



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**«Συμβολή της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση  
πλημμυρικών φαινομένων»**

Διπλωματική Εργασία  
Παπαθανασίου Κωνσταντίνος

**Συμβουλευτική επιτροπή:**  
Καθηγητής Ιωάννης Τσάνης (Επιβλέπων)  
Καθηγητής Κωνσταντίνος Χρυσίκοπουλος  
Δρ. Δημήτριος Αλεξάκης

Χανιά, Μάρτιος 2017

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Ιωάννη Τσάνη για την ανάθεση της εργασίας και την δυνατότητα που μου έδωσε να συνεργαστώ με τα μέλη του εργαστηρίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Κωνσταντίνο Χρυσικόπουλο για τον χρόνο που αφιέρωσε στην ανάγνωση της εργασίας και για την συμμετοχή του στην επιτροπή.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Δρ. Δημήτρη Αλεξάκη για την συνεχή καθοδήγησή του και την βοήθεια που μου παρείχε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στα πρόσωπα που στάθηκαν δίπλα μου κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## Περίληψη:

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιολογήθηκε η συμβολή της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην καταγραφή και την χαρτογράφηση πλημμυρικών φαινομένων, με την χρήση δορυφορικών εικόνων.

Αρχικά, έγινε αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, καθώς και της λειτουργίας των τηλεπισκοπικών δορυφόρων Sentinel 1, τεχνολογίας Radar, και Landsat 8, που ανήκει στην κατηγορία της παθητικής τηλεπισκόπησης. Ακόμα, αναλύθηκε η μεθοδολογία της Τηλεπισκόπησης, που ακολουθείται κατά την ύπαρξη πλημμυρικών φαινομένων, με κυριότερα στάδια την προεπεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, την δημιουργία χαρτών με δείκτες βλάστησης, την ταξινόμηση των πολυφασματικών εικόνων και την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης.

Η προεπεξεργασία των δεδομένων αποτελεί ένα μεγάλο μέρος της παρούσας εργασίας και είναι απαραίτητη, αφού απαλλάσσει τις εικόνες από ατμοσφαιρικές παρεμβολές, εφαρμόζονται σε αυτές ψηφιακά φίλτρα και πραγματοποιούνται ψηφιακές μετατροπές που τις καθιστούν κατάλληλες για ταξινόμηση και περαιτέρω επεξεργασία.

Η περιοχή μελέτης, πάνω στην οποία εργαστήκαμε, είναι ο ποταμός Στρυμόνας που βρίσκεται στον νομό Σερρών και η χρονική στιγμή κατά την οποία παρουσιάστηκε η πλημμύρα του ποταμού είναι κατά το έτος 2015. Στόχος της εργασίας είναι η χαρτογράφηση της πλημμυρισμένης περιοχής και η εύρεση της καλύτερης μεθόδου ταξινόμησης, καθώς και η συσχέτιση των ταξινομημένων εικόνων με την εικόνα αναφοράς.

Για την πραγματοποίηση των ανωτέρω χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις δορυφορικές εικόνες, δύο του δορυφόρου Landsat 8 και δύο του δορυφόρου Sentinel 1, με περιοχή κάλυψης την περιοχή μελέτης και την ευρύτερη περιοχή. Η ημερομηνία λήψης των πρώτων εικόνων των δύο δορυφόρων ήταν κάποιες μέρες πριν την έναρξη του πλημμυρικού φαινομένου, ενώ των δεύτερων εικόνων ήταν στην κορύφωση του πλημμυρικού φαινομένου.

Η επεξεργασία των δορυφορικών προϊόντων του δορυφόρου Sentinel 1 πραγματοποιήθηκε με την χρήση του προγραμματιστικού εργαλείου με την ονομασία Snap, ενώ η επεξεργασία των πολυφασματικών προϊόντων του δορυφόρου Landsat 8 πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια των λογισμικών Erdas Imagine 2016 και ArcMap.

Τέλος, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την διάρκεια την εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

**Abstract:**

This pre-graduated thesis evaluated the contribution of remote sensing and GIS in recording and mapping of floods, using satellite images.

Initially, there was a detailed description of the process of remote sensing, and the operation of remote sensing satellites Sentinel 1 with radar technology, and Landsat 8, which belongs to the category of passive remote sensing. Still, the methodology of Remote Sensing, followed by the occurrence of floods, the main stages of the pre-processing of satellite data, create maps of vegetation indices, classification of multispectral images and the assessment of classification accuracy was analyzed.

The data pre-processing is a major part of this thesis and it is necessary, as exempt images from atmospheric interference, applicable to these digital filters and digital conversions take place which make them suitable for classification and further processing.

The study area, on which we worked, is the river Strymonas, which is located in the prefecture of Serres, and the time at which the flood of the river presented are for the year 2015. This work's aim is to map the flooded area and find the best classification method, and the correlation of the classified images to the reference image.

To succeed these, there were used four satellite images, two Landsat satellite 8 and two Sentinel 1 satellite, with coverage area the study area and the wider region. The date, when the first images of the two satellites were obtained, was some days before the flood, while the second images was at the height of the flood phenomenon.

The processing of the satellite products Sentinel 1 was performed with the use of programming tools called Snap, while the processing of products of multispectral Landsat satellite 8 was performed using the softwares Erdas Imagine 2016 and ArcMap.

Finally, the results obtained during the preparation of this thesis and the conclusions reached after the processing of the results, are detailing.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη:.....	2
Abstract:.....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	11
1. Εισαγωγή.....	12
1.1. Σκοπός εργασίας .....	12
1.2. Γενικά για τα πλημμυρικά φαινόμενα.....	12
1.3. Γενικά για τη Δορυφορική Τηλεπισκόπηση .....	14
1.3.1. Ενεργητική Τηλεπισκόπηση - Τεχνολογία ραδιοεντοπισμού RADAR..	16
1.3.2. Παθητική Τηλεπισκόπηση- Πολυφασματικοί Δορυφόροι .....	18
1.3.3. Γενικά Χαρακτηριστικά Ψηφιακών Δορυφορικών Εικόνων .....	20
1.4. Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και πλημμύρες .....	22
1.4.1. Δορυφόρος Landsat 8.....	24
1.4.2. Δορυφόρος Sentinel 1.....	29
1.4.3. Πρόγραμμα Κοπέρνικος (Copernicus).....	30
1.4.4. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).....	32
1.4.5. Δείκτες Βλάστησης.....	34
2. Μεθοδολογία.....	38
2.1. Μεθοδολογία .....	38
2.2. Περιοχή Μελέτης.....	41
2.3. Δεδομένα.....	43
2.3.1. Ψηφιακές τιμές εικονοστοιχείων.....	43
3. Ανάλυση Δορυφορικών εικόνων.....	45
3.1. Προεπεξεργασία εικόνων Sentinel 1.....	45
3.1.1. Λήψη εικόνων.....	46
3.1.2. Προετοιμασία δεδομένων.....	49

3.1.3. Βαθμονόμηση.....	51
3.1.4. Φιλτράρισμα (speckle filtering).....	53
3.1.5. Δυναμοποίηση.....	54
3.1.6. Γεωμετρική Διόρθωση.....	56
3.1.7. Τοπογραφική Διόρθωση στο Google Earth.....	58
3.1.8. Μετατροπή κλίμακας και Εξαγωγή εικόνας.....	59
3.2. Προεπεξεργασία εικόνων Landsat 8.....	61
3.2.1. Λήψη Δορυφορικών Δεδομένων από την εφαρμογή Earth Explorer της USGS (United States Geological Survey) .....	61
3.2.2. Συγχώνευση Καναλιών .....	63
3.2.3. Ατμοσφαιρική Διόρθωση .....	64
3.2.4. Μέθοδος αφαίρεσης σκοτεινού σημείου (Dark Object Subtraction- DOS) .....	66
4. Επεξεργασία και Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων.....	71
4.1. Υπολογισμός δεικτών βλάστησης .....	71
4.2. Ταξινόμηση Πολυφασματικών Εικόνων.....	75
4.2.1. Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.....	77
4.2.1.1. Ταξινόμηση με το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood).....	78
4.2.1.2. Ταξινόμηση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης (minimum distance).....	81
4.2.1.3. Ταξινόμηση με τη μέθοδο της απόστασης Mahalanobis (Mahalanobis distance).....	83
4.2.1.4. Ταξινόμηση με τη μέθοδο του χαρτογράφου φασματικής γωνίας (spectral angle mapper).....	84
4.2.1.5. Ταξινόμηση με τη μέθοδο του χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης (spectral correlation mapper).....	86
4.2.2. Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.....	87
4.2.2.1. Ταξινόμηση με τον αλγόριθμο ISODATA.....	87
4.2.2.2. Ταξινόμηση με τον αλγόριθμο K-Means.....	90
4.3. Συνδυαστική Επεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων.....	92
5. Αποτελέσματα.....	94

5.1. Αξιολόγηση της ακρίβειας (Accuracy Assessment).....	94
5.2. Υπολογισμός εμβαδών.....	99
5.3. Οπτικός έλεγχος εικόνων.....	105
5.4. Συγκεντρωτικοί πίνακες αποτελεσμάτων.....	106
5.5. Omission Error – Commission Error.....	108
5.6. Αποτελέσματα Δυνατοποίησης.....	110
6. Συζήτηση – Συμπεράσματα.....	111
7. Βιβλιογραφία.....	117

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.Είδη παθητικών και ενεργητικών αισθητήρων (Χρυσουλάκης, 2011).....	15
Εικόνα:2. Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας ενός παθητικού συστήματος τηλεπισκόπησης.....	19
Εικόνα 3. Απόκριση μεταβλητών του φυσικού περιβάλλοντος συναρτήσει του εύρους μήκους κύματος (Τζωρτζάκης, 2014).....	20
Εικόνα 4. Ψηφιακό Πλέγμα Δορυφορικών Εικόνων (Ποϊραζίδης, Δ., Γ., & Λορίλια, 2013).....	21
Εικόνα 5. Συγκριτική Απεικόνιση Εικόνων με διαφορετική χωρική διακριτική ικανότητα (Τζωρτζάκης, 2014).....	21
Εικόνα 6. Copernicus EMS- Mapping.....	32
Εικόνα 7. Εφαρμογή Δείκτη Βλάστησης NDVI.....	35
Εικόνα 8. Διάγραμμα ροής.....	40
Εικόνα 9. Ο ποταμός Στρυμόνας στον χάρτη.....	41
Εικόνα 10. Στρυμόνας και Εγνατία οδός.....	42
Εικόνα 11. Νέα Κερδυλλία Σερρών-Στρυμόνας.....	43
Εικόνα 12. Εμβασμόν αναφοράς.....	44
Εικόνα 13. Αρχική σελίδα ESA.....	46
Εικόνα 14. Copernicus Open Access Hub.....	47
Εικόνα 15. Οριοθέτηση περιοχής και εισαγωγή κριτηρίων για αναζήτηση εικόνων Sentinel 1.....	47
Εικόνα 16. Αποτελέσματα αναζήτησης δορυφορικών εικόνων Sentinel 1.....	48
Εικόνα 17. Λογότυπο εκκίνησης Snap.....	48
Εικόνα 18. Προετοιμασία δεδομένων.....	49
Εικόνα 19. Δημιουργία υποσυνόλου εικόνας Sentinel 1 (subset).....	50
Εικόνα 20. Υποσύνολο και αποτύπωμα υποσυνόλου.....	50
Εικόνα 21. I/O Parameters & Processing Parameters βαθμονόμησης.....	52
Εικόνα 22. Βαθμονομημένη εικόνα Sentinel 1.....	52
Εικόνα 23. I/O Parameters & Processing Parameters φιλτραρίσματος.....	53
Εικόνα 24. Φιλτραρισμένη εικόνα Sentinel 1.....	54
Εικόνα 25. Κατώφλι μέσω του ιστογράμματος.....	55

Εικόνα 26. Band Maths Editor & Expression Editor.....	56
Εικόνα 27. Διαχωρισμός περιοχών νερού από υπόλοιπες περιοχές.....	56
Εικόνα 28. I/O Parameters και Processing Parameters γεωμετρικής διόρθωσης.....	57
Εικόνα 29. Γεωμετρική διόρθωση δορυφορικής εικόνας Sentinel 1.....	58
Εικόνα 30. Τοπογραφική Διόρθωση εικόνας Sentinel 1 στο Google Earth.....	59
Εικόνα 31. Τελική εικόνα που εξάγεται σε μορφή GeoTiff.....	60
Εικόνα 32. Τελική εικόνα νέου, μεγαλύτερου υποσυνόλου που εξάγεται σε μορφή GeoTiff.....	60
Εικόνα 33. Οριοθέτηση περιοχής αναζήτησης για την αναζήτηση δορυφορικών εικόνων Landsat 8 από την εφαρμογή Earth Explorer.....	61
Εικόνα 34. Επιλογή δεδομένων προς λήψη όπως φαίνεται στο αριστερό παράθυρο της εφαρμογής Earth Explorer.....	62
Εικόνα 35. Διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες Landsat 8 προς λήψη στην εφαρμογή Earth Explorer.....	62
Εικόνα 36. Παράθυρο διαλόγου εργαλείου συγχώνευσης εικόων του λογισμικού Erdas Imagine 2016.....	64
Εικόνα 37. Διάγραμμα ροής αλγορίθμου εφαρμογής ατμοσφαιρικής διόρθωσης σε δορυφορικό προϊόν Landsat 8 μέσω Model Maker. ....	66
Εικόνα 38. Παράθυρο διαλόγου εργαλείου Zonal Statistics του λογισμικού ArcMap.....	67
Εικόνα 39. Διάγραμμα ροής του αλγόριθμου για την μέθοδο αφαίρεσης σκοτεινού σημείου.....	68
Εικόνα 40. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά την αφαίρεση σκοτεινού σημείου....	69
Εικόνα 41. Τελική δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά από την περικοπή.....	69
Εικόνα 42. Μοντέλο υπολογισμού του δείκτη βλάστησης NDVI.....	73
Εικόνα 43. Χάρτης κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI.....	74
Εικόνα 44. Χάρτης κανονικοποιημένου δείκτη νερού NDWI.....	74
Εικόνα 45. Signature Editor και πολύγωνα AOI.....	78
Εικόνα 46. Παράθυρο διαλόγου Supervised Classification.....	80
Εικόνα 47. Ταξινομημένη εικόνα με χρήση του κριτηρίου μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood) .....	81
Εικόνα 48. Ταξινομημένη εικόνα με χρήση της μεθόδου ελάχιστης απόστασης (Minimum Distance) .....	83

Εικόνα 49. Ταξινομημένη εικόνα με χρήση της μεθόδου απόστασης Mahalanobis (Mahalanobis Distance) .....	84
Εικόνα 50. Ταξινομημένη εικόνα με χρήση της χαρτογράφου φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapper- SAM) .....	86
Εικόνα 51. Ταξινομημένη εικόνα με χρήση της χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης (Spectral Correlation Mapper) .....	87
Εικόνα 52. Παράθυρο διαλόγου Unsupervised Classification (Isodata) .....	89
Εικόνα 53. Ταξινομημένη εικόνα με τον αλγόριθμο ISODATA.....	89
Εικόνα 54. Παράθυρο διαλόγου Unsupervised Classification (K-means).....	91
Εικόνα 55. Ταξινομημένη εικόνα με τον αλγόριθμο K-MEANS.....	92
Εικόνα 56. Δημιουργία τυχαίων σημείων.....	95
Εικόνα 57. Table of Random Points.....	95
Εικόνα 58. Show Class Values & Select Viewer.....	96
Εικόνα 59. Τυχαία σημεία πάνω στην εικόνα αναφοράς.....	96
Εικόνα 60. Συσχέτιση αριθμού κλάσης και αριθμού αναφοράς.....	97
Εικόνα 61. Overall Classification Accuracy & Kappa Statistics.....	97
Εικόνα 62. Catalog & παράθυρο Create New Shapefile.....	100
Εικόνα 63. Παράθυρο διαλόγου Start Editing.....	100
Εικόνα 64. Create Features & shapefile cutvector.....	101
Εικόνα 65. Εκτέλεση εντολής Clip.....	101
Εικόνα 66. Αρχείο flood που απεικονίζει την πλημμυρισμένη περιοχή.....	102
Εικόνα 67. Attribute Table & εμβαδόν πλημμύρας αναφοράς.....	103
Εικόνα 68. Εκτέλεση Εντολής Extract by Mask.....	103
Εικόνα 69. Αρχείο maxflood1.....	104
Εικόνα 70. Attribute Table & εντολή Raster to Polygon.....	104
Εικόνα 71. Απομονωμένη κλάση νερού και εύρεση εμβαδού του.....	105
Εικόνα 72. Διάγραμμα Kappa Statistics & bands.....	115
Εικόνα 73. Διάγραμμα σύγκρισης δείκτη kappa statistics 2 διαφορετικών εικόνων.....	116

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Κατοπτρική ανάκλαση.....	16
Σχήμα 2. Διάχυση.....	16
Σχήμα 3: Αρχή Λειτουργίας του RADAR (Βικιπέδια, 2015).....	17
Σχήμα 4: Η καταγραφή της ακτινοβολίας από το radar, όπως αυτή ανακλάται από το έδαφος.....	18
Σχήμα 5. Φασματικός χώρος που παράγεται από τρεις φασματικές ζώνες και στον οποίο υπάρχουν τέσσερις περιοχές ομαδοποίησης (clusters) (Sabins 1987).....	76
Σχήμα 6. Ταξινόμηση με το κριτήριο μέγιστης πιθανοφάνειας, με βάση μια μόνο φασματική ζώνη (άξονας x).....	79
Σχήμα 7. Ταξινόμηση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης.....	82
Σχήμα 8. Το φάσμα του εικονοστοιχείου και το φάσμα του στόχου (Τσακίρη- Στρατή Μ., 2007).....	85

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ονομασία και μήκη κύματος των RADAR (Μερτίκας 1999).....	18
Πίνακας 2. Φασματικά Κανάλια OLI (OLI Spectral Bands) .....	27
Πίνακας 3. Φασματικά Κανάλια TIRS (TIRS Spectral Bands) .....	28
Πίνακας 4. Βασικά Χαρακτηριστικά των προϊόντων του δορυφόρου Sentinel 1.....	29
Πίνακας 5. Ημερομηνία & ώρα λήψης δορυφορικών εικόνων Sentinel 1.....	45
Πίνακας 6. Ημερομηνία & ώρα λήψης δορυφορικών εικόνων Landsat 8.....	45
Πίνακας 7. Mean Value & Standard Deviation των NDVI & NDWI.....	71
Πίνακας 8. Accuracy Assessment.....	98
Πίνακας 9. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.....	106
Πίνακας 10. Εμβαδά μέσω threshold.....	107
Πίνακας 11. Omission- Commission Error.....	109

## 1. Εισαγωγή

Τα πλημμυρικά φαινόμενα αποτελούν έναν σημαντικό κίνδυνο που, καθώς συμβαίνει, επηρεάζει αρνητικά πολλούς ανθρώπους και επιφέρει μεγάλες οικονομικές συνέπειες, συνήθως μεγαλύτερες από κάθε άλλο φυσικό κίνδυνο. Οι πλημμύρες αποτελούν τους πλέον «κοινούς» κινδύνους, δεδομένης της εκτεταμένης γεωγραφικής διασποράς των ποτάμιων συστημάτων στο πρόσωπο της Γης και αποτελούν τα πλέον συνήθη εναύσματα για την πρόκληση καταστροφών, κατά τη διάρκεια του δευτέρου μισού του 20ου αιώνα (Parker, 2000)

Η επιστήμη της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ/GIS) εισήγαγαν νέες μεθόδους στη διαχείριση των φυσικών οικοσυστημάτων. Η δυνατότητα διαχρονικής παρακολούθησης της γήινης επιφάνειας σε ελάχιστο χρόνο και με μικρό σχετικά κόστος παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής όλων των μεταβολών που συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον και επομένως διευκολύνουν την αντιμετώπιση ή την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων που απορρέουν από αυτές τις μεταβολές.

### 1.1. Σκοπός Εργασίας

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε με στόχο την μελέτη της εκτίμησης πλημμυρικών φαινομένων που εκδηλώθηκαν σε μια συγκεκριμένη περιοχή (ποταμός Στρυμόνας), μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν προϊόντα Τηλεπισκόπησης, όπως είναι οι δορυφορικές εικόνες, και πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της συνεισφοράς των σύγχρονων αναπτυξιακών εργαλείων της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην καταγραφή πλημμυρικών φαινομένων.

### 1.2. Γενικά για τα πλημμυρικά φαινόμενα

Ως **πλημμύρα** ορίζεται η υπερχείλιση επιπλέον νερού, που καλύπτει την ξηρά για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η οδηγία 2007/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις πλημμύρες ορίζει μια πλημμύρα ως προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό.

Οι πλημμύρες, που αποτελούν μία από τις πιο συχνές και σοβαρές φυσικές καταστροφές, συμβαίνουν συνήθως εξαιτίας διαφόρων φυσικών φαινομένων όπως καταιγίδες, κυκλώνες, ατμοσφαιρική κατακρήμνιση, μουσώνες, σεισμοί, τσουνάμι. Οι πλημμύρες θεωρούνται σημαντική απειλή για τους ανθρώπους και τις ιδιοκτησίες τους, την κοινωνική σταθερότητα και τις διεθνείς οικονομίες και έχουν προκαλέσει

πολλές φορές ζημιές στην βιωσιμότητα και τις περιουσίες ανθρώπων, ειδικά στα αστικά κέντρα. (Νάκος Β, 2010)

Πρόσφατες πλημμύρες δείχνουν ότι οι ανθρώπινοι μηχανισμοί δεν είναι καλά προετοιμασμένοι και ότι η παραδοσιακή μηχανική των ποταμών που χρησιμοποιείται μπορεί να προκαλέσει αύξηση της συχνότητας και της κλίμακας των πλημμυρών. Για τον λόγο αυτό, γίνεται μια μεγάλη προσπάθεια από την επιστημονική κοινότητα, έτσι ώστε να βρεθούν και να εφαρμοστούν αποτελεσματικές μέθοδοι και να αναπτυχθούν βελτιωμένα συστήματα για την αποτελεσματική εκτίμηση, πρόβλεψη και τους επιδέξιους χειρισμούς των πλημμυρών. Μια μεγάλη ποικιλία από τεχνικές και τεχνολογίες είναι διαθέσιμες έτσι ώστε να αναπτυχθούν συστήματα τα οποία θα προβλέπουν πλημμύρες και θα μειώνουν τον κίνδυνο πλημμυρών. (Νάκος Β, 2010)

Οι πλημμύρες μπορεί να προκύψουν από τον όγκο νερού μέσα σε ένα σώμα του ύδατος, όπως ένα ποτάμι ή λίμνη, ο οποίος υπερχειλίζει ή σπάει τα αναχώματα, με αποτέλεσμα το νερό να διαφύγει από τα συνήθη όριά του. Αντιθέτως, το μέγεθος της λίμνης ή άλλου φορέα του νερού που ποικίλει ανάλογα με τις εποχιακές αλλαγές στις βροχοπτώσεις και στα χιόνια που λιώνουν, δεν είναι μια σημαντική πλημμύρα, εκτός αν τέτοιες διαρροές νερού θέσουν σε κίνδυνο τις εκτάσεις που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο, όπως ένα χωριό, μια πόλη ή άλλη κατοικημένη περιοχή.

Οι πλημμύρες μπορεί επίσης να εμφανιστούν στα ποτάμια, όταν η ροή υπερβαίνει την χωρητικότητα του καναλιού του ποταμού, ιδίως σε στροφές ή μαιάνδρους. Οι πλημμύρες από την υπερχειλίση ποταμού ποικίλουν σημαντικά ως προς το μέγεθος και την διάρκεια τους. Στην περίπτωση μεγάλων ποταμών οι πλημμύρες μπορεί να εμφανιστούν αρκετό χρόνο μετά τη βροχόπτωση και να διαρκέσουν ημέρες, εβδομάδες ή ακόμα και μήνες. Σε πιο μικρά ποτάμια ενδέχεται να εμφανιστούν στιγμιαίες πλημμύρες που οφείλονται συνήθως σε πολύ έντονη τοπική βροχόπτωση και είναι γνωστές ως **flash floods**. Αυτό το είδος των πλημμυρών συμβαίνουν ξαφνικά και με ελάχιστη προειδοποίηση και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες, αφού είναι λιγότερο προβλέψιμες και μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένες καταστροφές, ειδικά όταν προκαλούνται κατολισθήσεις εδάφους ή ιλύος από την έντονη βροχόπτωση. (Νάκος Β, 2010)

Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν, αλλά οι γεωλογικές, γεωμορφολογικές και εδαφολογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής μπορούν να τροποποιηθούν με ανθρώπινη παρέμβαση. (Νάκος Β, 2010)

Οι αρνητικές ανθρώπινες ενέργειες που ενδέχεται να προκαλέσουν πλημμυρικά φαινόμενα σε μια δεδομένη βροχόπτωση είναι:

1. Η αστικοποίηση
2. Η αποδάσωση τμημάτων της λεκάνης απορροής
3. Η ευθυγράμμιση του ρου των ποταμών

4. Η εξάλειψη των φυσικών πεδίων κατάκλισης
5. Η ανεπαρκής αποστράγγιση
6. Η οικοδόμηση κτιρίων και κατασκευών σε επικίνδυνα πεδία κατάκλισης (Νάκος Β, 2010)

Η προστασία από τις πλημμύρες πρέπει να εφαρμόζεται με συντονισμένες κινήσεις σε όλη τη λεκάνη απορροής του ποταμού, αφού τα τοπικά μέτρα προστασίας που λαμβάνονται σε ένα μέρος του ποταμού μπορεί να έχουν έμμεσο αντίκτυπο στις ανάντη και κατάντη περιοχές. Σε περιπτώσεις ποταμών που διέρχονται από διαφορετικά κράτη θα πρέπει να υπάρχει συνεργασία και αλληλεγγύη μεταξύ των κρατών στον χειρισμό των πλημμύρων. Η γενικότερη στρατηγική που ακολουθείται, αποτελείται από τρία κύρια βήματα (Νάκος Β, 2010) :

- 1. Κατακράτηση**
- 2. Αποθήκευση**
- 3. Αποστράγγιση**

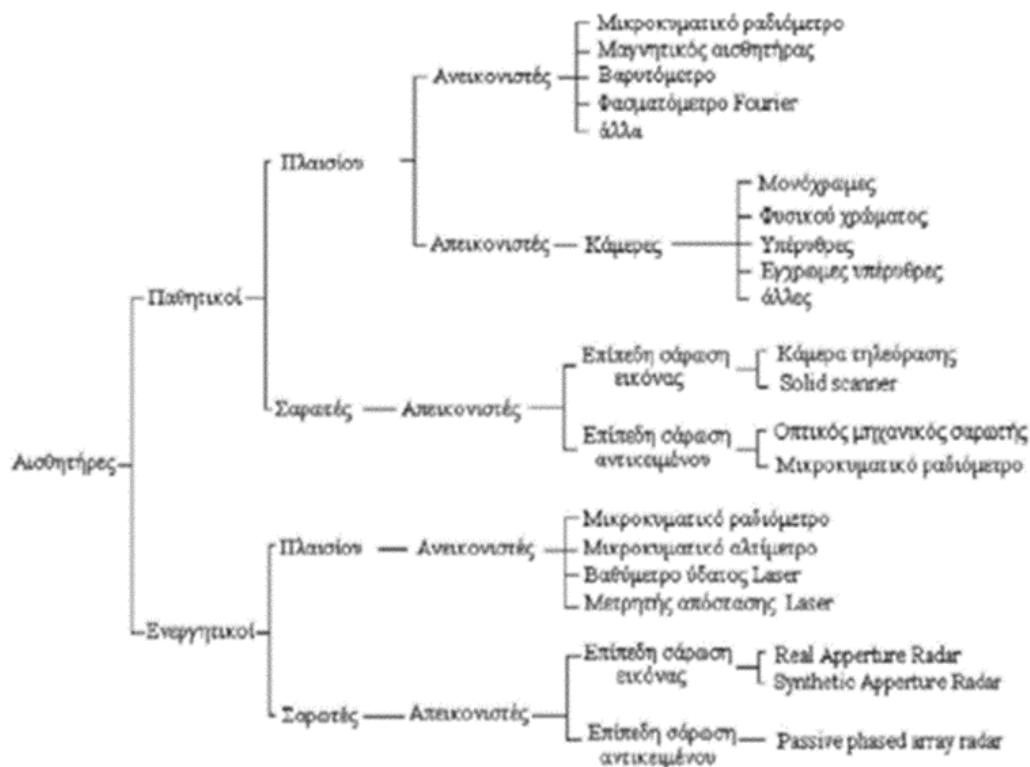
### **1.3. Γενικά για τη Δορυφορική Τηλεπισκόπηση**

Τηλεπισκόπηση καλείται η τεχνική συλλογής στοιχείων (δεδομένων) για τον προσδιορισμό της φύσης και των ιδιοτήτων ενός ή και περισσότερων αντικειμένων μιας περιοχής, από απόσταση (από τον αέρα ή το διάστημα), χωρίς τη φυσική επαφή με τα αντικείμενα αυτά (Αστάρας, 2006).

Οι Lillesand & Kiefer (1987) ορίζουν την τηλεπισκόπηση σαν την επιστήμη και τέχνη του να επιτυγχάνουμε πληροφόρηση για αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο από την ανάλυση δεδομένων που αποκτήθηκαν από ένα μέσο το οποίο δεν είναι σε επαφή με το αντικείμενο , την περιοχή ή το φαινόμενο.

Η συλλογή πληροφοριών γίνεται με ειδικά όργανα ανίχνευσης και καταγραφής που αποτελούν ουσιαστικά σε σχέση με τα αντικείμενα απομακρυσμένους αισθητήρες (remote sensors). Οι αισθητήρες αυτοί μεταφέρονται από αεροπλάνα και δορυφόρους.

Οι δορυφόροι χωρίζονται σε κατηγορίες με βάση τους αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι σε αυτούς και την φύση των δεδομένων που λαμβάνουν. Έτσι, η τηλεπισκόπηση διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με την μορφή των ραντάρ και των ραδιομέτρων που ενσωματώνονται στους δορυφόρους. Οι κατηγορίες αυτές είναι η ενεργητική και η παθητική τηλεπισκόπηση.



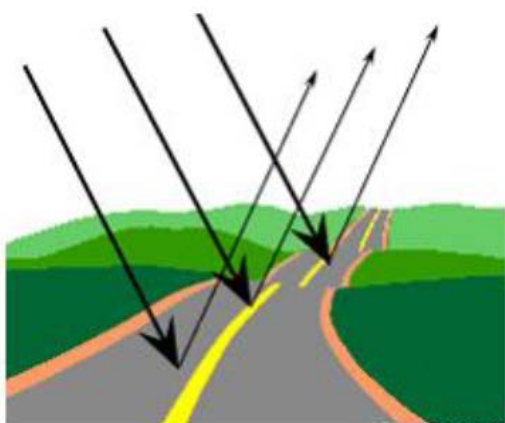
Εικόνα 1.Είδη παθητικών και ενεργητικών αισθητήρων (Χρυσουλάκης, 2011)

Τα **παθητικά συστήματα** τηλεπισκόπησης καταγράφουν την «φυσική» ακτινοβολία. Για την ανακλώμενη ενέργεια αυτό συμβαίνει κατά την διάρκεια της ημέρας όταν ο ήλιος φωτίζει τμήματα της Γης, ενώ δεν υπάρχει ανακλώμενη ενέργεια την νύχτα. Η με φυσικό τρόπο εκπεμπόμενη ενέργεια (θερμικό υπέρυθρο) μπορεί να καταγραφεί ημέρα ή νύχτα και εφόσον το ποσό της ενέργειας είναι τέτοιο ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή. Τα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν το τμήμα του φάσματος από πολύ μικρά μήκη κύματος (μικρότερα του 0.4  $\mu\text{m}$ ) έως την περιοχή του μήκους κύματος 1000  $\mu\text{m}$ .

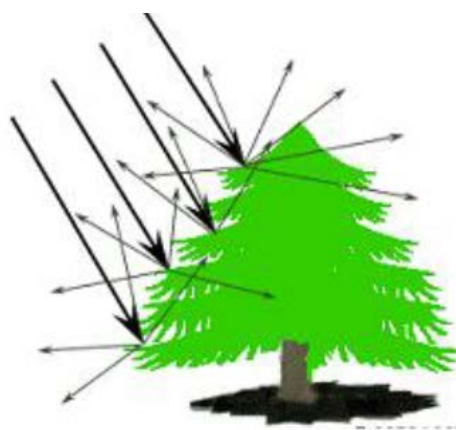
Τα **ενεργά συστήματα** καταγράφουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από άλλη εξωτερική πηγή ή από το ίδιο το όργανο καταγραφής. Συνήθως το σύστημα καταγραφής είναι αυτό που εκπέμπει και την ενέργεια προς την επιφάνεια και στην συνέχεια ανακλάται, επιστρέφει και καταγράφεται η «ηχώ» του σήματος από το ίδιο το σύστημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου τύπου οργάνου είναι τα Radars που εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυματικών. Η ανάγκη των ενεργών συστημάτων σε ενέργεια είναι μεγάλη για το λόγο αυτό και η λειτουργία τους δεν είναι συνεχής.

Στις δύο παραπάνω περιπτώσεις ο βασικός παράγοντας για την πραγματοποίηση της λήψης των δορυφορικών εικόνων είναι ο τρόπος μετάδοσης και αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και, κυρίως, στην επιφάνεια της γης. Οι δύο ακραίοι τύποι ανάκλασης της ακτινοβολίας από τα επιφανειακά αντικείμενα είναι η κατοπτρική ανάκλαση και η διάχυση.

Σε λείες επιφάνειες επικρατεί η κατοπτρική ανάκλαση δηλαδή η ανάκλαση προς μία και μόνο διεύθυνση (Σχήμα 1). Η διάχυση συμβαίνει στην περίπτωση των ανώμαλων επιφανειών και η ακτινοβολία στη περίπτωση αυτή ανακλάται ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις (Σχήμα 2). Ο τρόπος με τον οποίο κάθε αντικείμενο ανακλά την ακτινοβολία εξαρτάται από την τραχύτητα, και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του αντικειμένου σε σχέση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας (Τζωρτζάκης, 2014).



Σχήμα 1. Κατοπτρική ανάκλαση



Σχήμα 2. Διάχυση

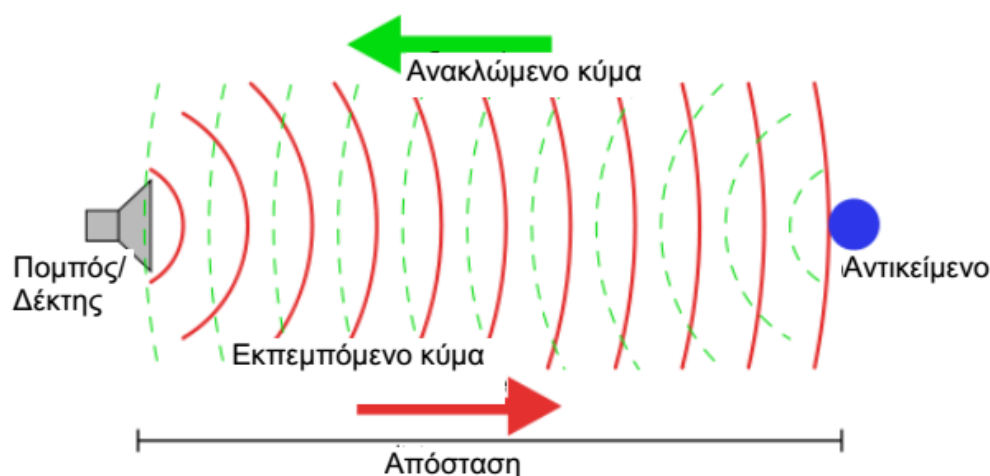
### 1.3.1 Ενεργητική Τηλεπισκόπηση

#### Τεχνολογία ραδιοεντοπισμού RADAR

Τα ραντάρ είναι ενεργά συστήματα που εκπέμπουν ακτινοβολία προς την επιφάνεια της γης και μετρούν το σήμα που ανακλάται. Έτσι, μπορούμε να πάρουμε εικόνες ημέρα και νύχτα, εντελώς ανεξάρτητα από το φως του ήλιου. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, όπου η μεγάλη πολική νύχτα (για τουλάχιστον 6 μήνες το χρόνο) εμποδίζει τους παραδοσιακούς δορυφόρους να πάρουν εικόνες. Επιπλέον, το σήμα ενός ραδιοεντοπιστή διαπερνά εύκολα τα σύννεφα, και επομένως επιτρέπει τη λήψη εικόνων ανεξάρτητα από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες. (European Space Agency, 2015)

Οι καταγραφείς των ραντάρ σχηματίζουν εικόνες που δημιουργούνται λαμβάνοντας υπόψιν την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τους διάφορους ανακλάστες που βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης. Ανακλάστης λέγεται οτιδήποτε ανακλά ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους (κτίρια, βλάστηση, πέτρες, χώμα, νερό κ.ά.). Η ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εξαρτάται από τις γεωμετρικές και διηλεκτρικές ιδιότητες της επιφάνειας ή του όγκου που μελετάται. Το φαινόμενο της ανάκλασης ονομάζεται οπισθοσκέδαση και εξαρτάται από την τραχύτητα της επιφάνειας, το είδος του

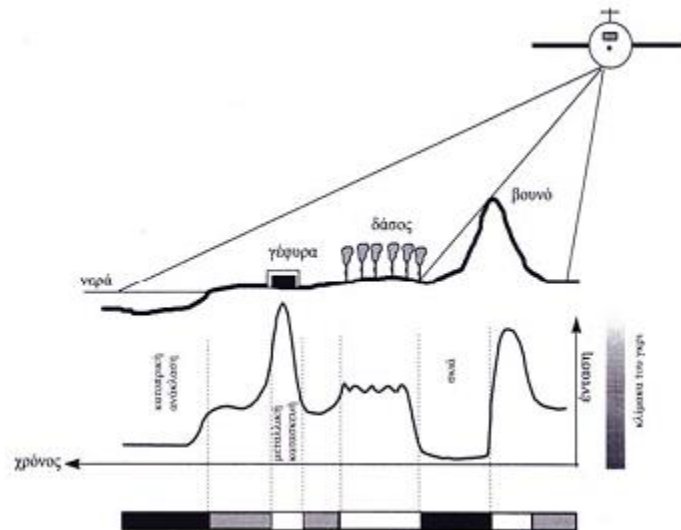
υλικού (π.χ. αν είναι σίδηρο, τσιμέντο, ξύλο ή οργανικό υλικό) καθώς και από την υγρασία που περιέχει.



Σχήμα 3: Αρχή Λειτουργίας του RADAR (Βικιπέδια, 2015)

Οι εικόνες ραντάρ δεν έχουν την ίδια μορφολογία με αυτή των εικόνων από οπτικούς καταγραφείς (π.χ. κάμερες). Τα φωτεινά σημεία των εικόνων ραντάρ απεικονίζουν τις περιοχές όπου η ανάκλαση του μικροκυματικού κύματος που εκπέμπεται είναι μεγαλύτερη, ενώ οι εικόνες είναι μονοχρωματικές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως τα μεταλλικά αντικείμενα, όπως οι γέφυρες και τα πλοία, παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα οπισθοσκέδασης λόγω της γεωμετρίας τους αλλά κυρίως λόγω των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των μετάλλων. Αντιθέτως, οι υδάτινες μάζες καθώς και οι λείες επιφάνειες (ασφαλτικοί τάπητες, επιφάνειες αποξηραμένων λιμνών, διάδρομοι αεροδρομίων, μεγάλοι δρόμοι κ.ο.κ.) ανακλούν το μεγαλύτερο ποσοστό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας μακριά από το σύστημα με γωνία ανάκλασης ίση με την γωνία πρόσπτωσης (κατοπτρική ανάκλαση). Έτσι ελάχιστη ενέργεια επιστρέφει στο ραδιόμετρο του ραντάρ και η περιοχή εμφανίζεται ως σκοτεινή.

Η ικανότητα διείσδυσης της μικροκυματικής ακτινοβολίας σε βροχοπτώσεις και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, αυξάνεται με το μήκος κύματος. Κατά συνέπεια, τα μικροκύματα με μεγάλο μήκος κύματος, όπως τα L και τα P (Πίνακας 1), έχουν την ικανότητα να διαπερνούν σε βάθος, επιφάνειες όπως άμμο, χιόνι και βλάστηση [Μερτίκας,1999]. Η ένταση της οπισθοσκεδαζόμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας του ραντάρ σε σχέση με την μορφολογία και την τραχύτητα του εδάφους παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Η καταγραφή της ακτινοβολίας από το radar, όπως αυτή ανακλάται από το έδαφος

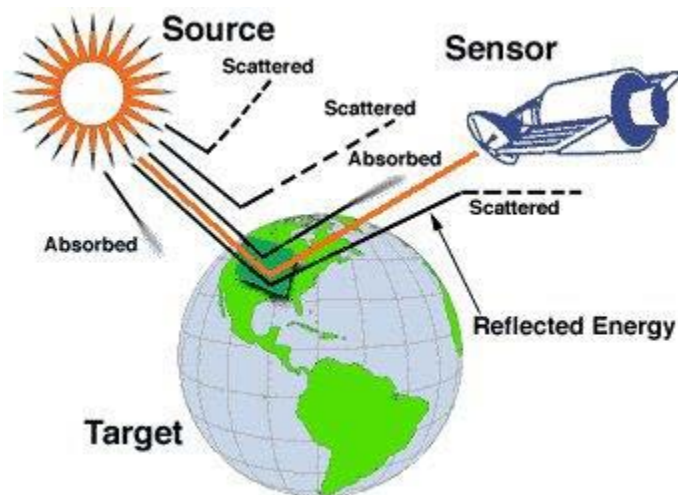
**Πίνακας 1. Ονομασία και μήκη κύματος των RADAR (Μερτίκας 1999)**

Ονομασία Ζώνης	Συχνότητα (GHz).	Ζώνη μήκους κύματος $\lambda$ (cm)	Συμβατικές Ζώνες Radar
<b>Ka</b>	26,5 - 40	0,75 - 1,1	0,86 cm
<b>K</b>	18 - 25,5	1,1 - 1,67	
<b>Ku</b>	12,5 - 18	1,7 - 2,4	
<b>X</b>	8 - 12,5	2,4 - 3,8	3 - 3,2 cm
<b>C</b>	4 - 8	3,8 - 7,5	6 cm
<b>S</b>	2 - 4	7,5 - 15,0	
<b>L</b>	1 - 2	15 - 30	23,5 cm 24cm 25 cm
<b>P</b>	0,3 - 1	30 - 100	68 cm

### 1.3.2 Παθητική Τηλεπισκόπηση

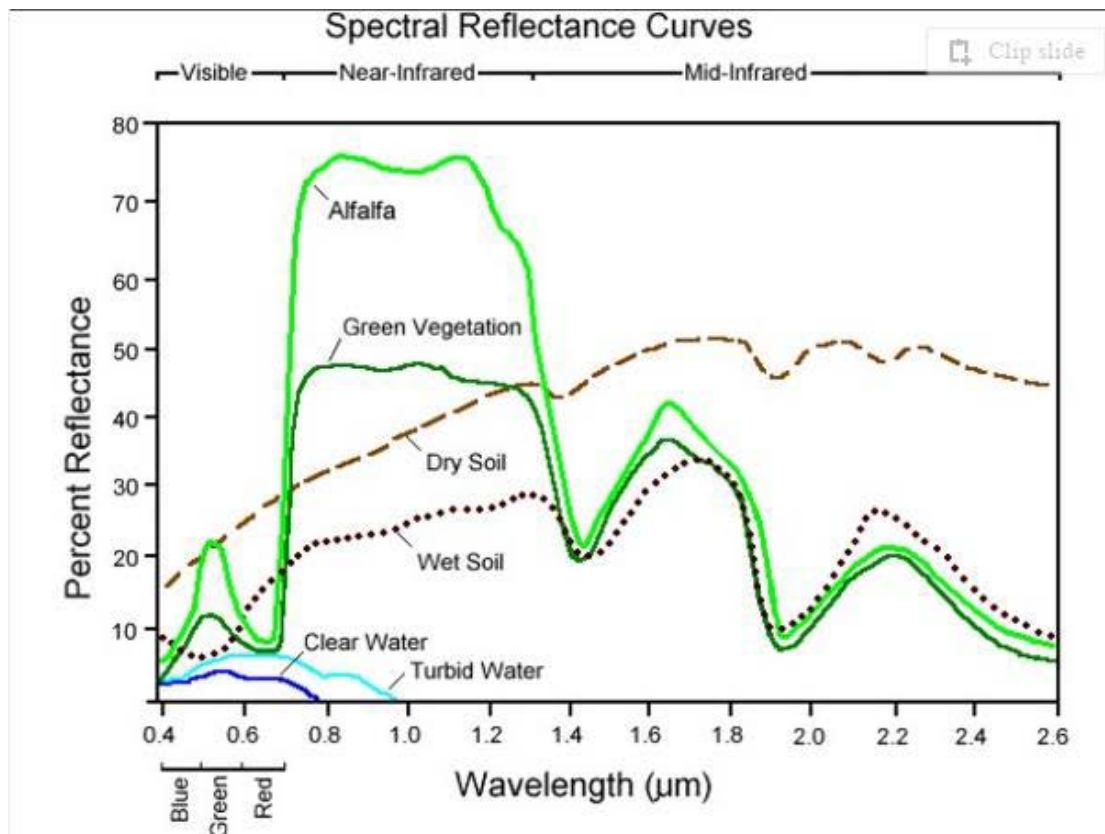
#### Πολυφασματικοί Δορυφόροι

Η παθητική τηλεπισκόπηση καταγράφει με οπτικά μέσα την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από την γήινη επιφάνεια (Εικόνα 2). Η ανακλώμενη ακτινοβολία περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων το οποίο καταγράφεται από το ραδιόμετρο του δορυφόρου σε διαφορετικά κανάλια στενού εύρους μήκους κύματος. Το κάθε κανάλι αναφέρεται και ως “μπάντα” (band). Έτσι, ο αισθητήρας καταγράφει πολλές διαφορετικές ψηφιακές εικόνες, μία για κάθε κανάλι, οι οποίες έχουν ληφθεί την ίδια χρονική στιγμή.



*Εικόνα:2. Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας ενός παθητικού συστήματος τηλεπισκόπησης*

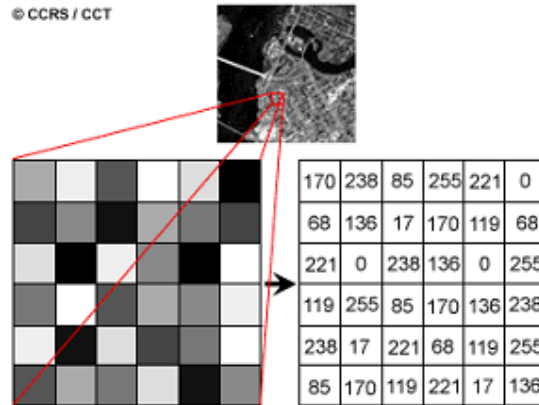
Το εύρος κάθε καναλιού εξαρτάται κάθε φορά από το αντίστοιχο σύστημα και συνήθως διαμορφώνεται με βάση την απόκριση διάφορων φυσικών παραμέτρων για το κάθε κανάλι. Έτσι π.χ. ένα κανάλι μπορεί να αντιπροσωπεύει την απόκριση της βλάστησης, των υδάτινων μαζών ή των αστικών περιοχών κ.ο.κ. Επίσης, ο συνδυασμός και οι υπολογιστικές πράξεις μεταξύ δύο ή και περισσότερων καναλιών εξειδικεύει ακόμη περισσότερο το αποτέλεσμα, έτσι ώστε μια δορυφορική εικόνα να μπορεί να αποτυπώσει την διακύμανση μιας συγκεκριμένης μεταβλητής. Στην Εικόνα παρουσιάζεται αναλυτικά η φασματική απόκριση διάφορων περιβαλλοντικών παραγόντων συναρτήσει του μήκους κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



Εικόνα 3. Απόκριση μεταβλητών του φυσικού περιβάλλοντος συναρτήσει του εύρους μήκους κύματος (Τζωρτζάκης, 2014)

### 1.3.3 Γενικά Χαρακτηριστικά Ψηφιακών Δορυφορικών Εικόνων

Οι ψηφιακές δορυφορικές εικόνες δημιουργούνται από αισθητήρες καταγραφής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (ραδιόμετρα) που καταγράφουν την ενέργεια ως μία σειρά από αριθμούς σε ψηφιακή μορφή. Η ψηφιακές τιμές μετατρέπονται σε εικόνα η οποία αποτελείται από εικονοστοιχεία (pixels) στοιχισμένα σε σειρές και κολώνες σχηματίζοντας ένα πλέγμα (Εικόνα 4). Σε κάθε ένα εικονοστοιχείο αποδίδεται ένας ψηφιακός αριθμός (Digital Number, DN) που αντιπροσωπεύει τη σχετική φωτεινότητά του. Έτσι, η ψηφιακή τιμή του κάθε εικονοστοιχείου είναι ανάλογη της ανακλαστικότητας του στόχου που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους που ορίζει το εικονοστοιχείο, βάση του Γεωγραφικού Συστήματος Αναφοράς.

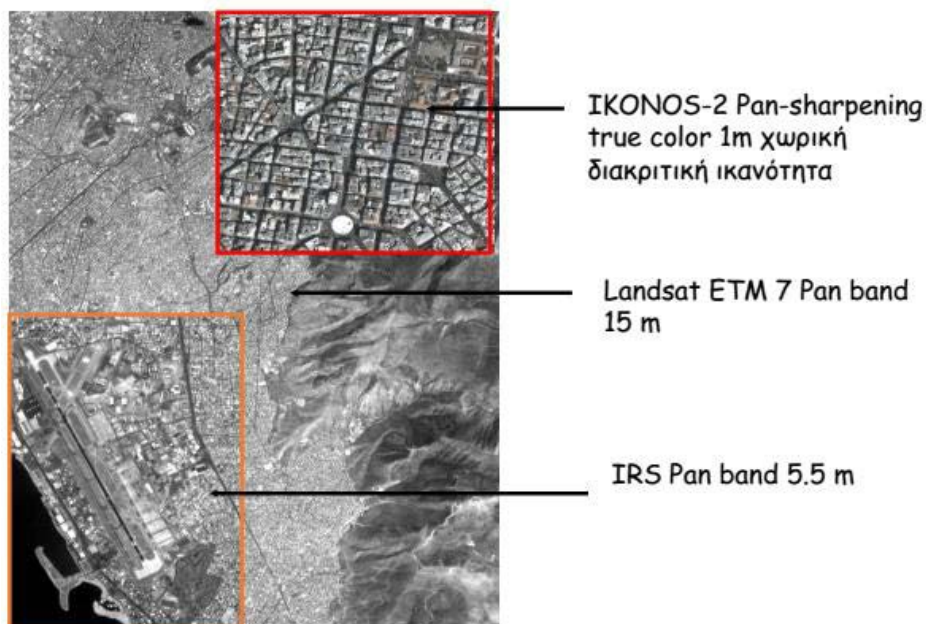


Εικόνα 4 . Ψηφιακό Πλέγμα Δορυφορικών Εικόνων (Ποϊραζίδης, Δ., Γ., & Λορίλια, 2013)

Οι δορυφορικές εικόνες κατά κανόνα απεικονίζονται στην κλίμακα του γκρι, ενώ με τον συνδυασμό εικόνων διαφορετικών φασμάτων- καναλιών είναι δυνατόν να γίνει σύνθεση έγχρωμων εικόνων.

#### Χωρική διακριτική ικανότητα

Η απόσταση μεταξύ της γήινης επιφάνειας και του οργάνου καταγραφής αποτελεί καθοριστικό ρόλο στην λεπτομέρεια της πληροφορίας που καταγράφεται. Η ευδιάκριτη λεπτομέρεια σε μια εικόνα εξαρτάται από την χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα και αναφέρεται στο μέγεθος του μικρότερου χαρακτηριστικού που μπορεί να ανιχνευθεί (Εικόνα 5). Συνήθως οι δορυφόροι που βρίσκονται σε πολύ υψηλή τροχιά και καταγράφουν μεγάλες περιοχές έχουν μικρή διακριτική ικανότητα. (Τζωρτζάκης, 2014)



Εικόνα 5 . Συγκριτική Απεικόνιση Εικόνων με διαφορετική χωρική διακριτική ικανότητα (Τζωρτζάκης, 2014)

Εάν ένα σύστημα καταγραφής έχει χωρική διακριτική ικανότητα 20m τότε στην αντίστοιχη εικόνα κάθε εικονοστοιχείο αντιπροσωπεύει μία περιοχή επιφάνειας εδάφους ίση με 20m x 20m.

#### *Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα*

Τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν την πραγματική πληροφορία που περιέχεται σε μια εικόνα. Η ευαισθησία του αισθητήρα και κατ' επέκταση της εικόνας στην ένταση της ανακλώμενης ενέργειας καθορίζει την ραδιομετρική ικανότητα. Συνοπτικά, η ραδιομετρική ικανότητα περιγράφει την ικανότητα ενός συστήματος να καταγράφει διαφορές στην ισχύ του σήματος. Τα δεδομένα μιας εικόνας αντιπροσωπεύονται από ψηφιακές τιμές που μεταβάλλονται από 0 έως μία τιμή, παράγωγη δύναμη του 2.

Το εύρος αντιστοιχεί σε ένα αριθμό bits που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίησή δε δυαδική μορφή. Ο μέγιστος αριθμός επιπέδων φωτεινότητας εξαρτάται από τον αριθμό των bits. Π.χ. εάν ένα αισθητήρας χρησιμοποιεί 8 bits για την καταγραφή τότε θα υπάρχουν  $2^8=256$  πιθανές ψηφιακές τιμές στην εικόνα, από το 0 έως το 255. (Τζωρτζάκης, 2014).

#### *Φασματική διακριτική ικανότητα*

Περιγράφει την ικανότητα του αισθητήρα να καταγράφει διαφορετικά κανάλια μικρού φασματικού εύρους. Με πολυφασματικούς αισθητήρες είναι εξοπλισμένοι, κυρίως, οι δορυφόροι παθητικής τηλεπισκόπησης διότι η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία μεταδίδεται σε μεγάλο εύρος, το οποίο θα πρέπει να καταγραφεί. Έτσι, υπάρχουν παγχρωματικοί αισθητήρες που καταγράφουν σε μία εικόνα ένα μεγάλο εύρος που συμπεριλαμβάνει και το ορατό (0.4μm- 0.7 μm) αλλά και πολυφασματικοί αισθητήρες που καταγράφουν εικόνες σε μικρές ζώνες μηκών κύματος (Τζωρτζάκης, 2014).

#### *Χρονική Διακριτική Ικανότητα*

Η χρονική διακριτική ικανότητα σχετίζεται με την τροχιά του δορυφόρου και την συχνότητα λήψης εικόνων για την ίδια περιοχή. Η συνηθέστερη χρονική διακριτική ικανότητα είναι μερικές ημέρες. Υπάρχουν, επίσης, δορυφόροι οι οποίοι επικαλύπτουν την ίδια περιοχή σε δύο διαδοχικές τροχιές με επικάλυψη από 10% έως 30%. Επομένως η χρονική διακριτική ικανότητα είναι συνάρτηση των δυνατοτήτων του συστήματος, της επικάλυψης και του γεωγραφικού μήκους της περιοχής.

## **1.4 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και Πλημμύρες**

Στην παρούσα εργασία η πλημμύρα που μελετάμε μέσω της δορυφορικής τηλεπισκόπησης ανήκει στις **ποτάμιες πλημμύρες**. Ως **ποτάμια πλημμύρα** θεωρείται η κατάσταση κατά την οποία η αποφόρτιση των υδάτων ενός ποταμού (ή ενός

τμήματός του) δεν μπορεί να επιτευχθεί διαμέσου της κανονικής του κοίτης, με αποτέλεσμα το νερό να την υπερβαίνει και να εξαπλώνεται στα γειτονικά εδάφη. (Strahler and Strahler, 2003).

Κυρίαρχες αιτίες εμφάνισης μιας ποτάμιας πλημμύρας είναι οι εξωγενείς κλιματικοί παράγοντες και δευτερεύουσες, εκείνες που συνδέονται με τα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής. Εκτός από τις περιπτώσεις που οι ποτάμιοι κλάδοι ρέουν σε ορεινό περιβάλλον, στις υπόλοιπες περιπτώσεις όταν οι κοίτες των ποταμών πλημμυρίζουν, εκατέρωθέν τους σχηματίζονται εκτάσεις ήπιου ανάγλυφου, από τις αποθέσεις που επικάθονται, που είναι γνωστές ως πεδιάδες κατάκλισης ή πεδιάδες υπερχειλίσης. Αυτές οι πεδιάδες κατακλύζονται εντελώς μόνο σε μείζονες πλημμύρες, ενώ σε επεισόδια με μικρότερη ένταση και μεγαλύτερη συχνότητα μόνο ένα τμήμα τους καλύπτεται από νερό. Γενικότερα, το εύρος αυτών των πεδιάδων εξαρτάται από τις τιμές της επιφανειακής αποφόρτισης του ποταμού (Lewin, 1978).

Οι κίνδυνοι των πλημμυρικών φαινομένων, όταν εξετάζονται με μεθόδους και τεχνικές τηλεπισκόπησης, συνδέονται άρρηκτα μεταξύ τους και ειδικά σε περιπτώσεις με σφοδρές καταιγίδες οι οποίες συνοδεύονται από υψηλά ποσά κατακρημνισμάτων τα οποία δυνητικά συντελούν σε μια από τις παραμέτρους πρόκλησης υδρολογικής φύσεως πλημμυρών.

Οι ποτάμιες πλημμύρες συνιστούν έναν πολύ διαδεδομένο κίνδυνο, πλήττοντας με καταστροφικές συνέπειες ένα μεγάλο αριθμό ατόμων. Τα φυσικά αίτια πρόκλησης αυτής της υπερχειλίσης της κοίτης και της κατάκλυσης των πεδιάδων κατάκλυσης άπτονται τόσο των κλιματικών και ατμοσφαιρικών συνθηκών, όσο και των μορφολογικών και εδαφολογικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης, εντός των αποστραγγιστικών λεκανών (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω). Άρα, η πρόγνωση της βροχόπτωσης μέσω της παρατήρησης της ατμόσφαιρας και η ανάπτυξη μοντέλων κατάκλυσης, βάσει της μορφολογίας, της σύστασης του εδάφους και των συνθηκών της επιφάνειας του, εντός των λεκανών απορροής μπορούν να επιφέρουν ευέλικτες και έγκαιρες προγνώσεις του φαινομένου, καθώς και αποτίμηση και άμβλυνση των επιπτώσεών του σε περιοχές οι οποίες απειλούνται ή μέλλουν να απειληθούν από τέτοια επεισόδια. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί μέσω των συστημάτων παρακολούθησης και παρατήρησης της γης και μέσα από τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π).

Αρκετοί είναι οι επιστήμονες που διατυπώνουν την άποψη πως τα συστήματα παρακολούθησης της γης και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών συμβάλλουν στην επιτυχή διαχείριση των πλημμυρικών επεισοδίων, αξιοποιώντας μοντέλα πρόγνωσης της βροχόπτωσης- επιφανειακής απορροής και επιφανειακής κατάκλυσης, λαμβάνοντας ως δεδομένα εισροής χωρικές πληροφορίες της γήινης επιφάνειας. Τα δεδομένα εισροής διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, ενώ χρησιμοποιείται και μια πληθώρα τεχνικών αξιοποίησής τους.

Οι κατηγορίες αυτές είναι:

1. Τα δεδομένα εικόνων και

## 2. τα τοπογραφικά δεδομένα

Για τα δεδομένα εικόνων, η διεθνής βιβλιογραφία έχει δείξει πως οι απεικονίσεις Radar εξυπηρετούν καλύτερα τις επιδιώξεις εντοπισμού της εξάπλωσης μιας πλημμύρας λόγω της δυνατότητάς τους να εισχωρούν μέσα από τα φυλλώματα κορυφής δέντρων σε δασικές περιοχές, ενώ όταν δεν είναι εφικτή η διείσδυση των οπτικών συστημάτων τηλεπισκόπησης σε περιοχές με πυκνά φυλλώματα, τότε αναστέλλεται το δυναμικό εντοπισμού υγροτόπων και πλημμυρισμένων εκτάσεων. Σε περιπτώσεις όπου η περιοχή μελέτης δεν καλύπτεται από πυκνή βλάστηση και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες δεν παρακωλύουν την λήψη εικόνων από παθητικά οπτικά συστήματα, τότε τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές που απαιτείται η απόδοση υδρολογικής πληροφόρησης σε ποτάμια περιβάλλοντα, προκειμένου να σκιαγραφηθεί η έκταση της κατάκλυσης κατά την διάρκεια μιας πλημμύρας.

Επιπρόσθετα, μια παράμετρος που θεωρείται εξαιρετικά σημαντική για την πρόγνωση και την έγκαιρη προειδοποίηση πλημμυρικών φαινομένων είναι η εκτίμηση της βροχόπτωσης. Η δημιουργία μοντέλων βροχόπτωσης- απορροής αποτελεί σημαντικό βήμα και απαιτεί εις βάθος έρευνα προκειμένου να αναπτυχθούν ορθολογικά και αξιόπιστα μοντέλα. Η διαδικασία της πρόγνωσης εμπεριέχει μια αλυσίδα μοντέλων και εκτιμήσεων, που πολλές φορές μπορούν να υποστηριχθούν εάν οι αρχικές εκτιμήσεις της βροχόπτωσης προκύψουν από λήψεις μετεωρολογικών δορυφόρων Radar σε συνδυασμό με μετρήσεις από επίγεια βροχόμετρα, των οποίων οι εκροές γενικεύονται και επεκτείνονται εάν υποστηριχθούν από αριθμητικά μοντέλα πρόβλεψης του καιρού.

Άρα, το συμπέρασμα είναι πως τα διαφορετικά προγνωστικά μοντέλα, όπως και τα παραγόμενα (απεικονίσεις, χάρτες κ.ά.) , που προκύπτουν από τα συμβάντα παρελθόντων καταστροφών, υπό κατάλληλες προϋποθέσεις δυνητικά συμβάλλουν στον βελτιωμένο σχεδιασμό, έχοντας ως απώτερο στόχο την μείωση της διακινδύνευσης. Οι απεικονίσεις και τα εξαγόμενα αυτών μπορούν να προσφέρουν ενημέρωση- επικαιροποίηση αν ενταχθούν σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και συνδυαστούν με μια υφιστάμενη πληροφοριακή βάση η οποία είτε αναφέρεται στην τοπογραφία/ υδρογραφία (αρχεία μοντέλων εδάφους, DEMs, DTMs, αρχεία κλίσεων, υδρογραφικής συχνότητας και πυκνότητας κ.ά.) και με αρχεία που αφορούν στις καλύψεις/ χρήσεις γης και στις διάφορες ιδιότητές τους οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά τον τρόπο εξέλιξης φαινομένων υδρολογικής φύσης.

### 1.4.1 Δορυφόρος Landsat 8

Ο Landsat 8 είναι ένας δορυφόρος παρατήρησης της Γης, ο όγδοος κατά σειρά στο πρόγραμμα Landsat και ο έβδομος που κατάφερε να φτάσει σε τροχιά με επιτυχία. Το πρόγραμμα Landsat ανήκει στην Landsat Data Continuity Mission (LDCM), η οποία είναι μια συνεργασία μεταξύ της NASA και της Γεωλογικής

Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών ( United States Geological Survey- USGS). Η NASA είναι υπεύθυνη για την μηχανική ανάπτυξη των συστημάτων της αποστολής και την δημιουργία του οχήματος εκτόξευσης του δορυφόρου, ενώ η USGS είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη των συστημάτων εδάφους και την σωστή λειτουργία των εργασιών της αποστολής που βρίσκεται σε εξέλιξη.

Ο δορυφόρος εκτοξεύτηκε πάνω σε έναν φορέα πυραύλων Atlas V 401. Η εκτόξευση πραγματοποιήθηκε στις 18:02 UTC (10:02 PST) στις 11 Φεβρουαρίου του 2013, από το Συγκρότημα εκτόξευσης 3E στη βάση Vandenberg της Πολεμικής Αεροπορίας. Ο Landsat 8 ακολουθεί τον Landsat 7 σε τροχιά, παρέχοντας αυξημένη κάλυψη της επιφάνειας της Γης.

Με τον Landsat 5 να αποσύρεται στις αρχές του 2013, αφήνοντας τον Landsat 7 ως τον μόνο σε τροχιά δορυφόρο του προγράμματος Landsat, ο Landsat 8 εξασφάλισε τη συνεχή απόκτηση και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων Landsat χρησιμοποιώντας ένα ωφέλιμο φορτίο δύο αισθητήρων, του Operational Land Imager (OLI) και του Thermal InfraRed Sensor (TIRS). Αντίστοιχα, τα δύο αυτά όργανα συλλέγουν δεδομένα εικόνες για εννέα μικρού μήκους κύματος ζώνες και δύο μεγάλου μήκους κύματος θερμικές ζώνες. Ο δορυφόρος έχει αναπτυχθεί με χρόνο ζωής της αποστολής του 5,25 χρόνια, αλλά έχει αρκετά καύσιμα για να λειτουργεί και να παρέχει πληροφορίες για πάνω από δέκα χρόνια.

Ο Landsat 8 αποτελείται από τρεις βασικούς στόχους της αποστολής και της επιστήμης:

- Συλλέγει και αρχειοθετεί πολυφασματικά δεδομένα εικόνες μεσαίας ανάλυσης (30-μετρη χωρική ανάλυση) που παρέχουν εποχιακή κάλυψη των παγκόσμιων επιφανειών του εδάφους για μια περίοδο όχι μικρότερη από 5 χρόνια
- Εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα του Landsat 8 είναι αρκετά συνεπή με τα στοιχεία από τις προηγούμενες Landsat αποστολές από την άποψη της γεωμετρίας με την οποία αποκτήθηκαν, της βαθμονόμησης, των χαρακτηριστικών κάλυψης, των φασματικών χαρακτηριστικών, την ποιότητα των προϊόντων της παραγωγής και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων για να επιτραπούν μελέτες της εδαφοκάλυψης και της αλλαγής της χρήσης γης με την πάροδο του χρόνου
- Διανέμει προϊόντα δεδομένων του Landsat 8 στο ευρύ κοινό χωρίς κόστος για τον χρήστη.

Παρέχοντας μέτρια ανάλυση εικόνων της επιφάνειας της Γης και των πολικών περιοχών σε ύψος από 15 έως 100 μέτρα, ο Landsat 8 λειτουργεί στο ορατό, στο εγγύς υπέρυθρο, στο μικρό μήκους κύματος υπέρυθρο και στα θερμικά υπέρυθρα φάσματα. Ο Landsat 8 συλλαμβάνει πάνω από 700 σκηνές την ημέρα, μια αύξηση από τις 250 σκηνές την ημέρα που απαθανατίζει ο Landsat 7. Οι OLI και TIRS αισθητήρες βελτιώνουν το σήμα επιτρέποντας 12-bit κβαντισμού των

δεδομένων, δηλαδή περισσότερα bits για τον καλύτερο χαρακτηρισμό της κάλυψης της Γης.

Προγραμματισμένες παράμετροι για τα πρότυπα προϊόντα του Landsat 8:

Τύπος προϊόντος: Επίπεδο 1T (εδάφους διορθωμένου)

Μορφή αποτελεσμάτων: GeoTIFF

Μέγεθος pixel: 15 μέτρα / 30 μέτρα / 100 μέτρα (παγχρωματικό / πολυφασματικό / θερμικό)

Χάρτης προβολής: UTM (Πολικός Στερεογραφικός για την Ανταρκτική)

Datum: WGS 84

Προσανατολισμός: Βορειος (χάρτης)

Αναδειγματοληψία: Κυβική συνέλιξη

Ακρίβεια:

OLI: 12 μέτρα κυκλικό σφάλμα, το 90 τοις εκατό της εμπιστοσύνης

TIRS: 41 μέτρα κυκλικό σφάλμα, το 90 τοις εκατό της εμπιστοσύνης

### **Operational Land Imager**

Ο Operational Land Imager (OLI) του Landsat 8 βελτιώνει την προηγούμενους αισθητήρες Landsat και δημιουργήθηκε από την Ball Aerospace, βάσει σύμβασης με την NASA. Το όργανο OLI χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα pushbroom αντί των αισθητήρων whiskbroom που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενους δορυφόρους Landsat. Ο αισθητήρας pushbroom ευθυγραμμίζει τις συστοιχίες ανιχνευτών απεικόνισης μαζί με το εστιακό επίπεδο του Landsat 8 επιτρέποντας του να δει ολόκληρη την λωρίδα, σε οπτικό πεδίο μήκους 115 μίλια (185 χιλιόμετρα). Με πάνω από 7.000 ανιχνευτές ανά φασματική ζώνη, ο σχεδιασμός pushbroom λειτουργεί αποτελεσματικά στην αυξημένη ευαισθησία, με λιγότερα κινούμενα μέρη και η βελτιωμένη πληροφόρηση της επιφάνειας της γης.

Το όργανο OLI συλλέγει δεδομένα από εννέα φασματικές ζώνες. Επτά από τις εννέα ζώνες είναι συμβατές με αισθητήρες που υπήρχαν σε προηγούμενους δορυφόρους Landsat (Thematic Mapper(TM) και Enhanced Thematic Mapper Plus(ETM+) ) παρέχοντας συμβατότητα με τα ιστορικά δεδομένα Landsat, βελτιώνοντας παράλληλα τις δυνατότητες μέτρησης. Δύο νέες φασματικές ζώνες, μια βαθιά μπλε παράκτια / αεροζόλ ζώνη και μια μικρού μήκους κυμάτων-υπέρυθρη κιτρινοκόκκινη ζώνη, θα συλλέγονται, επιτρέποντας στους

επιστήμονες να μετρήσουν την ποιότητα του νερού και τη βελτίωση της ανίχνευσης των υψηλών, λεπτών σύννεφων.

**Πίνακας 2. Φασματικά Κανάλια OLI (OLI Spectral Bands)**

Φασματικό κανάλι (Spectral Band)	Μήκος κύματος (Wavelength)	Χωρική Διακριτική Ικανότητα (Resolution)
Κανάλι 1 - Coastal / Aerosol	0.433 – 0.453 $\mu\text{m}$	30 m
Κανάλι 2 - Blue	0.450 – 0.515 $\mu\text{m}$	30 m
Κανάλι 3 - Green	0.525 – 0.600 $\mu\text{m}$	30 m
Κανάλι 4 - Red	0.630 – 0.680 $\mu\text{m}$	30 m
Κανάλι 5 - Near Infrared	0.845 – 0.885 $\mu\text{m}$	30 m
Κανάλι 6 - Short Wavelength Infrared	1.560 – 1.660 $\mu\text{m}$	30 m
Κανάλι 7 - Short Wavelength Infrared	2.100 – 2.300 $\mu\text{m}$	30 m
Κανάλι 8 - Panchromatic	0.500 – 0.680 $\mu\text{m}$	15 m
Κανάλι 9 - Cirrus	1.360 – 1.390 $\mu\text{m}$	30 m

### **Thermal InfraRed Sensor**

Ο θερμικός αισθητήρας υπέρυθρων (TIRS), που χτίστηκε από το Κέντρο Διαστημικών Πτήσεων Goddard της NASA, κάνει θερμική απεικόνιση και υποστηρίζει τις αναδυόμενες εφαρμογές, όπως οι μετρήσεις του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής για τη διαχείριση των υδάτων.

**Πίνακας 3. Φασματικά Κανάλια TIRS (TIRS Spectral Bands)**

<b>Φασματικό κανάλι (Spectral Band)</b>	<b>Μήκος κύματος (Wavelength)</b>	<b>Χωρική Διακριτική Ικανότητα (Resolution)</b>
Band 10 - Long Wavelength Infrared	10.30 – 11.30 $\mu\text{m}$	100 m
Band 11 - Long Wavelength Infrared	11.50 – 12.50 $\mu\text{m}$	100 m

Οι εμφανείς διαφορές των εικόνων Landsat 8 από εκείνες του Landsat 5 είναι:

- Οι LDCM εικόνες έχουν αυξημένη ραδιομετρική ανάλυση 16bit ενώ ο Landsat 5 είχε μόνο 8.
- Οι εικόνες LDCM περιλαμβάνουν το παγχρωματικό κανάλι, 2 θερμικά αντί του 1 του Landsat 5 και επιπλέον το κανάλι Cirrus σε μήκη 1,36 - 1,38 $\mu\text{m}$
- Το μέγεθος μιας εικόνας LDCM είναι > 1,4GB σε σύγκριση με το τυπικό μέγεθος των εικόνων Landsat 5 (100-200MB).

Το κανάλι «Cirrus» είναι ένα νέο στοιχείο του LDCM. Καταδεικνύει την ύπαρξη νεφών, με τις πιο πυκνές συγκεντρώσεις να αποδίδονται με υψηλές τιμές εικονοστοιχείων (φωτεινά pixels).

Το Cirrus αποδίδεται σε ανάλυση 30 μέτρων και ενώ δεν μπορεί να συνδυαστεί άμεσα με τα υπόλοιπα κανάλια για εκτέλεση τυπικών εργασιών ανάλυσης (π.χ. ταξινόμησης), είναι κατάλληλο για τη γρήγορη απομόνωση των περιοχών που καλύπτονται από νεφοκάλυψη.

### **Συμβατότητα με Landsat 5**

Ένας από τους βασικούς σκοπούς της αποστολής Landsat 8 είναι η συνέχεια του διαχρονικού αρχείου του προγράμματος Landsat. Το χρονικό διάστημα που καλύπτει το αρχείο αυτό είναι το μακροβιότερο στην ιστορία της τηλεπισκόπησης καθώς χρονολογείται από το 1972 έως την άνοιξη του 2011. Η παρακολούθηση των μεταβολών με τη διαδικασία της σύγκρισης που ενδεχομένως να προβλημάτισε τον αναλυτή είναι:

1. Διαφορά ραδιομετρικής ανάλυσης. Προτείνεται η μεταβολή του εύρους τιμών σε μια από τις δύο εικόνες.
2. Διαφορά στη φασματική ανάλυση. Το κανάλι Coastal αφαιρείται και έτσι οι εικόνες ταυτίζονται φασματικά.

3. Διαφορά τύπου δεδομένων. Προτείνεται η μετατροπή του LDCM από floating point σε byte.

### 1.4.2 Δορυφόρος Sentinel 1

Η αποστολή Sentinel 1 υποστηρίζεται από το πρόγραμμα της ESA, Copernicus και αποτελείται από δυο δορυφόρους ενεργητικής τηλεπισκόπησης, σε αντίθετες τροχιές 180°, εξοπλισμένους με radar ακτινοβολίας καναλιού C. Οι δύο δορυφόροι συνεργάζονται και καταγράφουν ολόκληρη την επιφάνεια της γης κάθε 6 μέρες.

Οι αισθητήρες radar που ενσωματώνονται στους δορυφόρους της αποστολής Sentinel 1 εξάγουν δορυφορικά προϊόντα με διαφορετικές φυσικές και ψηφιακές παραμέτρους. Κάποια από αυτά τα δορυφορικά προϊόντα είναι τα προϊόντα τύπου συμβολομετρίας ευρείας λωρίδας (IW) το οποίο υποστηρίζει την καταγραφή ανακλώμενων σημάτων σύνθετων πολώσεων (VH -Vertical Horizontal & VV -Vertical Vertical) ενώ ταυτόχρονα έχει καλή χωρική ανάλυση (5 X 20 m). Η πόλωση αναφέρεται στην κατεύθυνση της γραμμικής πόλωσης του σήματος κατά την εκπομπή αλλά και την λήψη. Έτσι, εάν ο δορυφόρος εκπέμπει και λαμβάνει σήμα με κάθετη γραμμική πόλωση, το προϊόν συμβολίζεται ως VV (Vertical Vertical) όπως αντίστοιχα και για την οριζόντια πόλωση (HH- Horizontal Horizontal). Επίσης, για την εκτενέστερη ερμηνεία του σήματος υπάρχουν αισθητήρες σύνθετης πολώσεως, όπως αυτός του Sentinel 1, που εκπέμπουν ακτινοβολία σε μια συγκεκριμένη πόλωση και καταγράφουν το οπισθοσκεδαζόμενο σήμα σε μια άλλη. Οι διάφοροι συνδυασμοί σύνθετης πόλωσης συμβολίζονται με δύο κεφαλαία γράμματα, που συμβολίζουν την πόλωση κατά την εκπομπή και την πόλωση κατά την καταγραφή όπως π.χ. ο συνδυασμός VH (Vertical Horizontal) & ο HV (Horizontal Vertical).

Τα αποτελέσματα της αποστολής αναμένεται να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος εφαρμογών και περιβαλλοντικών μελετών όπως η παρακολούθηση των πάγων της Αρκτικής και του διαθέσιμου πάγου στους ωκεανούς, η καταγραφή ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδων και ο εντοπισμός πλοίων για την ναυτική ασφάλεια. Επίσης, τα δεδομένα του Sentinel 1 είναι χρήσιμα στην ανάλυση επικινδυνότητας σεισμικών φαινομένων, στην χαρτογράφηση των δασών και την χαρτογράφηση και διαχείριση εδάφους και ύδατος για την κάλυψη αναγκών και την αντιμετώπιση ανθρωπιστικών κρίσεων.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των διαφορετικών προϊόντων του δορυφόρου Sentinel 1:

**Πίνακας 4. Βασικά Χαρακτηριστικά των προϊόντων του δορυφόρου Sentinel 1.**

Parameter	Interferometric Wide-swath mode (IW)	Wave mode (WV)	Strip mode (SM)	Map mode (EW)	Wide-mode
-----------	--------------------------------------	----------------	-----------------	---------------	-----------

<b>Polarisation</b>	Dual (HH + HV, VV + VH)	Single (HH, VV)	Dual (HH + HV, VV + VH)	Dual (HH + HV, VV + VH)
<b>Access (incidence angles)</b>	31°–46°	23°–37° (mid incidence angle)	20°–47°	20°–47°
<b>Azimuth resolution</b>	< 20 m	< 5 m	< 5 m	< 40 m
<b>Ground range resolution</b>	< 5 m	< 5 m	< 5 m	< 20 m
<b>Azimuth and range looks</b>	Single	Single	Single	Single
<b>Swath</b>	> 250 km	Vignette 20 × 20 km	> 80 km	> 410 km
<b>Maximum NESZ</b>	– 22 dB	– 22 dB	– 22 dB	– 22 dB
<b>Radiometric stability</b>	0.5 dB (3σ)	0.5 dB (3σ)	0.5 dB (3σ)	0.5 dB (3σ)
<b>Radiometric accuracy</b>	1 dB (3σ)	1 dB (3σ)	1 dB (3σ)	1 dB (3σ)
<b>Phase error</b>	5°	5°	5°	5°

### 1.4.3 Πρόγραμμα Κοπέρνικος (Copernicus)

Ο Κοπέρνικος, με παλαιότερη ονομασία Παγκόσμια Παρακολούθηση του Περιβάλλοντος και της Ασφάλειας (Global Monitoring for Environment and Security - GMES), είναι ένα πρόγραμμα της ΕΕ που αποσκοπεί στην ανάπτυξη των ευρωπαϊκών υπηρεσιών πληροφοριών που βασίζονται σε ένα δορυφόρο γεωσκόπησης και σε in situ (μη κενών) δεδομένων (<http://www.copernicus.eu/>). Το πρόγραμμα Κοπέρνικος υλοποιείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission- EC) με την υποστήριξη του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (European Space Agency- ESA) για τη συνιστώσα του Διαστήματος και του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος ΕΟΠ (European Environment Agency- EEA) για την επίγεια συνιστώσα.

Ο στόχος του Κοπέρνικου είναι να παρακολουθεί και να προβλέπει την κατάσταση του περιβάλλοντος στην ξηρά, στη θάλασσα και στην ατμόσφαιρα, προκειμένου να υποστηρίξει τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προσαρμογή των στρατηγικών, την αποτελεσματική διαχείριση των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και τη βελτίωση της ασφάλειας του κάθε πολίτη. Οι πληροφορίες που παρέχονται από τον Κοπέρνικο, θα βελτιώσουν την ασφάλεια των ανθρώπων, π.χ. με την παροχή

πληροφοριών σχετικά με τις φυσικές καταστροφές, όπως οι δασικές πυρκαγιές ή πλημμύρες, και έτσι θα βοηθήσουν στην πρόληψη της απώλειας ανθρωπίνων ζωών, των περιουσιών και των βλαβών στο περιβάλλον.

Οι υπηρεσίες πληροφοριών που παρέχονται από το πρόγραμμα Κοπέρνικος είναι ελεύθερες και προσβάσιμες στους χρήστες του και κυρίως στις δημόσιες αρχές.

### **Copernicus Emergency Management Service (EMS)**

Η Υπηρεσία Διαχείρισης Καταστάσεων Έκτακτης Ανάγκης (Emergency Management Service -EMS) του Κοπέρνικου παρέχει πληροφορίες για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης που σχετίζονται με την αντιμετώπιση διαφόρων ειδών καταστροφών, συμπεριλαμβανομένων των μετεωρολογικών κινδύνων, των γεωφυσικών κινδύνων, σκοπίμων ή τυχαίων ανθρωπογενών καταστροφών και άλλων ανθρωπιστικών καταστροφών, καθώς και την πρόληψη, την ετοιμότητα, την αντιμετώπιση και τις δραστηριότητες αποκατάστασης ( <http://emergency.copernicus.eu/> ) .

Η Υπηρεσία Διαχείρισης Καταστάσεων Έκτακτης Ανάγκης (Emergency Management Service -EMS) του Κοπέρνικου αποτελείται από την Υπηρεσία Χαρτογράφησης (Mapping Service) και το Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης για πλημμύρες (Early Warning System).

Η Υπηρεσία Διαχείρισης Καταστάσεων Έκτακτης Ανάγκης – Χαρτογράφηση (Emergency Management Service – Mapping), η οποία δραστηριοποιείται από την 1 Απριλίου του 2012, είναι μια πλήρως λειτουργική υπηρεσία, όπως ορίζεται στο άρθρο 5 του κανονισμού του Κοπέρνικου.

### **Copernicus Emergency Management Service (EMS) Mapping**

Η Υπηρεσία Διαχείρισης Καταστάσεων Έκτακτης Ανάγκης (EMS) και Χαρτογράφησης ξεκίνησε τη λειτουργία της το Φεβρουάριο του 2015. Είναι η επόμενη EMS φάση της GMES Initial Operations (GIO). Η EMS - Mapping αποτελείται από ένα σύνολο υπηρεσιών χαρτογράφησης που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Η Υπηρεσία Διαχείρισης Καταστάσεων Έκτακτης Ανάγκης (EMS) και Χαρτογράφησης του Κοπέρνικου αντιμετωπίζει, με παγκόσμια κάλυψη, ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων έκτακτης ανάγκης που προκύπτουν από φυσικές ή ανθρωπογενείς καταστροφές. Οι δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιούνται ως κύρια πηγή δεδομένων για τις καταστροφές.

Καλύπτει ιδίως:

- Πλημμύρες
- Σεισμούς
- Κατολισθήσεις
- Σοβαρές καταιγίδες

- Πυρκαγιές
- Τεχνολογικές καταστροφές
- Ηφαιστειακές εκρήξεις
- Ανθρωπιστικές κρίσεις
- Τσουνάμι



Εικόνα 6. Copernicus EMS- Mapping

#### 1.4.4 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

Η Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) είναι μία διεθνής ερευνητική προσπάθεια κατά την οποία λαμβάνονται ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα για μια σχεδόν παγκόσμια κλίμακα από 56 ° S (νότια) έως 60 ° N (βόρεια), για να δημιουργήσουν την πιο ολοκληρωμένη, υψηλής ανάλυσης ψηφιακή τοπογραφική βάση δεδομένων της Γης πριν από την εκτόξευση του ASTER GDEM το 2009. Η SRTM αποτελείται από ένα ειδικά τροποποιημένο σύστημα ραντάρ που πέταξε πάνω στο διαστημικό λεωφορείο Endeavour κατά τη διάρκεια των 11 ημερών της αποστολής STS-99 τον Φεβρουάριο του 2000, βασισμένο στο παλαιότερο Spaceborne Imaging Radar-C/X-band Synthetic Aperture Radar (SIR-C/X-SAR), που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως για το Shuttle το 1994. Για την απόκτηση τοπογραφικών δεδομένων,

το ωφέλιμο φορτίο SRTM ήταν εφοδιασμένο με δύο κεραίες ραντάρ. Η μια κεραία βρισκόταν στον κόλπο του ωφέλιμου φορτίου του διαστημικού λεωφορείου, ενώ η άλλη - μια κρίσιμη αλλαγή από το SIR-C / X-SAR, επιτρέποντας single-pass συμβολομετρίας - στο τέλος ενός 60-μετρου (200 πόδια) ιστού από τον κόλπο του ωφέλιμου φορτίου όταν το λεωφορείο ήταν στο διάστημα. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε είναι γνωστή ως interferometric synthetic aperture radar.

Τα υψομετρικά μοντέλα που προέρχονται από τα δεδομένα SRTM χρησιμοποιούνται σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Μπορούν να κατέβουν ελεύθερα από το Διαδίκτυο, και η μορφή αρχείου τους (.hgt) υποστηρίζεται ευρέως.

### **Περιοχές χωρίς δεδομένα**

Τα υψομετρικά σύνολα δεδομένων επηρεάζονται από περιοχές βουνού και ερήμου χωρίς δεδομένα. Αυτά ανέρχονται σε όχι περισσότερο από 0,2% της συνολικής έκτασης που ερευνήθηκε, αλλά μπορεί να είναι ένα πρόβλημα σε περιοχές με πολύ υψηλό ανάγλυφο. Επηρεάζουν όλες τις κορυφές πάνω από 8.000 μέτρα, τις περισσότερες κορυφές πάνω από 7.000 μέτρα, πολλές κορυφές των Άλπεων και παρόμοιες κορυφές και κορυφογραμμές και πολλά φαράγγια και χαράδρες. Υπάρχουν κάποιες πηγές δεδομένων SRTM οι οποίες έχουν γεμίσει αυτά τα κενά των δεδομένων, αλλά μερικά από αυτά έχουν χρησιμοποιήσει μόνο παρεμβολή από γειτονικά δεδομένα και μπορεί συνεπώς να είναι πολύ ανακριβή. Άλλοι προγραμματιστές, συμπεριλαμβανομένης της NASA World Wind και του Google Earth, βελτίωσαν τα αποτελέσματά τους με τη χρήση 1-arc-second για τις Ηνωμένες Πολιτείες και 3-arc-second για τον υπόλοιπο κόσμο (δεδομένα στη διαδικασία παρεμβολής), αλλά λόγω της χαμηλής ανάλυσης αυτών των δεδομένων και της πολύ κακής ποιότητας ορισμένων από αυτά, έχουν βελτιώσει περαιτέρω τις υπηρεσίες τους προβολής της Γης με την προσθήκη στοιχείων από άλλες πηγές.

Τον Νοέμβριο του 2013, η LP DAAC κυκλοφόρησε την Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Version 3.0 (SRTM Plus) της NASA, όπου όλα τα κενά είχαν εξαλειφθεί. Τα κενά γέμισαν κυρίως από τον ASTER GDEM2, και δευτερευόντως από τον USGS GMTED2010 - ή USGS National Elevation Dataset (NED) για τις Ηνωμένες Πολιτείες (με εξαίρεση την Αλάσκα) και βορειότερα του Μεξικού, σύμφωνα με την ανακοίνωση.

### **Υψηλότερη ανάλυση παγκόσμιου τύπου**

Η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών ανακοίνωσε στις 23 Σεπτεμβρίου του 2014 μετά από μια διάσκεψη για το κλίμα των Ηνωμένων Εθνών ότι η υψηλότερη δυνατή ανάλυση των παγκόσμιων τοπογραφικών δεδομένων που προκύπτουν από την αποστολή SRTM θα κυκλοφορήσει στο κοινό. Και πριν από το τέλος του ίδιου έτους κυκλοφόρησε ένα 1-arc-second παγκόσμιο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (30 μέτρα). Το μεγαλύτερο μέρος του κόσμου έχει καλυφθεί από αυτό το σύνολο δεδομένων που κυμαίνονται σε γεωγραφικό πλάτος από 54 μοίρες νότια έως 60 μοίρες βόρεια εκτός

από την περιοχή της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής. Η ελλειπής κάλυψη της Μέσης Ανατολής ολοκληρώθηκε τον Αύγουστο του 2015.

#### **1.4.5 Δείκτες Βλάστησης**

Οι δείκτες βλάστησης είναι ποσοτικές εκφράσεις οι οποίες υπολογίζονται από τις τιμές λαμπρότητας των δορυφορικών δεδομένων και σχετίζονται κυρίως με την κατάσταση της βλάστησης ή τη βιομάζα. Η συσχέτιση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και των δεικτών βλάστησης αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της παρακολούθησης του περιβάλλοντος με τηλεπισκόπηση και έχει μελετηθεί ευρέως. Η χρήση των δεικτών βλάστησης στην τηλεπισκόπηση βασίζεται στο εξής γεγονός: Όταν το φύλλωμα που περιέχει χλωροφύλλη καταστρέφεται, τότε η αναλογία της κόκκινης και της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας αλλάζει. Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται συχνά ως ποιοτικά εργαλεία για τη χαρτογράφηση της βλάστησης, αν και σ' αυτή την περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη η γωνία του ήλιου και του αισθητήρα του δορυφόρου εξ' αιτίας των φαινομένων σκίασης που παρατηρούνται. Επίσης, χρησιμοποιούνται και ως ποσοτικά εργαλεία για την υποβοήθηση της ταξινόμησης μίας εικόνας, για το διαχωρισμό των εκτάσεων με βλάστηση και χωρίς βλάστηση και ως βοηθητικά εργαλεία για τον ακριβέστερο καθορισμό των διαφόρων τύπων και πυκνοτήτων βλάστησης. Επιπλέον, σημαντική είναι και η χρησιμοποίησή τους σε διάφορα χρονικά διαστήματα για την παρακολούθηση της βλάστησης στις εποχές του χρόνου ή στις συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών ετών όσον αφορά την υγεία της βλάστησης, την ποσότητα και την κατανομή της.

Σύμφωνα με τον Jensen (2005) ένας δείκτης βλάστησης πρέπει να:

1. Μεγιστοποιεί την ευαισθησία στις βιοφυσικές παραμέτρους των φυτών. Προτιμότερο δε είναι να έχει γραμμική εξάρτηση με τις βιοφυσικές παραμέτρους και να έχει ένα μεγάλο εύρος από καταστάσεις της βλάστησης και να διευκολύνει την επικύρωση και βαθμονόμηση του δείκτη.
2. Κανονικοποιεί ή να μοντελοποιεί εξωτερικές επιρροές όπως τη γωνία του ήλιου, τη γωνία του αισθητήρα και την ατμόσφαιρα για συνεπείς χωρικές και χρονικές συγκρίσεις.
3. Κανονικοποιεί εσωτερικές επιρροές όπως επιπτώσεις από την ποικιλομορφία των κομών των δέντρων, συμπεριλαμβάνοντας την τοπογραφία (κλίση και έκθεση στον ορίζοντα), διαφοροποιήσεις που οφείλονται στο έδαφος και να ξεχωρίζει την ξυλώδη από την ξηρή βλάστηση.
4. Να είναι συνδεδεμένος με κάποιες ειδικές μετρήσιμες βιοφυσικές παραμέτρους όπως η βιομάζα και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας για να μπορούν να επαληθευτούν από επίγειες μετρήσεις και να γίνει έλεγχος της ποιότητάς τους.

Οι δείκτες βλάστησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν ή να ανιχνεύσουν διάφορα χαρακτηριστικά της βλάστησης όπως:

- Ανάλυση χωρικής κατανομής της βλάστησης
- Ανίχνευση διάφορων γεγονότων (π.χ. ξηρασία, έξαψη της βλαστητικής δραστηριότητας μετά από βροχοπτώσεις κ.τ.λ.)
- Το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index – LAI)
- Το ποσοστό κάλυψης της υγιούς βλάστησης (Fractional Vegetation Cover)
- Ακτινοβολία που απορροφάται ως ενέργεια για τη φωτοσύνθεση και την παραγωγή των καλλιεργειών
- Τα αποθέματα και τη ροή του άνθρακα
- Ανίχνευση των πρόσφατων βροχοπτώσεων

Για τους δείκτες βλάστησης υπάρχουν 3 κύριες περιοχές έρευνας:

- i. Η εκτίμηση της ικανότητάς τους να καθορίζουν τις βιολογικές ιδιότητες των φυτών
- ii. Ο ρόλος τους ως χαρτογραφικά εργαλεία για να διαχωρίσουν περιοχές με βλάστηση από άλλες χωρίς βλάστηση και
- iii. Η βελτίωση των μαθηματικών τους τύπων, έτσι ώστε να είναι προσαρμοσμένοι για χρήση σε διαφορετικά περιβάλλοντα

Οι δείκτες βλάστησης έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην παρακολούθηση της βλάστησης, επειδή συσχετίζονται με διάφορες παραμέτρους που περιγράφουν την κατάσταση της βλάστησης, όπως:

- Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI),
- η φαινολογία της βλάστησης,
- το κλάσμα της ενεργού φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας που απορροφάται από τη βλάστηση (fAPAR),
- την πυκνότητα της βλάστησης,
- την ξηρότητα και την υγεία της φυσικής και διαχειριζόμενης βλάστησης.



Εικόνα 7. Εφαρμογή Δείκτη Βλάστησης NDVI

## **NDVI**

Η πρώτη φορά που η ανάκλαση στην κόκκινη και εγγύς υπέρυθρες περιοχές συνδυάστηκαν, ήταν στην μέτρηση του δείκτη φυλλώδους περιοχής index (LAI) σε δασικά δέντρα (Jordan, 1969). Ο πρώτος αυτός δείκτης χρησιμοποίησε την αναλογία κοντινό υπέρυθρο προς κόκκινο (NIR/RED) και στη συνέχεια εφαρμόστηκε με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων από τους δορυφόρους LANDSAT / MSS της NASA. Περαιτέρω μελέτες διαπίστωσαν ότι η κανονικοποιημένη εκδοχή της αναλογίας λειτουργεί καλύτερα σε ορισμένες περιπτώσεις, κι έτσι ο **Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index) NDVI** δημιουργήθηκε. Ανάμεσα στους πολυάριθμους δείκτες βλάστησης που υπάρχουν, ο NDVI έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο στην παρακολούθηση της βλάστησης λόγω των πλεονεκτημάτων του.

Συγκεκριμένα ο δείκτης βλάστησης NDVI, είναι από τους παλαιότερους, πιο γνωστούς και πιο συχνά χρησιμοποιούμενους δείκτες βλάστησης. Είναι ανθεκτικός κάτω από την επίδραση διαφόρων συνθηκών, λόγω του κανονικοποιημένου τύπου του και της υψηλής απορρόφησης της ανακλώμενης ακτινοβολίας που παρουσιάζει στις περιοχές του φάσματος όπου υπάρχει χλωροφύλλη. Όμως, κάτω από συνθήκες πυκνής βλάστησης και όταν ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας - Leaf Area Index (LAI) παίρνει μεγάλες τιμές, μπορεί να πάθει κορεσμό σήματος (saturation) στις τιμές του κι έτσι να μην αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση της χλωροφύλλης. Επίσης είναι πολύ ευαίσθητος στις μεταβολές της βλάστησης του υπορόφου και η υποβάθμιση του σήματός του γίνεται πιο έντονη όταν υπάρχουν συνθήκες υψηλής βιομάζας στον υπόροφο. Παίρνει τιμές από -1 έως +1, όμως οι συνήθεις τιμές που εμφανίζει για την υγιή βλάστηση είναι από +0.2 έως +1.

Ο μαθηματικός τύπος του δείκτη αυτού είναι ο παρακάτω:

$$NDVI = \frac{p_{NIR} - p_{RED}}{p_{NIR} + p_{RED}} \quad (1)$$

Όπου: p είναι η ανακλώμενη ακτινοβολία αντίστοιχα σε κάθε δίαυλο.

Ωστόσο, ο NDVI έχει ιδιαίτερες αδυναμίες. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα λεπτά σύννεφα μπορούν να επηρεάσουν τον υπολογισμό του NDVI όταν χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα. Όταν η κάλυψη βλάστησης είναι χαμηλή, ό,τι είναι κάτω από την κόμη της βλάστησης συμβάλλει στο καταγραφόμενο σήμα ανάκλασης. Αυτό μπορεί να είναι γυμνό έδαφος, κατάλοιπα βλάστησης ή κάποιο άλλο είδος βλάστησης. Καθένα από αυτά τα έχει ιδιαίτερη και διαφορετική φασματική απόκριση από την βλάστηση που μελετάται.

## **NDWI και MNDWI**

Ακολουθώντας την ίδια λογική όπως για τον NDVI, ο **Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Difference Water Index) NDWI** χρησιμοποιεί το κοντινό υπέρυθρο φάσμα και μια περιοχή στο βραχύ υπέρυθρο (short-wave infrared - SWIR) (Gao, 1996). Αντί να χρησιμοποιεί την κόκκινη ζώνη, η ανάκλαση στην οποία επηρεάζεται από τη χλωροφύλλη, χρησιμοποιείται μια περιοχή μεταξύ 1500 και 1750 nm όπου το νερό έχει υψηλή απορρόφηση. Η περιοχή του κοντινού υπέρυθρου είναι η ίδια όπως και με τον NDVI, καθώς δεν απορροφάται το νερό σε αυτή την περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ο NDWI δείκτης εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$NDWI = \frac{p_{NIR} - p_{SWIR}}{p_{NIR} + p_{SWIR}} \quad (2)$$

Ο δείκτης έχει σχεδιαστεί για:

- i. τη μεγιστοποίηση της ανάκλασης του νερού με τη χρήση πράσινων μηκών κύματος
- ii. την ελαχιστοποίηση της χαμηλής ανακλαστικότητας του κοντινού υπέρυθρου φάσματος (NIR) από τα χαρακτηριστικά του νερού
- iii. την εκμετάλλευση της υψηλής ανακλαστικότητας του NIR από τη βλάστηση και τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

Σαν αποτέλεσμα, τα χαρακτηριστικά του νερού έχουν θετικές τιμές και ως εκ τούτου είναι ενισχυμένα, ενώ η βλάστηση και το έδαφος συνήθως έχουν μηδενικές ή αρνητικές τιμές και επομένως καταστέλλονται (McFeeters 1996).

Ωστόσο, υπάρχουν φορές που με την εφαρμογή του NDWI σε περιοχές του νερού με φόντο οικιστική γη, οι πληροφορίες που προκύπτουν για το νερό είναι αναμειγμένες με θόρυβο οικιστικών χαρακτηριστικών της γης. Αυτό σημαίνει ότι πολλά οικιστικά χαρακτηριστικά της γης μπορεί να έχουν επίσης θετικές τιμές στην εικόνα NDWI. Για να αφαιρεθεί ο οικιστικός θόρυβος της γης, πρέπει να εξεταστούν τα χαρακτηριστικά της υπογραφής της. Λεπτομερή εξέταση των υπογραφών αποκαλύπτει ότι εάν η ζώνη MIR χρησιμοποιείται αντί της NIR ζώνης στον NDWI, η οικιστική γη θα έχει αρνητικές τιμές. Με βάση αυτή την υπόθεση, ο NDWI τροποποιήθηκε με αντικατάσταση της ζώνης MIR από την ζώνη NIR.

Ο τροποποιημένος NDWI μπορεί να εκφραστεί ως MNDWI και η χαρακτηριστική του εξίσωση είναι :

$$MNDWI = \frac{p_{Green} - p_{MIR}}{p_{Green} + p_{MIR}} \quad (3)$$

όπου MIR είναι μια μεσαία υπέρυθρη ζώνη.

Ο υπολογισμός του MNDWI θα παράγει τρία αποτελέσματα:

- το νερό θα έχει μεγαλύτερες θετικές τιμές σε σχέση με τον NDWI καθώς απορροφά περισσότερο MIR φως από NIR φως
- η οικιστική γη θα έχει αρνητικές τιμές
- το έδαφος και η βλάστηση θα εξακολουθούν να έχουν αρνητικές τιμές αφού το έδαφος αντανακλά MIR φως περισσότερο από NIR φως (Jensen 2004) και η βλάστηση αντανακλά MIR φως ακόμα περισσότερο από το πράσινο φως.

## 2 Μεθοδολογία

### 2.1 Μεθοδολογία

Στην συγκεκριμένη παράγραφο αναφέρονται οι μέθοδοι, οι διαδικασίες, τα μαθηματικά και τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Όλα τα παραπάνω θα αναλυθούν διεξοδικά και λεπτομερώς στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, γίνεται η λήψη και η προεπεξεργασία των δορυφορικών εικόνων για την συγκέντρωση των δεδομένων οπισθοσκέδασης στα σημεία μελέτης. Η προεπεξεργασία των δορυφορικών εικόνων σε γενικές γραμμές περιλαμβάνει την συγχώνευση των καναλιών σε ένα μοναδικό αρχείο, την βαθμονόμηση, το φιλτράρισμα, την δυαδοποίηση, την ατμοσφαιρική διόρθωση, την τοπογραφική διόρθωση και την εξαγωγή του τελικού αρχείου. Η προεπεξεργασία για το προϊόν του κάθε δορυφόρου πραγματοποιείται με διακριτά λογισμικά και σε κάθε περίπτωση ακολουθείται ξεχωριστή μεθοδολογία και βήματα, λόγω της διαφορετικής τεχνολογίας των δορυφορικών προϊόντων που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Για τις εικόνες του δορυφόρου Sentinel 1 χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό με ονομασία **Snap Desktop (Sentinel Application Platform)**, το οποίο αποτελεί μια κοινή αρχιτεκτονική για όλες τις Sentinel εργαλειοθήκες και διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (European Space Agency-ESA). Μέσω του Snap Desktop προεπεξεργάζονται οι εικόνες και επιτυγχάνεται βαθμονόμηση (calibration), φιλτράρισμα (speckle filtering), δυαδοποίηση (binarization), γεωμετρική διόρθωση (geometric correction), τοπογραφική διόρθωση στο Google Earth (visualization in Google Earth) και ,τέλος, εξαγωγή του τελικού προϊόντος σε μορφή GeoTiff.

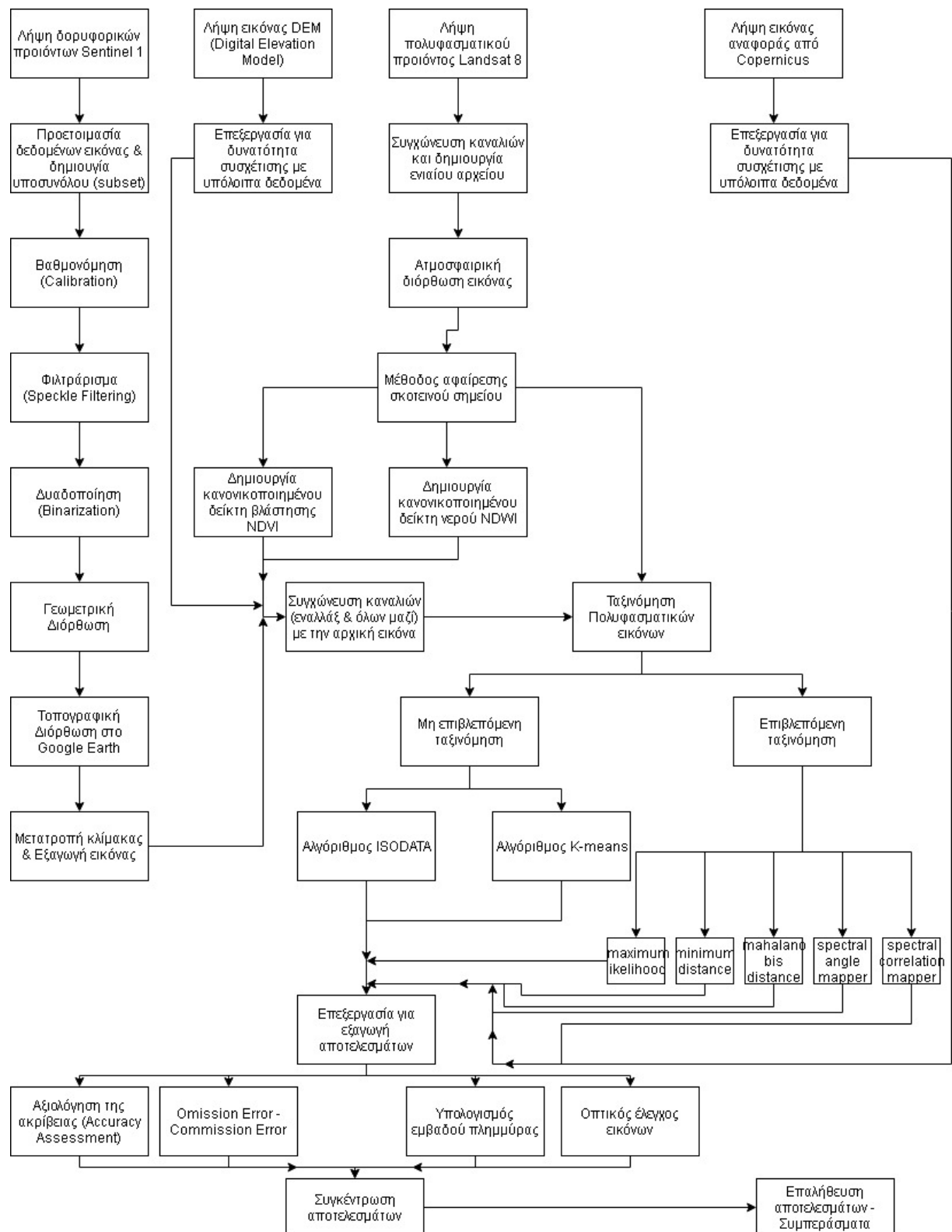
Τα προϊόντα του δορυφόρου Landsat 8 επεξεργάζονται με κλασσικά λογισμικά τηλεπισκόπησης τα οποία περιλαμβάνουν πληθώρα εργαλείων και αλγορίθμων για την αξιοποίηση των δορυφορικών προϊόντων σε ποικίλους τύπους εφαρμογών. Αρχικά, με την χρήση του λογισμικού Erdas Imagine 2016 πραγματοποιείται η συγχώνευση των καναλιών τα οποία είναι εγγεγραμμένα σε αυτόνομα αρχεία

GeoTiff. Έπειτα, γίνεται ατμοσφαιρική διόρθωση κατά την οποία στην αρχή χρησιμοποιείται έτοιμο script στο Erdas Imagine 2016 και εφαρμόζεται αλγόριθμος που παρέχει η NASA και πραγματοποιείται η μέθοδος αφαίρεσης σκοτεινού σημείου. Για την μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται, σε πρώτο στάδιο, το λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών Arcmap για την συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων και ολοκληρώνεται στο λογισμικό ERDAS Imagine 2016 με την χρήση script που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Στην συνέχεια, μέσω του Erdas Imagine 2016 υπολογίζονται οι δείκτες βλάστησης και πραγματοποιείται επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση σε όλες τις εικόνες που δημιουργήθηκαν μετά από την συγχώνευση των καναλιών (αφού κάθε φορά προσθαφαιρούμε διαφορετικά bands και δημιουργούμε μια διαφορετική τελική εικόνα) και τις διορθώσεις και υπολογίζεται κάθε φορά ο δείκτης kappa statistics μέσω του accuracy assessment. Επιπρόσθετα, υπολογίζεται το εμβαδόν της πλημμυρισμένης περιοχής για όλες τις διαφορετικές εικόνες που έχουμε, καθώς επίσης γίνεται και οπτικός έλεγχος για την ορθότητα της εκάστοτε πλημμυρισμένης περιοχής. Τέλος, σε κάθε ταξινομημένη εικόνα υπολογίζεται πόσα pixel ταξινομήθηκαν σε λάθος κατηγορία (Omission Error) , καθώς και πόσα pixel νερού ταξινομήθηκαν λανθασμένα (Commission Error).

Όλα τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς που αναφέρονται παραπάνω παρουσιάζονται αναλυτικά στην συνέχεια της παρούσας εργασίας μέσα σε αντίστοιχους πίνακες, ενώ στο τελικό στάδιο πραγματοποιείται η αξιολόγηση αυτών των αποτελεσμάτων.

Παρακάτω, παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 8. Διάγραμμα ροής

## 2.2 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι ο ποταμός Στρυμόνας και ειδικότερα ένα συγκεκριμένο κομμάτι του ποταμού, στο οποίο δημιουργήθηκε η ποτάμια πλημμύρα που μελετάμε, την χρονική στιγμή που μελετάμε, δηλαδή στις 04/04/2015.

Ο ποταμός **Στρυμόνας** είναι ένας από τους ποταμούς της Βαλκανικής Χερσονήσου με συνολικό μήκος 360 χιλιόμετρα, εκ των οποίων 242 χιλιόμετρα βρίσκονται στο έδαφος της Βουλγαρίας και 118 χιλιόμετρα σε ελληνικό έδαφος. Οι Βούλγαροι τον αποκαλούν με το όνομα **Στρούμια**, ενώ στην περίοδο της Τουρκοκρατίας ήταν γνωστός με την ονομασία **Καρά-Σού**. Στο ελληνικό έδαφος ο ποταμός ρέει αποκλειστικά στο έδαφος του νομού Σερρών και μαζί με τον **Αγγίτη**, που είναι ο κυριότερος ελληνικός παραπόταμός του, ανήκουν στην υδρογραφική λεκάνη της ανατολικής Μακεδονίας.



Εικόνα 9. Ο ποταμός Στρυμόνας στον χάρτη

### Διαδρομή ποταμού

Ο Στρυμόνας πηγάζει από το όρος Βίταζα, νοτιοδυτικά της Σόφιας σε υψόμετρο 2.200μ. Ρέει προς τον Νότο, αρχικά πολύ ορμητικός μέσα από απότομες χαράδρες, ενώ στη συνέχεια σχηματίζει μια εύφορη κοιλάδα ανάμεσα στα όρη Ρούγιεν και Ρίλα. Συνεχίζοντας την πορεία του προς την Ελλάδα, διανοίγει μια δίοδο ανάμεσα στα όρη Μάλες και Πιρίν και λίγο πριν την είσοδό του στο ελληνικό έδαφος δέχεται τα νερά του σημαντικότερου παραποτάμου του, του Στρούμιτσα, που πηγάζει από το όρος Πλακοβίτσα, που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της ΠΓΔΜ.

Στην Ελλάδα εισέρχεται δυτικά του χωριού Προμαχώνας, δια μέσου των στενών του Ρούπελ, που ο ίδιος έχει διανοίξει, ανάμεσα στις οροσειρές της Κερκίνης (Μπέλες) και του Όρβηλου (Αγγίστρου). Στο σημείο αυτό λόγω της απότομης αλλαγής της κλίσης του εδάφους, ο ποταμός χάνει την ορμητικότητά του και χωρίζεται σε δύο κλάδους. Ο δυτικός εισέρχεται στη Λίμνη Κερκίνη και στη συνέχεια ρέει προς τα νοτιοανατολικά μέχρι το σημείο που ενώνεται με τον ανατολικό μεγαλύτερο κλάδο και σχηματίζουν ενιαία κοίτη κοντά στο χωριό Λιθοτόπι.

Από το σημείο αυτό και σε μήκος 50 χιλιομέτρων μέχρι τη συμβολή του με τον Αγγίτη, η κοίτη του Στρυμόνα είναι τεχνητή, με αναχώματα και αρδευτικά κανάλια. Η τεχνητή αυτή κοίτη κρίθηκε απαραίτητη, επειδή η αβαθής φυσική κοίτη υπήρξε στο παρελθόν αιτία εκτεταμένων καταστροφών από πλημμύρες. Τα αρδευτικά κανάλια αφαιρούν τον πλεονάζοντα όγκο νερού και ταυτόχρονα γονιμοποιούν την πεδιάδα.



*Εικόνα 10. Στρυμόνας και Εγνατία οδός*

Ο Στρυμόνας συμβάλλει με τον Αγγίτη ο οποίος πηγάζει στις νότιες παρυφές του Φαλακρού Όρους, 5 χιλιόμετρα πριν τις εκβολές του. Στην θέση αυτή υπήρχε η, αποξηραμένη σήμερα, λίμνη του Αχινού. Τέλος ο Στρυμόνας διέρχεται ανάμεσα στα όρη Κερδύλλιο και Παγγαίο και εκβάλλει στον Στρυμονικό κόλπο, ανατολικά του χωριού Νέα Κερδύλλια, σχηματίζοντας μικρό δέλτα . Η περιορισμένη έκταση του δέλτα, οφείλεται στην επίδραση του κυματισμού και της κατά μήκος των ακτών διάχυσης των φερτών υλικών του ποταμού. Παλαιότερα οι εκβολές του ήταν ανατολικότερα από τις σημερινές.



*Εικόνα 11. Νέα Κερδυλλία Σερρών-Στρυμόνας*

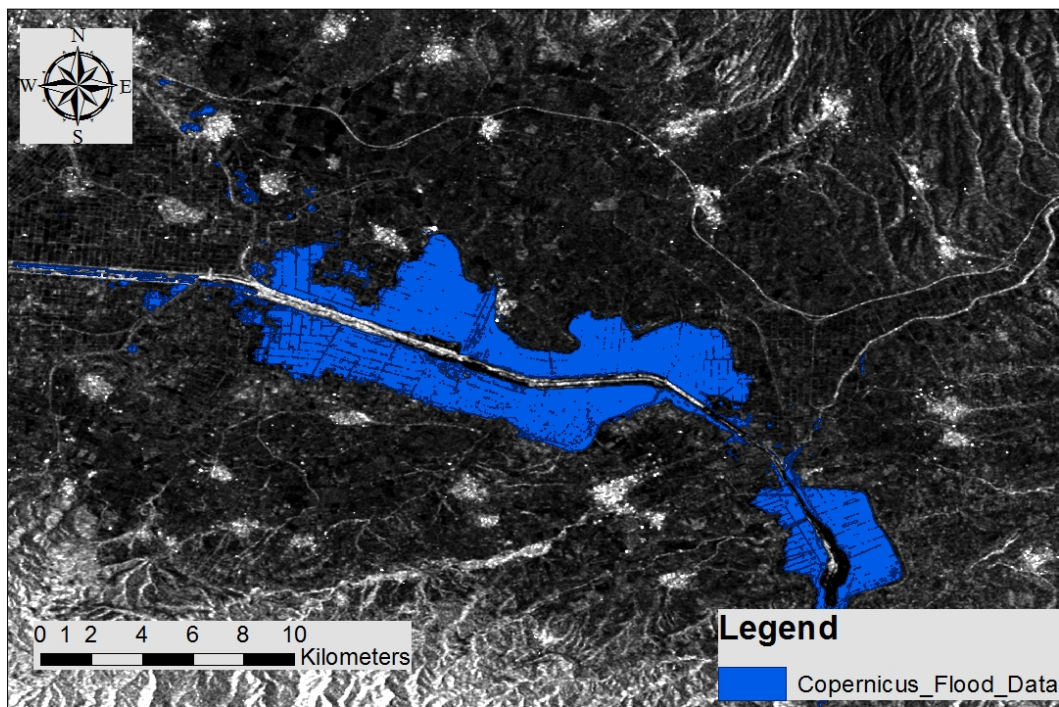
Οι κυριότεροι ελληνικοί παραπόταμοι του Στρυμόνα είναι ο Μπούτκοβας που ρέει στην μικρή κοιλάδα των Ποροΐων του νομού Σερρών, ο Εξάβης που πηγάζει από το Κερδύλλιο, ο Κρουσοβίτης που πηγάζει από τον Όρβηλο και ο Ξηροπόταμος που πηγάζει από το Μαυροβούνι. Η συνολική λεκάνη απορροής του Στρυμόνα έχει έκταση 16.550 τετραγωνικά χιλιόμετρα, από τα οποία μόνο 6.027 βρίσκονται σε ελληνικό έδαφος, ενώ πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια της ύπαρξης του, στον ποταμό Στρυμόνα έχουν προκληθεί πλημμυρικά συμβάντα πολλές φορές, τα οποία άλλοτε ήταν ήπια και άλλοτε προκαλούσαν καταστροφές στις γύρω περιοχές.

Ο ποταμός είναι πλούσιος σε φερτές ύλες που προσχώνουν συνεχώς στην πεδιάδα των Σερρών και τη Λίμνη Κερκίνη: υπολογίζεται ότι μεταφέρονται τουλάχιστον 4.000.000 εκατομμύρια κυβικά μέτρα φερτών υλών ετησίως, σε μέση ετήσια απορροή 3,4 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού. Το πλάτος του ξεπερνάει τα 250 μέτρα, ενώ το βάθος του φτάνει τα 3 μέτρα.

## **2.3 Δεδομένα**

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας περιλαμβάνουν αποκλειστικά τις τιμές των εικονοστοιχείων των δορυφορικών εικόνων.

Η εικόνα αναφοράς που έχει ληφθεί από το πρόγραμμα Copernicus αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα δεδομένα της εργασίας, αφού με βάση αυτή θα γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν. Στην Εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται αναλυτικά η εικόνα αναφοράς σε μορφή χάρτη, που δείχνει το ακριβές εμβαδόν της πλημμυρισμένης περιοχής.



Εικόνα 12. Εμβαδόν αναφοράς

### 2.3.1 Ψηφιακές τιμές εικονοστοιχείων (Digital Numbers)

Οι ψηφιακές τιμές λαμβάνονται από τις δορυφορικές εικόνες αφού προηγηθεί η επεξεργασία που αναλύεται στα επιμέρους κεφάλαια της παρούσας εργασίας. Τα δεδομένα αποτελούνται από τις ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν στα σημεία που βρίσκεται η πλημμύρα και βρίσκονται σε διαφορετική κλίμακα για τον κάθε δορυφόρο.

Για τον δορυφόρο Landsat 8, στις επεξεργασμένες τελικές εικόνες οι τιμές των εικονοστοιχείων βρίσκονται σε γραμμική κλίμακα (Double-precision floating-point format) ενώ τα εικονοστοιχεία του Sentinel 1 είναι κωδικοποιημένα σε λογαριθμική κλίμακα dB.

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της εργασίας για τον δορυφόρο Sentinel 1 είναι 2 (Πίνακας 5), μία λίγες ημέρες πριν από την πλημμύρα της αντίστοιχης επιφάνειας του ποταμού Στρυμόνα και μία λίγες ημέρες μετά. Αντίστοιχα, για τον δορυφόρο Landsat 8 χρησιμοποιήθηκαν και πάλι 2 εικόνες (Πίνακας 6) με την ίδια λογική, μία πριν και μία μετά από την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου.

Οι δορυφορικές εικόνες που αναφέρονται παραπάνω και παρατίθενται αναλυτικά στους πίνακες παρακάτω επιλέχθηκαν μέσα από πολλές διαφορετικές εικόνες, αφού πληρούσαν απόλυτα κάποια βασικά κριτήρια. Οι εικόνες από τον δορυφόρο Sentinel 1 επιλέχθηκαν διότι αποτυπώνουν με ακρίβεια την περιοχή μελέτης, ενώ οι εικόνες από τον δορυφόρο Landsat 8 εκτός από την ακριβή αποτύπωση της περιοχής μελέτης,

υπερίσχυσαν στο γεγονός πως την χρονική στιγμή που δημιουργήθηκαν δεν υπήρχαν νεφώσεις ή βροχοπτώσεις ώστε να εμποδίσουν την ακριβή και ποιοτική αποτύπωση της περιοχής μελέτης (όπως είναι σύνηθες να συμβαίνει στις εικόνες του δορυφόρου Landsat 8, γι' αυτό και πολλές εικόνες που βρέθηκαν την σωστή χρονική στιγμή και απεικόνιζαν την περιοχή μελέτης απορρίφθηκαν γι' αυτό τον λόγο).

Πίνακας 5. Ημερομηνία & ώρα λήψης δορυφορικών εικόνων Sentinel 1

A/A	Ημερομηνία λήψης εικόνας	Ώρα λήψης εικόνας GTM=+2/+3
1	27/02/2015	07:38:54
2	04/04/2015	07:43:29

Πίνακας 6. Ημερομηνία & ώρα λήψης δορυφορικών εικόνων Landsat 8

A/A	Ημερομηνία λήψης εικόνας	Ώρα λήψης εικόνας GTM=+2/+3
1	15/02/2015	09:04:24
2	04/04/2015	09:03:58

### 3 Ανάλυση Δορυφορικών εικόνων

#### 3.1 Προεπεξεργασία εικόνων Sentinel 1

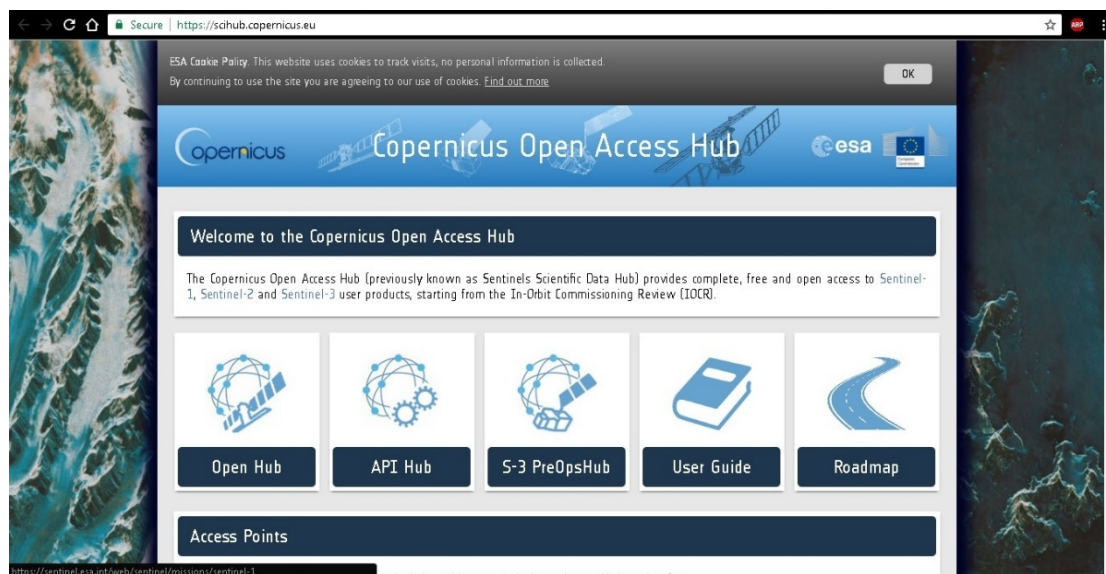
Κατά την επεξεργασία με το πρόγραμμα Snap Desktop της εικόνας SAR (Synthetic aperture radar) που απεικονίζει την περιοχή του Στρυμόνα όπως αυτή καταγράφηκε από τον δορυφόρο Sentinel 1 λίγο μετά από την πλημμύρα που αναλύουμε:

- δημιουργήθηκε αρχικά ένα **υποσύνολο (subset)** της αρχικής εικόνας που εστιάζει στην περιοχή που μας ενδιαφέρει περισσότερο,
- έγινε **βαθμονόμηση (calibration)** στις τιμές του συντελεστή οπισθοσκέδασης,
- έπειτα, πραγματοποιήθηκε **φιλτράρισμα (speckle filtering)** για την βελτίωση της εικόνας,
- κατόπιν, έγινε **διαχωρισμός των περιοχών που καλύπτονται με νερό με αυτές που δεν υπάρχει νερό (binarization)** μέσω ενός κατωφλίου που επιλέξαμε (**threshold**),

- έγινε **γεωμετρική διόρθωση (geometric correction)** της εικόνας, δηλαδή προσαρμόστηκε η εικόνα στην γεωμετρία του αισθητήρα του δορυφόρου,
- ακόμα, πραγματοποιήθηκε **απεικόνιση της εικόνας στο Google Earth (Visualization in Google Earth)**
- και τέλος πραγματοποιήθηκε ποιοτική και ποσοτική **εκτίμηση (assessment)** της ποιότητας της προκύπτουσας μάσκας πλημμύρας μέσω της σύγκρισής της με την μάσκα της πλημμύρας που δημιουργήθηκε από την Υπηρεσία Έκτακτης Ανάγκης και Διαχείρισης του Κοπέρνικου (Copernicus Emergency Management Service (EMS))

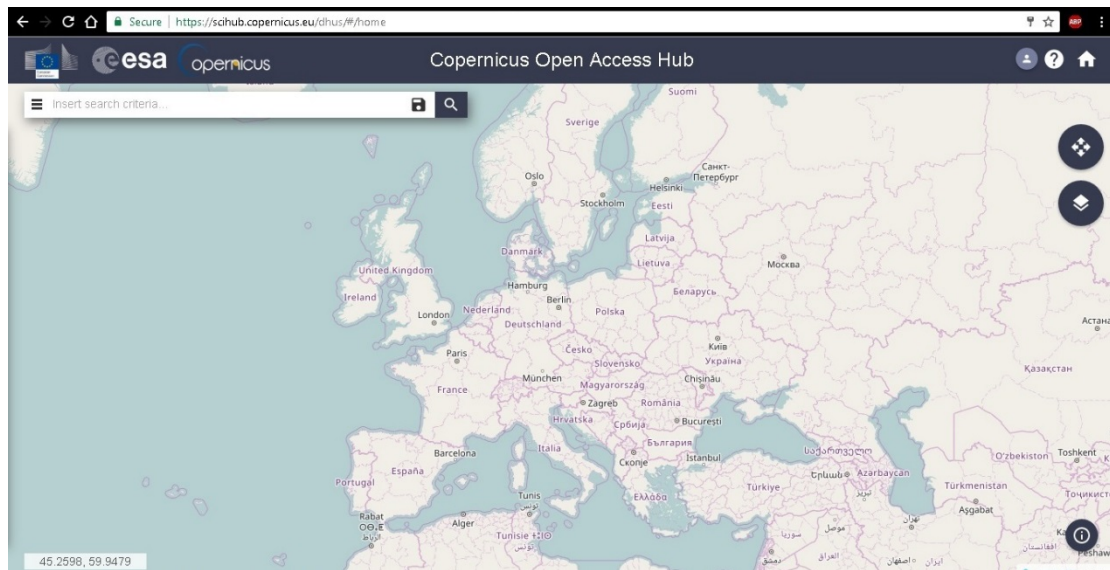
### 3.1.1 Λήψη Εικόνων

Η λήψη των εικόνων Sentinel 1 γίνεται από την ιστοσελίδα της ESA (σε συνεργασία με το πρόγραμμα Copernicus) (<https://scihub.copernicus.eu/>), η οποία αποτελεί τον δίαυλο παροχής των δεδομένων του δορυφόρου (Εικόνα 13).



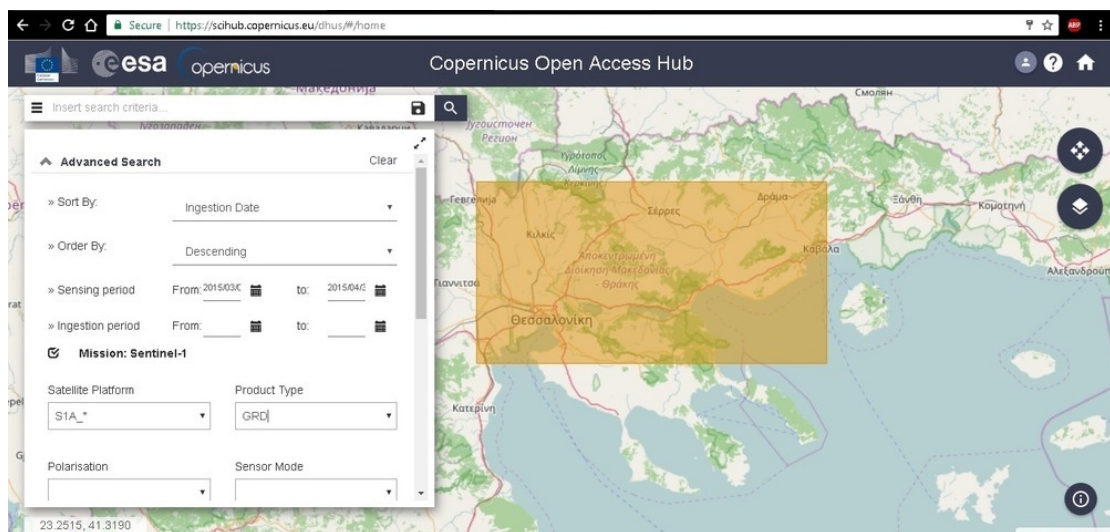
Εικόνα 13. Αρχική σελίδα ESA

Μετά την δημιουργία λογαριασμού, εισερχόμαστε στον δίαυλο (Εικόνα 14).



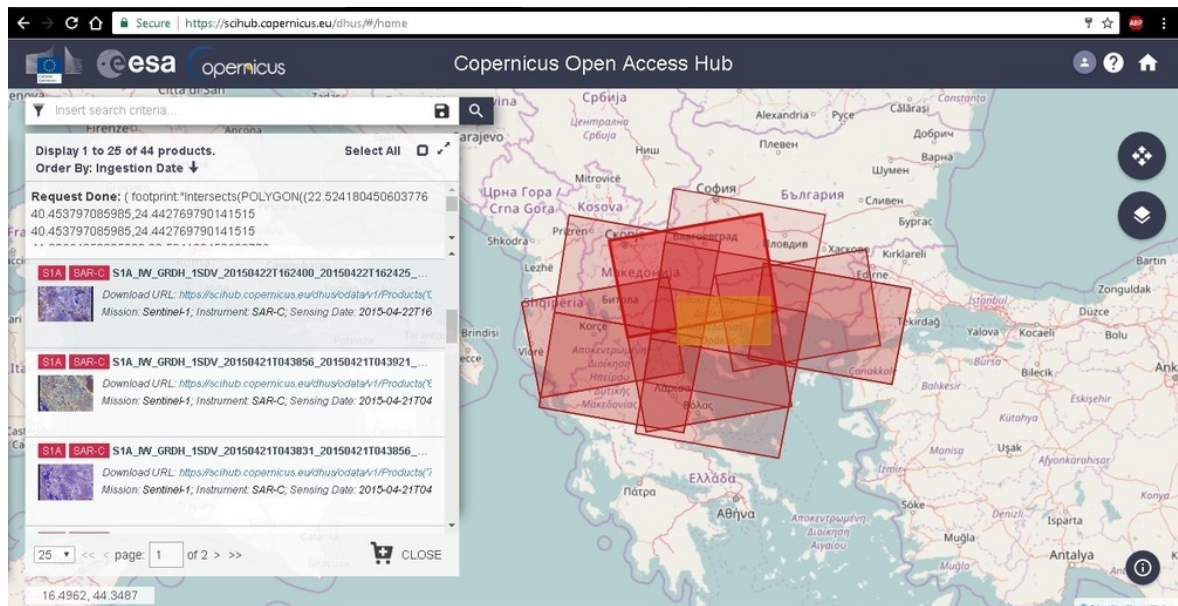
Εικόνα 14. Copernicus Open Access Hub

Μπορούμε να κάνουμε αναζήτηση των εικόνων επιλέγοντας την περιοχή στον χάρτη, αλλά και εισάγοντας τα κριτήρια που επιθυμούμε για την αναζήτησή μας (περίοδος αναζήτησης, επιλογή δορυφόρου, τύπος προϊόντος κλπ.) . Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναζητούμε εικόνες τύπου GRD (Ground Range Detected). Ο δίαυλος παρέχει επίσης, εικόνες τύπου RAW, SLC (Single Look Complex).



Εικόνα 15. Οριοθέτηση περιοχής και εισαγωγή κριτηρίων για αναζήτηση εικόνων Sentinel 1

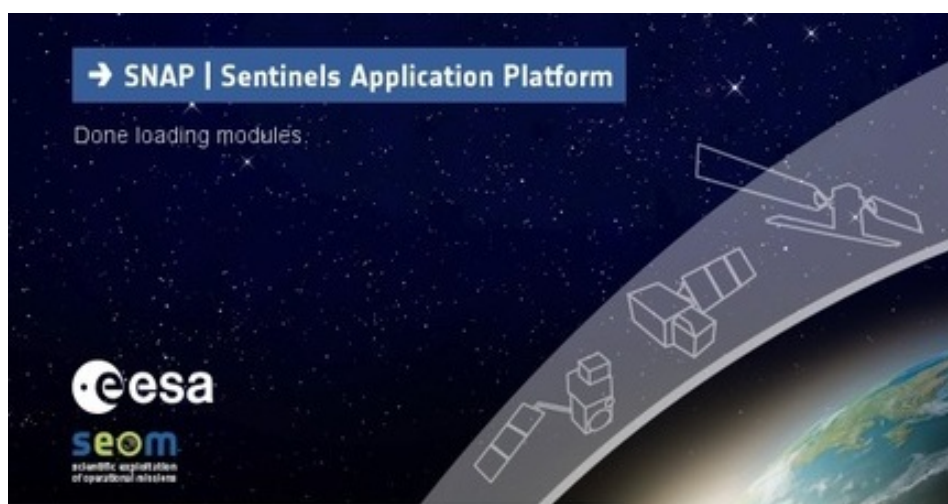
Μετά από την αναζήτηση εμφανίζονται όλες οι διαθέσιμες εικόνες της επιλεγμένης περιοχής με κατάταξη κατά ημερομηνία (Εικόνα 16).



Εικόνα 16. Αποτελέσματα αναζήτησης δορυφορικών εικόνων Sentinel 1

Οι εικόνες που λαμβάνονται χρειάζονται προεπεξεργασία για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν. Στις διαδικασίες που πρέπει να εκτελεστούν συμπεριλαμβάνονται όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η προετοιμασία των δεδομένων, βαθμονόμηση, το φιλτράρισμα, η δυαδοποίηση, η γεωμετρική διόρθωση, η τοπογραφική διόρθωση στο Google Earth καθώς και η μετατροπή της κλίμακας των τιμών των εικονοστοιχείων από γραμμική (τύπου Sigma) σε λογαριθμική (dB).

Οι παραπάνω διεργασίες πραγματοποιούνται εύκολα με την χρήση του προγραμματιστικού εργαλείου που διανέμει δωρεάν η ESA για την αξιοποίηση των εικόνων του δορυφόρου Sentinel 1 . Το λογισμικό ονομάζεται Snap (Sentinels Application Platform) και είναι διαθέσιμο προς λήψη στην ιστοσελίδα της ESA για τον Sentinel 1 (Εικόνα 17). ( <http://step.esa.int/main/download/> )

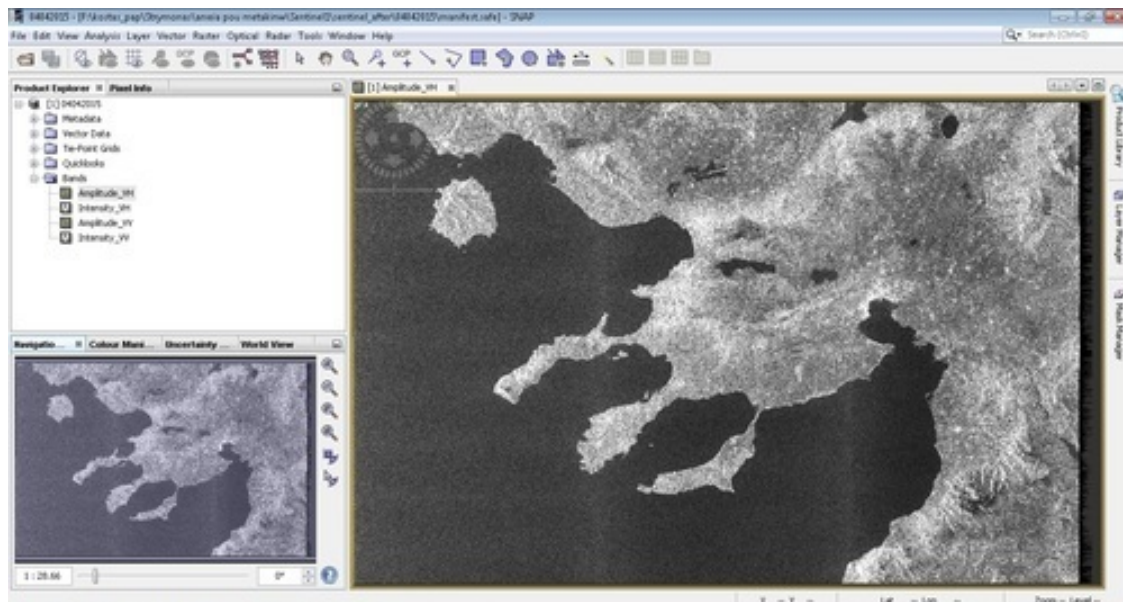


Εικόνα 17. Λογότυπο εκκίνησης Snap

### 3.1.2 Προετοιμασία δεδομένων

Για να ανοίξουμε το σύνολο των δεδομένων στο Snap επιλέγουμε File→ Open Product και στην συνέχεια επιλέγουμε την εικόνα του Sentinel 1 που θέλουμε να ανοίξουμε, είτε κατευθείαν με το αρχείο \*.zip, είτε επιλέγοντας το manifest.safe από τον unzipped φάκελο. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 18 παρακάτω, το Product Explorer στα αριστερά της εικόνας παρουσιάζει πληροφορίες σχετικές με το προϊόν. Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν:

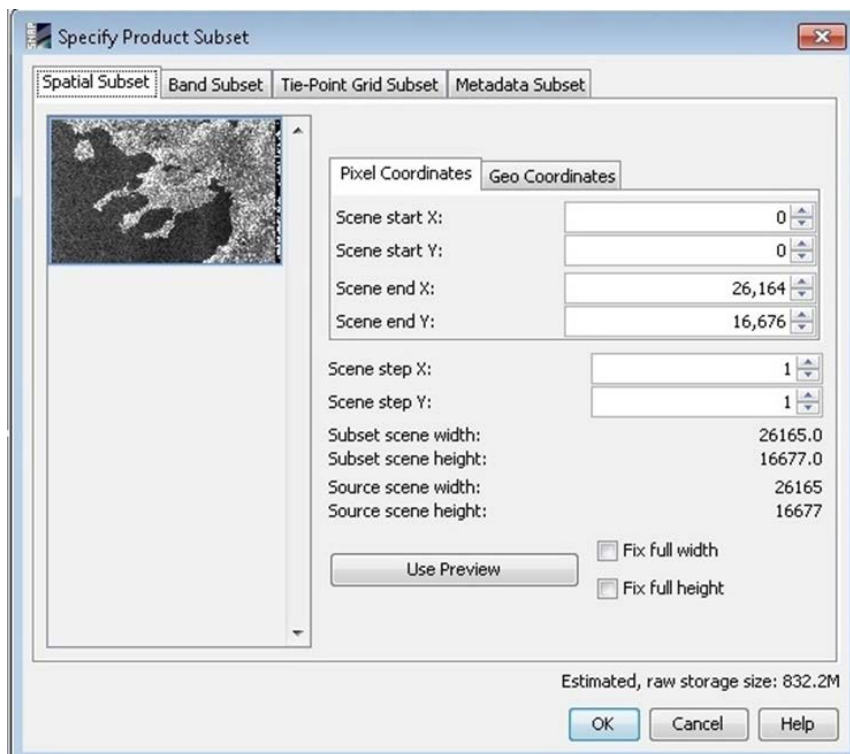
- Metadata (διαφορετικές SAR παραμέτρους για την τροχιά και την εικόνα)
- Tie-points grid (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, γωνία πρόπτωσης και το εύρος της κλίσης των χρονικών τιμών)
- Bands (πραγματικές ζώνες εικόνας)
- Vector data
- Quicklooks



Εικόνα 18. Προετοιμασία δεδομένων

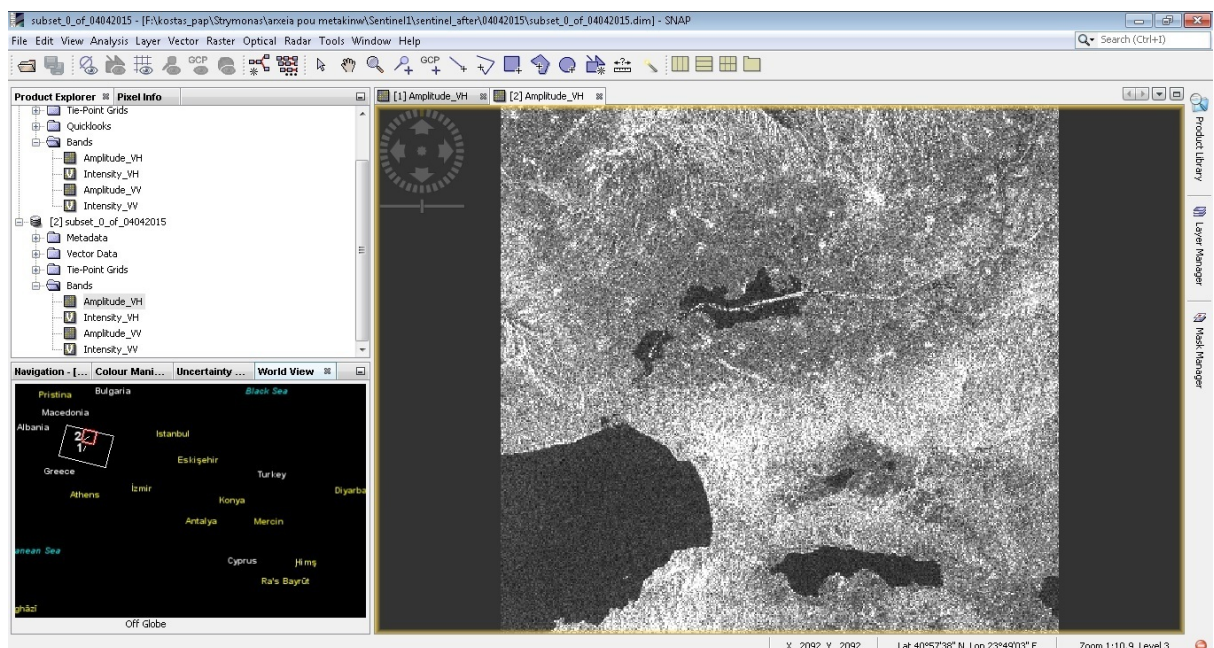
Κάθε εικόνα περιέχει δύο bands, Amplitude και Intensity, όπου το Intensity band είναι εικονικό και ουσιαστικά ορίζεται ως το τετράγωνο του Amplitude band. Στην παρούσα εργασία, επεξεργαζόμαστε την εικόνα χρησιμοποιώντας το band **Amplitude\_VH**.

Για να επεξεργαστούμε πιο συγκεκριμένα το μέρος της εικόνας που μας ενδιαφέρει δημιουργούμε ένα υποσύνολο της εικόνας (subset). Επιλέγουμε στο Menu, Raster→ Subset και στο παράθυρο που εμφανίζεται καθορίζουμε τις παραμέτρους ώστε να ανταποκρίνονται στην περιοχή μελέτης μας (Εικόνα 19).



Εικόνα 19. Δημιουργία υποσυνόλου εικόνας Sentinel 1 (subset)

Το υποσύνολο που δημιουργείται προστίθεται στο Snap αυτόματα σαν νέο προϊόν και μπορεί να υποστεί την ίδια ακριβώς επεξεργασία που αναφέραμε και παραπάνω. Επίσης, το αποτύπωμά του απεικονίζεται και αυτό στο κάτω αριστερά μέρος της εικόνας στην καρτέλα WorldWind View, όπως και όλων των προϊόντων (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Υποσύνολο και αποτύπωμα υποσυνόλου

### 3.1.3. Βαθμονόμηση

Κατά την τυπική επεξεργασία SAR (Synthetic Aperture Radar) των δεδομένων, από την οποία προκύπτει το προϊόν 1ου επιπέδου, δεν πραγματοποιούνται ραδιομετρικές διορθώσεις με αποτέλεσμα να παραμένει ενσωματωμένο στις τιμές των εικονοστοιχείων το ραδιομετρικό σφάλμα. Έτσι, το αρχικό προϊόν των εικόνων χρειάζεται ραδιομετρική βαθμονόμηση, μετά το πέρας των οποίων, οι τιμές των εικονοστοιχείων θα αντιπροσωπεύουν την τιμή της οπισθοσκέδασης του ραντάρ από την ανακλώμενη επιφάνεια. Οι μη διορθωμένες εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή μόνο ποιοτικών συμπερασμάτων, αλλά για την εξαγωγή ποσοτικών μετρήσεων απαιτούνται ραδιομετρικά βαθμονομημένες εικόνες, τα εικονοστοιχεία των οποίων θα έχουν άμεση συσχέτιση με την οπισθοσκέδαση (ESA, 2015c).

Το λογισμικό του Sentinel είναι σε θέση να πραγματοποιήσει ραδιομετρικές διορθώσεις για πληθώρα προϊόντων δορυφόρων ραντάρ, ανάμεσα στα οποία βρίσκονται όλοι οι τύποι των προϊόντων του Sentinel 1, του ASAR, του ERS και του Radarsat-2.

Για την βαθμονόμηση των εικόνων του Sentinel 1, όλες οι απαραίτητες πληροφορίες βρίσκονται στο αρχικό προϊόν που λαμβάνεται από την ιστοσελίδα της ESA. Ο αλγόριθμος αναιρεί την αρχική βαθμονόμηση και εφαρμόζει μια επιθυμητή, η οποία μπορεί να δώσει τεσσάρων διαφορετικών τύπων αποτελέσματα. Τα δεδομένα για την βαθμονόμηση βρίσκονται σε πίνακες (Look Up Tables - LUTs) στο αρχικό προϊόν και υποστηρίζουν τους τύπους δεδομένων Βήτα ( $\beta^0_i$ ), Σίγμα ( $\sigma^0_i$ ), Γάμμα ( $\gamma^0_i$ ) ή σε ψηφιακή τιμή (Digital Number (DN)). Η αύξηση των τιμών των εικόνων κατά τη βαθμονόμηση διαφέρει ανάλογα με το εύρος και γίνεται με βάση τους πίνακες LUTs, ενώ συμβάλλει καθολικά η απόλυτη σταθερά βαθμονόμησης. Η εξίσωση βαθμονόμησης, για τα προϊόντα του Sentinel 1 έχει ως εξής (ESA, 2015) :

$$value(i) = \frac{|DN_i|^2}{A_i^2} \quad (4)$$

Όπου, ανάλογα με τον επιλεγόμενο LUT,

$$value(i): \beta^0_i, \sigma^0_i, \gamma^0_i \text{ ή } DN_i$$

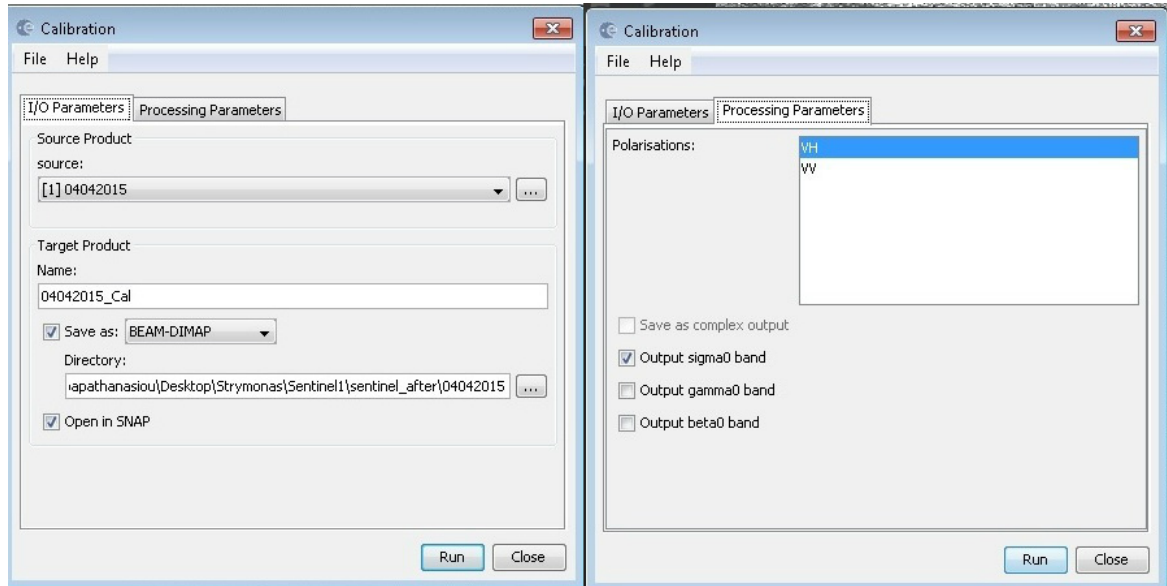
$$A_i: betaNought(i), \quad sigmaNought(i), \quad gammaNought(i) \text{ ή } DN(i)$$

\*για εικονοστοιχεία που βρίσκονται ενδιάμεσα από τα σημεία των LUTs, χρησιμοποιείται η μέθοδος της γραμμικής παρεμβολής.

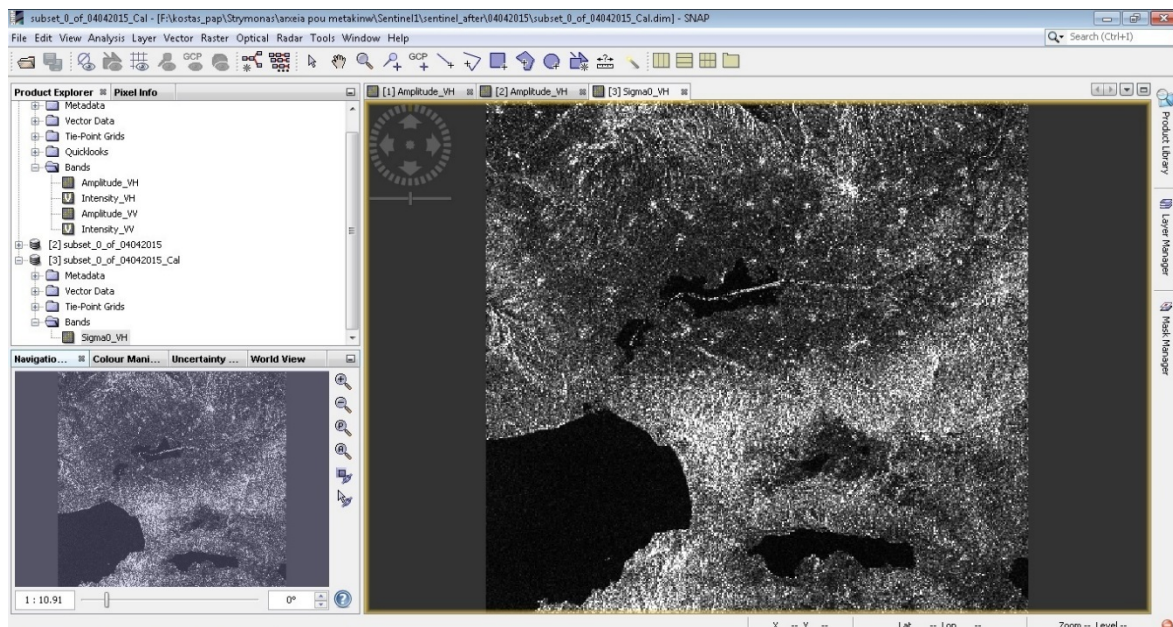
Για να βαθμονομήσουμε το υποσύνολο της εικόνας Sentinel 1 που δημιουργήσαμε, επιλέγουμε από το Menu: Radar → Radiometric → Calibrate.

Στο παράθυρο βαθμονόμησης που θα ανοίξει, επιλέγουμε την καρτέλα Processing Parameters και στο Polarizations επιλέγουμε τον τύπο πόλωσης που δουλεύω

ουμε, δηλαδή VH (με το Output sigma0 band επιλεγμένο, όπως ακριβώς είναι). Έπειτα, επιλέγουμε την καρτέλα I/O Parameters και καθορίζουμε την τοποθεσία του αρχικού προϊόντος, την τοποθεσία αποθήκευσης του βαθμονομημένου προϊόντος και τον τύπο αποθήκευσης του αρχείου. Στην παρούσα ενδιάμεση φάση επιλέγεται ο τύπος BEAM-DIMAP, ο οποίος αποτελεί την προεπιλογή του προγραμματιστικού εργαλείου του Sentinel 1. Επιλέγοντας το Run, ξεκινά η διαδικασία της βαθμονόμησης (Εικόνα 21).



Εικόνα 21. I/O Parameters & Processing Parameters βαθμονόμησης

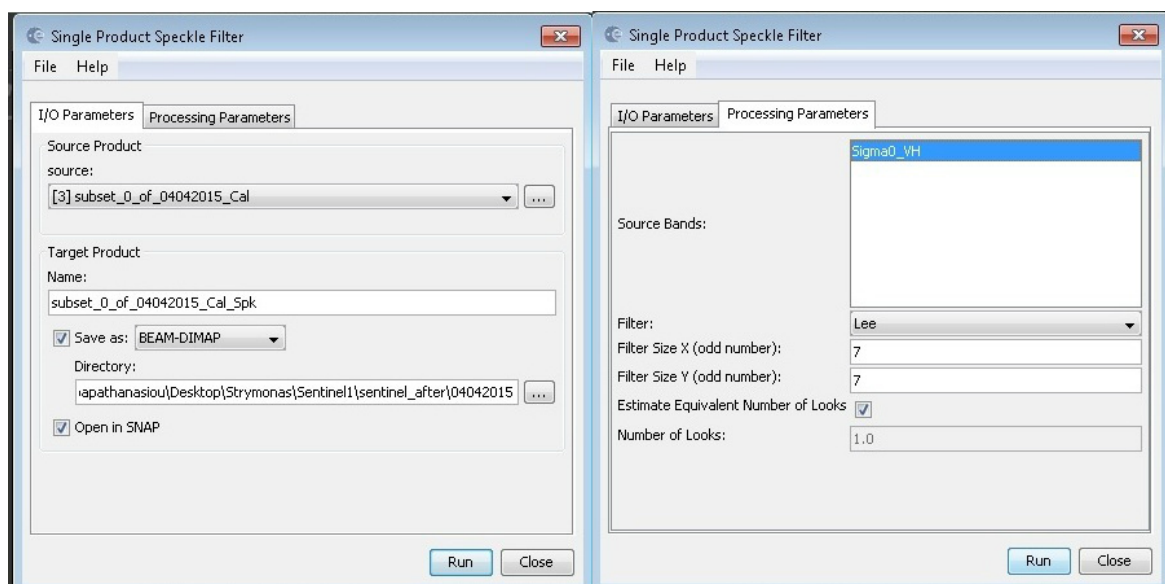


Εικόνα 22. Βαθμονομημένη εικόνα Sentinel 1

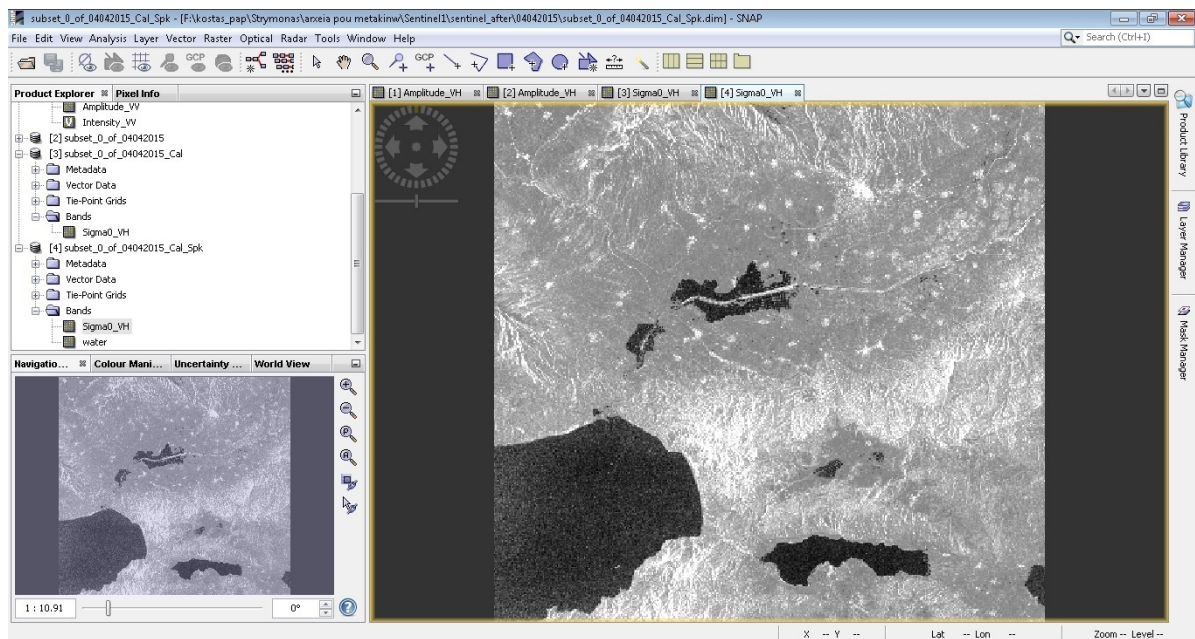
### 3.1.4. Φιλτράρισμα (speckle filtering)

Το επόμενο βήμα είναι το φιλτράρισμα της εικόνας. Σε αντίθεση με οπτικές εικόνες τηλεπισκόπησης που χαρακτηρίζονται από πολύ τακτοποιημένα και ομοιόμορφα χαρακτηριστικά, οι εικόνες SAR επηρεάζονται από διάφορα σημάδια (speckle) που κάνουν την εικόνα θολή και δημιουργούν σε εικόνες SAR κοκκώδες πτυχή με τυχαίες χωρικές μεταβολές. Έτσι, διαφθείρεται η φάση και η ένταση της εικόνας σε ένα σημαντικό βαθμό. Ειδικές διαδικασίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την ανάκτηση των σχετικών πολαραμετρικών πληροφοριών της εικόνας και για να μειωθεί η τυχαιότητα των αποκτηθέντων σημάτων. (ESA, 2015)

Στο προγραμματιστικό μοντέλο Snap, επιλέγουμε Radar → Speckle Filtering → Single Product Speckle Filter. Στο παράθυρο φιλτραρίσματος που θα εμφανιστεί επιλέγουμε την καρτέλα Processing Parameters, έπειτα Sigma0\_VH και στον τύπο του φίλτρου (filter) επιλέγουμε Lee. Στο Filter Size X εισάγω τον αριθμό 7, όπως και στο Filter Size Y. Στην καρτέλα I/O Parameters μένουν όλα ως έχουν, αφού όλες οι επιλογές είναι σωστά καθορισμένες από πρωτότερα (Εικόνα 23).



Εικόνα 23. I/O Parameters & Processing Parameters φιλτραρίσματος



Εικόνα 24. Φιλτραρισμένη εικόνα Sentinel 1

### 3.1.5. Δυναδοποίηση

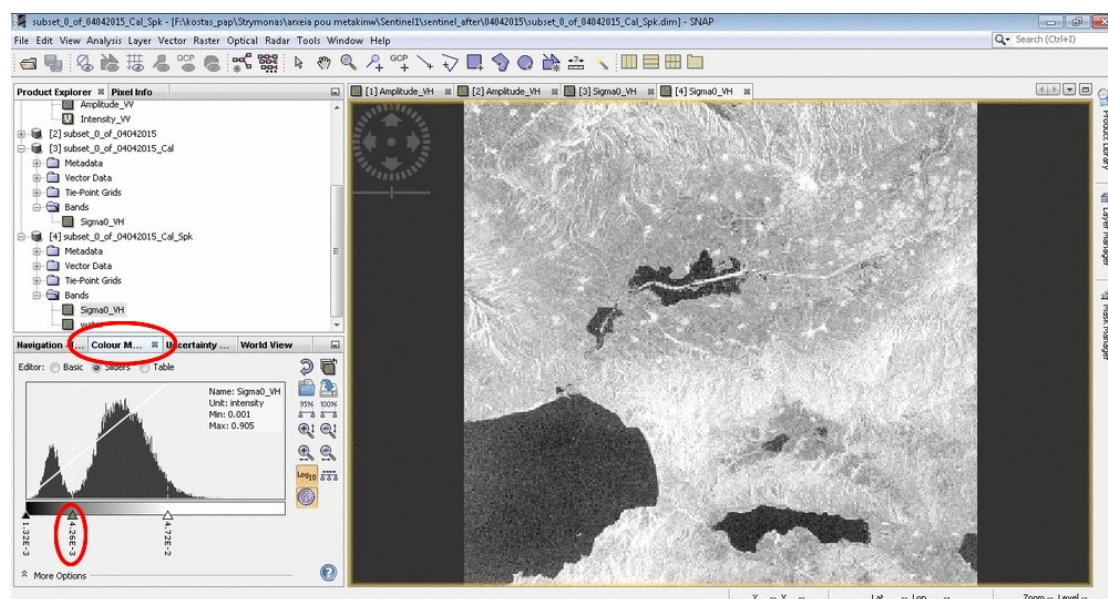
Με την διαδικασία της δυναδοποίησης στόχος μας είναι να διαχωρίσουμε όσο το δυνατόν καλύτερα τις περιοχές που υπάρχει νερό, με τις περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει νερό. Για τον σκοπό αυτό, πρέπει να επιλεγεί ένα κατώφλι (threshold). Στην παρούσα εργασία ο υπολογισμός αυτού του κατωφλίου έγινε με δύο διαφορετικούς τρόπους, έναν για τα δεδομένα του δορυφόρου Sentinel 1 και έναν για τα δεδομένα του δορυφόρου Landsat 8, οι οποίοι θα παρουσιαστούν στην συνέχεια της παρούσας εργασίας.

#### **Κατώφλι μέσω του ιστογράμματος στο Snap Desktop:**

Για τον υπολογισμό του κατωφλίου χρησιμοποιούμε το ιστόγραμμα της φιλτραρισμένης εικόνας, το οποίο την διαχωρίζει σε διάφορες περιοχές της κλίμακας του γκρι με βάση κορυφές στο ιστόγραμμα (Deshmukh και Shinde 2005). Η τιμή ενός κατωφλίου καθορίζεται σε ένα σημείο που ανήκει στην περιοχή ανάμεσα σε δύο κορυφές του ιστογράμματος.

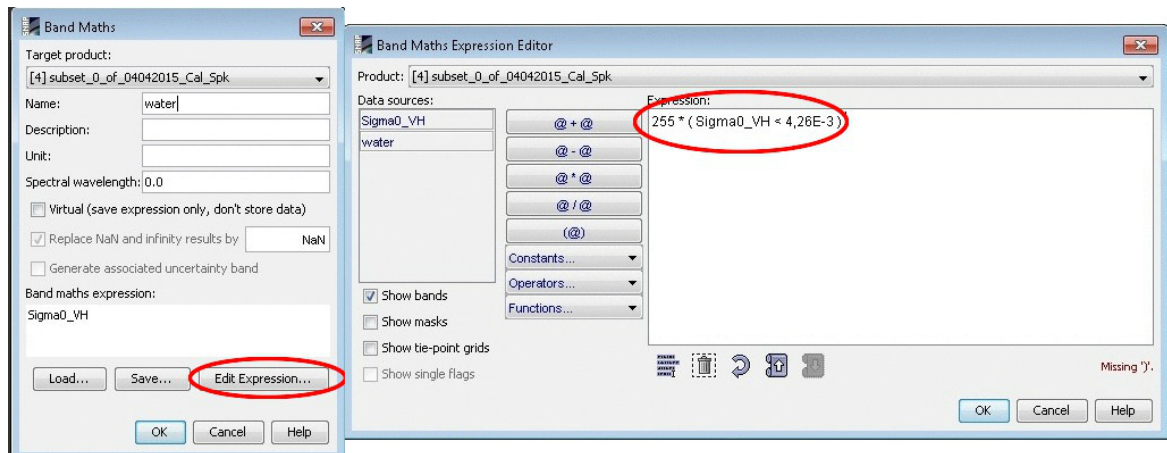
Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Snap Desktop της ESA, στην αριστερή πλευρά του πάνελ με την επιλογή της καρτέλας Colour Manipulation εμφανίζεται το ιστόγραμμα και πατώντας το log10 βλέπουμε το λογαριθμικό ιστόγραμμα. Το ιστόγραμμα δείχνει μία ή περισσότερες κορυφές διαφορετικού μεγέθους ανάλογα με τα δεδομένα. Χαμηλές τιμές της οπισθοσκέδασης θα αντιστοιχούν στο νερό και υψηλές τιμές θα αντιστοιχούν στην κατηγορία μη-νερό. Πρέπει να επιλέξουμε την τιμή που θα

διαχωρίζει το νερό από το μη-νερό. Στην περίπτωση μας, η τιμή κατώφλιου μετά από δοκιμές προέκυψε να είναι  $4,26E-3$  (Εικόνα 25).



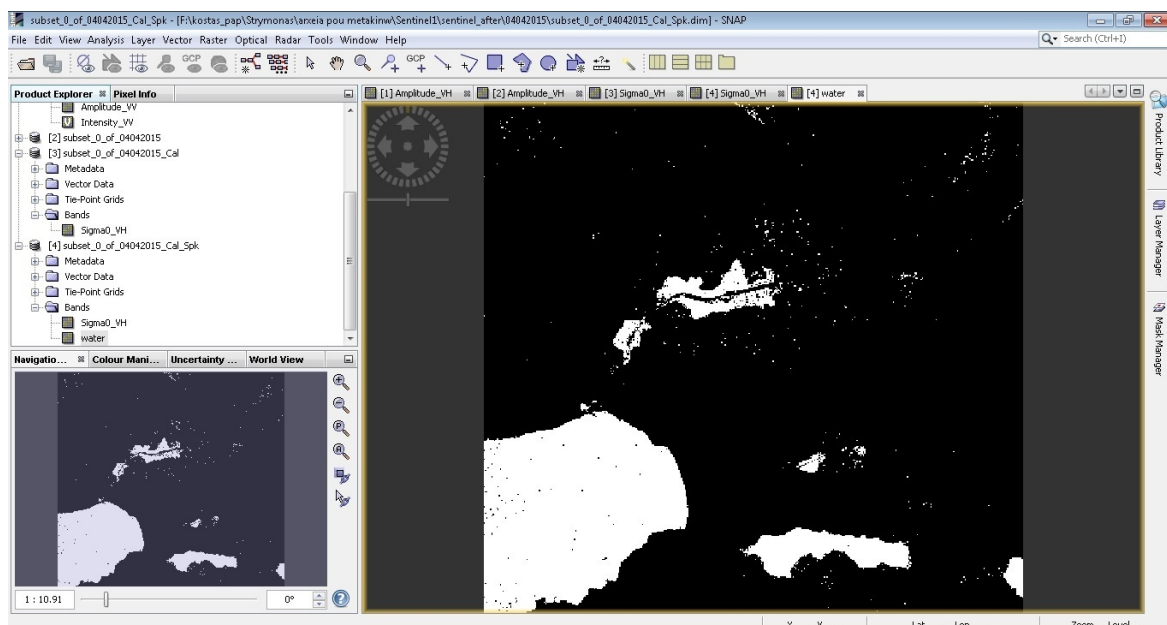
Εικόνα 25. Κατώφλι μέσω του ιστογράμματος

Στόχος μας είναι να δημιουργήσουμε μια νέα εικόνα στην οποία η διαφορά του νερού με τις υπόλοιπες περιοχές που δεν υπάρχει νερό θα είναι εμφανής. Για να το πετύχουμε αυτό πρέπει να δημιουργήσουμε μια λογική μαθηματική έκφραση με βάση το κατώφλι που έχουμε, η οποία να μπορεί να διαχωρίσει το νερό από το μη-νερό. Έτσι, αν δώσουμε μια τιμή για το νερό, π.χ. 255 (με χαμηλότερο όριο για οπισθοσκέδαση το κατώφλι  $4,26E-3$ ) και το 0 για υψηλότερες τιμές, δημιουργείται η έκφραση:  $255 * (\text{Sigma0\_VH} < 4,26E-3)$ , η οποία θα επιστρέψει την λογική τιμή αληθές ή 1 για τιμές μικρότερες από  $4,26E-3$  και ψευδή ή 0 για υψηλότερες τιμές. Για να δημιουργήσουμε αυτή την έκφραση επιλέγουμε από το Menu: Raster → Band maths και στο παράθυρο που εμφανίζεται συμπληρώνουμε στο όνομα, water και αφαιρούμε το επιλεγμένο κουτάκι με την επιλογή Virtual, αφού το virtual band είναι στην μνήμη, όμως δεν είναι φυσικά στον δίσκο. Στην συνέχεια, επιλέγουμε το Edit Expression... και στο παράθυρο που ανοίγει συμπληρώνουμε την μαθηματική έκφραση που αναλύσαμε παραπάνω. Τέλος, επιλέγουμε το OK (Εικόνα 26).



Εικόνα 26. Band Maths Editor & Expression Editor

Χρησιμοποιώντας αυτήν την έκφραση δημιουργούμε τελικά την νέα εικόνα στην οποία διαχωρίζεται το νερό από τις υπόλοιπες περιοχές (Εικόνα 27).



Εικόνα 26. Διαχωρισμός περιοχών νερού από υπόλοιπες περιοχές

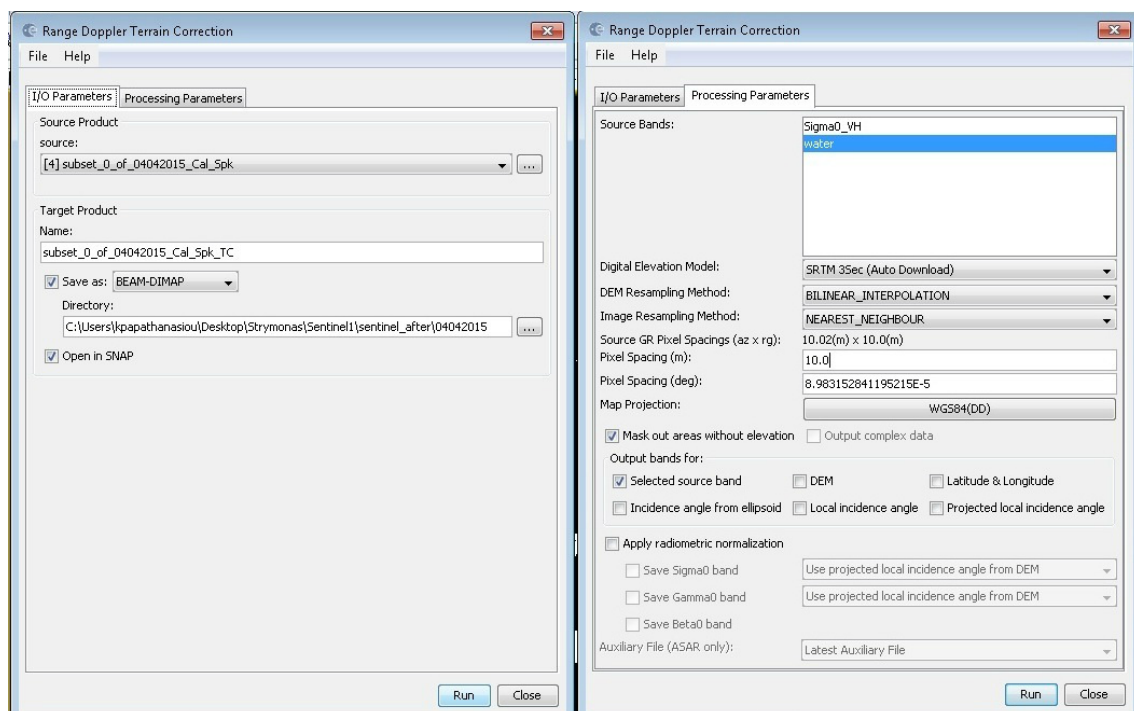
### 3.1.6. Γεωμετρική Διόρθωση

Γεωμετρική Διόρθωση καλείται η διαδικασία του ψηφιακού χειρισμού των δεδομένων μιας δορυφορικής εικόνας, έτσι ώστε η προβολή της εικόνας να ταιριάζει ακριβώς γεωμετρικά με την συγκεκριμένη επιφάνεια προβολής που αντιπροσωπεύει. Η γεωμετρική διόρθωση που πραγματοποιείται στην παρούσα εργασία βασίζεται στον αλγόριθμο ορθοαναγωγής Range Doppler Terrain Correction. Η λειτουργία Range Doppler Terrain Correction του λογισμικού της ESA εφαρμόζει τη μέθοδο της ορθοαναγωγής έτσι ώστε να γεωκωδικοποιήσει τις εικόνες SAR (Synthetic Aperture Radar) χρησιμοποιώντας γεωμετρία ραντάρ μονού ψηφιδωτού δύο διαστάσεων (Small & Schubert, 2008). Η λειτουργία αυτή αξιοποιεί, επίσης, τις πληροφορίες του διανύσματος κατάστασης τροχιάς που είναι διαθέσιμο στα μεταδεδομένα των εικόνων,

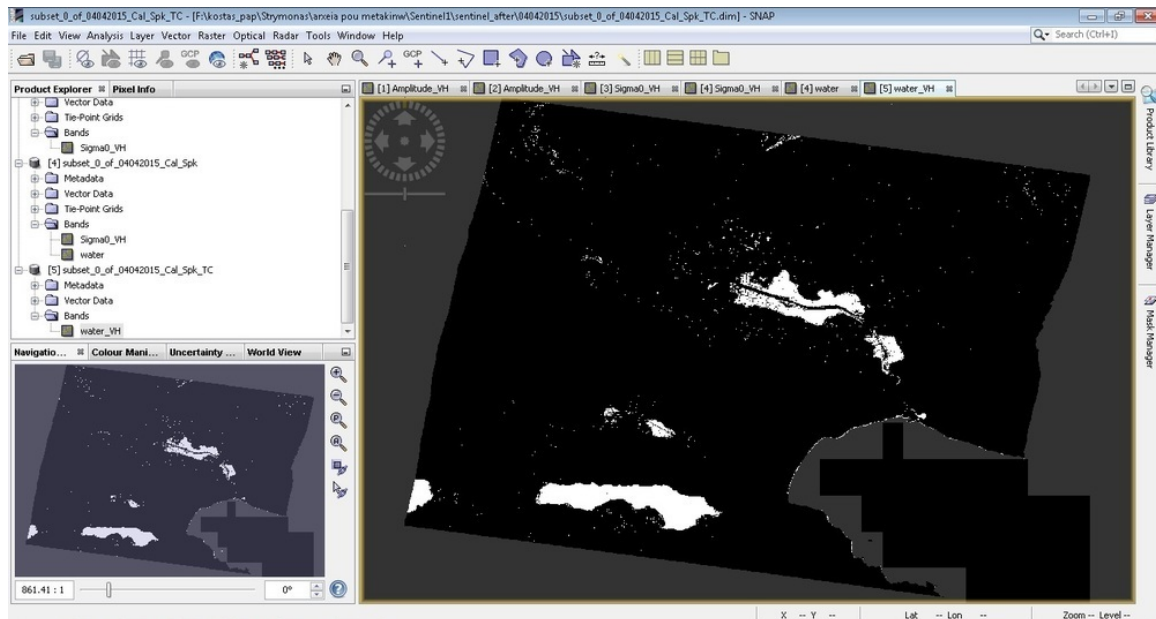
τις χρονικές καταγραφές του ραντάρ, όπως επίσης και τις παραμέτρους μετατροπής κλίσης προς εύρος εδάφους μαζί με τις πληροφορίες αναφοράς DEM (Digital Elevation Model – Μοντέλο Ψηφιακού Αναγλύφου) έτσι ώστε να ανακτήσει την ακριβής γεωτοποθεσία.

Η εικόνα που χρησιμοποιούμε είναι προσαρμοσμένη στην γεωμετρία του δορυφόρου Sentinel 1. Για τον λόγο αυτό πρέπει να την επαναπροβάλλουμε με βάση την πραγματική της γεωγραφική προβολή. Για να το πετύχουμε αυτό επιλέγουμε από το Menu: Radar→ Geometric→ Terrain Correction→ Range-Doppler Terrain Correction.

Στο παράθυρο που θα εμφανιστεί στην καρτέλα I/O Parameters, επιλέγονται οι θέσεις αποθήκευσης και ο τύπος αρχείων. Στην παρούσα ενδιάμεση φάση επιλέγεται ο τύπος BEAM-DIMAP, ο οποίος αποτελεί την προεπιλογή του προγραμματιστικού εργαλείου του Sentinel-1. Έπειτα, επιλέγουμε την καρτέλα Processing Parameters. Στο Source Bands επιλέγεται μόνο το νερό (water) . Στην επιλογή Digital Elevation Model (DEM) επιλέγουμε SRTM 3Sec (Auto Download) και το DEM πάνω από την περιοχή που καλύπτει η εικόνα SAR θα κατέβει αυτόματα. Έπειτα, στο DEM Resampling Method επιλέγεται BILINEAR\_INTERPOLATION και στο Image Resampling Method επιλέγουμε NEAREST\_NEIGHBOUR. Τέλος, στο Pixel Spacing χρησιμοποιούμε τα 10 m και στο Map projection → WGS84(DD) (Εικόνα 28).



Εικόνα 28. I/O Parameters και Processing Parameters γεωμετρικής διόρθωσης



Εικόνα 29. Γεωμετρική διόρθωση δορυφορικής εικόνας Sentinel 1

### 3.1.7. Τοπογραφική Διόρθωση στο Google Earth

Για να απεικονίσουμε την ζώνη (band) του νερού στο Google Earth πρέπει να την εξάγουμε σε αρχείο με την μορφή KMZ. Για να το κάνουμε αυτό επιλέγουμε από το Menu: File→ Export→ Other→ View as Google Earth KMZ. Έτσι, το αρχείο KMZ μπορεί να εισαχθεί απευθείας στο Google Earth. Όμως, για να εμφανιστούν στο Google Earth μόνο τα εικονοστοιχεία του νερού ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

Αποσυμπιέζουμε το αρχείο KMZ και ο φάκελος που προκύπτει θα περιλαμβάνει ένα αρχείο overlay.kml και ένα αρχείο overlay.png. Ανοίγουμε το δεύτερο αρχείο σε ένα πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας, στην προκειμένη περίπτωση στο IrfanView και ορίζουμε διαφανές το φόντο. Αποθηκεύουμε τις αλλαγές και εισάγουμε το overlay.kml στο Google Earth (Εικόνα 30).

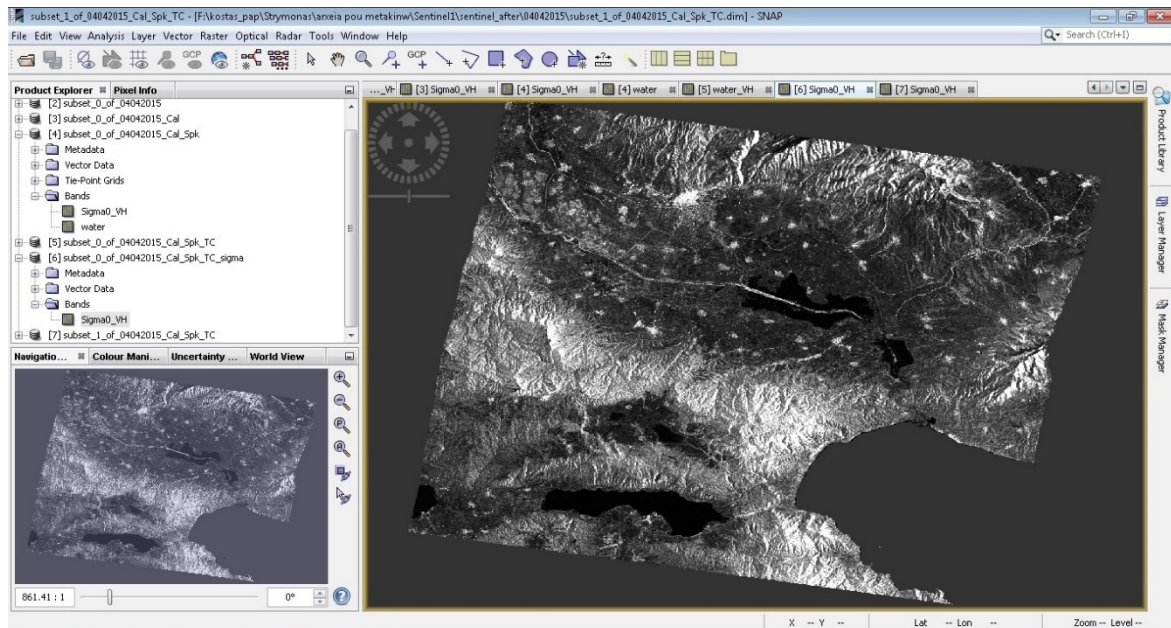


Εικόνα 30. Τοπογραφική Διόρθωση εικόνας Sentinel 1 στο Google Earth

### 3.1.8. Μετατροπή κλίμακας και Εξαγωγή εικόνας

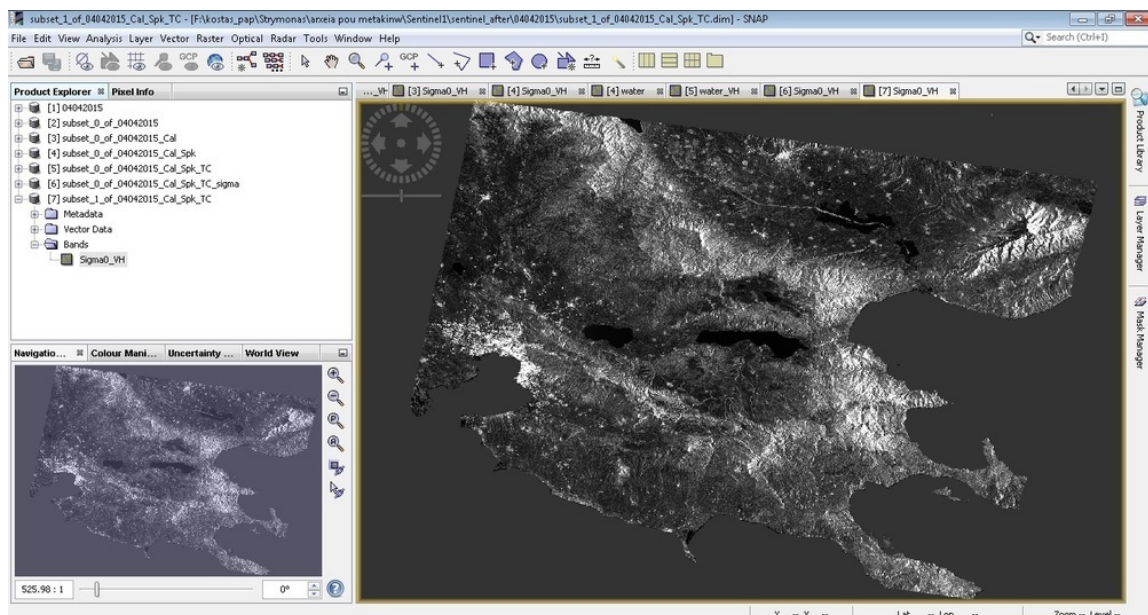
Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο της βαθμονόμησης, οι τιμές των εικονοστοιχείων μιας δορυφορικής εικόνας ανεξάρτητα με τον τύπο του αρχείου αποθήκευσης κωδικοποιούνται με βάση συγκεκριμένες κλίμακες. Στην περίπτωση των εικόνων ραντάρ, αυτές είναι: η Beta Nought ( $\beta_i^0$ ) που αντιπροσωπεύει την ανακλαστικότητα του ραντάρ στην μοναδιαία επιφάνεια σε κεκλιμένη απόσταση, η Sigma Nought ( $\sigma_i^0$ ) που προκύπτει από την ανακλαστικότητα του ραντάρ προς την μοναδιαία επιφάνεια σε απόσταση εδάφους, η Gamma Nought ( $\gamma_i^0$ ), η ψηφιακή τιμή εικονοστοιχείου  $DN_i$  και η λογαριθμική κλίμακα decibel (dB). Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα χρησιμοποιηθεί η κλίμακα dB, οπότε είναι απαραίτητο να γίνει και η αντίστοιχη μετατροπή, η οποία πραγματοποιείται με την χρήση του προγράμματος SNAP κάνοντας δεξιά κλικ πάνω στο band Sigma0\_VH και επιλέγοντας Linear to/from dB. Επιλέγοντας την λειτουργία μετατροπής Linear to/from dB δημιουργείται ένα καινούριο εικονικό band, όπου οι τιμές των εικονοστοιχείων αντιστοιχούν στην λογαριθμική κλίμακα dB.

Το τελικό στάδιο της επεξεργασίας των εικόνων του δορυφόρου Sentinel 1 είναι η εξαγωγή της εικόνας σε μορφή GeoTiff, η οποία είναι η καταλληλότερη για την μετέπειτα φόρτωση και επεξεργασία της σε τρίτα λογισμικά π.χ Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών όπως το ArcMap. Η τελική εικόνα που τελικά εξάγουμε σε μορφή GeoTiff φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 31).



*Εικόνα 31. Τελική εικόνα που εξάγεται σε μορφή GeoTiff*

Σε αυτό το σημείο πρέπει να το τονιστεί ότι επειδή το υποσύνολο της εικόνας που χρησιμοποιήσαμε και παρουσιάσαμε αναλυτικά όλα τα βήματα της επεξεργασίας του, αποδείχτηκε τελικά ότι είχε μικρά όρια για την περαιτέρω επεξεργασία του στο ArcMap, επαναλάβαμε την παραπάνω διαδικασία και με τον ίδιο ακριβώς τρόπο δημιουργήσαμε ένα νέο μεγαλύτερο υποσύνολο της εικόνας και εργαστήκαμε πάνω σε αυτό στην συνέχεια της εργασίας. Συνεπώς, παρακάτω στην Εικόνα 32 παρουσιάζεται το νέο υποσύνολο.



*Εικόνα 32. Τελική εικόνα νέου, μεγαλύτερου υποσυνόλου που εξάγεται σε μορφή GeoTiff*

Η παραπάνω προεπεξεργασία πραγματοποιείται και για τις δύο εικόνες του δορυφόρου Sentinel 1 (πριν και μετά την πλημμύρα), όμως για ευνόητους λόγους παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία μόνο της μίας εικόνας (στην προκειμένη

περίπτωση της εικόνας μετά την πλημμύρα, αφού είναι αυτή που μας ενδιαφέρει περισσότερο).

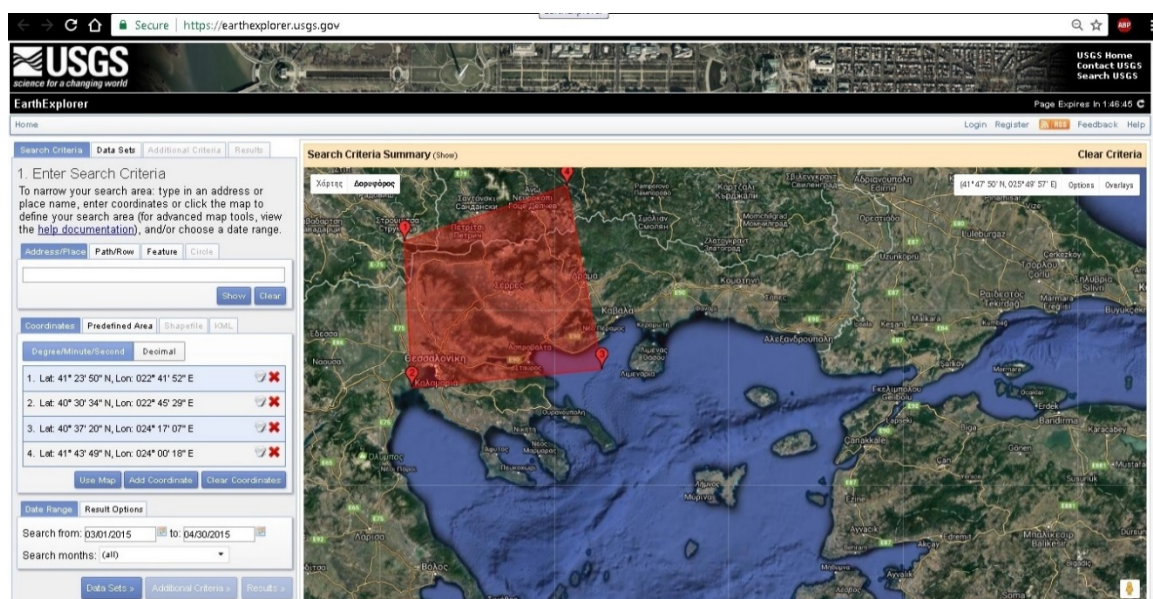
## 3.2 Προεπεξεργασία εικόνων Landsat 8

Η αρχική λήψη των προϊόντων του δορυφόρου Landsat 8 περιλαμβάνει 12 εικόνες τύπου GeoTiff, μία για το κάθε κανάλι, οι οποίες χρειάζονται συγχώνευση σε ενιαίο αρχείο για την ευκολότερη επεξεργασία τους καθώς και ατμοσφαιρικές διορθώσεις και βαθμονομήσεις έτσι ώστε οι τιμές των εικονοστοιχείων να θεωρούνται αξιόπιστες. Στην παρούσα εργασία, τα κανάλια που μας ενδιαφέρουν είναι από το 1 έως και το 7, άρα θα κάνουμε συγχώνευση σε ένα αρχείο με αυτά τα 7 κανάλια.

Η λήψη των δορυφορικών εικόνων πραγματοποιείται μέσω της ιστοσελίδας της United States Geological Survey (USGS) με την χρήση της πλατφόρμας Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov>).

### 3.2.1 Λήψη Δορυφορικών Δεδομένων από την εφαρμογή Earth Explorer της USGS (United States Geological Survey)

Αρχικά επιλέγεται η περιοχή αναζήτησης. Η επιλογή γίνεται οριοθετώντας την περιοχή ενδιαφέροντος με σημεία, ενώ ταυτόχρονα η εφαρμογή επισημαίνει οριοθετημένη περιοχή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 33.

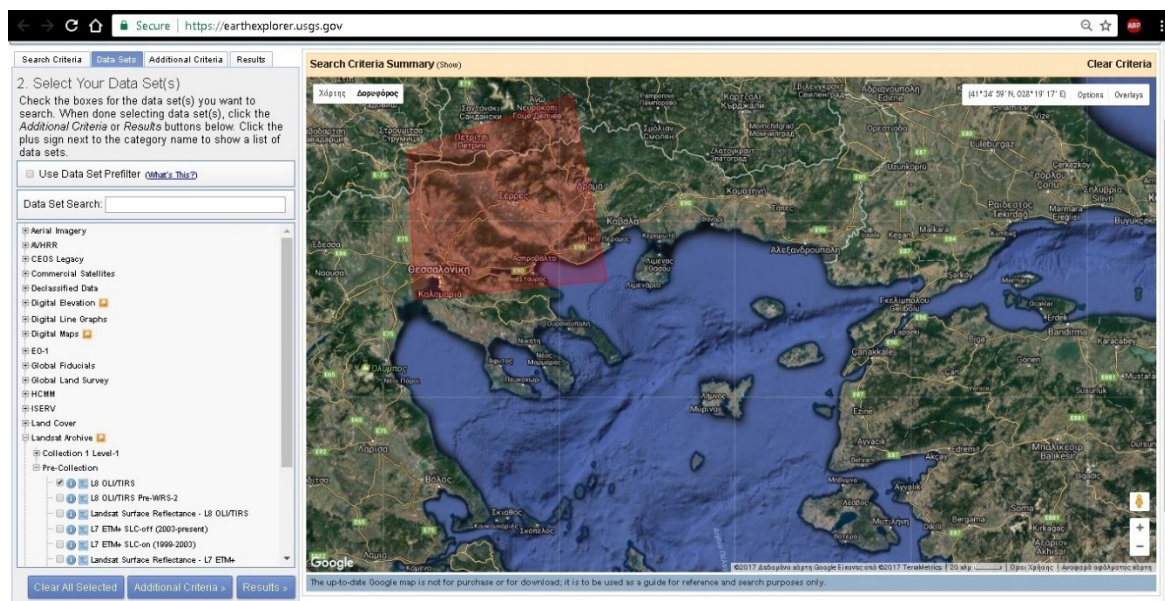


Εικόνα 33. Οριοθέτηση περιοχής αναζήτησης για την αναζήτηση δορυφορικών εικόνων Landsat 8 από την εφαρμογή Earth Explorer

Κατά την παραπάνω διαδικασία, τα σημεία οριοθέτησης εισάγονται στην ενότητα Coordinates της καρτέλας Search Criteria.

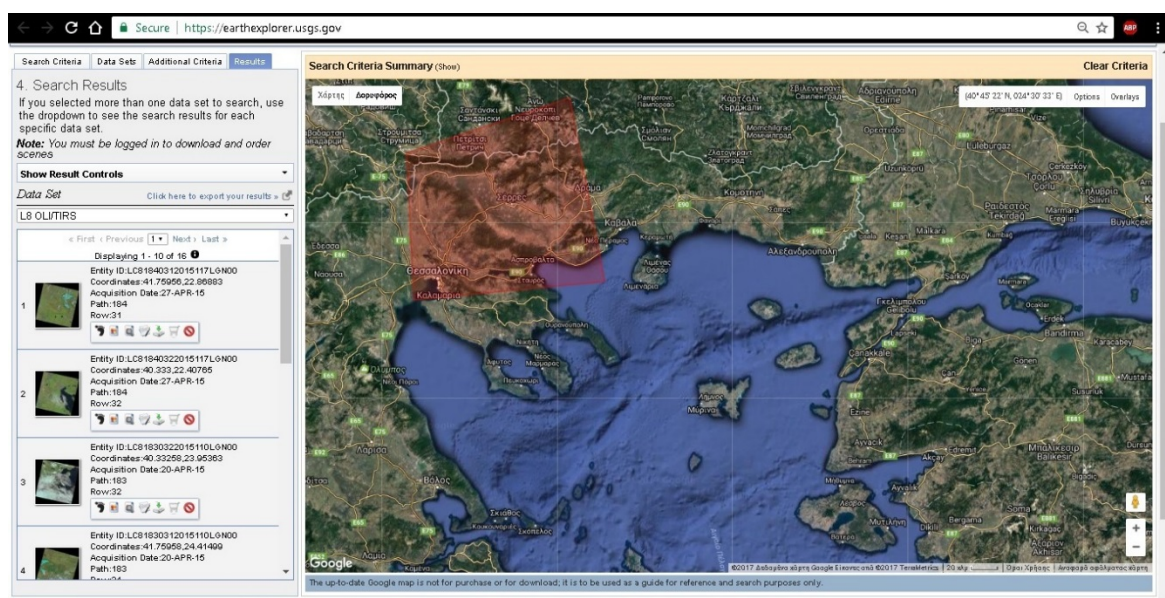
Στη συνέχεια, στην ενότητα Date Range της ίδιας καρτέλας προσδιορίζεται το χρονικό εύρος της αναζήτησης.

Επιλέγεται το πλήκτρο Data Sets και εμφανίζεται η αντίστοιχη καρτέλα, όπου επιλέγεται το Landsat Archive και έπειτα, στο συγχωνευμένο μενού, μαρκάρεται το L8 OLI/TIRS που αντιστοιχεί στα δεδομένα του Landsat 8 (Εικόνα 34).



Εικόνα 34. Επιλογή δεδομένων προς λήψη όπως φαίνεται στο αριστερό παράθυρο της εφαρμογής Earth Explorer

Με το πλήκτρο Results ανοίγει η τελευταία καρτέλα όπου εμφανίζονται οι διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες. Η κάθε εικόνα συνοδεύεται από μία «εργαλειοθήκη» με την χρήση της οποίας ο χρήστης μπορεί να προβάλλει την εικόνα πάνω στο χάρτη, να ανοίξει την εικόνα σε αναδυόμενο παράθυρο, και τέλος να την κατεβάσει στην μορφή που επιθυμεί (Εικόνα 35).



Εικόνα 35. Διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες Landsat 8 προς λήψη στην εφαρμογή Earth Explorer

Το αρχικό προϊόν των δορυφορικών εικόνων αποτελείται από 12 εικόνες μορφής Tiff, οι οποίες ενσωματώνουν την πληροφορία των εικονοστοιχείων σε κωδικοποίηση ακέραιου αριθμού 16 bit (Unsigned 16-bit), ενώ η γεωαναφορά τους είναι σύμφωνα με το σύστημα WGS 84.

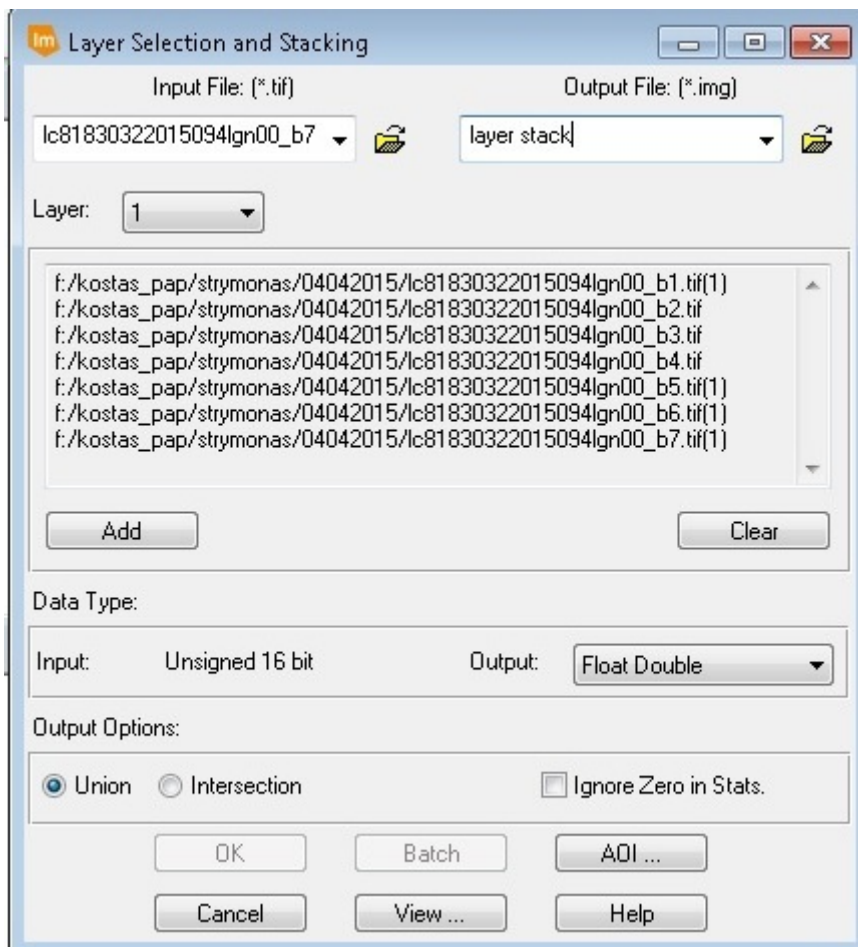
Οι 12 διαφορετικές εικόνες Tiff αποτελούν αποτέλεσμα της ίδιας δορυφορικής λήψης, η κάθε μία όμως αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (band).

### **3.2.2 Συγχώνευση Καναλιών**

Το αρχικό στάδιο επεξεργασίας περιλαμβάνει την συγχώνευση των εικόνων Tiff σε ένα αρχείο τύπου .img έτσι ώστε να διευκολύνεται η φόρτωση της εικόνας σε διαφορετικά προγράμματα επεξεργασίας (ERDAS Imagine, ArcGIS) καθώς η επεξεργασία και η συσχέτιση των ζωνών (bands) μεταξύ τους. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η δημιουργία του δείκτη βλάστησης (NDVI), που περιγράφεται αναλυτικά σε παρακάτω κεφάλαιο.

Για την πραγματοποίηση της συγχώνευσης αρκεί το εργαλείο του λογισμικού ERDAS Imagine 2016 με την ονομασία Layer Stack. Το προαναφερθέν εργαλείο είναι κατάλληλο για την συγχώνευση διαφόρων εικόνων-στρωμάτων (Layer) σε ένα αρχείο επιθυμητού τύπου.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 36, στο παράθυρο διαλόγου του εργαλείου Layer Stack, αρκεί να φορτώσουμε τις εικόνες για την κάθε ζώνη (band) και στη συνέχεια να επιλέξουμε τον τύπο και την θέση αποθήκευσης του παραγόμενου συγχωνευμένου αρχείου. Οι εικόνες είναι κωδικοποιημένες σε μορφή ακέραιου δεκαδικού 16bit (Unsigned 16-bit), όμως αποθηκεύονται στο συγχωνευμένο αρχείο σε μορφή Float Double.



Εικόνα 36. Παράθυρο διαλόγου εργαλείου συγχώνευσης εικόνων του λογισμικού *Erdas Imagine 2016*

### 3.2.3 Ατμοσφαιρική Διόρθωση

Οι δορυφορικές εικόνες παθητικής τηλεπισκόπησης καταγράφουν την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία (ή εκπεμπόμενη αν πρόκειται για το εύρος του θερμικού υπερύθρου) που συγκεντρώνεται συνολικά στον δορυφόρο αισθητήρα. Η ακτινοβολία όμως που φθάνει στο ραδιόμετρο δεν αντιπροσωπεύει μόνο την ανακλώμενη ακτινοβολία λόγω της γήινης εδαφικής επιφάνειας αλλά αποτελεί προϊόν ατμοσφαιρικών ανακλάσεων και σκεδάσεων (Χρυσουλάκης, 2011). Είναι λοιπόν απαραίτητο η δορυφορική εικόνα να υποστεί διορθώσεις, έτσι ώστε να αφαιρεθούν οι ατμοσφαιρικές παρεμβολές και οι τιμές των εικονοστοιχείων να γίνουν αντιπροσωπευτικές της ανακλαστικότητας τους εδάφους.

Το αρχικό προϊόν του Landsat 8 είναι κβαντοποιημένο και βαθμονομημένο, αλλά δεν έχει υποστεί ατμοσφαιρική διόρθωση. Η USGS (United States Geological Survey) προβλέπει συγκεκριμένη μεθοδολογία για την ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων του. Οι υπολογισμοί που γίνονται στις τιμές των εικονοστοιχείων, διορθώνουν και μετατρέπουν την εικόνα σε TOA Reflectance (Top Of the Atmosphere Reflectance) αφαιρώντας τις ατμοσφαιρικές ανακλάσεις ενώ ταυτόχρονα αλλάζουν την κλίμακα των τιμών των εικονοστοιχείων από ακέραιο 16 bit (Unsigned integer 16 bit) σε δεκαδικό διπλής ακρίβειας (Double-precision floating-point format). Οι συντελεστές

για την εφαρμογή των διορθωτικών εξισώσεων συνοδεύουν το αρχικό δορυφορικό προϊόν και περιέχουν τους απαραίτητους συντελεστές διόρθωσης, πληροφορίες σχετικά με την ηλιακή ανύψωση για την περιοχή λήψης κ.α. Η εξίσωση έχει ως εξής (United States Geological Survey, 2015):

$$\rho_l' = M_p \cdot Q_{cal} + A_p \quad (5)$$

Όπου:

$\rho_l'$  = η ανακλαστικότητα στο ψηλότερο σημείο της ατμόσφαιρας (TOA), χωρίς διόρθωση για την ηλιακή γωνία.

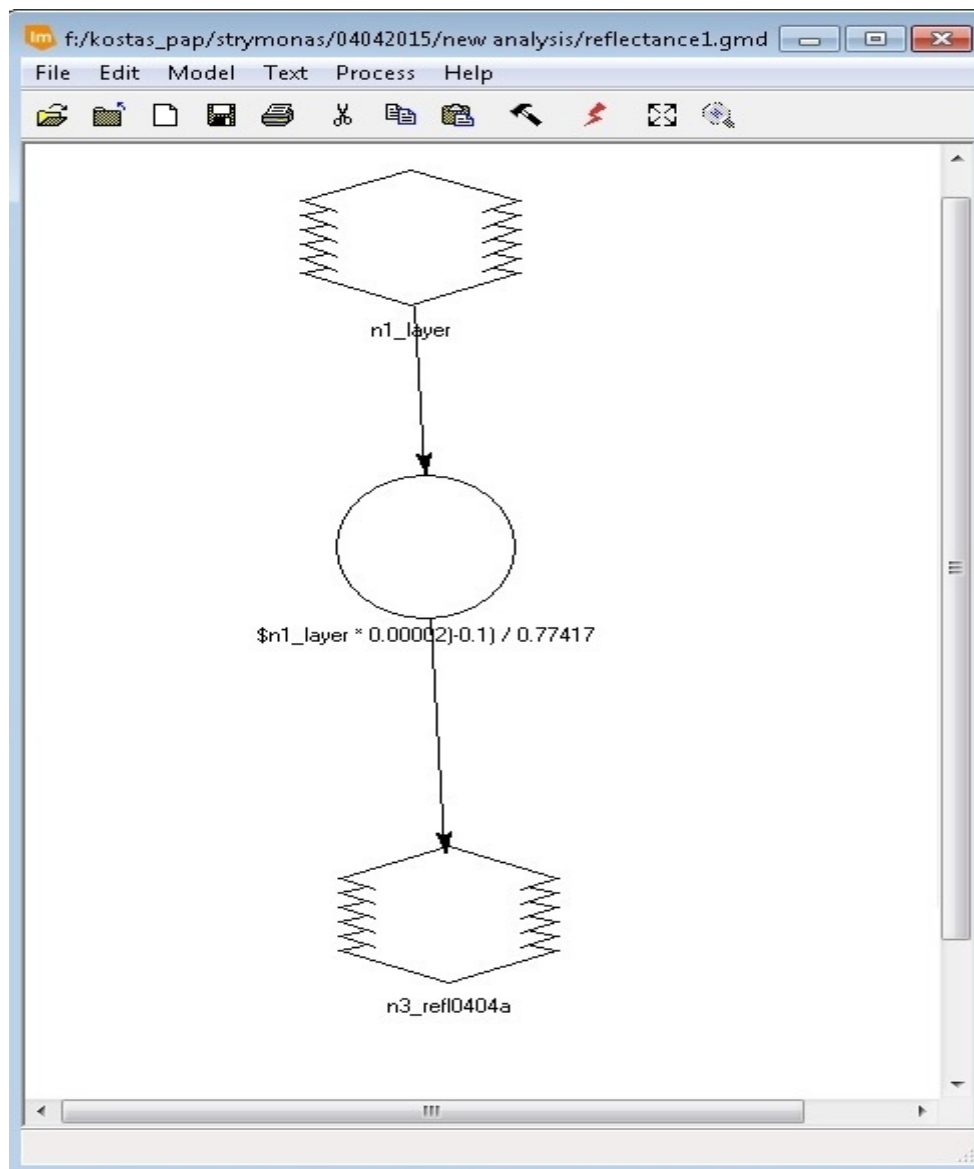
$M_p$  = συντελεστής πολλαπλασιασμού. Η τιμή του βρίσκεται στο αρχείο μεταδεδομένων της δορυφορικής εικόνας ως REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x, όπου x ο αριθμός της μπάντας.

$A_p$  = προσθετικός συντελεστής. Η τιμή του βρίσκεται στο αρχείο μεταδεδομένων ως REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x, όπου x ο αριθμός της μπάντας.

$Q_{cal}$  = Η κβαντοποιημένη και βαθμονομημένη ψηφιακή τιμή (DN) του κάθε εικονοστοιχείου της δορυφορικής εικόνας.

Η ατμοσφαιρική διόρθωση έγινε με την χρήση του λογισμικού επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων ERDAS Imagine 2016. Το λογισμικό διαθέτει δυνατότητα χρήσης αλγορίθμων για την επεξεργασία εικόνων, οι οποίοι εκτελούν σειριακά προκαθορισμένες πράξεις, εντολές και λογικές συνθήκες στις τιμές των εικονοστοιχείων. Ο αλγόριθμος γράφεται στο περιβάλλον του λογισμικού και διαθέτει δύο διαφορετικά εργαλεία για τον σκοπό αυτό. Αυτά είναι το Spatial Model Editor και το Model Maker. Για συνήθεις διαδικασίες επεξεργασίας εικόνων υπάρχουν έτοιμα μοντέλα στο διαδίκτυο, σε online βιβλιοθήκες από ερευνητές που τα διανέμουν δωρεάν. Τα περισσότερα μοντέλα στο διαδίκτυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελεύθερα καθώς και να τροποποιηθούν για τις ανάγκες της εκάστοτε μελέτης. Ο αλγόριθμος στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκε με το Model Maker.

Με την εκκίνηση του αλγορίθμου, ζητούνται οι τιμές των συντελεστών για την εκτέλεση των πράξεων, η ηλιακή ανύψωση καθώς και οι θέσεις του πρωτότυπου αλλά και του παραγόμενου αρχείου, τα οποία συμπληρώνονται στο διάγραμμα ροής για την εξαγωγή αποτελεσμάτων (Εικόνα 37).



Εικόνα 37. Διάγραμμα ροής αλγορίθμου εφαρμογής ατμοσφαιρικής διόρθωσης σε δορυφορικό προϊόν Landsat 8 μέσω Model Maker.

Μετά την ολοκλήρωση του αλγορίθμου δημιουργείται νέο αρχείο που περιέχει την διορθωμένη εικόνα.

### 3.2.4 Μέθοδος αφαίρεσης σκοτεινού σημείου (Dark Object Subtraction- DOS)

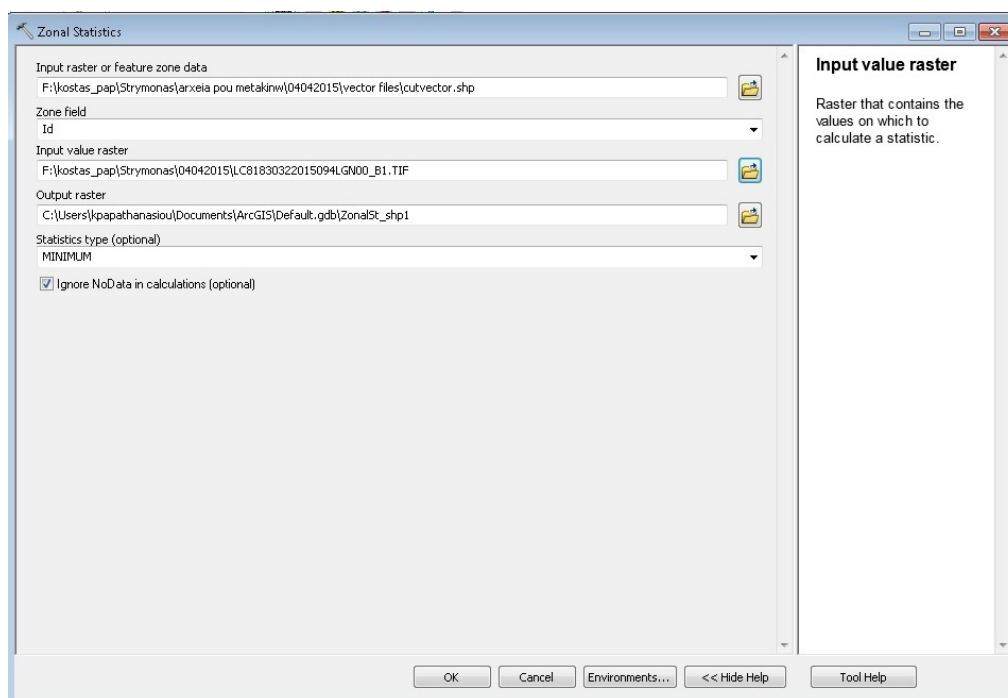
Έπειτα από την ατμοσφαιρική διόρθωση απαιτείται άλλη μία μέθοδος βελτίωσης των δορυφορικών εικόνων, η μέθοδος αφαίρεσης σκοτεινού σημείου. Η αφαίρεση σκοτεινού σημείου είναι μία συνηθισμένη διαδικασία και απαραίτητο στάδιο προεπεξεργασίας δορυφορικών εικόνων, καθώς η ατμοσφαιρική διόρθωση είναι δυνατόν να μην καταφέρει να αφαιρέσει εξ ολοκλήρου τις ατμοσφαιρικές παρεμβολές. Επίσης, η αφαίρεση σκοτεινού σημείου λειτουργεί με τέτοιο τρόπο, έτσι

ώστε να είναι εξειδικευμένη για την συγκεκριμένη δορυφορική λήψη, αφαιρώντας οποιεσδήποτε αντανάκλασεις που υπάρχουν στο πλάνο.

Η λογική της διαδικασίας βασίζεται στην βασική αρχή της τηλεπισκοπήσης με βάση την οποία η αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω από μία υδάτινη μάζα θα πρέπει να είναι μηδέν, καθώς στο σημείο αυτό συμβαίνει πλήρης απορρόφηση.

Έτσι, για κάθε δορυφορική εικόνα και για κάθε ένα από τα 7 κανάλια γίνεται έλεγχος έτσι ώστε να βρεθεί η ελάχιστη τιμή των εικονοστοιχείων πάνω από υδάτινες μάζες. Η τιμή αυτή θεωρείται ως σφάλμα και αφαιρείται από όλες τις εικόνες (μέθοδος DOS). Αξίζει να σημειωθεί ότι για την μέθοδο DOS δεν λαμβάνεται υπόψιν η θάλασσα, καθώς πάνω από την επιφάνεια της συμβαίνουν φαινόμενα κυματισμών και σύνθετων ανακλάσεων που μεταβάλλουν δυσανάλογα και υπερβολικά τις τιμές των εικονοστοιχείων. Με λίγα λόγια, η θαλάσσια επιφάνεια δεν αποτελεί κατάλληλο κριτήριο για την εν λόγω διόρθωση, οπότε η διαδικασία γίνεται με βάση τις τιμές των εικονοστοιχείων των λιμνών και των ποταμών.

Για την εύρεση της ελάχιστης τιμής των εικονοστοιχείων πάνω από τις λίμνες και τους ποταμούς χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcMap. Αρχικά δημιουργήθηκε μία μάσκα και η ελάχιστη τιμή των εικονοστοιχείων βρέθηκε με την χρήση του εργαλείου Zonal Statistics του ArcMap. Το παράθυρο διαλόγου φαίνεται στην Εικόνα 38. Στο παράθυρο επιλέγεται η μάσκα εντός της οποίας θα πραγματοποιηθεί η διαδικασία, η εικόνα της οποίας οι τιμές θα ελεγχθούν καθώς και η στατιστική λειτουργία, που στην περίπτωση μας είναι η εύρεση της ελάχιστης τιμής. Η επεξεργασία πρέπει να επαναληφθεί για κάθε ένα από τα κανάλια (band-layers) της εικόνας.



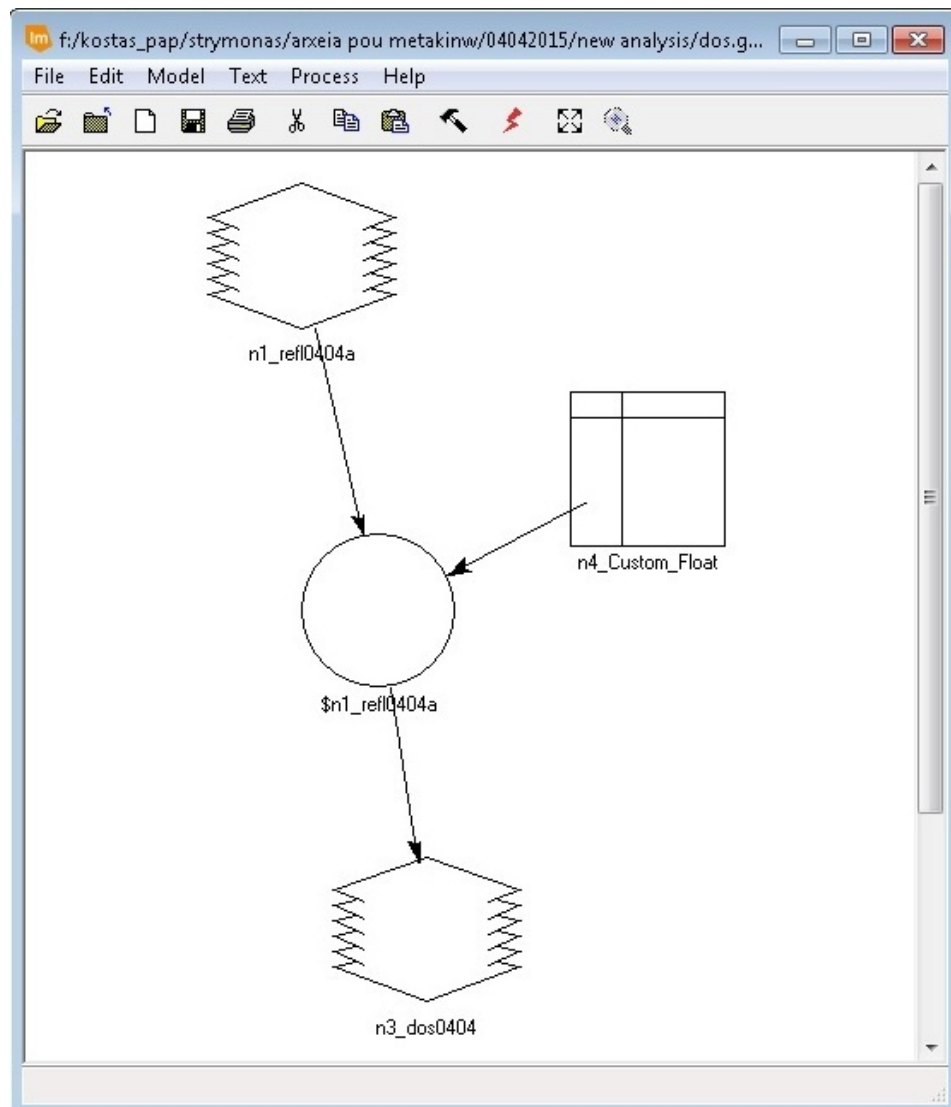
Εικόνα 38. Παράθυρο διαλόγου εργαλείου Zonal Statistics του λογισμικού ArcMap

Στην συνέχεια ακολουθεί η αφαίρεση της τιμής που βρέθηκε με την παραπάνω διαδικασία που θα πραγματοποιηθεί με την χρήση μοντέλου στο λογισμικό ERDAS

Imagine 2016. Ο αλγόριθμος γράφτηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας και αποτελεί μια απλή διαδικασία αφαίρεσης της ελάχιστης τιμής του κάθε καναλιού από την αντίστοιχη δορυφορική εικόνα.

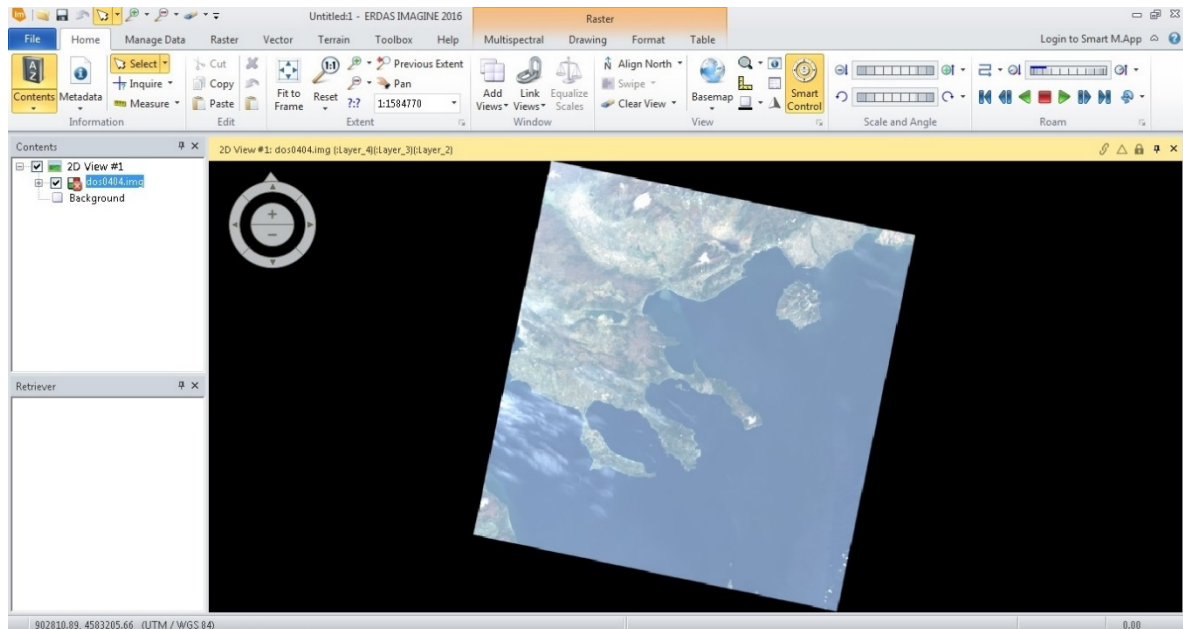
Στο διάγραμμα ροής (Εικόνα 39), που δημιουργήθηκε με το εργαλείο Model Maker, παρουσιάζονται οι υπολογισμοί και οι συνθήκες που λαμβάνουν χώρα για την αφαίρεση της ελάχιστης τιμής από την εικόνα. Όπως φαίνεται, το πρώτο βήμα του αλγορίθμου είναι να επιλεγεί το αρχείο εισόδου, καθώς και ο πίνακας που περιέχει τις τιμές που χρειάζονται να αφαιρεθούν. Ο πίνακας έχει διάσταση 1x7 έτσι ώστε να περιέχει μία τιμή προς αφαίρεση για κάθε κανάλι της δορυφορικής εικόνας.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η πράξη της αφαίρεσης, όπου αφαιρείται η ελάχιστη τιμή από κάθε κανάλι που βρέθηκε με την βοήθεια του ArcMap στα προηγούμενα βήματα.



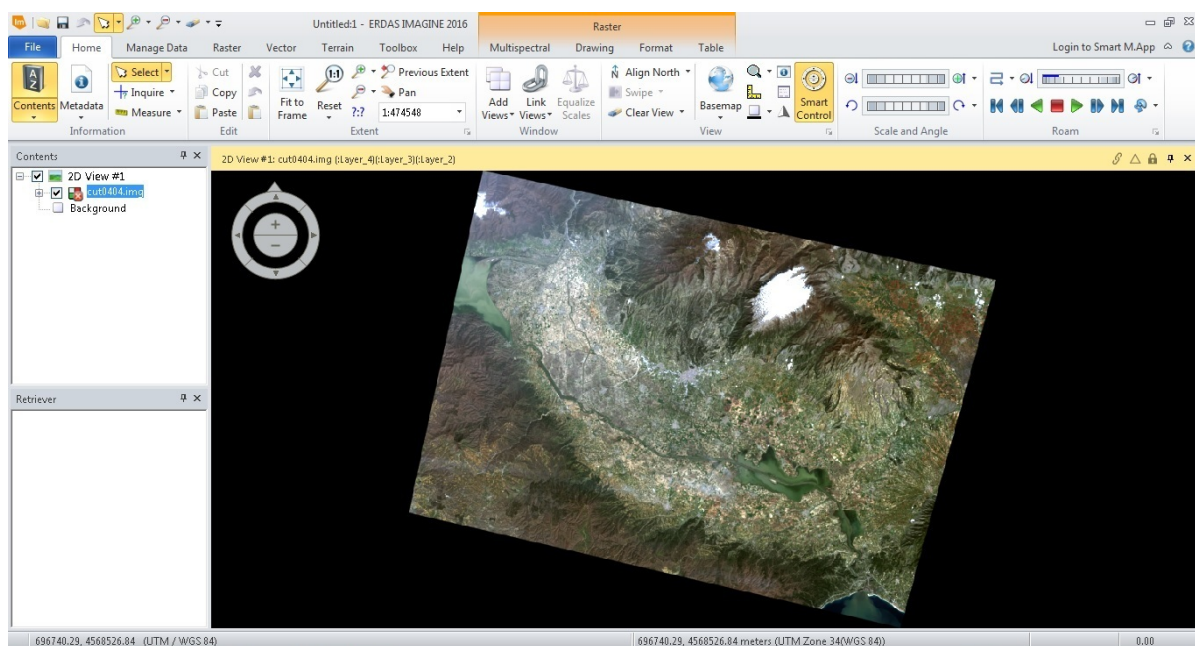
Εικόνα 39. Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου για την μέθοδο αφαίρεσης σκοτεινού σημείου

Τελικά, δημιουργείται η επιθυμητή εικόνα, η οποία όμως εάν παραμείνει έτσι θα δημιουργήσει προβλήματα στην συνέχεια της εργασίας (λόγω του νερού της θάλασσας που υπάρχει σε μεγάλο βαθμό στην εικόνα, των σύννεφων και του χιονιού) ,τόσο στον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης, όσο και στις ταξινομήσεις (Εικόνα 40).



*Εικόνα 40. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά την αφαίρεση σκοτεινού σημείου*

Για τον λόγο αυτό πραγματοποιείται περικοπή της εικόνας, μέσω ενός πολυγώνου AOI και της εντολής Subset & Chip → Create Subset Image που υπάρχει στο ERDAS Imagine 2016. Έτσι, δημιουργείται μία νέα εικόνα, πάνω στην οποία θα δουλέψουμε στην συνέχεια (Εικόνα 41).



*Εικόνα 41. Τελική δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά από την περικοπή*

Η παραπάνω προεπεξεργασία πραγματοποιείται και για τις δύο εικόνες του δορυφόρου Landsat 8 (πριν και μετά την πλημμύρα), όμως για ευνόητους λόγους παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία μόνο της μίας εικόνας (στην προκειμένη περίπτωση της εικόνας μετά την πλημμύρα, αφού είναι αυτή που μας ενδιαφέρει περισσότερο).

### **Διαδοποίηση των δεικτών θλάστησης::**

Η διαδικασία εύρεσης της τιμής κατωφλίου εφαρμόζεται με την ταξινόμηση ενός δέντρου αποφάσεων (decision tree classification). Το δέντρο αποφάσεων ξεκινά με μία απόφαση συγκάλυψης (masking decision), η οποία ρωτά εάν το pixel της διαφοροποιημένης εικόνας ( $P_D$ ) έχει κλίση μικρότερη από 3, αναλύοντας την κλίση του input του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου (digital elevation model-DEM). Αυτό το βήμα καλύπτει τις απότομες κλίσεις και αφαιρεί κάθε pixel στην SAR εικόνα που μπορεί να δείχνει μια μεταβολή της φωτεινότητας λόγω της γωνίας της επιστροφής σήματος από λόφους και πλαγιές (Hess et al 1990). Η απομάκρυνση αυτών των φωτεινών pixels είναι σημαντική για τον υπολογισμό των τοπικών στατιστικών κατά την διάρκεια της εύρεσης κατωφλίου, ωστόσο το βήμα αυτό μπορεί να είναι περιττό και επομένως να παραλείπεται για περιοχές με σχετικά επίπεδη τοπογραφία. Η τιμή 3 της κλίσης επιλέχθηκε ως συντηρητικό πρότυπο κλίσης και περιλαμβάνει περιοχές όπως απότομες όχθες ποταμού, υδραυλικά έργα και πλαγιές λόφων.

Εάν τελικά εφαρμόσουμε το παραπάνω βήμα, τότε τα εναπομείναντα pixels αξιολογούνται για πλημμύρα χρησιμοποιώντας την διακύμανση της φωτεινότητας για να ορίσουμε τα κριτήρια του κατωφλίου. Στην περίπτωση πλημμυρισμένων pixels, το κριτήριο του κατωφλίου είναι απλά ότι το pixel είναι μικρότερο από την μέση τιμή των pixels μείον την τυπική απόκλιση ολόκληρης της εικόνας επί έναν συντελεστή  $k_f$ .

Το ακόλουθο κριτήριο καθορίζει εάν το pixel ( $P_D$ ) κατακλύζεται:

$$P_D < (\{lmean[D]\} - k_f * \{lstdev[D]\}) \quad (6)$$

Όπου:  $lmean$  είναι ο μέσος όρος των pixels που απέμειναν

και  $lstdev$  είναι η τυπική απόκλιση των pixels που απέμειναν.

Ο συντελεστής  $k_f$  προσδιορίστηκε να είναι 1,5 για αυτήν την περιοχή μετά από αρκετές επαναλήψεις. Τα διάφορα κριτήρια που εξετάστηκαν κατά την διάρκεια της βαθμονόμησης της αξίας του  $k_f$  είναι το ποσό των υπολοίπων στιγμάτων και της καλυψής τους στην εικόνα, η οπτική συσχέτιση με εικόνες Landsat και αεροφωτογραφίες και ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών (δηλαδή κοντά σε ποτάμια και πλημμύρες των ξηρών ρεμάτων).

Με βάση όλα τα παραπάνω και κυρίως την εξίσωση (1), η τιμή του κατωφλίου (threshold) που υπολογίστηκε για την εικόνα του δορυφόρου Sentinel 1 στην περιοχή μελέτης μας είναι -22,774 db.

Επίσης, για τους δείκτες NDVI και NDWI υπολογίστηκε ο μέσος όρος των pixels που απέμειναν (mean value) και η τυπική απόκλιση των pixels που απέμειναν (standard deviation) (Πίνακας 7), που βοηθούν στο τελικό υπολογισμό της τιμής του κατωφλίου.

Πίνακας 7. Mean Value & Standard Deviation των NDVI & NDWI

	NDVI	NDWI
Mean Value	0,28	0,41
Standard Deviation	0,375	0,281

## 4 Επεξεργασία και Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων

### 4.1 Υπολογισμός δεικτών βλάστησης

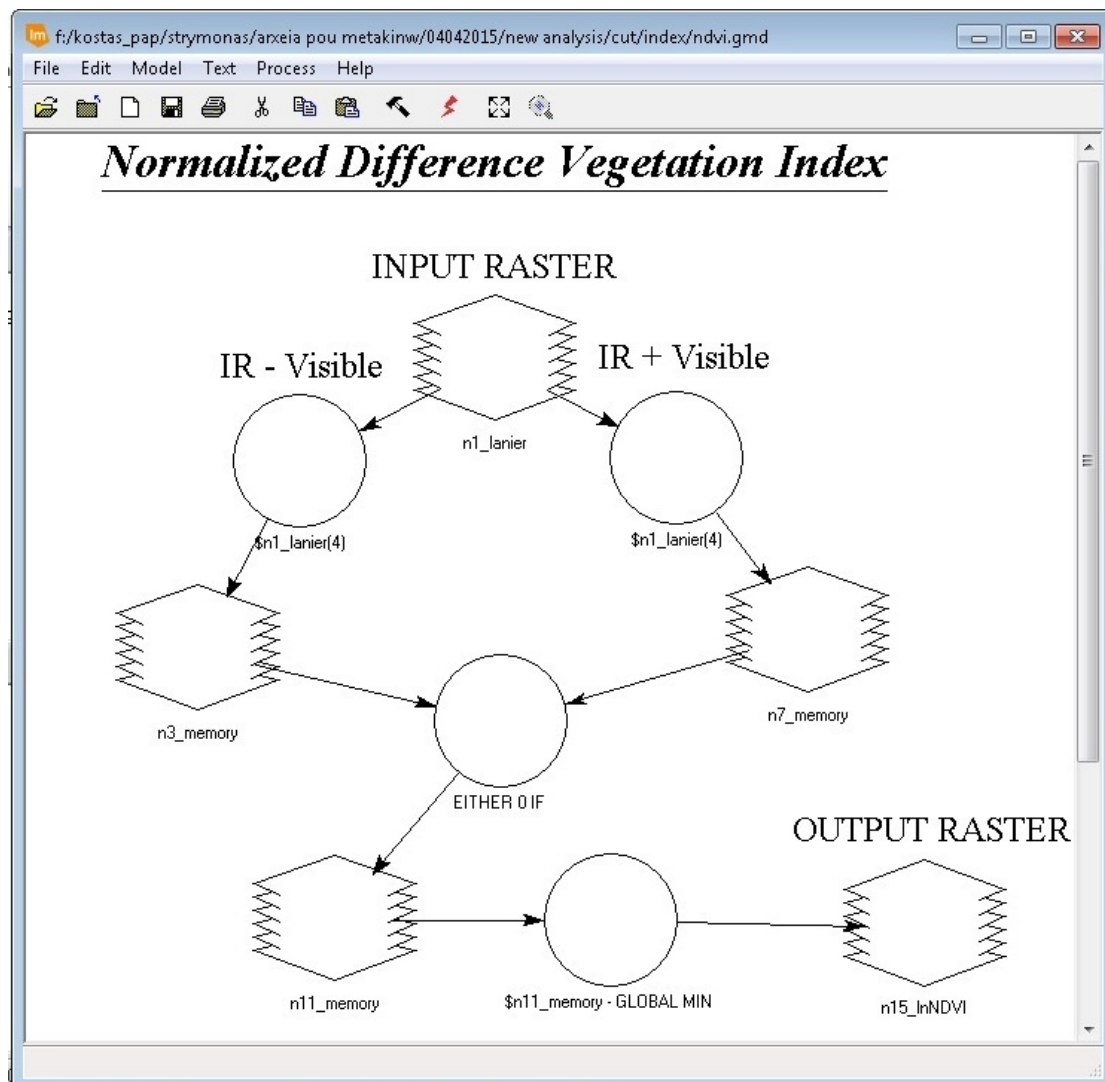
Με την χρήση των χαρτών κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ποσοτική εκτίμηση της φυτικής βιομάζας (NDVI και WRI) ή του νερού (NDWI και MNDWI) σε μία δεδομένη περιοχή ή σημείο. Γνωρίζοντας την συμπεριφορά της βλάστησης και του νερού στο φάσμα του ορατού ερυθρού (RED) και στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Near Infrared-NIR) γίνεται συνδυασμός των φασματικών καναλιών και υπολογίζεται μία τιμή για το κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας. Αυτή η παραγόμενη τιμή δείχνει το βαθμό και την ποσότητα της υγιούς βλάστησης ή του νερού αντίστοιχα. (Καρτάλης & Φείδας, 2006)

Οι δείκτες βλάστησης και οι μαθηματικοί τους τύποι παρουσιάζονται αναλυτικά σε παραπάνω υποκεφάλαιο της παρούσας εργασίας (υποκεφάλαιο 1.4.5 – Δείκτες Βλάστησης). Οι χάρτες δεικτών βλάστησης κατασκευάζονται εύκολα με τη βοήθεια λογισμικών GIS και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ERDAS Imagine 2016.

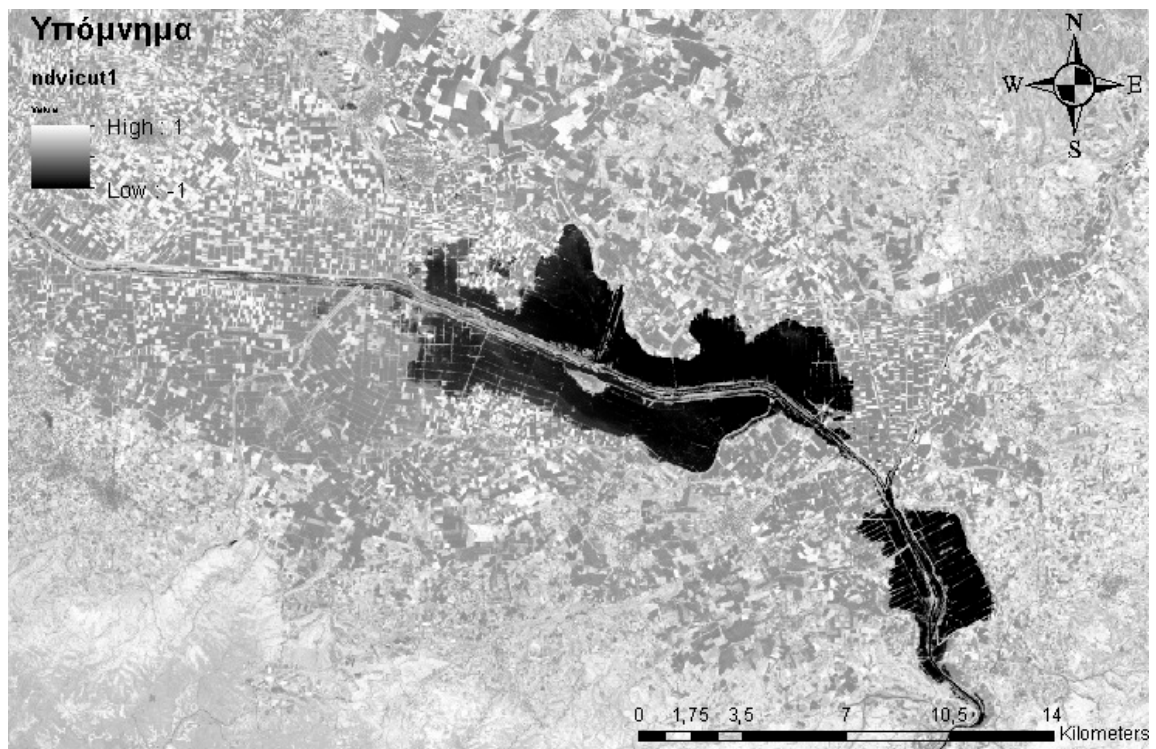
Για τον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης χρησιμοποιούμε το εργαλείο Model Maker του Erdas Imagine 2016 που βρίσκεται στην καρτέλα toolbox. Για τον NDVI εισάγονται τα δεδομένα, οι ρυθμίσεις για το κάθε κανάλι και στη συνέχεια γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί. Επιλέγεται το αρχείο εισόδου, το οποίο είναι το κομμένο αρχείο DOS (Dark Object Substraction) που αποτελεί το βαθμονομημένο και ατμοσφαιρικά διορθωμένο πολυφασματικό αρχείο του δορυφόρου Landsat 8. Στη συνέχεια επιλέγεται το αρχείο εξόδου, καθώς επίσης προσδιορίζεται το ποια κανάλια του πολυφασματικού αρχείου εισόδου αντιστοιχούν στο NIR (Near Infrared) και το RED, που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό. Στη συνέχεια γίνεται εκκίνηση του αλγορίθμου, ο οποίος εκτελεί τις πράξεις και εγγράφει τα αποτελέσματα στο αρχείο εξόδου (Εικόνα 42). Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για τους υπόλοιπους δείκτες, με μοναδική διαφορά να αποτελεί ο προσδιορισμός των καναλιών του πολυφασματικού αρχείου εισόδου που αντιστοιχούν κάθε φορά στο ανάλογο μήκος κύματος της ακτινοβολίας που χρειάζεται κάθε δείκτης.

Το παραγόμενο προϊόν, όπως φαίνεται στην Εικόνα 43 σε μορφή χάρτη, παρουσιάζει τα σημεία στα οποία επικρατεί υψηλή / υγιής βλάστηση με τόνους χρωμάτων κοντά στο λευκό (τιμές εικονοστοιχείων κοντά στο 1), ενώ τα σημεία χωρίς βλάστηση, όπως π.χ. ασφαλτοστρωμένες εκτάσεις και κτίρια, εμφανίζονται σε τόνους κοντά στο μαύρο (τιμές κοντά στο -1). Αξίζει να σημειωθεί ότι η θαλάσσια επιφάνεια δεν αντιπροσωπεύει αξιόπιστες τιμές, καθώς η εναλλαγή κυματισμών, ήρεμης θάλασσας και η μεταβλητότητα του βάθους δημιουργούν ιδιαίτερα φαινόμενα αντανάκλασης, σκέδασης και απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 43. Αντίστοιχα, για δείκτες που στόχο έχουν την απεικόνιση του νερού, όπως ο NDWI, τα σημεία που απεικονίζονται με τόνους χρωμάτων κοντά στο λευκό, είναι τα σημεία στα οποία υπάρχει νερό. Και αυτός ο δείκτης απεικονίζεται στην Εικόνα 44 σε μορφή χάρτη.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι για την δημιουργία αυτών των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του κατωφλιού, της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης των δεικτών NDVI και NDWI που αναλύθηκαν σε τμήμα της εργασίας που υπάρχει παραπάνω και αναφέρεται στον υπολογισμό κατωφλιού.



Εικόνα 42. Μοντέλο υπολογισμού του δείκτη βλάστησης NDVI



Εικόνα 43. Χάρτης κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI



Εικόνα 44. Χάρτης κανονικοποιημένου δείκτη νερού NDWI

## 4.2 Ταξινόμηση Πολυφασματικών Εικόνων

Με τον όρο **ταξινόμηση** ψηφιακής πολυφασματικής εικόνας, υποδηλώνεται η διαδικασία κατηγοριοποίησης των εικονοστοιχείων σε ομάδες, ή **τάξεις**, με κοινά χαρακτηριστικά, από πλευράς φασματικής απόκρισης ή/και υψής. Οι τάξεις αυτές μπορούν να εκφράζουν λιθολογικές ενότητες, τύπους φυτοκάλυψης, χρήσεις γης και άλλες οντότητες γεωλογικού, εδαφολογικού, χωροταξικού ή φυσικογεωγραφικού χαρακτήρα.

Υπάρχουν διάφορες αυτοματοποιημένες μέθοδοι ταξινόμησης, στις οποίες αξιοποιούνται διάφορα κεφάλαια των μαθηματικών και της πληροφορικής, όπως η θεωρία αλγορίθμων, οι διανυσματικοί χώροι, η θεωρία πιθανοτήτων, η πολυπαραμετρική στατιστική, η ασαφής λογική (fuzzy logic), τα νευρωνικά δίκτυα και φυσικά ο προγραμματισμός, μέσω του οποίου αναπτύσσεται το κατάλληλο λογισμικό, ώστε να υλοποιηθεί σε σύντομο χρόνο, και με ποσοτικά κριτήρια, η διαδικασία ταυτοποίησης του κάθε εικονοστοιχείου σε μια κατηγορία. Μαζί όμως με την ευχέρεια χειρισμού του λογισμικού, και τη γνώση του πώς αυτό λειτουργεί και ποιές είναι οι δυνατότητες και οι περιορισμοί του, είναι αναγκαία η καλή γνώση των γεωλογικών και φυσικογεωγραφικών συνθηκών και χαρακτηριστικών της περιοχής, ώστε οι αυτοματοποιημένοι αλγόριθμοι ταξινόμησης να οδηγήσουν σε αξιόπιστα αποτελέσματα.

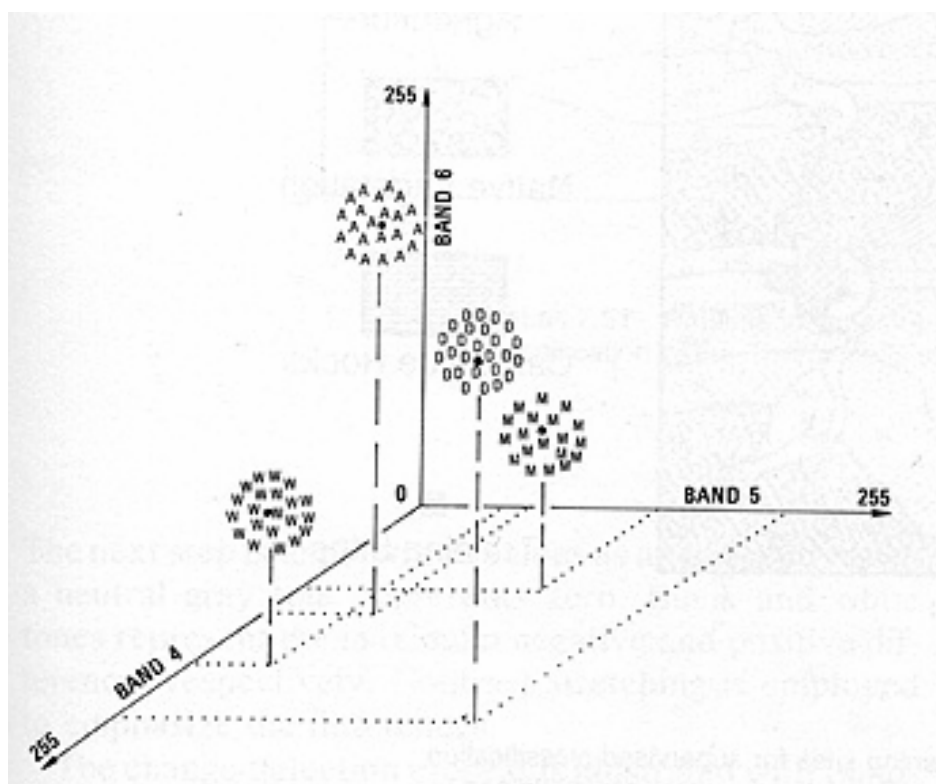
Όταν η ταξινόμηση πραγματοποιείται με βάση τη φασματική υπογραφή του κάθε εικονοστοιχείου ξεχωριστά, τότε πρόκειται για **πολυφασματική ταξινόμηση** (multispectral classification). Σε αυτό το είδος ταξινόμησης, θεμελιώδη σημασία έχει η έννοια της **περιοχής ομαδοποίησης** (cluster). Περιοχή ομαδοποίησης είναι μια περιοχή στο φασματικό χώρο, στην οποία ανήκουν οι φασματικές υπογραφές πολλών εικονοστοιχείων. Μια περιοχή ομαδοποίησης στο φασματικό χώρο, θεωρείται ότι αντιστοιχεί σε μια γεωλογική ή φυσικογεωγραφική ενότητα στο γεωγραφικό χώρο. Για παράδειγμα, μια περιοχή ομαδοποίησης μπορεί να αντιστοιχεί σε έναν τύπο πετρώματος, ή σε έναν τύπο φυτοκάλυψης. Επομένως, το πλήθος των περιοχών ομαδοποίησης είναι ίσο με το πλήθος των επιφανειακών σχηματισμών ή τύπων εδαφοκάλυψης που απαρτίζουν την περιοχή έρευνας. Και η διαδικασία πολυφασματικής ταξινόμησης, είναι στην πραγματικότητα η διαδικασία ένταξης του κάθε εικονοστοιχείου σε μια περιοχή ομαδοποίησης, με βάση κάποιο ποσοτικό κριτήριο. Όταν το κάθε εικονοστοιχείο έχει ενταχθεί, με βάση τη φασματική υπογραφή του, σε μια περιοχή ομαδοποίησης του φασματικού χώρου, τότε έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία ταξινόμησης της ψηφιακής εικόνας και ο γεωγραφικός χώρος έχει χωριστεί σε διάφορες γεωλογικές, εδαφολογικές ή φυσικογεωγραφικές ενότητες, ή αλλιώς, σε διάφορες τάξεις με διακριτή φασματική απόκριση (φασματικές τάξεις). Εικονοστοιχεία που δεν είναι δυνατόν να ενταχθούν σε καμία περιοχή ομαδοποίησης παραμένουν αταξινομήτα, δηλαδή μη αναγνωρισμένα.

Υπάρχουν και μέθοδοι ταξινόμησης όπου στην ταυτοποίηση του κάθε εικονοστοιχείου λαμβάνεται υπόψη σε ποια κατηγορία ταξινομούνται τα γειτονικά εικονοστοιχεία. Σε αυτήν την περίπτωση, μιλάμε για **ταξινόμηση συνάφειας** (context

classification). Στα εμπορικά πακέτα λογισμικού επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων, τα ενσωματωμένα εργαλεία ταξινόμησης είναι κυρίως πολυφασματικοί ταξινομητές, ωστόσο τα χωρικά συμφραζόμενα του κάθε εικονοστοιχείου παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για μια αξιόπιστη ταξινόμηση.

Οι μέθοδοι πολυφασματικής ταξινόμησης, μπορούν επίσης να χωριστούν σε δυο κατηγορίες: Στην **επιβλεπόμενη ταξινόμηση** (supervised classification) και στη **μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση** (unsupervised classification).

Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, ο χρήστης καθορίζει πάνω στην εικόνα **περιοχές εκπαίδευσης** (training fields), η κάθε μια από τις οποίες είναι γνωστό σε ποια τάξη ανήκει, οπότε, με βάση τις φασματικές υπογραφές των συμπεριλαμβανόμενων εικονοστοιχείων, προσδιορίζεται η αντίστοιχη περιοχή ομαδοποίησης στο φασματικό χώρο. Στη συνέχεια, το κάθε εικονοστοιχείο που δεν ανήκει σε περιοχή εκπαίδευσης, εντάσσεται σε μια τάξη με βάση τη φασματική του υπογραφή και τη θέση αυτής ως προς τις περιοχές ομαδοποίησης (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Φασματικός χώρος που παράγεται από τρεις φασματικές ζώνες και στον οποίο υπάρχουν τέσσερις περιοχές ομαδοποίησης (clusters) (Sabins 1987)



Στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, ο ίδιος ο αλγόριθμος προσδιορίζει τις περιοχές ομαδοποίησης και, με βάση αυτές, κατατάσσει τα εικονοστοιχεία στις διάφορες τάξεις. Η όλη διαδικασία διεκπεραιώνεται εντελώς αυτοματοποιημένα, χωρίς την παρέμβαση του χρήστη. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ο χωρισμός των εικονοστοιχείων

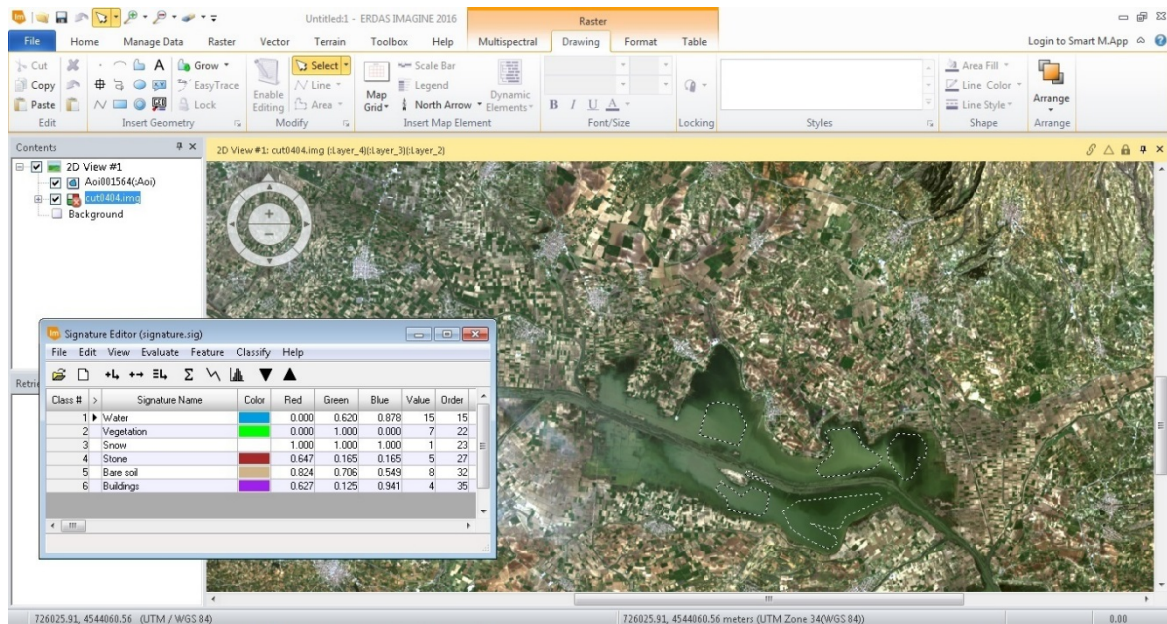
σε τάξεις, για τις οποίες δεν είναι γνωστό σε τί είδους γεωλογική ή φυσικογεωγραφική ενότητα ανήκουν, σε αντίθεση με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπου το φυσικό περιεχόμενο της κάθε τάξης το γνωρίζει ο χρήστης εκ των προτέρων.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση οδηγεί σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, αν έχουν οριστεί οι κατάλληλες περιοχές εκπαίδευσης, με τη βοήθεια συμπληρωματικών δεδομένων, που μπορούν να συλλεγούν είτε από γεωλογικούς/εδαφολογικούς χάρτες, είτε από εργασία υπαίθρου. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν έχει τέτοιες απαιτήσεις, όμως μπορεί να οδηγήσει σε αναξιόπιστα αποτελέσματα. Ωστόσο, μπορεί να αποτελέσει το εισαγωγικό βήμα με το οποίο ο χρήστης σχηματίζει μια πρώτη εικόνα για το ποιες περιοχές ομαδοποίησης υπάρχουν στο φασματικό χώρο της περιοχής μελέτης. Και αξιοποιώντας αυτήν την πληροφορία, είναι δυνατή μια δεύτερη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, που να δίνει καλύτερα αποτελέσματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι ταξινόμησης, που θεμελιώνονται πάνω σε διάφορα ποσοτικά κριτήρια και αλγορίθμους ταυτοποίησης των εικονοστοιχείων, καθώς επίσης γίνεται και η στατιστική τους ανάλυση.

#### **4.2.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση**

Στις μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης προσδιορίζονται πρώτα οι διάφορες περιοχές ομαδοποίησης στο φασματικό χώρο, μελετώντας τις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων των περιοχών εκπαίδευσης. Στη συνέχεια, το κάθε εικονοστοιχείο ταυτοποιείται σε μια φασματική τάξη, με βάση τη θέση του στο φασματικό χώρο. Για τον προσδιορισμό των φασματικών υπογραφών, από το Menu του Erdas Imagine 2016 επιλέγουμε την καρτέλα Raster και έπειτα Supervised → Signature Editor. Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται View → Image AOI και κάνουμε κλικ πάνω στην εικόνα που θέλουμε να ταξινομήσουμε, την οποία έχουμε εισάγει από πριν στο πρόγραμμα. Έπειτα, δημιουργούμε πάνω στην εικόνα αρκετά πολύγωνα κάθε φορά για κάθε διαφορετική φασματική υπογραφή (αυτό το βήμα πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά έτσι ώστε να μην εισάγουμε κατά λάθος μια διαφορετική φασματική υπογραφή μέσα σε μια άλλη, πχ. νερό μέσα σε βλάστηση, γιατί έτσι θα προκύψουν λάθος αποτελέσματα), τα εισάγουμε στον Editor με το σύμβολο  (Create New Signature(s) from AOI), τα συγχωνεύουμε όλα σε μία φασματική υπογραφή με το σύμβολο  (Merge Selected Signatures) και τέλος ονομάζουμε την φασματική υπογραφή και επιλέγουμε το χρώμα. Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για όλες τις διαφορετικές υπογραφές που υπάρχουν στην εικόνα (πχ. Νερό, βλάστηση, κτίρια κλπ.) και αποθηκεύουμε το αρχείο με τις φασματικές υπογραφές (αρχείο signature.sig) (Εικόνα 45). Αυτό το αρχείο θα χρησιμοποιηθεί για όλες τις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις όλων των εικόνων.



Εικόνα 45. Signature Editor και πολύγωνα ΑΟΙ

#### 4.2.1.1 Ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood)

Η ταξινόμηση με το κριτήριο της **μέγιστης πιθανοφάνειας** (maximum likelihood), πραγματοποιείται με βάση την πιθανότητα  $p(\Omega_i | \mathbf{x})$  να ανήκει εικονοστοιχείο με διάνυσμα  $\mathbf{x}$  στο φασματικό χώρο, στην τάξη  $\Omega_i$ . Οι συνιστώσες  $x_1, x_2, \dots, x_n$  του διανύσματος  $\mathbf{x}$  είναι οι τιμές φωτεινότητας του εικονοστοιχείου στις φασματικές ζώνες 1, 2, ..., n, αντίστοιχα.

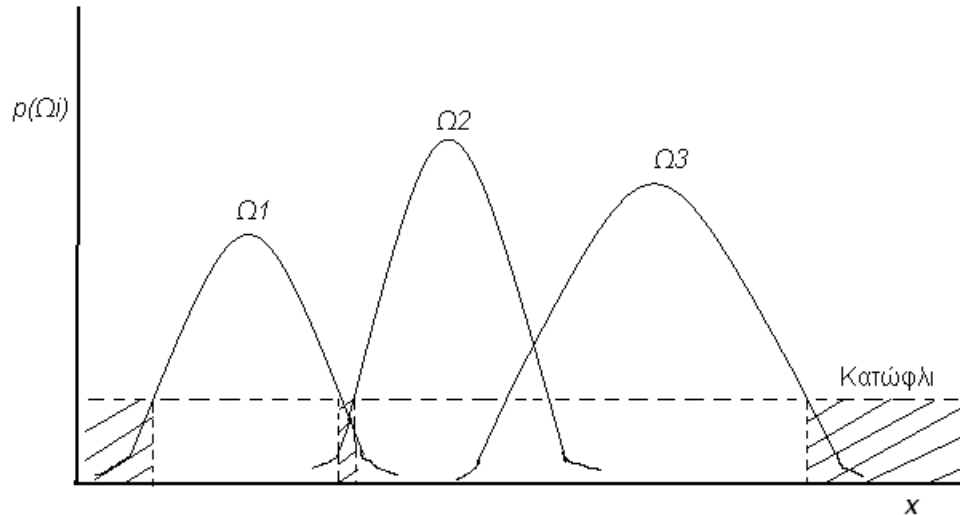
Το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας, διατυπώνεται ως εξής:

$$\mathbf{x} \in \Omega_i \quad \text{αν} \quad p(\Omega_i | \mathbf{x}) > p(\Omega_j | \mathbf{x}) \quad \text{για κάθε} \quad j \neq i \quad (7)$$

Ωστόσο αν η πιθανότητα  $p(\Omega_i | \mathbf{x})$  είναι πολύ μικρή, για παράδειγμα μικρότερη του 5%, δεν έχει νόημα να ταυτοποιηθεί το εικονοστοιχείο σε κάποια τάξη. Μικρές τιμές πιθανότητας  $p(\Omega_i | \mathbf{x})$  σημαίνουν ότι το διάνυσμα  $\mathbf{x}$  βρίσκεται στα όρια μεταξύ δυο περιοχών ομαδοποίησης (clusters), ή στις παρυφές ενός cluster (Σχήμα 6). Θα πρέπει λοιπόν, πέρα από τη σχέση (7), να ικανοποιείται και η παρακάτω σχέση:

$$p(\Omega_i | \mathbf{x}) > p\text{-κατωφλίου} \quad (8)$$

Η  $p$ -κατώφλιου είναι η ελάχιστη τιμή πιθανότητας που πρέπει να αντιστοιχεί στο εικονοστοιχείο με διάνυσμα  $x$ , ώστε να ταυτοποιηθεί αυτό στην τάξη  $\Omega_i$ , με βάση τη σχέση (7).

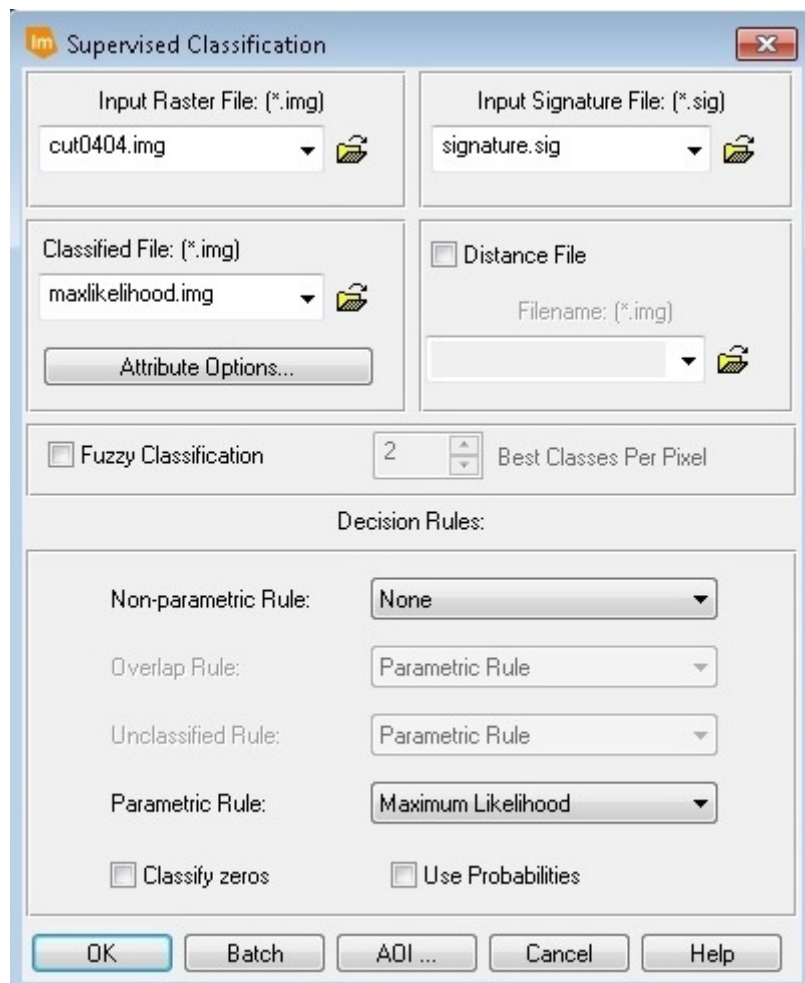


Σχήμα 6. Ταξινόμηση με το κριτήριο μέγιστης πιθανοφάνειας, με βάση μια μόνο φασματική ζώνη (άξονας  $x$ ).

Τα εικονοστοιχεία με τιμές φωτεινότητας στις γραμμοσκιασμένες περιοχές δεν ταξινομούνται γιατί η μέγιστη πιθανότητα  $p(\Omega_i)$  δεν υπερβαίνει την τιμή κατώφλιου ( $p$ -κατώφλι).

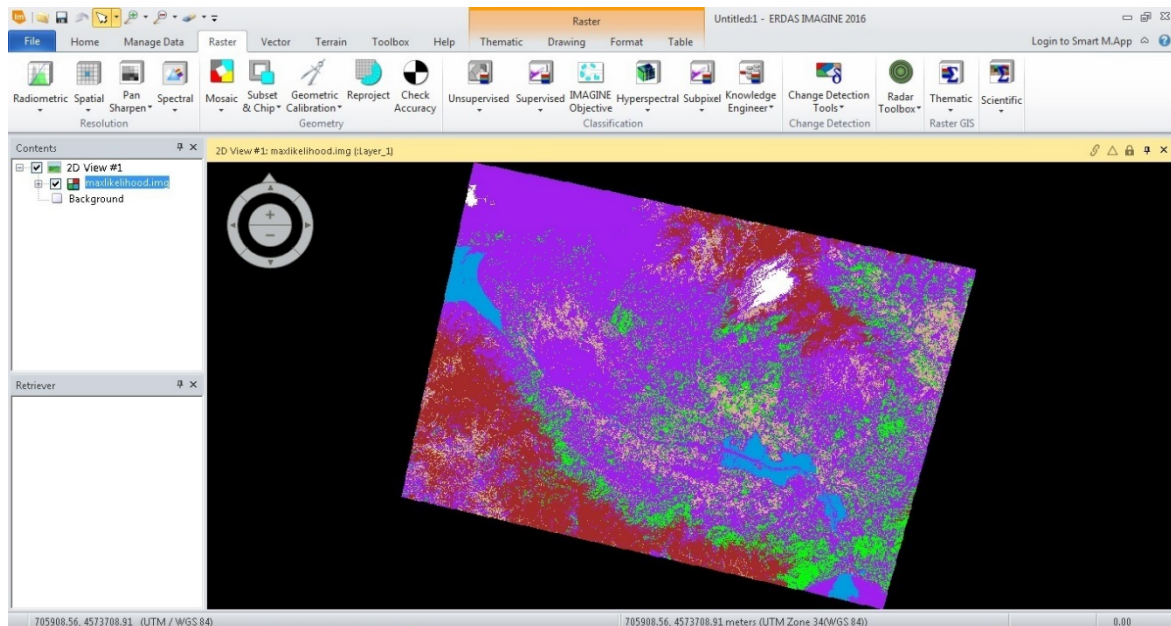
Οι σχέσεις (7) και (8) είναι η βάση πάνω στην οποία αναπτύσσεται η μέθοδος ταξινόμησης με το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση με το κριτήριο της μέγιστης πιθανοφάνειας, στο Erdas Imagine 2016 επιλέγουμε από το Menu την καρτέλα Raster → Supervised → Supervised Classification. Στο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται επιλέγεται στο Input Raster File: (\*.img) την εικόνα που επιθυμούμε να ταξινομήσουμε, στο Input Signature File (\*.sig) την φασματική υπογραφή που δημιουργήσαμε παραπάνω, στο Classified file (\*.img) συμπληρώνουμε το όνομα που θέλω να έχει η εικόνα που θα δημιουργηθεί καθώς και που θα αποθηκευτεί και τέλος, στην επιλογή Parametric Rule το κριτήριο Maximum Likelihood (Εικόνα 46).



Εικόνα 46. Παράθυρο διαλόγου *Supervised Classification*

Η ταξινομημένη εικόνα που προκύπτει μετά από την χρήση του κριτηρίου της μέγιστης πιθανοφάνειας παρουσιάζεται στην Εικόνα 47.



Εικόνα 47. Ταξινομημένη εικόνα με χρήση του κριτηρίου μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)

Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθείται και στις παρακάτω μεθόδους, με την διαφορά ότι κάθε φορά αποθηκεύουμε το ταξινομημένο αρχείο με την ονομασία που εισάγουμε, ανάλογα με την μέθοδο ταξινόμησης, στον τόπο αποθήκευσης που επιθυμούμε και στην εντολή Parametric Rule επιλέγουμε κάθε φορά την αντίστοιχη μέθοδο ταξινόμησης.

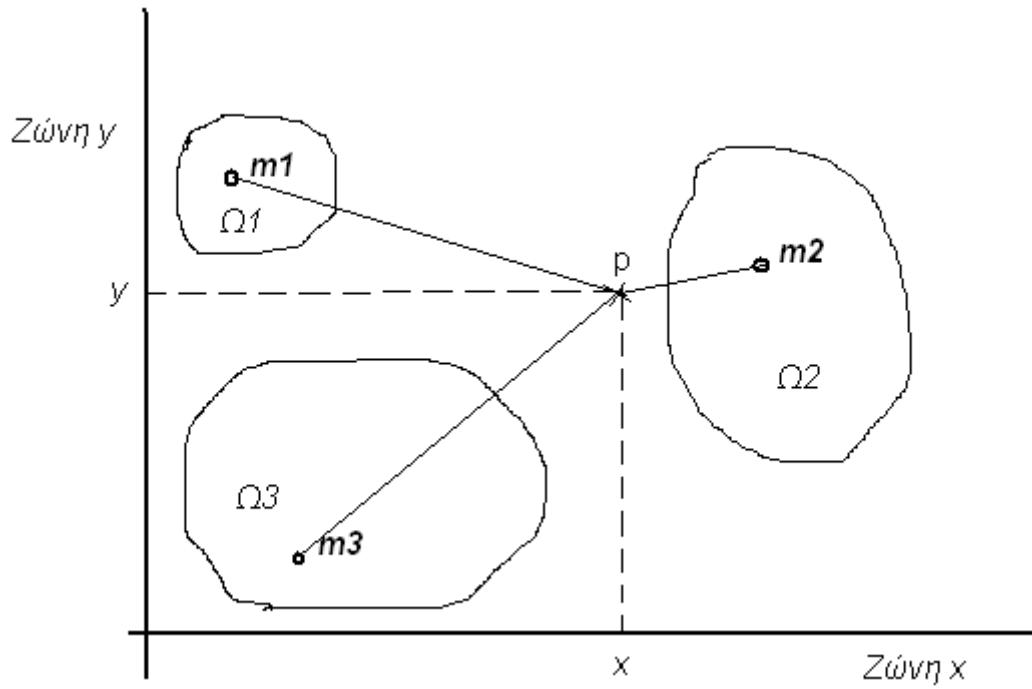
#### 4.2.1.2 Ταξινόμηση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης (minimum distance)

Σε αυτήν τη μέθοδο, προσδιορίζονται τα κέντρα  $m_i$  των περιοχών ομαδοποίησης  $\Omega_i$ , που προσδιορίζονται από τις περιοχές εκπαίδευσης. Σε έναν φασματικό χώρο  $n$  διαστάσεων, το κάθε κέντρο  $m_i$  αναπαριστάται ως:

$$m_i = [m_{i,1}, m_{i,2}, \dots, m_{i,j}, \dots, m_{i,n}]^T \quad (9)$$

$m_{i,j}$  είναι η μέση τιμή της φωτεινότητας των εικονοστοιχείων της περιοχής ομαδοποίησης  $\Omega_i$  στη φασματική ζώνη  $j$ . Ο εκθέτης  $T$  συμβολίζει τον ανάστροφο πίνακα.

Στο Σχήμα 7 αναπαριστάται ο δισδιάστατος φασματικός χώρος με τρεις ομάδες συγκέντρωσης και με κέντρα  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ .



Σχήμα 7. Ταξινόμηση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης

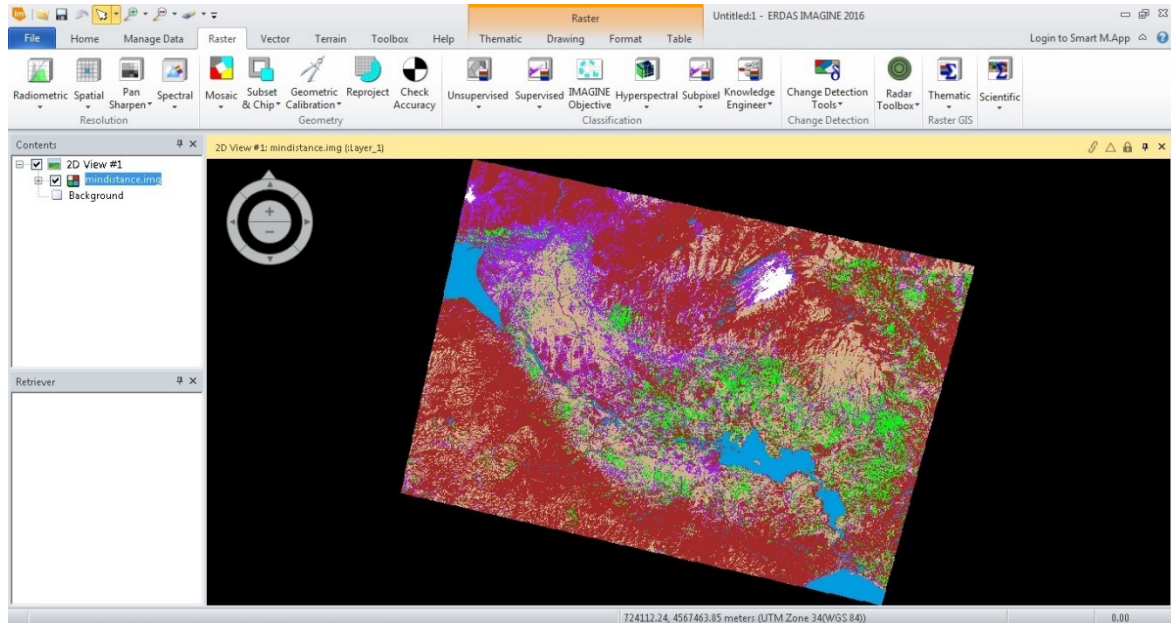
Στον φασματικό χώρο, ένα εικονοστοιχείο  $p$  με τιμές φωτεινότητας  $(x, y)$  εντάσσεται στην περιοχή ομαδοποίησης εκείνη, από την οποία η απόσταση από το κέντρο της είναι η ελάχιστη. Στο Σχήμα, το εικονοστοιχείο  $p$  βρίσκεται πιο κοντά στο κέντρο  $m_2$ , επομένως ανήκει στην τάξη  $\Omega_2$ .

Στο παράδειγμα του εικονοστοιχείου του σχήματος, η ταξινόμηση έγινε με βάση την ευκλείδεια απόσταση  $d_e$ , που σε ένα  $n$ -διάστατο φασματικό χώρο ορίζεται ως:

$$d_e(\mathbf{x}, \mathbf{m}_i) = [(\mathbf{x} - \mathbf{m}_i)^T \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{m}_i)]^{1/2} = [(x_1 - m_{i,1})^2 + (x_2 - m_{i,2})^2 + \dots + (x_n - m_{i,n})^2]^{1/2} \quad (10)$$

$\mathbf{x}$  είναι το διάνυσμα θέσης εικονοστοιχείου  $p$  στο φασματικό χώρο και  $x_1, x_2, \dots, x_n$  είναι οι συνιστώσες του διανύσματος (τιμές φωτεινότητας) στις ζώνες 1, 2, ...,  $n$ , αντίστοιχα.

Η ταξινομημένη εικόνα που προκύπτει μετά από την χρήση της μεθόδου της ελάχιστης απόστασης παρουσιάζεται στην Εικόνα 48 παρακάτω.



Εικόνα 48. Ταξινομημένη εικόνα με χρήση της μεθόδου ελάχιστης απόστασης (Minimum Distance)

#### 4.2.1.3 Ταξινόμηση με τη μέθοδο της απόστασης Mahalanobis (Mahalanobis distance)

Αν, στην εφαρμογή του κριτηρίου της ελάχιστης απόστασης, θέλουμε να λάβουμε υπόψη και τη διασπορά των τιμών φωτεινότητας σε κάθε περιοχή ομαδοποίησης, τότε αντί για την ευκλείδεια απόσταση χρησιμοποιείται η απόσταση Mahalanobis  $d_m$ , που ορίζεται ως:

$$d_m(\mathbf{x}, \mathbf{m}_i) = [(\mathbf{x} - \mathbf{m}_i)^T \Sigma_i^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{m}_i)] \quad (11)$$

$\Sigma_i$  είναι ο πίνακας συνδιασποράς (covariance matrix) για την ομάδα συγκέντρωσης  $\Omega_i$ , που προσδιορίζεται από τη σχέση:

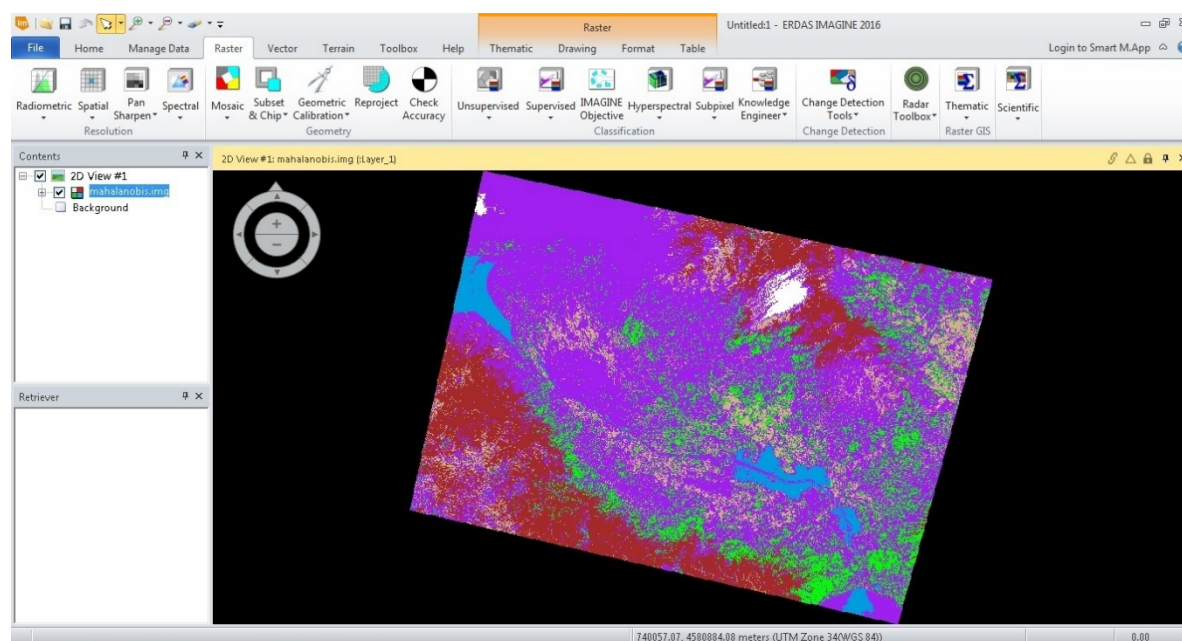
$$\Sigma_i = \frac{\sum_{j=1}^N [(\mathbf{x}_j - \mathbf{m}_i) \cdot (\mathbf{x}_j - \mathbf{m}_i)^T]}{N - 1} \quad (12)$$

$N$  είναι ο αριθμός των εικονοστοιχείων των πεδίων εκπαίδευσης που ανήκουν στην τάξη  $\Omega_i$ .

Στην παραπάνω σχέση, δε θα πρέπει να συγχέεται το σύμβολο του πίνακα συνδιασποράς, στο αριστερό μέλος, με το σύμβολο της άθροισης, στο δεξιό μέλος.

Στην (ιδανική) περίπτωση μηδενικής γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των τιμών φωτεινότητας διαφορετικών φασματικών ζωνών και κοινής διασποράς τιμών φωτεινότητας για όλες τις ζώνες, η ταξινόμηση ελάχιστης απόστασης κατά Ευκλείδη και η αντίστοιχη ταξινόμηση κατά Mahalanobis δίνουν τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα (Richards & Jia 1999).

Η ταξινομημένη εικόνα που προκύπτει μετά από την χρήση της μεθόδου της απόστασης Mahalanobis παρουσιάζεται στην Εικόνα 49 παρακάτω.



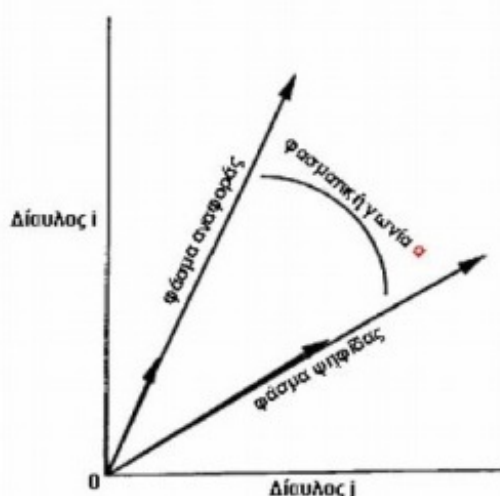
Εικόνα 49. Ταξινομημένη εικόνα με χρήση της μεθόδου απόστασης Mahalanobis (Mahalanobis Distance)

#### 4.2.1.4 Ταξινόμηση με τη μέθοδο του χαρτογράφου φασματικής γωνίας (spectral angle mapper)

Η μέθοδος του χαρτογράφου φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapper-SAM) είναι μία από τις κορυφαίες μεθόδους ταξινόμησης, διότι υπολογίζει την φασματική ομοιότητα μεταξύ του φάσματος που προέρχεται από την ψηφιακή τηλεπισκοπική απεικόνιση και τη φασματική ανακλαστικότητα αναφοράς. Εξετάζει κάθε εικονοστοιχείο απεικόνισης και αξιολογεί την ομοιότητα που εμφανίζουν οι φασματικές υπογραφές, για να αναφέρει την επίδραση της σκίασης, τονίζοντας έτσι τα χαρακτηριστικά της ανάκλασης. (Kruse et al., 1992, Kruse et al., 1993)

Η τεχνική του SAM μετρά τη φασματική ομοιότητα, υπολογίζοντας τη γωνία μεταξύ δύο φασμάτων, που τα θεωρεί ως διανύσματα σε ένα ν-διάστατο χώρο. Μικρές γωνίες μεταξύ δύο διανυσμάτων υποδεικνύουν μεγάλη ομοιότητα και μεγάλες γωνίες μικρή ομοιότητα. Τα βασικά πλεονεκτήματα του αλγόριθμου SAM είναι ότι αποτελεί έναν γρήγορο και εύκολο τρόπο για τη χαρτογράφηση της ομοιότητας μεταξύ της άγνωστης φασματικής ανακλαστικότητας μιας απεικόνισης με το φάσμα αναφοράς. Επίσης, μπορεί και καταστέλλει την επιρροή των σκιασμένων περιοχών της εικόνας, τονίζοντας έτσι τα χαρακτηριστικά των στόχων, δηλαδή την

ανακλαστικότητα αναφοράς, η καθαρότητα της οποίας είναι σημαντική για την ακρίβεια του αποτελέσματος της ταξινόμησης.



Σχήμα 8. Το φάσμα του εικονοστοιχείου και το φάσμα του στόχου (Τσακίρη- Στρατή Μ., 2007)

Η μαθηματική διατύπωση του SAM, που παρουσιάζεται παρακάτω, επιχειρεί να ληφθούν οι γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ του φάσματος αναφοράς και του φάσματος της εικόνας, αντιμετωπίζοντας τες ως φορείς σε ένα χώρο με διάσταση ίση με τον αριθμό των ζωνών. (Kruse et al., 1993, Boardman, 1992)

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum(X)^2 \sum(Y)^2}} \quad (13)$$

Όπου:

$\alpha$  = γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του φάσματος αναφοράς και του φάσματος της εικόνας

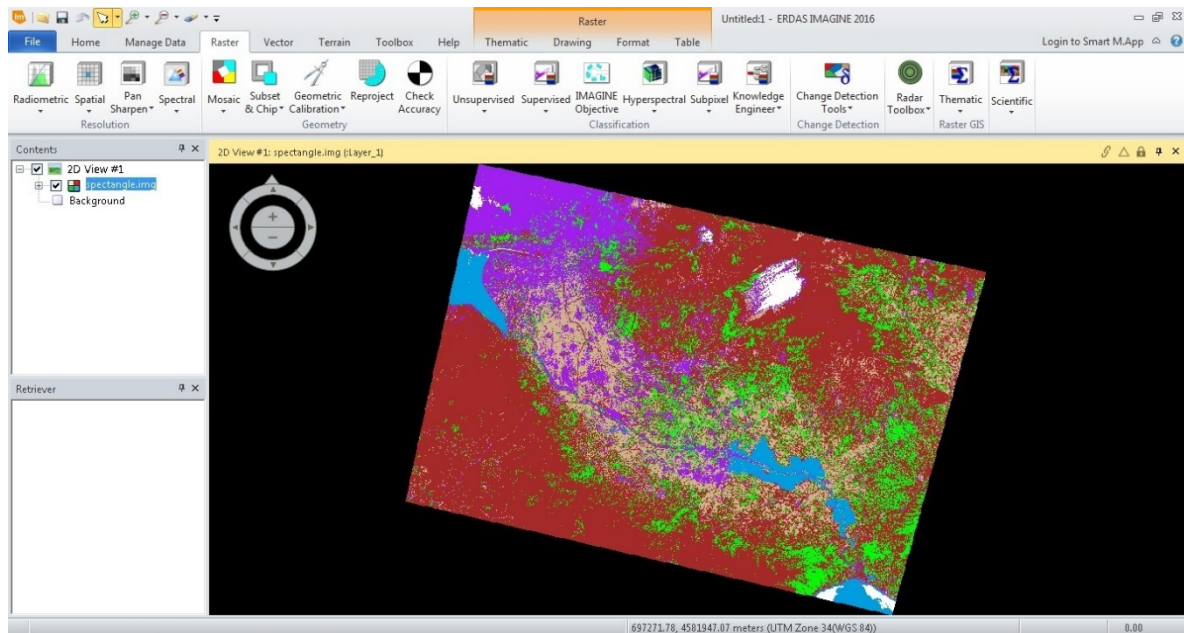
$X$  = φάσμα εικόνας

$Y$  = φάσμα αναφοράς

Η τιμή SAM εκφράζεται σε ακτίνια, όπου η μικρότερη γωνία  $\alpha$ , αποτελεί το κύρια ομοιότητα μεταξύ των καμπυλών. Η γωνία  $\alpha$ , που προσδιορίζεται από το  $\cos^{-1}$ , παρουσιάζει μια παραλλαγή οπουδήποτε μεταξύ των  $0^\circ$  και  $90^\circ$ . Η παραπάνω εξίσωση μπορεί επίσης να εκφραστεί ως  $\cos \alpha$  (εξίσωση 14). Σε αυτές τις συνθήκες, η καλύτερη εκτίμηση αποκτά τιμές κοντά στο 1.

$$\cos \alpha = \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum(X)^2 \sum(Y)^2}} \quad (14)$$

Η ταξινομημένη εικόνα που προκύπτει μετά από την χρήση της μεθόδου του χαρτογράφου φασματικής γωνίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 50 παρακάτω.



Εικόνα 50. Ταξινομημένη εικόνα με χρήση της χαρτογράφου φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapper- SAM)

#### 4.2.1.5 Ταξινόμηση με τη μέθοδο του χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης (spectral correlation mapper)

Η μέθοδος ταξινόμησης του χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης είναι στην ουσία η εξέλιξη της μεθόδου του χαρτογράφου φασματικής γωνίας. Η διαφορά είναι ότι ο συντελεστής συσχέτισης που χρησιμοποιεί η μέθοδος αυτή τυποποιεί τα δεδομένα, επικεντρώνοντας στην μέση τιμή των φασμάτων εικόνων (X) και των φασμάτων αναφοράς (Y). Η εξίσωση που αποτυπώνει αυτή την μέθοδο είναι:

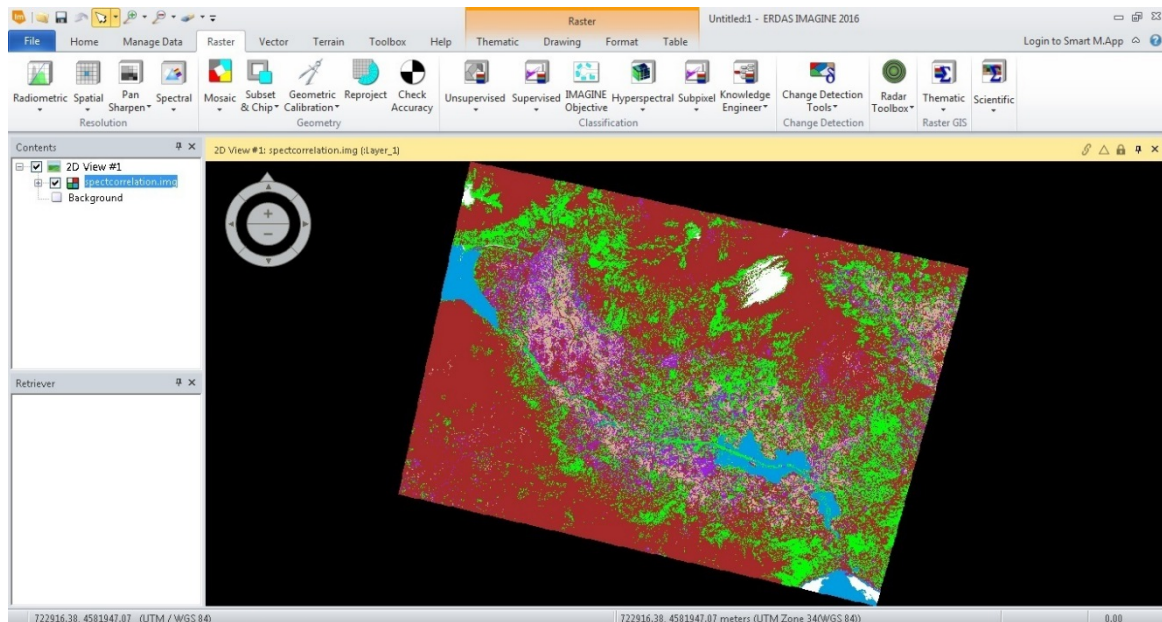
$$R = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (15)$$

Όπου:

X = φάσμα εικόνας,  $\bar{X}$  = μέση τιμή φασμάτων εικόνας

Y = φάσμα αναφοράς,  $\bar{Y}$  = μέση τιμή φασμάτων αναφοράς

Η ταξινομημένη εικόνα που προκύπτει μετά από την χρήση της μεθόδου του χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης παρουσιάζεται στην Εικόνα 51 παρακάτω.



Εικόνα 51. Ταξινομημένη εικόνα με χρήση της χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης (Spectral Correlation Mapper)

#### 4.2.2 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, οι περιοχές ομαδοποίησης (clusters) προσδιορίζονται από τον ίδιο τον αλγόριθμο ταξινόμησης, χωρίς να αξιοποιούνται δεδομένα από περιοχές εκπαίδευσης. Στο τέλος της αυτοματοποιημένης αλγοριθμικής διαδικασίας, το κάθε εικονοστοιχείο έχει ταυτοποιηθεί σε μια τάξη, όμως δεν είναι γνωστή η γεωλογική, φυσική ή φυσικογεωγραφική οντότητα που εκφράζει η τάξη αυτή. Έγκειται στο χρήστη να αξιοποιήσει πληροφορίες για το γεωλογικό και το φυσικογεωγραφικό καθεστώς της περιοχής έρευνας, ώστε να ερμηνεύσει το φυσικό περιεχόμενο της κάθε τάξης.

##### 4.2.2.1 Ταξινόμηση με τον αλγόριθμο ISODATA

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο ISODATA επιλέγονται, αυτόματα,  $k$ , το πλήθος θέσης στο φασματικό χώρο της ψηφιακής εικόνας, που θεωρούνται ως πιθανά κέντρα περιοχών ομαδοποίησης. Έστω ότι τα πιθανά αυτά κέντρα είναι τα  $\mathbf{m}_1^{(0)}, \mathbf{m}_2^{(0)}, \dots, \mathbf{m}_i^{(0)}, \dots, \mathbf{m}_k^{(0)}$ . Κάθε διάνυσμα  $\mathbf{x}$  τιμών φωτεινότητας εικονοστοιχείου, καταχωρίζεται στην περιοχή ομαδοποίησης εκείνη από το κέντρο της οποίας απέχει τη μικρότερη απόσταση. Με τον τρόπο αυτό, σχηματίζονται περιοχές ομαδοποίησης  $\mathbf{m}_1^{(1)}, \dots, \mathbf{m}_i^{(1)}, \dots, \mathbf{m}_k^{(1)}$ , για κάθε μια από τις οποίες ελέγχεται αν εκπληρώνεται η σχέση:

$$|\mathbf{m}_i^{(1)} - \mathbf{m}_i^{(0)}| < \varepsilon \quad (16)$$

όπου  $\varepsilon$  ένας μικρός θετικός πραγματικός αριθμός.

Αν η ανισότητα ισχύει για κάθε  $i$ , τότε ο αλγόριθμος σταματάει και το κάθε εικονοστοιχείο έχει καταχωριστεί σε μια περιοχή ομαδοποίησης στο φασματικό χώρο, και έχει ταυτοποιηθεί σε μια τάξη, στο γεωγραφικό χώρο.

Αν κάποια από τις ανισότητες δεν ισχύει, τότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία καταχώρισης των διανυσμάτων  $x$  σε περιοχές ομαδοποίησης, με το ίδιο κριτήριο ελάχιστης απόστασης, και προσδιορίζονται τα νέα κέντρα  $m_i^{(2)}$ , που συγκρίνονται με τα κέντρα  $m_i^{(1)}$ , όπως στη σχέση (16). Γενικότερα, σε κάθε επανάληψη  $j$  εξετάζεται αν ισχύει η σχέση:

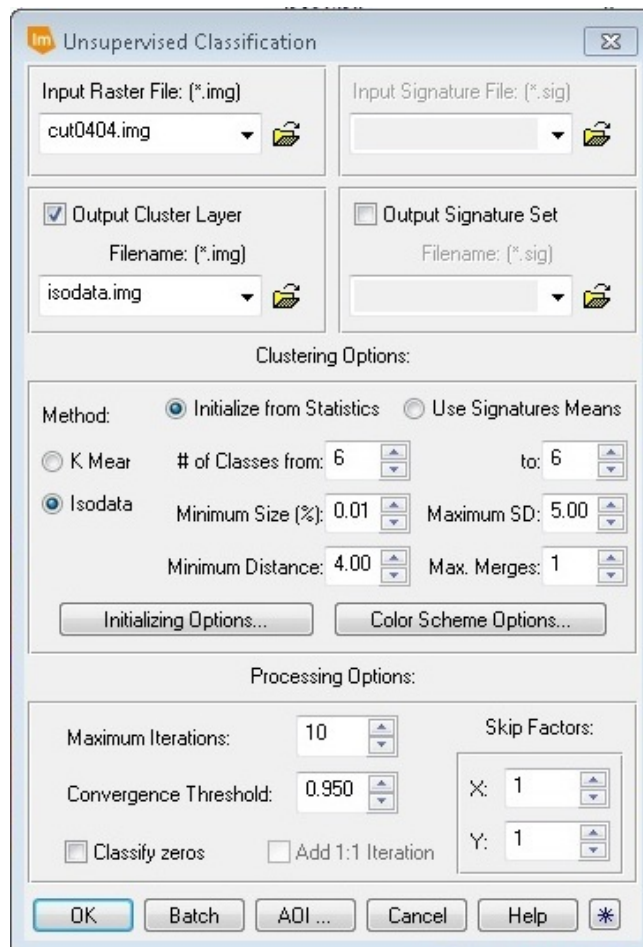
$$|m_i^{(j)} - m_i^{(j-1)}| < \varepsilon \quad (17)$$

Μετά από έναν πεπερασμένο αριθμό  $p$  επαναλήψεων, ο αλγόριθμος συγκλίνει σε τιμές  $m_i^{(p)}$  που επαληθεύουν τη σχέση (17), οπότε η ταξινόμηση ολοκληρώνεται, έχοντας ταυτοποιήσει το κάθε εικονοστοιχείο σε μια τάξη.

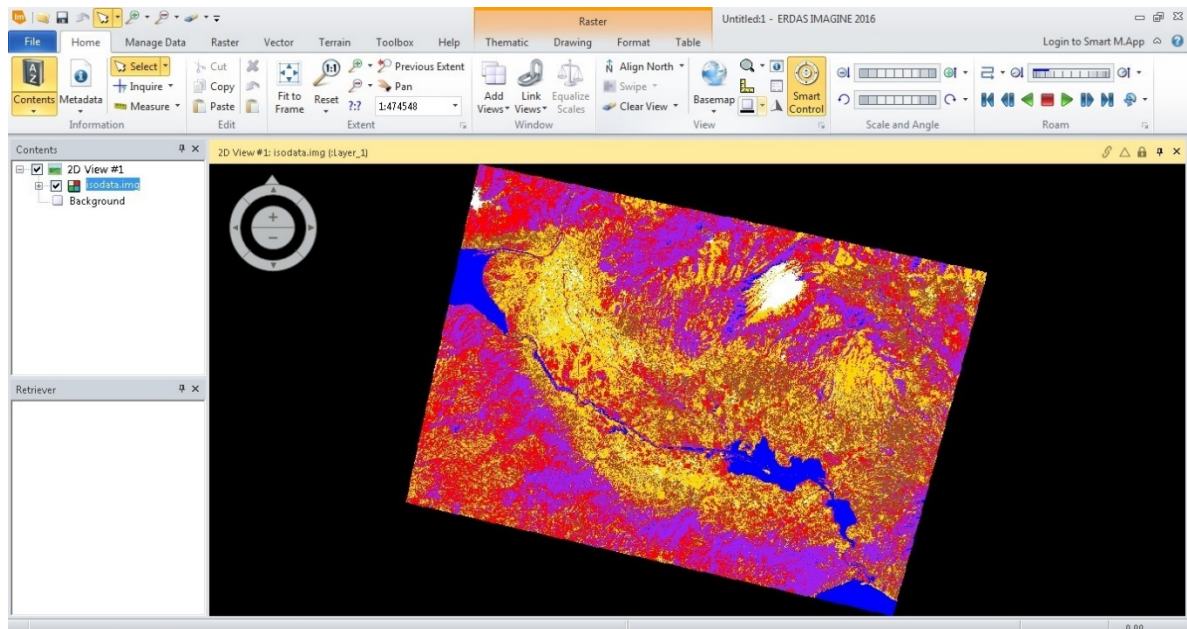
Αν, κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων, σε μια περιοχή ομαδοποίησης καταχωρίζονται λίγα διανύσματα, τότε αυτή καταργείται. Αν δυο περιοχές ομαδοποίησης απέχουν λίγο μεταξύ τους, τότε συγχωνεύονται σε μια. Επίσης, αν η διασπορά τιμών  $x$  μιας περιοχής ομαδοποίησης είναι μεγάλη, τότε αυτή η περιοχή διαιρείται σε δυο.

Ο αλγόριθμος ISODATA είναι ενσωματωμένος σε διάφορα εμπορικά πακέτα λογισμικού επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων (όπως το πρόγραμμα Erdas Imagine 2016 που χρησιμοποιούμε) και, καθώς προσδιορίζει αυτόματα περιοχές με διαφορετική φασματική απόκριση, μπορεί να αποτελέσει το εισαγωγικό βήμα για μια πιο αξιόπιστη ταξινόμηση, που να πραγματοποιείται με κάποιον επιβλεπόμενο ταξινομητή.

Για μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τον αλγόριθμο ISODATA επιλέγουμε από το Menu του Erdas Imagine 2016 την καρτέλα Raster→ Unsupervised→ Unsupervised Classification. Στο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται εισάγουμε στο Input Raster File (\*.img) την εικόνα που επιθυμούμε να ταξινομήσουμε, στο Filename (\*.img) το όνομα του αρχείου που θα δημιουργηθεί και την τοποθεσία του και στον αριθμό των κλάσεων επιλέγουμε από 6 (# of Classes from:) μέχρι 6 (to:) (Εικόνα 52). Η ταξινομημένη εικόνα με την μέθοδο του αλγορίθμου ISODATA παρουσιάζεται στην Εικόνα 53.



Εικόνα 52. Παράθυρο διαλόγου *Unsupervised Classification (Isodata)*



Εικόνα 53. Ταξινομημένη εικόνα με τον αλγόριθμο ISODATA

#### 4.2.2.2 Ταξινόμηση με τον αλγόριθμο K-Means

Ο αλγόριθμος k-means (k-μέσων) είναι ένας αλγόριθμος που ομαδοποιεί αντικείμενα βάσει των χαρακτηριστικών των k μεριδίων. (MacQueen, 1967) Αποτελεί μεταβλητή του αλγόριθμου μεγιστοποίησης αναμονής (expectation-maximization algorithm-EM), όπου σκοπός είναι να οριστεί ο k-means δεδομένων που προήλθαν από Gaussian κατανομές. Ο αλγόριθμος υποθέτει ότι τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου δημιουργούν ένα χώρο διανυσμάτων και ο σκοπός του είναι να ελαχιστοποιήσει τη συνολική διακύμανση της ομάδας ή τη συνάρτηση τετραγωνικού σφάλματος. Ο αλγόριθμος k-means περιγράφεται από την εξίσωση:

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} |x_j - \mu_i|^2 \quad (18)$$

Όπου:

υπάρχουν k ομάδες  $S_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$  και  $\mu_i$  είναι το κεντροειδές ή το μεσαίο σημείο από όλα τα σημεία.

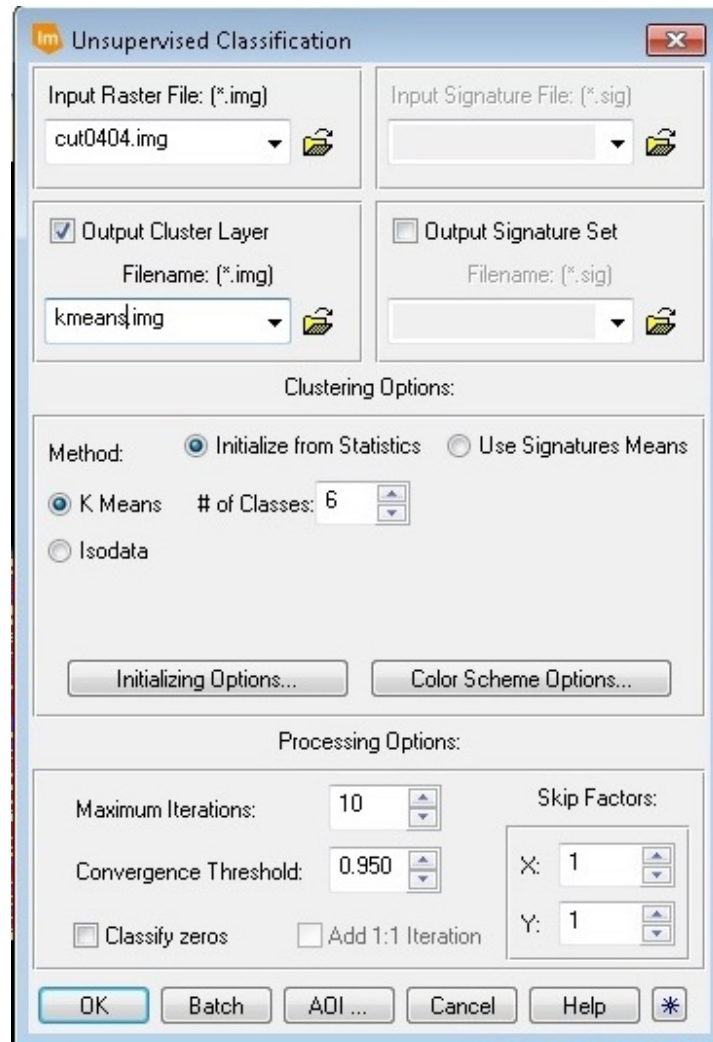
Τα βασικά βήματα του αλγόριθμου είναι τα εξής:

1. Επιλογή του αριθμού των ομάδων
2. Τυχαία δημιουργία k ομάδων και ορισμός των κεντροειδών των ομάδων
3. Μεταβίβαση του κάθε σημείου στο κεντροειδές της κοντινότερης ομάδας
4. Υπολογισμός των νέων κεντροειδών των ομάδων
5. Επανάληψη μέχρι να συγκλίνει ο αλγόριθμος σε κάποιο κριτήριο.

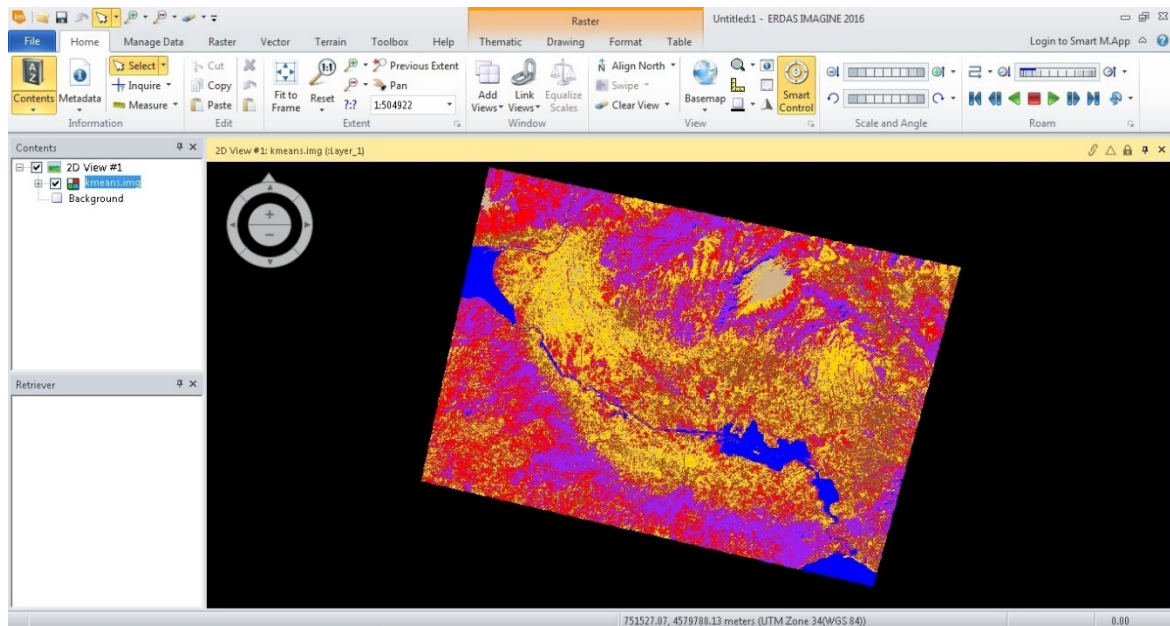
Ο αλγόριθμος ξεκινά διαχωρίζοντας τα αρχικά σημεία σε k αρχικά σύνολα είτε τυχαία είτε χρησιμοποιώντας ευριστικά δεδομένα. Στη συνέχεια υπολογίζει το μεσαίο ή το κεντροειδές του κάθε συνόλου, υλοποιεί νέο διαχωρισμό ώστε το κάθε σημείο να σχετίζεται με το κοντινότερο κεντροειδές. Έπειτα τα κεντροειδή ξαναυπολογίζονται για τις νέες ομάδες, ο αλγόριθμος επαναλαμβάνει τα δυο βήματα ωστόσο τα σημεία δεν μπορούν να αλλάξουν ομάδες (ή εναλλακτικά τα κεντροειδή παραμένουν αμετάβλητα). Ο αλγόριθμος αυτός παραμένει διάσημος επειδή τείνει σε κάποιο όριο πολύ γρήγορα. Όσον αφορά την απόδοση ο αλγόριθμος δεν εγγυάται ότι θα αγγίξει το βέλτιστο. Η ποιότητα της τελικής λύσης εξαρτάται πολύ από το αρχικό σύνολο ομάδων και μπορεί να είναι πολύ χαμηλότερη από το συνολικό βέλτιστο. Επίσης ένα άλλο μειονέκτημα του αλγόριθμου είναι ότι ο αριθμός των ομάδων πρέπει να οριστεί εξαρχής (Δημητρακοπούλου, 2007).

Για μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τον αλγόριθμο K-MEANS επιλέγουμε από το Menu του Erdas Imagine 2016 την καρτέλα Raster → Unsupervised → Unsupervised Classification. Στο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται εισάγουμε στο Input Raster File (\*.img) την εικόνα που επιθυμούμε να ταξινομήσουμε, στο Filename (\*.img) το

όνομα του αρχείου που θα δημιουργηθεί και την τοποθεσία του και στον αριθμό των κλάσεων (# of Classes:) επιλέγουμε 6 κλάσεις (Εικόνα 54). Η ταξινομημένη εικόνα με την μέθοδο του αλγορίθμου K-MEANS παρουσιάζεται στην Εικόνα 55.



Εικόνα 54. Παράθυρο διαλόγου *Unsupervised Classification* (K-means)



Εικόνα 55. Ταξινομημένη εικόνα με τον αλγόριθμο K-MEANS

### 4.3. Συνδυαστική Επεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων

Στην παρούσα εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα από δύο διαφορετικούς δορυφόρους, τον Sentinel 1 και τον Landsat 8, τα οποία έχουν αναλυθεί διεξοδικά με στόχο να προκύψουν συγκεκριμένα συμπεράσματα. Είναι, λοιπόν, αναγκαίο να γίνει συνδυαστική επεξεργασία όλων των διαφορετικών δορυφορικών δεδομένων για να παρουσιαστούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Στόχος μας είναι να δημιουργήσουμε εικόνες, οι οποίες θα συνδυάζουν τις εικόνες των δορυφόρων, αλλά και εικόνες που έχουν δημιουργηθεί μέσα από επεξεργασία των δεδομένων (όπως δείκτες βλάστησης, DEM). Έτσι, είναι εφικτό να αναλύσουμε και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους (π.χ. Accuracy Assessment, Omission- Commission Error) όπως θα δούμε και παρακάτω στο κεφάλαιο Αποτελέσματα.

Η κύρια εικόνα, πάνω στην οποία εργαζόμαστε, είναι η τελική εικόνα του δορυφόρου Landsat 8 (μετά και από την περικοπή της) όπως προέκυψε μετά από την προεπεξεργασία της που παρουσιάζεται αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο. Σε αυτή την εικόνα (cut0404.img), που αποτελείται από 7 διαφορετικά φασματικά κανάλια, προσθέτουμε σαν επιπλέον φασματική πληροφορία νέα φασματικά κανάλια από προϊόντα επεξεργασίας εικόνας. Η διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται αυτό ονομάζεται Layer Stacking (Συγχώνευση Καναλιών) και αναλύεται και αυτή σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Έτσι, οι νέες εικόνες που δημιουργούνται είναι:

- Εικόνα με όγδοο κανάλι τον δείκτη βλάστησης NDVI (8bands\_ndvi.img)
- Εικόνα με όγδοο κανάλι τον δείκτη νερού NDWI (8bands\_ndwi.img)
- Εικόνα με όγδοο κανάλι το DEM (8bands\_dem84cut.img)

- Εικόνα με όγδοο κανάλι το DEM και ένατο τον NDVI (9bands\_Demndvi.img0
- Εικόνα με όγδοο κανάλι το DEM και ένατο τον NDWI (9bands\_Demndwi.img)
- Εικόνα με όγδοο κανάλι το DEM, ένατο τον NDVI και δέκατο τον NDWI (10bands.img)

Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση σε όλες τις νέες εικόνες χρησιμοποιώντας και τις πέντε μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης που αναλύονται σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Τέλος, υπολογίζεται για όλες τις μεθόδους επιβλεπόμενης ταξινόμησης όλων των εικόνων η εκτίμηση της ακρίβειας (Accuracy Assessment- Kappa statistics), το εμβαδόν της πλημμυρισμένης περιοχής, τα Omission- Commission Errors και γίνεται οπτικός έλεγχος των εικόνων. Όλοι οι υπολογισμοί που αναφέρθηκαν παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω, μαζί με τα αποτελέσματα που υπάρχουν σε αντίστοιχους πίνακες στην συνέχεια της παρούσας εργασίας.

## 5. Αποτελέσματα

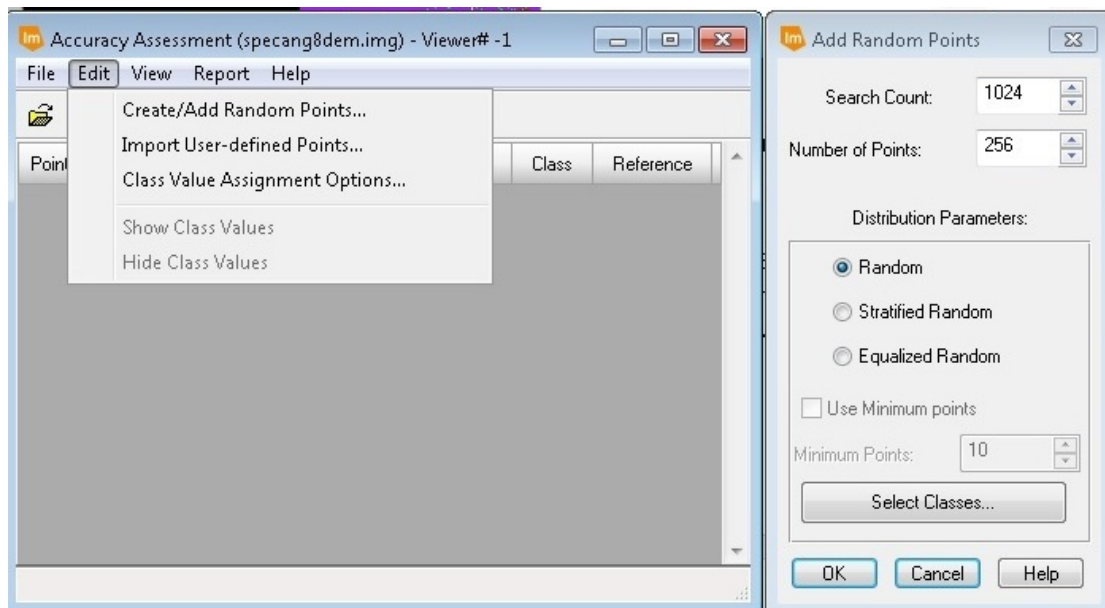
### 5.1. Αξιολόγηση της ακρίβειας (Accuracy Assessment)

Η εκτίμηση της ακρίβειας (Accuracy Assessment) είναι μια διαδικασία για να προσδιοριστεί ποσοτικά πόσο καλή δουλειά έγινε από έναν ταξινομητή ή πόσο ακριβής είναι η ταξινόμηση. Η εκτίμηση της ακρίβειας είναι ένα σημαντικό μέρος της ταξινόμησης και πραγματοποιείται συνήθως με τη σύγκριση του προϊόντος ταξινόμησης με κάποια δεδομένα αναφοράς που θεωρείται ότι αντικατοπτρίζουν την πραγματική κάλυψη της γης με ακρίβεια. Πηγές των δεδομένων αναφοράς περιλαμβάνουν πραγματικό έδαφος, εικόνες υψηλότερης ανάλυσης και χάρτες.

Παρακάτω θα παρουσιαστεί αναλυτικά η εκτίμηση της ακρίβειας μέσω του υπολογιστικού προγράμματος Erdas Imagine 2016, για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση με την μέθοδο του χαρτογράφου φασματικής γωνίας (spectral angle mapper), για την εικόνα 8bands\_dem84cut.img, αφού παρατηρήθηκε ότι είναι η μέθοδος με την μεγαλύτερη ακρίβεια και στην συγκεκριμένη εικόνα, αλλά και γενικότερα όπως φαίνεται και στους πίνακες αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται παρακάτω.

#### ➤ 1<sup>ο</sup> Βήμα: Δημιουργία τυχαίων σημείων

Επιλέγουμε από το Menu → Raster→ Supervised→ Accuracy Assessment. Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε File→ Open και φορτώνουμε την ταξινομημένη εικόνα sprang8dem.img. Έπειτα, επιλέγουμε Edit/Create Random Points και αλλάζουμε τον αριθμό των σημείων (Number of Points:) σε 40 σημεία για να παραχθούν 40 τυχαία σημεία πάνω στην εικόνα. Επιλέγουμε στο Distribution Parameters το Random, έτσι ώστε να μην χρησιμοποιηθούν κανόνες για την συλλογή των τυχαίων σημείων. Τέλος, πατάμε το πλήκτρο OK (Εικόνα 56).



Εικόνα 56. Δημιουργία τυχαίων σημείων

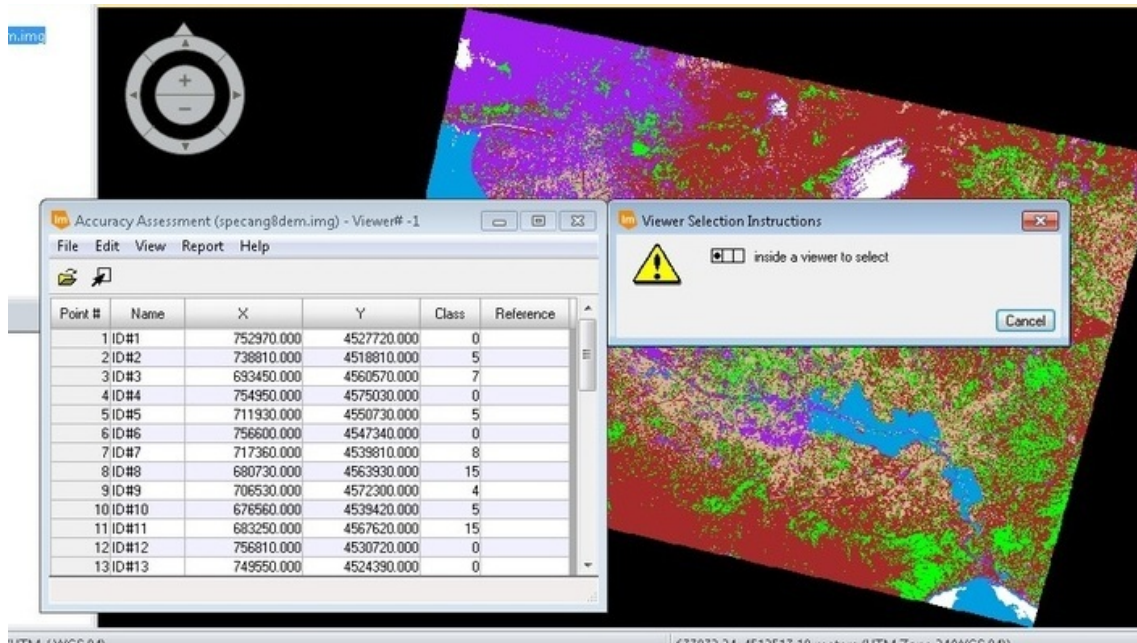
Point #	Name	X	Y	Class	Reference
1	ID#1	752970.000	4527720.000		
2	ID#2	738810.000	4518810.000		
3	ID#3	693450.000	4560570.000		
4	ID#4	754950.000	4575030.000		
5	ID#5	711930.000	4550730.000		
6	ID#6	756600.000	4547340.000		
7	ID#7	717360.000	4539810.000		
8	ID#8	680730.000	4563930.000		
9	ID#9	706530.000	4572300.000		
10	ID#10	676560.000	4539420.000		
11	ID#11	683250.000	4567620.000		
12	ID#12	756810.000	4530720.000		
13	ID#13	749550.000	4524390.000		

Εικόνα 57. Table of Random Points

## ➤ 2<sup>ο</sup> Βήμα: Συσχέτιση ταξινόμησης και δεδομένων αναφοράς

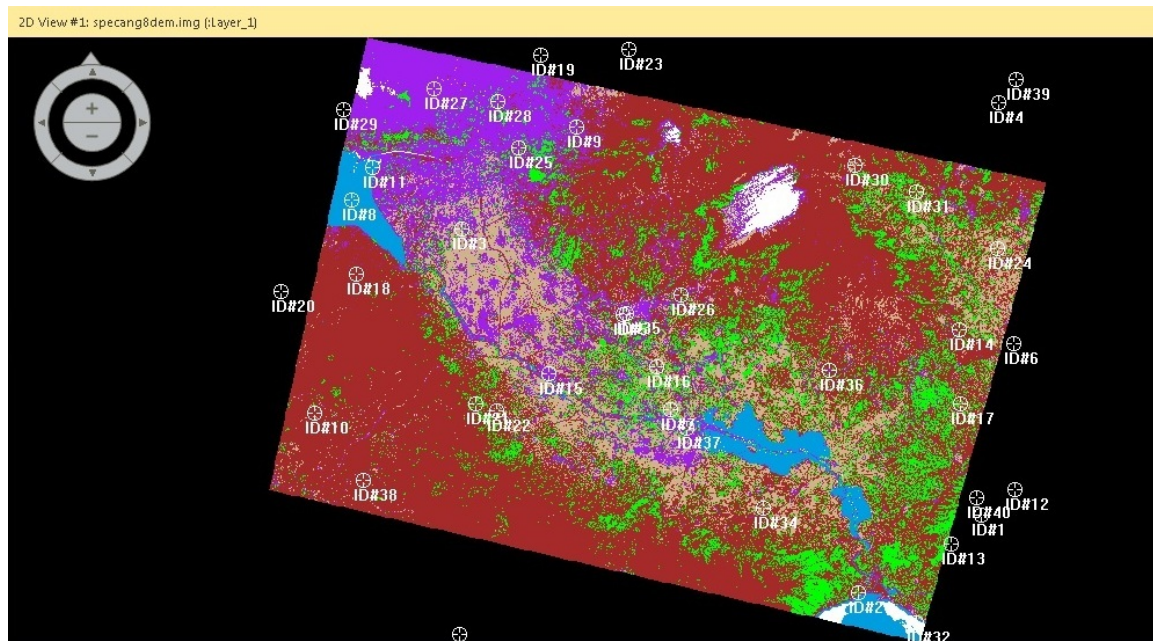
Επιλέγουμε Edit → Show Class Values για να εμφανιστούν οι τιμές των κλάσεων και φορτώνουμε τα σημεία στην εικόνα που χρησιμοποιούμε ως αναφορά. Για να το κάνουμε αυτό, ανοίγουμε την εικόνα στο πρόγραμμα και επιλέγουμε View → Select Viewer...

Εμφανίζεται ένα παράθυρο με την ονομασία Viewer Selection Instructions (Εικόνα 58).



Εικόνα 58. Show Class Values & Select Viewer

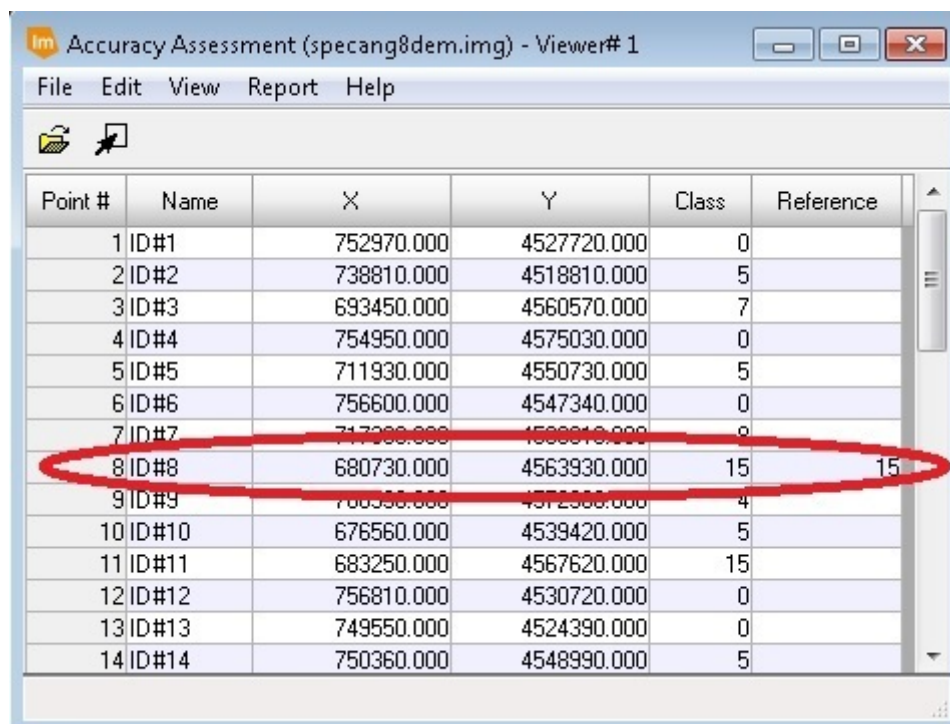
Κάνουμε κλικ οπουδήποτε πάνω στην εικόνα αναφοράς και επιλέγουμε View → Show All. Με αυτό τον τρόπο, όλα τα τυχαία σημεία φορτώνονται πάνω στην εικόνα αναφοράς (Εικόνα 59).



Εικόνα 59. Τυχαία σημεία πάνω στην εικόνα αναφοράς

Για να προσδιοριστεί καλύτερα κάθε σημείο, είναι εφικτό να εμφανίζονται μερικά μόνο σημεία κάθε φορά στην εικόνα και μόλις γίνεται η ταυτοποίηση τους να εμφανίζονται και τα υπόλοιπα. Αυτό το πετυχαίνουμε επιλέγοντας στο παράθυρο Accuracy Assessment λίγα σημεία κάθε φορά και εκτελώντας την εντολή View → Show Current Selection.

Στην συνέχεια, ζουμάρουμε σε κάθε σημείο ξεχωριστά, ταυτοποιούμε τον τύπο της κάλυψης της γης στην εικόνα αναφοράς και εισάγουμε τον αντίστοιχο κωδικό κλάσης. Για παράδειγμα, το σημείο 8 ταυτοποιείται σαν νερό στην εικόνα αναφοράς και ο κωδικός για την κλάση του νερού είναι το νούμερο 15, άρα εισάγουμε το 15 στην στήλη αναφοράς (Εικόνα 60). Αν οι αριθμοί κλάσης ταιριάζουν με τους αριθμούς αναφοράς, αυτό σημαίνει ότι αυτά τα εικονοστοιχεία έχουν ταξινομηθεί με ακρίβεια.



Point #	Name	X	Y	Class	Reference
1	ID#1	752970.000	4527720.000	0	
2	ID#2	738810.000	4518810.000	5	
3	ID#3	693450.000	4560570.000	7	
4	ID#4	754950.000	4575030.000	0	
5	ID#5	711930.000	4550730.000	5	
6	ID#6	756600.000	4547340.000	0	
7	ID#7	717388.000	4538810.000	8	
8	ID#8	680730.000	4563930.000	15	15
9	ID#9	760388.000	4572388.000	4	
10	ID#10	676560.000	4539420.000	5	
11	ID#11	683250.000	4567620.000	15	
12	ID#12	756810.000	4530720.000	0	
13	ID#13	749550.000	4524390.000	0	
14	ID#14	750360.000	4548990.000	5	

Εικόνα 60. Συσχέτιση αριθμού κλάσης και αριθμού αναφοράς

### ➤ 3<sup>ο</sup> Βήμα: Δημιουργία αναφοράς της αξιολόγησης της ακρίβειας

Επιλέγουμε στο παράθυρο Accuracy Assessment την καρτέλα Report→ Options και βεβαιωνόμαστε ότι είναι επιλεγμένος ο δείκτης Kappa Statistics (Εικόνα 61). Τέλος, επιλέγουμε Report→ Accuracy Report... και υπολογίζεται η ακρίβεια της ταξινόμησης.

```
Overall Classification Accuracy =      90.83%
----- End of Accuracy Totals -----

KAPPA (K^) STATISTICS
-----

Overall Kappa Statistics = 0.8533
```

Εικόνα 61. Overall Classification Accuracy & Kappa Statistics

Με αυτή την διαδικασία υπολογίζεται ο δείκτης Kappa statistics για όλες τις ταξινομήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 8 που ακολουθεί, με βάση τον οποίο συμπεραίνουμε ότι ο αποτελεσματικότερος δείκτης που βελτίωσε την ταξινόμηση της εικόνας είναι ο δείκτης του χαρτογράφου φασματικής γωνίας (spectral angle mapper), της εικόνας που έχει ως όγδοο φασματικό κανάλι την εικόνα DEM.

*Πίνακας 8. Accuracy Assessment*

Accuracy Assessment						
	Parametric Rule					
Supervised Classification	Maximum Likelihood		Mahalanobis Distance		Minimum Distance	
	Kappa statistics	Accuracy totals (%)	Kappa statistics	Accuracy totals (%)	Kappa statistics	Accuracy totals (%)
7bands	0,2917	35,29	0,2471	31,25	0,8292	88,89
8bands_Dem	0,2928	37,50	0,2577	37,50	0,8791	90,91
8bands_ndvi	0,1789	24,14	0,3556	44,83	0,4098	62,50
8bands_ndwi	0,7741	85,19	0,4114	51,61	0,8386	89,66
8bands_sentinel	0,2684	36,47	0,2464	34,78	-0,0720	-0,58
9bands_Demndvi	0,1759	23,08	0,2927	41,38	0,6021	74,07
9bands_Demndwi	0,2869	38,71	0,2023	28,57	0,7989	88,00
10bands	0,2036	34,62	0,2000	33,33	0,8317	89,66
Accuracy Assessment						
	Parametric Rule					
Supervised Classification	Spectral Angle Mapper		Spectral Correlation Mapper			
	Kappa statistics	Accuracy totals (%)	Kappa statistics	Accuracy totals (%)		
7bands	0,6706	75,68	0,6831	80,00		
8bands_Dem	0,9271	96,00	0,8956	96,15		
8bands_ndvi	0,6372	76,92	0,8098	86,36		
8bands_ndwi	0,8788	91,67	0,9058	93,55		
8bands_sentinel	0,9350	95,43	1,0000	100		
9bands_Demndvi	0,6782	80,77	0,7255	92,86		
9bands_Demndwi	0,8178	88,46	0,8579	92,31		
10bands	0,7419	85,71	0,9200	95,45		

## 5.2. Υπολογισμός εμβαδών

Μετά από την πραγματοποίηση των ταξινομήσεων και της εκτίμησης της ακρίβειας, επόμενος στόχος της παρούσας εργασίας είναι να υπολογιστούν όλα τα εμβαδά, όλων των ταξινομημένων εικόνων και να συγκριθούν με το εμβαδόν της πλημμύρας που έχουμε ως εμβαδόν αναφοράς.

Το αρχείο με το εμβαδόν αναφοράς λήφθηκε από την Υπηρεσία Διαχείρισης Καταστάσεων Εκτάκτου Ανάγκης (Emergency Management Service – EMS) του προγράμματος Κοπέρνικος (Copernicus).

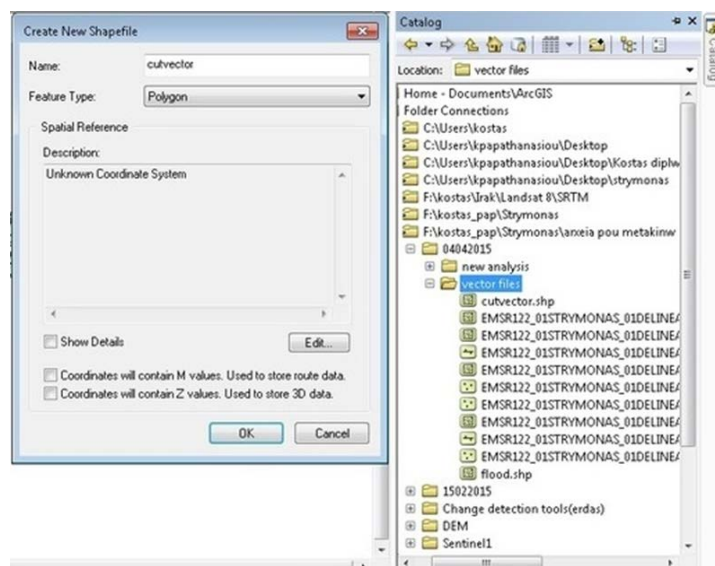
[http://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR122\\_01STRYMONAS\\_DELINEATION\\_OVERVIEW-MONIT03/1](http://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR122_01STRYMONAS_DELINEATION_OVERVIEW-MONIT03/1)

Έγινε λήψη του αρχείου σε μορφή Vector και στην συνέχεια φορτώθηκε στο υπολογιστικό πρόγραμμα ArcMap. Παρακάτω, παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία του υπολογισμού του εμβαδού της ταξινομημένης εικόνας maxlikelihood.img και η σύγκριση του με το εμβαδόν του αρχείου αναφοράς.

Για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση, πρέπει να απομονωθεί η περιοχή της πλημμύρας και έπειτα να μετατραπεί η ταξινομημένη εικόνα σε αρχείο vector (ή αλλιώς shapefile(\*.shp)), ίδιο δηλαδή με το αρχείο στο οποίο περιέχεται το εμβαδόν αναφοράς.

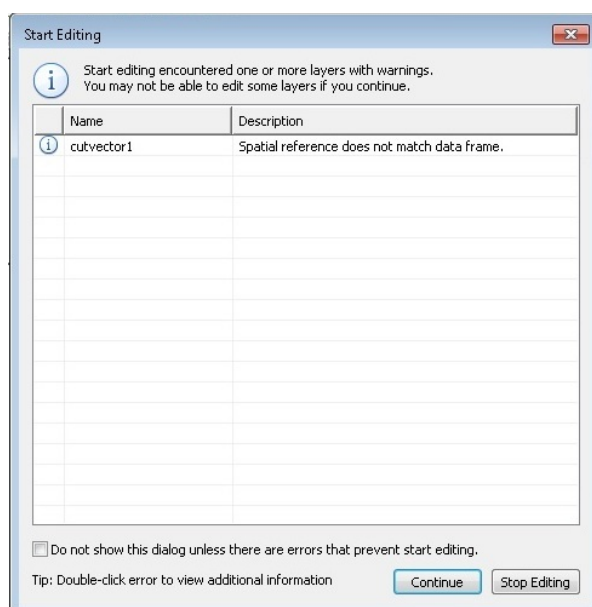
Για να απομονώσουμε την περιοχή της πλημμύρας δημιουργούμε το αρχείο cutvector.shp επιλέγοντας στο Menu του ArcMap το εικονίδιο Catalog και στην καρτέλα που εμφανίζεται στο δεξί μέρος τοποθετούμε το καινούριο shapefile στον φάκελο που επιθυμούμε.

Συμπληρώνουμε το παράθυρο Create New Shapefile που εμφανίζεται όπως φαίνεται στην Εικόνα 62 παρακάτω.



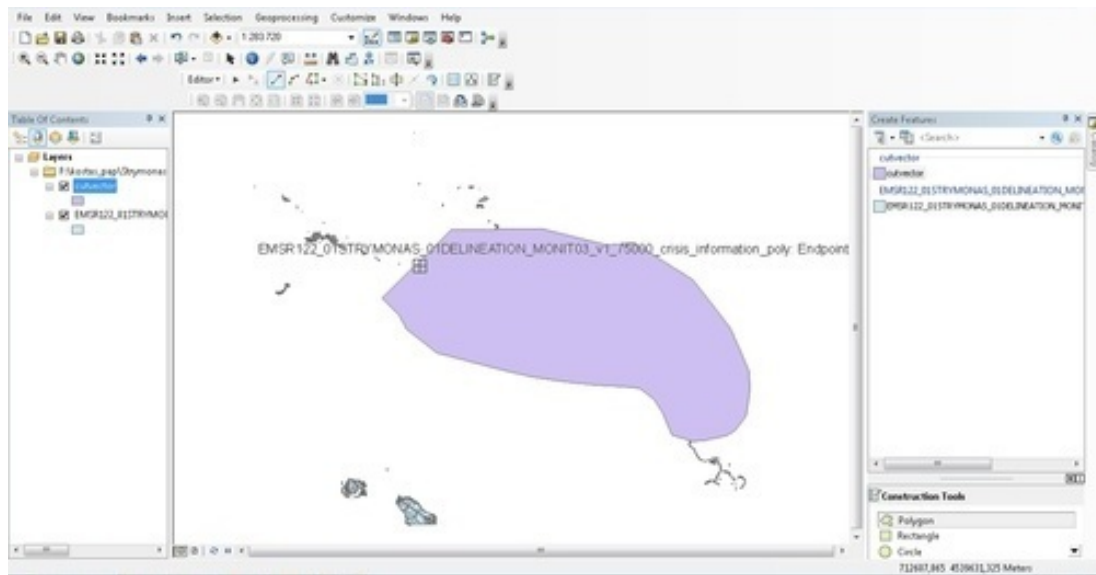
Εικόνα 62. Catalog & παράθυρο Create New Shapefile

Έπειτα, επιλέγουμε το πλήκτρο OK και το νέο shapefile με το όνομα cutvector είναι έτοιμο, όμως είναι κενό. Για να το επεξεργαστούμε, το επιλέγουμε και από το Menu του ArcMap επιλέγουμε Editor → Start Editing. Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε το αρχείο και πατάμε το πλήκτρο Continue (Εικόνα 63).



Εικόνα 63. Παράθυρο διαλόγου Start Editing

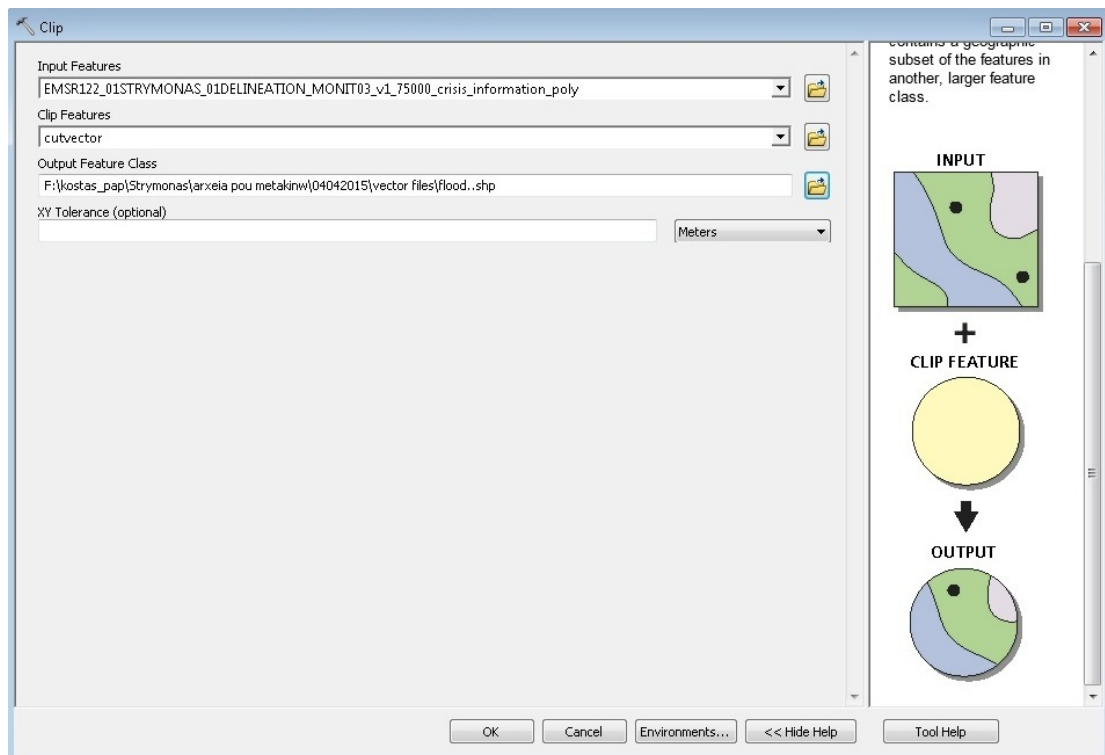
Κατόπιν, στην καρτέλα Create Features στο δεξί μέρος του προγράμματος, επιλέγουμε ξανά το αρχείο cutvector και στο Construction tools επιλέγουμε το Polygon. Τέλος, σχεδιάζουμε την περιοχή της εικόνας στην οποία βρίσκεται η πλημμύρα και επιθυμούμε να απομονώσουμε και στην συνέχεια επιλέγουμε Editor → Stop Editing (Εικόνα 64).



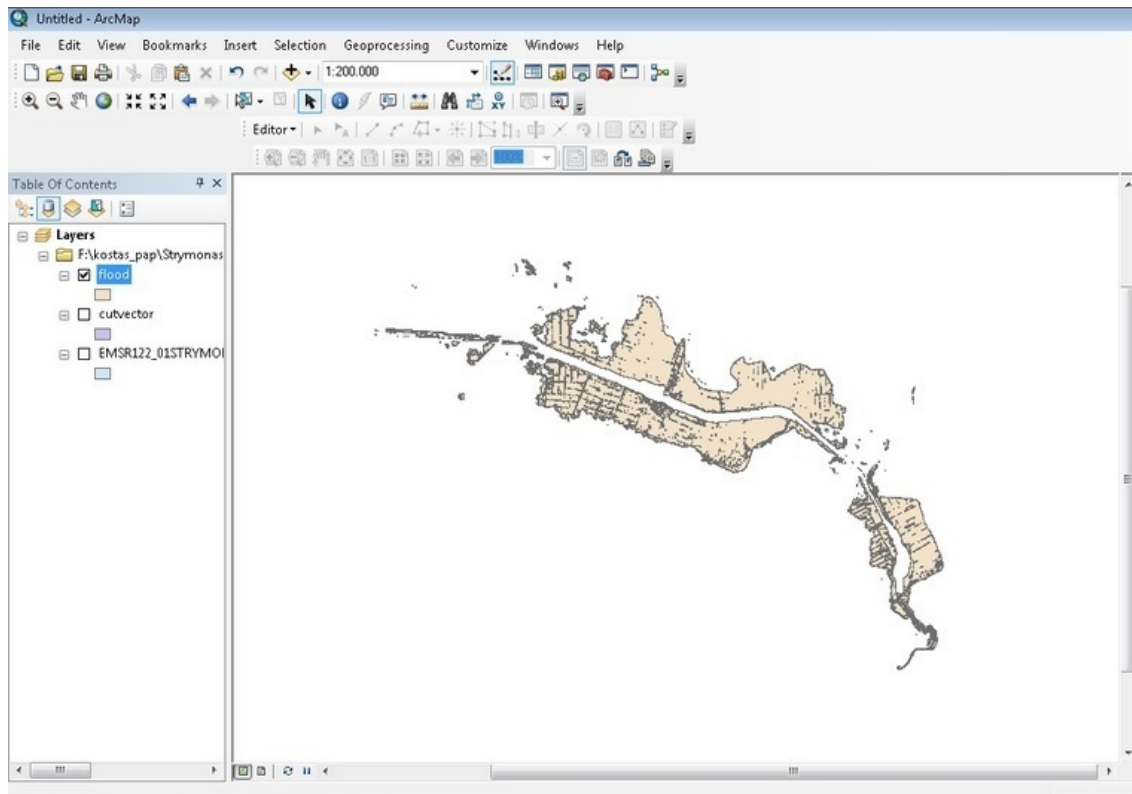
Εικόνα 64. Create Features & shapefile cutvector

Έτσι, δημιουργείται το shapefile με την ονομασία cutvector, το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε αρχικά για να κόψουμε το vector αρχείο με την πλημμύρα αναφοράς και έπειτα για να κόψουμε όλα τα raster αρχεία με τις ταξινομήσεις, το εμβαδόν των οποίων θα συγκριθεί με το εμβαδόν αναφοράς.

Για να κόψουμε το αρχείο αναφοράς επιλέγουμε από το Menu του ArcMap την καρτέλα Geoprocessing και έπειτα την εντολή Clip. Συμπληρώνουμε το παράθυρο που εμφανίζεται όπως φαίνεται στην Εικόνα 65 και το αρχείο που προκύπτει, με την ονομασία flood, φαίνεται στην Εικόνα 66.



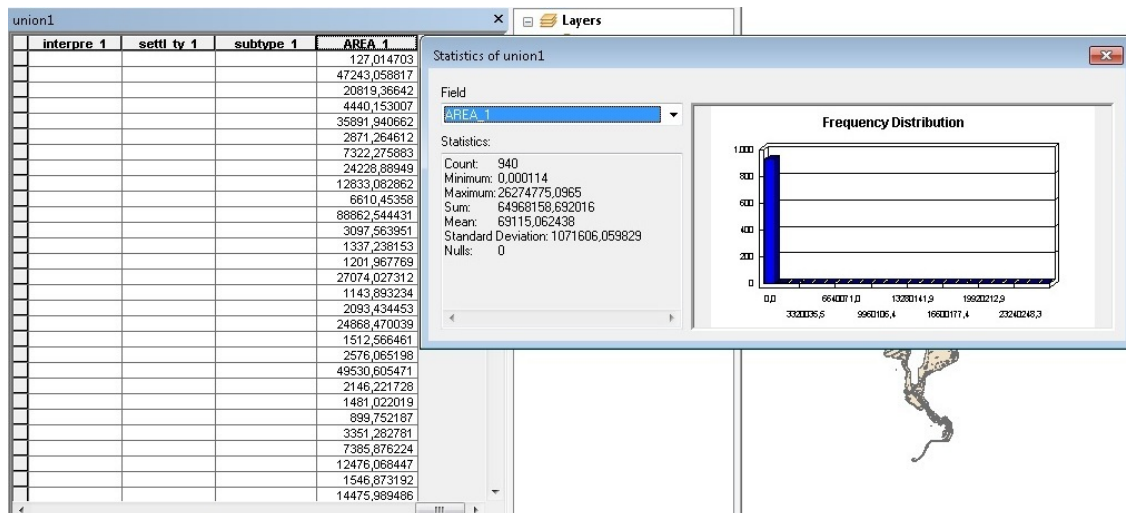
Εικόνα 65. Εκτέλεση εντολής Clip



*Εικόνα 66. Αρχείο flood που απεικονίζει την πλημμυρισμένη περιοχή*

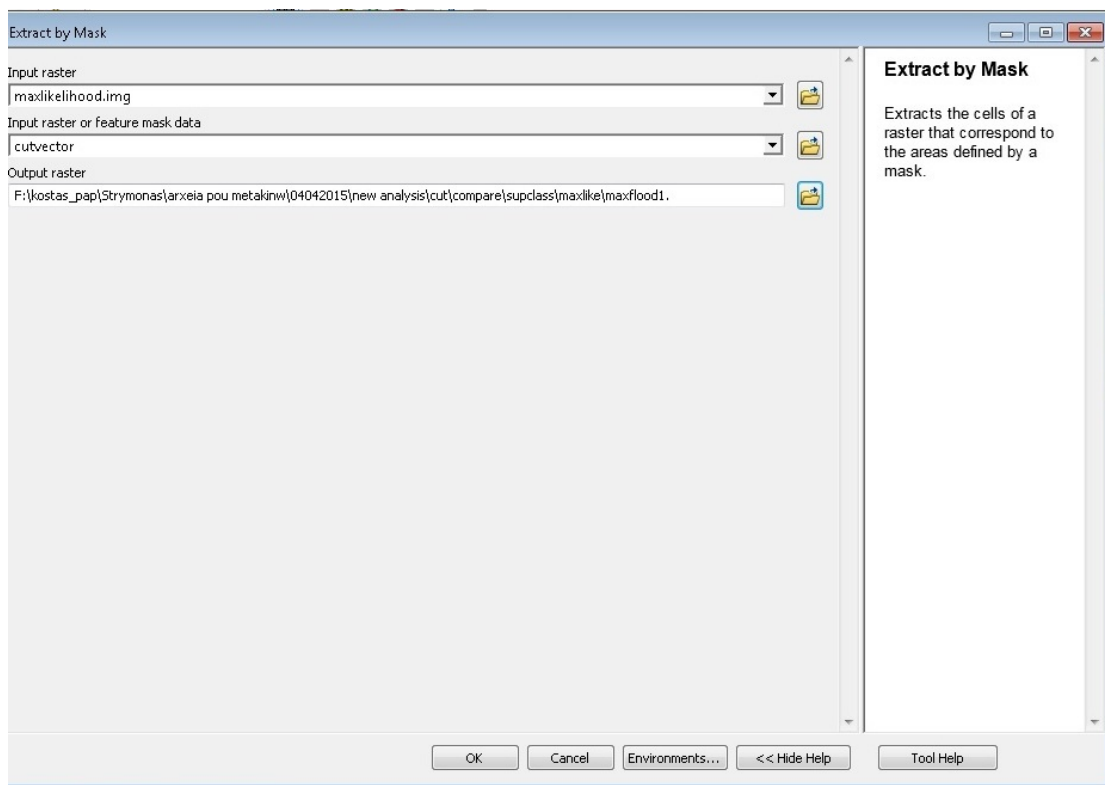
Η παραπάνω διαδικασία είναι πολύ σημαντική για την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων και γι' αυτό τον λόγο την επαληθεύουμε, εκτελώντας την από την αρχή και δημιουργώντας αυτή τη φορά ένα αρχείο με την ονομασία union1, που είναι ίδιο ακριβώς με το αρχείο flood, κάτι που σημαίνει ότι η διαδικασία ήταν σωστή.

Για το εμβαδόν, κάνουμε δεξί κλικ στο αρχείο union1 που βρίσκεται στον πίνακα περιεχομένων (Table of Contents) στο αριστερό μέρος του ArcMap και επιλέγουμε το Open Attribute Table. Στον πίνακα που εμφανίζεται, υπάρχει έτοιμη στήλη με το εμβαδόν και απλά την επιλέγουμε και κάνουμε δεξί κλικ → Statistics. Στο παράθυρο που εμφανίζεται, το SUM είναι αυτό που μας δίνει τελικά το εμβαδόν της πλημμύρας αναφοράς, το οποίο είναι 64968158,692 m<sup>2</sup> ή αλλιώς 64,97 km<sup>2</sup> (Εικόνα 67).

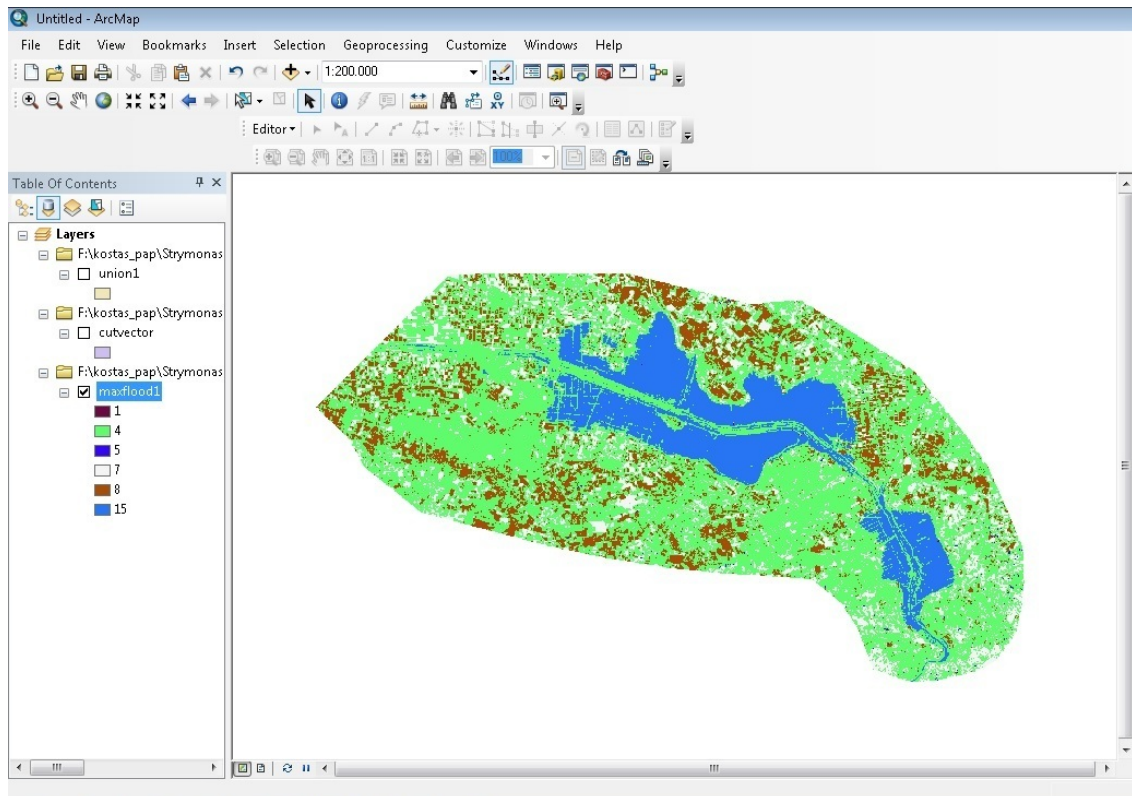


Εικόνα 67. Attribute Table & εμβადόν πλημμύρας αναφοράς

Για να απομονώσουμε την ταξινομημένη εικόνα maxlikelihood.img (raster file), επιλέγουμε από το Menu του ArcMap το πλήκτρο Search στο δεξί μέρος του προγράμματος εμφανίζεται η αντίστοιχη καρτέλα. Πληκτρολογούμε την εντολή Extract by Mask και πατάμε το πλήκτρο Enter. Επιλέγουμε την εντολή και συμπληρώνουμε το παράθυρο που εμφανίζεται όπως φαίνεται στην Εικόνα 68 και το αρχείο που προκύπτει με την ονομασία maxflood1, φαίνεται στην Εικόνα 69.

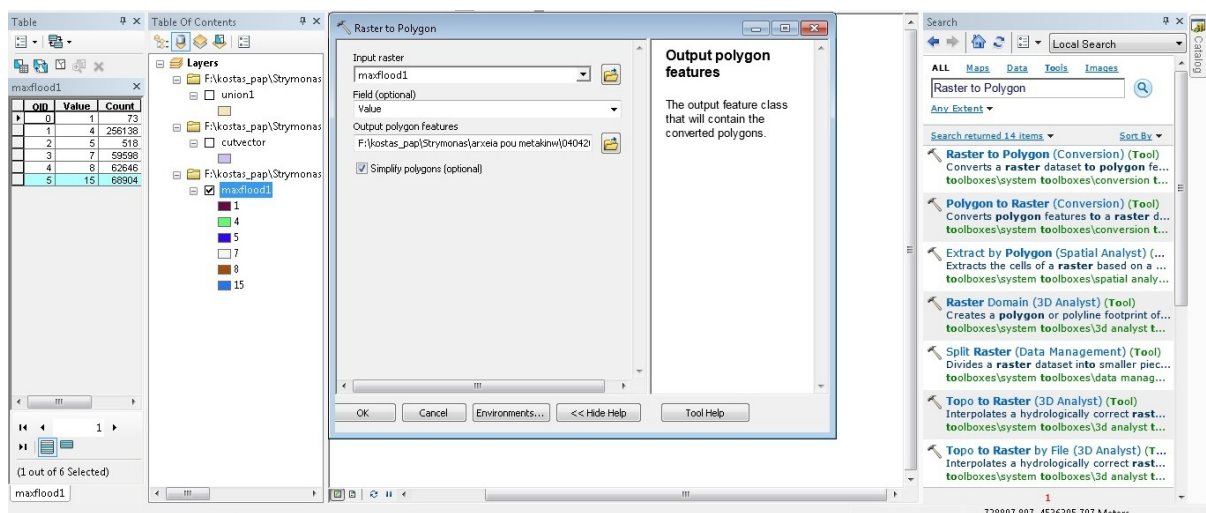


Εικόνα 68. Εκτέλεση Εντολής Extract by Mask



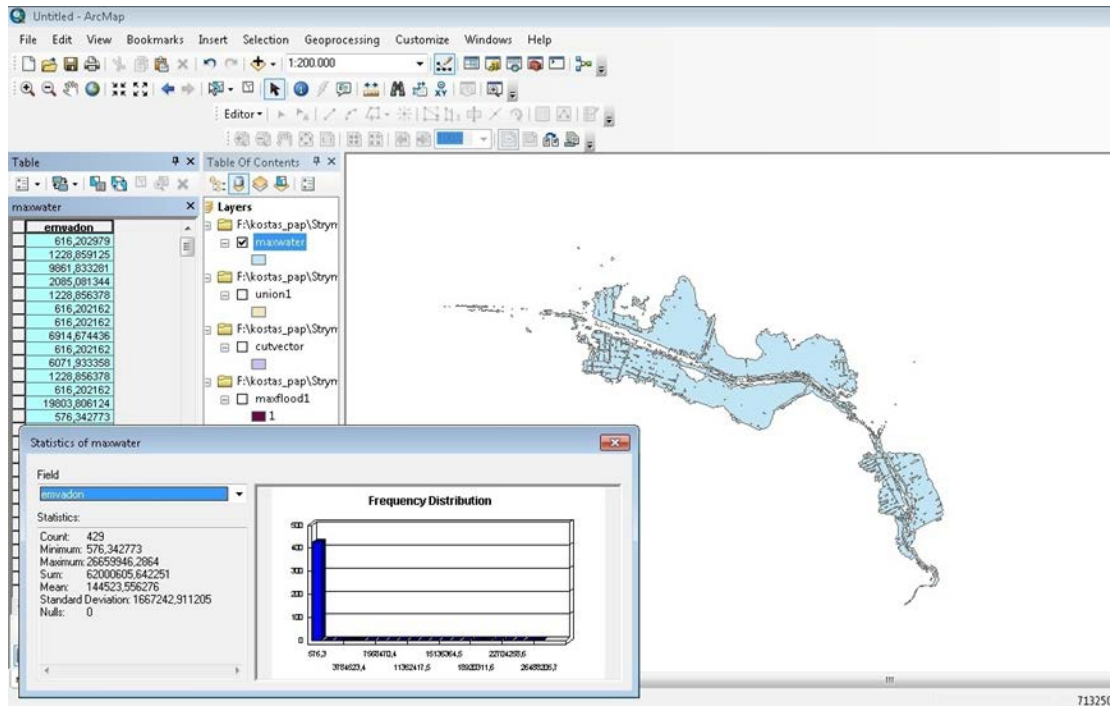
Εικόνα 69. Αρχείο maxflood1

Από την εικόνα που προέκυψε, στόχος μας είναι να εξάγουμε μόνο την κλάση του νερού, για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε το εμβαδόν της πλημμυρισμένης περιοχής. Για να το πετύχουμε αυτό, κάνουμε δεξί κλικ στο αρχείο maxflood1 που βρίσκεται στον πίνακα περιεχομένων (Table of Contents) στο αριστερό μέρος του ArcMap και επιλέγουμε το Open Attribute Table. Έπειτα, επιλέγουμε από τον πίνακα μόνο την κλάση του νερού και στην συνέχεια από την καρτέλα Search → Raster to Polygon και συμπληρώνουμε το παράθυρο που εμφανίζεται όπως φαίνεται στην Εικόνα 70.



Εικόνα 70. Attribute Table & εντολή Raster to Polygon

Έτσι, προκύπτει το shapefile αρχείο maxwater και για να υπολογίσουμε το εμβαδόν του κάνουμε δεξί κλικ πάνω στο αρχείο → Open Attribute Table και δημιουργούμε την στήλη με το εμβαδόν με την βοήθεια του Field Calculator. Τέλος, επιλέγουμε την στήλη με το εμβαδόν και κάνουμε δεξί κλικ → Statistics. Στο παράθυρο που εμφανίζεται, το SUM είναι το συνολικό εμβαδόν της πλημμύρας της ταξινομημένης εικόνας, το οποίο είναι 62000605,642m<sup>2</sup> ή αλλιώς 62,00 km<sup>2</sup> (Εικόνα 71).



Εικόνα 71. Απομονωμένη κλάση νερού και εύρεση εμβαδού του

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία για όλες τις ταξινομημένες εικόνες, υπολογίσαμε το εμβαδόν της πλημμύρας της κάθε εικόνας ξεχωριστά και το συγκρίναμε με το εμβαδόν της πλημμύρας της εικόνας αναφοράς. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακα στην συνέχεια της παρούσας εργασίας.

### 5.3. Οπτικός έλεγχος εικόνων

Η εκτίμηση της ακρίβειας, η εύρεση των εμβαδών και η σύγκριση της πλημμυρισμένης περιοχής των ταξινομημένων εικόνων με την εικόνα αναφοράς, δεν μπορούν από μόνα τους να δώσουν απολύτως σωστά αποτελέσματα εάν δεν συνδυαστούν με οπτικό έλεγχο όλων των ταξινομημένων εικόνων σε σχέση με την εικόνα αναφοράς. Έτσι, ελέγχουμε οπτικά τις εικόνες και κατά πόσο αυτές ανταποκρίνονται στα αποτελέσματα που υπολογίσαμε, αλλά και στην πραγματικότητα. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται αναλυτικά στην συνέχεια την παρούσας εργασίας, στο κεφάλαιο Συζήτηση - Συμπεράσματα.

#### 5.4. Συγκεντρωτικοί πίνακες αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με όλα τα αποτελέσματα των ταξινομημένων εικόνων αλλά και της εικόνας αναφοράς, όσο αφορά την εκτίμηση της ακρίβειας (Accuracy Assessment) και συγκεκριμένα τον δείκτη kappa statistics, το εμβαδόν και τον οπτικό έλεγχο των αποτελεσμάτων. Επίσης, παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τα εμβαδά των εικόνων που δημιουργήθηκαν μέσω ενός κατωφλιού.

Πίνακας 9. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Kappa statistics	Οπτικός έλεγχος (περιγράφεται παρακάτω)
<b>Reference</b>			
Copernicus data	64,97	-	✓
<b>Supervised classification 7 bands</b>			
Maximum Likelihood	62,00	0,2917	✓
Mahalanobis Distance	62,00	0,2417	✓
Minimum Distance	80,87	0,8292	✓
Spectral Angle Mapper	67,02	0,6706	✓
Spectral Correlation Mapper	66,98	0,6831	✓
<b>Supervised classification 8 bands with Dem</b>			
Maximum Likelihood	62,00	0,2928	✓
Mahalanobis Distance	62,00	0,2577	✓
Minimum Distance	80,87	0,8791	✓
Spectral Angle Mapper	67,02	0,8845	✓
Spectral Correlation Mapper	66,98	0,8956	✓
<b>Supervised classification 8 bands with ndvi</b>			
Maximum Likelihood	62,00	0,1789	✓
Mahalanobis Distance	62,00	0,3556	✓
Minimum Distance	80,87	0,4098	✓
Spectral Angle Mapper	67,02	0,6372	✓
Spectral Correlation Mapper	66,98	0,8098	✓
<b>Supervised classification 8 bands with ndwi</b>			
Maximum Likelihood	62,00	0,7741	✓
Mahalanobis Distance	62,00	0,4114	✓
Minimum Distance	80,87	0,8386	✓
Spectral Angle Mapper	67,02	0,8788	✓
Spectral Correlation Mapper	66,98	0,9058	✓

<b>Supervised classification 8 bands with sentinel image</b>			
Maximum Likelihood	71,04	0,2684	✓
Mahalanobis Distance	71,04	0,2464	✓
Minimum Distance	0,17	-0,0720	✓
Spectral Angle Mapper	81,20	0,9350	✓
Spectral Correlation Mapper	80,05	1,0000	✓
<b>Supervised classification 9 bands with Dem &amp; ndvi</b>			
Maximum Likelihood	62,00	0,1759	✓
Mahalanobis Distance	62,00	0,2927	✓
Minimum Distance	80,87	0,6021	✓
Spectral Angle Mapper	67,02	0,6782	✓
Spectral Correlation Mapper	66,98	0,7255	✓
<b>Supervised classification 9 bands with Dem &amp; ndwi</b>			
Maximum Likelihood	62,00	0,2869	✓
Mahalanobis Distance	62,00	0,2023	✓
Minimum Distance	80,87	0,7989	✓
Spectral Angle Mapper	67,02	0,8178	✓
Spectral Correlation Mapper	66,98	0,8579	✓
<b>Supervised classification 10 bands</b>			
Maximum Likelihood	62,00	0,2036	✓
Mahalanobis Distance	62,00	0,2000	✓
(Minimum Distance	80,87	0,8317	✓
Spectral Angle Mapper	67,02	0,7419	✓
Spectral Correlation Mapper	66,98	0,9200	✓

Πίνακας 10. Εμβαδά μέσω threshold

Εικόνα	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )
NDVI ( μέσω κατωφλίου για τους δείκτες βλάστησης)	54,13
NDWI ( μέσω κατωφλίου για τους δείκτες βλάστησης)	63,84
Sentinel 1 ( μέσω κατωφλίου για τους δείκτες βλάστησης)	62,95
Sentinel 1 (κατώφλι μέσω του ιστογράμματος)	63,2

### 5.5. Omission Error – Commission Error

Στα πλαίσια αξιολόγησης της ποιότητας ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων υπολογίστηκαν σημαντικές παράμετροι όπως είναι το omission και το commission error.

Το σφάλμα Omission (Omission Error) αντιπροσωπεύει τα εικονοστοιχεία που ανήκουν πραγματικά στην κλάση που μας ενδιαφέρει (στην περίπτωση μας την κλάση του νερού), αλλά αποτυγχάνουν κατά την διαδικασία ταξινόμησης να καταταγούν σε αυτή.

Το σφάλμα Commission (Commission Error) αντιπροσωπεύει τα εικονοστοιχεία της κλάσης που μας ενδιαφέρει (στην περίπτωση μας στην κλάση του νερού) που ανήκουν σε μία άλλη κλάση, αλλά είναι λανθασμένα χαρακτηρισμένα στην κλάση που μας ενδιαφέρει.

Για να υπολογίσουμε τα Omission και Commission Errors, για κάθε ταξινόμηση, κόβουμε την ταξινομημένη εικόνα με το sharefile για την πλημμύρα που έχει ληφθεί από το πρόγραμμα Κοπέρνικος. Αυτό το πετυχαίνουμε με την εντολή Extract by Mask στο ArcMap, όπως ακριβώς παρουσιάζεται αναλυτικά σε παραπάνω μέρος της εργασίας. Στην εικόνα που προκύπτει, ανοίγουμε το Attribute Table και υπολογίζουμε:

- Για το Omission Error υπολογίζουμε:

$$\frac{\text{Συνολικός αριθμός των pixels που δεν είναι νερό}}{\text{Συνολικός αριθμός όλων των pixels (μαζί με αυτά του νερού)}}$$

Δηλαδή, υπολογίζουμε τον αριθμό των pixels που ταξινομήθηκαν σε λάθος κατηγορία.

- Για το Commission Error, χρησιμοποιούμε πάλι το κομμένο αρχείο, σε συνδυασμό αυτή τη φορά με το αρχικό αρχείο και υπολογίζουμε:

$$\frac{\text{Pixels νερού του αρχικού αρχείου} - \text{Pixels νερού του κομμένου αρχείου}}{\text{Pixels νερού του αρχικού αρχείου}}$$

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί. Στον πίνακα φαίνεται ότι το μικρότερο δυνατό σφάλμα υπάρχει στις μεθόδους χαρτογράφου φασματικής γωνίας και χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης για όλες τις εικόνες, εκτός από την εικόνα που έχει ως 8° φασματικό κανάλι την εικόνα του δορυφόρου Sentinel 1.

Πίνακας 11. Omission- Commission Error

	Omission Error	Comission Error
<b>Supervised classification 7 bands</b>		
Maximum Likelihood	0,115	0,073
Mahalanobis Distance	0,115	0,073
Minimum Distance	0,018	0,211
Spectral Angle Mapper	0,077	0,105
Spectral Correlation Mapper	0,077	0,105
<b>Supervised classification 8 bands with Dem</b>		
Maximum Likelihood	0,115	0,073
Mahalanobis Distance	0,115	0,073
Minimum Distance	0,018	0,211
Spectral Angle Mapper	0,077	0,105
Spectral Correlation Mapper	0,077	0,105
<b>Supervised classification 8 bands with ndvi</b>		
Maximum Likelihood	0,115	0,073
Mahalanobis Distance	0,115	0,073
Minimum Distance	0,018	0,211
Spectral Angle Mapper	0,077	0,105
Spectral Correlation Mapper	0,077	0,105
<b>Supervised classification 8 bands with ndwi</b>		
Maximum Likelihood	0,115	0,073
Mahalanobis Distance	0,115	0,073
Minimum Distance	0,018	0,211
Spectral Angle Mapper	0,077	0,105
Spectral Correlation Mapper	0,077	0,105
<b>Supervised classification 8 bands with sentinel image</b>		
Maximum Likelihood	0,054	0,134
Mahalanobis Distance	0,054	0,134
Minimum Distance	-	-
Spectral Angle Mapper	0,014	0,212
Spectral Correlation Mapper	0,016	0,201
<b>Supervised classification 9 bands with Dem &amp; ndvi</b>		
Maximum Likelihood	0,115	0,073
Mahalanobis Distance	0,115	0,073
Minimum Distance	0,018	0,211
Spectral Angle Mapper	0,077	0,105
Spectral Correlation Mapper	0,077	0,105
<b>Supervised classification 9 bands with Dem &amp; ndwi</b>		
Maximum Likelihood	0,115	0,073
Mahalanobis Distance	0,115	0,073
Minimum Distance	0,018	0,211

Spectral Angle Mapper	0,077	0.105
Spectral Correlation Mapper	0,077	0,105
<b>Supervised classification 10 bands</b>		
Maximum Likelihood	0,115	0,073
Mahalanobis Distance	0,115	0,073
Minimum Distance	0,018	0,211
Spectral Angle Mapper	0,077	0.105
Spectral Correlation Mapper	0,077	0,105

## 5.6. Αποτελέσματα Δυαδοποίησης

Με την δυαδοποίηση διαχωρίζουμε τις περιοχές που υπάρχει νερό, με τις περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει νερό. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία, χρησιμοποιούνται κάποια κατώφλια (thresholds).

Στην παράγραφο 3.1.5 της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναλύεται ο τρόπος επιλογής του απαραίτητου κατωφλίου στην εικόνα του δορυφόρου Sentinel 1 και στην συνέχεια η διαδικασία μέσω της οποίας διαχωρίζεται το νερό από τις υπόλοιπες περιοχές. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας απεικονίζεται στην Εικόνα 26 της ίδιας παραγράφου.

Ακόμα, στην παράγραφο 3.2.4 της διπλωματικής εργασίας αναλύεται ο υπολογισμός του κατωφλίου για τις εικόνες που απεικονίζουν τους δείκτες βλάστησης και νερού και το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας παρουσιάζονται στις Εικόνες 42 & 43 της ίδιας παραγράφου, οι οποίες απεικονίζουν τους δείκτες σε μορφή χάρτη.

Και οι τρεις εικόνες, μετά από την εφαρμογή του κατωφλίου παρουσίασαν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, αφού το νερό διαχωρίστηκε πολύ καλύτερα από τις υπόλοιπες κλάσεις.

## 6. Συζήτηση - Συμπεράσματα

Η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν δύο σύγχρονα εργαλεία που συντελούν σε μεγάλο βαθμό στην πρόβλεψη και αντιμετώπιση προβλημάτων παγκόσμιου ενδιαφέροντος, όπως προβλήματα του περιβάλλοντος, της αειφόρου ανάπτυξης, της ατμόσφαιρας, του νερού και της βλάστησης. Τα δύο αυτά εργαλεία (δορυφορική τηλεπισκόπηση και ΓΣΠ) χαρακτηρίζονται από το αναμφισβήτητο πλεονέκτημα της αμερόληπτης συλλογής πληροφοριών σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογική εξέλιξη των μεθόδων της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την διαχείριση και την προστασία του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στα πλημμυρικά φαινόμενα και συγκεκριμένα στην πλημμύρα του ποταμού Στρυμόνα, στον νομό Σερρών, για το έτος 2015 και παρουσιάζει τις πολλαπλές δυνατότητες χρήσεων και επιλογών των τεχνικών και μεθόδων της ψηφιακής επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων και ειδικότερα των τεχνικών ταξινόμησης στην ανίχνευση και την ανάδειξη ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών, για το περιβάλλον και τη γη γενικότερα. Κύριος στόχος της εργασίας είναι η αξιολόγηση διαφορετικών μεθόδων και εικόνων για την εκτίμηση πλημμυρικών φαινομένων.

Συγκεκριμένα, συγκρίναμε την πλημμύρα του Στρυμόνα όπως φαίνεται στο αρχείο από το ερευνητικό πρόγραμμα του Κοπέρνικου (Copernicus), το οποίο έχουμε ως αναφορά, με την πλημμύρα όπως αυτή διακρίνεται στις δορυφορικές εικόνες, οι οποίες έχουν υποστεί διαφορετικές μεθόδους ταξινόμησης. Σκοπός της παραπάνω σύγκρισης είναι να εντοπίσουμε ποια μέθοδος τελικά χαρτογραφεί καλύτερα το πλημμυρικό φαινόμενο. Για να το πετύχουμε αυτό αρχικά συγκρίνουμε όλες τις μεθόδους ταξινόμησης όλων των εικόνων ως προς το εμβαδόν με την εικόνα που έχουμε ως αναφορά, έπειτα ως προς τον δείκτη *Kappa statistics*, στην συνέχεια ως προς τα *Omission Error & Commission Error* και τέλος, ελέγχουμε οπτικά τις ταξινομήσεις και καταλήγουμε στα τελικά συμπεράσματα.

Τα δεδομένα μας δημιουργήθηκαν με συνδυαστική επεξεργασία δορυφορικών εικόνων Sentinel 1 και RADARSAT 2 (εικόνες radar). Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι το προϊόν το οποίο εμείς παίρνουμε ως αναφορά, άρα το θεωρούμε σωστό και με βάση αυτό προσδιορίζουμε την ορθότητα των αποτελεσμάτων μας, παράχθηκε και αυτό με μεθόδους ταξινόμησης, οπότε δεν είναι απόλυτα σωστό.

Το πρώτο βήμα είναι να συγκρίνουμε τις εικόνες ως προς το εμβαδόν.

- Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι σε όλες τις εικόνες που έχει πραγματοποιηθεί επιβλεπόμενη ταξινόμηση, εκτός από την συνδυαστική εικόνα που έχει ως 8<sup>ο</sup> φασματικό κανάλι την εικόνα από τον δορυφόρο Sentinel 1, η προσθήκη επιπλέον φασματικών δεδομένων όπως οι δείκτες NDVI (κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης) και NDWI (κανονικοποιημένος δείκτης νερού) δεν βελτιώνουν το αποτέλεσμα της ταξινόμησης και το υπολογισμένο εμβαδόν παραμένει σταθερό. Η εικόνα που έχει ως 8<sup>ο</sup> φασματικό κανάλι την εικόνα

από τον δορυφόρο Sentinel 1 παρουσιάζει αύξηση στην τιμή των εμβαδών, σε σύγκριση με το εμβαδόν αναφοράς.

- Επίσης, επειδή η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum likelihood) με την μέθοδο της απόστασης Mahalanobis προσομοιάζουν σε μεγάλο βαθμό, τα τελικά στατιστικά τους αποτελέσματα είναι και αυτά παρόμοια. Καταλήγουμε λοιπόν, έπειτα από σύγκριση όλων των μεθόδων μεταξύ τους, στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος που μας δίνει πλησιέστερο εμβαδόν με το εμβαδόν της εικόνας αναφοράς είναι η μέθοδος του χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης (Spectral Correlation Mapper).

Το επόμενο βήμα είναι να συγκρίνουμε την εκτίμηση της ακρίβειας, δηλαδή τον δείκτη kappa statistics.

- Παρατηρούμε ότι σε όλες τις εικόνες που περιέχεται σαν επιπλέον φασματικό κανάλι ο δείκτης NDWI, τα αποτελέσματα είναι καλύτερα από αυτά των εικόνων που περιέχεται σαν επιπλέον φασματικό κανάλι ο δείκτης NDVI.
- Το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (DEM) που χρησιμοποιείται σαν επιπλέον φασματικό κανάλι, βελτιώνει αρκετά τα αποτελέσματα της ταξινόμησης σε σχέση με τα αρχικά, στα οποία δεν υπήρχε επιπλέον φασματική πληροφορία. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως η τοπογραφική πληροφορία σε συνδυασμό με την φασματική πληροφορία βελτιώνει αρκετά τα αποτελέσματα.
- Οι βέλτιστες τιμές είναι αυτές που προκύπτουν από τους αλγόριθμους του χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης (Spectral Correlation Mapper) και του χαρτογράφου φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapper).
- Συγκεκριμένα, η καλύτερη τιμή είναι η τιμή 0,9271 της μεθόδου Spectral Angle Mapper στην εικόνα με τα 8 φασματικά κανάλια, που έχει σαν 8<sup>ο</sup> φασματικό κανάλι την εικόνα DEM και η αμέσως επόμενη είναι η τιμή 0,9200 της μεθόδου Spectral Correlation Mapper στην εικόνα με τα 10 φασματικά κανάλια . Υπάρχει και καλύτερη τιμή (1,0000) η οποία ανήκει στην συνδυαστική εικόνα που έχει ως 8<sup>ο</sup> φασματικό κανάλι την εικόνα του δορυφόρου Sentinel 1, **αλλά** επειδή το εμβαδόν αυτής της εικόνας προκύπτει πολύ μεγαλύτερο από αυτό την εικόνας αναφοράς θα ήταν λάθος να την επιλέξουμε. Τέλος, να σημειώσουμε ότι ο δείκτης kappa statistics δεν μπορεί να είναι 100% αντιπροσωπευτικός αφού κατά τη μέθοδο accuracy assessment με την οποία τον υπολογίσαμε, χρησιμοποιήσαμε 40 τυχαία σημεία (random points) πάνω στην εικόνα και με βάση αυτά προέκυψαν τα τελικά συμπεράσματα.

Στο επόμενο στάδιο, αναλύουμε τα αποτελέσματα των σφαλμάτων Omission και Commission.

- Παρατηρούμε ότι σε όλες τις εικόνες τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε μέθοδο ταξινόμησης είναι όμοια, εκτός από αυτά της εικόνας που έχει ως 8<sup>ο</sup> band την εικόνα του δορυφόρου Sentinel 1. Σε αυτή την εικόνα, το σφάλμα Omission είναι μικρότερο από όλες τις άλλες εικόνες για κάθε μέθοδο ταξινόμησης, όμως το σφάλμα Commission είναι μεγαλύτερο. Το άθροισμα τους, που είναι και αυτό που μας ενδιαφέρει, προκύπτει μεγαλύτερο από όλες τις εικόνες για κάθε μέθοδο ταξινόμησης, άρα το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η εικόνα αυτή δεν μπορεί να βελτιώσει τα αποτελέσματα.
- Αφού πρόκειται για σφάλματα, αναζητούμε την μέθοδο ταξινόμησης που παρουσιάζει το μικρότερο δυνατό σφάλμα. Το σφάλμα αυτό προκύπτει από τον συνδυασμό των δύο σφαλμάτων Omission & Commission. Έτσι, λοιπόν, συμπεραίνεται ότι οι μέθοδοι ταξινόμησης με το ελάχιστο σφάλμα είναι δύο (αφού παρουσιάζουν τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα), η μέθοδος Spectral Angle Mapper και η μέθοδος Spectral Correlation Mapper, με τιμή σφάλματος Omission 0,077 και τιμή σφάλματος Commission 0,105 για όλες τις ταξινομημένες εικόνες, εκτός από αυτή που έχει ως 8<sup>ο</sup> band την εικόνα του Sentinel 1, η οποία παρουσιάζει μεγαλύτερα σφάλματα.

Τέλος, ελέγχουμε οπτικά τις εικόνες και κατά πόσο αυτές ανταποκρίνονται στα αποτελέσματα που εξάγαμε, αλλά και στην πραγματικότητα και παρατηρούμε ότι:

- Σε όλα τα αποτελέσματα με βάση την μέθοδο maximum likelihood, η μέθοδος αυτή υπολογίζει ως πλημμύρα και κάποια τμήματα του ποταμού τα οποία είχαν νερό πριν την εκδήλωση της πλημμύρας (είναι λογικό επειδή η φασματική υπογραφή των υδάτινων μαζών ταυτίζεται),
- Το ίδιο συμβαίνει και με τις μεθόδους mahalanobis distance, spectral angle mapper και spectral correlation mapper,
- Στα αποτελέσματα με βάση την μέθοδο minimum distance υπολογίζονται ως πλημμύρα κάποια τμήματα του ποταμού που είχαν από πριν νερό καθώς και σημεία που δεν υπάρχει νερό στην πραγματικότητα, γι' αυτό και αυτή η μέθοδος παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις στην εκτίμηση του εμβαδού.
- Επίσης, στην **εικόνα που έχει ως 8<sup>ο</sup> φασματικό κανάλι την εικόνα του Sentinel 1**, η ταξινόμηση με την μέθοδο minimum distance δίνει λανθασμένα αποτελέσματα γιατί ο αλγόριθμος ταξινόμησης αναγνωρίζει εσφαλμένα την φασματική υπογραφή του νερού ως φασματική υπογραφή κατοικημένης περιοχής.

Με βάση όλα τα παραπάνω, προκύπτει το τελικό συμπέρασμα για την πιο αποδοτική μέθοδο ταξινόμησης εικόνας, η οποία παρουσιάζει τα πιο ορθά αποτελέσματα. Αυτή, λοιπόν, είναι **η μέθοδος του αλγορίθμου Spectral Correlation Mapper** (χαρτογράφος φασματικής συσχέτισης) της εικόνας με τα 10 φασματικά κανάλια, αφού προκύπτει:

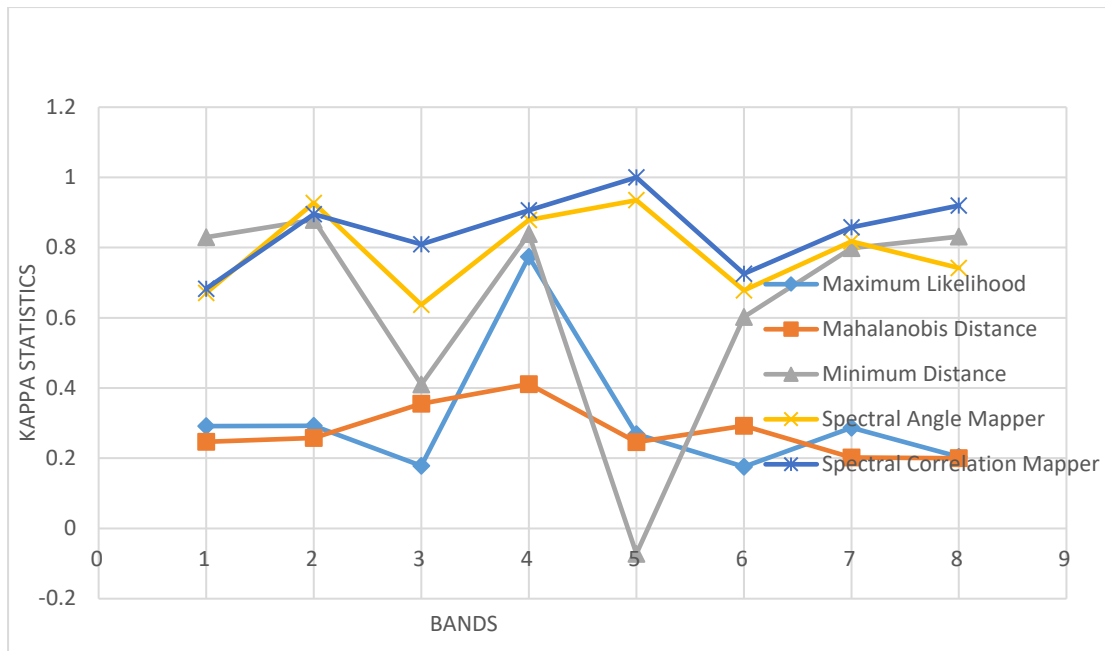
- Εμβαδόν ίσο με 66,98 km<sup>2</sup>, παραπλήσιο του εμβαδού αναφοράς που είναι ίσο με 64,97 km<sup>2</sup>
- Δείκτη Kappa Statistics ίσο με 0,9200, ο οποίος είναι ο μεγαλύτερος δείκτης
- Σφάλμα Omission και Commission, 0,077 και 0,105 αντίστοιχα (τα μικρότερα δυνατά σφάλματα)
- Οπτικό έλεγχο που δείχνει ότι η πλημμύρα σε αυτή την εικόνα, σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο απεικονίζεται σε μεγάλο βαθμό όμοια με την πλημμύρα αναφοράς.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι και η **μέθοδος του αλγορίθμου Spectral Angle Mapper** (χαρτογράφος φασματικής γωνίας) της εικόνας με τα 10 φασματικά κανάλια είναι αρκετά καλή, απλά έχει ένα μικρό μειονέκτημα όσο αφορά τον δείκτη kappa statistics. Αναλυτικά, προκύπτει:

- Εμβαδόν ίσο με 67,02 km<sup>2</sup>, παραπλήσιο του εμβαδού αναφοράς που είναι ίσο με 64,97 km<sup>2</sup>
- Δείκτη Kappa Statistics ίσο με 0,7419
- Σφάλμα Omission και Commission, 0,077 και 0,105 αντίστοιχα (τα μικρότερα δυνατά σφάλματα)
- Οπτικό έλεγχο που δείχνει ότι η πλημμύρα σε αυτή την εικόνα, σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο απεικονίζεται σε μεγάλο βαθμό όμοια με την πλημμύρα αναφοράς.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 72) παρουσιάζεται αναλυτικά η μεταβολή του δείκτη kappa statistics (για κάθε αλγόριθμο ταξινόμησης), καθώς αυξάνονται τα φασματικά κανάλια στις εικόνες που μελετάμε. Στον x άξονα, οι τιμές από το 1 μέχρι το 8 αντιπροσωπεύουν μια διαφορετική εικόνα, δηλαδή:

- Η τιμή 1 αντιπροσωπεύει την εικόνα με τα 7 φασματικά κανάλια
- Η τιμή 2 αντιπροσωπεύει την εικόνα με τα 8 φασματικά κανάλια, η οποία έχει ως 8<sup>ο</sup> κανάλι το DEM
- Η τιμή 3 αντιπροσωπεύει την εικόνα με τα 8 φασματικά κανάλια, η οποία έχει ως 8<sup>ο</sup> κανάλι τον δείκτη βλάστησης NDVI
- Η τιμή 4 αντιπροσωπεύει την εικόνα με τα 8 φασματικά κανάλια, η οποία έχει ως 8<sup>ο</sup> κανάλι τον δείκτη νερού NDWI
- Η τιμή 5 αντιπροσωπεύει την εικόνα με τα 8 φασματικά κανάλια, η οποία έχει ως 8<sup>ο</sup> κανάλι την εικόνα του δορυφόρου Sentinel 1
- Η τιμή 6 αντιπροσωπεύει την εικόνα με τα 9 φασματικά κανάλια, η οποία έχει ως 8<sup>ο</sup> κανάλι το DEM και ως 9<sup>ο</sup> τον δείκτη βλάστησης NDVI
- Η τιμή 7 αντιπροσωπεύει την εικόνα με τα 9 φασματικά κανάλια, η οποία έχει ως 8<sup>ο</sup> κανάλι το DEM και ως 9<sup>ο</sup> τον δείκτη νερού NDWI
- Η τιμή 8 αντιπροσωπεύει την εικόνα με τα 10 φασματικά κανάλια



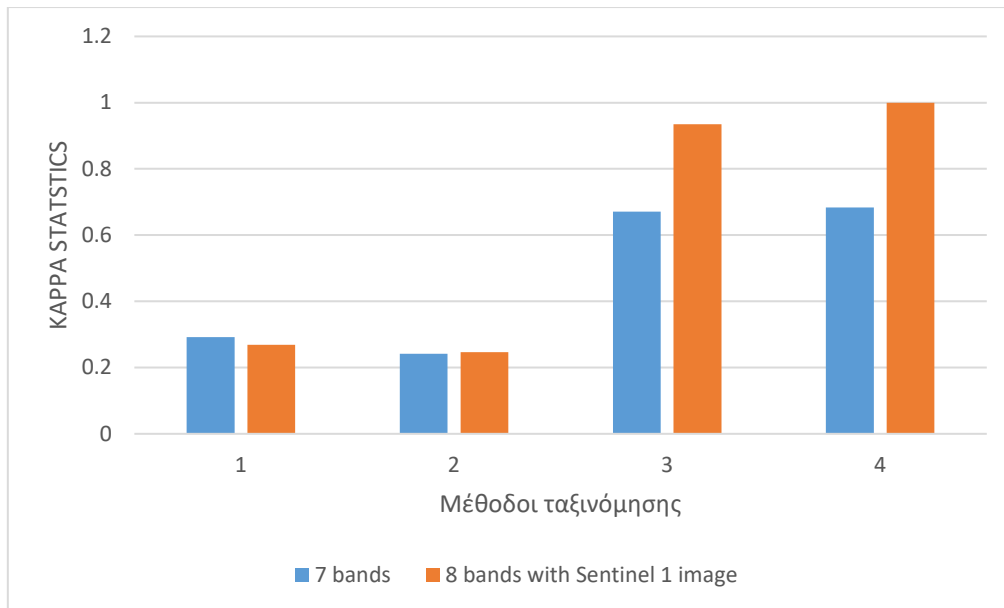
Εικόνα 72. Διάγραμμα Kappa Statistics & bands

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο πιο αποδοτικός αλγόριθμος είναι αυτός του χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης και ακολουθεί ο αλγόριθμος του χαρτογράφου φασματικής γωνίας.

Στο επόμενο διάγραμμα (Εικόνα 73) παρουσιάζεται η σύγκριση του δείκτη kappa statistics (για κάθε αλγόριθμο ταξινόμησης), της εικόνας με τα 8 φασματικά κανάλια, η οποία έχει ως 8<sup>ο</sup> κανάλι την εικόνα του δορυφόρου Sentinel 1 σε σχέση με την αρχική εικόνα με τα 7 φασματικά κανάλια. Στον x άξονα, οι τιμές από το 1 μέχρι το 4 αντιπροσωπεύουν μια διαφορετική μέθοδο ταξινόμησης, δηλαδή:

- Η τιμή 1 αντιπροσωπεύει την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας
- Η τιμή 2 αντιπροσωπεύει την μέθοδο της απόστασης Mahalanobis
- Η τιμή 3 αντιπροσωπεύει την μέθοδο του χαρτογράφου φασματικής γωνίας
- Η τιμή 4 αντιπροσωπεύει την μέθοδο του χαρτογράφου φασματικής συσχέτισης

Η μέθοδος της ελάχιστης απόστασης δεν συμπεριλήφθηκε στο διάγραμμα, διότι παρουσιάζει λανθασμένα αποτελέσματα.



Εικόνα 73. Διάγραμμα σύγκρισης δείκτη kappa statistics 2 διαφορετικών εικόνων

Στο διάγραμμα φαίνεται ότι στις δύο πρώτες μεθόδους ταξινόμησης, η εικόνα με τα 7 φασματικά κανάλια παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα, ενώ στις δύο επόμενες τα αποτελέσματα είναι αρκετά καλύτερα για την εικόνα με τα 8 φασματικά κανάλια.

Το τελικό αποτέλεσμα δεν αναδεικνύει μόνο τις δυνατότητες που προσφέρει ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ταξινόμησης (Spectral Correlation Mapper), αλλά φανερώνει ότι είναι απαραίτητη η προσθήκη και επιπλέον φασματικής (δείκτες βλάστησης) και τοπογραφικής (ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου) πληροφορίας για την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων. Επίσης, αναδεικνύεται και η συνδυαστική χρήση εικόνων παθητικής (Landsat 8) και ενεργητικής (Sentinel 1) Τηλεπισκόπησης.

## 7. Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

Beatriz Revilla-Romero, Feyera A. Hirpa, Jutta Thielen-del Pozo, Peter Salamon, Robert Brakenridge, Florian Pappenberger and Tom De Groeve, (2015). On the Use of Global Flood Forecasts and Satellite-Derived Inundation Maps for Flood Monitoring in Data-Sparse Regions.

Bo-Cai Gao, (1996). NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425796000673>

ESA. (2015). Introducing Sentinel 1. Retrieved October 4, 2015, from [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Introducing\\_Sentinel-1](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Introducing_Sentinel-1)

ESA. (2015). Level-1 Ground Range Detected. Retrieved January 1, 2015, from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/resolutions/level-1-ground-range-detected>

GEOG/GEOS 4354. (2015). Accuracy Assessment – Intro. to Remote Sensing

Giorgos Mallinis, Ioannis Z. Gitas, Vassileios Giannakopoulos, Fotis Maris & Maria Tsakiri-Strati. (2011). An object-based approach for flood area delineation in a transboundary area using ENVISAT ASAR and LANDSAT TM data.  
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17538947.2011.641601>

Jan Stefanski, (2015). Recommended Practice Flood Mapping  
<http://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-flood-mapping/step-by-step>

Komeil Rokni, Anuar Ahmad, Ali Selamat and Sharifeh Hazini. (2014). Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery.

Nazzareno Pierdicca, Marco Chini, Luca Pulvirenti and Flavia Macina, (2008). Integrating Physical and Topographic Information Into a Fuzzy Scheme to Map Flooded Area by SAR.

Radosław Malinowski 1, Geoff Groom, Wolfgang Schwanghart and Goswin Heckrath. (2015). Detection and Delineation of Localized Flooding from WorldView Multispectral Data.

Richards, J. A., Jia, X., (1999). Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer.

Sabins, F. F., (1987). Remote Sensing. Principles and Interpretation. Freeman.

Stephanie Long, Temilola E Fatoyinbo, Frederick Policelli (2014). Flood extent mapping for Namibia using change detection and thresholding with SAR

USGS, (2016). Using the USGS Landsat 8 Product  
<https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>

Youngjoo Kwak, Bhuyan Arifuzzanman, Yoichi Iwami, (2015). Prompt Proxy Mapping of Flood Damaged Rice Fields Using MODIS-Derived Indices.

## Ελληνική

Αστάρας, Θ. (2006). Τηλεπισκόπηση & Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες. Θεσσαλονίκη: Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΑΠΘ

Βαϊόπουλος, Δ. Α., 2003: Εισαγωγή στην Πληροφορική. Έκδοση Πανεπιστημίου Αθηνών. 427.

Θεοχάρης, Μ. (2015). Ενότητα 2. In Αρδεύσεις. Άρτα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου.

Καραγιάννη Ζ. (2013). Η αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων με τη χρήση της Τηλεπισκόπησης: Η περίπτωση του νομού Έβρου.

Καρτάλης, Κ., & Φείδας, Χ. (2006). Αρχές & Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. Αθήνα: Εκδόσεις Γκιούρδας.

Μέξης Φ. Δ. (2015). Συμβολή της τηλεπισκόπησης στην εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας.

Μερτίκας, Σ. (2006). Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας. Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.

Νάκος Β., (2000). Ολοκληρωμένο σύστημα απεικόνισης κινδύνων πλημμυρών  
<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/2912/1/%CE%B4%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE.pdf>

Νάκος Β. (2010). “Μια ανασκόπηση των προβολικών συστημάτων που εφαρμόστηκαν στον ελληνικό χώρο”.

Παππά Μ. (2012). Καταγραφή πλημμύρων και εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ-GIS). Ένα παράδειγμα από την ΒΑ.Χαλκιδική..

Ποϊραζίδης, Κ., Δ., Β. Μ., Γ., Κ., & Λορίλια, Ρ. Σ. (2013). Βασικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης. ΑΤΕΙ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ- ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ. Retrieved from  
[http://envi.teiion.gr/assets/files/Envi%20Management%20Section/REMOTE\\_THEORY/Basikes%20Arxes%20Tis%20Tilepiskopisis%20\(1,2,3\).pdf](http://envi.teiion.gr/assets/files/Envi%20Management%20Section/REMOTE_THEORY/Basikes%20Arxes%20Tis%20Tilepiskopisis%20(1,2,3).pdf)

Ποταμός Στρυμόνας. (2016)  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%84%CF%81%CF%85%CE%BC%CF%8C%CE%BD%CE%B1%CF%82>

<http://www.strymonikos.net/portal/FisikosPloutos/PotamosStrimonas>

Τζωρτζάκης, Ι. (2014). Εισαγωγή στην τηλεπισκόπηση. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας. Retrieved from <http://users.sch.gr/mppapado/downloads/tilepiskopisi.pdf>

Χάρου, Ε. Αθ., (2001): Ανάπτυξη και Εφαρμογή προηγμένων μεθόδων Πληροφορικής, για την αναγνώριση γραμμικών σχηματισμών και την ταξινόμηση τύπων εδαφοκάλυψης από δορυφορικές εικόνες. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας.

Χρυσουλάκης, Ν. (2011). Σημειώσεις Μαθήματος “Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης.” Πανεπιστήμιο Κρήτης.