του νερού θα είναι κοντά στο μηδέν.

Temperature probability for land:

Clear-Sky Land=PCP(False) και Water Test (False)

$(T_{low}, T_{high}) = (17.5, 82.5)$ percentile of Clear-Sky Land pixels' BT

Αν τα καθαρά εικονοστοιχεία εδάφους καλύπτουν λιγότερο από το 0.1% της εικόνας ο Fmask θα χρησιμοποιήσει καθαρά εικονοστοιχεία από νερό και από έδαφος για να υπολογίσει την πιθανότητα της θερμοκρασίας. Επειδή η θερμοκρασία του εδάφους μπορεί να έχει μεγάλη διακύμανση ο Fmask χρησιμοποιεί το πάνω και κάτω όριο της θερμοκρασίας εδάφους ώστε να κανονικοποιήσει την θερμοκρασιακή πιθανότητα για το έδαφος. Κανονικά αν η BT του εικονοστοιχείου είναι 4° C πιο κρύα από το T_{low} τότε το εικονοστοιχείο έχει μεγάλη πιθανότητα να είναι σύννεφο. Επίσης αν είναι 4° C πιο ζεστό τότε έχει μεγάλη πιθανότητα να είναι καθαρό. Επειδή η θερμοκρασία είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην ανίχνευση σύννεφων η πιθανότητα θερμοκρασίας για το έδαφος μπορεί να είναι μεγαλύτερη αν η BT ενός εικονοστοιχείου είναι πάνω από 4 ° C πιο κρύα από την T_{low} .

$$T\text{Temperature_Prob} = (T_{high} + 4 - BT) / (T_{high} + 4 - (T_{low} - 4))$$

Variability probability:

Λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας της ανακλαστικότητας για τα εικονοστοιχεία εδάφους, η πιθανότητα φωτεινότητας δεν λειτουργεί καλά πάνω από το έδαφος για την ανίχνευση σύννεφων. Ωστόσο, καθώς οι φασματικές ανακλάσεις σύννεφων στο ορατό είναι αρκετά ομαλές, ο Fmask χρησιμοποιεί την πιθανότητα της φασματικής μεταβλητότητας για να προσδιορίσει τα σύννεφα πάνω από το έδαφος. Οι τιμές NDVI, NDSI και "Whiteness" χρησιμοποιούνται για τη λήψη της φασματικής μεταβλητότητας σε NIR / Visible, SWIR / Visible. Ο Fmask αφαιρεί την μεγαλύτερη τιμή ανάμεσα σε αυτούς τους δείκτες από την μονάδα για να προσδιορίσει τη φασματική μεταβλητότητα. Η φασματική μεταβλητότητα που βασίζεται στον NDVI και στον NDSI ενδέχεται να μην είναι ακριβής όταν πρόκειται για κορεσμένα εικονοστοιχεία. Σε αυτή την περίπτωση, τροποποιούνται οι NDVI και NDSI. Οι τιμές NDSI και NDVI τροποποιούνται ως εξής: εάν ένα εικονοστοιχείο είναι κορεσμένο στο κανάλι 2 και το κανάλι 5 είναι μεγαλύτερο από το κανάλι 2, ο Fmask δίνει μηδενική τιμή για τον NDSI αυτού του εικονοστοιχείου. ο ίδιος κανόνας ισχύει για τον τροποποιημένο NDVI, δηλαδή εάν ένα εικονοστοιχείο είναι κορεσμένο στο κανάλι 3 και το κανάλι 4 είναι μεγαλύτερο από το κανάλι 3, ο Fmask δίνει μηδενική τιμή για το NDVI αυτού του εικονοστοιχείου. Αυτό συμβαίνει επειδή σε σύγκριση με τις ζώνες NIR και SWIR, οι ορατές ζώνες του Landsat παθαίνουν εύκολα κορεσμό σε φωτεινά εικονοστοιχεία. Θεωρητικά, για τα φωτεινά εικονοστοιχεία σύννεφων, όλες οι οπτικές ζώνες TOA θα είναι κοντά στο 1, καθιστώντας τις τιμές NDSI και NDVI κοντά στο 0. Ωστόσο, αν υπάρχει κορεσμός στα ορατά κανάλια, σε μια μικρή τιμή, για παράδειγμα 0,5 (Dozier, 1989) ενώ δεν υπάρχει κορεσμός στις ζώνες NIR και SWIR, αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι απόλυτες τιμές του NDVI και NDSI να είναι πολύ μεγαλύτερες από μηδέν καθιστώντας την πιθανότητα φασματικής μεταβλητότητας μικρότερη για εικονοστοιχεία με σύννεφα.

Variability_Prob=1-max (abs (modified NDVI), abs (modified NDSI), and Whiteness)

Cloud probability for land:

Η πιθανότητα σύννεφων για εικονοστοιχεία εδάφους υπολογίζεται συνδυάζοντας τόσο την πιθανότητα θερμοκρασίας όσο και την πιθανότητα μεταβλητότητας ως εξής: Η πιθανότητα θερμοκρασίας μπορεί να συνεισφέρει περισσότερο από την πιθανότητα μεταβλητότητας για ορισμένα πολύ κρύα εικονοστοιχεία λόγω της ευρύτερης πιθανοτικής περιοχής.

ICloud_Prob=ITemperature_Prob*Variability_Prob

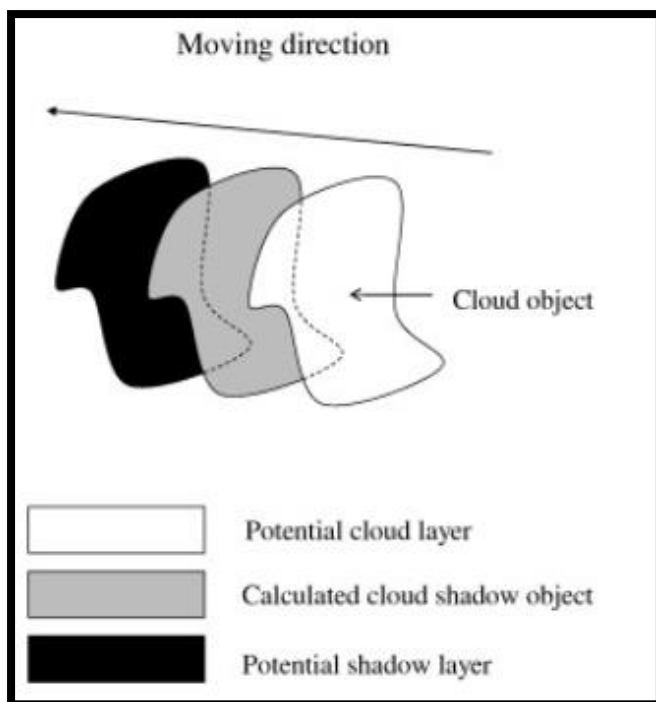
Το κατώφλι για τον εντοπισμό των σύννεφων πάνω από το έδαφος αποτελείται από το ανώτερο επίπεδο (82,5 εκατοστημόρια) της πιθανότητας των εικονοστοιχείων καθαρού ουρανού συν μία σταθερά 0,2 (με βάση την ανάλυση ευαισθησίας) που παρουσιάζεται στην εξίσωση. Ο Fmask προσδιορίζει ένα εικονοστοιχείο ως σύννεφο εάν το ICloud_Prob του εικονοστοιχείου της γης είναι μεγαλύτερο από αυτό το όριο που έχει τεθεί.

Land_threshold= 82.5 percentile of ICloud_Prob(Clear-sky Land pixels)+0.2

Έτσι συνδυάζοντας την πιθανότητα σύννεφων και τα προηγούμενα αναγνωρισμένα PCP ο Fmask δημιουργεί ένα πιθανοτικό στρώμα σύννεφων. Με αυτόν τον τρόπο βρίσκει κάποια εικονοστοιχεία που δεν έχουν εντοπιστεί άμα η πιθανότητα σύννεφων είναι αρκετά μεγάλη.

Potential cloud shadow layer

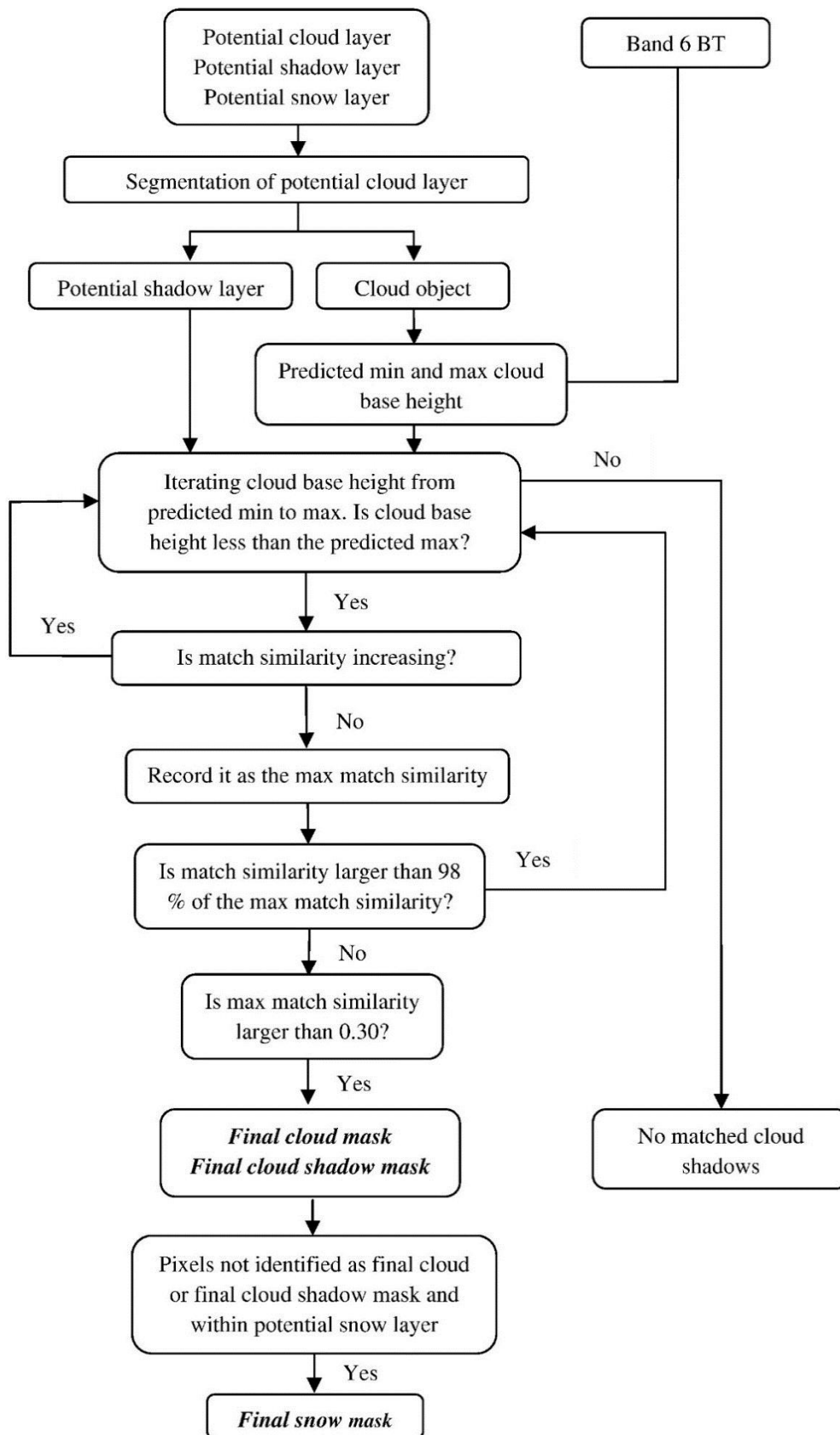
Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία αποκλείεται από σύννεφα, οι σκιές σύννεφων φωτίζονται κυρίως από διάσπαρτο φως. Καθώς η ατμοσφαιρική διασπορά είναι ισχυρότερη σε μικρότερα μήκη κύματος (για παράδειγμα στο ορατό φάσμα), η διάχυτη ακτινοβολία στις σκιές θα είναι σχετικά μικρότερη σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (για παράδειγμα στο NIR και στο SWIR), καθιστώντας τα σκιασμένα εικονοστοιχεία πιο σκούρα από το περιβάλλον τους (Luo κ.ά. ., 2008). Επιπλέον, καθώς η ανάκλαση στο NIR είναι συνήθως υψηλή (συμπεριλαμβανομένης της βλάστησης, του χιονιού, του πάγου και του βράχου), το σκούρο αποτέλεσμα των σκιών σύννεφων είναι πιο εμφανές σε αυτή τη ζώνη. Επομένως, πραγματοποιείται μορφολογικός μετασχηματισμός που ονομάζεται *flood-fill* για την αντανάκλαση του καναλιού 4, ο οποίος φέρνει τις τιμές έντασης των σκοτεινών περιοχών που περιβάλλουν πιο ανοιχτές περιοχές στο ίδιο επίπεδο έντασης με τα περιβάλλοντα εικονοστοιχεία (Soille, 1999). Η εικόνα σε *gray-scale* θεωρείται ως "ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης". Συνεπώς, όλες οι σκιάσεις σύννεφων βρίσκονται σε μέρη με περιφερειακά ελάχιστα λόγω της σχετικά πιο σκούρας ανάκλασης στο κανάλι 4 σε σύγκριση με το περιβάλλον τους. Ο *flood-fill* ορίζεται ως η ανακατασκευή με διάβρωση του μοντέλου ψηφιακής ανύψωσης εισόδου χρησιμοποιώντας μια εικόνα δείκτη η οποία έχει οριστεί στο μέγιστο ύψος του ψηφιακού μοντέλου ανύψωσης εκτός από τα σύνορα και στο κάτω μέρος των φυσικών καταθλίψεων όπου κληρονομεί τις τιμές του μοντέλου ψηφιακής ανύψωσης εισόδου (Soille et al., 2003). Σε αυτή την περίπτωση, η διαφορά μεταξύ της γεμάτης ανάκλασης του Band 4 και της αρχικής αντανάκλασης της ζώνης 4 θα περιλαμβάνει το σκούρο αποτέλεσμα των σκιών σύννεφων. Εάν η σκιά του σύννεφου βρίσκεται στην άκρη της σκηνής, ο μετασχηματισμός *flood-fill* δεν θα είναι σε θέση να τα αναγνωρίσει. Επομένως, ο Fmask γεμίζει την άκρη της σκηνής με το χαμηλότερο επίπεδο (17,5 εκατοστημόρια) της ανακλώμενης ζώνης 4 του εύρους ουρανού για να καλύψει όλες τις πιθανές σκιές νέφους.



Εικόνα 2.11 Δημιουργία στρώματος σκιάς.

2.5.2 Object-based cloud and cloud shadow match

Η βασική αρχή αυτής της αντιστοίχισης σύννεφου με την σκιά του είναι ότι γνωρίζοντας την οπτική γωνία του δορυφορικού δέκτη, την ζενίθια γωνία του ηλίου, την γωνία αζιμούθιου αλλά και το σχετικό ύψος του κάθε σύννεφου μπορούμε να προβλέψουμε την θέση της σκιάς βάσει της γεωμετρικής σχέσης του σύννεφου με την σκιά του. Επειδή γνωρίζουμε τους παραπάνω παράγοντες μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε για να υπολογίσουμε την διεύθυνση προβολής της σκιάς. Μαζί με την διεύθυνση ο Fmask συσχετίζει το σύννεφο με την πιθανή σκιά βασιζόμενος στο ότι σύννεφο και σκιά έχουν παρόμοιο σχήμα. Το σύννεφο αφαιρείται από το στρώμα των σκιών καθώς τα εικονοστοιχεία δεν μπορούν να είναι σκιά και σύννεφο ταυτόχρονα. Ο συσχετισμός ομοιότητας για κάθε σύννεφο είναι η αναλογία της περιοχής αλληλοεπικάλυψης μεταξύ της υπολογιζόμενης σκιάς και των πιθανών σύννεφων ή της σκιάς στην υπολογιζόμενη περιοχή σκιάς. Επίσης για να συσχετιστεί το σωστό σύννεφο με την σωστή σκιά, η εναλλαγή του ύψος σύννεφου συνεχίζεται μέχρι η ομοιότητα να σταματήσει να αυξάνεται στο 98%. Εάν η ομοιότητα είναι μεγαλύτερη από ένα δεδομένο όριο, η σκιά του σύννεφου συσχετίζεται, αλλιώς απορρίπτεται. Το όριο ομοιότητας μπορεί να είναι οποιαδήποτε τιμή από 0,2 έως 0,5, και παρέχουν παρόμοια σκιάς σύννεφου. Για το Fmask εφαρμόζεται ένα όριο 0,3 καθώς διατηρεί την ισορροπία μεταξύ σφαλμάτων



Εικόνα 2.12. Βήματα συσχέτισμού σύννεφων και σκιάς για Fmask.

2.5.3 Fmask για τις εικόνες Landsat 8

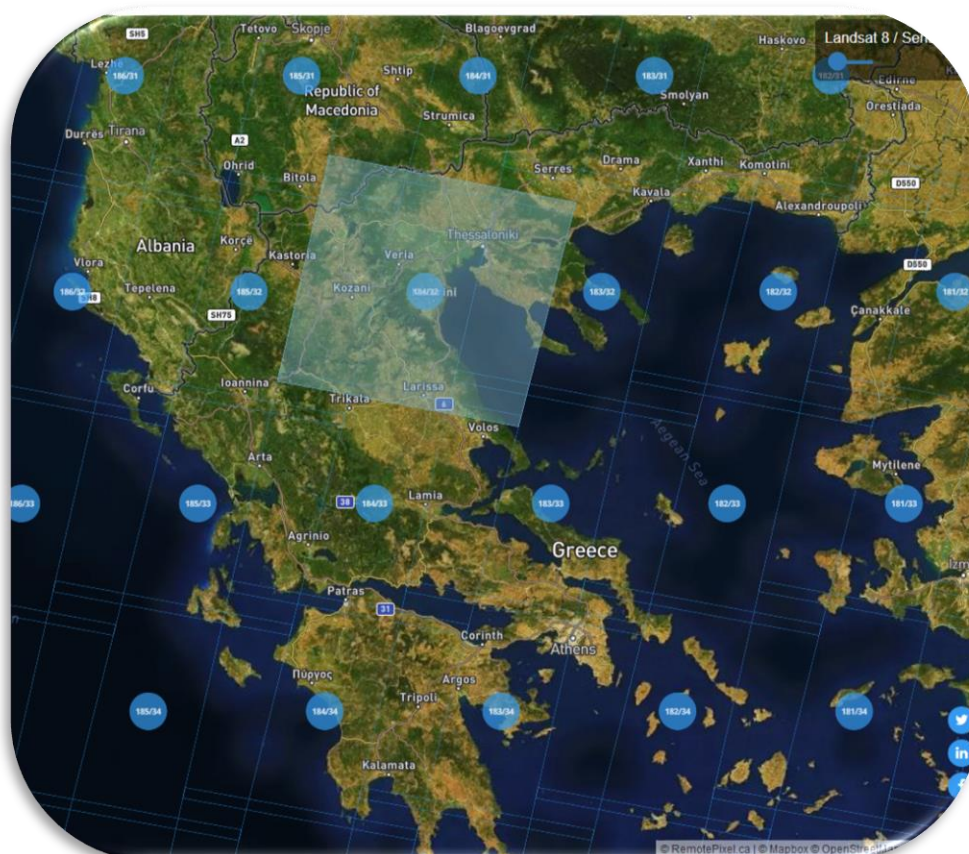
Για τις εικόνες Landsat 8, ο αλγόριθμος Fmask είναι ο ίδιος όπως για τις εικόνες Landsat 4-7, εκτός από τα σημεία όπου εφαρμόζεται το νέο κανάλι cirrus. Το κανάλι cirrus χρησιμοποιείται στο πρώτο πέρασμα όπου δημιουργείται το Potential Cloud Layer, χρησιμοποιείται ένα cirrus cloud test για καλύτερη αναγνώριση των Potential Cloud Pixels (PCP). Αυτό το cirrus cloud test είναι αρκετά απλό : αν η αντανάκλαση TOA του καναλιού cirrus είναι μεγαλύτερη του 0.01 τότε το εικονοστοιχείο θεωρείται PCP. Το κατώφλι 0,01 προκύπτει από μια πρόσφατη μελέτη που διαπιστώνει ότι αυτό το όριο αντιστοιχεί στο χαμηλότερο 1% της προσομοιωμένης ανάκλασης νεφελώδους ουρανού (Wilson & Oreopoulos, 2013). Το κανάλι cirrus χρησιμοποιείται επίσης για τον υπολογισμό της πιθανότητας σύννεφου. Δεδομένου ότι το κανάλι cirrus θα έχει μόνο υψηλή ανακλαστικότητα TOA για τα σύννεφα σε μεγάλα υψόμετρα (κυρίως θύσανοι), ο νέος αλγόριθμος Fmask χρησιμοποιεί την τιμή της ανακλαστικότητας TOA του καναλιού cirrus για να υπολογίσει πιθανότητα θυσάνων και προσθέτει αυτή τη νέα πιθανότητα στην αρχική πιθανότητα σύννεφου που υπολογίζεται από τον αρχικό αλγόριθμο Fmask. Συνδυάζοντας την παλαιά πιθανότητα σύννεφου που προσδιορίζει τόσο τα λεπτά όσο και τα παχιά σύννεφα και την νέα πιθανότητα που εντοπίζει κυρίως λεπτά σύννεφα , η νέα πιθανότητα σύννεφων είναι ικανή να παρέχει καλύτερες πιθανότητες σύννεφων, ειδικά για μέρη με πολλά λεπτά σύννεφα. Η πιθανότητα θυσάνων υπολογίζεται βάσει του μεγέθους της ανάκλασης TOA στο κανάλι cirrus. Η πιθανότητα θυσάνων αυξάνεται γραμμικά με την ανάκλαση TOA στο κανάλι cirrus και φτάνει στο 1 όταν η ανακλαστικότητα TOA ισούται με 0,04 (Ackerman et al., 2010). Αν η ανάκλαση TOA του καναλιού cirrus είναι μεγαλύτερη από 0,04, η πιθανότητα θυσάνων θα συνεχίσει να αυξάνεται γραμμικά. Με τη βοήθεια του καναλιού cirrus, ο αλγόριθμος Fmask είναι σε θέση να ανιχνεύει τόσο παχιά όσο και λεπτά σύννεφα, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων εξαιρετικά λεπτών σύννεφων σε εικόνες Landsat . Με βάση αυτήν την προσέγγιση ο νέος αλγόριθμος Fmask είναι επίσης ικανός να ανιχνεύει σκιές σύννεφων που δημιουργούνται από μερικά εξαιρετικά λεπτά σύννεφα. (Cirrus Cloud probability=cirrus band/0.04).

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ώστε να δημιουργηθούν τα μοντέλα ταξινόμησης και αναγνώρισης σύννεφων από εικόνες Landsat 8, ώστε να γίνει σύγκριση με τα αποτελέσματα του Fmask. Περιγράφεται η διαδικασία συλλογής τους, καθώς και η επεξεργασία τους. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με την χρήση του λογισμικού Qgis, όπως και η δημιουργία δεδομένων εκπαίδευσης/ελέγχου. Η μορφοποίηση και η ανάλυση έγινε με το λογισμικό πακέτο MATLAB και η δημιουργία των μοντέλων με την χρήση της πρόσθετης βιβλιοθήκης του λογισμικού MATLAB, Libsvm.

3.1 Περιοχή Μελέτης και Επιλογή Δεδομένων.

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε η περιοχή που απεικονίζεται στο path/row 183-32 του δορυφόρου Landsat 8 OLI/TIRS, η συγκεκριμένη επιλογή έγινε γιατί το συγκεκριμένο path/row εμπεριέχει ποικίλες χρήσεις/καλύψεις γης καθώς και έντονη παρουσία σύννεφων στην εκάστοτε εικόνα, κάτι απαραίτητο για την μελέτη τους. Οι εικόνες προμηθεύτηκαν από την Γεωλογική Υπηρεσία της Κυβέρνησης των Ηνωμένων Πολιτειών<<United States Geological Survey>>(USGS), η επιλογή και η απόκτηση των εικόνων πραγματοποιήθηκε ύστερα από εγγραφή στην υπηρεσία Earth Explorer του οργανισμού USGS.




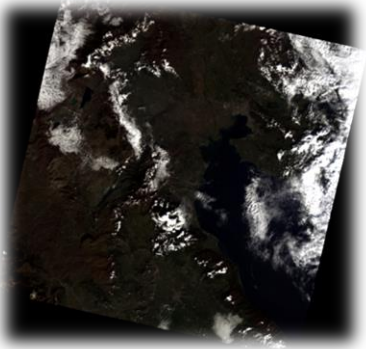


Εικόνα 3.1 Path/row μελέτης.

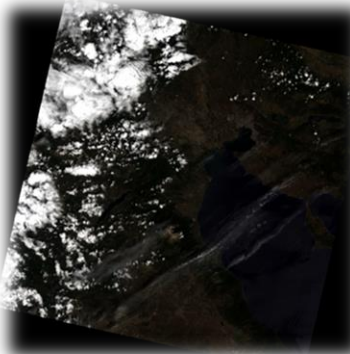


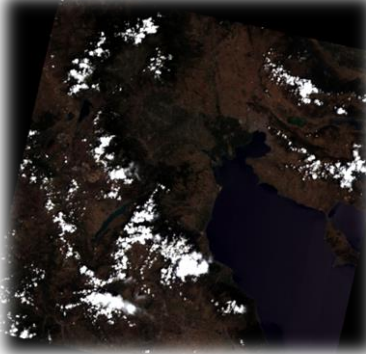
Το συγκεκριμένο path/row απεικονίζει ένα κομμάτι της Ελλάδας και συγκεκριμένα τις πόλεις της Θεσσαλονίκης, της Κοζάνης και της Βέροιας. Επίσης απεικονίζεται ο Θερμαϊκός κόλπος

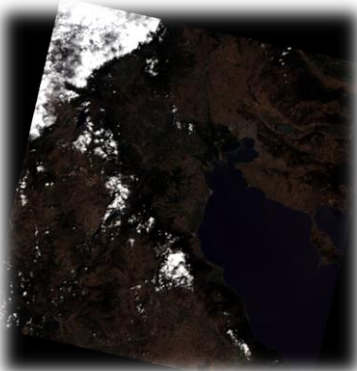
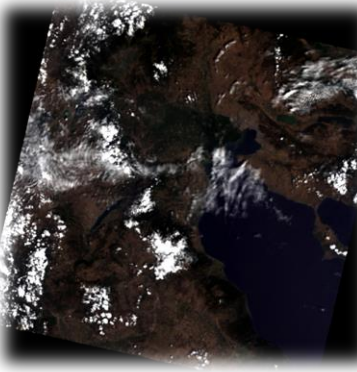
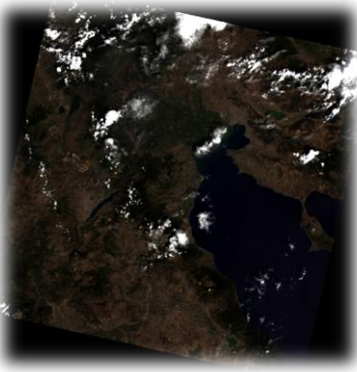

καθώς και μερικές λίμνες όπως η Λίμνη Καστοριάς Ορεστιάδα , η λίμνη Βεγορίτιδα και η τεχνητή λίμνη Πολυφύτου .




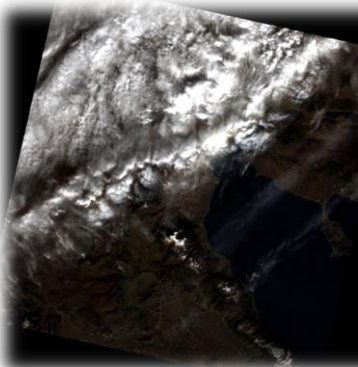
Από το συγκεκριμένο path/row επιλέχθηκαν οι εικόνες του 2016 οι οποίες είχαν κάλυψη σκινης από σύννεφα σε ποσοστό μικρότερο του 50%, ώστε να είναι δυνατή η δημιουργία δεδομένων εκπαίδευσης/ελέγχου. Έτσι επιλέχθηκαν 18 εικόνες από τις 23 του έτους 2016 για το συγκεκριμένο path/row . Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εικόνες που επιλέχθηκαν με τον κωδικό τους την ημερομηνία λήψης καθώς και το ποσοστό κάλυψης από σύννεφα. Οι εικόνες που λήφθηκαν σε raw level 1c ήταν οι εξής : LC81840322016008LGN02, LC81840322016024LGN00, LC81840322016040LGN00, LC81840322016056LGN00, LC81840322016088LGN00, LC81840322016104LGN00, LC81840322016136LGN00, LC81840322016152LGN00, LC81840322016168LGN00, LC81840322016184LGN00, LC81840322016200LGN00, LC81840322016216LGN00, LC81840322016232LGN00, LC81840322016248LGN00, LC81840322016264LGN00, LC81840322016280LGN00, LC81840322016344LGN00, LC81840322016360LGN00.

Κωδικός Εικόνας	Εικόνα	Ημερομηνία	Ποσοστό σύννεφων
LC81840322016008LGN02		08-01-2016	1%
LC81840322016024LGN00		24-01-2016	12.87%

<p>LC81840322016040L GN00</p>		<p>09-02-2016</p>	<p>31.89%</p>
<p>LC81840322016056L GN00</p>		<p>25-02-2016</p>	<p>22.06%</p>
<p>LC81840322016088L GN00</p>		<p>28-03-2016</p>	<p>23.03%</p>
<p>LC81840322016104L GN00</p>		<p>13-04-2016</p>	<p>9.16%</p>

<p>LC81840322016136L GN00</p>		<p>15-05-2016</p>	<p>29.29%</p>
<p>LC81840322016152L GN00</p>		<p>31-05-2016</p>	<p>0.85%</p>
<p>LC81840322016168L GN00</p>		<p>16-06-2016</p>	<p>2.63%</p>
<p>LC81840322016184L GN00</p>		<p>02-07-2016</p>	<p>9.11%</p>

<p>LC81840322016200L GN00</p>		<p>18-07-2016</p>	<p>11.8%</p>
<p>LC81840322016216L GN00</p>		<p>03-08-2016</p>	<p>22.04%</p>
<p>LC81840322016232L GN00</p>		<p>19-08-2016</p>	<p>10.13%</p>
<p>LC81840322016248L GN00</p>		<p>04-09-2016</p>	<p>10.48%</p>

<p>LC81840322016264L GN00</p>		<p>20-09-2016</p>	<p>10.11%</p>
<p>LC81840322016280L GN00</p>		<p>06-10-2016</p>	<p>23.96%</p>
<p>LC81840322016344L GN00</p>		<p>09-12-2016</p>	<p>0.62%</p>
<p>LC81840322016360L GN00</p>		<p>25-12-2016</p>	<p>50%</p>

3.2 Προ-Επεξεργασία εικόνων

Αφού έγινε επιλογή και λήψη των εικόνων έπρεπε να μετατραπούν οι τιμές του κάθε καναλιού από ψηφιακούς αριθμούς(digital numbers) σε Top of the Atmosphere Reflectance. Με την χρήση μιας σειρά εντολών στο λογισμικό MATLAB έγινε η μετατροπή σύμφωνα με τους τύπους που παρέχει η USGS. Σε κάθε εικόνα υπήρχε και το Metadata file(MTL file) το οποίο είχε τις απαραίτητες πληροφορίες για την μετατροπή. Έτσι η μετατροπή έγινε σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους.

Μετατροπή χωρίς τη διόρθωση της γωνίας του ηλίου.

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p$$

όπου,

- $\rho\lambda'$ = αντανάκλαση TOA, χωρίς την διόρθωση για την γωνία του ήλιου
- M_p = σταθερά μετατροπής για το εκάστοτε κανάλι από το metadata
- A_p = προσθετική σταθερά για το εκάστοτε κανάλι από το metadata
- Q_{cal} = τιμές των εικονοστοιχείων σε ψηφιακούς αριθμούς (DN)

Μετατροπή με την διόρθωση της γωνίας του ηλίου.

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / \cos(\theta_{sz})$$

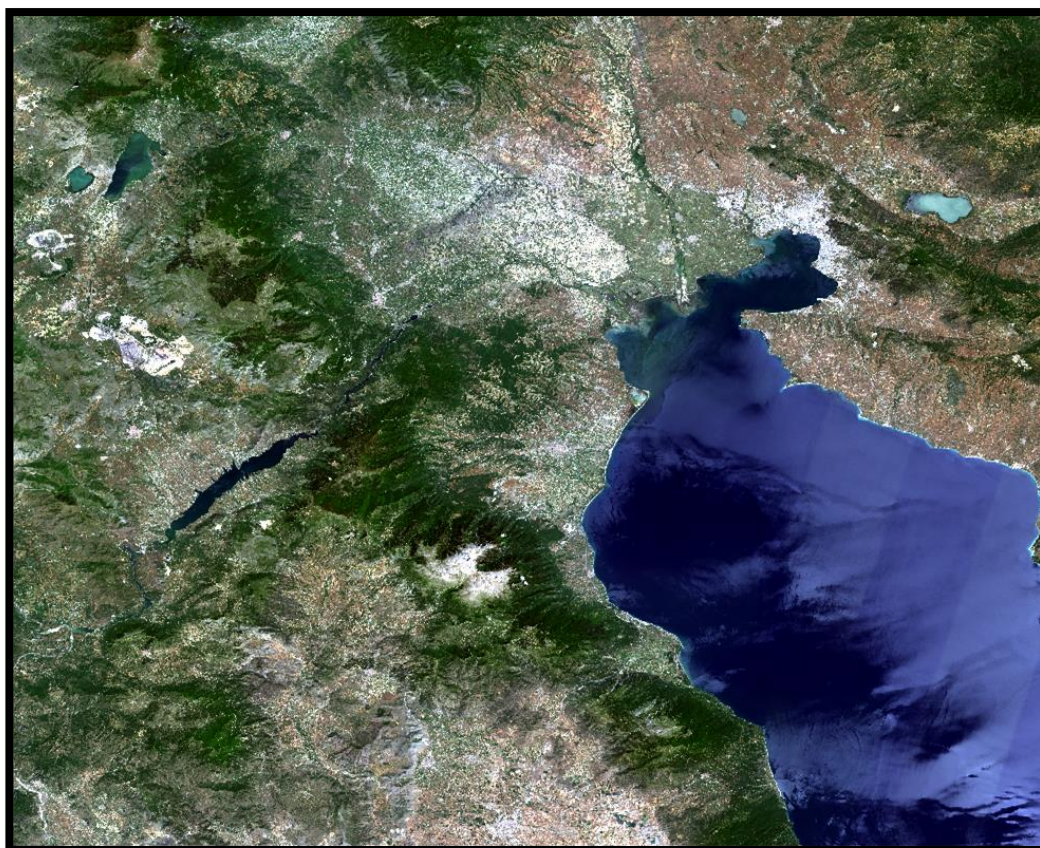
όπου,

- $\rho\lambda$ = αντανάκλαση TOA
- $\rho\lambda'$ = αντανάκλαση TOA, χωρίς την διόρθωση για την γωνία του ήλιου
- θ_{sz} = τοπική γωνία ήλιου(Sun elevation angle),παρέχεται από το metadata

Στη συνέχεια αφού είχαν μετατραπεί οι εικόνες από ψηφιακούς αριθμούς(digital numbers) σε Top of the Atmosphere Reflectance, δημιουργήθηκε για την κάθε εικόνα ένα αρχείο με δέκα από τα έντεκα κανάλια του Landsat 8 OLI/TIRS (αφαιρέθηκε το κανάλι 8^ο παγχρωματικό κανάλι επειδή είχε διαφορετική χωρική ανάλυση). Έπειτα επιλέξαμε ένα κομμάτι της εικόνας ώστε να αφαιρεθούν τα περιθώρια της σκηνής. Η περιοχή που επιλέχθηκε είναι η ακόλουθη(εικόνα 3.2) και οι συντεταγμένες στο WGS 84 αναγράφονται στον πίνακα 3.1.

X	548835,000m	700845,000m
Y	4383045,000m	4544415,000m

Πίνακας 3.1 Συντεταγμένες περιοχής μελέτης.

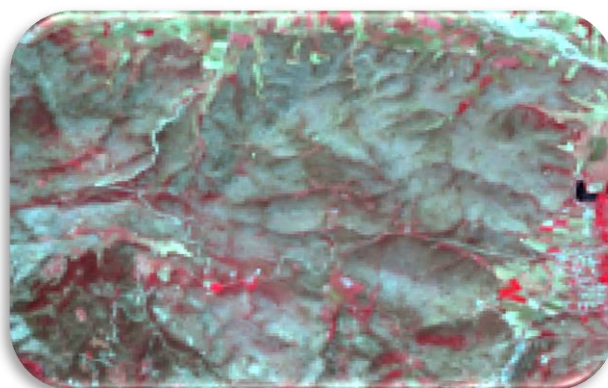


Εικόνα 3.2 Απόσπασμα εικόνας LC81840322016152LGN00 σε R-G-B 4-3-2.

3.3 Παραγωγή Δεδομένων Εκπαίδευσης/Ελέγχου (Ground Truth)

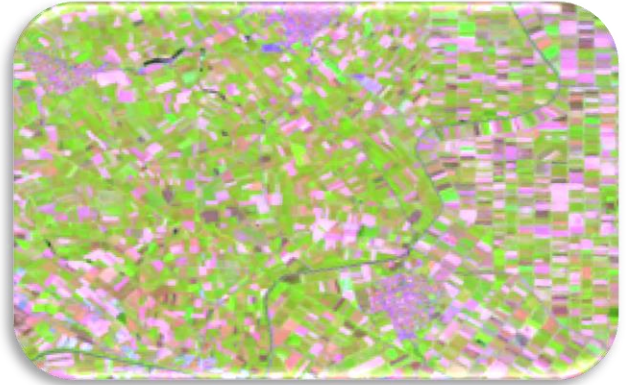
Πρώτα βήμα για τη δημιουργία δεδομένων εκπαίδευσης/ελέγχου αποτέλεσε η σχολαστική μελέτη της εκάστοτε εικόνας ώστε να επιλεχθούν οι κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης που θα χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση της. Η επιλογή των κατηγοριών έγινε με στόχο την δημιουργία ενός μοντέλου ταξινόμησης που θα μπορεί να αναγνωρίζει τα παχιά σύννεφα, τα αραιά σύννεφα και τις σκιές τους με καλή ακρίβεια και όχι ένα μοντέλο ταξινόμησης χρήσεων γης. Έτσι οι κατηγορίες που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω:

Απογυμνωμένοι βράχοι: Στη κατηγορία αυτή υπάγονται βράχοι σε λόφους, βράχια, πέτρινη σχηματισμοί συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που έχουν προέλθει από διάβρωση και ύφαλοι που βρίσκονται πάνω από την ανώτερη στάθμη της θάλασσας.



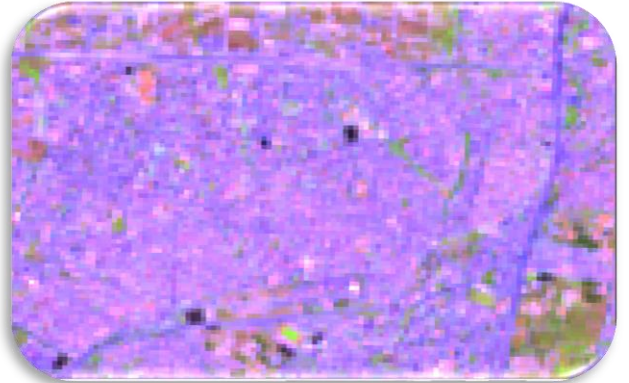
Εικόνα 3.3. Απογυμνωμένοι βράχοι σε 5-4-3.

Μόνιμα αρδευόμενη γη: Εδώ υπάγονται οι περιοχές καλλιεργειών οι οποίες αρδεύονται μόνιμα ή ανά χρονικές περιόδους χρησιμοποιώντας μόνιμη υποδομή. Στις δορυφορικές εικόνες που έχουν ληφθεί το καλοκαίρι είναι πιο εύκολος ο εντοπισμός τους φωτοερμηνευτικά.



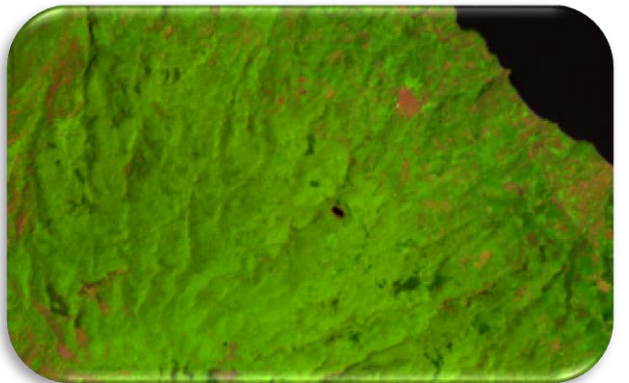
Εικόνα 3.4. Μόνιμα αρδευόμενη γη σε 6-5-2.

Αστικός Ιστός: Στον αστικό ιστό η περισσότερη έκταση καλύπτεται από αστικές δομές και δίκτυα μεταφορών. Πιο συγκεκριμένα, κτίρια δρόμοι και περιοχές καλυπτόμενες με ανθρωπογενείς κατασκευές αποτελούν περισσότερο από το 80% της συνολικής επιφάνειας.



Εικόνα 3.5 Αστικός ιστός σε 6-5-2.

Δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις: Πρόκειται για θαμνώδη και ποώδη βλάστηση με διάσπαρτα δέντρα. Μπορεί να αντιπροσωπεύει την υποβάθμιση ενός δασικού οικοσυστήματος ή την αναγέννηση ενός δάσους.



Εικόνα 3.6 Δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις σε 6-5-4.

Επιφάνειες στάσιμου ύδατος και ποτάμια: Περιλαμβάνει φυσικές οι τεχνικές εκτάσεις νερού καθώς και ποτάμια σε χερσαία τμήματα.



Εικόνα 3.7 Λίμνη σε 4-3-2.

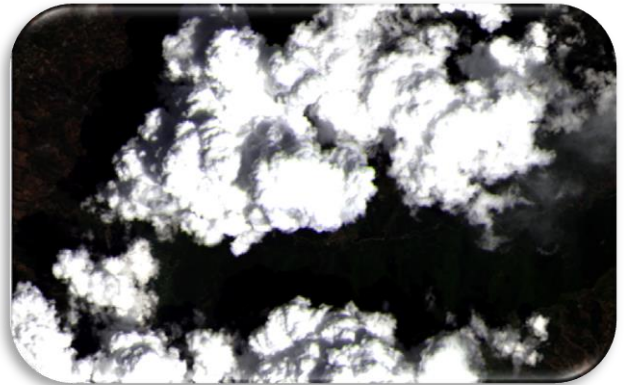
Θάλασσες και ωκεανοί: Πρόκειται για θαλάσσιες ζώνες του χαμηλότερου ορίου παλίρροιας.

Αραιά σύννεφα: Πρόκειται για σχηματισμούς σύννεφων που επιτρέπουν ένα ποσοστό της ακτινοβολίας του εδάφους να περάσει, αυτό τα καθιστά αρκετά δύσκολα στον εντοπισμό τους. Τα συγκεκριμένα σύννεφα χαρακτηρίζονται από λεπτούς και αραιούς σχηματισμούς.



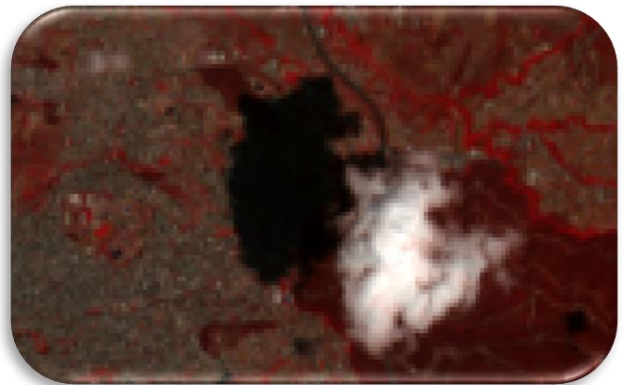
Εικόνα 3.8. Αραιά σύννεφα σε 4-3-2.

Παχιά σύννεφα: Πρόκειται για σύννεφα τα οποία εμποδίζουν την λήψη οποιασδήποτε πληροφορίας από το έδαφος ο εντοπισμός του είναι εύκολος στο ορατό φάσμα λόγω του λευκού τους χρώματος.



Εικόνα 3.9. Παχιά σύννεφα σε 4-3-2.

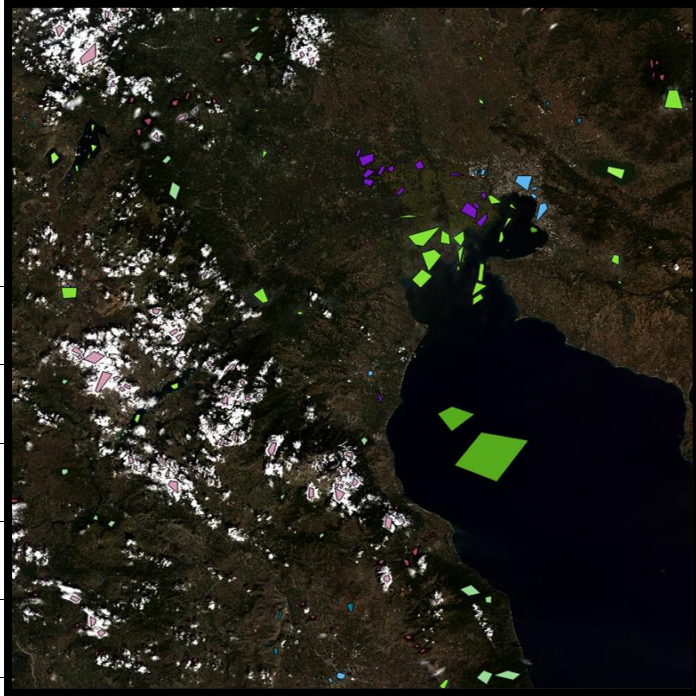
Σκιά σύννεφων: Πρόκειται για την σκιά που δημιουργείται από τις δύο παραπάνω κατηγορίες σύννεφων τα παχιά σύννεφα δημιουργούν σκιά εύκολη στον εντοπισμό της ενώ τα αραιά πολλές φορές δημιουργούν σκιά που είναι σχεδόν αδύνατο να εντοπιστεί. Η σκιά από τα σύννεφα μπορεί να παρουσιάσει λάθη καθώς ο φασματικός διαχωρισμός της από διάφορες σκιές που δημιουργούνται στην εικόνα(σκιά ανάγλυφου) είναι αρκετά δύσκολος.



Εικόνα 3.10 Σκιά σύννεφων.

Αφού έγινε η επιλογή των κατηγοριών που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία δεδομένων εκπαίδευσης/ελέγχου, ακολούθησε η προσεκτική ψηφιοποίηση πολυγώνων για την κάθε κατηγορία στην εκάστοτε εικόνα με τη χρήση του λογισμικού Qgis. Ως ελάχιστος αριθμός δείγματος για την κάθε κατηγορία χρήσεων/καλύψεων γης επιλέχθηκαν τα 2000 εικονοστοιχεία. Κάποιες εικόνες αδυνατούσαν να παρέχουν επαρκές δείγμα κάποιων κατηγοριών λόγω εποχιακών παραγόντων καθώς και οι σχηματισμοί των σύννεφων σε κάποιες εικόνες εμπόδιζαν την ψηφιοποίηση των απαραίτητων εικονοστοιχείων για την διαδικασία. Έτσι για τις εικόνες που κάποια κατηγορία δεν είχε 2000 εικονοστοιχεία για την κάθε κατηγορία, επιλέχθηκε να μην δημιουργηθεί μοντέλο εντοπισμού σύννεφων. Αφού

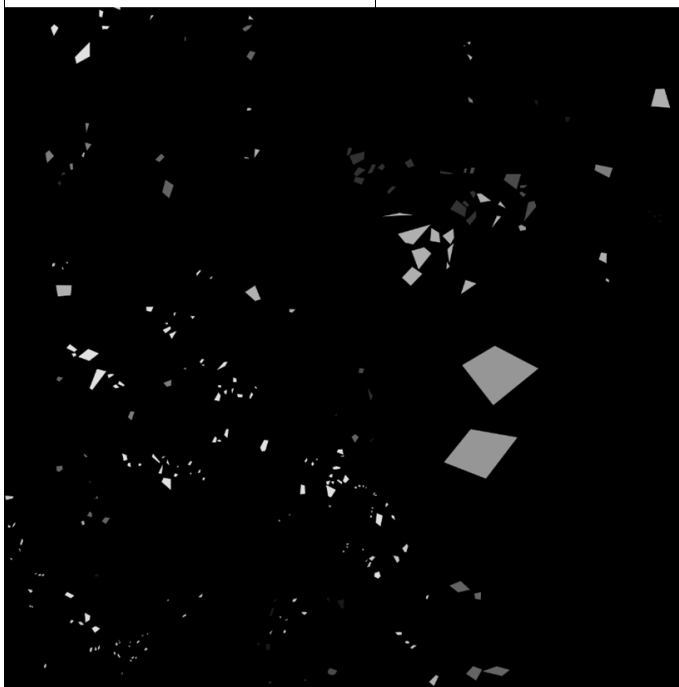
δημιουργήθηκαν τα πολύγωνα για την κάθε εικόνα έγινε μετατροπή του *vector layer* σε *raster layer* με την χρήση του Qgis, και συγχώνευση των *raster layer* της κάθε κατηγορίας με την χρήση του λογισμικού MATLAB. Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι εικόνες που επιλέξαμε να δημιουργήσουν μοντέλα εντοπισμού σύννεφων, στην εικόνα 3.11 τα πολύγωνα εκπαίδευσης καθώς και στην εικόνα 3.12 η μετατροπή σε *raster*.



LC81840322016008LGN00
LC81840322016024LGN00
LC81840322016056LGN00
LC81840322016088LGN00
LC81840322016104LGN00
LC81840322016136LGN00
LC81840322016200LGN00
LC81840322016232LGN00
LC81840322016248LGN00
LC81840322016264LGN00
LC81840322016280LGN00

Πίνακας 3.1 Εικόνες που δημιούργησαν μοντέλα.

Εικόνα 3.11. Πολύγωνα εκπαίδευσης θεματικών κατηγοριών εικόνας LC81840322016264LGN00.



Εικόνα 3.12 Εικόνα Ground Truth Raster.

3.4 Δημιουργία Δεικτών NDVI NDSI CSI

Οι ακόλουθοι δείκτες δημιουργήθηκαν για την κάθε εικόνα με στόχο να βελτιστοποιηθούν τα αποτελέσματα ταξινόμησης κατά τον εντοπισμό σύννεφων και των σκιών τους καθώς παρέχουν περισσότερες πληροφορίες για το κάθε εικονοστοιχείο. Οι δείκτες που δημιουργήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Qgis είναι οι εξής:

Normalized Difference Vegetation Index: Ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζεται από το ορατό και σχεδόν υπέρυθρο φως που ανακλάται από τη βλάστηση. Η υγιής βλάστηση απορροφά το μεγαλύτερο μέρος του ορατού φωτός που το χτυπά και αντανακλά ένα μεγάλο μέρος του εγγύς υπέρυθρου φωτός. Ο NDVI μιας περιοχής που περιέχει πυκνή βλάστηση τείνει σε θετικές τιμές (πχ 0,3μm έως 0,8μm) ενώ τα σύννεφα και τα χιονιά θα χαρακτηρίζονται από αρνητικές τιμές αυτού του δείκτη. Η χρήση του συγκεκριμένου δείκτη έγινε με σκοπό να είναι εύκολος ο διαχωρισμός αραιών σύννεφων πάνω από εκτάσεις με πυκνή βλάστηση. Ο δείκτης NDVI για τα κανάλια του Landsat 8 υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{NDVI} = (\text{Band 5} - \text{Band 4}) / (\text{Band 5} + \text{Band 4})$$

Normalized Difference Snow Index: Ο συγκεκριμένος δείκτης χρησιμοποιείται για τον εύκολο εντοπισμό χιονιού. Το χιόνι είναι ιδιαίτερα ανακλαστικό στο ορατό τμήμα του φάσματος και ιδιαίτερα απορροφητικό στο υπέρυθρο φάσμα, ενώ η ανάκλαση των σύννεφων στα συγκεκριμένα τμήματα του φάσματος παραμένει υψηλή επιτρέποντας τον καλό διαχωρισμό σύννεφων και χιονιού. Ο δείκτης NDSI για τα κανάλια του Landsat 8 υπολογίζεται ως:

$$\text{NDSI} = (\text{Band 3} - \text{Band 6}) / (\text{Band 3} + \text{Band 6})$$

Cloud Shadow Index: Ο συγκεκριμένος δείκτης χρησιμοποιεί το κανάλι 1 του Landsat 8 (Coastal Aerosol Band 0,43μm-0,45μm). Το συγκεκριμένο κανάλι είναι αρκετά ευαίσθητο στα σύννεφα καθώς συννεφιασμένες περιοχές εμφανίζονται αρκετά φωτεινότερες από τα στοιχεία του εδάφους. Οι σκιές των σύννεφων τείνουν να έχουν τα σκοτεινότερα εικονοστοιχεία στο πράσινο κανάλι έτσι ο δείκτης για τα κανάλια του Landsat 8 υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{CSI} = 1/4 * \{(\text{Band 1} - \text{Band 3}) / \text{Band 3}\}$$

3.5 Δημιουργία Μοντέλων Ταξινόμησης με τη Χρήση της LibSVM

Έχοντας δημιουργήσει τις εικόνες raster με τα δεδομένα εκπαίδευσης/ελέγχου καθώς και τους δείκτες που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, προχωρήσαμε στη δημιουργία των μοντέλων εντοπισμού σύννεφων με τη χρήση της βιβλιοθήκης LibSVM για το λογισμικό MATLAB. Η Libsvm αποτελεί ένα λογισμικό για *support vector classification*. Είναι μοντέλο επιβλεπόμενη εκμάθησης με συναφείς αλγόριθμους που αναλύουν δεδομένα που χρησιμοποιούνται για ταξινόμηση και παλινδρόμηση. Δέχεται ως δεδομένα εισόδου ένα σύνολο παραδειγμάτων, που ανήκουν σε μία κατηγορία ή σε κάποιες άλλες κατηγορίες. Ο αλγόριθμος δημιουργεί ένα μοντέλο που εισάγει νέα παραδείγματα στην κάθε κατηγορία,

καθιστώντας τον έναν μη πιθανοτικό δυαδικό γραμμικό ταξινομητή. Ένα μοντέλο SVM είναι μια αναπαράσταση των παραδειγμάτων ως σημεία στο χώρο, χαρτογραφημένα έτσι ώστε τα παραδείγματα των ξεχωριστών κατηγοριών να διαιρούνται με ένα σαφές χάσμα όσο το δυνατόν ευρύτερο. Στη συνέχεια, νέα παραδείγματα καταγράφονται στον ίδιο χώρο και γίνεται πρόβλεψη σε πια κατηγορία ανήκουν ανάλογα σε πια περιοχή του χάσματος θα βρεθούν. Εκτός από την εκτέλεση γραμμικής ταξινόμησης, η SVM μπορεί να εκτελέσει αποτελεσματικά μια μη γραμμική ταξινόμηση χρησιμοποιώντας αυτό που ονομάζεται κόλπο πυρήνα, χαρτογραφώντας σιωπηρά τις εισόδους τους σε χώρους υψηλών διαστάσεων.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήσαμε την LibSVM για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο ταξινόμησης που θα έχει ως δεδομένα εισόδου τις κατηγορίες που δημιουργήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Χρησιμοποιήσαμε την LibSVM για να δημιουργήσουμε μοντέλα με διαφορετικές παραμέτρους κάθε φορά (μέγεθος δείγματος, διαφορετικά κανάλια και δείκτες, διαφορετική εικόνα) με σκοπό να επιλέξουμε ένα μοντέλο που θα παράγει καλά αποτελέσματα στον εντοπισμό σύννεφων και των σκιών τους. Τα πρώτα μοντέλα που δημιουργήθηκαν ήταν αυτά που προήλθαν από τη χρήση των 10 καναλιών του Landsat 8 OLI/TIRS ενώ στην συνέχεια προστέθηκαν στα υπάρχοντα κανάλια οι δείκτες που δημιουργήθηκαν (NDVI, NDSI,CSI).

3.5.1 Μοντέλα 10 καναλιών

Αρχικά για τη δημιουργία των συγκεκριμένων μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα κανάλια του Landsat 8 OLI/TIRS: Coastal/Aerosol, Blue, Green, Red, NIR, SWIR 1, SWIR 2, Cirrus,TIRS 1,TIRS 2. Πριν τη δημιουργία του κάθε μοντέλου είχαμε τη δυνατότητα να επιλέξουμε το μέγεθος του δείγματος, δηλαδή πόσα εικονοστοιχεία εκπαίδευσης θα χρησιμοποιούσαμε για την κάθε κατηγορία. Για την εκάστοτε εικόνα, παρατηρώντας το μέγεθος του δείγματος που είχαμε διαθέσιμο έγινε επιλογή το αρχικό μοντέλο να χρησιμοποιεί 1000 εικονοστοιχεία εκπαίδευσης για την κάθε κατηγορία και να δημιουργούνται μοντέλα μέχρι και τον μέγιστο αριθμό δείγματος της κάθε κατηγορίας. Τα εικονοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του κάθε μοντέλου ήταν τυχαία, επίσης στο κάθε μοντέλο γινόταν η τυχαία επιλογή 1000 εικονοστοιχείων για την κάθε κατηγορία, διαφορετικών από εκείνων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του μοντέλου, ώστε να χρησιμοποιηθούν για μια αρχική αξιολόγηση των μοντέλων.

3.5.2 Μοντέλα 10 καναλιών και 3 δεικτών

Για τη δημιουργία των συγκεκριμένων μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια του Landsat 8 OLI/TIRS καθώς και 3 δείκτες (NDVI,NDSI,CSI). Η δημιουργία τους έγινε με παρόμοιο τρόπο καθώς και με τον ίδιο αριθμό δείγματος για την κάθε εικόνα ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ τους και να παρουσιαστούν αριθμητικά οι βελτιώσεις που προσέφερε η κάθε ενέργεια. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι εικόνες μαζί με το μέγεθος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για την κάθε κατηγορία χρήσης/κάλυψης.

Κωδικός Εικόνας	Μέγεθος δείγματος
LC81840332016008LGN00	4000
LC81840332016024LGN00	2000
	4000
	6000

LC81840332016056LGN00	1500		
LC81840332016088LGN00	1500		
LC81840332016104LGN00	6000	10000	
LC81840332016136LGN00	2000		
LC81840332016200LGN00	1000		
LC81840332016232LGN00	1000	5000	10000
LC81840332016248LGN00	1000	5000	10000
LC81840332016264LGN00	1000	5000	8000
LC81840332016280LGN00	1000	5000	10000

Πίνακας 3.2 Αριθμός δειγματος κατηγοριών για το κάθε μοντέλο.

3.6 Αξιολόγηση Μοντέλων

Έχοντας δημιουργήσει τα μοντέλα εντοπισμού σύννεφων έπρεπε να τα αξιολογήσουμε ώστε να επιλέξουμε το καλύτερο για να συγκριθεί με το αποτέλεσμα του Fmask. Τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν είναι 44 ωστόσο πρέπει να επιλέξουμε ένα για τη σύγκριση. Για να έχουμε μια αρχική εκτίμηση της αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας του κάθε μοντέλου, χρησιμοποιήσαμε το κάθε μοντέλο για να ταξινομήσουμε ένα δείγμα της τάξεως των 1000 εικονοστοιχείων για κάθε κατηγορία. Τα εικονοστοιχεία ήταν ανεξάρτητα από αυτά που εκπαίδευσαν το εκάστοτε μοντέλο. Με αυτόν τον τρόπο είχαμε μια αρχική εκτίμηση για την αποτελεσματικότητα του κάθε μοντέλου αλλά και για την αξιοπιστία των δεδομένων εκπαίδευσης/ελέγχου. Στην περίπτωση που είχαμε δημιουργήσει δεδομένα εκπαίδευσης/ελέγχου με αρκετές αστοχίες σε κάποιες εικόνες, θα μπορούσαμε να το εντοπίσουμε καθώς θα είχαμε χαμηλά ποσοστά στην ταξινόμηση του δείγματος 1000 εικονοστοιχείων για την κάθε κατηγορία. Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται ενδεικτικά πίνακες σύγχυσης από τα μοντέλα ενώ ο αθροιστικός πίνακας για την επιλογή του μοντέλου παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο. Οι πίνακες δημιουργήθηκαν ξεχωριστά για το κάθε μοντέλο έτσι έχουμε 44 πίνακες σύγχυσης.

3.7 Εφαρμογή Αλγόριθμου Fmask

Θέλοντας να συγκρίνουμε το μοντέλο που δημιουργήσαμε έπρεπε να εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο Fmask στις αντίστοιχες εικόνες. Επιλέχθηκε η έκδοση 3.3 η οποία είναι η πιο πρόσφατη. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος και τα βήματα λειτουργίας του περιγράφονται στο 2^ο κεφάλαιο. Έτσι ακολουθώντας τις οδηγίες εφαρμογής του δημιουργήθηκε για την κάθε εικόνα μια μάσκα σύννεφων από τον Fmask. Είχαμε στη διάθεση μας μια εικόνα με τις εξής τιμές:

0	καθαρό εικονοστοιχείο εδάφους
1	καθαρό εικονοστοιχείο νερού
2	σκιά σύννεφων
3	χιόνι
4	σύννεφο
255	καμία παρατήρηση

Οι συγκεκριμένες τιμές ήταν απαραίτητες ώστε να είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε τον εντοπισμό του Fmask με το μοντέλο που δημιουργήσαμε.

	Bare Land	Agriculture	. Urban	Vegetation	Lakes/Rivers	Sea	Cloud Cirrus	Cloud Shadow	Cloud Thick	
Bare Land	943	24	21	6	0	0	6	0	0	
Agriculture	38	874	17	44	0	0	27	0	0	
Urban	25	16	832	0	0	0	127	0	0	
Vegetation	0	58	0	879	0	0	1	62	0	
Lakes/Rivers	0	0	0	0	985	15	0	0	0	
Sea	0	0	0	0	20	980	0	0	0	
Cloud Cirrus	17	49	105	25	0	4	767	33	0	
Cloud Shadow	0	0	0	17	0	8	18	957	0	
Cloud Thick	0	0	0	0	0	0	1	0	999	OA
Accuracy										91.29%

Πίνακας 3.3. Πίνακας σύγκρισης μοντέλου 10000 δειγμάτων και 10 καναλιών της εικόνας LC81840332016280LGN00.

	Bare Land	Agriculture	. Urban	Vegetation	Lakes/River s	Sea	Cloud Cirrus	Cloud Shadow	Cloud Thick	
Bare Land	975	16	8	1	0	0	0	0	0	
Agriculture	23	928	10	12	0	0	27	0	0	
Urban	17	10	973	0	0	0	0	0	0	
Vegetation	0	18	1	979	0	0	0	2	0	
Lakes/ Rivers	0	0	0	0	994	0	0	6	0	
Sea	0	0	0	0	0	1000	0	0	0	
Cloud Cirrus	0	12	0	1	2	0	985	0	0	
Cloud Shadow	0	0	0	1	4	0	0	995	0	
Cloud Thick	0	0	0	0	0	0	1	0	999	OA
										98.08%

Πίνακας 3.4. Πίνακας σύγκρισης μοντέλου 10000 δειγμάτων και 13 καναλιών της εικόνας LC81840332016264LGN00.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που δημιουργήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και αξιολογούνται τόσο φωτοερμηνευτικά αλλά και με τη χρήση στατιστικών. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη χρήση του Fmask και πραγματοποιείται σύγκριση με τα αποτελέσματα των μοντέλων που δημιουργήσαμε.

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα από τους πίνακες σύγχυσης του κάθε μοντέλου. Αυτό μας επιτρέπει να κάνουμε μια αρχική εκτίμηση ως προς το μοντέλο που θα επιλέξουμε για την δημιουργία της καλύτερης μάσκας. Στη στήλη *SAMPLES* είναι ο αριθμός των δειγμάτων της κάθε κατηγορίας που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του κάθε μοντέλου. Τα ποσοστά αναφέρονται στην συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης του κάθε μοντέλου ως προς τα δεδομένα ελέγχου που επιλέχθηκαν για την κάθε εικόνα. Η στήλη 10 band models αναφέρεται στα μοντέλα που δημιουργήθηκαν με την χρήση 10 καναλιών του Landsat 8 OLI/TIRS χωρίς το παγχρωματικό (coastal/aerosol, B, G, R, NIR, SWIR 1, SWIR 2, Cirrus, TIRS 1, TIRS 2), ενώ η στήλη 13 band-index models αναφέρεται στα 10 παραπάνω κανάλια του Landsat 8 OLI/TIRS με την προσθήκη 3 δεικτών (Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Snow Index, Cloud Shadow Index). Στη συνέχεια, οι στήλες Cloud Categories Accuracy αναφέρονται στην ακρίβεια μόνο των κατηγοριών που μας ενδιαφέρουν περισσότερο (Cloud Shadow, Cirrus Cloud, Thick Cloud), ενώ το rest categories accuracy αναφέρεται στην ακρίβεια των υπόλοιπων κατηγοριών των δεδομένων εκπαίδευσης/ελέγχου. Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα η αύξηση του δείγματος βοηθάει την ακρίβεια του μοντέλου. Η μεγαλύτερη αύξηση στην ακρίβεια παρατηρείται με την προσθήκη των 3 δεικτών, βοηθάνε σημαντικά στην καλύτερη ταξινόμηση των εικονοστοιχείων. Λαμβάνοντας υπόψιν μας τον πίνακα, το καλύτερο μοντέλο σύμφωνα με τα ποσοστά είναι αυτό που δημιουργήθηκε από τα δεδομένα εκπαίδευσης της εικόνας **LC81840322016264LGN00**, με την χρήση 8000 δειγμάτων για την κάθε κατηγορία και 13 καναλιών-δεικτών. Παρατηρώντας παράλληλα, τον μέσο όρο της κάθε στήλης μπορούμε να συγκρίνουμε και να υπολογίσουμε την ποσοστιαία διαφορά των μοντέλων με 10 κανάλια σε σχέση με αυτά με 13 κανάλια-δείκτες. Παρατηρείται μια γενική αύξηση της τάξεως 1,61% για όλες της κατηγορίες της ταξινόμησης, ενώ για της κατηγορίες των σύννεφων μια αύξηση στα ποσοστά της τάξεως του 1,14%.

IMAGE	SAMPLES	10 band models	13 band-index models	Cloud Categories Accuracy 10	Rest Cat ACC 10	Cloud Categories Accuracy 13	Rest Cat ACC 13
LC81840322016008	4000	93,11%	93,88%	96,78%	90,67%	97,48%	91,48%
LC81840322016024	2000	88,32%	88,51%	89,58%	87,48%	90,53%	87,16%
LC81840322016024	4000	88,26%	90,37%	90,37%	86,93%	92,76%	88,77%
LC81840322016024	6000	88,31%	91,09%	90,25%	86,93%	93,50%	89,48%
LC81840322016056	1500	91,69%	93,34%	96,78%	88,30%	96,95%	91,00%
LC81840322016088	1500	91,82%	92,00%	98,08%	87,65%	97,65%	88,23%
LC81840322016104	6000	96,02%	96,55%	97,35%	95,13%	97,50%	95,92%
LC81840322016104	10000	96,60%	96,86%	97,58%	95,95%	97,75%	95,82%
LC81840322016136	2000	96,60%	95,38%	98,53%	87,87%	98,77%	93,68%
LC81840322016200	1000	90,40%	92,36%	97,60%	86,80%	98,73%	89,17%
LC81840322016232	1000	92,41%	96,19%	94,23%	91,50%	95,57%	96,50%
LC81840322016232	5000	96,98%	96,90%	96,10%	97,42%	96,37%	97,17%
LC81840322016232	10000	97,43%	97,52%	96,60%	97,85%	96,73%	97,92%
LC81840322016248	1000	84,41%	95,40%	91,03%	81,10%	94,70%	95,75%
LC81840322016248	5000	95,72%	97,38%	97,00%	95,08%	97,37%	97,38%
LC81840322016248	10000	97,10%	98,20%	97,70%	96,73%	98,40%	98,10%
LC81840322016264	1000	97,40%	97,52%	98,47%	96,58%	99,27%	96,65%
LC81840322016264	5000	98,07%	97,91%	99,13%	97,53%	99,27%	97,23%
LC81840322016264	8000	98,10%	98,10%	98,80%	97,72%	99,30%	97,48%
LC81840322016280	1000	82,49%	87,67%	84,90%	81,28%	88,70%	87,15%
LC81840322016280	5000	89,38%	91,41%	90,07%	89,03%	92,03%	91,10%
LC81840322016280	10000	91,29%	92,72%	90,76%	91,55%	93,20%	92,48%
MEAN		92,81%	94,42%	94,90%	91,23%	96,02%	93,44%

Πίνακας 4.1. Πίνακας αρχικής αξιολόγησης μοντέλων εντοπισμού σύννεφων.

4.1 Πειράματα με διαφορετικές παραμέτρους

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χρήσης του μοντέλου που δημιουργήθηκε από την εικόνα **LC81840322016264LGN00**, ώστε να είναι εμφανείς οι βελτιώσεις από την αύξηση του δείγματος και την προσθήκη των 3 δεικτών. Πραγματοποιήθηκαν έξι πειράματα με διαφορετικές παραμέτρους. Για το εκάστοτε πείραμα έγινε η ταξινόμηση ολόκληρης της εικόνας. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 6 διαφορετικά μοντέλα και η ταξινόμηση έγινε με το λογισμικό MATLAB.

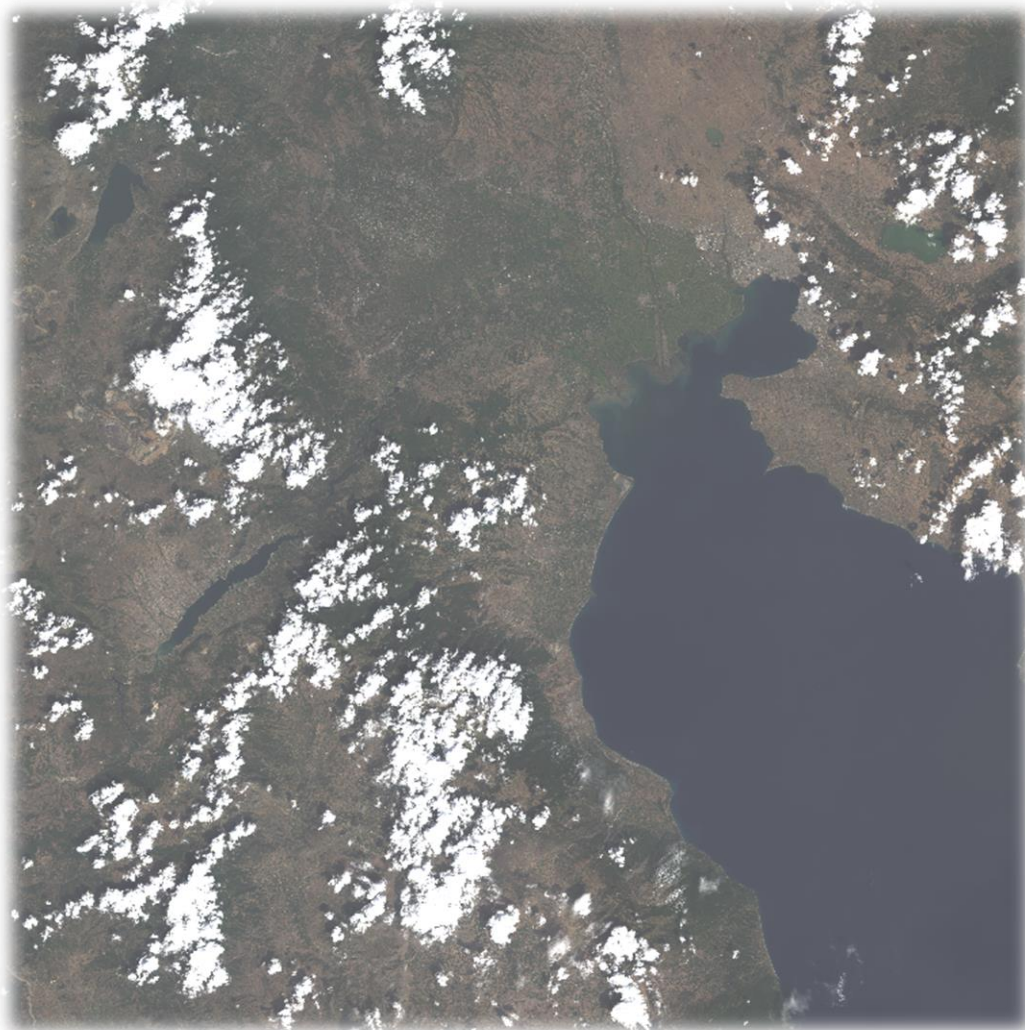
4.1.1 Πείραμα 1^ο

Στο 1^ο πείραμα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο που προήλθε από την εικόνα **LC81840322016264LGN00**. Δημιουργήθηκε από 1000 δείγματα για την κάθε κατηγορία και 10 κανάλια. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2. Στο οπτικό αποτέλεσμα οι κατηγορίες με χρωματική διαφοροποίηση αφορούν άμεσα τα σύννεφα (παχύ σύννεφο, αραιό σύννεφο, σκιά σύννεφου) καθώς και τα ύδατα, ώστε να είναι εμφανέστερο το αποτέλεσμα του κάθε μοντέλου, αφού ο σκοπός τους είναι ο εντοπισμός σύννεφων και σκιών. Παρατηρώντας την εικόνα 4.1 είναι εμφανές ότι το μοντέλο δεν έχει καταφέρει να αναγνωρίσει το μεγαλύτερο ποσοστό των υδάτων, ενώ τα έχει ταξινομήσει ως σκιές σύννεφων. Αντιθέτως, το μοντέλο έχει καταφέρει να αναγνωρίσει τα σύννεφα και τις σκιές, καθώς και κάποια αραιά σύννεφα. Επίσης ως ύδατα έχουν αναγνωριστεί μόνο κάποια μικρά τμήματα των λιμνών και κάποια παράκτια σημεία της θάλασσάς. Ταυτόχρονα υπάρχει υπερεκτίμηση σκιών σε κάποια σημεία. Αυτό οφείλετε στο ότι η σκιά των σύννεφων είναι δύσκολο να διαχωριστεί από σκιές που δημιουργούνται από το ανάγλυφο, έτσι σε σημεία με έντονο ανάγλυφο υπάρχουν λανθασμένοι εντοπισμοί.

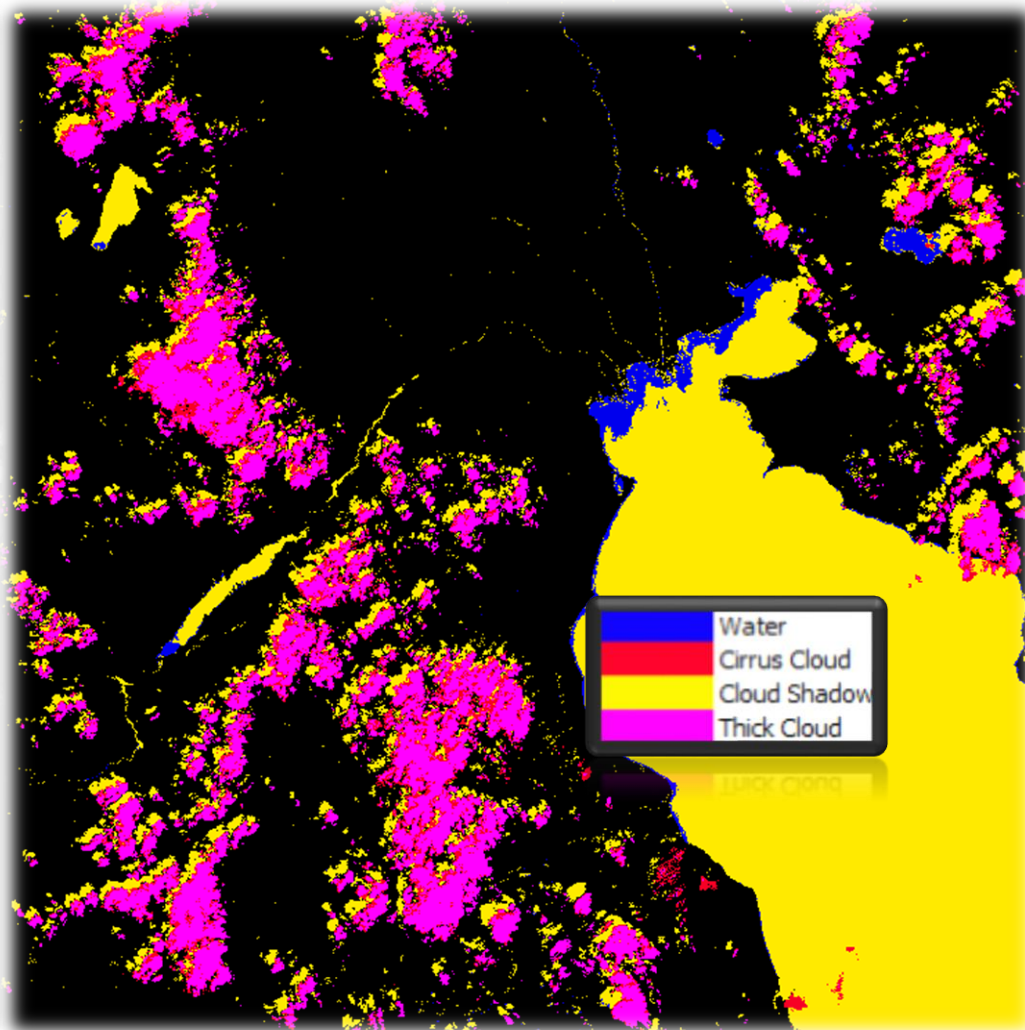
Ο πίνακας σύγκρισης 4.3 αφορά την ταξινόμηση των δεδομένων ελέγχου, που δημιουργήθηκαν για την εικόνα LC81840332016248LGN00, από το μοντέλο του **πειράματος 1**. Σύμφωνα με τον πίνακα σύγκρισης ολόκληρη η θάλασσα έχει ταξινομηθεί στην κατηγορία των σκιών. Το μοντέλο έχει καταφέρει να αναγνωρίσει ικανοποιητικά μόνο τα παχιά σύννεφα. Ως αραιά σύννεφα έχουν ταξινομηθεί μόνο 1938 εικονοστοιχεία, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό τους έχει ταξινομηθεί στην κατηγορία *Agriculture*. Η σκιά των σύννεφων έχει ταξινομηθεί με ακρίβεια (99.36%), έχουν όμως ταξινομηθεί και μεγάλα ποσοστά άλλων κατηγοριών, με αποτέλεσμα η ταξινόμηση των σκιών να μην είναι αξιόπιστη (28.92%). Η θάλασσα έχει ταξινομηθεί ως σκιά λόγω της χαμηλής ανακλαστικότητας της, ένα χαρακτηριστικό που μοιράζεται με τις σκιές. Στον πίνακα 4.2 εμφανίζεται η αξιολόγηση του μοντέλου όσον αφορά την ακρίβεια και την αξιοπιστία του συνολικά αλλά και όσον αφορά τις κατηγορίες σύννεφων (αραιό σύννεφο, παχύ σύννεφο, σκιά σύννεφου).

Model Reliability for Cloud Categories	65.18%
Model Accuracy for Cloud Categories	71.12%
Overall Reliability	61.77%
Overall Accuracy	56.23%

Πίνακας 4.2. Αξιολόγηση πειράματος 1.



Εικόνα 4.1.Εικόνα LC81840332016248LGN00 σε RGB 4-3-2.



Εικόνα 4.2.Αποτέλεσμα ταξινόμησης LC81840332016248LGN00.

	Bare Land	Agriculture	. Urban	Vegetation	Lakes/River s	Sea	Cloud Cirrus	Cloud Shadow	Cloud Thick	Accuracy
Bare Land	18028	34	13	0	0	0	0	1	0	99.73%
Agriculture	259	7818	15	55506	0	0	0	0	0	12.29%
Urban	3346	597	10100	0	0	6	0	3	0	71.88%
Vegetation	80	1438	0	31167	0	0	0	2	0	95.35%
Lakes/ Rivers	0	0	0	0	5914	0	0	38174	0	13.41%
Sea	0	0	0	0	94	0	0	107227	0	0%
Cloud Cirrus	769	6231	124	2630	0	0	1938	1599	9	14.57%
Cloud Shadow	4	8	0	254	1	107	12	59809	0	99.36%
Cloud Thick	0	0	0	0	0	0	959	0	169142	99.44%
Reliability	80.17%	48.48%	98.52%	34.80%	98.42%	0	66.62%	28.92%	99.99%	

Πίνακας 4.3 Πίνακας σύγχυσης εικόνας LC81840332016248LGN00 πειράματος 1.

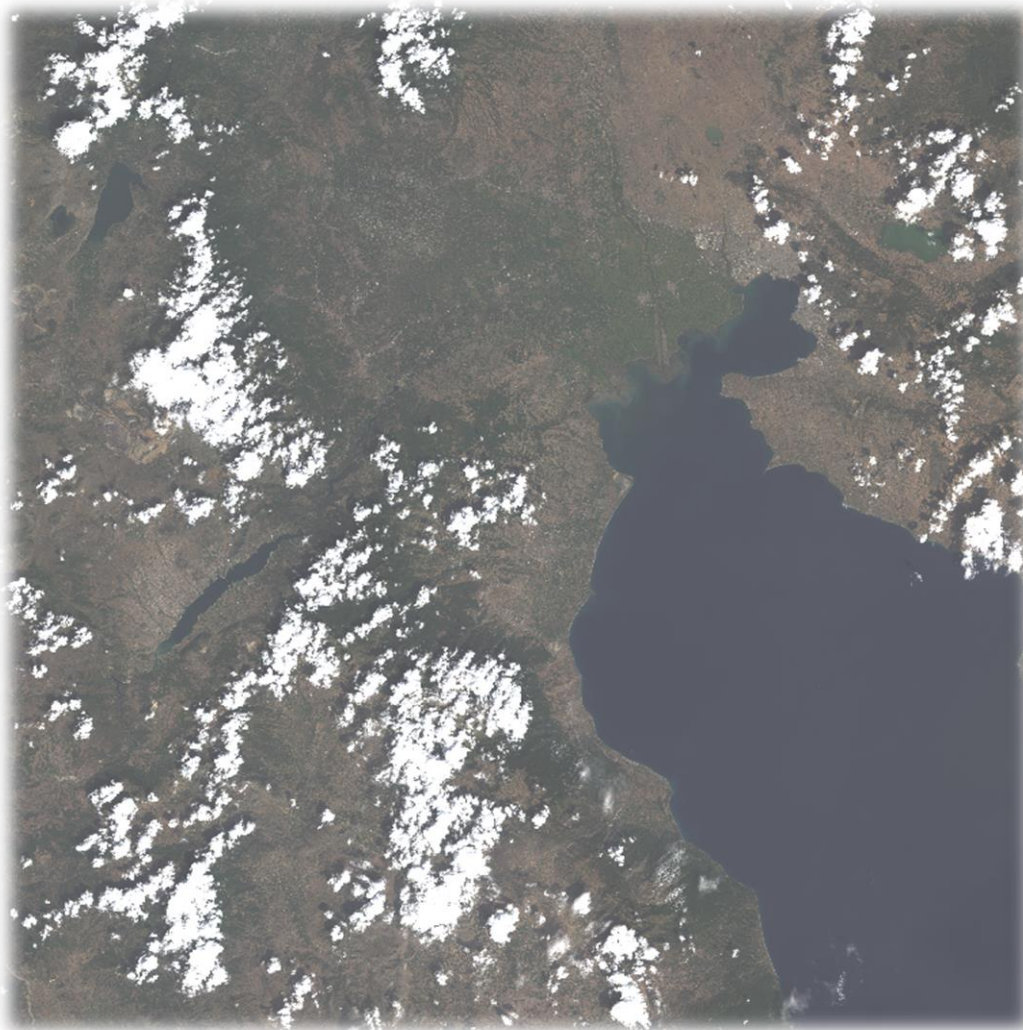
4.1.2 Πείραμα 2°

Στο 2° πείραμα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο που προήλθε από την εικόνα **LC81840322016264LGN00**, από 5000 δείγματα και 10 κανάλια. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην εικόνα 4.4. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει καταφέρει να αναγνωρίσει τα παχιά σύννεφα εξίσου καλά με το προηγούμενο. Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού εξακολουθεί να ταξινομείται λάθος ως σκιά, αλλά υπάρχουν σημεία όπου το νερό έχει αναγνωρισθεί και έχει ταξινομηθεί σωστά. Σε σύγκριση με το μοντέλο του πειράματος 1 έχουμε αύξηση στον εντοπισμό των αραιών σύννεφων. Επίσης το μοντέλο έχει εντοπίσει και κάποιες σκιές που δεν είχαν εντοπιστεί προηγουμένως.

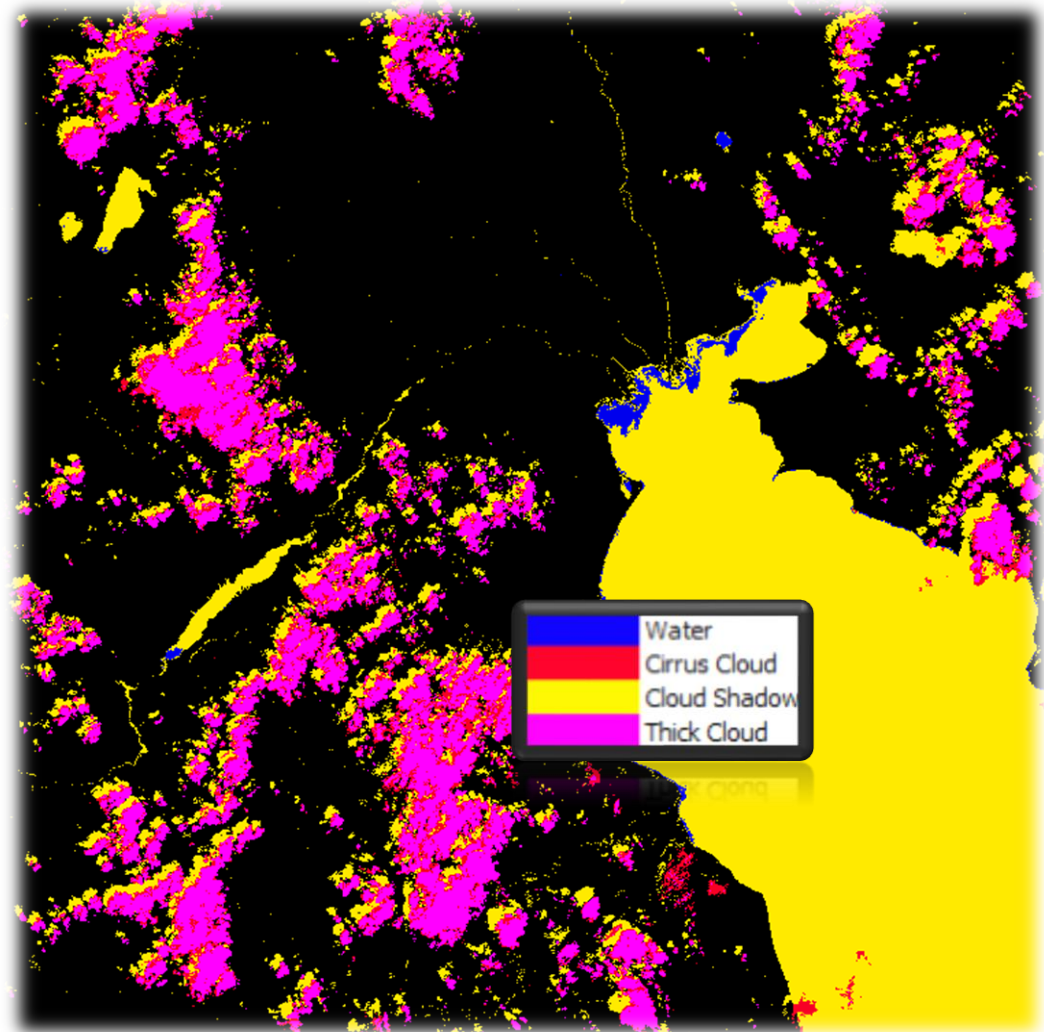
Σύμφωνα με τον πίνακα σύγχυσης 4.5 του πειράματος 2 τα παχιά σύννεφα αναγνωρίζονται και ταξινομούνται με πολύ καλή ακρίβεια και αξιοπιστία. Παράλληλα παρατηρείται μια μικρή αύξηση στην ακρίβεια, αφού το μοντέλο έχει εντοπίσει τα παχιά σύννεφα με ποσοστό 99.71%. Τα αραιά σύννεφα έχουν επίσης μια αύξηση στην ακρίβεια και στην αξιοπιστία τους. Εντοπίστηκαν 340 εικονοστοιχεία αραιών σύννεφων, περισσότερα από το πείραμα 1, αλλά η λανθασμένη ταξινόμηση τους ως καλλιέργειες και βλάστηση παραμένει. Οι σκιές των σύννεφων παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση στην ακρίβεια τους αλλά έχουμε πτώση στην αξιοπιστία τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εκτός από την θάλασσα που έχει ταξινομηθεί ως σκιά στο συγκεκριμένο πείραμα έχουν ταξινομηθεί λανθασμένα και εικονοστοιχεία από την κατηγορία lake/rivers. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κατηγορία των σκιών των σύννεφων να μην είναι αξιόπιστη. Παρατηρώντας των πίνακα 4.4 έχουμε μια γενική βελτίωση στην ακρίβεια και αξιοπιστία στις κατηγορίες σύννεφων, όπως και στην ταξινόμηση σαν σύνολο.

Model Reliability for Cloud Categories	69.91%
Model Accuracy for Cloud Categories	72.18%
Overall Reliability	63.13%
Overall Accuracy	56.08%

Πίνακας 4.4.Αξιολόγηση πειράματος 2.



Εικόνα 4.3.Εικόνα LC81840332016248LGN00 σε RGB 4-3-2.



Εικόνα 4.4 Αποτέλεσμα ταξινόμησης LC81840332016248LGN00.

	Bare Land	Agriculture	Urban	Vegetation	Lakes/Rivers	Sea	Cloud Cirrus	Cloud Shadow	Cloud Thick	Accuracy
Bare Land	18029	32	15	0	0	0	0	0	0	99.74%
Agriculture	281	5916	11	57390	0	0	0	0	0	9.30%
Urban	2918	724	10402	0	0	0	0	8	0	74.03%
Vegetation	101	858	0	31722	0	0	0	6	0	97.05%
Lakes/Rivers	0	0	0	0	3540	0	0	40548	0	7.52%
Sea	0	0	0	0	22	0	0	107299	0	0%
Cloud Cirrus	702	5997	65	2931	0	0	2278	1316	11	17.12%
Cloud Shadow	8	3	0	131	0	1	35	60018	0	99.70%
Cloud Thick	0	0	0	0	0	0	498	0	169603	99.71%
Reliability	81.80%	43.73%	99.13%	34.41%	99.38%	0%	81.38%	28.69%	99.99%	

Πίνακας 4.5. Πίνακας σύγχυσης εικόνας LC81840332016248LGN00 πειράματος 2.

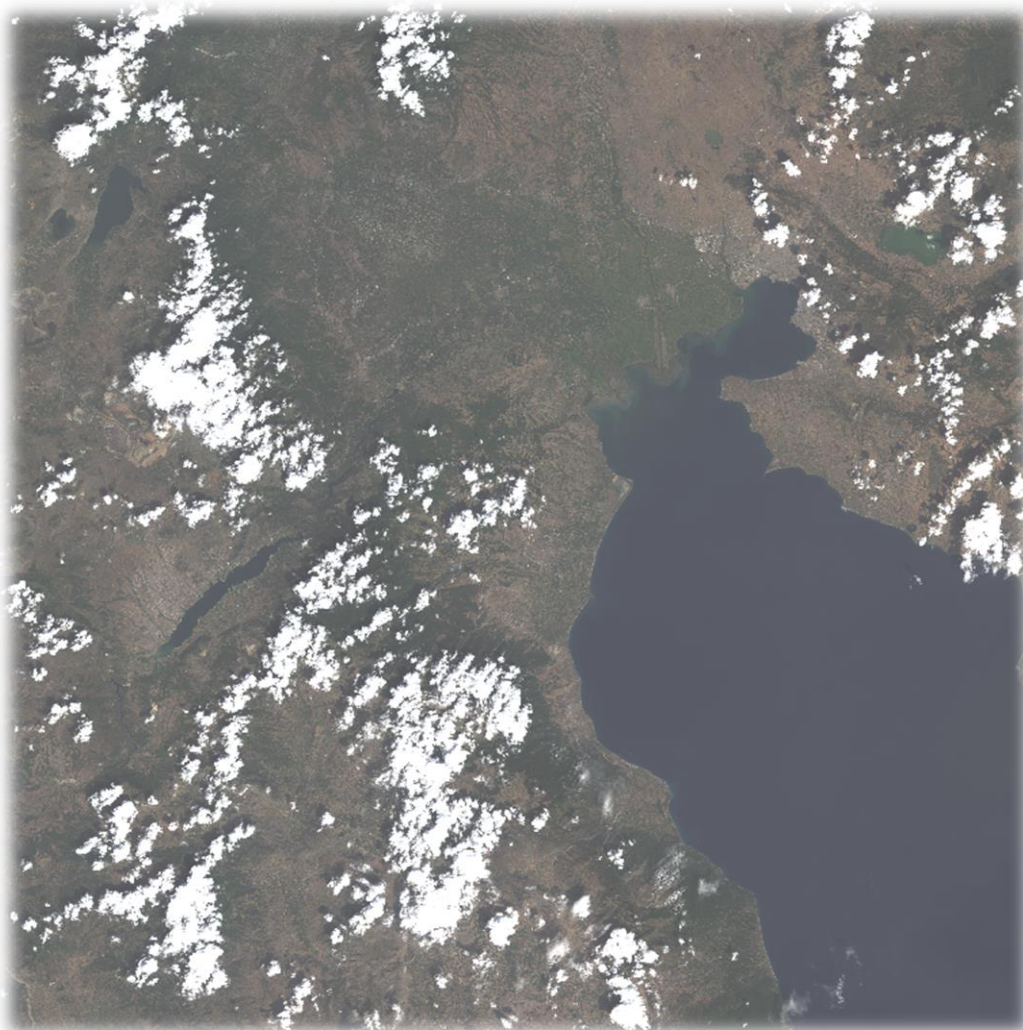
4.1.3 Πείραμα 3^ο

Στο 3^ο πείραμα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο που προήλθε από την εικόνα **LC81840322016264LGN00**, από 8000 δείγματα και 10 κανάλια. Το αποτέλεσμα ταξινόμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 4.6. Το οπτικό αποτέλεσμα του μοντέλου εντοπισμού, έχοντας χρησιμοποιήσει τον μέγιστο αριθμό δειγμάτων, είναι αρκετά παρόμοιο με αυτό το πειράματος 2. Πιο συγκεκριμένα τα παχιά σύννεφα έχουν αναγνωρισθεί με επιτυχία, ενώ το πρόβλημα της ταξινόμησης των υδάτων ως σκιά δεν αντιμετωπίζεται με την αύξηση του δείγματος, αντιθέτως περιοχές που είχαν αναγνωρισθεί ως ύδατα σε προηγούμενα πειράματα τώρα έχουν εντοπισθεί σαν σκιές.

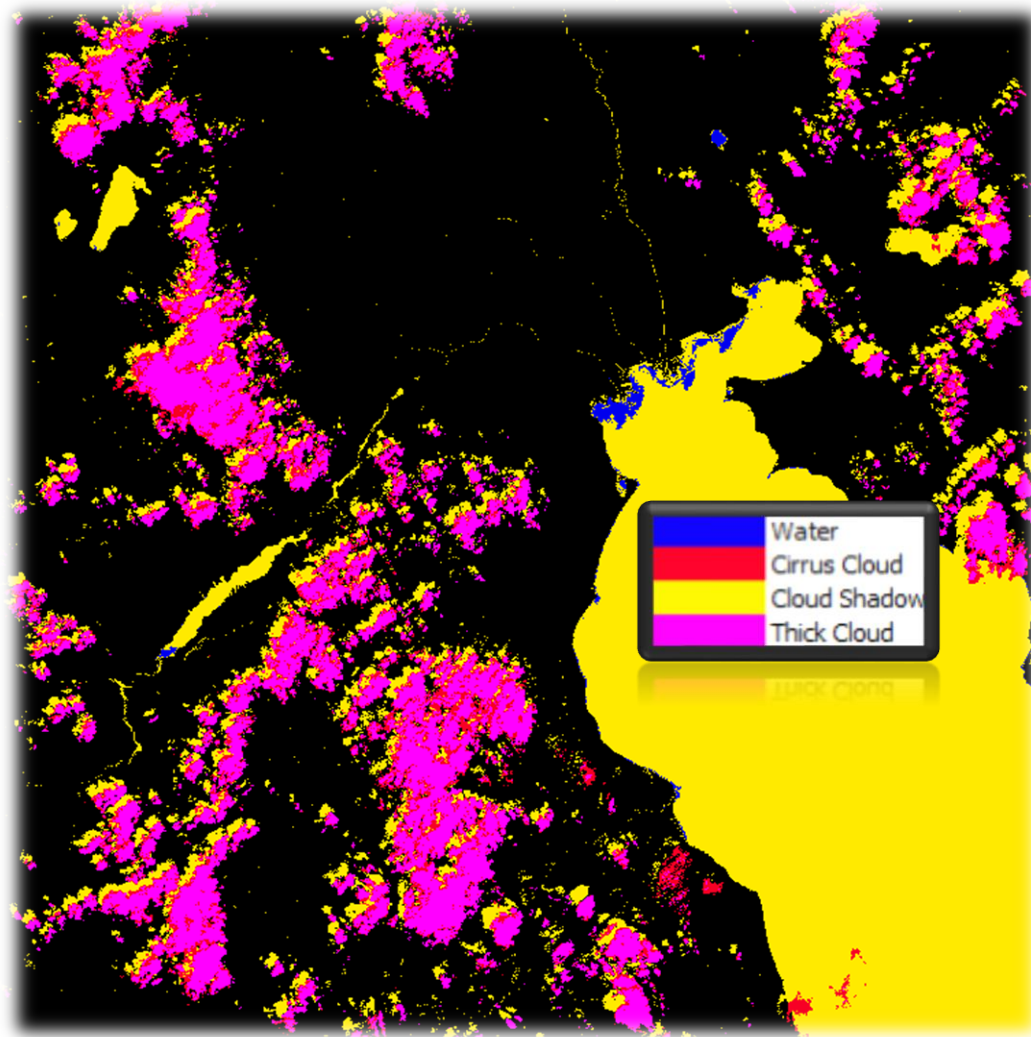
Παρατηρώντας τον πίνακα 4.6, τα παχιά σύννεφα συνεχίζουν να εντοπίζονται σωστά ενώ έχουν και μια μικρή αύξηση στην ακρίβεια, που οφείλεται στην αύξηση του δείγματος. Τα αραιά σύννεφα παρουσιάζουν και αυτά αύξηση στην ακρίβειά και στην αξιοπιστία τους, ωστόσο η ακρίβεια παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Οι σκιές παρουσιάζουν το ίδιο πρόβλημα όπως και στα προηγούμενα πειράματα, ενώ ο εντοπισμός τους στην εικόνα δεν είναι αξιόπιστος. Ο πίνακας 4.5 μας δείχνει ότι το **πείραμα 3** δίνει καλύτερα αποτελέσματα από τα προηγούμενα πειράματα. Σε αυτό το σημείο μπορούμε να καταλήξουμε στο ότι αυξάνοντας τον αριθμό του δείγματος η ταξινόμηση παράγει καλύτερα αποτελέσματα, ωστόσο η χρήση μόνο 10 καναλιών εμποδίζει την δημιουργία μια μάσκας με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επίσης η υπερβολική αύξηση του δείγματος έχει ως συνέπεια ο ταξινομητής να συγχέεται και να παράγει χειρότερα αποτελέσματα. Με την αύξηση του δείγματος δεν επιτεύχθηκε ο διαχωρισμός των υδάτων από τις σκιές. Κρίθηκε λοιπόν απαραίτητο να γίνουν πειράματα στα οποία το μοντέλο θα είχε παραπάνω πληροφορίες. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν οι 3 δείκτες (NDVI, NDSI, CSI).

Model Reliability for Cloud Categories	71.25%
Model Accuracy for Cloud Categories	72.80%
Overall Reliability	64.04%
Overall Accuracy	56.51%

Πίνακας 4.5.Αξιολόγηση πειράματος 3.



Εικόνα 4.5.Εικόνα LC81840332016248LGN00 σε RGB 4-3-2.



Εικόνα 4.6.Αποτέλεσμα ταξινόμησης LC81840332016248LGN00.

	Bare Land	Agriculture	. Urban	Vegetation	Lakes/River s	Sea	Cloud Cirrus	Cloud Shadow	Cloud Thick	Accuracy
Bare Land	18028	31	17	0	0	0	0	0	0	99.73%
Agriculture	286	6443	12	56857	0	0	0	0	0	10.13%
Urban	2719	748	10580	0	0	0	0	5	0	75.29%
Vegetation	104	719	0	31860	0	0	0	4	0	97.47%
Lakes/ Rivers	0	0	0	0	3317	0	0	40771	0	8.52%
Sea	0	0	0	0	0	0	0	107321	0	0%
Cloud Cirrus	694	5994	62	2953	0	0	2535	1044	18	19.06%
Cloud Shadow	8	2	0	197	0	1	52	59936	0	99.57%
Cloud Thick	0	0	0	0	0	0	392	0	169709	99.77%
Reliability	82.55%	46.23%	99.15%	34.68%	100%	0%	85.09%	28.67%	99.99%	

Πίνακας 4.6 Πίνακας σύγχυσης εικόνας LC81840332016248LGN00 πειράματος 3.

4.1.4 Πείραμα 4^ο

Στο 4^ο πείραμα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο που προήλθε από την εικόνα LC81840322016264LGN00, από 1000 δείγματα για την κάθε κατηγορία και 13 κανάλια-δείκτες. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην εικόνα 4.8. Παρατηρώντας την εικόνα βλέπουμε ότι με τη χρήση των τριών δεικτών, η θάλασσα σταμάτησε να ταξινομείται ως σκιά σύννεφων και ταξινομήθηκε στην κατηγορία των υδάτων. Το οπτικό αποτέλεσμα είναι αρκετά βελτιωμένο σε σχέση με το πείραμα 1, το οποίο είχε τον ίδιο αριθμό δειγμάτων. Οι δείκτες έχουν βοηθήσει αρκετά, καθιστώντας τους απαραίτητους για τον εντοπισμό σύννεφων.

Παρατηρώντας τον πίνακα σύγχυσης 4.8, βλέπουμε ότι τα παχιά σύννεφα συνεχίζουν να αναγνωρίζονται με ακρίβεια και αξιοπιστία. Από το συνολικό δείγμα των σύννεφων μόνο 532 εικονοστοιχεία έχουν ταξινομηθεί λανθασμένα ως αραιά σύννεφα, ωστόσο αυτό το λάθος μπορεί να δικαιολογηθεί αφού οι δύο κατηγορίες μοιράζονται κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Στην συνέχεια, επειδή η θάλασσα σταμάτησε να ταξινομείται ως σκιά η ακρίβεια και η αξιοπιστία εντοπισμού αραιών σύννεφων αυξήθηκε πολύ σε σχέση με τα προηγούμενα πειράματα. Το μεγαλύτερο λάθος της κατηγορίας σκιων-σύννεφων εντοπίζεται στην κατηγορία της βλάστησης, καθώς 149 εικονοστοιχεία έχουν ταξινομηθεί λάθος. Αυτό ενδέχεται να οφείλεται σε λάθη κατά την δημιουργία των δεδομένων ελέγχου. Τα αραιά σύννεφα ενώ έχουν εντοπιστεί με αξιοπιστία, η ακρίβεια τους παραμένει χαμηλή, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό τους ταξινομείται στις κατηγορίες της βλάστησης και των καλλιεργειών. Η θάλασσά ενώ σταμάτησε να ταξινομείται ως σκιά, έχει ταξινομηθεί σαν ποτάμια/λίμνες. Αυτό το λάθος δεν μας επηρεάζει αφού και οι δύο κατηγορίες αφορούν ύδατα. Οι δύο κατηγορίες κατά τη δημιουργία των δεδομένων εκπαίδευσης/ελέγχου μπορούν να συγχωνευτούν σε μία κατηγορία.

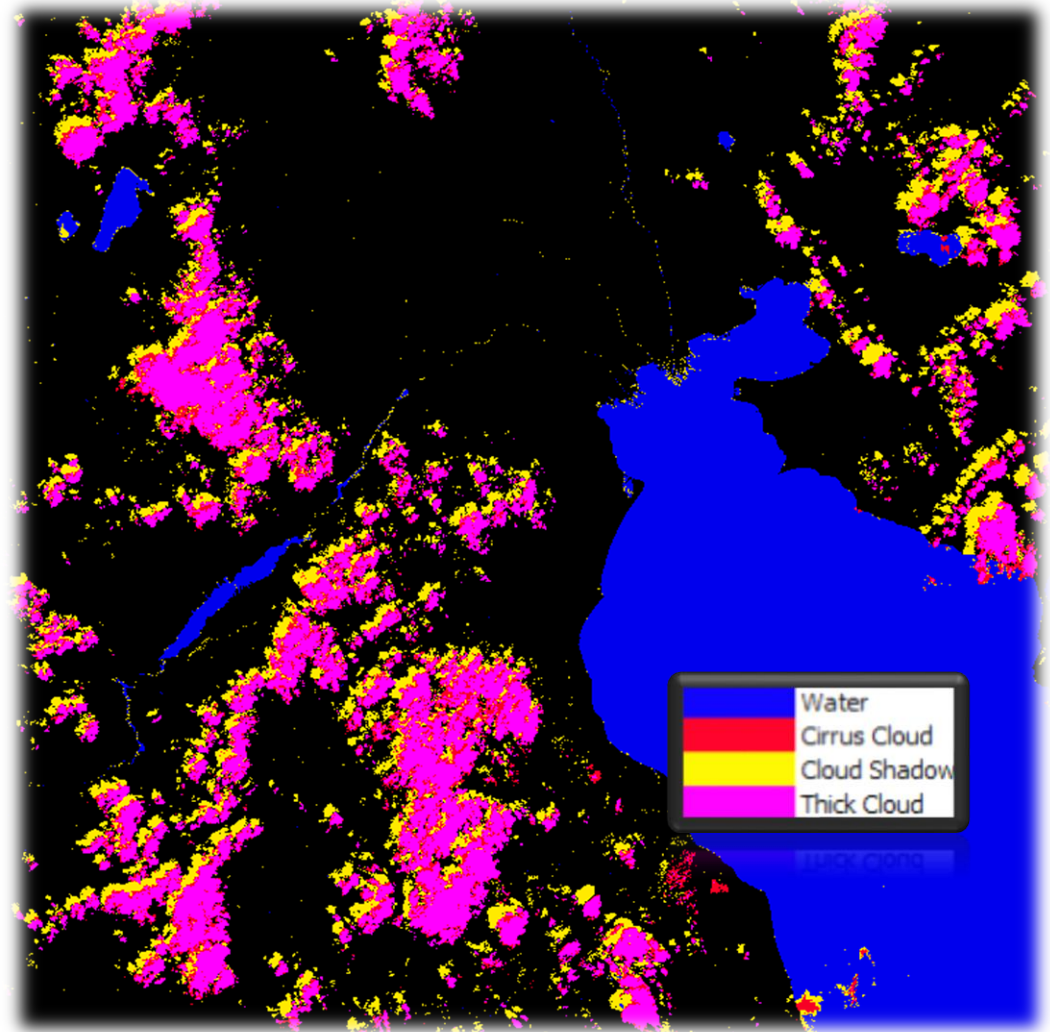
Σύμφωνα με τον πίνακα 4.7, η αξιοπιστία του μοντέλου έχει αυξηθεί σημαντικά για τις κατηγορίες σύννεφων, ενώ η ακρίβεια παρουσιάζει μικρή αύξηση. Αυτό οφείλεται στην κατηγορία των αραιών σύννεφων, η οποία δεν εντοπίζεται σωστά. Η συνολική ακρίβεια και αξιοπιστία του μοντέλου παρουσιάζει αύξηση ωστόσο παραμένει σε χαμηλά επίπεδα λόγω της θάλασσας.

Model Reliability for Cloud Categories	91.20%
Model Accuracy for Cloud Categories	70.71%
Overall Reliability	67.61%
Overall Accuracy	70..38%

Πίνακας 4.7.Αξιολόγηση πειράματος 4



Εικόνα 4.7. Εικόνα LC81840332016248LGN00 σε RGB 4-3-2.



Εικόνα 4.8. Αποτέλεσμα ταξινόμησης LC81840332016248LGN00.

	Bare Land	Agriculture	. Urban	Vegetation	Lakes/Rivers	Sea	Cloud Cirrus	Cloud Shadow	Cloud Thick	Accuracy
Bare Land	17771	97	207	0	0	0	0	1	0	98.31%
Agriculture	212	32894	46	30446	0	0	0	0	0	51.72%
Urban	2690	652	10701	0	0	0	0	9	0	76.15%
Vegetation	51	1537	0	31099	0	0	0	0	0	95.14%
Lakes/Rivers	0	0	0	0	44064	0	0	24	0	99.95%
Sea	0	0	0	0	107321	0	0	0	0	0%
Cloud Cirrus	595	6921	231	1976	638	0	1696	1236	7	12.75%
Cloud Shadow	3	17	0	149	5	0	13	60008	0	99.69%
Cloud Thick	0	0	0	1	0	1	532	1	169567	99.69%
Reliability	83.35%	78.10%	95.67%	48.84%	28.98%	0%	75.68%	97.93%	99.99%	

Πίνακας 4.8. Πίνακας σύγχυσης εικόνας LC81840332016248LGN00 πειράματος 4.

4.1.5 Πείραμα 5°

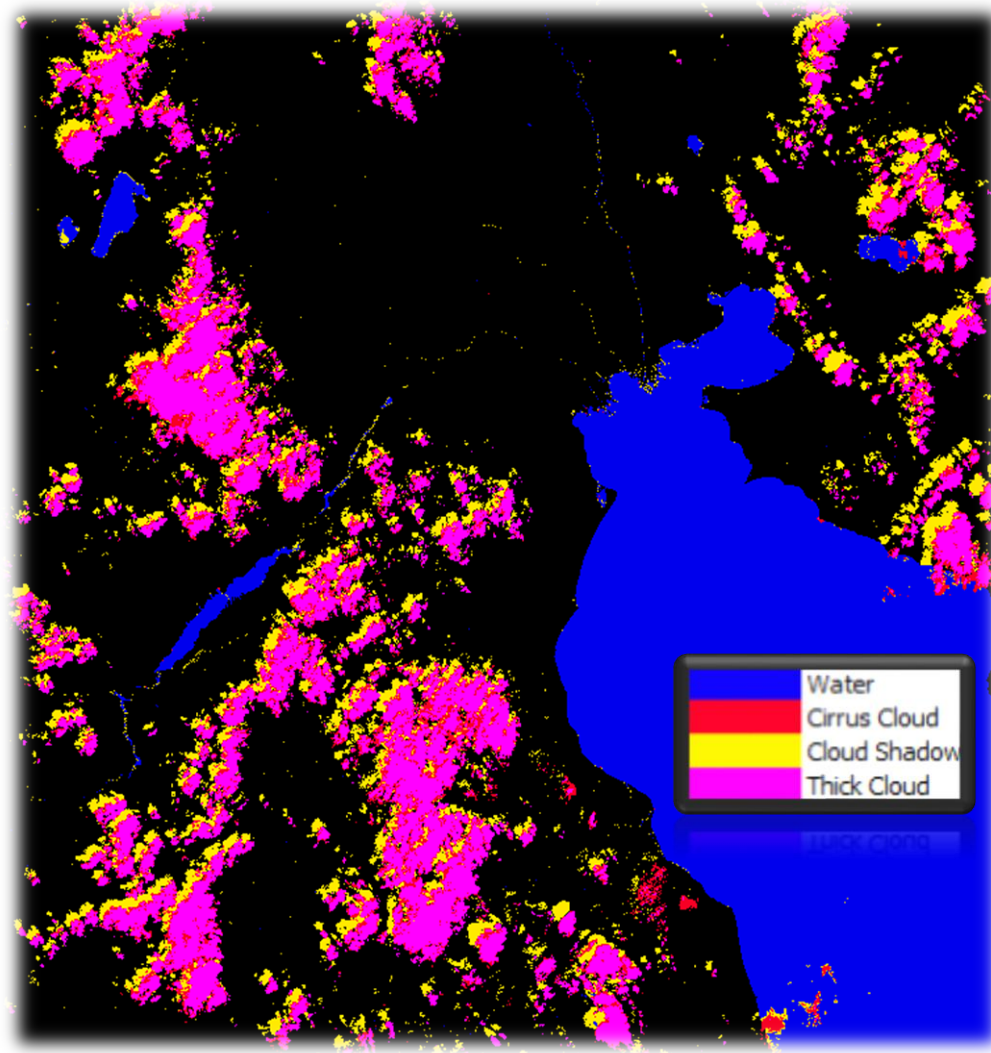
Στο 5° πείραμα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο που προήλθε από την εικόνα **LC81840322016264LGN00**, από 5000 δείγματα και 13 κανάλια-δείκτες. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην εικόνα 4.10. Τα οπτικά αποτελέσματα του πειράματος 5 είναι παρεμφερή με αυτά του πειράματος 4. Παρόλα αυτά παρατηρείται ότι το μοντέλο έχει καταφέρει να εντοπίσει μικρά και αραιά σύννεφα, καθώς και τις σκιές με τα αντίστοιχα σύννεφα τους. Υπάρχει μια μικρή υπερεκτίμηση στις σκιές που οφείλετε στο έντονο ανάγλυφο της περιοχής. Σύμφωνα με τον πίνακα σύγχυσης, τα παχιά σύννεφα συνεχίζουν να παρουσιάζουν αύξηση στην ακρίβεια τους με την αύξηση του δείγματος, αστοχώντας μόνο σε 292 εικονοστοιχεία που ταξινομήθηκαν ως αραιό σύννεφο. Η σκιά σύννεφων έχει ταξινομηθεί με ακρίβεια και αξιοπιστία, 222 εικονοστοιχεία ταξινομούνται ως βλάστηση αντί για σκιά. Αυξάνοντας το δείγμα τα αραιά σύννεφα παρουσιάζουν μια αύξηση στην ακρίβεια και την αξιοπιστία τους, ωστόσο η ακρίβεια τους παραμένει χαμηλή. Στην εικόνα εντοπίστηκαν οπτικά, πολλά μικρά και αραιά σύννεφα κατά τη δημιουργία των δεδομένων εκπαίδευσης/ελέγχου. Είναι πιθανό το μοντέλο να αδυνατεί να εντοπίσει τα αραιά σύννεφα σε ικανοποιητικό βαθμό. Παράλληλα τα δεδομένα αναφοράς μπορεί να περιέχουν λάθη λόγω της φύσης αυτών των σύννεφων. Η θάλασσα συνεχίζει να ταξινομείται ως ποτάμια/λίμνες. Στον πίνακα αξιολόγησης 4.9, παρατηρείται μια αύξηση στην αξιοπιστία των κατηγοριών σύννεφων, αλλά και στην ακρίβεια, η οποία παραμένει κάτω από 80% εξ αιτίας των αραιών σύννεφων. Η συνολική ακρίβεια και αξιοπιστία της ταξινόμησης έχει αυξηθεί, κάτι που οφείλεται στην χρήση μεγαλύτερου μεγέθους δείγματος.

Model Reliability for Cloud Categories	95.76%
Model Accuracy for Cloud Categories	72.73%
Overall Reliability	68.64%
Overall Accuracy	70.26%

Πίνακας 4.9 Αξιολόγηση πειράματος 5.



Εικόνα 4.9.Εικόνα LC81840332016248LGN00σε RGB 4-3-2.



Εικόνα 4.10. Αποτέλεσμα ταξινόμησης LC81840332016248LGN00.

	Bare Land	Agriculture	Urban	Vegetation	Lakes/Rivers	Sea	Cloud Cirrus	Cloud Shadow	Cloud Thick	Accuracy
Bare Land	17862	52	161	0	0	0	0	1	0	98.81%
Agriculture	220	25184	20	38174	0	0	0	0	0	39.60%
Urban	2374	618	11051	0	0	0	0	9	0	78.64%
Vegetation	68	866	0	31753	0	0	0	0	0	97.14%
Lakes/Rivers	0	0	0	0	44063	0	1	24	0	99.94%
Sea	0	0	0	0	107321	0	0	0	0	0%
Cloud Cirrus	615	6464	115	2502	555	0	2502	533	14	18.81%
Cloud Shadow	5	9	0	222	0	0	41	59918	0	99.54%
Cloud Thick	0	0	0	0	0	1	292	0	169809	99.83%
Reliability	84.48%	75.87%	97.39%	43.71%	29.00%	0%	88.22%	99.06%	99.99%	

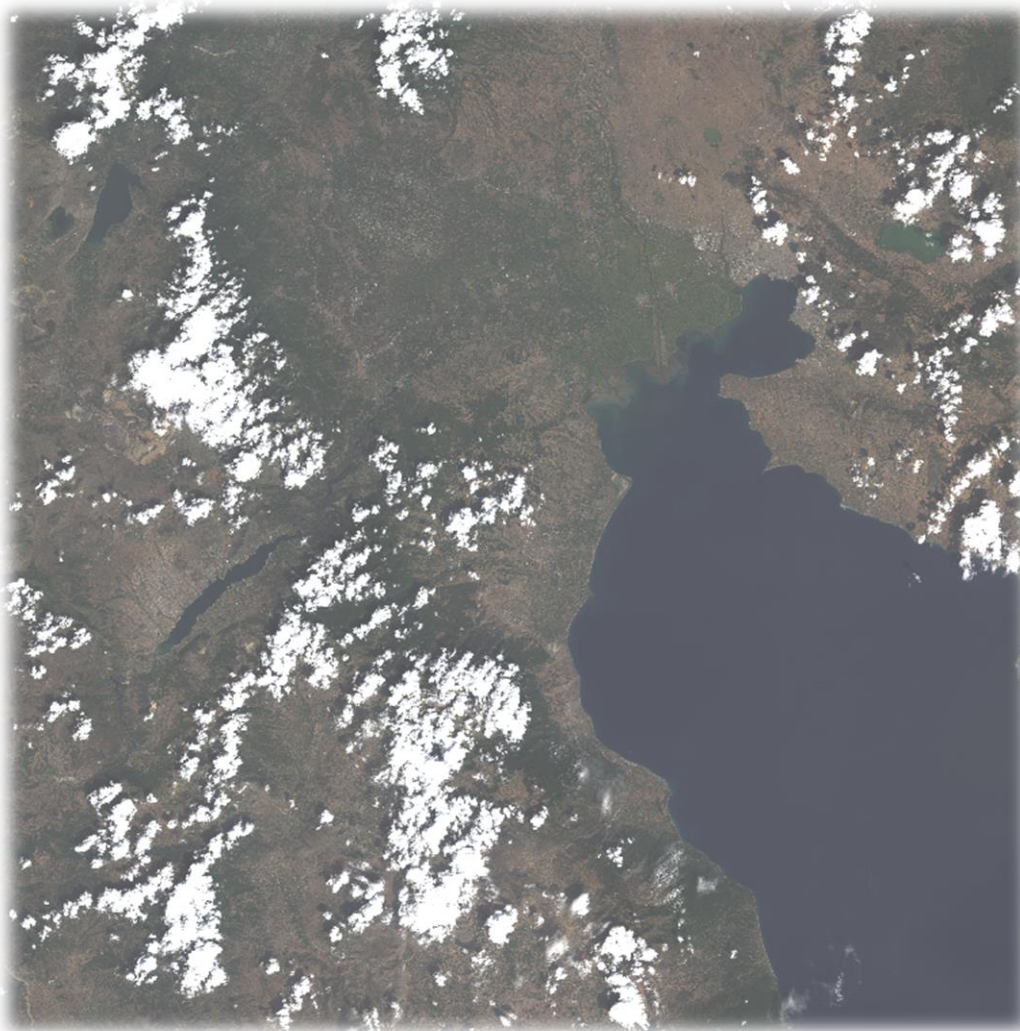
Πίνακας 4.10. Πίνακας σύγχυσης εικόνας LC81840332016248LGN00 πειράματος 5.

4.1.6 Πείραμα 6^ο

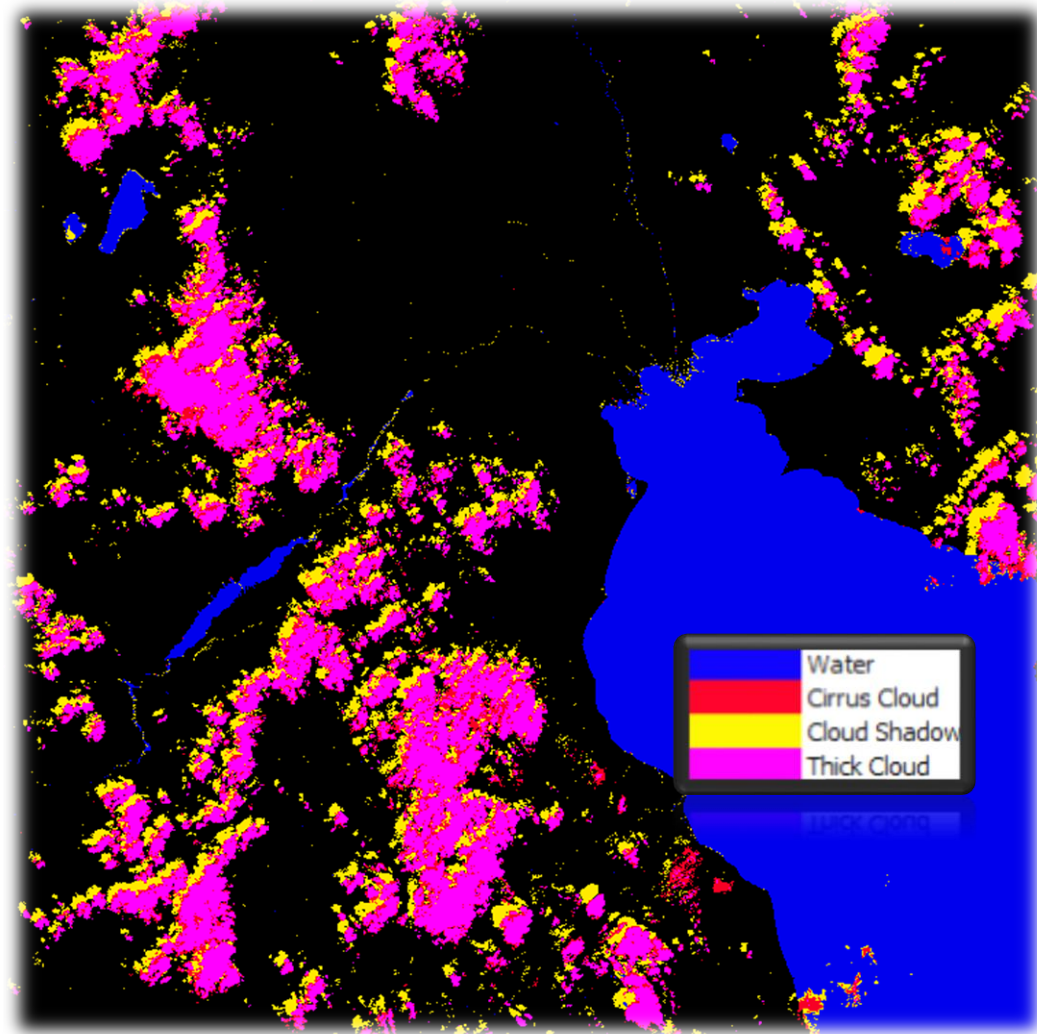
Στο 6^ο πείραμα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο που προήλθε από την εικόνα **LC81840322016264LGN00**, από 8000 δείγματα και 13 κανάλια-δείκτες. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην εικόνα 4.12. Το συγκεκριμένο μοντέλο δημιουργήθηκε από τον μέγιστο αριθμό δειγμάτων που ήταν διαθέσιμα για την εκάστοτε κατηγορία. Παρατηρώντας το οπτικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης του μοντέλου και κάνοντας μια οπτική σύγκριση με ένα έγχρωμο σύνθετο της εικόνας σε 4-3-2, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι έχουν εντοπιστεί τα παχιά σύννεφα και οι σκιές τους με πολύ καλή ακρίβεια. Βέβαια το μοντέλο εντοπίζει κάποιες σκιές που δημιουργούνται από το ανάγλυφο και όχι από τα σύννεφα. Τα συγκεκριμένα εικονοστοιχεία εντοπίστηκαν ως σκιά σύννεφων γιατί παρουσιάζουν αρκετά κοινές τιμές σε κάποια κανάλια. Αυτός ο λάθος εντοπισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί θετικά σε μια μάσκα καθώς αυτά τα εικονοστοιχεία είναι καθαρά από τα σύννεφα και τις σκιές τους. Συνεπώς μπορεί να εντοπιστεί και η σκίαση από το ανάγλυφο, η οποία υπάρχει περίπτωση να εμποδίζει εξίσου την μελέτη μιας περιοχής. Το μοντέλο εντοπίζει λίγες σκιές από το ανάγλυφο. Έτσι μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα εικονοστοιχεία αυτά αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα και η πληροφορία που μας δίνουν δεν είναι αξιόπιστη. Παρατηρώντας τον *πίνακα σύγχυσης 4.12* βλέπουμε ότι τα παχιά σύννεφα έχουν αύξηση στην ακρίβεια τους όπως και στην ακρίβεια των σκιών. Τα αραιά σύννεφα παρουσιάζουν μια πτώση στην ακρίβεια τους καθώς η αύξηση του δείγματος δεν βοηθάει στον καλό εντοπισμό τους. Παρατηρώντας ωστόσο και την εικόνα, έχουν εντοπιστεί αραιά σύννεφα σε σημεία που δεν έχουμε ψηφιοποιήσει δεδομένα εκπαίδευσης/ελέγχου σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό. Ο πίνακας αξιολόγησης 4.11 παρουσιάζει αύξηση στην αξιοπιστία των κατηγοριών σύννεφων και μικρή πτώση στην ακρίβεια. Η συνολική αξιοπιστία και ακρίβεια παρουσιάζουν μια μικρή πτώση σε σχέση με το προηγούμενο πείραμα.

Model Reliability for Cloud Categories	96.36%
Model Accuracy for Cloud Categories	72.45%
Overall Reliability	68.14%
Overall Accuracy	69.37%

Πίνακας 5.11. Αξιολόγηση πειράματος 6.



Εικόνα 4.11 Εικόνα LC81840332016248LGN00 σε RGB 4-3-2.



Εικόνα 4.12. Αποτέλεσμα ταξινόμησης LC81840332016248LGN00.

	Bare Land	Agriculture	. Urban	Vegetation	Lakes/Rivers	Sea	Cloud Cirrus	Cloud Shadow	Cloud Thick	Accuracy
Bare Land	17889	41	146	0	0	0	0	0	0	98.96%
Agriculture	232	20114	18	43234	0	0	0	0	0	31.63%
Urban	2362	598	11083	0	0	0	0	9	0	78.87%
Vegetation	74	728	0	31885	0	0	0	0	0	97.55%
Lakes/ Rivers	0	0	0	0	44064	0	1	23	0	99.95%
Sea	0	0	0	0	107321	0	0	0	0	0%
Cloud Cirrus	648	6403	87	2515	542	0	2377	709	19	17.87%
Cloud Shadow	6	9	0	182	0	0	30	59968	0	99.62%
Cloud Thick	0	0	0	0	0	1	224	1	169876	99.87%
Reliability	84.34%	72.11%	97.78%	40.97%	29.00%	0%	90.31%	98.78%	99.99%	

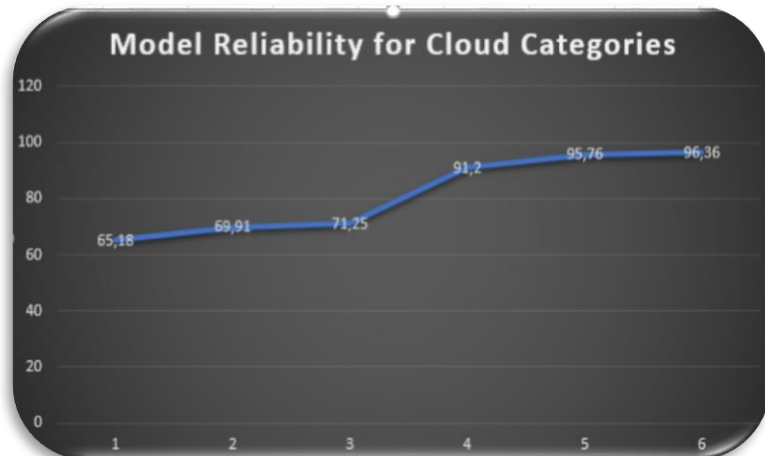
Πίνακας 5.12. Πίνακας σύγκρισης εικόνας LC81840332016248LGN00 πειράματος 6.

Παρακάτω παρουσιάζονται διαγραμματικά μέτρα ακρίβειας από τους πίνακες αξιολόγησης των έξι πειραμάτων. Σύμφωνα με τα διαγράμματα αλλάζοντας τις παραμέτρους εισαγωγής στο μοντέλο έχουμε διαφορετικά αποτελέσματα.

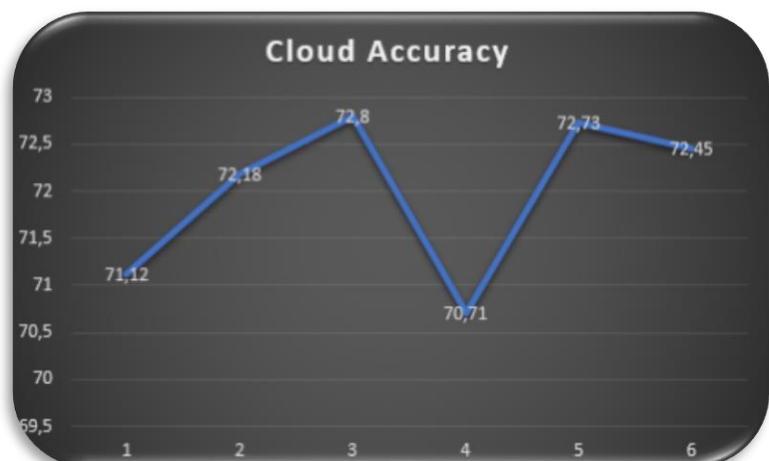
Τα καλύτερα αποτελέσματα μας τα παρέχουν τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν από 13 κανάλια- δείκτες κάτι που ήταν αναμενόμενο. Η αύξηση του δείγματος προσφέρει στην καλύτερη αξιοπιστία ωστόσο δεν βοηθάει στην ακρίβεια αντιθέτως μετά από κάποιο όριο η αύξηση του δείγματος έχει αρνητικά αποτελέσματα.

Τα πειράματα που κάναμε μας επιτρέπουν να επιλέξουμε τα καλύτερα μοντέλα για τον εντοπισμό σύννεφων. Τα μοντέλα αυτά είναι εκείνα που δημιουργήθηκαν στα πειράματα 5,6. Τα συγκεκριμένα μοντέλα μεταξύ τους είναι αρκετά παρόμοια αφού η ακρίβεια και η αξιοπιστία τους είναι πολύ κοντά, ωστόσο το μοντέλο που επιλέγεται για να συγκριθεί με τα αποτελέσματα του Fmask είναι εκείνο που δημιουργήθηκε στο πείραμα 6 γιατί παρουσιάζει λίγο αυξημένα ποσοστά σε σχέση με το μοντέλο του πειράματος 5 στις κατηγορίες σύννεφων. Τα διαγράμματα δείχνουν αρκετά χαμηλή ακρίβεια και αξιοπιστία όσον αφορά την συνολική ταξινόμηση ωστόσο

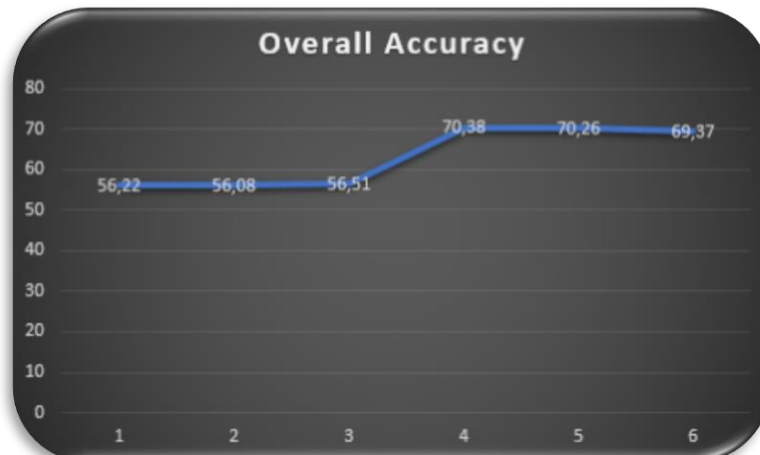
κάνοντας την παραδοχή ότι η θάλασσα και οι λίμνες/ποτάμια είναι μία κατηγορία υδάτων τα ποσοστά έχουν μια αύξηση της τάξεως 10 %.



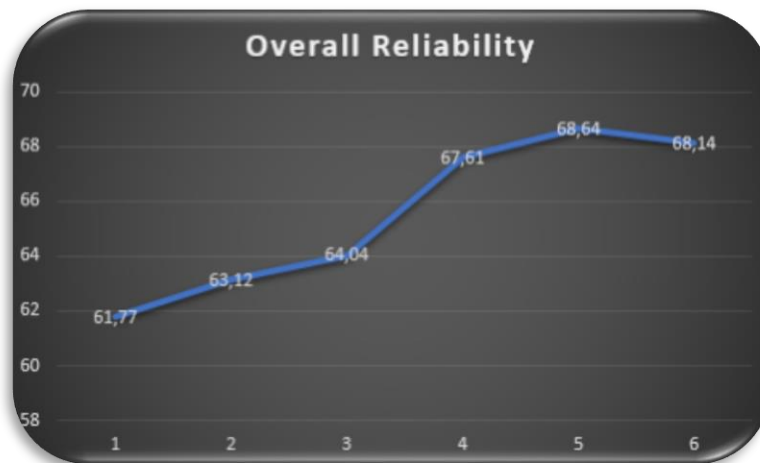
Διάγραμμα 4.1 Αξιοπιστία μοντέλου εκάστοτε πειράματος για τις κατηγορίες σύννεφων.



Διάγραμμα 4.2 Ακρίβεια μοντέλου εκάστοτε πειράματος για τις κατηγορίες σύννεφων.

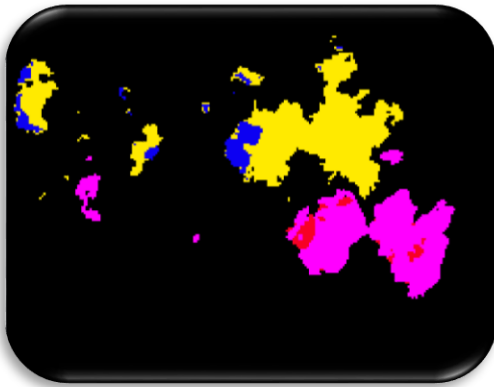


Διάγραμμα 4.3 Συνολική ακρίβεια μοντέλου εκάστοτε πειράματος .

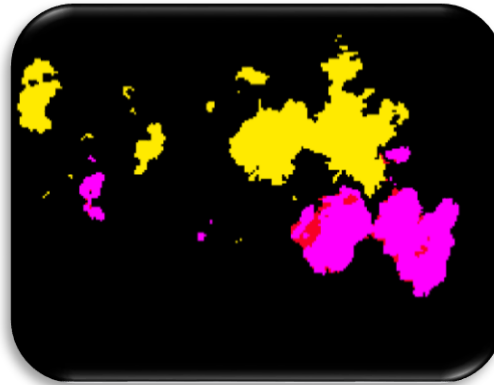


Διάγραμμα 4.4 Συνολική αξιοπιστία μοντέλου εκάστοτε πειράματος .

Τα οπτικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε κάθε πείραμα αφορούν εικόνες που καταλαμβάνουν μεγάλη εδαφική έκταση και ένα πολύ μεγάλο αριθμό εικονοστοιχείων, έτσι είναι αρκετά δύσκολο να γίνει εμφανές τι προσφέρει η αλλαγή της κάθε παραμέτρου. Για το συγκεκριμένο λόγο παρακάτω παρατίθενται κάποια κομμάτια της εικόνας μεγεθυμένα καθώς και το αντίστοιχο κομμάτι σε RGB 4-3-2.



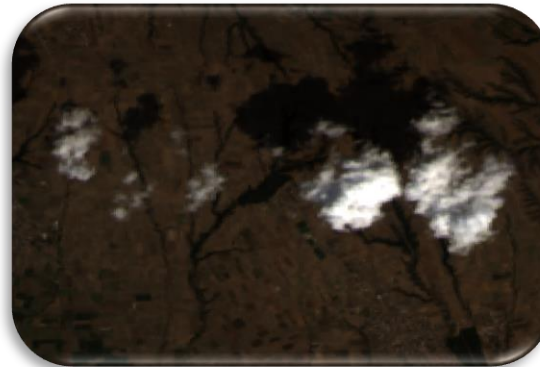
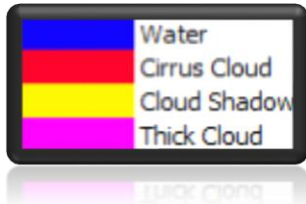
Εικόνα 4.13. Πείραμα 1.



Εικόνα 4.14. Πείραμα 2.



Εικόνα 4.15 Πείραμα 3.



Εικόνα 4.16. R-G-B 4-3-2.



Εικόνα 4.17. Πείραμα 4.



Εικόνα 4.18. Πείραμα 5.



Εικόνα 4.19. Πείραμα 6. Σελίδα 74 από 98



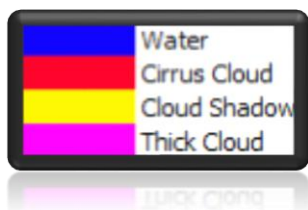
Εικόνα 4.20. Πείραμα 1.



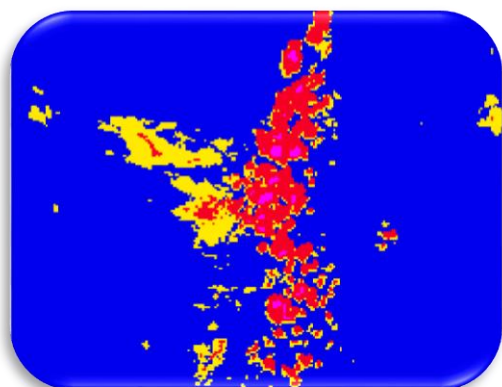
Εικόνα 4.21. Πείραμα 2.



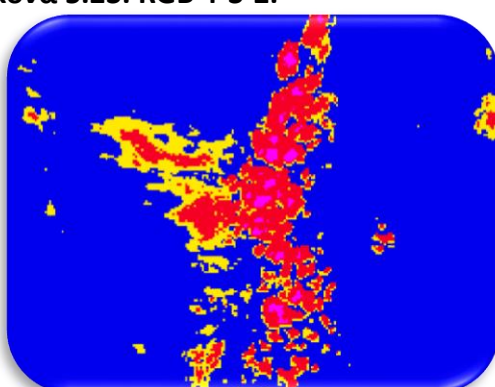
Εικόνα 4.22. Πείραμα 3.



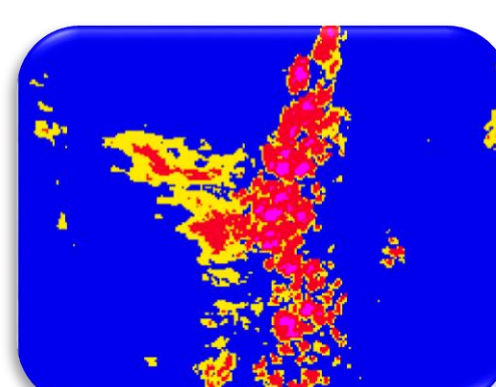
Εικόνα 5.23. RGB 4-3-2.



Εικόνα 4.24. Πείραμα 4.



Εικόνα 4.25 Πείραμα 5.



Εικόνα 4.26. Πείραμα 6. Σελίδα 75 από 98

4.2 Χρήση Μοντέλου σε Εικόνες Διαφορετικών Ημερομηνιών και Σύγκριση με τον Fmask.

Σε αυτό το κεφάλαιο χρησιμοποιείται το μοντέλο που δημιουργήθηκε στο πείραμα 6 για να ταξινομηθούν οι εικόνες από διαφορετικές ημερομηνίες, να παρατηρηθούν τα αποτελέσματα αλλά και για να πραγματοποιηθεί σύγκριση με τα αποτελέσματα του Fmask. Ο Fmask δεν παρέχει κατηγορία αραιά σύννεφα, αποφασίστηκε η σύγκριση να γίνει ανάμεσα στις κατηγορίες παχιά σύννεφα και σκιές. Εκτός από το οπτικό αποτέλεσμα θα χρησιμοποιηθεί ο Fmask και το μοντέλο μας για να ταξινομηθούν τα δεδομένα ελέγχου που δημιουργήθηκαν στο κεφάλαιο 3 ώστε να υπάρξει μια ποσοτική σύγκριση.

4.2.1 Εικόνα LC81840322016200LGN00

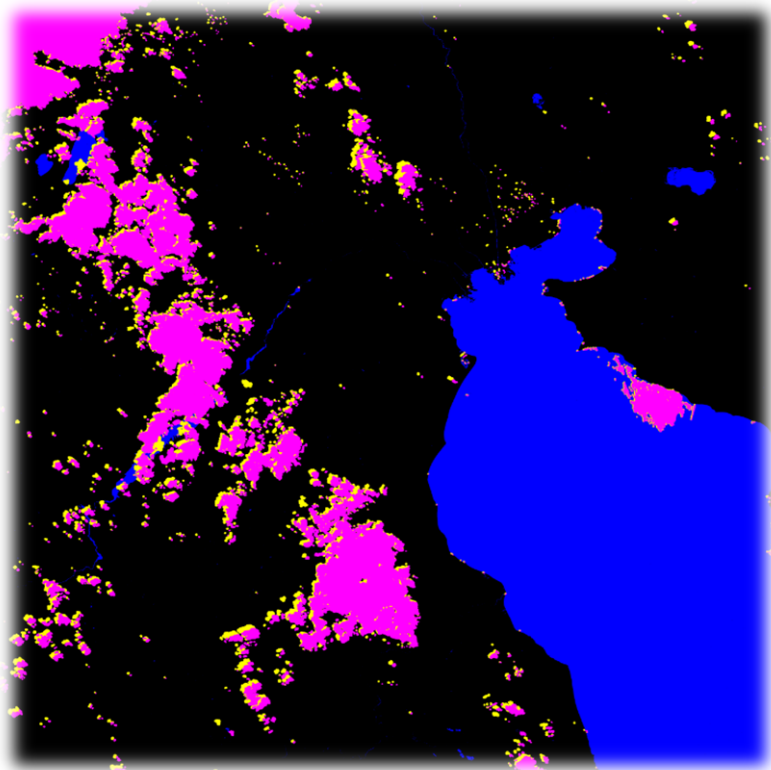
Η συγκεκριμένη εικόνα έχει ληφθεί στις 18-7-2016 με ποσοστό σύννεφο κάλυψης 11.8%. Παρουσιάζει αρκετά σύννεφα σε μεγάλο υψόμετρο καθώς και πολλά μικρά σύννεφα σε χαμηλότερο υψόμετρο. Τα αραιά σύννεφα είναι λίγα στην εικόνα. Ακολουθούν τα οπτικά αποτελέσματα του Fmask και του μοντέλου, καθώς και οι πίνακες σύγχυσης με τις κατηγορίες παχιά σύννεφα, σκιές σύννεφων και μια κατηγορία *λοιπά*, που αφορά όλα τα εικονοστοιχεία που δεν ταξινομήθηκαν στις δυο παραπάνω κατηγορίες.

Ταυτόχρονα, παρουσιάζονται μεγεθυμένα αποσπάσματα της εικόνας σε σημεία που παρατηρούνται λάθη, στον εκάστοτε αλγόριθμο. Οι δύο αλγόριθμοι κατάφεραν να εντοπίσουν αρκετά καλά τα σύννεφα και τις σκιές τους. Ο Fmask έχει εντοπίσει όλα τα παχιά σύννεφα των δεδομένων ελέγχου, ενώ το μοντέλο μας έχει ταξινομήσει 11 εικονοστοιχεία στην κατηγορία *λοιπά*. Τα συγκεκριμένα εικονοστοιχεία στην περίπτωση που έχουν ταξινομηθεί ως αραιά σύννεφα δεν μπορούν να θεωρηθούν ως λάθη, αφού σκοπός μας είναι ο εντοπισμός των σύννεφων.

Επιπλέον, ο Fmask έχει εντοπίσει τις περισσότερες σκιές, αλλά έχει ταξινομήσει 384 εικονοστοιχεία στην κατηγορία των σύννεφων. Αυτό οφείλεται στο τρόπο λειτουργίας του Fmask, αφού δημιουργεί μια ζώνη σκιάς γύρω από το σύννεφο, συνεπώς, είναι αναμενόμενο να υπάρχει μια υπερεκτίμηση. Η σημαντική αστοχία, παρατηρώντας τους πίνακες σύγχυσης, είναι αυτή των 625 εικονοστοιχείων σκιάς που έχουν ταξινομηθεί στην κατηγορία *λοιπά*. Το μοντέλο του πειράματος 6, έχει καταφέρει να ξεχωρίσει την σκιά από τα σύννεφα με μεγαλύτερη επιτυχία από τον Fmask και αστοχεί σε 165 εικονοστοιχεία σκιάς. Το μοντέλο που δημιουργήσαμε, αστοχεί ωστόσο τόσο σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, τις οποίες αναγνωρίζει ως σκιές σύννεφων, όσο και σε περιοχές κοντά σε νερό. Στην συνέχεια συγκρίνονται οπτικά τμήματα της εικόνας.



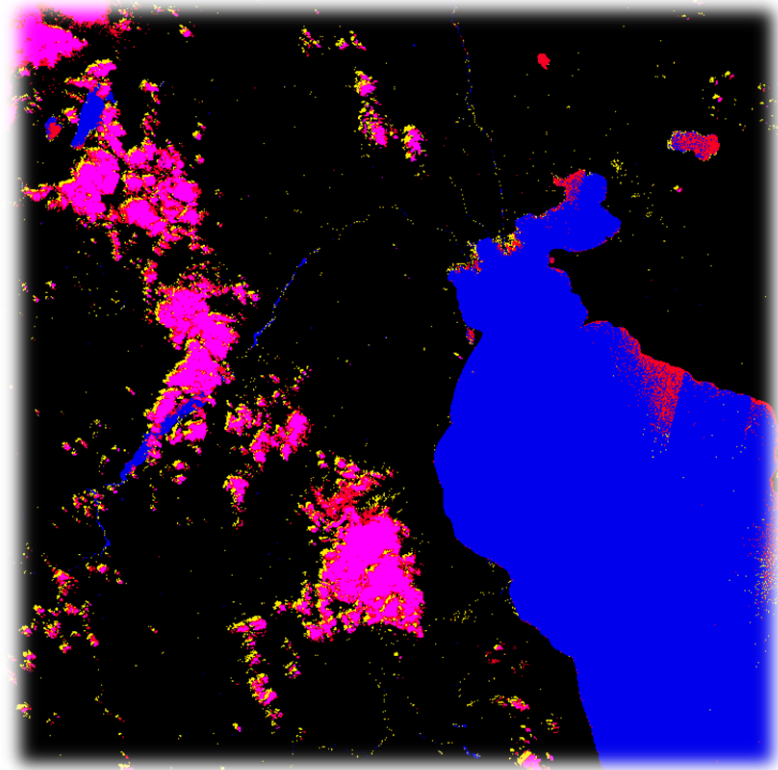
Εικόνα 4.27. Εικόνα LC81840322016200LGN00 σε 4-3-2.



Εικόνα 4.28. Αποτέλεσμα Fmask για εικόνα LC81840332016200LGN00.

	Shadow	Cloud Thick	Rest	Accuracy
Shadow	14071	384	625	93.31%
Cloud Thick	0	113983	0	100%
Rest	0	0	0	
Reliability	100%	99.66%		

Πίνακας 4.13 Πίνακας σύγχυσης Fmask.



Εικόνα 4.29. Αποτέλεσμα ταξινόμησης LC81840332016200LGN00.

	Shadow	Cloud Thick	Rest	Accuracy
Shadow	14915	0	165	98.91%
Cloud Thick	0	113983	11	99.99%
Rest	0	0	0	
Reliability	100%	100%		

Πίνακας 4.14. Πίνακας σύγχυσης μοντέλου ταξινόμησης.



Εικόνα 4.30 Τμήμα εικόνας σε 4-3-2.



Εικόνα 4.31. Αποτέλεσμα Fmask.

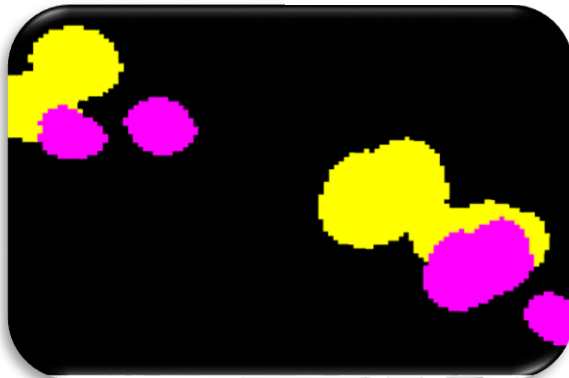


Εικόνα 4.32. Αποτέλεσμα μοντέλου ταξινόμησης.

Στις εικόνες 4.30 ,4.31,4.32 παρατηρείται ότι και οι δύο αλγόριθμοι έχουν καταφέρει να αναγνωρίσουν επιτυχημένα το μεγαλύτερο ποσοστό από τα σύννεφα. Παράλληλα, ο Fmask δεν έχει καταφέρει να αναγνωρίσει ένα αραιό σύννεφο στο κάτω μέρος της εικόνας, ενώ το μοντέλο από το πείραμα 6, έχει εντοπίσει ένα κομμάτι του σύννεφου και το έχει ταξινομήσει ως αραιό σύννεφο. Στην συνέχεια, το δικό μας μοντέλο έχει αναγνωρίσει κάποιες σκιές που είναι του αραιού σύννεφου που έχει ήδη αναγνωριστεί, αλλά κάνει μια υπερεκτίμηση εξαιτίας της σκιάς από το ανάγλυφο. Έπειτα, ο Fmask λόγω του τρόπου λειτουργίας του, υπερεκτιμά ως σύννεφα και σκιές, περιοχές γύρω από τα αναγνωρισμένα σύννεφα ταξινομώντας καθαρά εικονοστοιχεία εσφαλμένα. Τέλος, το μοντέλο μας έχει εντοπίσει και ένα μικρό αραιό σύννεφο στο δεξί τμήμα της εικόνας.



Εικόνα 4.33. Τμήμα εικόνας σε 4-3-2.



Εικόνα 4.34. Αποτέλεσμα Fmask.



Εικόνα 4.35. Αποτέλεσμα μοντέλου ταξινόμησης.

Στην εικόνα 4.33 παρατηρούνται κάποια αραιά σύννεφα στην πάνω δεξιά και στην κάτω αριστερή γωνία. Ο Fmask έχει καταφέρει να εντοπίσει το μεγαλύτερο τμήμα των σύννεφων και των σκιών τους, ωστόσο αδυνατεί να αναγνωρίσει μικρά τα αραιά σύννεφα που έχουν σημειωθεί πάνω στην εικόνα. Το δικό μας μοντέλο έχει καταφέρει να εντοπίσει και αυτό με την σειρά του τα περισσότερα σύννεφα και σκιές αλλά καταφέρει να εντοπίσει και ένα τμήμα αυτών των πολύ μικρών και αραιών σύννεφων. Ο αλγόριθμος Fmask δυσκολεύεται να εντοπίσει πολύ λεπτά και αραιά σύννεφα με τα περάσματα που χρησιμοποιεί, ενώ η επιβλεπόμενη ταξινόμηση μας δίνει την δυνατότητα να τα εντοπίσουμε.

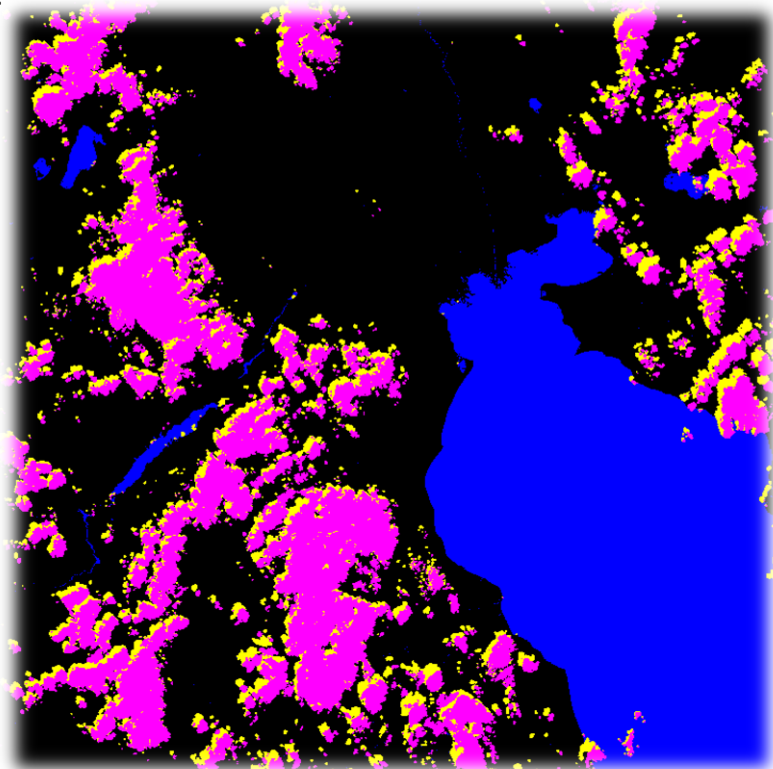
4.2.2 Εικόνα LC81840322016248LGN00

Η εικόνα έχει ληφθεί στις 04-09-2016 με ποσοστό συννεφοκάλυψης 10,48%. Σε αυτή απεικονίζονται αρκετές ομάδες μεγάλων σύννεφων. Τα παχιά σύννεφα κυριαρχούν καθώς αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των απεικονιζόμενων σύννεφων και τα αραιά σύννεφα είναι λίγα, σε περιοχές κοντά στην θάλασσα. Παρατηρώντας τις εικόνες οπτικά, συμπεραίνουμε ότι οι δύο αλγόριθμοι εντοπισμού έχουν καταφέρει να αναγνωρίσουν τα περισσότερα εικονοστοιχεία σύννεφων και σκιάς. Το αποτέλεσμα που παράγεται είναι αρκετά παρόμοιο με εκείνο του Fmask. Σύμφωνα με τους πίνακες σύγχυσης υπάρχει βελτίωση στην ακρίβεια και στην αξιοπιστία των ποσοστών, διότι η



Εικόνα 4.36. Εικόνα LC81840322016248LGN00 σε 4-3-2.

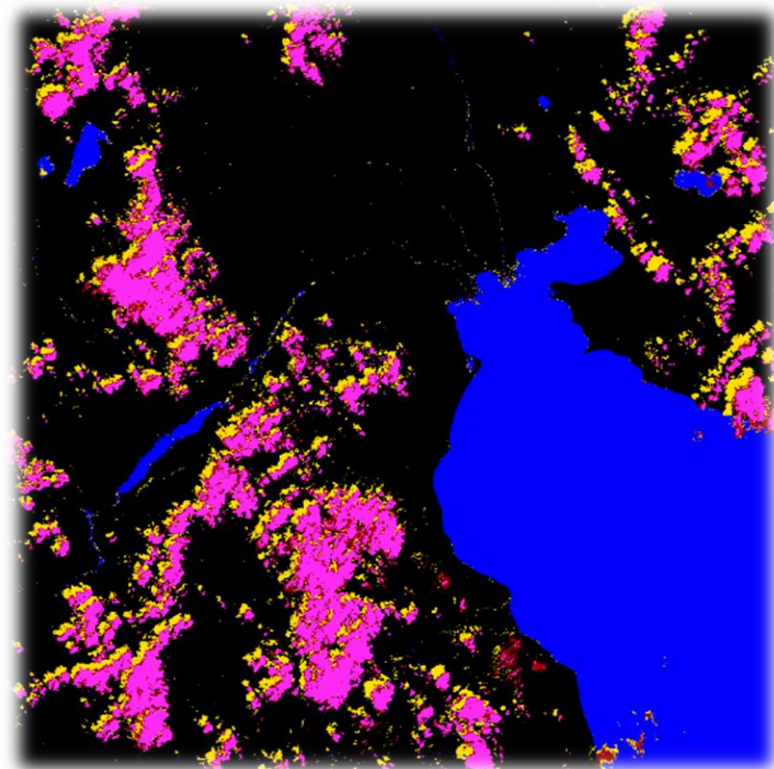
συγκεκριμένη εικόνα έχει λιγότερα αραιά σύννεφα, που είναι αρκετά δύσκολα στον εντοπισμό τους. Ο Fmask έχει καταφέρει να αναγνωρίσει όλα τα παχιά σύννεφα των δεδομένων ελέγχου και έχει εντοπίσει το μεγαλύτερο ποσοστό των σκιών. Ωστόσο αναγνωρίζει 411 εικονοστοιχεία σκιάς ως παχιά σύννεφα, γεγονός που οφείλεται στον τρόπο λειτουργίας του. Το συγκεκριμένο λάθος δεν επηρεάζει την ποιότητα αποτελεσμάτων του Fmask καθώς και οι δύο κατηγορίες αναφέρονται σε εικονοστοιχεία που μας εμποδίζουν κατά την λήψη πληροφοριών από το έδαφος. Το σημαντικό λάθος που παρατηρείται από τον Fmask είναι η ταξινόμηση 2558 εικονοστοιχείων σκιάς στην κατηγορία λοιπά, αυτό σημαίνει ότι εικονοστοιχεία με εσφαλμένη πληροφορία ταξινομούνται ως καθαρά και μπορούν να παράγουν εσφαλμένα αποτελέσματα σε τυχόν περαιτέρω επεξεργασία των εικόνων. Όσον αφορά το δικό μας μοντέλο, έχει εντοπίσει περισσότερες σκιές, ενώ έχει ταξινομήσει 227 εικονοστοιχεία στην κατηγορία λοιπά. Η κατηγορία των σύννεφων υστερεί σε σύγκριση με αυτή του Fmask καθώς δεν έχει καταφέρει να εντοπίσει 224 εικονοστοιχεία σύννεφων και τα έχει ταξινομήσει ως λοιπά.



Εικόνα 4.37. Αποτέλεσμα Fmask για την εικόνα LC81840322016248LGN00.

	Shadow	Cloud Thick	Rest	Accuracy
Shadow	57226	411	2558	95.07%
Cloud Thick	0	170101	0	100%
Rest	0	0	0	
Reliability	100%	99.76%		

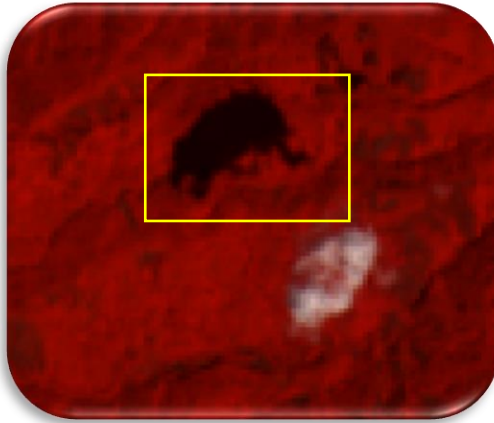
Πίνακας 4.15 Πίνακας σύγχυσης Fmask για την εικόνα για την εικόνα LC81840322016248LGN00.



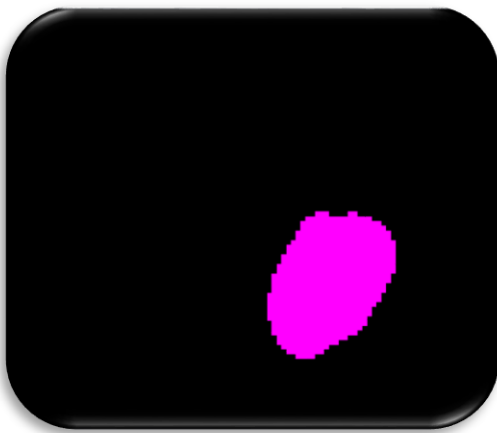
Εικόνα 4.38. Αποτέλεσμα ταξινόμησης LC81840322016248LGN00.

	Shadow	Cloud Thick	Rest	Accuracy
Shadow	59968	0	227	99.62%
Cloud Thick	1	169876	224	99.87%
Rest	0	0	0	
Reliability	99.99%	100%		

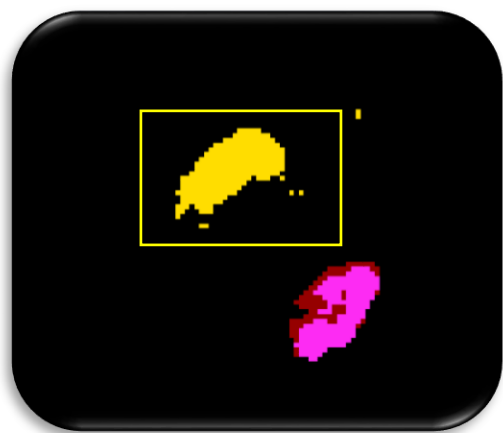
Πίνακας 4.16 Πίνακας σύγχυσης μοντέλου ταξινόμησης.



Εικόνα 4.39. Τμήμα εικόνας σε 5-3-2.



Εικόνα 4.40. Αποτέλεσμα Fmask.

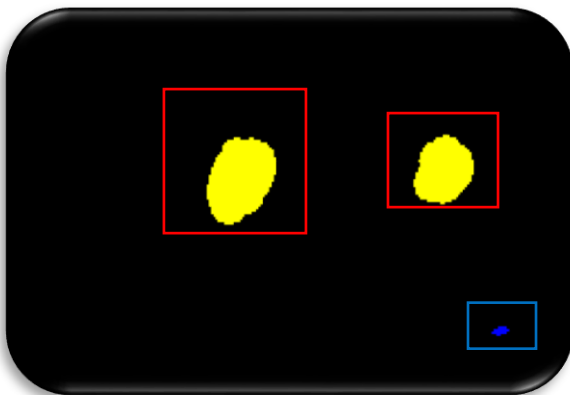


Εικόνα 4.41 Αποτέλεσμα μοντέλου ταξινόμησης.

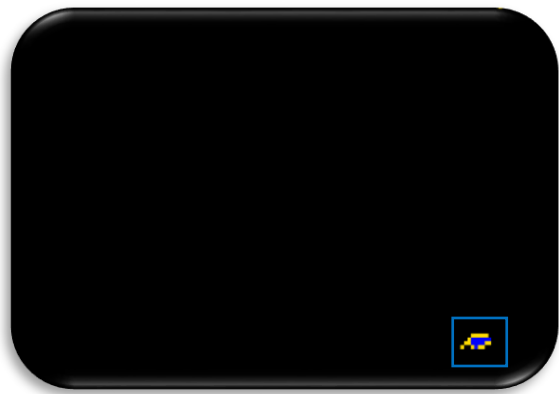
Στην εικόνα 4.39 παρατηρείται ένα παχύ σύννεφο μαζί με την σκιά του σε ένα έγχρωμο σύνθετο 5-3-2. Η σκιά του σύννεφου είναι αρκετά έντονη καθώς έχει δημιουργηθεί από ένα παχύ σύννεφο χαμηλού υψομέτρου. Το σύννεφο με την σκιά του εμποδίζουν το μεγαλύτερο ποσοστό πληροφορίας από το έδαφος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο Fmask έχει καταφέρει να αναγνωρίσει επιτυχώς το παχύ σύννεφο ωστόσο αγνοεί την σκιά του και θεωρεί ότι τα συγκεκριμένα εικονοστοιχεία είναι καθαρά. Το δικό μας μοντέλο εντοπισμού έχει και αυτό καταφέρει να εντοπίσει το παχύ σύννεφο αλλά εντοπίζει και την σκιά που δημιουργεί, παράγοντας μια μάσκα που ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στο συγκεκριμένο κομμάτι της εικόνας.



Εικόνα 4.42. Τμήμα εικόνας σε6-5-2.



Εικόνα 4.43. Αποτέλεσμα Fmask.



Εικόνα 4.44 Αποτέλεσμα μοντέλου ταξινόμησης.

Στην εικόνα 4.42 απεικονίζεται ένα τμήμα της LC81840322016248LGNO χωρίς σύννεφα και σκιές. Οι δύο αλγόριθμοι έπρεπε να εντοπίσουν μόνο την μικρή λίμνη στην εικόνα. Ο Fmask έχει εντοπίσει επιτυχώς τη λίμνη, ωστόσο σε σημεία που έχουμε καθαρά εικονοστοιχεία, υπάρχει εντοπισμός σκιών σύννεφων που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Το δικό μας μοντέλο δεν έχει κάνει λάθος εντοπισμό στο συγκεκριμένο σημείο, ωστόσο στο κομμάτι της λίμνης εκτός από εικονοστοιχεία με νερό έχει εντοπίσει και μερικά εικονοστοιχεία σκιάς σύννεφου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις όχθες της λίμνης, οι τιμές των εικονοστοιχείων σε μερικά κανάλια μοιάζουν με τις τιμές σκιών.

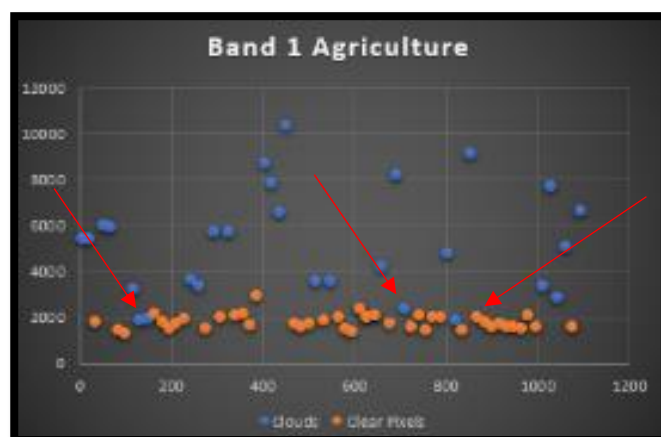
4.3 Ανάλυση Χρονοσειρών

Έχοντας δημιουργήσει ένα μοντέλο εντοπισμού, παρατηρώντας τα αποτελέσματα του και αυτά του Fmask, συλλέχθηκαν όλες οι εικόνες Landsat 8 OLI/ TIRS για το path/row 183/32 για τις χρονιές 2014,2015 και 2016. Σκοπός ήταν να μελετηθούν χρονικά εικονοστοιχεία της συγκεκριμένης σκηνής, αλλά και να παρατηρηθούν οι φασματικές υπογραφές των σύννεφων σε διάφορες εικόνες. Μαζί με τις εικόνες συλλέχθηκε και ο πίνακας αξιολόγησης εικονοστοιχείων για την κάθε εικόνα (pixel quality assessment). Ο πίνακας αξιολόγησης παρέχεται από την USGS όταν ζητηθεί και αφορά το αποτέλεσμα του Fmask για την εκάστοτε εικόνα. Η κάθε τιμή αντιστοιχεί στην αξιολόγηση του εκάστοτε εικονοστοιχείου.

Attribute	Pixel Value
Fill	1
Clear	322, 386
Water	324, 388, 836, 900
Cloud Shadow	328, 392, 840, 904
Snow/Ice	336, 368, 400, 432, 848, 880, 912, 944
Cloud	352, 368, 416, 432, 480, 864, 880, 928, 944, 992
Low confidence cloud	322, 324, 328, 336, 352, 368, 832, 836, 840, 848, 864, 880
Medium confidence cloud	386, 388, 392, 400, 416, 432, 900, 904, 928, 944
High confidence cloud	480, 992
Low confidence cirrus	322, 324, 328, 336, 352, 368, 386, 388, 392, 400, 416, 432, 480
High confidence cirrus	832, 836, 840, 848, 864, 880, 900, 904, 912, 928, 944, 992
Terrain occlusion	1024+

Εικόνα 4.45. Πίνακας αξιολόγησης εικονοστοιχείων από Fmask.

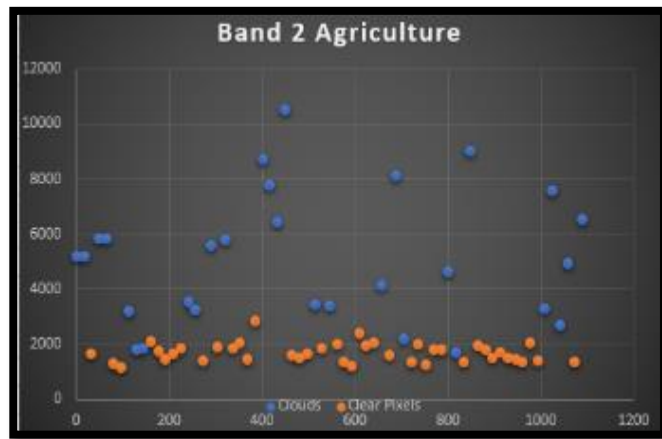
Έχοντας συλλέξει 69 εικόνες έγινε επιλογή των εικονοστοιχείων που θα παρατηρηθούν χρονικά. Τελικά επιλέχθηκε ένα εικονοστοιχείο καλλιεργείων, επειδή η κατηγορία αυτή παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διακύμανση χρονικά. Δημιουργήθηκε ένας πίνακας με την φασματική τιμή του εικονοστοιχείου για την κάθε εικόνα και το κάθε κανάλι, καθώς και με την τιμή του από τον πίνακα αξιολόγησης. Χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας αξιολόγησης για να γίνει διαχωρισμός των εικονοστοιχείων με σύννεφα από τα καθαρά εικονοστοιχεία. Τα διαγράμματα των εικόνων 4.46-4.48 και 4.52-4.56 αφορούν τις τιμές ενός εικονοστοιχείου καλλιεργείων, για την περίοδο 2014-2016 στα κανάλια 1-7 και 9 .



Εικόνα 4.46.Κανάλι 1.

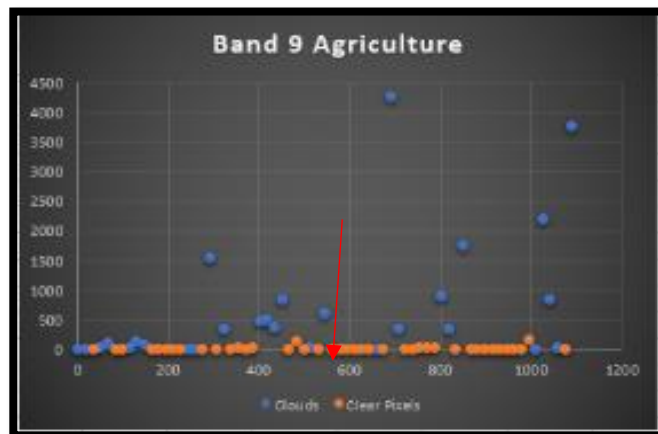
Παρατηρώντας τα διαγράμματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η φασματική τιμή ενός

εικονοστοιχείου που καλύπτεται από ένα σύννεφο είναι πολύ διαφορετική από την κανονική τιμή του εικονοστοιχείου για καθαρές παρατηρήσεις. Η μεγάλη διαφοροποίηση που υπάρχει οφείλεται αποκλειστικά στην ύπαρξη σύννεφων, καθώς είναι αδύνατο να υπάρξει τέτοια μεγάλη αλλαγή σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα. Στα κανάλια 1-4 τα σύννεφα παρουσιάζουν αρκετά υψηλές τιμές καθώς έχουν υψηλή ανακλαστικότητα στο ορατό φάσμα και ο διαχωρισμός είναι



Εικόνα 4.47.Κανάλι 2.

εμφανής. Ο διαχωρισμός των εικονοστοιχείων έγινε σύμφωνα με την αξιολόγηση των εικονοστοιχείων, που βασίζεται στον αλγόριθμο Fmask για τον εντοπισμό των σύννεφων. Ωστόσο, κάποιες παρατηρήσεις που ο Fmask έχει αναγνωρίσει ως σύννεφα παρουσιάζουν τιμές που μπορούν να θεωρηθούν ως καθαρά εικονοστοιχεία. Παρατηρώντας τις εικόνες για τα κανάλια 1-4 είναι ξεκάθαρο ότι οι παρατηρήσεις αυτές αφορούν καθαρά εικονοστοιχεία, αφού οι φασματικές τους τιμές δεν παρουσιάζουν καμία διαφοροποίηση σε σχέση με τις τιμές του εικονοστοιχείου για καθαρές συνθήκες. Αυτές οι παρατηρήσεις μπορούν να θεωρηθούν ως λανθασμένοι εντοπισμοί σύννεφων. Στα κανάλια 5-7 οι φασματικές τιμές των σύννεφων δεν παρουσιάζουν την ίδια διαφοροποίηση με τα προηγούμενα κανάλια. Οι υψηλές τιμές παρατηρούνται από παχιά σύννεφα, ωστόσο τα συγκεκριμένα κανάλια (NIR, SWIR 1,

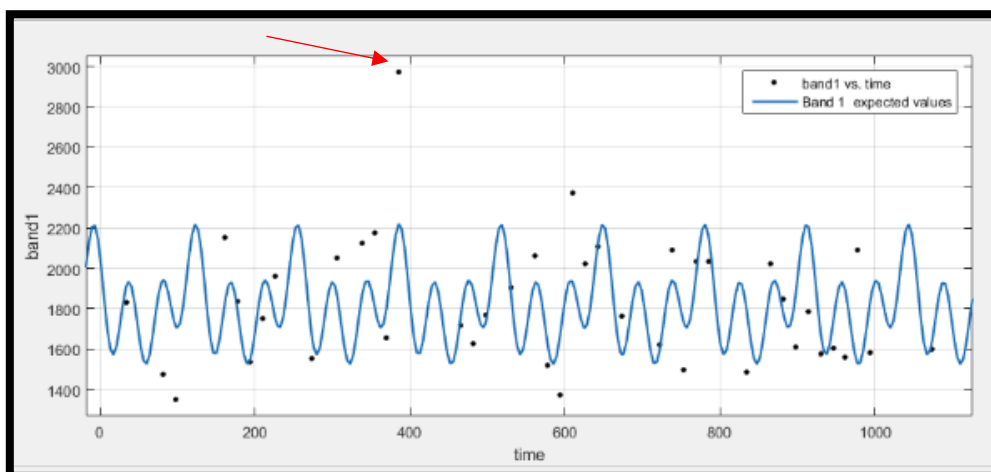


Εικόνα 4.48.Κανάλι 9.

SWIR 2) έχουν την δυνατότητα να διεισδύουν και να καταγράφουν μέρος της ακτινοβολίας του εδάφους. Παρόλο που μπορεί να υπάρχουν αραιά σύννεφα, ο διαχωρισμός καθαρών και συννεφιασμένων εικονοστοιχείων δεν είναι τόσο ξεκάθαρος. Υπάρχουν επίσης εικονοστοιχεία που έχουν οριστεί ως καθαρά ωστόσο σύμφωνα με τις τιμές που έχουν στα κανάλια 5-7 μάλλον αφορούν συννεφιασμένες παρατηρήσεις. Τέλος το κανάλι 9 του Landsat 8 OLI/TIRS προστέθηκε στον δορυφόρο με σκοπό την καλύτερη αναγνώριση αραιών σύννεφων. Το συγκεκριμένο κανάλι παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές σε παχιά σύννεφα ενώ παρουσιάζει λιγότερο υψηλές τιμές όταν πρόκειται για αραιά σύννεφα. Στην περίπτωση που το εικονοστοιχείο είναι καθαρό οι τιμές στο κανάλι 9 είναι πολύ χαμηλές, κοντά στο μηδέν. Παρατηρώντας τις τιμές του καναλιού 9 μπορούμε εύκολα να διαχωρίσουμε τα παχιά σύννεφα και τα αραιά από τις καθαρές παρατηρήσεις. Το συγκεκριμένο κανάλι αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό κανάλι για τον εντοπισμό σύννεφων.

Τα διαγράμματα επιτρέπουν να εξάγουμε το συμπέρασμα, ότι οι διαδοχικές τιμές του εκάστοτε εικονοστοιχείου, ανάμεσα σε κάθε λήψη του δορυφόρου, δεν μπορούν να παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στις τιμές τους, όταν πρόκειται για καθαρά εικονοστοιχεία. Έτσι, έχοντας στην διάθεση μας πολλές εικόνες, μπορούμε να δημιουργήσουμε την καμπύλη τιμών του εικονοστοιχείου στο χρόνο. Για να δημιουργηθεί η καμπύλη για το κάθε κανάλι επιλέχθηκαν οι παρατηρήσεις που ο Fmask είχε αναγνωρίσει ως καθαρά εικονοστοιχεία.

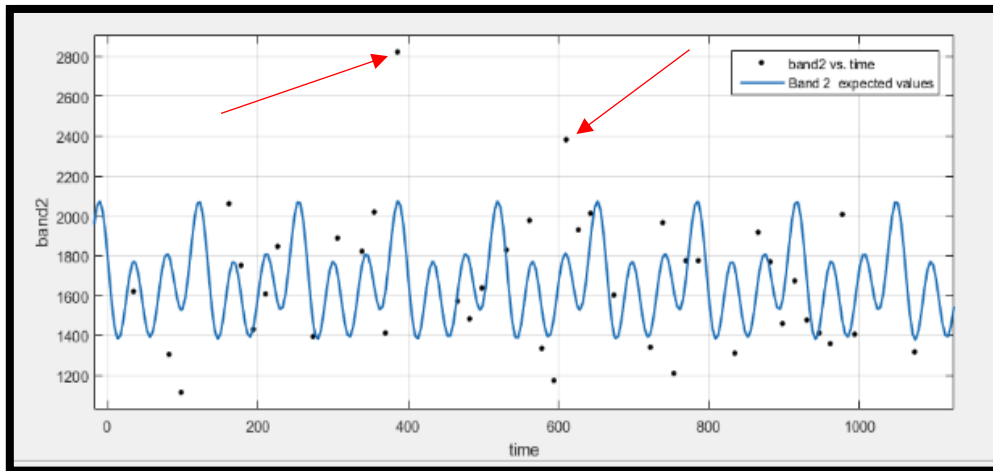
Για τη δημιουργία των καμπύλων χρησιμοποιήθηκε ο μετασχηματισμός Fourier 3^{ης} τάξης. Επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος μετασχηματισμός γιατί θέλουμε να δημιουργήσουμε μια καμπύλη παροδικότητας, ώστε κάθε χρονική στιγμή να γνωρίζουμε την κατά προσέγγιση τιμή του εικονοστοιχείου. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να αξιολογήσουμε το συγκεκριμένο εικονοστοιχείο μιας νέας εικόνας Landsat 8 OLI/TIRS . Επίσης, επιλέχθηκε μετασχηματισμός Fourier 3^{ης} τάξης, καθώς αν επιλεγόταν μεγαλύτερης τάξης η διακύμανση της καμπύλης θα ήταν πολύ έντονη, κάτι που δεν συμβαίνει στις τιμές των εικονοστοιχείων. Σύμφωνα με τις τιμές των παρατηρήσεων, αλλά και τις καμπύλες που δημιουργήθηκαν, συμπεραίνουμε ότι τα περισσότερα εικονοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν όντως χωρίς σύννεφα. Ταυτόχρονα όμως, υπάρχουν κάποια εικονοστοιχεία που παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση σε σχέση με την περιοχή του φάσματος της καμπύλης. Η κάθε παρατήρηση ευθύνεται για την μορφή που παίρνει η καμπύλη. Έτσι, έχοντας λανθασμένες παρατηρήσεις με σύννεφα, δηλαδή υψηλές τιμές, επηρεάζεται έντονα η μορφή της καμπύλης. Συνεπώς, οι παρατηρήσεις που θα χρησιμοποιηθούν δεν πρέπει να περιέχουν λάθη. Τα λανθασμένα εικονοστοιχεία, που παρουσιάζουν θέση outlier, έχουν σημειωθεί πάνω στα διαγράμματα. Οι λανθασμένοι εντοπισμοί μπορεί να οφείλονται στην αδυναμία του Fmask να εντοπίσει κάποια συννεφιασμένα εικονοστοιχεία. Σκοπός της συγκεκριμένης καμπύλης είναι ,με την προσθήκη όλο και περισσότερων παρατηρήσεων, να αυξάνεται η ακρίβεια της και να ανταποκρίνεται όλο και καλύτερα στον εντοπισμό σύννεφων.



Εικόνα 4.49.Χρονική καμπύλη για το κανάλι 1.

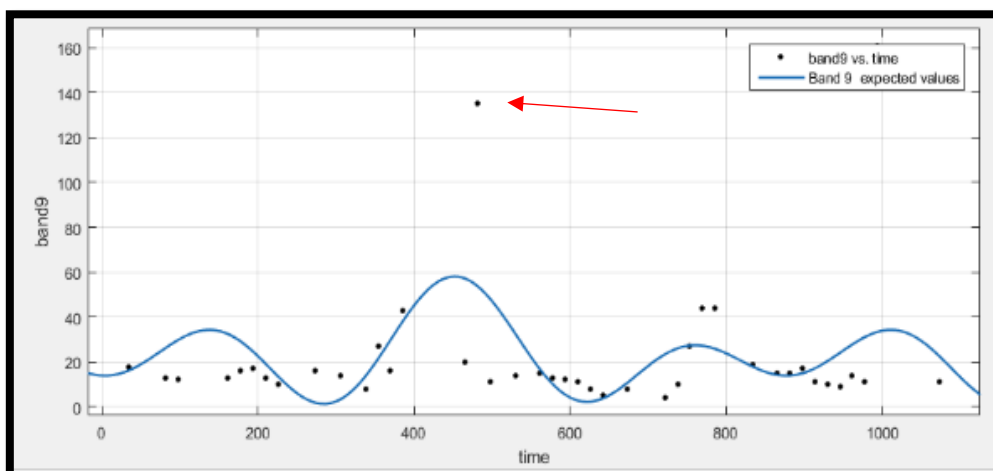
Το κανάλι 1 έχει μέγιστη και ελάχιστη τιμή 2974 και 1349 αντίστοιχα. Ωστόσο η μέγιστη τιμή απέχει κατά πολύ από την καμπύλη. Έτσι, παρατηρώντας την καμπύλη στο κανάλι 1 είναι εμφανές ότι οι παρατηρήσεις δεν απέχουν περισσότερο από 600. Η μέγιστη τιμή αφορά

συννεφιασμένη παρατήρηση και πρέπει να αφαιρεθεί ώστε να γίνει εκ νέου υπολογισμός της καμπύλης. Επίσης κάποιες παρατηρήσεις με πολύ χαμηλές τιμές μπορούν να θεωρηθούν επηρεασμένες από σκιά και χρειάζονται περαιτέρω μελέτη. Συγκρίνοντας την καμπύλη με τις τιμές νέων εικόνων για το εικονοστοιχείο, μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα για το αν η παρατήρηση αφορά καθαρό εικονοστοιχείο ή συννεφιασμένο. Για να αφορά καθαρό εικονοστοιχείο πρέπει η απόσταση από την καμπύλη να είναι μικρότερη από 600, λαμβάνοντας πάντα υπόψιν τον χρόνο λήψης της εικόνας. Δημιουργώντας την καμπύλη έχουμε στην διάθεση μας την εξίσωση σχηματισμού της, με την οποία μπορούμε να αξιολογήσουμε νέες παρατηρήσεις για το συγκεκριμένο εικονοστοιχείο.



Εικόνα 4.50.Χρονική καμπύλη για το κανάλι 2.

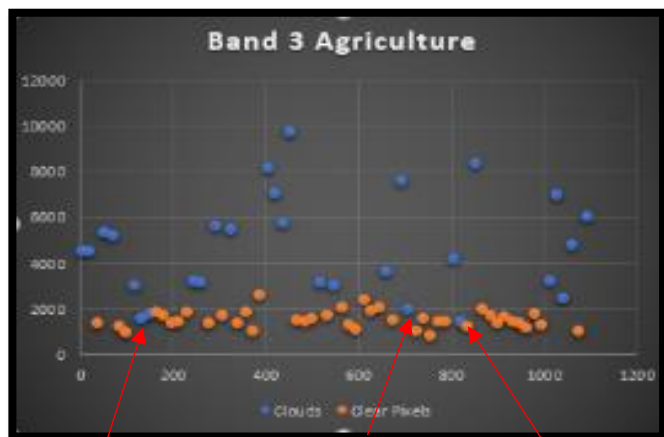
Για το κανάλι 2 η μέγιστη και ελάχιστη τιμή είναι 2823 και 1113 αντίστοιχα. Η μέγιστη τιμή παρατηρείται στην ίδια παρατήρηση με το κανάλι 1 και τα σύννεφα παρουσιάζουν υψηλές τιμές στα συγκεκριμένα κανάλια οπότε η παρατήρηση αυτή μάλλον αφορά σύννεφο. Οι καμπύλες των δύο καναλιών είναι αρκετά παρόμοιες. Έτσι, μπορούμε να θεωρήσουμε την ίδια ανοχή και για αυτό το κανάλι. Επίσης η δεύτερη παρατήρηση που σημειώνεται στην καμπύλη παρουσιάζει υψηλή τιμή, η οποία δεν μπορεί να δικαιολογηθεί από την διακύμανση. Υποθέτουμε λοιπόν ότι υπάρχει αραιό σύννεφο.



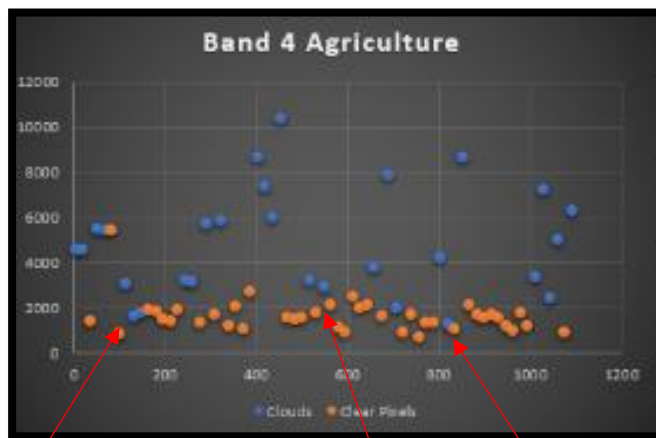
Εικόνα 4.51.Χρονική καμπύλη για το κανάλι 9.

Για το κανάλι 3 η μέγιστη και ελάχιστη τιμή είναι 2594 και 834. Παρατηρώντας την καμπύλη μπορούμε να θέσουμε ως ανοχή στο συγκεκριμένο κανάλι το 600. Για το κανάλι 4 οι τιμές αρχίζουν να διαφοροποιούνται και να παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση. Έτσι, θέτουμε την τιμή 800 ως ανοχή για να θεωρηθεί η παρατήρηση ως καθαρός ουρανός. Για το κανάλι 5 σύμφωνα με την χρονική καμπύλη, μπορούμε να θεωρήσουμε ως ανοχή τα 400, ωστόσο οι παρατηρήσεις που βρίσκονται πάνω από την καμπύλη παρουσιάζουν μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι σύννεφα αφού τα σύννεφα έχουν αυξημένες τιμές. Στο συγκεκριμένο κανάλι καθώς και στο κανάλι 6 και 7 πρέπει να χρησιμοποιήσουμε αυστηρότερη ανοχή καθώς τα σύννεφα δεν παρουσιάζουν τόσο έντονη διαφοροποίηση με τις καθарές παρατηρήσεις. Τέλος το κανάλι 9 μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο για τον εντοπισμό των σύννεφων καθώς δεν παρατηρείται καθαρό εικονοστοιχείο με τιμή μεγαλύτερη από 150. Έτσι παρατηρώντας την καμπύλη μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι τιμές που απέχουν λιγότερο από 15 από την καμπύλη μας αφορούν καθαρά εικονοστοιχεία.

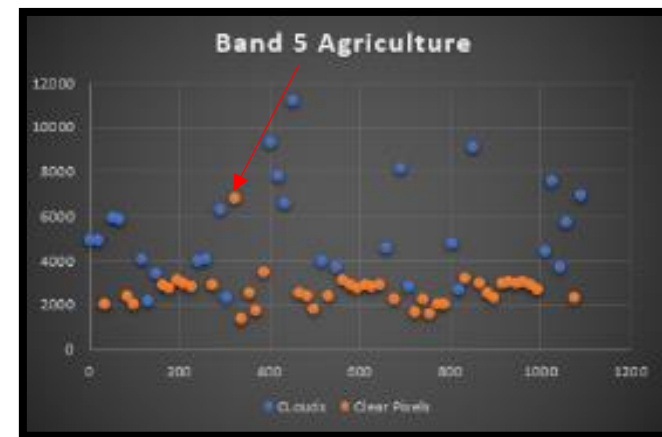
Μια παρατήρηση για να θεωρηθεί ως καθαρός ουρανός πρέπει να πληροί για όλα τα κανάλια τα όρια που έχουν τεθεί ανάλογα με την εξίσωση της κάθε καμπύλης. Καθώς θα προστίθενται νέες παρατηρήσεις στην εκάστοτε καμπύλη τα όρια μπορούν να μειωθούν αφού η κάθε παρατήρηση αυξάνει την ακρίβεια την καμπύλης μας έτσι θα γνωρίζουμε και θα μπορούμε να προβλέψουμε τις αναμενόμενες τιμές.



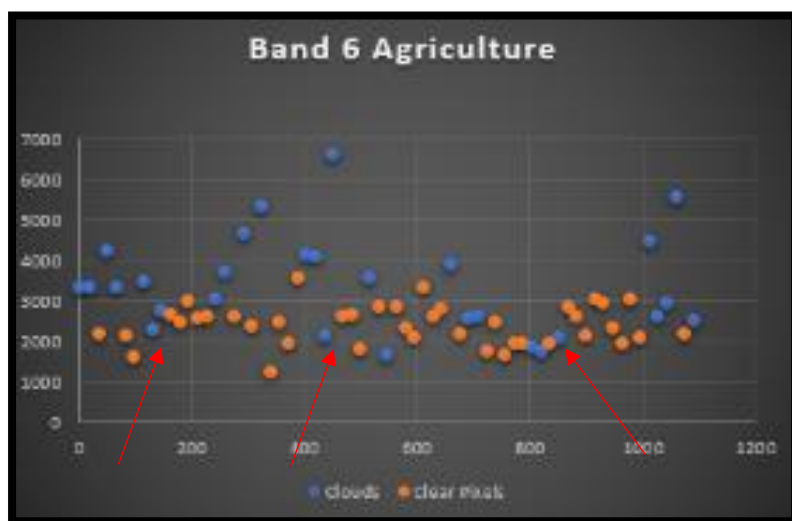
Εικόνα 4.52.Κανάλι 3.



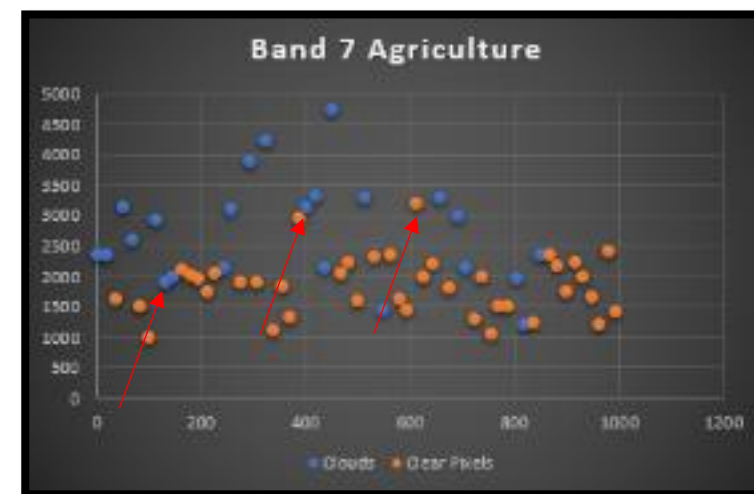
Εικόνα 4.53.Κανάλι 4.



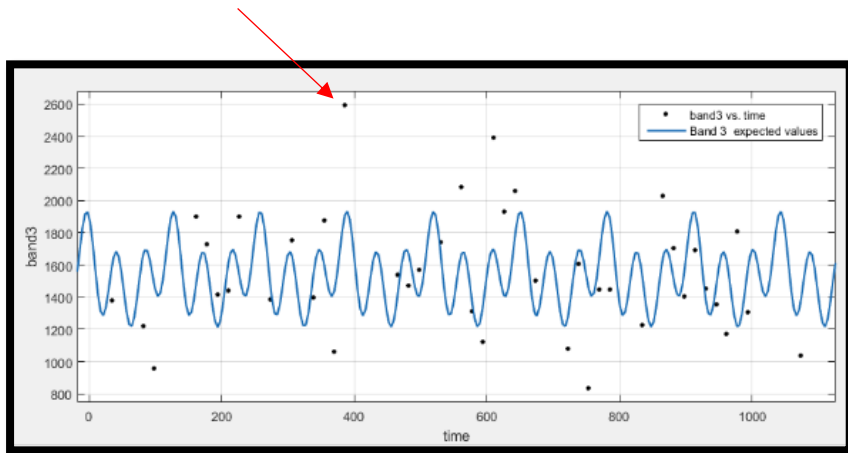
Εικόνα 4.54.Κανάλι 5.



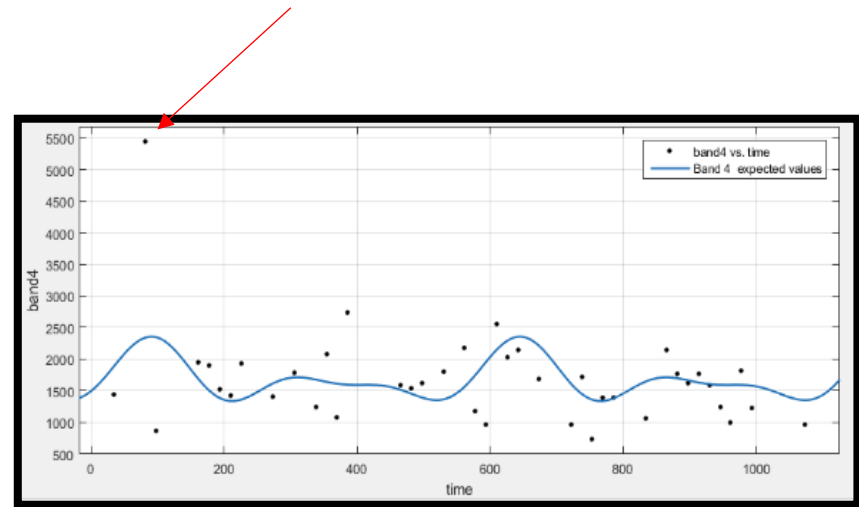
Εικόνα 4.55.Κανάλι 6.



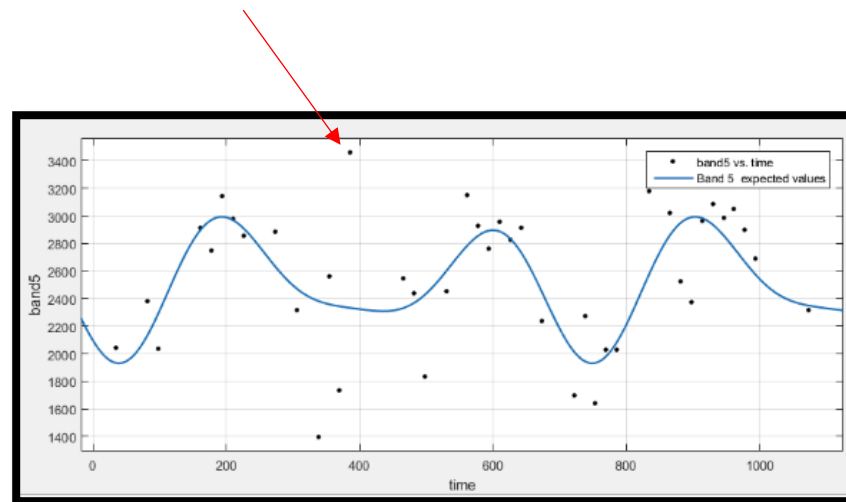
Εικόνα 4.56.Κανάλι 7.



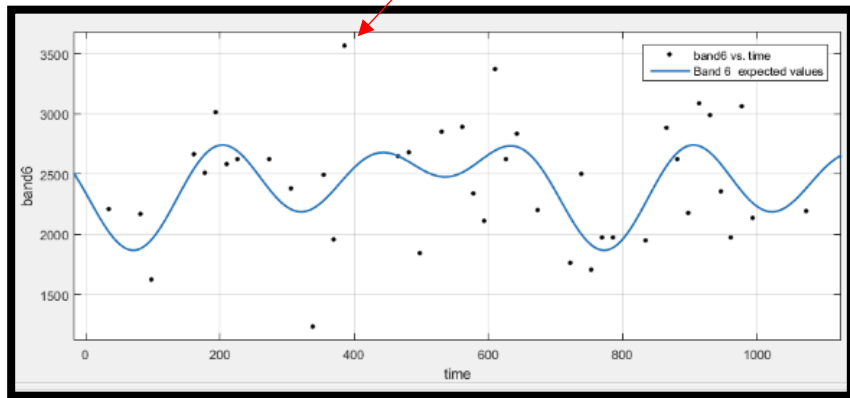
Εικόνα 4.57.Χρονική καμπύλη για το κανάλι 3.



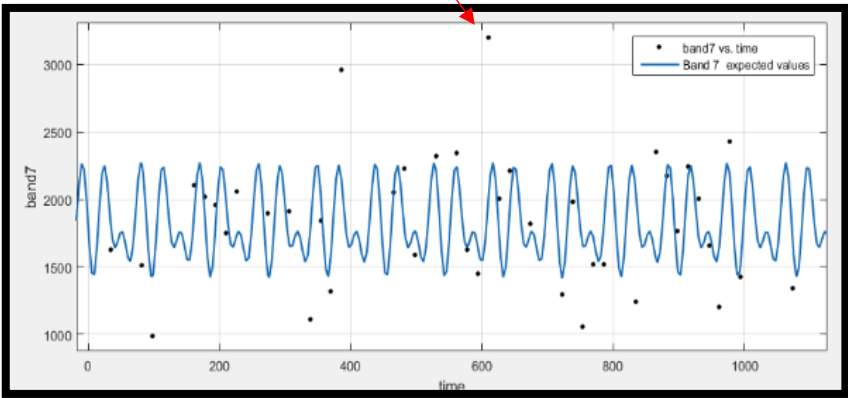
Εικόνα 4.58.Χρονική καμπύλη για το κανάλι 4.



Εικόνα 4.59.Χρονική καμπύλη για το κανάλι 5.



Εικόνα 4.60.Χρονική καμπύλη για το κανάλι 6.



Εικόνα 4.61.Χρονική καμπύλη για το κανάλι 7.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα και την αξιολόγηση των μεθόδων με κύριο γνώμονα τους στόχους για αυτοματοποιημένη διαδικασία εντοπισμού σύννεφων και σκιών με υψηλή ακρίβεια.

Αρχική παρατήρηση αποτελεί ότι σε γενικές γραμμές τα αναπτυγμένα μοντέλα ταξινόμησης έδωσαν αντίστοιχα σε ακρίβεια αποτελέσματα με αυτά του αλγορίθμου F-mask (Zhu et al., 2015).

Σε σχέση με τους διαφορετικούς τύπους σύννεφων, οι θύσανοι αποτελούν τη δυσκολότερη κατηγορία για εντοπισμό λόγω της αραιής σύστασης τους. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα μοντέλα αδυνατούν να τους εντοπίσουν με την ίδια ακρίβεια που εντοπίζουν τα παχιά σύννεφα και τις σκιές τους. Το γεγονός αυτό καθιστά σημαντική την περαιτέρω διερεύνηση μεθόδων για την αποτελεσματική εξαγωγή τους, ειδικά με την ανάλυση χρονοσειρών.

Το κανάλι cirrus του Landsat 8 OLI/TIRS συνεισφέρει σημαντικά στον εντοπισμό αραιών σύννεφων καθιστώντας απαραίτητη την ύπαρξη του.

Το μοντέλο εντοπισμού που αναπτύχθηκε με βάση τις μηχανές διανυσματικής υποστήριξης παράγει αρκετά καλά αποτελέσματα στην περιοχή στην οποία εφαρμόστηκε αλλά και σε περιοχές με παρόμοια γεωμορφολογία και παρόμοιες χρήσεις γης. Η ακρίβεια εντοπισμού κυμάνθηκε από 89% έως 98%. Σε αυτές τις ακρίβειες ενσωματώνονται και αστοχίες και λάθη του μοντέλου που αφορούν κατηγορίες που μπορούν να συγχωνευτούν, όπως σκιές από σύννεφα και σκιές από ανάγλυφο, οπότε οι συνολική μέση ακρίβεια είναι πάνω από 90%. Το έντονο ανάγλυφο μιας περιοχής μπορεί να οδηγήσει επίσης σε υπερεκτίμηση των σκιών σύννεφων καθώς υπάρχει μια σύγχυση με σκιές ανάγλυφου.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων και αξιολόγηση είναι απαραίτητη η εφαρμογή αλγορίθμων σε πλήθος εικόνων με διαφορετικά ποσοστά νεφοκάλυψης σε όλες τις εποχές του χρόνου. Επίσης, η επιλογή των δεδομένων εκπαίδευσης πρέπει να γίνει προσεκτικά ώστε όλες οι κατηγορίες να αντιπροσωπεύονται με κατάλληλα ποσοστά κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης. Πρέπει να περιέχονται παχιά και αραιά σύννεφα σε διάφορα υψόμετρα και μεγέθη.

Τα αραιά σύννεφα (πχ θύσανοι) εντοπίζονται με χαμηλότερο ποσοστό σε σχέση με τα παχιά σύννεφα και τις σκιές τους καθώς υπάρχει σύγχυση με κατηγορίες του εδάφους. Μια πρόταση αντιμετώπισης αυτού το φαινομένου μπορεί να είναι ο διαχωρισμός της κατηγορίας αραιά σύννεφα σε υποκατηγορίες αραιών σύννεφων ανάλογα με την χρήση γης της περιοχής του εδάφους που καταλαμβάνουν.

Το μέγεθος της εικόνας που χρησιμοποιήθηκε για το κάθε μοντέλο ήταν 5379x5067 και τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν για δεδομένα εκπαίδευσης με περισσότερα από 5000 εικονοστοιχεία για κάθε κατηγορία. Η ακρίβεια ταξινόμησης των δεδομένων ελέγχου για λιγότερα από 5000 εικονοστοιχεία ήταν 92.97% ενώ για περισσότερα από 5000 εικονοστοιχεία ήταν 95.87%. Έτσι για κάθε κατηγορία προτείνεται το μέγεθος να είναι ανάμεσα στα 5000-10000 εικονοστοιχεία καθώς περισσότερα δεδομένα εκπαίδευσης (>10000 εικονοστοιχεία) τείνουν μειώνουν τις ακρίβειες και να εισάγονται σφάλματα.

Η χρήση φασματικών δεικτών (πχ NDVI, NDSI, CSI) είναι απαραίτητη και προσφέρει αρκετές βελτιώσεις στον εντοπισμό. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήσαμε του δείκτες NDVI NDSI και CSI, ενώ προτείνετε και η χρήση επιπλέον δεικτών με σκοπό τον καλύτερο διαχωρισμό ανάμεσα στα αραιά σύννεφα και τις κατηγορίες εδάφους.

Τέλος, από τη μελέτη των χρονοσειρών προκύπτει πως πολλά εικονοστοιχεία που δεν εντοπίζονται ως σύννεφα ή σκιές από τους αλγορίθμους έχουν προφανή θέση outlier στα διαγράμματα οπότε περαιτέρω διερεύνηση και ανάπτυξη μεθοδολογίας σε επίπεδο εικονοστοιχείου φαίνεται ιδιαίτερα ελπιδοφόρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αργιαλάς Δ. (1998). «Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση», ΕΜΠ, Αθήνα

Αργιαλάς Δ. (1999). «Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση», ΕΜΠ, Αθήνα

Βατούγιου Σ, «Συγκριτική διερεύνηση φασματικών χαρακτηριστικών του Landsat 5 TM και Landsat 8 OLI/TIRS με επιβλεπόμενη και αντικειμενοστραφή ταξινόμηση», Διπλωματική εργασία, 2014

Παπαγεωργίου Α. «Εκτίμηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε λιμναία συστήματα της Γαλλίας με χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων.» , Διπλωματική εργασία, 2016

Ackerman S.A., Strabala K.I., Menzel W.P., Frey R.A, Moeller C.C., Gumley L.E. «**Discriminating clear sky from clouds with MODIS**». Journal of Geophysical Research, 103 (24) (1998), pp. 32141-32157

Berendes T., Sengupta S.K., Welch R.M., Wielicki G.A., Navar M. « **Cumulus cloud base height estimation from high spatial resolution Landsat data: A Hough transform approach**» IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30 (1992), pp. 430-443

Candra S. D, Phin S., Scarth. P. «**Cloud and Cloud Shadow masking using multi-temporal cloud masking algorithm in tropical environmental**»

Choi H., Bindschadler R. «**Cloud detection in Landsat imagery of ice sheets using shadow matching technique and automatic normalized difference snow index threshold value decision**». Remote Sensing of Environment, 91 (2004), pp. 237-242

Gomez-Chova L, Camps-Valls G., Galpe-Maravilla J., Guanter L., Moreno J. «**Cloud-screening algorithm for ENVISAT/MERIS multispectral images**» Geoscience and Remote Sensing, 45 (12) (2007), p. 2 4105–4118

Hyeungu Choi, Robert Bindschandler. « **Cloud detection in Landsat imagery of ice sheets using shadow matching technique and automatic normalized difference snow index threshold value decision.** » Remote Sensing of Environment Volume 91, Issue 2, 30 May 2004, Pages 237-242

Irish R. Richards. «**Landsat-7 automatic cloud cover assessment algorithms for multispectral, hyperspectral, and ultraspectral imagery**». The International Society for Optical Engineering, 4049 (2000), pp. 348-355

Lin Sun, Xueting Mi, Jing Wei, Jian Wang, Xinpeng Tian, Huiyong Yu , Ping Gan « **A cloud detection algorithm-generating method for remote sensing data at visible to short-wave infrared wavelengths**» ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Volume 124, February 2017, Pages 70-88

Luo Y., Trishchenko A.P., Khlopenkov K.V. «**Developing clear-sky, cloud and cloud shadow mask for producing clear-sky composites at 250-meter spatial resolution for the seven MODIS land bands over Canada and North America**» Remote Sensing of Environment, 112 (2008), pp. 4167-4185

Oreopoulos L., Wilson M., Várnai T. «**Implementation on Landsat data of a simple cloud mask algorithm developed for MODIS land bands**». IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 8 (4) (2011), pp. 597-601

Rossow W.B., Mosher F., Kinsella E. «**ISCCP cloud algorithm intercomparison**» J. Clim. Appl. Meteorol., 24 (9) (1985), pp. 877-903

Satya P. Ojha, Randhir Singh, Munn V. Shukla, «**Algorithm for generating cloud-mask from multi-channel satellite data.**» Quarterly Journal of the royal meteorological society. Volume 142, Issue 696 April 2016 Part A Pages 1351-1358

Saunders R.W., Kriebel K.T. «**An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data**» Int. J. Rem. Sens., 9 (1) (1988), pp. 123-150

Sedano Fernando, Kempeneers Pieter, Strobl Peter, JanKucera Peter, Peter Vogt Peter, Lucia Seebach Lucia, Ayanz-Jesús San-Miguel. «**A cloud mask methodology for high resolution remote sensing data combining information from high and medium resolution optical sensors**». ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Volume 66, Issue 5, September 2011, Pages 588-596

Steve Foga, Pat L. Scaramuzza, Song Guo, Zhe Zhu, Ronald D. Dilley Jr, Tim Beckmann, Gail L. Schmidt, John L. Dwyer, M. Joseph Hughes, Brady Laue. «**Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products**». Remote Sensing of Environment Volume 194, 1 June 2017, Pages 379–390

Stowe L.L., McClain E.P., Carey R. «**Global distribution of cloud cover derived from NOAA/AVHRR operational satellite data**» Adv. Space Res., 11 (3) (1991), pp. 51-54

Sun L., Wei J., Wang J., Mi X., Guo Y., Lv Y., «**A universal dynamic threshold cloud detection algorithm (UDTCDA) supported by a prior surface reflectance database**» J. Geophys. Res. Atmos., 121 (12) (2016), pp. 7172-7196

Sylvie Le Hégarat-Masclé, Cyrille André. «**Use of Markov Random Fields for automatic cloud/shadow detection on high resolution optical images**». ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 64, Issue 4, July 2009, Pages 351-366

Vermote E., Saleous N. «**LEDAPS surface reflectance product description, Version 2.0**» (2007)

Wang B., Ono A., Muramatsu K., Fujiwara N. «**Automated detection and removal of clouds and their shadows from Landsat TM images**» IEICE Transactions on Information and Systems, E82-D (1999), p. 2

Zhang Ying, Guindon Bert, J. Cihlar. «**An image transform to characterize and compensate for spatial variations in thin cloud contamination of Landsat images**», Remote Sensing of Environment Volume 82, Issues 2–3, October 2002, Pages 173-187

Zhe Zhu, Curtis E. Woodcock «**Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery.** » Remote Sensing of Environment Volume 118, 15 March 2012, Pages 83-94

Zhe Zhu, Curtis E. Woodcock, Shixiong Wang « **Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images**». Remote Sensing of Environment Volume 159, 15 March 2015, Pages 269–277

Zhe Zhu, Curtis E. Woodcock, « **Automated Cloud, cloud shadow, and snow detection in multitemporal Landsat Data: An algorithm designed specifically for monitoring land cover change.** » Remote Sensing of Environment ,Volume 152, September 2014, Pages 217–234

Zhe Zhu, Curtis E. Woodcock. Christoher Holden, Zhiqian Yang « **Generating synthetic Landsat images based on all available Landsat data: Predicting Landsat surface reflectance at any given time.** » Remote Sensing of Environment, Volume 162, 1 June 2015, Pages 67–83

