ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ»

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ Γ' : ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Αυτόματη ανίχνευση πλοίων σε δορυφορικές εικόνες RADAR : περίπτωση μελέτης συνεχούς παρακολούθησης πλοίων.

Διπλωματική Εργασία

Ελισάβετ Μπούργια

Αθήνα, 2019

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ»

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ Γ' : ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ισαάκ Παρχαρίδης (Επιβλέπων),

Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Χαλκιάς Χρίστος,

Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ηλίας Παναγιώτης,

Επιστημονικό προσωπικό, ΙΑΑΔΕΤ Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Εγώ η Ελισάβετ Μπούργια, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.

2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω καταρχάς, στον Καθηγητή του τμήματος Γεωγραφίας, κύριο Ισαάκ Παρχαρίδη, που μου δίδαξε το μάθημα της Τηλεπισκόπισης καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις επί της οργάνωσης, της δομής και του περιεχομένου της παρούσας εργασίας.

Κρίνω απαραίτητο να εκφράσω την εκ των προτέρων εκτίμησή μου προς τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής, για τις χρήσιμες υποδείξεις και τις εύστοχες παρατηρήσεις τους στο σύνολο της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους φίλους μου για την στήριξη, την ανοχή και την κατανόηση που έδειξαν στο δύσκολο διάστημα της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Κλείνοντας, είμαι ευγνώμων στην οικογένειά μου για την ολόψυχη αγάπη τους, την συνεχείς συμπαράσταση και υποστήριξή τους, τις πολύτιμες συμβουλές τους και για όλα όσα μου έχουν προσφέρει όλα τα χρόνια της ζωής μου αλλά και των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες ..... σελ. 4

Περίληψη ..... σελ. 7

Abstract ..... σελ. 9

Κατάλογος Εικόνων ..... σελ. 10

Κατάλογος Πινάκων ..... σελ. 13

1. Εισαγωγή ..... σελ. 14

2. Βιβλιογραφική επισκόπηση ..... σελ. 15

3. Εισαγωγή στην τηλεπισκόπηση με την χρήση ενεργητικών συστημάτων RADAR ..... σελ. 20

3.1. Ιστορική αναδρομή της Τηλεπισκόπισης ..... σελ. 20

3.2. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ..... σελ. 22

3.2.1. Γενικά ..... σελ. 22

3.2.2. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ..... σελ. 23

3.2.3. Κύρια τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ..... σελ. 25

3.2.4. Αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα και την ύλη ..... σελ. 26

3.2.5. Φασματικές ταυτότητες ..... σελ. 27

3.3. Όργανα καταγραφής και δορυφόροι παρατήρησης της Γης ..... σελ. 28

3.3.1. Δορυφορικά συστήματα ..... σελ. 28

3.3.2. Χαρακτηριστικά της τροχιάς των δορυφόρων ..... σελ. 29

3.3.3. Βασικά χαρακτηριστικά των οργάνων καταγραφής ..... σελ. 30

3.4. Μικροκυματικά συστήματα ..... σελ. 31

3.4.1. Εικονοληπτικά RADAR ..... σελ. 32

3.4.2. Είδη RADAR ..... σελ. 34

3.4.3. Η έννοια του SAR ..... σελ. 34

3.5. Ενεργά δορυφορικά συστήματα (RADAR) ..... σελ. 36

3.5.1. Το πρόγραμμα Copernicus ..... σελ. 37

3.5.2. Οι δορυφόροι Sentinel ..... σελ. 37
3.5.3. Τύποι προϊόντων ..... σελ. 40
3.6. Γεωμετρία εικονοληψίας συστημάτων SAR ..... σελ. 42
3.6.1. Η αλληλεπίδραση σήματος RADAR με τη γήινη επιφάνεια ..... σελ. 45
3.6.2. Ιδιότητες εικόνων RADAR ..... σελ. 48
3.6.3. Εφαρμογές των εικόνων SAR ..... σελ. 49
4. Περιγραφή περιοχής μελέτης ..... σελ. 50
5. Δεδομένα και Μεθοδολογία ..... σελ. 55
5.1. Δεδομένα ..... σελ. 55
5.2. Μεθοδολογία ..... σελ. 57
5.3. Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων ..... σελ. 62
6. Αποτελέσματα ..... σελ. 73
7. Συζήτηση – Συμπεράσματα ..... σελ. 105

Βιβλιογραφία ..... σελ. 108

Περίληψη στα Ελληνικά

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αυτόματη ανίχνευση πλοίων μέσω δορυφορικών εικόνων ραντάρ. Ο σκοπός αυτού του θέματος, είναι η συνεχής παρακολούθηση πλοίων στη περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου, ώστε να μελετήσουμε κατά πόσο αυτά επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες, όταν είναι κυρίως αγκυροβολημένα.

Αρχικά, ανατρέξαμε στη βιβλιογραφία με σκοπό να δούμε διαχρονικά τις ποικίλες έρευνες που έχουν γίνει πάνω στην ανίχνευση των πλοίων. Στη συνέχεια, αναλύσαμε συνοπτικά βασικές έννοιες τηλεπισκόπησης και εικονοληπτικών συστημάτων Ραντάρ, όπως επίσης και κάποιους ορισμούς όρων που χρησιμοποιήθηκαν και στους οποίους γίνεται αναφορά κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Έπειτα, συλλέξαμε κάποιες πληροφορίες για την περιοχή την οποία μελετήσαμε.

Ακολουθούν τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα διπλωματική, τα οποία αποκτήθηκαν από την ιστοσελίδα Copernicus Open Access Hub και προέρχονται από τον δορυφόρο Sentinel-1 και είναι προϊόντα Level-1 ανίχνευσης εδάφους (GRD) αλλά και προϊόντα Level-2 Ocean (OCN) τα οποία επικουρικά χρησιμοποιήσαμε για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Εν συνεχεία, αναλύουμε την μεθοδολογία την οποία ακολουθήσαμε καθώς και την επεξεργασία των δεδομένων μας. Με την χρήση του προγράμματος SNAP, ακολουθήσαμε κάποια βήματα προ-επεξεργασίας των εικόνων που αποκτήσαμε και έπειτα εφαρμόσαμε την επεξεργασία ανίχνευσης πλοίων στη περιοχή μελέτης μας.

Στη συνέχεια, συγκρίναμε τα πλοία με τα χαρακτηριστικά του ανέμου τα οποία είναι η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου και παρατηρήσαμε την φορά των πλοίων αν έχει αλλάξει ή αν συμβαδίζει με τον άνεμο. Ακόλουθο βήμα, σύμφωνα με την δομή της διπλωματική μας, ήταν η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, των οποίων την χαρτογραφική απεικόνιση πραγματοποιήσαμε μέσω του προγράμματος ArcMap και εκεί διαχωρίσαμε τις ανιχνεύσεις μας σε κάποιες κατηγορίες.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, εκθέσαμε τα προβλήματα με τα οποία ήρθαμε αντιμέτωποι και ήταν κυρίως στην ανίχνευση πλοίων. Όπως παρουσιάσαμε και στην χαρτογραφική μας απεικόνιση, προβήκαμε σε κάποιους διαχωρισμούς των ανιχνεύσεων καθώς η ανίχνευση μπορεί να ήταν

διπλή πάνω σε ένα πλοίο ή να καταχωρούσαν τις κηλιδώσεις ή τις βραχονησίδες ως ανιχνεύσιμα πλοία και με αυτόν τον τρόπο καταλήξαμε στις κατηγορίες: ανιχνεύσιμα πλοία, αστοχία, βραχονησίδα και επανάληψη. Επίσης, προτείναμε πιθανές επιλύσεις των προβλημάτων με τα οποία ήρθαμε αντιμέτωποι, για την σωστότερη ανίχνευση πλοίων. Εν κατακλείδι, συμπεράναμε αν τελικά η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου επηρεάζουν τον προσανατολισμό των πλοίων και αν αυτός με την σειρά του επηρεάζει την κινητικότητα διέλευσης των πλοίων στο λιμάνι του Πειραιά.

Λέξεις κλειδιά: Ανίχνευση πλοίου, Σαρωνικός Κόλπος, Διεύθυνση ανέμου, Ταχύτητα ανέμου

Abstract

This diploma thesis deals with the automatic ship detection by satellite RADAR images. The purpose of this issue is the continuous observation of ships in the Saronic Gulf to study whether they are affected by weather conditions when they are mainly anchored.

Initially, we went back to the bibliography in order to look through the various investigations that have been made over time on the detection of ships. We then briefly analyze basic concepts of remote sensing and Radar imaging systems, as well as some definitions of terms used and referred to during this diploma thesis. Then, we collected some information about the area we studied.

Pursuing the data we used in this diploma, which we downloaded from the Copernicus Open Access Hub website and derived from the Sentinel-1 satellite and are Level-1 Ground Detection (GRD) products as well as Level-2 Ocean (OCN) products which we adjuvant used to interpret the results. Afterwards, we analyze the methodology we went through with and the processing of our data. Using the SNAP program, we attended some steps to pre-process the images we downloaded, and then we applied the processing of ship detection in our study area.

Subsequently, we compared the ships with the wind characteristics which are the wind direction and the wind speed and we observed the direction of the ships if it has changed or is going with the wind. The next step, according to our diplomatic structure, was the presentation of the results which we mapped out through the ArcMap program and we separated our detections into categories.

In the last chapter, we exposed the problems which we faced were mainly in the ship detection. As we have shown in our cartographic imaging, we made some separations of the detections, because the detection could have been double on a ship, or they could detect the spots or rocky island as detected ships, and we ended up in the categories: detected ships, failure, rocky island and repetition. We also proposed possible solutions for the problems we faced for more proper ship detection. In conclusion, we concluded that the speed and direction of the wind eventually influence the orientation of the ships and if it in turn affects the mobility of the ships in the port of Piraeus.

Keywords: Ship detection, SAR, Saronic Gulf, Wind direction, Wind speed

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα ..... σελ. 23

Εικόνα 2. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα .....σελ. 24

Εικόνα 3. Sentinel-1 ..... σελ. 39

Εικόνα 4. Η γεωμετρία της πλάγιας εικονοληψίας ..... σελ. 43

Εικόνα 5. Εγγύς και άπω περιοχή ..... σελ. 43

Εικόνα 6. Γωνία πρόσπτωσης και γωνία παρατήρησης .....σελ. 44

Εικόνα 7. Χωρική ανάλυση ..... σελ. 44

Εικόνα 8. Διάκριση δύο στόχων ..... σελ. 45

Εικόνα 9. Αλληλεπίδραση σήματος RADAR με την γήινη επιφάνεια ..... σελ. 46

Εικόνα 10. Παραδείγματα επανασκέδασης ..... σελ. 47

Εικόνα 11. Χάρτης που απεικονίζει την περιοχή μελέτης ..... σελ. 50

Εικόνα 12. Το λιμάνι του Πειραιά ..... σελ. 52

Εικόνα 13. Η Σαλαμίνα ..... σελ. 53

Εικόνα 14. Η Ψυττάλεια ..... σελ. 54

Εικόνα 15. Αρχική εικόνα SAR ..... σελ. 62

Εικόνα 16. Υποσύνολο της αρχικής εικόνας ..... σελ. 64

Εικόνα 17. Το αποτέλεσμα της εικόνας μετά την εισαγωγή πληροφοριών τροχιάς ..... σελ. 65

Εικόνα 18. Το αποτέλεσμα της εικόνας μετά την διαδικασία φιλτραρίσματος..... σελ. 66

Εικόνα 19. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μάσκα η οποία διαχωρίζει τη στεριά από την θάλασσα ..... σελ. 67

Εικόνα 20. Αποτέλεσμα εικόνας με πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων ..... σελ. 68

Εικόνα 21. Αποτέλεσμα γεωμετρικά διορθωμένης εικόνας ..... σελ. 69

Εικόνα 22. Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων στις 06/05/2018, πρωινή ώρα, καθοδική τροχιά ..... σελ. 74

Εικόνα 23. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 06/05/2018, πρωινή ώρα ……. σελ. 75

Εικόνα 24. Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων στις 06/05/2018, βραδινή ώρα, ανοδική τροχιά …….. σελ.77

Εικόνα 25. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχή μελέτης στις 06/05/2018, βραδινή ώρα ……. σελ. 78

Εικόνα 26. Οπτική εικόνα του Google Earth που διακρίνεται ένα φαινόμενο …….. σελ. 78

Εικόνα 27. Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων στις 12/05/2018, πρωινή ώρα, καθοδική τροχιά …….. σελ. 81

Εικόνα 28. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 12/05/2018, πρωινή ώρα …….. σελ. 82

Εικόνα 29. Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων στις 12/05/2018, βραδινή ώρα, ανοδική τροχιά …….. σελ. 84

Εικόνα 30. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 12/05/2018, βραδινή ώρα …….. σελ. 85

Εικόνα 31. Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων στις 18/05/2018, πρωινή ώρα, καθοδική τροχιά …….. σελ. 87

Εικόνα 32. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 18/05/2018, πρωινή ώρα ……. σελ. 88

Εικόνα 33. Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων στις 18/05/2018, βραδινή ώρα, ανοδική τροχιά …….. σελ. 90

Εικόνα 34. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 18/05/2018, βραδινή ώρα ……. σελ. 91

Εικόνα 35. Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων στις 24/05/2018, πρωινή ώρα, καθοδική τροχιά …….. σελ. 93

Εικόνα 36. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 24/05/2018, πρωινή ώρα ……. σελ. 94

Εικόνα 37. Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων στις 24/05/2018, βραδινή ώρα, ανοδική τροχιά …….. σελ. 96

Εικόνα 38. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 24/05/2018, βραδινή ώρα ……. σελ. 97

Εικόνα 39. Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων στις 30/05/2018, πρωινή ώρα, καθοδική τροχιά ……. σελ. 99

Εικόνα 40. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 30/05/2018, πρωινή ώρα ……. σελ. 100

Εικόνα 41. Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων στις 30/05/2018, βραδινή ώρα, ανοδική τροχιά ……. σελ. 102

Εικόνα 42. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 30/05/2018, βραδινή ώρα …… σελ. 103

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ονομασίες και μήκη κύματος των RADAR ……. σελ. 33

Πίνακας 2: Τα δεδομένα SAR και τα χαρακτηριστικά τους …….. σελ. 55

Πίνακας 3: Χαρακτηρισμός διεύθυνσης ανέμου …….…… σελ. 70

Πίνακας 4: Βαθμίδες ταχύτητας ανέμου …….…….…… σελ. 70

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας με το πλήθος των αστοχιών …….…… σελ. 106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

Η ανίχνευση πλοίων μέσω ραντάρ συνθετικού ανοίγματος κεραίας (SAR) διαδραματίζει ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στη θαλάσσια παρακολούθηση καθώς τα τελευταία χρόνια είναι ένα ενεργό ερευνητικό θέμα και έχει πολλές εφαρμογές. Οι κυριότερες εφαρμογές είναι η παρακολούθηση των αλιευτικών δραστηριοτήτων και η ρύπανση από πετρέλαιο, η διαχείριση της θαλάσσιας κυκλοφορίας καθώς και ο έλεγχος για εγκληματικότητα. Οι στόχοι των πλοίων αποτελούν βασικό κλειδί της θαλάσσιας επιτήρησης και ταυτοποίησης πλοίων αφού έχει μεγάλη πρακτική σημασία με ευρεία εφαρμογή σε πολιτικούς αλλά και στρατιωτικούς τομείς.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αυτόματη ανίχνευση πλοίων μέσω δορυφορικών εικόνων ραντάρ. Ο σκοπός αυτού του θέματος είναι η συνεχής παρακολούθηση πλοίων στη περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου ώστε να μελετήσουμε κατά πόσο αυτά επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες όταν είναι αγκυροβολημένα ή εν κινήσει. Το λιμάνι του Πειραιά εκτός του ότι είναι το μεγαλύτερο της χώρας μας είναι κι ένα από τα μεγαλύτερα σε επιβατική κίνηση της Ευρώπης. Έχει λοιπόν ιδιαίτερο ενδιαφέρον η παρατήρηση των πλοίων σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου καθώς και με την ταχύτητά του γι αυτό τον λόγω διερευνήσαμε πως ο άνεμος επηρεάζει την φορά ενός αγκυροβολημένου πλοίου καθώς όταν έρθει η χρονική στιγμή να ξεκινήσει θα προκύψει καθυστέρηση μέχρις ότου να προσανατολιστεί και πάλι με προορισμό το λιμάνι.

Για να το πετύχουμε αυτό αρχικά ακολουθήσαμε κάποια βήματα επεξεργασίας των εικόνων που αποκτήσαμε ώστε να ανιχνεύσουμε τα πλοία στη περιοχή μελέτης μας. Στη συνέχεια συγκρίναμε τα πλοία με την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου και παρατηρήσαμε την φορά των πλοίων αν έχει αλλάξει ή αν συμβαδίζει. Τα προβλήματα που είχαμε να προσπελάσουμε ήταν ποικίλα αλλά το κυριότερο ήταν στην ανίχνευση πλοίων όπου τα στίγματα μπορεί να ήταν διπλά πάνω σε ένα πλοίο ή να καταχωρούσαν τις κηλιδώσεις ή τις βραχονησίδες ως ανιχνεύσιμα πλοία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Σύμφωνα με τον Eldhuset, 1988, σε αυτή την έρευνα ,οι ακριβείς αλγόριθμοι εντοπισμού pixel μαζί με τους ψηφιακούς χάρτες χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τη θάλασσα από την στεριά. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται ένα φίλτρο Wiener και ένα φίλτρο υψηλής διέλευσης για την ενίσχυση πιθανών στόχων πλοίων. Με την κατάλληλη επιλογή ορίων εντοπίζονται όλα τα ορατά πλοία με το ανθρώπινο μάτι. Τα πιο γρήγορα φίλτρα σε λειτουργία που χρησιμοποιούν στατιστικά στοιχεία, έχουν αναπτυχθεί με επιτυχία. Αναλύοντας τα στατιστικά της οπισθοσκέδασης γύρω από κάθε υποψήφιο πλοίο, οι ποικίλοι τύποι ιχνών μπορούν να εντοπιστούν με πολύ μεγάλη πιθανότητα.

Σύμφωνα με τους Rye et al, 1990, σε αυτή την μελέτη γίνεται περιγραφή της ανάπτυξης ενός χώρου εργασίας που επιτρέπει την γρήγορη επεξεργασία των δεδομένων ERS-1 για την ανίχνευση πλοίων. Αυτό αποτελεί μέρος μιας αλυσίδας δεδομένων ταχείας παράδοσης στο Ηνωμένο Βασίλειο, η οποία θα λαμβάνει και θα επεξεργάζεται εικόνες ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) σε λιγότερο από 3 ώρες. Ο χώρος εργασίας βασίζεται σε ειδικούς αλγόριθμους για την επεξεργασία των δεδομένων εικόνας και την εξαγωγή πληροφοριών πλοίου. Περιγράφονται λοιπόν, οι αλγόριθμοι, η συνολική λειτουργία του συστήματος και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκαν.

Οι Alparone et al, 1991, σε αυτή την έρευνα παρουσιάζουν μια ολοκληρωμένη αλυσίδα ψηφιακής επεξεργασίας σήματος για την αυτόματη ανίχνευση πλοίων σε εικόνες SAR και για τον υπολογισμό της εκτίμησης της ταχύτητας των πλοίων. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε σε δύο προβλήματα: το πρόβλημα προ-φιλτραρίσματος που στοχεύει στη μείωση του θορύβου της κηλίδας στην εικόνα και το πρόβλημα ακρίβειας που σχετίζεται με τη βελτιστοποίηση της ικανότητας ανίχνευσης ή απόρριψης του πραγματικού στόχου. Ολόκληρη η αλυσίδα έχει πρώτα προσομοιωθεί και δοκιμαστεί σε ένα μηχάνημα, που ονομάζεται Micro VAX II, και στη

συνέχεια έχει μεταφερθεί σε μια παράλληλη αρχιτεκτονική βασισμένη σε ένα hyper-cube IMS T800.

Οι Argenti et al, 1992, σε αυτό το άρθρο αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της ανίχνευσης πλοίων σε εικόνες SAR με πλήρως αυτοματοποιημένο τρόπο. Προκειμένου να επιτευχθεί υψηλή αξιοπιστία και ακρίβεια, η προτεινόμενη αλυσίδα επεξεργασίας ανιχνεύει πιθανούς στόχους, αρχικά αναζητώντας παράλληλα φωτεινές κηλίδες, δηλαδή πιθανά σώματα πλοίων και ίχνη που έχουν επιμηκυνθεί τα οποία παρουσιάζονται στο τοπίο, και στη συνέχεια με την εγκάρσια επικύρωση των ιχνών ενάντια στα φωτεινά σημεία για να απορρίψουμε ψευδείς στόχους. Αυτό το σύστημα παράγει ασαφείς αποφάσεις, καθώς ανιχνεύει φωτεινά στίγματα και ίχνη και στη συνέχεια συσχετίζει με κάθε οντότητα ένα βαθμό καλοσύνης, που καθορίζεται με βάση τις κατάλληλες λειτουργίες ασάφειας που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης του συστήματος. Όλη η διαδικασία έχει εφαρμοστεί και δοκιμαστεί στο μηχάνημα MicroVax II και σε αρχιτεκτονική hyper-cube IMS T800.

Σύμφωνα με τον Garzelli, 1995, αυτή η εργασία παρουσιάζει ένα νέο αλγόριθμο που χρησιμοποιεί μορφολογικούς χειριστές για την αυτόματη ανίχνευση ιχνών πλοίων από εικόνες SAR. Ο αλγόριθμος έχει χαρτογραφηθεί σε μια παράλληλη αρχιτεκτονική των INMOS T800 για την επίτευξη εκτέλεσης σε πραγματικό χρόνο. Το προτεινόμενο σύστημα ανίχνευσης ίχνους ανήκει σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα επιτήρησης πλοίων που ανιχνεύει πιθανούς στόχους αναζητώντας παράλληλα για επιμήκη ίχνη και πλοία. Καθώς το σύστημα αυτό εκτελεί μια διασταυρούμενη επικύρωση των ιχνών έναντι των πλοίων, αυτό παρέχει μια εκτίμηση της αξιοπιστίας που συνδέεται με κάθε εντοπισμένο στόχο. Παρατηρούνται αποτελεσματικές ανιχνεύσεις πλοίων, επειδή τα πλοία χαρακτηρίζονται από υψηλή οπισθοσκέδαση που παράγει γενικά ξεκάθαρες φωτεινές αιχμές σε εικόνες SAR.

Σύμφωνα με τους Jiang et al, 2000, σε αυτό το άρθρο παρουσιάζεται ένα μοντέλο αυτόματης ανίχνευσης στόχου πλοίου σε εικόνες SAR, χρησιμοποιώντας μια στατιστική μέθοδο και μια τεχνική επεξεργασίας εικόνας. Τα πιθανά νευρωτικά δίκτυα (PNN) είναι ένα αποτελεσματικό μοντέλο για την ταξινόμηση δεδομένων βασισμένο σε μια μη παραμετρική προσέγγιση για να εκτιμήσει την πιθανότητα πυκνότητας της συνάρτησης. Αυτό το στατιστικό μοντέλο δίνει μια καλή αντιστοιχία σε SAR εικόνες με αποχρώσεις του γκρι για ιστογράμματα. Η τεχνική CFAR

που βασίζεται στο μοντέλο PNN χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την απόδοση της ανίχνευσης στόχου πλοίου.

Στο έγγραφο αυτό, οι Liu et al, 2003, παρουσιάζουν το σύστημα ASD (Αυτόματη Ανίχνευση Πλοίου) το οποίο αποτελείται κυρίως από έναν ανιχνευτή πλοίων και ιχνών. Οι διαδικασίες μετεπεξεργασίας βελτιώνουν την ακρίβεια ανίχνευσης. Επίσης, υπολογίζονται οι παράμετροι του πλοίου, οι οποίες περιλαμβάνουν το μήκος του πλοίου, το shipbeam, τη θέση του πλοίου, τον προσανατολισμό του πλοίου και την ταχύτητα του πλοίου.

Σε αυτό το άρθρο, οι Wang et al,2008, περιγράφουν ένα βελτιωμένο Συναγερμό Συνεχούς Δείκτη Ψεύδους (CFAR) αλγόριθμο ανίχνευσης πλοίων σε εικόνα ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) που βασίζεται σε μοντέλο κατανομής Alpha-stable. Τυπικά, ο αλγόριθμος CFAR χρησιμοποιεί τη Gaussian κατανομή για να περιγράψει τα στατιστικά χαρακτηριστικά ενός παραμορφωμένου υποβάθρου εικόνας SAR. Καθώς οι θαλάσσιες παραμορφώσεις στις εικόνες SAR παρουσιάζουν αιχμηρά ή με έντονες γωνίες χαρακτηριστικά, η Gaussian κατανομή συχνά αποτυγχάνει στο να περιγράψει το παραμορφωμένο υπόβαθρο της θάλασσας. Σε αυτή τη μελέτη, αντικατέστησαν τη Gaussian κατανομή με την κατανομή Alpha-stable, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε ακανόνιστη επεξεργασία σήματος, για να περιγράψει το παραμορφωμένο υπόβαθρο θάλασσας σε SAR εικόνες. Στον προτεινόμενο αλγόριθμό, ασχολήθηκαν ως αρχικό βήμα στην ανίχνευση πιθανών στόχων από πλοία. Στη συνέχεια, παρόμοια με τον τυπικό αλγόριθμο CFAR δύο παραμέτρων, εφαρμόζεται μια τοπική διαδικασία στο εικονοστοιχείο που προσδιορίζεται ως πιθανός στόχος. Μια RADARSAT-1 εικόνα χρησιμοποιείται για να επικυρώσει τον αλγόριθμο που είναι βασισμένος στην Alpha-stable κατανομή. Τα αποτελέσματα επικύρωσης δείχνουν βελτιώσεις του νέου αλγορίθμου CFAR βασισμένου στην κατανομή Alpha-stable σε σχέση με τον αλγόριθμο CFAR που βασίζεται στη Gaussian κατανομή.

Σύμφωνα με τους Wu et al, 2011, στο παρόν άρθρο, διερεύνησαν μια νέα παράμετρο ανίχνευσης(DP) για την ανίχνευση πλοίων βασισμένη σε διάνυσμα χαρακτηριστικών με τρεις παραμέτρους: την τιμή span, την μικρότερη eigen τιμή και τον συνδυασμό εντροπίας και ανισοτροπίας, οι οποίοι έχουν το υψηλότερο TCR (Target-Clutter Ratio) σε σύγκριση με άλλες παραμέτρους, μετά την ανάλυση δεδομένων των Radarsat-2 full polarimetric SLC στην έρευνά

μας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η DP είναι πολύ αποτελεσματική για την ενίσχυση του TCR της εικόνας και διακρίνει σωστά και πλήρως όλα τα πλοία.

Σύμφωνα με τους Marino et al, 2015, σκοπός αυτής της εργασίας είναι η δοκιμή μιας σειράς ανιχνευτών πλοίων με βάση τη φασματική ανάλυση εικόνων SAR για να αξιολογηθούν σε σύγκριση με τους πιο παραδοσιακούς τρόπους επεξεργασίας δεδομένων. Παρουσιάζονται δύο προτεινόμενοι αλγόριθμοι που αποσκοπούν στην ανίχνευση σταθερών σκεδαστών για συμβολομετρία και οι μεθοδολογίες παρακολούθησης οι οποίοι δοκιμάζονται για πρώτη φορά για ανίχνευση πλοίων. Ακόμα, στην έρευνα προτείνεται η σύγκριση τεσσάρων ανιχνευτών δευτερεύουσας εμφάνισης που εκμεταλλεύονται ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων που αποτελείται από TerraSAR-X, RADARSAT-2 και ALOS-PALSAR. Από τις SAR εικόνες, συλλέχθηκαν δεδομένα επικύρωσης, τα οποία περιλαμβάνουν το σύστημα αυτόματης αναγνώρισης (AIS) των πλοίων και των ανέμων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι η απόδοση των διαφορετικών δευτερεύουσας εμφάνισης αλγορίθμων που εξετάζονται εδώ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πόλωση, τη συχνότητα και την ανάλυση. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η φασματική ανάλυση βοηθά στην ανίχνευση πλοίων όταν η αντίθεσή της με τη θάλασσα είναι πολύ χαμηλή.

Οι Nie et al, 2017,σε αυτή την εργασία, πρότειναν έναν αλγόριθμο που βασίζεται σε εκτεταμένο μετασχηματισμό κύματος και σε ανάδειξη χάρτη φάσης (PSMEWT) για την επίλυση αυτών των ζητημάτων. Αρχικά, η σύντηξη πολλαπλών φασματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για τον διαχωρισμό των θαλάσσιων και χερσαίων περιοχών και η μορφολογική μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την απομάκρυνση των μεμονωμένων οπών. Δεύτερον, ο εκτεταμένος μετασχηματισμός κυματιδίων (EWT) και η φάση αξιοπιστίας του χάρτη, συνδυάστηκαν για την επίλυση του προβλήματος της εξαγωγής των περιοχών ενδιαφέροντος (ROI) από το πολύπλοκο υπόβαθρο. Τα πειράματα έδειξαν ότι αυτός ο αλγόριθμος δεν ήταν ευαίσθητος στις πολύπλοκες θαλάσσιες παρεμβολές και πολύ ισχυρός σε σύγκριση με άλλες υπερσύγχρονες μεθόδους και ο ρυθμός ανάκλησης του αλγορίθμου ήταν καλύτερος από 90%.

Σύμφωνα με τους Bi et al, 2017, σε αυτή την εργασία, παρουσιάζεται για ανίχνευση παράκτιων πλοίων σε σύνθετες περιοχές λιμένων, μια νέα ιεραρχική μέθοδος που συνδυάζει μια αποτελεσματική στρατηγική σάρωσης και ένα ακριβές μοντέλο υποψήφιου μίγματος

προσδιορισμού. Αρχικά, στη φάση εξαγωγής της υποψήφιας περιοχής, έχει σχεδιαστεί με στρατηγική αμφίδρομης διασταυρούμενης σάρωσης δύο διαστάσεων (OITDS) για την γρήγορη απόσπαση των υποψήφιων περιοχών από τις κατατετμημένες εικόνες εδάφους – θάλασσας. Στον προσδιορισμό της υποψήφιας περιοχής, προτείνεται ένα μοντέλο μίγματος απόφασης (DMM) για τον διαχωρισμό των πραγματικών πλοίων από τα υποψήφια αντικείμενα. Για να βελτιωθεί η ακρίβεια όσον αφορά την ποικιλομορφία των πλοίων, χρησιμοποιήθηκε ένα παραμορφωμένο μοντέλο μέρους (DPM) για την εκπαίδευση ενός υπομοντέλου βασικού μέρους και ενός υπομοντέλου ολόκληρου του πλοίου. Επιπλέον, για να βελτιωθεί η ακρίβεια ταυτοποίησης, δημιουργήθηκε ένα υπομοντέλο συσχετιζόμενου περιβάλλοντος και για να αυξηθεί η ακρίβεια της ταυτότητας της υποψήφιας περιοχής, αυτά τα τρία υπομοντέλα ενσωματώνονται στο προτεινόμενο DMM. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η προτεινόμενη μέθοδος έχει υψηλή ακρίβεια ανίχνευσης και ταχύτατη υπολογιστικής αποδοτικότητας.

Σε αυτή την εργασία, οι Shi et al, 2018, προτείνουν μια νέα μέθοδο ανίχνευσης πλοίων βασισμένη στη κλίση (gradient) και στα ακέραια χαρακτηριστικά για εικόνες SAR. Στο στάδιο της προεπεξεργασίας, χρησιμοποιείται ένα φίλτρο για τη μείωση του θορύβου και τη σύγχυση του φόντου και διατηρείται η περιοχή με υφή. Στο στάδιο εξαγωγής της υποψήφιας περιοχής, προτείνεται μια μέθοδος διαχωρισμού της θάλασσας από τη στεριά βασιζόμενη στην βελτίωση κλίσης και εξάγει τις υποψήφιες περιοχές του στόχου του πλοίου πιο αποτελεσματικά. Επιπλέον, η μέθοδος ενσωματωμένης εικόνας χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση του υπολογισμού. Στοχεύει στην αναγνώριση του στόχου, και προτείνεται μια στρατηγική εξαγωγής χαρακτηριστικών με βάση μια μέθοδο τύπου Haar και μετασχηματισμού Ραδονίου. Αυτή η στρατηγική λύνει το πρόβλημα της ποικιλίας προσανατολισμού του πλοίου. Πειράματα σε εικόνες SAR μεγάλης κλίμακας από δορυφόρο Gaofen-3 επιβεβαιώνουν την προτεινόμενη μέθοδο ως πιο αποτελεσματική όταν εφαρμόζεται σε κακές συνθήκες θάλασσας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εισαγωγή στην τηλεπισκόπηση με την χρήση ενεργητικών συστημάτων Radar

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν συνοπτικά οι βασικές έννοιες τηλεπισκόπησης και εικονοληπτικών συστημάτων Ραντάρ, όπως επίσης θα δοθούν οι ορισμοί που χρησιμοποιήθηκαν και στους οποίους γίνεται αναφορά κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

3.1 Ιστορική αναδρομή της Τηλεπισκόπησης

Η λέξη τηλεπισκόπηση συντίθεται από το αρχαίο επίρρημα “τήλε” (=από μακριά), ως το πρώτο συνθετικό της, και το ρήμα “επισκοπεύω” (=βλέπω από ψηλά, επιθεωρώ). Επομένως, Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) σημαίνει αντίληψη αντικειμένων ή φαινομένων από απόσταση. Ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από έναν στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς στην πραγματικότητα να έρθουμε σε απευθείας επαφή με αυτόν. (Μερτίκας, 2009)

Η τηλεπισκόπηση λοιπόν είναι ένα βασικό συστατικό της Γεωπληροφορικής, συμβάλλοντας στη μέτρηση και χαρτογράφηση της επιφάνειας της Γης. Προσφέρει ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες και γνώση σε σχετικά αντικείμενα, την κατανομή τους στον χώρο και τον χρόνο καθώς και χωρικές και χρονικές σχέσεις τους. (Παρχαρίδης, 2015)

Μερικές από τις ιστορικές χρονολογίες της τηλεπισκόπησης είναι επιγραμματικά οι παρακάτω:

1826: Ξεκινά η τηλεπισκόπηση με την ανακάλυψη της φωτογραφίας. Έπειτα, αναπτύσσονται νέοι τύποι φιλμ που γίνεται καταγραφή φωτογραφιών και σε ζώνες εκτός του ορατού φάσματος.

1939: Αναπτύσσεται η υπέρυθρη φωτογραφία και το Radar κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου.

1960: Μεγάλη ώθηση στην τηλεπισκόπηση λόγο ανταγωνισμού στις διαστημικές και δορυφορικές έρευνες κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου και από την δημιουργία της Αμερικανικής Αεροναυτικής και Διαστημικής Υπηρεσίας NASA η οποία σχεδίασε, κατασκεύασε και στη συνέχεια εκτόξευσε τον ERTS-1.

1970: Εκτοξεύονται δορυφόροι, όπως ο αμερικανικός Landsat-1, για την παρατήρηση της επιφάνειας της γης.

1980: Κατασκευάζεται η δεύτερη γενιά δεκτών και δορυφόρων Landsat με τον θεματικό χαρτογράφο TM (Thematic Mapper). Άλλοι δορυφόροι εκτοξεύονται από χώρες όπως η Ινδία, η Ιαπωνία, και η Ρωσία.

1986: Εκτοξεύεται ο γαλλικός δορυφόρος SPOT-1 και αναπτύσσονται τα εικονοληπτικά φασματόμετρα.

1990: Δημιουργείται το EOS (Earth Observing Systems) στις ΗΠΑ, το Radarsat στον Καναδά και ο Ευρωπαϊκός δορυφόρος Earth Resources Satellite (ERS-1) με συσκευές Radar του τύπου SAR(Synthetic Aperture Radar).

Η Ελλάδα υπέγραψε την πρώτη συμφωνία συνεργασίας με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (European Space Agency) το 1994. Με την ένταξή της ως πλήρες μέλος της ESA τον Δεκέμβριο του 2005, η Ελλάδα άρχισε να συμμετέχει ισότιμα με τα υπόλοιπα κράτη μέλη στην υλοποίηση του ευρωπαϊκού διαστημικού προγράμματος. (Παρχαρίδης,2015)

Κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών δόθηκε μεγάλη ώθηση στην εκτόξευση συστημάτων εικονοληπτικών Radar. (Μερτίκας,2009)

3.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

3.2.1 Γενικά

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Electromagnetic radiation – EMR) είναι η βασική ποσότητα ενέργειας που έχει την ικανότητα να παράγει έργο και μετριέται σε Joules. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εκφράζεται, όπως είναι γνωστό, σαν μηχανική, χημική, ηλεκτρική και θερμική.

Η μετάδοση της ενέργειας γίνεται με επαφή, μεταφορά και ακτινοβολία. Από αυτούς τους τρεις παράγοντες μόνο η ακτινοβολία είναι δυνατόν να μεταδώσει ενέργεια από ένα σώμα σε ένα άλλο χωρίς την παρέμβαση ενδιάμεσου φορέα και διασχίζοντας εκατομμύρια χιλιόμετρα στο κενό διάστημα. Τη μέθοδο της μεταφοράς ενέργειας με ακτινοβολία εκμεταλλεύεται και η τηλεπισκόπηση, η οποία γίνεται από ένα σώμα προς τον δέκτη (κατάλληλο αισθητήριο όργανο) που λαμβάνει το σήμα. (Παρχαρίδης, 2015)

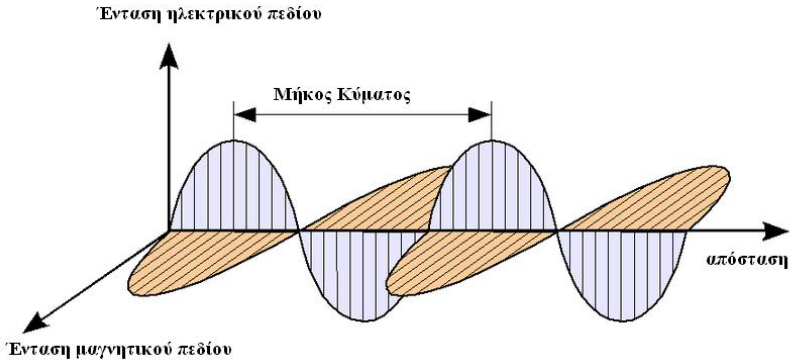
Στην Τηλεπισκόπηση έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς οι ζώνες του ορατού και του εγγύς υπέρυθρου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ως οι κύριες φασματικές ζώνες ανίχνευσης. Αυτό οφείλεται στο ότι οι ζώνες αυτές εμφανίζουν τον μέγιστο ηλιακό φωτισμό, καθώς και στο ότι υπάρχουν διαθέσιμοι ανιχνευτές αυτής της ακτινοβολίας. Οι ανιχνευτές τηλεπισκόπησης ανιχνεύουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από κάποια επιφάνεια και καταγράφουν την έντασή της σε διαφορετικές ζώνες του φάσματος. (Μερτίκας, 2009)

Η κύρια πηγή ενέργειας του συστήματος γης – ατμόσφαιρας είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου. Οι δορυφορικοί αισθητήρες καταγράφουν την ηλιακή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάται από μια γήινη επιφάνεια και σκεδάζεται από την ατμόσφαιρα ή την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα σώματα στη γη. Στην τηλεπισκόπηση, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία καθορίζεται ποσοτικά από την ένταση και το μήκος κύματος ή τη συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. (Καρτάλης, Φείδας, 2013)

3.2.2 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Ως ηλεκτρομαγνητικό φάσμα θεωρούμε την ταξινόμηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σύμφωνα με το μήκος κύματος ή σύμφωνα με την συχνότητα ή την ενέργεια. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συνήθως εκτείνεται μεταξύ των κοσμικών ακτινών και των ραδιοκυμάτων. Για την τηλεπισκόπηση το πιο σημαντικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι εκείνο που δημιουργείται από την ακτινοβολία του ήλιου.

Η θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας θεωρεί ότι η ενέργεια μεταδίδεται με την μορφή αρμονικού ημιτονοειδούς κύματος. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο Ε, που αντιπροσωπεύει τις ηλεκτρικές μεταβολές και το οποίο μεταβάλλεται εγκάρσια προς τη διεύθυνση διάδοσής του. Επιπλέον, υπάρχει κι ένα μαγνητικό πεδίο Η, που είναι αλληλένδετο με το προηγούμενο αλλά είναι προσανατολισμένο κάθετα προς το ηλεκτρικό πεδίο και διαδίδεται με την ίδια φάση όπως φαίνεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1: Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα

(Πηγή:www.wikiwand.com)

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, όπως και κάθε αρμονικό κύμα, εμφανίζει τρία χαρακτηριστικά:

α) Μήκος κύματος (λ). Είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών του αρμονικού κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος μετριέται με μονάδες μήκους.

β) Συχνότητα (ν). Μετριέται ως ο αριθμός των κορυφών του αρμονικού κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Ν) που διέρχονται από συγκεκριμένο σταθερό σημείο στη

μονάδα του χρόνου (t). Η συχνότητα ν μετριέται σε Hertz, που ισοδυναμεί με ένα κύκλο ανά δευτερόλεπτο και σε πολλαπλάσια του Hertz.

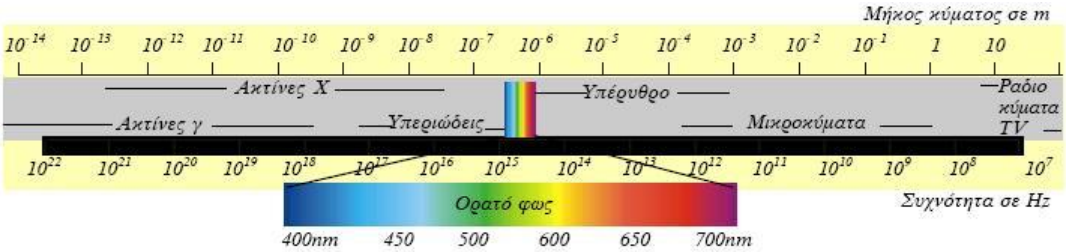
$$\nu=N/t$$

γ) Πλάτος. Ισοδυναμεί με το ύψος της κάθε κορυφής του αρμονικού κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το πλάτος συνήθως μετριέται σε επίπεδα ενέργειας
που εκφράζονται σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο ανά μικρόμετρο. Η ταχύτητα διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας c είναι σταθερή στον κενό χώρο και ίση με 299.893 km/s.

Το γινόμενο του μήκους κύματος (λ) μιας φωτεινής ακτινοβολίας επί την αντίστοιχη συχνότητά της (ν) είναι σταθερό και ισούται με την ταχύτητα του φωτός ε(c).

$$c=\lambda\nu$$

Ολόκληρο το εύρος των μηκών κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Για τον ήλιο το φάσμα εκτείνεται από τις ακτίνες γ (μικρό μήκος κύματος, υψηλή ενέργεια) μέχρι τα ραδιοκύματα (μεγάλο μήκος κύματος, χαμηλή ενέργεια). Το ηλεκτρομαγνητικό φάρμα διακρίνεται σε ζώνες όπως διακρίνουμε και στην εικόνα 2. (Μερτίκας, 2009)



Εικόνα 2: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

(Πηγή: ebooks.edu.gr)

3.2.3 Κύρια τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατηγοριοποιείται με βάση τη θέση του μήκους κύματος στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συνίσταται από κύματα με μήκη κύματος από 0,1 μm έως 100 m και χωρίζεται σε περιοχές, όπως το υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, το υπεριώδες, το ορατό κ.α. Τα δορυφορικά συστήματα τηλεπισκόπησης λειτουργούν, κυρίως, στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα καθώς και στην περιοχή των μικροκυμάτων. (Καρτάλης, Φείδας, 2013)

Ορατό φάσμα

Παρά του ότι το ορατό φάσμα αποτελεί ένα μικρό τμήμα του φάσματος, έχει μεγάλη σημασία στην τηλεπισκόπηση. Τα όρια του ορατού φωτός καθορίζονται από την ευαισθησία του συστήματος της ανθρώπινης όρασης. Η ορατή ακτινοβολία υποδιαιρείται σε τρία βασικά χρώματα που ονομάζονται πρωτεύοντα αθροιστικά χρώματα και εκτείνονται προσεγγιστικά από 0,4 μm έως 0,5μm (μπλε), 0,5 μm έως 0,6 μm (πράσινο) και από 0,6 μm έως 0,7 μm (ερυθρό). Ονομάζονται πρωτεύοντα αθροιστικά χρώματα επειδή κανένα πρωτεύον χρώμα δεν μπορεί να παραχθεί από σύνθεση δύο άλλων σε αντίθεση με τα υπόλοιπα χρώματα, που μπορούν να παραχθούν από σύνθεση των τριών πρωτευόντων χρωμάτων με κατάλληλη αναλογία.

Υπέρυθρος ακτινοβολία

Μήκη κύματος μεγαλύτερα από εκείνα του ερυθρού τμήματος του ορατού φωτός ορίζουν την περιοχή της θερμικής ακτινοβολίας που εκτείνεται από 0,7 μm έως 300 μm. Οι όροι εγγύς, μέσο και άπω υπέρυθρο συνήθως χρησιμοποιούνται για την υποδιαίρεση της περιοχής του υπέρυθρου σε τρεις ζώνες.

Μικροκυματική ακτινοβολία

Τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση είναι εκείνα από 1mm μέχρι 1m. Η φασματική ζώνη με τα πιο μικρά μήκη κύματος έχει παρόμοιες ιδιότητες με τη θερμική ενέργεια του άπω υπέρυθρου. Η ακτινοβολία αυτή έχει την ιδιότητα να διαπερνά

τα νέφη και να εισχωρεί σε γήινη επιφάνεια ανάλογα με το μήκος κύματός της. (Μερτίκας,2009)

3.2.4 Αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα και την ύλη

Οι διάφοροι τρόποι με τους οποίους αντιδρά η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με την ατμόσφαιρα είναι οι ακόλουθοι:

α) Να διέλθει ευθύγραμμα, σχεδόν ανεμπόδιστη.

β) Να ανακλαστεί και να διαχυθεί από αυτήν χωρίς να επέλθει καμιά μεταβολή στην ταχύτητα και στο μήκος κύματός της.

γ) Αφού διέλθει από την ατμόσφαιρα να απορροφηθεί από τη γήινη επιφάνεια και στη συνέχεια, εκπεμπόμενη ως μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, να προκαλέσει την άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας λόγω της απορρόφησής της από αέρια μόρια.

Μετά την αρχική διέλευσή της από την ατμόσφαιρα, η ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια με την οποία αντιδρά με ανάκλαση-διάχυση (R), απορρόφηση (A) ή με μετάδοση (T) σε περίπτωση μιας αρκετά λεπτής επιφάνειας.

Ανάκλαση συμβαίνει όταν μια ακτίνα του φωτός ανακατευθύνεται καθώς προσπίπτει σε μια αδιαφανή επιφάνεια. Η φύση της αντανάκλασης εξαρτάται από τα μεγέθη των επιφανειακών ανωμαλιών (τραχύτητα ή ομαλότητα) σε σχέση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εξετάζεται. Εάν η επιφάνεια είναι ομαλή σε σχέση με το μήκος κύματος, παρατηρείται κατοπτρική ανάκλαση ενώ εάν μια επιφάνεια είναι τραχιά σε σχέση με το μήκος κύματος, ενεργεί ως διάχυτος ή ισότροπος, ανακλαστήρας.

Η **μετάδοση** της ακτινοβολίας συμβαίνει όταν η ηλιακή ακτινοβολία περνά μέσα από μια ουσία χωρίς σημαντική εξασθένηση. Για ένα δεδομένο πάχος, ή βάθος, μιας ουσίας, η ικανότητα ενός μέσου για τη μετάδοση ενέργειας μετράται ως η διαπερατότητα (t): Εκπεμπόμενη ακτινοβολία/Προσπίπτουσα ακτινοβολία

Απορρόφηση εκφράζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η ακτινοβολία δεσμεύεται από το αντικείμενο και ακολούθως επανεκπέμπεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος του θερμικού υπέρυθρου καναλιού.

Ο **φθορισμός** συμβαίνει όταν ένα αντικείμενο λαμβάνει ακτινοβολία σε ένα μήκος κύματος και εκπέμπει ακτινοβολία σε ένα διαφορετικό μήκος κύματος.

Η **πόλωση** της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δηλώνει τον προσανατολισμό των ταλαντώσεων εντός του ηλεκτρικού πεδίου ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Το ηλεκτρικό πεδίο ενός κύματος φωτός (που ταξιδεύει στο κενό) είναι συνήθως προσανατολισμένο κάθετα προς την κατεύθυνση του κύματος. Το πεδίο μπορεί να έχει έναν προτιμώμενο προσανατολισμό, ή μπορεί να περιστρέφεται καθώς το κύμα ταξιδεύει.

Για πολλές εφαρμογές της τηλεπισκόπησης, η φωτεινότητα της επιφάνειας απεικονίζεται καλύτερα όχι ως ακτινοβολία αλλά ως **ανακλαστικότητα** . Η ανακλαστικότητα εκφράζεται ως η σχετική φωτεινότητα μιας επιφάνειας όπως μετράται για ένα συγκεκριμένο διάστημα μήκους κύματος: Ανακλαστικότητα = Παρατηρούμενη φωτεινότητα / Ακτινοβολία

(Παρχαρίδης,2015)

3.2.5 Φασματικές ταυτότητες

Τα φυσικά χαρακτηριστικά και η σύσταση κάθε αντικειμένου επηρεάζουν το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται στα διάφορα μήκη κύματος με τον δικό τους χαρακτηριστικό τρόπο. Η ποσότητα και η φασματική κατανομή της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από ένα αντικείμενο χρησιμοποιούνται ως μέσα αναγνώρισης του αντικειμένου αυτού, αναφερόμενα ως **φασματική ταυτότητα** (spectral signature) του αντικειμένου και καταγράφονται από τους δέκτες (sensors) των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά παρατήρησης της Γης. Κατ' αυτόν τον τρόπο καταγράφεται και αναλύεται η συμπεριφορά στην ανάκλαση και στην εκπομπή ακτινοβολίας των διαφόρων αντικειμένων στην επιφάνεια της Γης, ώστε να διευκολυνθεί η επιλογή των κατάλληλων δεκτών και

φασματικών ζωνών που θα βοηθήσουν καλύτερα στον εντοπισμό των αντικειμένων και των ιδιοτήτων τους που μας ενδιαφέρουν.

Εκτός από τις επιδράσεις με την ύλη, όπως η απορρόφηση, η ανάκλαση και η διάχυση, οι οποίες διαμορφώνουν την πληροφορία που συλλέγεται με τις μεθόδους τηλεπισκόπησης, ένας άλλος παράγοντας που επιδρά στην ποιότητα του φάσματος είναι η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία εξαρτάται από το ύψος του Ηλίου.

Μια χρήσιμη ποσοτική έκφραση της ανάκλασης διαφορετικών αντικειμένων είναι ο **συντελεστής ανάκλασης.** Εκφράζει το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται από τα αντικείμενα. (Παρχαρίδης, 2015)

3.3 Όργανα καταγραφής και δορυφόροι παρατήρησης της Γης.

3.3.1 Δορυφορικά συστήματα

Ο όρος Τηλεπισκόπηση, μπορεί να γενικευθεί σε οποιαδήποτε ενέργεια καταγραφής από απόσταση και ανάλυσης των εικόνων που προκύπτουν λόγω της πολυφασματικότητάς της και της προγενέστερης ύπαρξης των αεροφωτογραφιών, παρ’ όλα αυτά έχει κυριαρχήσει η χρήση του όρου για την καταγραφή και την ανάλυση δορυφορικών εικόνων.

Χάρις στην εξέλιξη και ανάπτυξη των δορυφόρων γεννήθηκε η (δορυφορική) τηλεπισκόπηση η οποία είναι στενά συνδεδεμένη με τους (τεχνητούς) δορυφόρους και τις δορυφορικές εικόνες που καταγράφουν και μας παρέχουν.

Στην τηλεπισκόπηση, η συσκευή που χρησιμοποιείται για την απόκτηση δεδομένων, για τη μέτρηση δηλαδή της ακτινοβολίας που φθάνει στο δορυφορικό μέσο, αναφέρεται συνήθως ως ένας αισθητήρας.

Με τον όρο δορυφόρο εννοούμε ένα φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο ή σώμα που κινείται γύρω από ένα άλλο μεγαλύτερο ουράνιο σώμα.

Η έννοια της λέξης «δορυφόρος» εστιάζεται κυρίως στους τεχνητούς δορυφόρους που είναι τεχνητά συστήματα που πετούν γύρω από την γη ή γενικότερα από κάποιο ουράνιο σώμα και έχουν κατασκευαστεί για ποικίλες χρήσεις, οι κυριότερες των οποίων είναι οι τηλεπικοινωνίες και η παρατήρηση μέσω δορυφορικών εικόνων.

Οι τεχνητοί δορυφόροι είναι ένα σύστημα που στην γενική μορφή του αποτελείται από μια πηγή ενέργειας που μπορεί να είναι κάποιου είδους ηλεκτρικού συσσωρευτή (μπαταρίας) ή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος που παράγει ηλεκτρική ενέργεια (από την ηλιακή που συλλέγει) και μίας κεραίας (αντένα) η οποία δέχεται και εκπέμπει πληροφορίες υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικού σήματος. (Περάκης,2015)

Σήμερα, οι δορυφόροι είναι πολύ κοινές πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται στην τηλεανίχνευση. Φέρουν μεγάλη ποικιλία αισθητήρων, συχνά εξειδικευμένες για να παρατηρούν ειδικά τον καιρό, τα τοπία ή τις φυσικές καταστροφές, τη βλάστηση κ.α. Μερικοί είναι ακόμη ικανοί να «βλέπουν» μέσα από τα σύννεφα ή να αποκτούν εικόνες τη νύχτα. (Παρχαρίδης,2015)

3.3.2 Χαρακτηριστικά της τροχιάς των δορυφόρων

Η διαδρομή που ακολουθείται από έναν δορυφόρο γύρω από τη Γη ονομάζεται τροχιά. Η τροχιά σχετίζεται με τις δυνατότητες και τον στόχο για το οποίο τέθηκε σε τροχιά ο δορυφόρος. Η επιλογή της τροχιάς μπορεί να αλλάζει ως προς το ύψος, τον προσανατολισμό και την περιστροφή ως προς τη Γη.

Οι δορυφόροι που έχουν τεθεί σε πολύ υψηλές τροχιές και στοχεύουν πάντοτε την ίδια περιοχή της Γης ονομάζονται γεωστατικοί δορυφόροι και η τροχιά τους γεωστατική. Βρίσκονται σε τροχιά περίπου 36.000 Km και περιστρέφονται με ταχύτητες όμοιες με την περιστροφή της Γης. Έτσι δίνουν την εντύπωση ότι είναι στατικοί σχετικά με την επιφάνεια της Γης. Αυτό επιτρέπει στον δορυφόρο να παρατηρεί και να συλλέγει πληροφορίες πάνω από συγκεκριμένες περιοχές. Γεωστατικοί είναι οι μετεωρολογικοί και τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι. Τα δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης της Γης έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε

να ακολουθούν μια τροχιά η οποία, σε συνδυασμό με την περιστροφή της Γης από τα δυτικά προς τα ανατολικά, επιτρέπει σε αυτά να καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειας σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η τροχιά αυτή ονομάζεται σχεδόν πολική, από την κλίση της τροχιάς που είναι σχεδόν Β-Ν. Το είδος αυτό τροχιάς ονομάζεται και ηλιοσύγχρονη γιατί οι δορυφόροι καλύπτουν κάθε περιοχή της Γης σε μια σταθερή τοπική ώρα. Σε οποιοδήποτε γεωγραφικό πλάτος και μήκος και για την ίδια εποχή, ο Ήλιος θα έχει την ίδια θέση, καθώς καλύπτεται από τον δορυφόρο. Αυτό σημαίνει ότι ο φωτισμός παραμένει σταθερός και διευκολύνει τις συγκρίσεις διαχρονικά για την ίδια εποχή. Επίσης, η καταγραφή της επιφάνειας παρουσιάζει αλλαγές στον τρόπο που η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει στη Γη και φωτίζει την επιφάνεια, ως προς το αζιμούθιο και την ηλιακή γωνία ανύψωσης. Οι αλλαγές αυτές είναι εποχικές και αφορούν μόνο τα οπτικά συστήματα καταγραφής. (Παρχαρίδης,2015)

3.3.3 Βασικά χαρακτηριστικά των οργάνων καταγραφής

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της τηλεπισκόπησης στη χρήση εικόνων, όπου χρησιμοποιούνται φασματικά κανάλια στο ορατό, υπέρυθρο και μικροκυματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, περιγράφονται με τη χωρική (spatial), φασματική (spectral) ραδιομετρική (radiometric) και χρονική (temporal) διακριτική ικανότητα ή ανάλυση.

Η ευδιάκριτη λεπτομέρεια σε μια εικόνα εξαρτάται από τη χωρική διακριτική ικανότητα του οργάνου καταγραφής και αναφέρεται στο μέγεθος του μικρότερου χαρακτηριστικού που μπορεί να ανιχνευθεί. Για ορισμένα όργανα καταγραφής, η απόσταση μεταξύ του στόχου και της διαστημικής εξέδρας είναι καθοριστική για τη λεπτομέρεια της παραγόμενης εικόνας.

Η δεύτερη σημαντική ιδιότητα ενός οπτικού συστήματος εικόνας είναι η φασματική διακριτική ικανότητα. Η φασματική διακριτική ικανότητα σχετίζεται με τον αριθμό των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιεί ο κάθε δορυφόρος και είναι πολύ σημαντική ιδιότητα.

Τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν την πραγματική πληροφορία που περιέχεται σε μία εικόνα. Κατά την αποτύπωση μίας εικόνας, η ευαισθησία της στην ένταση της ανακλώμενης ενέργειας καθορίζει τη ραδιομετρική ικανότητα. Ουσιαστικά η ραδιομετρική

ικανότητα περιγράφει την ικανότητα ενός συστήματος να καταγράφει διαφορές στην ισχύ του σήματος.

Η χρονική διακριτική ικανότητα ενός συστήματος σχετίζεται με τη συχνότητα λήψης εικόνων για την ίδια περιοχή. Η περίοδος επαναληψιμότητας για ένα δορυφορικό σύστημα συνήθως είναι της τάξης κάποιων ημερών ή ωρών όταν πρόκειται για αστερισμό δορυφορικού συστήματος, για να μπορέσει να αποτυπώσει την ίδια γεωγραφική περιοχή με την ίδια γωνία παρατήρησης. (Παρχαρίδης, 2015)

3.4 Μικροκυματικά συστήματα

Υπάρχουν δύο τύποι μικροκυματικών συστημάτων: τα παθητικά και τα ενεργά.

Τα **παθητικά** ραδιόμετρα μικροκυμάτων είναι αισθητήρες που ανιχνεύουν την ελάχιστη φυσική μικροκυματική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα σώματα της γης. Τα **ενεργά** συστήματα, όπως τα εικονοληπτικά Radar, χρησιμοποιούν τη μικροκυματική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που εκπέμπεται από μια κεραία μεταφερόμενη είτε από αεροσκάφος είτε από δορυφόρο, για να ακτινοβολούν την επιφάνεια της γης, ώστε να μετρούν το ποσό της επιστρέφουσας σκεδασμένης ακτινοβολίας. Καλούνται ενεργά συστήματα διότι παρέχουν την δική τους ακτινοβολία και κατά αυτό τον τρόπο λειτουργούν ανεξάρτητα από το ηλιακό φως και τις καιρικές συνθήκες. Αυτό συμβαίνει διότι η ατμοσφαιρική απορρόφηση και σκέδαση είναι ελάχιστες στην ζώνη των μικροκυμάτων.

Κατατάσσονται με όρους που σχετίζονται με τη συχνότητα ν (ή μήκος κύματος λ) που εκπέμπει, όπως συστήματα Radar σε X-band όταν λ=3cm, σε C-band όταν λ=10cm, σε L-band όταν λ=20cm, και σε P-band όταν λ=50cm. Ταξινομούνται επίσης, σε σχέση με το είδος της διεύθυνσης πόλωσης της ακτινοβολίας που εκπέμπουν και λαμβάνουν.

Στην ζώνη των μηκών κύματος από 0,5 έως 3 μm τα όργανα τηλεπισκόπησης ανιχνεύουν το ηλιακό φως που ανακλάται από την επιφάνεια της γης. Το ποσοστό της ανάκλασης είναι συνάρτηση του μήκους κύματος της ακτινοβολίας στην παραπάνω φασματική ζώνη και εξαρτάται ουσιαστικά από τις ιδιότητες της επιφάνειας που παρατηρείται. Μεταξύ 3 έως 5 μm

η ακτινοβολία που ανιχνεύεται κυριαρχείται από τα πολύ θερμά σώματα της επιφάνειας, ενώ στην ζώνη από 10 έως 12 μm η γη δρα ως πομπός της δικής της γεωθερμικής ενέργειας. Η ατμόσφαιρα είναι αδιαφανής για μήκη κύματος μεγαλύτερα από 12 μm μέχρι 0,5 mm. Όμως πέραν αυτού του ορίου των 0,5 mm, η ατμόσφαιρα γίνεται και πάλι διαφανής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί η φασματική αυτή ζώνη. Η μέτρηση της ακτινοβολίας αυτής γίνεται στη ζώνη των μικροκυμάτων ή ραδιοφωνικών κυμάτων, που εκτείνεται από μήκη κύματος 1-1000 mm, και που χρησιμοποιείται από τα εικονοληπτικά Radar. (Μερτίκας,2009)

3.4.1 Εικονοληπτικά Radar

Τα εικονοληπτικά Radar παρέχουν πληροφορίες για τα φυσικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης, κυρίως για την σκληρότητα της επιφάνειας: όπου η σκέδαση αυξάνεται με τραχύτητα, για την περιεκτικότητα σε υγρασία: όπου η σκέδαση αυξάνεται με την υγρασία, και η τοπογραφία: όπου η προβολή γεωμετρίας επηρεάζει το σήμα, καθώς και για τις διηλεκτρικές ιδιότητες της επιφάνειας. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν το πλεονέκτημα της λειτουργίας ανεξάρτητα από τον ηλιακό φωτισμό και κατά κανόνα δεν είναι ευαίσθητοι στις καιρικές συνθήκες και στη νεφοκάλυψη. Επομένως, είναι συστήματα κατάλληλα για την παρακολούθηση δυναμικών φαινομένων με βραχύχρονες εξελίξεις, όπου απαιτούνται επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις ανεξάρτητα από τις συνθήκες “οπτικής ορατότητας”. (Μερτίκας,2009, Παρχαρίδης,2015)

Radar είναι η συντομογραφία της αγγλικής έκφρασης Radio Detection And Ranging, που υποδηλώνει ότι το σύστημα αυτό λειτουργεί στις φασματικές ζώνες των ραδιοφωνικών και των μικροκυμάτων και ανιχνεύει την ανακλώμενη ή ακτινοβολούμενη ενέργεια από το έδαφος.

Ένα σύστημα Radar εκπέμπει παλμούς ηλεκτρομαγνητικής μικροκυματικής ακτινοβολίας μικρής διάρκειας και καταγράφει τις επιστροφές τους από στόχους της επιφάνειας. Παρέχοντας τη δική του ακτινοβολία, το Radar λειτουργεί εντελώς ανεξάρτητα από το ηλιακό φως, και μπορεί επομένως να λειτουργεί κατά τη διάρκεια και της ημέρας αλλά και της νύχτας.

Επιπλέον, η γωνία και η διεύθυνση διάδοσης των μικροκυμάτων μπορούν να ελεγχθούν ώστε να ενισχύονται χαρακτηριστικά στοιχεία στόχων ειδικού ενδιαφέροντος.

Ονομασία ζώνης	**Συχνότητα**	**Ζώνη μήκους κύματος λ**	**Συμβατικές ζώνες Radar**	**typical application**
Ka	26.5 – 40 GHz	0.75 - 1.1 cm	0.86cm	airport surveillance
K	18 – 25.5 GHz	1.1 – 1.67 cm		little used (H_2O absorption)
Ku	12.5 – 18 GHz	1.7 – 2.4 cm		satellite altimetry
X	8 – 12.5 GHz	2.4 – 3.8 cm	3 – 3.2 cm	SAR, marine radar, weather radar
C	4 – 8 GHz	3.8 – 7.5 cm	6 cm	SAR, weather radar
S	2 – 4 GHz	7.5 – 15.0 cm		long-range weather radar
L	1 – 2 GHz	15 – 30 cm	23.5 cm 24 cm 25 cm	SAR, traffic control
P	300 MHz – 1 GHz	30 – 100 cm		experimental SAR

Πίνακας 1: Ονομασίες και μήκη κύματος των Radar

(Πηγή:Παρχαρίδης,2015)

3.4.2 Είδη Radar

Υπάρχουν δύο είδη εικονοληπτικών Radar που εφαρμόζονται στην Τηλεπισκόπηση: τα Radar πραγματικού ανοίγματος κεραίας (Real Aperture Radar, RAR) και τα Radar συνθετικού ανοίγματος κεραίας (Synthetic Aperture Radar, SAR).

Το Radar πραγματικού ανοίγματος κεραίας RAR χρησιμοποιεί κεραία μέγιστου πρακτικού μήκους ώστε να εκπέμψει στενή γωνιακή δέσμη ακτινοβολίας. Αποτελείται από τον πομπό, τον δέκτη, έναν διακόπτη διπλής ενέργειας, μια κεραία που εξυπηρετεί και για εκπομπή αλλά και για λήψη, μια οθόνη (CRT) και τέλος ένα όργανο καταγραφής του σήματος.

Το Radar συνθετικού ανοίγματος αναπτύχθηκε για να ξεπεράσει το μειονέκτημα του περασμένου μήκους της κεραίας του συστήματος RAR. Το σύστημα συνθετικού ανοίγματος χρησιμοποιεί σχετικά μικρή κεραία που εκπέμπει μια μετρίου εύρους δέσμη ακτινοβολίας μικροκυμάτων. Το σύστημα SAR βελτιώνει σημαντικά τη διαχωριστική ικανότητα στο αζιμούθιο, αλλά είναι πιο πολύπλοκο και πιο ακριβό απ’ ότι ένα RAR. Το σύστημα SAR έχει την ικανότητα να συνθέτει τεχνητά μια κεραία ιδιαίτερα μεγάλου μήκους, χρησιμοποιώντας την κίνηση του δορυφόρου και την αρχή του φαινομένου Doppler, με μικρού μήκους κεραία, με αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της χωρικής διακριτικής ικανότητας στην διεύθυνση των αζιμούθιων. Συνήθως η παρατήρηση της επιφάνειας πραγματοποιείται από αεροσκάφος ή δορυφόρο. (Μερτίκας,2009)

3.4.3 Η έννοια του SAR

Το SAR επωφελείται από το Doppler, το ιστορικό των ηχώ ραντάρ που δημιουργούνται από την προς τα εμπρός κίνηση του πετάγματος για να συνθέσει μια μεγάλη κεραία. Ο στόχος είναι ορατός από το ραντάρ από την στιγμή που εισέρχεται στην ακτίνα κεραίας μέχρι την στιγμή που αφήνει την ακτίνα κεραίας. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου, στέλνει πίσω έναν πολύ μεγάλο αριθμό ηχώ (1000-2000 ανά δευτερόλεπτο). Κάθε ηχώ χαρακτηρίζεται από τον χρόνο που απαιτείται για να μεταφερθεί ο παλμός στο στόχο και πίσω στο ραντάρ. Αυτό

επιτρέπει στο να συνθέσουμε τις ηχώ μαζί, δημιουργώντας μια υψηλή αζιμουθιακή ανάλυση παρά μια φυσικά μικρή κεραία.

Οι εικόνες που λαμβάνονται από συναφής αισθητήρες όπως το σύστημα SAR χαρακτηρίζονται από κηλίδες. Αυτό είναι ένας χωρικά τυχαίος πολλαπλασιαστικός θόρυβος λόγω της συνεκτικής υπέρθεσης πολλαπλών πηγών ανάστροφης σκέδασης μέσα σε ένα στοιχείο ανάλυσης SAR. Με άλλα λόγια, το στίγμα είναι μια στατιστική διακύμανση που σχετίζεται με την ανακλαστικότητα του ραντάρ για κάθε κελί στην εικόνα μιας σκηνής.

Δεδομένου ότι το SAR είναι ένα ενεργό σύστημα, η πραγματική ανάλυση του αισθητήρα έχει δύο διαστάσεις, την ανάλυση εύρους και την ανάλυση αζιμούθιου. Η SAR διάσταση της ανάλυσης κελιού στο αζιμούθιο δεν είναι ίση με το αντίστοιχο εύρος κλίσης. Η ανάλυση ενός αισθητήρα SAR δεν πρέπει να συγχέεται με την απόσταση των ψηφίδων που προκύπτει από την δειγματοληψία που γίνεται από τον επεξεργαστή εικόνας SAR.

Ένα σύστημα radar δεν κοιτάζει κατευθείαν προς τα κάτω (ναδίρ) αλλά προς τα κάτω και πλαγίως του τροχιακού επιπέδου, σε αντίθεση με έναν οπτικό δέκτη. Αυτό είναι απαραίτητο έτσι ώστε οι εκπεμπόμενοι παλμοί να σαρώνουν τη γήινη επιφάνεια σε αυξανόμενες αποστάσεις από το radar και συνεπώς να αποδίδουν στην εικόνα τη διάσταση στη διεύθυνση των μετρούμενων αποστάσεων.
Οι αισθητήρες SAR εκπέμπουν και δέχονται κύματα στο μικροκυματικό τμήμα το οποίο αποτελείται από τις ζώνες P, L, S, C, X, K, Q, V και W. Οι ζώνες αυτές συμβολίζονται με γράμματα τα οποία έχουν αποδοθεί τυχαία και αυθαίρετα.
Η συχνότητα (frequency) αποτελεί την πιο σημαντική ιδιότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, καθώς παραμένει σταθερή κατά τη διάδοση της ακτινοβολίας μέσα από υλικά με διαφορετική πυκνότητα, σε αντίθεση με την ταχύτητα και το μήκος κύματος τα οποία αλλάζουν. Επίσης, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την επιφάνεια πρόσπτωσης και συγκεκριμένα στο βάθος διείσδυσης και στη διάχυσή της από μια τραχιά επιφάνεια. Παρ’ όλα αυτά, πολλοί επιστήμονες χρησιμοποιούν το μήκος κύματος για την πιο άμεση περιγραφή των φασματικών καναλιών. (Παρχαρίδης, 2015)

Οι χαρακτηριστικές φασματικές ταυτότητες (υπογραφές) που γίνονται αντιληπτές από τα Radar εξαρτώνται από τις ιδιότητες της πηγής και από τις ιδιότητες του στόχου. Οι ιδιότητες της πηγής ακτινοβολίας Radar περιλαμβάνουν το μήκος κύματος λ, την πόλωση της

ακτινοβολίας και την γωνία βάθους γ. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις εικόνες Radar είναι η διηλεκτική σταθερά, η ταχύτητα και ο συντονισμός.(Μερτίκας, 2009)

Τα αντικείμενα επίσης αναφέρονται συνήθως ως στόχοι ή διασκορπιστές.

Σχετικά με τους στόχους (targets), η εφαρμογή τεχνικών τηλεανίχνευσης είναι συνάρτηση του τι πρέπει να παρατηρείται. Για παράδειγμα, οι παράμετροι της τροχιάς σχετίζονται με τις απαιτήσεις παρακολούθησης. Έτσι, η Γη μπορεί να παρατηρηθεί σε διαφορετικές κλίμακες. (Παρχαρίδης,2015)

3.5 Ενεργά Δορυφορικά Συστήματα (Radar)

Οι ERS-1 και ERS-2 SAR λειτουργούν από την ESA. Οι δύο δορυφόροι λειτουργούν από το 1991 και το 1995 αντίστοιχα. Είναι εξοπλισμένοι με ενεργά συστήματα μικροκυμάτων, γεγονός που τους επιτρέπει να λαμβάνουν δεδομένα ακόμα και κατά τη διάρκεια της ημέρας ή όταν υπάρχουν πυκνά σύννεφα.

Το ENVISAT ASAR ήταν μια διαστημική SAR που λειτουργεί από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA). Ο δορυφόρος Envisat εκτοξεύτηκε το 2002 και επρόκειτο για έναν προηγμένο δορυφόρο πολικής τροχιάς για παρατήρηση της Γης, που παρείχε μετρήσεις της ατμόσφαιρας, των ωκεανών, του εδάφους και των πάγων.

Ο COSMO-SkyMed δορυφόρος είναι ένα από τα πιο καινοτόμα προγράμματα παρατήρησης της Γης και χρηματοδοτείται από την Ιταλική Υπηρεσία Διαστήματος. Περιλαμβάνει έναν σχηματισμό τεσσάρων δορυφόρων εξοπλισμένων με αισθητήρες ραντάρ που μπορούν να λειτουργήσουν σε οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες και με πολύ υψηλή συχνότητα επαναληψιμότητας λήψεων. Οι δορυφόροι εκτοξεύτηκαν από το 2007 έως το 2010.

Ο TERRASAR-X είναι ένας γερμανικός δορυφόρος παρατήρησης της Γης. Το κύριο φορτίο του είναι ένας αισθητήρας ραντάρ που λειτουργεί στο φασματικό κανάλι X κι έχει τεθεί σε λειτουργία από τις 7 Ιανουαρίου 2008. (Παρχαρίδης, 2015)

3.5.1 Το πρόγραμμα Copernicus

Το Copernicus είναι το πιο φιλόδοξο πρόγραμμα παρατήρησης της Γης μέχρι σήμερα. Παρέχει ακριβείς, έγκαιρες και εύκολα προσβάσιμες πληροφορίες για τη βελτίωση της διαχείρισης του περιβάλλοντος, την κατανόηση και τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και τη διασφάλιση της ασφάλειας των πολιτών.

Το Copernicus είναι το νέο όνομα για την Παγκόσμια Παρακολούθηση του Περιβάλλοντος και της Ασφάλειας, πρόγραμμα παλαιότερα γνωστό ως το GMES. Η πρωτοβουλία αυτή, με επικεφαλής την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (EC), γίνεται σε συνεργασία με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA).

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος συντονίζει τη διαχείριση των δεδομένων για πάνω από 30 δορυφόρους. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, που ενεργεί εξ ονόματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι υπεύθυνη για τη συνολική πρωτοβουλία, τον καθορισμό των απαιτήσεων και τη διαχείριση των υπηρεσιών.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (ΕΟΔ) αναπτύσσει μια νέα οικογένεια δορυφόρων που ονομάζεται Sentinel, ειδικά για τις επιχειρησιακές ανάγκες του προγράμματος Copernicus. Οι δορυφόροι αυτοί θα παρέχουν ένα μοναδικό σύνολο των παρατηρήσεων, αρχής γενομένης με τις εικόνες ραντάρ παντός καιρού, μέρα και νύχτα από τον Sentinel-1A, που τέθηκε σε τροχιά στις 3 Απριλίου 2014. Ο Sentinel-2 παρέχει υψηλής ανάλυσης οπτικές εικόνες και ο Sentinel-3 στοιχεία για τις υπηρεσίες που σχετίζονται με τη θάλασσα και τη γη. Ο Sentinel-4 και ο Sentinel-5 θα παρέχουν στοιχεία για την παρακολούθηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας από γεωστατική και πολική τροχιά, αντίστοιχα. Ο Sentinel-6 θα φέρει όργανα για τη μέτρηση του ύψους της επιφάνειας της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα, κυρίως για ζητήματα επιχειρησιακής ωκεανογραφίας και για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής. (Παρχαρίδης,2015)

3.5.2 Οι δορυφόροι Sentinel

Ο δορυφόρος Sentinel-1 μεταφέρει ραντάρ πολικής τροχιάς το οποίο δεν επηρεάζεται από καιρικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες και λειτουργεί ημέρα και νύκτα. Είναι κατασκευασμένος για έρευνα τόσο στις χερσαίες περιοχές όσο και στους ωκεανούς. Ο δορυφόρος Sentinel-2

εκτός της σημαντικής ιδιότητας που έχει από κατασκευής για την διαχείριση εκτάκτων αναγκών, περιλαμβάνει όργανα πολυφασματικής απεικόνισης για την παρακολούθηση και διαχείριση του περιβάλλοντος γενικά και ειδικότερα για την μελέτη των υδάτων και υδρογραφικών δικτύων, της κάλυψης των εδαφών και της βλάστηση σε παράκτιες περιοχές.
Ο δορυφόρος Sentinel-3 είναι εφοδιασμένος με διάφορα όργανα και έχει την δυνατότητα να μετρά τις επιφανειακές θερμοκρασίες της γης, τόσο σε ξηρά όσο και θάλασσα, τις υψομετρικές διαφορές της θαλάσσιας επιφάνειας και τις χρωματικές αποχρώσεις των ωκεανών και της χερσαίας γης με καλή ακρίβεια.
Οι δορυφόροι Sentinel-4, Sentinel-5 και ο δορυφόρος Sentinel-6 Precursor είναι σχεδιασμένοι για την ανάλυση ατμοσφαιρικών εφαρμογών, ενώ ο δορυφόρος Sentinel-6 είναι εφοδιασμένος με ραντάρ που καταγράφει με μεγάλη ακρίβεια και χρονική συνέχεια τις υψομετρικές διαφορές της θάλασσας στους ωκεανούς και χρησιμοποιείται στην μελέτη των κλιματικών αλλαγών. (ESA)

Sentinel 1

Ο πρώτος στη σειρά, ο Sentinel-1, φέρει ένα προηγμένο όργανο ραντάρ για τη λήψη εικόνων της επιφάνειας της Γης ημέρα και νύχτα και ανεξάρτητα του καιρού. Το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) στη μικροκυματική ζώνη C- βασίζεται στην κληρονομιά και των συστημάτων SAR των δορυφόρων ERS-1, ERS-2, Envisat και Radarsat του ΕΟΔ και του Καναδά.

Πρόκειται για αστερισμό δύο δορυφόρων Sentinel 1A και 1B σε τροχιά που έχουν απόσταση 180° και καλύπτουν ολόκληρη τη Γη κάθε έξι ημέρες. Η πρώτη εκτόξευση του Sentinel-1A πραγματοποιήθηκε στις 03-04-2014 και του Sentinel-1B στις 25-04-2016. Η τροχιά τους είναι ηλιοσύγχρονη σε απόσταση 693 χλμ από την Γη με κλίση 98.18 μοιρών. Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται σε μια σειρά επίγειων σταθμών σε όλο τον κόσμο με σκοπό την ταχεία διάδοση των δεδομένων. Ο Sentinel-1 φέρει επίσης ένα λέιζερ για να μεταδώσει δεδομένα στον γεωστατικό ευρωπαϊκό σύστημα αναμετάδοσης δεδομένων για συνεχή παροχή δεδομένων.
Ο Sentinel-1 είναι το αποτέλεσμα της στενής συνεργασίας μεταξύ του ΕΟΔ, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, της διαστημικής βιομηχανίας, των παρόχων σχετικών υπηρεσιών και των χρηστών δεδομένων. Σχεδιασμένος και κατασκευασμένος από μια κοινοπραξία περίπου 60 εταιρειών

με επικεφαλής την Thales Alenia Space και την Airbus Defence and Space, αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα της τεχνολογικής υπεροχής της Ευρώπης.

Η αποστολή θα προσφέρει υπηρεσίες σε πολλές εφαρμογές. Για παράδειγμα, οι υπηρεσίες που σχετίζονται με την παρακολούθηση της Αρκτικής και την έκταση του θαλάσσιου πάγου, τη χαρτογράφηση του θαλάσσιου πάγου, την επιτήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης των πετρελαιοκηλίδων και τον εντοπισμό του πλοίου για την ασφάλεια στη θάλασσα, την παρακολούθηση της επιφάνειας του εδάφους για παραμορφώσεις που οφείλονται είτε σε ανθρωπογενή αίτια είτε σε φυσικές καταστροφές, τη χαρτογράφηση των δασών και τους κινδύνους αποψίλωσης, το νερό και τη διαχείρισή του και τη χαρτογράφηση για να υποστηρίξει την ανθρωπιστική βοήθεια και καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Εικόνα 3: Sentinel-1

(Πηγή: www.esa.int)

Ο σχεδιασμός του Sentinel-1, ο οποίος εστιάζεται στην αξιοπιστία, λειτουργική σταθερότητα, παγκόσμια κάλυψη και γρήγορη μετάδοση των δεδομένων, αναμένεται να βοηθήσει στην ανάπτυξη νέων εφαρμογών και να ανταποκριθεί στις εξελισσόμενες ανάγκες του προγράμματος Copernicus. Ο Sentinel-1A εκτοξεύτηκε στις 3 Απριλίου 2014 σε έναν πύραυλο Soyuz από τον διαστημικό σταθμό της Ευρώπης στη Γαλλική Γουιάνα. Το όργανο Ραντάρ του Sentinel-1 μπορεί να λειτουργήσει με τέσσερις τρόπους: Interferometric Wide Swath (IW), Extra Wide Swath (EW), Wave (WV) and Stripmap (SM). Αυτοί οι τρόποι μπορούν να λειτουργούν σε διάφορα καθεστώτα πόλωσης. Η λειτουργία Wave διαθέτει μονή πόλωση (VV ή HH). Για όλους τους άλλους τρόπους μεταφοράς, το διπλό σύστημα πόλωσης είναι διαθέσιμο (VV + VH ή HH + HV), καθώς και μονή πόλωση (HH ή VV). (Παρχαρίδης,2015)

3.5.3 Τύποι προϊόντων

Τα προϊόντα δεδομένων διατίθενται συστηματικά και δωρεάν σε όλους τους χρήστες δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του ευρύτερου κοινού, των επιστημονικών και εμπορικών χρηστών.

Τα δεδομένα ραντάρ θα παραδοθούν εντός μίας ώρας από την παραλαβή για άμεση απόκριση σε πραγματικό χρόνο, εντός τριών ωρών για περιοχές προτεραιότητας κοντά σε πραγματικό χρόνο και εντός 24 ωρών για συστηματικά αρχειοθετημένα δεδομένα.

Όλα τα προϊόντα δεδομένων διανέμονται στην τυποποιημένη μορφή αρχειοθέτησης για την ευρωπαϊκή μορφή.

Κάθε λειτουργία μπορεί δυνητικά να παράγει προϊόντα σε SAR Level-0, Level-1 SLC, Level-1 GRD, και Level-2 OCN.

Τα προϊόντα δεδομένων είναι διαθέσιμα σε απλή πόλωση (VV ή HH) για λειτουργία Wave και διπλή πόλωση (VV + VH ή HH + HV) και μονή πόλωση (HH ή VV) για λειτουργίες SM, IW και EW. (Guide manual of SNAP)

Level-0

Τα SAR Level-0 προϊόντα αποτελούνται από την αλληλουχία του ευέλικτου δυναμικού προσαρμοστικού εμποδίου κβαντισμού (FDBAQ). Είναι συμπιεσμένα, μη εστιασμένα, ανεπεξέργαστα δεδομένα SAR. Προκειμένου τα δεδομένα να είναι χρησιμοποιήσιμα, θα πρέπει να αποσυμπιέζονται και να υποβάλλονται σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας λογισμικό εστίασης. Τα προϊόντα Level-0 είναι η βάση από την οποία παράγονται όλα τα άλλα προϊόντα υψηλού επιπέδου, με ένα τυπικό μέγεθος 1GB (σε λειτουργία IW). Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν θόρυβο, εσωτερική βαθμολόγηση, πακέτα πηγής ηχώ καθώς και πληροφορίες σχετικά με την τροχιά και την στάση. (Παρχαρίδης, 2015)

Level-1

Τα Level-1 δεδομένα είναι τα γενικά διαθέσιμα προϊόντα που προορίζονται για τους περισσότερους χρήστες δεδομένων. Τα Level-1 δεδομένα παράγονται ως Single Look Complex (SLC) και ως Ground Range Detected (GRD). (Guide manual of SNAP)

Single Look Complex: Εστιασμένα δεδομένα, με γεωαναφορά χρησιμοποιώντας στοιχεία της τροχιάς του δορυφόρου, και με γεωμετρία σύμφωνα με την κλίση εμβέλειας του δορυφόρου (slant range). Τα προϊόντα αυτά έχουν ένα τυπικό μέγεθος 8GB (σε λειτουργία IW διπλής πόλωσης) και 4 GB (σε IW λειτουργία μονής πόλωσης). Είναι το προϊόν που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή των μεθόδων της συμβολομετρίας. (Παρχαρίδης,2015)

Ground Range Detected: Τα προϊόντα ανίχνευσης εδάφους (GRD) αποτελούνται από συγκεντρωμένα δεδομένα SAR τα οποία έχουν ανιχνευθεί, έχουν εξεταστεί πολλαπλά και προβάλλονται σε εδαφικό εύρος χρησιμοποιώντας ένα ελλειψοειδές μοντέλο ελλειψοειδούς γης.

Η ελλειψοειδής προβολή των GRD προϊόντων διορθώνεται χρησιμοποιώντας το ύψος του εδάφους που καθορίζεται στο γενικό σχολιασμό του προϊόντος. Το χρησιμοποιούμενο ύψος εδάφους ποικίλλει σε αζιμούθιο αλλά είναι σταθερό στην εμβέλεια.

Οι συντεταγμένες εδάφους είναι οι συντεταγμένες κεκλιμένης περιοχής που προβάλλονται στο ελλειψοειδές της Γης. Οι τιμές των εικονοστοιχείων αντιπροσωπεύουν το ανιχνευμένο μέγεθος. Οι πληροφορίες φάσης χάνονται. Το προκύπτον προϊόν έχει εικονοστοιχεία περίπου τετραγωνικής ανάλυσης και απόσταση τετραγωνικών εικονοστοιχείων με μειωμένη κηλίδα με κόστος μειωμένου γεωμετρικού διαχωρισμού.

Εκτός από τις διορθώσεις που εφαρμόζονται στα Level-1 SLC προϊόντα, τα GRD προϊόντα έχουν απομακρύνει τον θερμικό θόρυβο για τη βελτίωση της ποιότητας της ανιχνευμένης εικόνας.

Για τα IW και τα EW GRD προϊόντα, η ποικιλομορφία πραγματοποιείται σε κάθε ριπή ξεχωριστά. Όλες οι ριπές σε όλα τα υπο-στρώματα συγχωνεύονται έπειτα για να σχηματίσουν ένα ενιαίο, συνεχόμενο, γειωμένο εύρος, ανιχνευμένης εικόνας ανά κανάλι πόλωσης.

Τα GRD προϊόντα μπορεί να είναι σε μία από τις τρεις αναλύσεις: Full Resolution, High Resolution, Medium Resolution.

Η ανάλυση εξαρτάται από την ποσότητα των πολλαπλών εμφανίσεων. Τα Level-1 προϊόντα έρχονται στο MR και HR για IW και EW τρόπους, MR για WV τρόπο MR, HR και FR για SM τρόπο.

Level-2

Το επίπεδο αυτό αποτελείται από γεωφυσικά προϊόντα που προέρχονται από το Level-1. Τα προϊόντα Level-2 Ocean (OCN) για εφαρμογές ανέμου, κυματισμού και ρευμάτων, μπορεί να περιέχουν τα ακόλουθα γεωγραφικά συστατικά που προέρχονται από τα δεδομένα SAR: για τα φάσματα Ocean Swell (OSW) που παρέχουν συνοχή με ERS και ASAR WV, καθώς και το Ocean Wind Fields (OWI) και το Surface Radial Velocities (RVL).

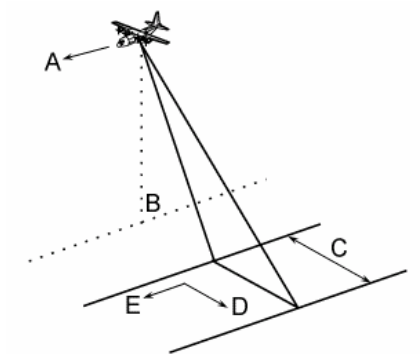
Το OSW είναι ένα δισδιάστατο φάσμα κυματισμού της επιφανείας του ωκεανού και περιλαμβάνει επίσης μια εκτίμηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου ανά φάσμα. Το OSW δημιουργείται μόνο από τις λειτουργίες Stripmap και Wave. Για τη λειτουργία Stripmap, υπάρχουν πολλά φάσματα που προέρχονται από εσωτερικά δημιουργούμενες Level-1 SLC εικόνες. Για τη λειτουργία Wave, υπάρχει ένα φάσμα ανά βινιέτα.

Το OWI είναι μια εκτίμηση της επιφανειακής ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου επιφάνειας σε απόσταση 10 μέτρων πάνω από την επιφάνεια που προέρχεται από εσωτερικά δημιουργούμενες εικόνες Level-1 GRD με λειτουργίες SM, IW ή EW.

Το RVL είναι μια διαφορά πλέγματος γείωσης στην περιοχή μεταξύ του μετρούμενου δικτύου Doppler Level-2 και του υπολογισμένου γεωμετρικού Doppler Level-1. (Guide manual of SNAP)

3.6 Γεωμετρία εικονοληψίας συστημάτων SAR

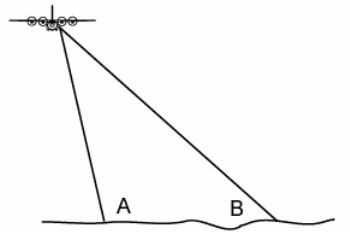
Η γεωμετρία της εικονοληψίας ενός συστήματος SAR διαφέρει σημαντικά από την αντίστοιχη των σαρωτών των οπτικών συστημάτων που συλλέγουν την ανακλώμενη ακτινοβολία κυρίως από το ναδίρ της τροχιάς. Η μικροκυματική δέσμη μεταδίδεται υπό γωνία και προς τα δεξιά της δορυφορικής πλατφόρμας, είτε αυτή εκτελεί ανερχόμενη τροχιά είτε κατερχόμενη, σαρώνοντας μία λωρίδα συγκεκριμένου πλάτους (C) η οποία βρίσκεται εκτός σημείου ναδίρ (B). Η διεύθυνση της απόστασης (D) είναι κάθετη στη διεύθυνση τροχιάς (A) της πλατφόρμας, ενώ η διεύθυνση του αζιμούθιου (E) είναι παράλληλη σε αυτήν. Η γεωμετρία της πλάγιας εικονοληψίας (Εικόνα 4) είναι χαρακτηριστική για όλα τα συστήματα SAR.



Εικόνα 4: Η γεωμετρία της πλάγιας εικονοληψίας

(*Πηγή: www.earth.esa.int*)

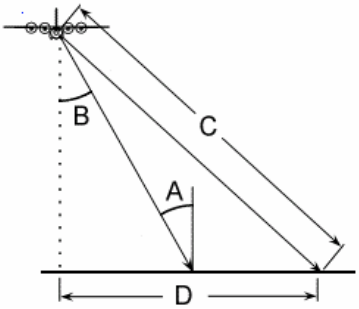
Το τμήμα της εικόνας που βρίσκεται κοντά στο ναδίρ ονομάζεται «εγγύς περιοχή» (near range – A) ενώ το μακρύτερο τμήμα ονομάζεται «άπω περιοχή» (far range – B) (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Εγγύς και άπω περιοχή

(*Πηγή:www.nrcan.gc.ca)*

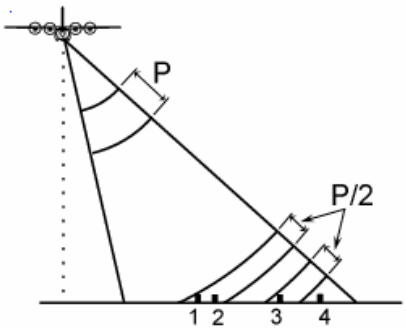
Όπως βλέπουμε στο σχήμα της εικόνας 6, η γωνία πρόσπτωσης (incidence angle – A) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της μικροκυματικής δέσμης και του εδάφους και η οποία αυξάνεται από την εγγύς περιοχή προς την άπω περιοχή, ενώ η γωνία παρατήρησης (look angle – B) είναι η γωνία με την οποία βλέπει το σύστημα SAR τη γήινη επιφάνεια. Η κεκλιμένη απόσταση (C) κατά την εγκάρσια διάσταση σε σχέση με την τροχιά είναι η απόσταση της πλατφόρμας από τον στόχο στη γήινη επιφάνεια. Η εδαφική απόσταση (ground range distance – D) είναι η πραγματική οριζόντια απόσταση κατά μήκος του εδάφους μεταξύ του ίχνους του συστήματος στο ναδίρ και του στόχου και επίσης κυμαίνεται ανάλογα με τη θέση του αντικειμένου μέσα στην περιοχή σάρωσης.



Εικόνα 6: Γωνία πρόσπτωσης και γωνία παρατήρησης

(Πηγή: www.nrcan.gc.ca)

Διαχωριστική ικανότητα ή χωρική ανάλυση ενός συστήματος Radar είναι η ελάχιστη απόσταση δύο στόχων ίσης ανακλαστικότητας που μπορούν να διακριθούν σε μια εικόνα και είναι συνάρτηση συγκεκριμένων ιδιοτήτων της μικροκυματικής ακτινοβολίας και της γεωμετρίας εικονοληψίας. Η χωρική ανάλυση εξαρτάται από το μήκος του παλμού (P) στη διεύθυνση της κεκλιμένης απόστασης, που είναι κάθετη στη διεύθυνση τροχιάς, και από το πλάτος σάρωσης της επιφάνειας στη διεύθυνση του αζιμούθιου, που είναι παράλληλη της τροχιάς. Ως εκ τούτου καθορίζονται δύο διαχωριστικές ικανότητες: της απόστασης (range or across-track resolution) και του αζιμούθιου (azimuth or along-track resolution) (Εικόνα 7).



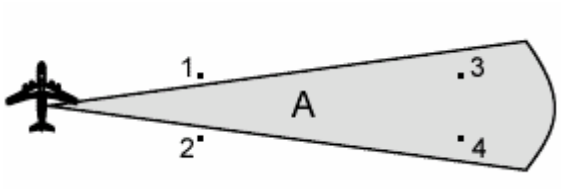
Εικόνα 7: Χωρική ανάλυση

(Πηγή: www.nrcan.gc.ca)

Η διάκριση δύο στόχων κατά την εγκάρσια διάσταση (range) είναι δυνατή όταν τα ανακλώμενα σήματά τους φθάνουν στον δορυφόρο σε διαφορετικούς χρόνους. Για να επιτευχθεί αυτή η διαφοροποίηση θα πρέπει τα δύο αντικείμενα να έχουν τέτοια απόσταση ώστε να μην περικλείονται από τη ζώνη του μισού μήκους του παλμού. Με τη μείωση του μήκους του παλμού είναι δυνατή η επίτευξη λεπτομερέστερης ανάλυσης. Η χωρική ανάλυση

στο αζιμούθιο καθορίζεται από το γωνιακό πλάτος της μικροκυματικής δέσμης και την κεκλιμένη απόσταση (slant range distance). Καθώς η δέσμη μεταδίδεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον δέκτη, η ανάλυση μεγαλώνει και γίνεται αδρότερη (coarser resolution). Ως εκ τούτου, οι στόχοι 1 και 2 στην εγγύς περιοχή θα είναι διακριτοί σε αντίθεση με τους στόχους 3 και 4 στην άπω περιοχή όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.

Το πλάτος της μικροκυματικής δέσμης είναι αντιστρόφως ανάλογο με το μήκος της κεραίας (άνοιγμα κεραίας – aperture), δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η κεραία, το πλάτος της δέσμης θα είναι στενότερο και η ανάλυση στο αζιμούθιο θα είναι λεπτομερέστερη (finer resolution). Το μήκος της κεραίας υπόκειται σε τεχνικούς περιορισμούς και κυμαίνεται από 1-2m σε αερομεταφερόμενες πλατφόρμες και από 10-15m σε δορυφόρους.

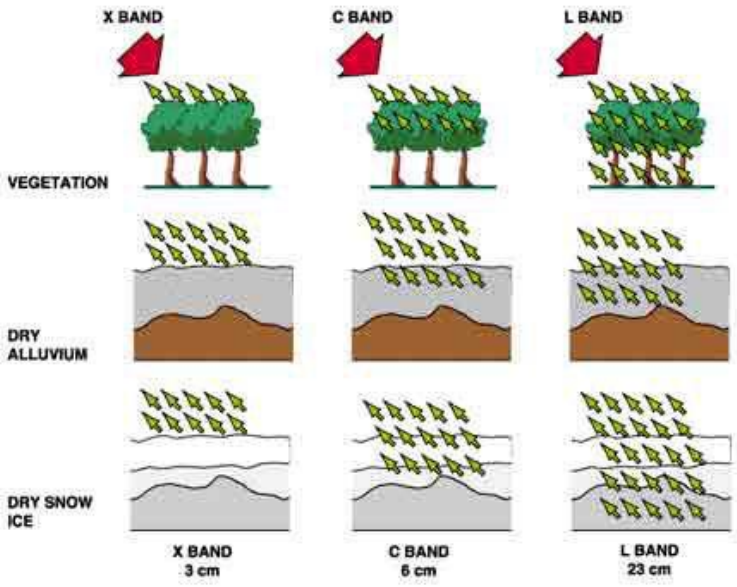


Εικόνα 8: Διάκριση δύο στόχων

(Πηγή: www.nrcan.gc.ca)

3.6.1 Η αλληλεπίδραση σήματος Radar με τη γήινη επιφάνεια

Μια απεικόνιση Radar, αποτελεί μια εικόνα στην οποία η ισχύς του σήματος που επανασκεδάζεται (backscatter) από ένα αντικείμενο, καθορίζει το ψηφιακό αριθμό (DN) για κάθε κυψελίδα. Η ισχύς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι οι παράμετροι παρατήρησης (όπως μήκος κύματος, συχνότητα, πόλωση, προσπίπτουσα γωνία του εκπεμπόμενου κύματος) και οι επιφανειακές παράμετροι (όπως ανάγλυφο-τραχύτητα, γεωμετρικό σχήμα και διηλεκτρικές ιδιότητες των αντικειμένων). Επιπλέον, ανάλογα με το μήκος κύματος η ακτινοβολία διεισδύει στο επιφανειακό υλικό σε διάφορα βάθη. Παρακάτω απεικονίζεται η διαφορετική διείσδυση σε βάθος, των ζωνών X, C και L, η οποία αυξάνει ανάλογα με το μήκος κύματος και την απουσία υγρασίας.



Εικόνα 9: Αλληλεπίδραση σήματος Radar με τη γήινη επιφάνεια

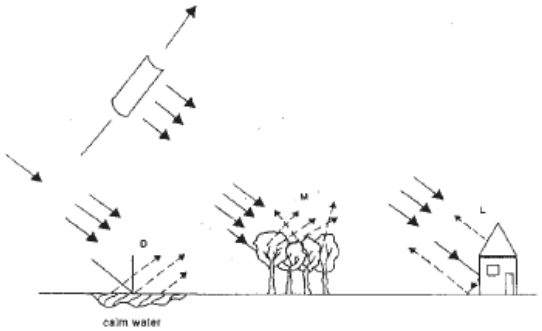
(Πηγή: earth.esa.int)

Η διηλεκτρική σταθερά περιγράφει την ικανότητα των υλικών να απορροφούν, ανακλούν και να μεταφέρουν τη μικροκυματική ενέργεια και αυξάνει με την παρουσία της υγρασίας στα υλικά, αλλάζοντας σημαντικά τις ιδιότητες ενός αντικειμένου για τον τρόπο που θα εμφανίζεται στην εικόνα radar. Η επανασκέδαση και, επομένως, η φωτεινότητα θα είναι έντονη όταν υπάρχει αυξημένο ποσοστό υγρασίας. Σημαντικό στοιχείο αποτελεί και ο τρόπος επανασκέδασης του σήματος Radar από τα διάφορα χαρακτηριστικά ενός δάσους. Οι διάφορες φασματικές ζώνες στο μικροκυματικό είναι ευαίσθητες σε διαφορετικά τμήματα ενός δάσους. Οι μεγαλύτερες σε συχνότητα φασματικές ζώνες Radar (ξεκινώντας από την X) έχουν εξάρτηση του ανακλώμενου σήματός τους από τη γεωμετρία και τον προσανατολισμό των φύλλων. Η φασματική ζώνη C είναι ευαίσθητη στα μικρά κλαδιά και τα φύλλα των δένδρων, ενώ οι L και P εξαρτώνται από τα κλαδιά, τους κορμούς και το έδαφος.

Συμπερασματικά λοιπόν θα λέγαμε ότι τα διάφορα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας ανακλούν το σήμα του Radar σε διαφορετικό βαθμό, τον οποίο ονομάζουμε συντελεστή επανασκέδασης (σ0). Το ποσό της ανάκλασης καθορίζει και την απόχρωση, στην κλίμακα του γκρι, σε μια εικόνα SAR.

Μια λεία επιφάνεια ενός υλικού με υψηλή διηλεκτρική σταθερά συμπεριφέρεται ως καθρέφτης και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η μικροκυματική ακτινοβολία να ανακλάται εξολοκλήρου προς διαφορετική κατεύθυνση από αυτήν του δορυφόρου. Τα υλικά αυτά είναι

γνωστά ως κατοπτρικοί ανακλαστήρες και εμφανίζονται με σκούρες αποχρώσεις του γκρι στην εικόνα, αφού το σ0 είναι πολύ χαμηλό. Η ήρεμη επιφάνεια μιας υδάτινης μάζας θα μπορούσε να αποτελέσει έναν κατοπτρικό ανακλαστήρα, όπως επίσης και μια λεία, μεταλλική επιφάνεια. Αντίθετα, μια τραχιά επιφάνεια θα αποτυπώνεται με μέσες αποχρώσεις του γκρι λόγω της επιστροφής μέρους της ακτινοβολίας, ενώ τα κτίρια και γενικότερα τα αντικείμενα που σχηματίζουν κάθετη επιφάνεια στο προσπίπτων σήμα θα εμφανίζονται με ανοιχτές αποχρώσεις του γκρι. Οι διαφορετικές περιπτώσεις επανασκέδασης που αναφέρθηκαν απεικονίζονται και στην εικόνα 10.



Εικόνα 10: Παραδείγματα επανασκέδασης

(Πηγή: http://www.esa.int)

Το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας παίζει σημαντικό ρόλο όταν αυτό έχει διαστάσεις που μπορούν να συγκριθούν με το προσπίπτον μήκος κύματος. Ο τρόπος που αποτυπώνεται η τραχύτητα του εδάφους σε μια εικόνα, ως ανάγλυφη ή λεία, εξαρτάται από το μέγεθος των αλλαγών στην επιφάνειά του, το μήκος του κύματος και την προσπίπτουσα γωνία. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία πρόσπτωσης και το μήκος κύματος σε σχέση με το μέγεθος των επιφανειακών αλλαγών, τόσο περισσότερο λεία εμφανίζεται η επιφάνεια του αντικειμένου. (Παρχαρίδης,2015)

3.6.2 Ιδιότητες εικόνων Radar

Στη βασική λειτουργία του Radar περιλαμβάνεται η εκπομπή ενός ελάχιστου χρόνου (microsecond) υψηλής ενέργειας σήματος και η αποτύπωση της επανασκέδασης από τη γήινη επιφάνεια του σήματος αυτού. Η πληροφόρηση η οποία καταγράφεται έχει άμεση σχέση, δηλαδή εμπεριέχει στην αποτύπωσή της, με τα ακόλουθα:

• τη σχετική ισχύ του σήματος.

• τον χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ του εκπεμπόμενου και εισερχόμενου σήματος.

• τη διεύθυνση από την οποία προέρχεται το ανακλώμενο σήμα.

Ένα μικρής ισχύος εισερχόμενο σήμα εμφανίζεται στην εικόνα Radar ως σκούρο ή μαύρο. Στα ενεργά συστήματα Radar το ίδιο όργανο χρησιμοποιείται για την εκπομπή και για τη λήψη της μικροκυματικής ακτινοβολίας, ενώ η αποτύπωση των ανακλώμενων σημάτων γίνεται σε ψηφιακή μορφή. Τα ψηφιακά δεδομένα υφίστανται επεξεργασία έτσι ώστε να δημιουργηθεί το τελικό προϊόν που είναι μια δισδιάστατη συλλογή από ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων. Η υφή μιας εικόνας SAR διακρίνεται σε τρία συστατικά:

• Η μικροϋφή ή θόρυβος (speckle), που εμφανίζεται σαν τυχαίοι κόκκοι ίδιου μεγέθους ή ελαφρώς μεγαλύτεροι από την κυψελίδα διακριτικής ικανότητας. Μειώνει την ικανότητα ανάγνωσης της εικόνας και η επίδρασή της μπορεί να ελαττωθεί με τεχνικές φιλτραρίσματος (speckle filtering methods).

• Η μεσοϋφή, που εκφράζει τη διαφοροποίηση της έντασης του ανακλώμενου σήματος η οποία οφείλεται στη φύση του υλικού και στη γεωμετρία της επιφάνειάς του. Για παράδειγμα, ανοιχτές αποχρώσεις του γκρι μπορεί να οφείλονται στο ανακλώμενο σήμα φύλλων που έχουν θέση προς το Radar και σκοτεινές αποχρώσεις του γκρι να οφείλονται σε φύλλα που δεν βλέπουν προς το Radar. Η υφή αυτή είναι πολλές φορές μεγαλύτερη από τη κυψελίδα διακριτικής ικανότητας και είναι πολύ σημαντική για την ερμηνεία της εικόνας.

• Η μακροϋφή αφορά τις διαφοροποιήσεις της φωτεινότητας του Radar και οφείλεται σε αντικείμενα της γήινης επιφάνειας, όπως δρόμοι, γραμμώσεις που έχουν σχέση με τη δομή των πετρωμάτων, όρια μεταξύ χρήσεων γης κ.λπ. Η υφή αυτή είναι επίσης πολύ σημαντική στην ερμηνεία της εικόνας, ενώ με τη χρήση ειδικών φίλτρων είναι δυνατόν να διευκολυνθεί η ανίχνευσή της.

Μια εικόνα λοιπόν αποτελείται από αυτές τις τρεις συνιστώσες και επιπλέον από το ραδιομετρικό τμήμα το οποίο χαρακτηρίζεται από τη μέση ανάκλαση μιας ομοιογενούς επιφάνειας.(Παρχαρίδης,2015)

3.6.3 Εφαρμογές των εικόνων SAR

Α. Ανίχνευση πυρκαγιών

Β. Πλημμύρες

Γ. Μελέτη πάγων

Δ. Ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων

Ε. Μελέτη παράκτιων περιοχών

ΣΤ. Ωκεανογραφία

Οι εφαρμογές στην ωκεανογραφία αφορούν:

• τη δυναμική και ανάπτυξη συστημάτων κυματισμού σε ανοικτούς ωκεανούς και στα παράκτια ύδατα, σε κλειστές ή σχεδόν κλειστές θαλάσσιες λεκάνες, όπως είναι η Μεσόγειος θάλασσα.

• την κλιματολογία των ωκεάνιων συστημάτων κυματισμού.

• τη σχέση ανέμων και συστημάτων κυματισμού.

Επίσης, αυτά δίνουν στοιχεία που αφορούν την τοπογραφία (επιφανειακή και υποθαλάσσια), τα θερμικά χαρακτηριστικά των υδάτινων μαζών και της ρύπανσής τους, κ.ά..

Ζ. Μετεωρολογία

Η. Δασολογία

Θ. Υδρολογία

Ι. Γεωλογία

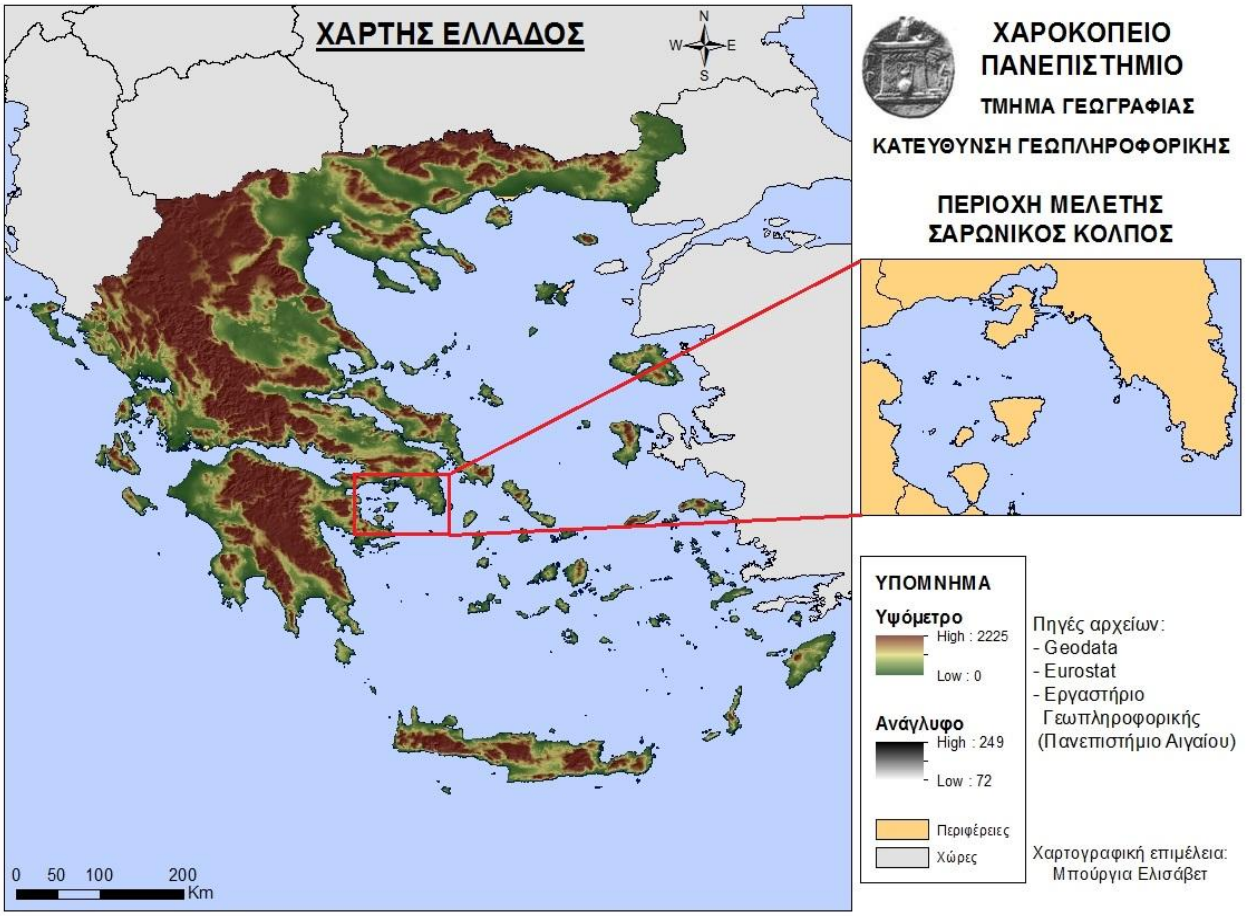
Κ. Χαρτογράφηση χρήσης γης και αναγνώριση καλλιεργειών

(Παρχαρίδης,2015)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Περιγραφή Περιοχής μελέτης

Ο Σαρωνικός είναι ελληνικός θαλάσσιος κόλπος, ο πιο γνωστός από την αρχαιότητα ακόμα, στις ακτές του οποίου αναπτύχθηκαν ιστορικές πόλεις, όπως η Αθήνα και ο Πειραιάς, καθώς και αρχαία ιερά, όπως το Σούνιο, η Επίδαυρος κ.ά. Ο κόλπος είναι κλειστός και οριοθετείται από τη νοητή γραμμή Πόρου-Σουνίου. Στα νότια επικοινωνεί με το ανοιχτό Αιγαίο Πέλαγος. Το μέγιστο βάθος του κόλπου είναι τα 416 μέτρα και παρατηρείται δυτικά του ηφαιστείου των Μεθάνων. Το όνομά του, σύμφωνα με τον αρχαίο περιηγητή και γεωγράφο Παυσανία, οφείλεται στον αρχαίο βασιλιά της Τροιζήνας τον Σάρωνα.



Εικόνα 11: Χάρτης που απεικονίζει την περιοχή μελέτης

Ο Σαρωνικός κόλπος, είναι ο σημαντικότερος από ναυτιλιακή κίνηση κόλπος της Ελλάδας στις ακτές του οποίου δημιουργήθηκαν οι σημαντικότερες βιομηχανικές, λιμενικές, ναυτικές και ναυπηγοεπισκευαστικές εγκαταστάσεις της χώρας. Ο Σαρωνικός κόλπος έχει ιδιαίτερη ναυτιλιακή σημασία τόσο για τις θαλάσσιες συγκοινωνίες όσο και για το γεγονός ότι συνδέει μέσω της Διώρυγας της Κορίνθου το Αιγαίο πέλαγος με το Ιόνιο.

Ακόμη, αποτελεί εγκόλπωση του Αιγαίου που ορίζεται βόρεια από τις ακτές του νομού Αττικής, βορειοδυτικά και δυτικά από τις ακτές της Μεγαρίδας, του νομού Κορινθίας και νοτιοδυτικά από τις ακτές του νομού Αργολίδος. Οι άκρες του οριοθετούνται από τη νοητή γραμμή των ακρωτηρίων Σουνίου και Σκύλλαιο της Τροιζήνας, η οποία έχει μήκος περίπου 27 ναυτικά μίλια και η είσδυση του από τη νησίδα Βελβίνη μέχρι την Ελευσίνα έχει 37 μίλια μάκρος. Στα βορειοδυτικά, ο Σαρωνικός επικοινωνεί μέσω της διώρυγας της Κορίνθου, η οποία ολοκληρώθηκε το 1893, με τον Κορινθιακό κόλπο.

Μέσα στο Σαρωνικό κόλπο βρίσκονται τα νησιά Πόρος, Αίγινα, Σαλαμίνα, Αγκίστρι και άλλα μικρότερα νησιά και βραχονησίδες, καθώς και η χερσόνησος των Μεθάνων, το λιμάνι του Πειραιά και ο κόλπος της Ελευσίνας. Τα νησιά κατοικούνται από την προϊστορική εποχή και έχουν μακρά ιστορία. Η ανάπτυξή τους συνδέθηκε κυρίως με την ναυτιλία και το εμπόριο. Λόγω της κοντινής τους απόστασης από την Αττική αποτελούν δημοφιλή προορισμό και είναι πολύ οργανωμένα τουριστικά.

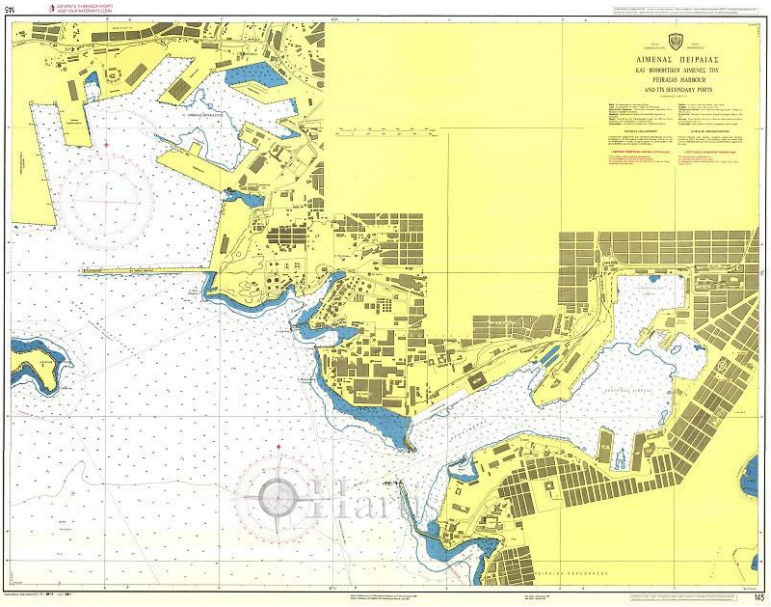
Ο Σαρωνικός επίσης, χωρίζεται σε δύο λεκάνες, μια δυτική και μια ανατολική. Η πρώτη οριοθετείται από τη γραμμή Μεθάνων-Αίγινας και Αίγινας-Σαλαμίνας. Η ανατολική από την άλλη χωρίζεται σε εσωτερική στα βόρεια και εξωτερική στα νότια από τη γραμμή Αίγινας - Φλεβών. Στα βόρεια βρίσκεται ο κόλπος της Ελευσίνας, ο οποίος επικοινωνεί στα νότια με τον υπόλοιπο κόλπο με το δίαυλο του Κερατσινίου και με έναν άλλο δίαυλο στα δυτικά.

Οι ακτές του Σαρωνικού παρουσιάζουν γενικά έντονο κατακόρυφο και οριζόντιο διαμελισμό. Οι βορειοανατολικές ακτές με εξαίρεση την περιοχή Σουνίου είναι σχετικά ομαλές. Αντίθετα οι βορειοδυτικές και νοτιοδυτικές είναι σχετικά απότομες. Αυτό συμβαίνει επειδή στο βόρειο τμήμα του κόλπου εκβάλλουν ο Ιλισσός και ο Κηφισός όπου δημιουργούν μεγάλες ποταμοθαλάσσιες αποθέσεις.

Επίσης, κυριότεροι όρμοι του Σαρωνικού είναι: της Αναβύσσου, της Βάρης, της Βουλιαγμένης και του Φαλήρου, ακολουθεί ο Κόλπος της Ελευσίνας και ο όρμος της Σαλαμίνας. Δυτικά παρά τον Ισθμό της Κορίνθου, οι όρμοι: του Καλαμακίου, των Κεχριών, της Αλμυρής και το Φραγκολίμανο. Τέλος νότια ο όρμος Σοφικού, και ο κόλπος Επιδαύρου ενώ κυριότερες χερσόνησοι είναι του Πειραιά (η Πειραϊκή χερσόνησος) και η χερσόνησος των Μεθάνων.

Ο Πειραιάς είναι πόλη, μέρος του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Αθήνας και διαθέτει το σημαντικότερο λιμένα της Ελλάδας. Ο Πειραιάς συμπεριλαμβάνεται στον Δήμο Πειραιώς, ο οποίος σύμφωνα με την Απογραφή του 2011 έχει έκταση 10,9 τ. χμ. και πληθυσμό 163.688 κατοίκους, πέμπτο μεγαλύτερο σε πληθυσμό δήμο της χώρας.

Ο Πειραιάς στη σύγχρονη εποχή είναι σημαντικό βιομηχανικό και εμπορικό κέντρο της χώρας, ενώ διαθέτει το μεγαλύτερο (σε επιβατική κίνηση) λιμένα της Ευρώπης, συνδέοντας ακτοπλοϊκά την πρωτεύουσα με τα νησιά του Αιγαίου και αποτελώντας ένα σημαντικό προορισμό για κρουαζιερόπλοια εντός της Μεσογείου. *(Wikipedia)*



Εικόνα 12: Το λιμάνι του Πειραιά

(Πηγή εικόνας: https://www.hnhs.gr/el/)

Η Σαλαμίνα, με έκταση 95 τετραγωνικά χιλιόμετρα, είναι το μεγαλύτερο νησί του Σαρωνικού Κόλπου και το πιο κοντινό στις ακτές της Αττικής καθώς απέχει μόλις 1 ναυτικό μίλι από τον Πειραιά. Βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του Σαρωνικού Κόλπου και έναντι του Κόλπου της Ελευσίνας. Πρωτεύουσά της είναι η ομώνυμη πόλη. Η Σαλαμίνα επίσης, είναι το νησί με την μεγαλύτερη πυκνότητα μόνιμου πληθυσμού στη Ελλάδα που ανέρχεται στους 39.220. Αυτό οφείλεται στην μικρή απόσταση που έχει από την Αθήνα και τον Πειραιά.

Στο κεντρικό Λιμάνι-Πορθμείο των Παλουκίων Σαλαμίνας λειτουργεί εικοσιτετράωρη ακτοπλοϊκή σύνδεση με το Πέραμα όπου τις ώρες αιχμής, τα πλοία φεύγουν ανά 15 λεπτά.

Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat για την επιβατική κίνηση στα λιμάνια της Ευρώπης, το 2008 και το 2009, τα Παλούκια της Σαλαμίνας βρίσκονται στη δεύτερη θέση της λίστας και το Πέραμα στην τρίτη θέση, καθώς την ακτοπλοϊκή γραμμή χρησιμοποίησαν 13 εκατομμύρια επιβάτες το χρονικό διάστημα των 2 ετών. *(Wikipedia)*

Εικόνα 13: Η Σαλαμίνα

(Πηγή εικόνας: https://csisalamina.wordpress.com/csisalamina)

Η Ψυττάλεια είναι μικρό νησί του Σαρωνικού Κόλπου που βρίσκεται ανάμεσα στο λιμάνι του Πειραιά και τη Σαλαμίνα. Έχει έκταση 0,375 τετραγωνικά χιλιόμετρα, 1500 μέτρα μήκος, ενώ δεν έχει μόνιμους κατοίκους και ανήκει διοικητικά στο Δήμο Πειραιά. Στο νησί υπάρχουν εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού των λυμάτων των κατοίκων του Νομού Αττικής, που είναι οι μεγαλύτερες της Ευρώπης και από τις μεγαλύτερες του κόσμου, με υδραυλική ικανότητα 27 m^3/δευτερόλεπτο και ικανότητα επεξεργασίας 5,6 εκατομμυρίων PE, σε επιφάνεια 560.000 m^2.

Από την δεκαετία του '50, άρχιζε να υπάρχει η χρήση των σπιτικών βόθρων και η μεταφορά των βοθρολυμάτων με βυτιοφόρα, όπου το 1959 άρχιζε να χτίζεται ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός και οδηγούσε τα λύματα του ιστορικού κέντρου στον Ακροκέραμο και χυνόταν στην θάλασσα μέχρι και το 1994 δημιουργώντας περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Η Ελλάδα ως μέλος πλέον της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας απέκτησε την νομική υποχρέωση να προστατεύει το υδάτινο περιβάλλον της και έτσι άρχισε να κατασκευάζεται ο

συμπληρωματικός αποχετευτικός αγωγός, για την μεταφορά λυμάτων της υπόλοιπης Αθήνας στον Ακροκέραμο και οι υποθαλάσσιοι αγωγοί μεταφοράς των Λυμάτων, μετά από προεπεξεργασία από τον Ακροκέραμο στην Ψυτάλλεια. Τα έργα επεξεργασίας πάνω στο νησί είναι επίσης, δύο υποθαλάσσιοι αγωγοί εκβολής 1.870 μέτρων ο καθένας για την διάθεση των επεξεργασμένων πια λυμάτων στον Σαρωνικό, σε βάθος 63 μέτρων. Από το καλοκαίρι του 2004, η απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου επιτυγχάνεται πλέον σε ποσοστό 95% καθώς και η απομάκρυνση αζώτου σε ποσοστό 75-80%. (Wikipedia, Aktor)

Εικόνα 14: Η Ψυττάλεια

(Πηγή εικόνας: el.aktor.gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Δεδομένα και Μεθοδολογία

5.1 Δεδομένα

Για την ανίχνευση πλοίων χρησιμοποιήθηκαν προϊόντα ανίχνευσης εδάφους (GRD) και για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων επικουρικά χρησιμοποιήθηκαν προϊόντα Level-2 Ocean (OCN) τα οποία είναι για εφαρμογές ανέμου, κυματισμού και ρευμάτων. Τα δεδομένα μας αποκτήθηκαν από την ιστοσελίδα του Copernicus Open Access Hub στην οποία κάναμε εγγραφή για να έχουμε πρόσβαση στα προϊόντα (https://scihub.copernicus.eu/). Για την παρακολούθηση της περιοχής μελέτης μας ενός μήνα, χρειαστήκαμε 10 προϊόντα GRD καθώς και 10 προϊόντα OCN αντίστοιχα. Για την θεωρία των GRD και OCN μπορείτε να ανατρέξετε στη σελίδα 40.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα SAR και τα χαρακτηριστικά τους.

Product	**Day**	**Time UTC**	**Satellite**	**Instrument**	**Pass direction**	**Polarisatio**	**Product level**	**Product type**
1	06/05/2018	04:31	Sentinel-1A	SAR-C band	Descending	VV VH	L1	GRD
2	06/05/2018	04:31	Sentinel-1A	SAR-C band	Descending	VV VH	L2	OCN
3	06/05/2018	16:22	Sentinel-1B	SAR-C band	Ascending	VV VH	L1	GRD
4	06/05/2018	16:22	Sentinel-1B	SAR-C band	Ascending	VV VH	L2	OCN
5	12/05/2018	16:23	Sentinel-1A	SAR-C band	Ascending	VV VH	L1	GRD

6	12/05/2018	16:23	Sentinel-1A	SAR-C band	Ascending	VV VH	L2	OCN
7	12/05/2018	04:30	Sentinel-1B	SAR-C band	Descending	VV VH	L1	GRD
8	12/05/2018	04:30	Sentinel-1B	SAR-C band	Descending	VV VH	L2	OCN
9	18/05/2018	04:31	Sentinel-1A	SAR-C band	Descending	VV VH	L1	GRD
10	18/05/2018	04:31	Sentinel-1A	SAR-C band	Descending	VV VH	L2	OCN
11	18/05/2018	16:22	Sentinel-1B	SAR-C band	Ascending	VV VH	L1	GRD
12	18/05/2018	16:22	Sentinel-1B	SAR-C band	Ascending	VV VH	L2	OCN
13	24/05/2018	16:23	Sentinel-1A	SAR-C band	Ascending	VV VH	L1	GRD
14	24/05/2018	16:23	Sentinel-1A	SAR-C band	Ascending	VV VH	L2	OCN
15	24/05/2018	04:30	Sentinel-1B	SAR-C band	Descending	VV VH	L1	GRD
16	24/05/2018	04:30	Sentinel-1B	SAR-C band	Descending	VV VH	L2	OCN
17	30/05/2018	04:31	Sentinel-1A	SAR-C band	Descending	VV VH	L1	GRD
18	30/05/2018	04:31	Sentinel-1A	SAR-C band	Descending	VV VH	L2	OCN
19	30/05/2018	16:22	Sentinel-1B	SAR-C band	Ascending	VV VH	L1	GRD
20	30/05/2018	16:22	Sentinel-1B	SAR-C band	Ascending	VV VH	L2	OCN

Πίνακας 2: Τα δεδομένα SAR και τα χαρακτηριστικά τους

Στο πρόγραμμα ArcMap 10.1 εκτός από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία στο SNAP πρόγραμμα, χρειαστήκαμε τις περιφέρειες της Ελλάδος από το Geodata, από την Eurostat αποκτήσαμε τα NUTS-1 και το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου μας δόθηκε στο μάθημα Χαρτογραφίας του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Πανεπιστημίου Αιγαίου, στο εργαστήριο Γεωπληροφορικής. Το ανάγλυφο που χρησιμοποιήσαμε προήλθε έπειτα από επεξεργασία του υψομέτρου.

5.2 Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην διαδικασία που ακολουθήσαμε για να προβούμε σε αποτελέσματα με την χρήση των προγραμμάτων SNAP και ArcMap. Συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήσαμε, ήταν η δημιουργία εικόνων από τα SAR δεδομένα μας από τις οποίες έπειτα από επεξεργασία καταλήξαμε στην εύρεση πλοίων στη περιοχής μελέτης μας. Στην συνέχεια, με τα δεδομένα δεύτερου επιπέδου που αποκτήσαμε, τα οποία περιείχαν χαρακτηριστικά για τον άνεμο (OCN), παρατηρήσαμε αν τα πλοία που ανιχνεύσαμε επηρεάζονται από την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου. Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, η παρακάτω μέθοδος δεν είναι απολύτως αξιόπιστη, καθώς προκύπτουν αστοχίες στις οποίες θα αναφερθούμε στην συνέχεια.

Συγκεκριμένα τα βήματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκαν είναι τα παρακάτω:

1) Αρχικά ορίσαμε την περιοχή μελέτης μας, δημιουργώντας ένα υποσύνολο της αρχικής μας εικόνας SAR.

2) Στην συνέχεια ακολούθησε η προεπεξεργασία των εικόνων.

Η υφή μιας εικόνας SAR διακρίνεται σε τρία συστατικά:

• Η μικροϋφή ή θόρυβος (speckle), που εμφανίζεται σαν τυχαίοι κόκκοι ίδιου μεγέθους ή ελαφρώς μεγαλύτεροι από την κυψελίδα διακριτικής ικανότητας. Μειώνει την ικανότητα

ανάγνωσης της εικόνας και η επίδρασή της μπορεί να ελαττωθεί με τεχνικές φιλτραρίσματος (speckle filtering methods).

• Η μεσοϋφή, που εκφράζει τη διαφοροποίηση της έντασης του ανακλώμενου σήματος, η οποία οφείλεται στη φύση του υλικού και στη γεωμετρία της επιφάνειάς του.

• και η μακροϋφή που αφορά τις διαφοροποιήσεις της φωτεινότητας του Radar και οφείλεται σε αντικείμενα της γήινης επιφάνειας.

Μια εικόνα αποτελείται από αυτές τις τρεις συνιστώσες και επιπλέον από το ραδιομετρικό τμήμα το οποίο χαρακτηρίζεται από τη μέση ανάκλαση μιας ομοιογενούς επιφάνειας. (Παρχαρίδης,2015)

3) Έπειτα, ακολούθησε η διαδικασία ανίχνευσης πλοίων.

Η λειτουργία ανίχνευσης αντικειμένου αποτελείται από τις παρακάτω 4 λειτουργίες:

-προεπεξεργασία: η βαθμονόμηση εφαρμόζεται στην εικόνα για να γίνει ευκολότερη και ακριβέστερη η περαιτέρω εξέταση.

-land-sea masking: μια χερσαία-θαλάσσια μάσκα δημιουργείται για να βεβαιώσει ότι η ανίχνευση είναι εστιασμένη μόνο στην περιοχή ενδιαφέροντος.

-pre-screening: τα αντικείμενα ανιχνεύονται με έναν συναγερμό συνεχούς ανίχνευσης ψεύδους (CFAR).

-διάκριση: οι ψευδείς συναγερμοί απορρίπτονται βάση της διάστασης του αντικειμένου.

Δύο σταθεροί παράμετροι ανιχνευτή ψευδών συναγερμών.

Ο ανιχνευτής που χρησιμοποιείται στη λειτουργία προ-παρακολούθησης, είναι οι δυο σταθεροί παράμετροι ανιχνευτή ψευδών συναγερμών. Η βασική ιδέα είναι να ψάχνει pixels τα όποια είναι ασυνήθιστα λαμπερά όταν συγκρίνονται με pixels σε ευρύτερη περιοχή.

Έστω ότι x: είναι pixel υπό επεξεργασία και T είναι ένα συγκεκριμένο όριο, όταν το κριτήριο ανίχνευσης μπορεί να εκφραστεί ως $Xt > T \Leftrightarrow$ Target

Έστω ότι f(x) είναι η συνάρτηση της πιθανής πυκνότητας σύγχυσης του ωκεανού και το x κυμαίνεται μεταξύ των πιθανών τιμών των pixel, τότε η πιθανότητα του λάθους συναγερμού δίνεται από :

$PFA = \int_T^{\infty} f(x)dx$ και αυτό το κριτήριο ανίχνευσης είναι ισοδύναμο με το παρακάτω

κριτήριο: $\int_{XT}^{\infty} f(x)dx < PFA \Leftrightarrow$ Target

Εάν η Gaussian κατανομή είναι υποθετική για την σύγχυση του ωκεανού το παραπάνω κριτήριο ανίχνευσης μπορεί να εκφραστεί περαιτέρω και ως $x_t > \mu_b + \sigma_b t \Leftrightarrow$ Target όταν το μ_b είναι το φόντο υποβάθρου, το σ_b είναι τυπική απόκλιση υποβάθρου και το t είναι μια παράμετρος σχεδιασμού ανιχνευτή το οποίο υπολογίζεται από το PFA από την παρακάτω εξίσωση:

PFA = ½ - ½ erf (t/√2) όπου η έγκυρη πηγή PFA είναι στο εύρος [0, 1].

Σε πραγματική εκτέλεση των δύο παραμέτρων CFAR ανιχνευτών, εμφανίζεται μια ρύθμιση. Το παράθυρο προορισμού περιέχει το pixel υπό δοκιμή, το υπόβαθρο "ring" περιέχει pixels για την εκτίμηση του υποκείμενου φόντου στατιστικών ενώ ο φύλακας "ring" χωρίζει το παράθυρο στόχου από το υπόβαθρο ring έτσι ώστε να μην περιλαμβάνονται pixel ενός εκτεταμένου στόχου στο υπόβαθρο του δακτυλίου. Το μέσο υπόβαθρο μ_b και η τυπική απόκλιση σ_b που χρησιμοποιούνται στο κριτήριο υπολογίζονται από τα pixel στο υπόβαθρο του δακτυλίου.

Σε περίπτωση που το παράθυρο στόχου περιέχει περισσότερα από 1 pixel, αυτός ο χειριστής χρησιμοποιεί το παρακάτω κριτήριο ανίχνευσης: $\mu_t > \mu_b + \sigma_b t \Leftrightarrow$ target, όπου το μ_t είναι η μέση τιμή των pixel στο παράθυρο στόχου.

Σε αυτή την περίπτωση, το t πρέπει να αντικατασταθεί από t√n (όπου n είναι ο αριθμός των pixel στο παράθυρο στόχου) στον PFA υπολογισμό.

Adaptive Threshold Algorithm

Η ανίχνευση αντικειμένου εκτελείται με προσαρμοστικό τρόπο από τον χειριστή Adaptive Thresholding. Για κάθε pixel υπό δοκιμή, υπάρχουν 3 παράθυρα, το παράθυρο στόχου, το παράθυρο ελέγχου και το παράθυρο υποβάθρου γύρο από αυτό.

Κανονικά το μέγεθος του παραθύρου στόχου θα πρέπει να είναι περίπου το μέγεθος του μικρότερου αντικειμένου για να ανιχνεύσει, το παράθυρο ελέγχου πρέπει να είναι περίπου το μέγεθος του μεγαλύτερου αντικειμένου και το παράθυρο υποβάθρου πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερο για να εκτιμήσει με ακρίβεια τα τοπικά στατιστικά.

Χειριστής:

Πρώτα υπολογίζει την παράμετρο σχεδιασμού ανιχνευτή t από τον χρήστη που επέλεξε PFA χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση. Μετά υπολογίζει τον μέσο όρο υποβάθρου μ_b και την τυπική απόκλιση σ_b, χρησιμοποιώντας pixels στο δακτύλιο υποβάθρου. Έπειτα, υπολογίζει την μέση τιμή μ_t του παραθύρου στόχου.

Εάν $\mu_t > \mu_b + \sigma_b * t$, τότε το κεντρικό pixel εντοπίζεται ως μέρος ενός αντικειμένου, αλλιώς όχι ένα αντικείμενο.

Μετακινήστε όλα τα παράθυρα με ένα pixel για να εντοπίσετε το επόμενο pixel.

Διάκριση:

Η λειτουργία διάκρισης διεξάγεται από τη λειτουργία διάκρισης αντικειμένου. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, λάθος ανίχνευσης εξαλείφονται με βάση απλές μετρήσεις στόχων. Ο χειριστής πρώτα ομαδοποιεί συναφή εκτοπισθέντα pixels σε μια ομάδα. Τότε η πληροφορία του πλάτους και του μήκους των ομαδοποιήσεων εξάγονται.

Τέλος, βασιζόμενοι σε αυτές τις μετρήσεις και στα κριτήρια εισόδου των χρηστών, οι ομαδοποιήσεις που είναι πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές εξαλείφονται.

Παράμετροι που χρησιμοποιούνται:

Για τον χειριστή προσαρμογής κατωφλιού, οι ακόλουθες παράμετροι που χρησιμοποιούνται:

- Target window size (m) : το μέγεθος παραθύρου στόχου σε μέτρα.

Πρέπει να ρυθμιστεί στο μέγεθος του μικρότερου στόχου για να ανιχνεύσει.

- Guard window size (m) : το μέγεθος παραθύρου ελέγχου σε μέτρα.

Πρέπει να ρυθμιστεί στο μέγεθος του μεγαλύτερου στόχου για ανίχνευση.

- Background window size (m) : το μέγεθος παραθύρου υποβάθρου σε μέτρα.

Πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερο από το μέγεθος παραθύρου ελέγχου για να εξασφαλίσει ακριβή υπολογισμό των στατιστικών υποβάθρου.

-PFA (10^(-x)) : Εδώ οι χρήστες εισάγουν έναν θετικό αριθμό για την παράμετρο (x), και η τιμή του PFA υπολογίζεται από 10^(-x).

π.χ. Έστω x=6 τότε PFA=10^(-6) =0,000001

Για τον χρήστη διακρίσεων αντικειμένων οι ακόλουθοι παράμετροι χρησιμοποιούνται:

Minimum target size (m) : στόχος με διάσταση μικρότερη από αυτό το κατώφλι εξαλείφεται.

Maximum target size (m) : στόχος με διάσταση μεγαλύτερη από αυτό το κατώφλι εξαλείφεται.

Απεικόνιση εντοπισμένων αντικειμένων.

Για να δείτε τα αποτελέσματα της ανίχνευσης αντικειμένου, τα ακόλουθα βήματα πρέπει να ακολουθηθούν

-φορτώστε την εικόνα

-πηγαίνετε στο Layer Manager και προσθέστε το layer "Object detection results".

Το αντικείμενο που έχει ανιχνευτεί θα είναι κυκλωμένο πάνω στην εικόνα. Μια αναφορά της ανίχνευσης αντικειμένου θα μπορεί επίσης να παραχθεί σε XML.

(Crisp, 2004)

4) Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με τα δεδομένα ανέμου.

5) Τέλος, είχαμε την εξαγωγή των τελικών προϊόντων σε μορφή GeoTIFF.

Όπως προαναφέραμε, τα δεδομένα που επιλέξαμε για να μελετήσουμε, τα αποκτήσαμε από την ιστοσελίδα Copernicus Open Access Hub στην οποία κάναμε εγγραφή για να έχουμε πρόσβαση στα προϊόντα. Χρειαστήκαμε 10 προϊόντα GRD και 10 προϊόντα OCN αντίστοιχα για να καλύψουμε το χρονικό διάστημα ενός μήνα, όπου στην συγκεκριμένη μελέτη επιλέξαμε τον μήνα Μάιο ενδεικτικά.

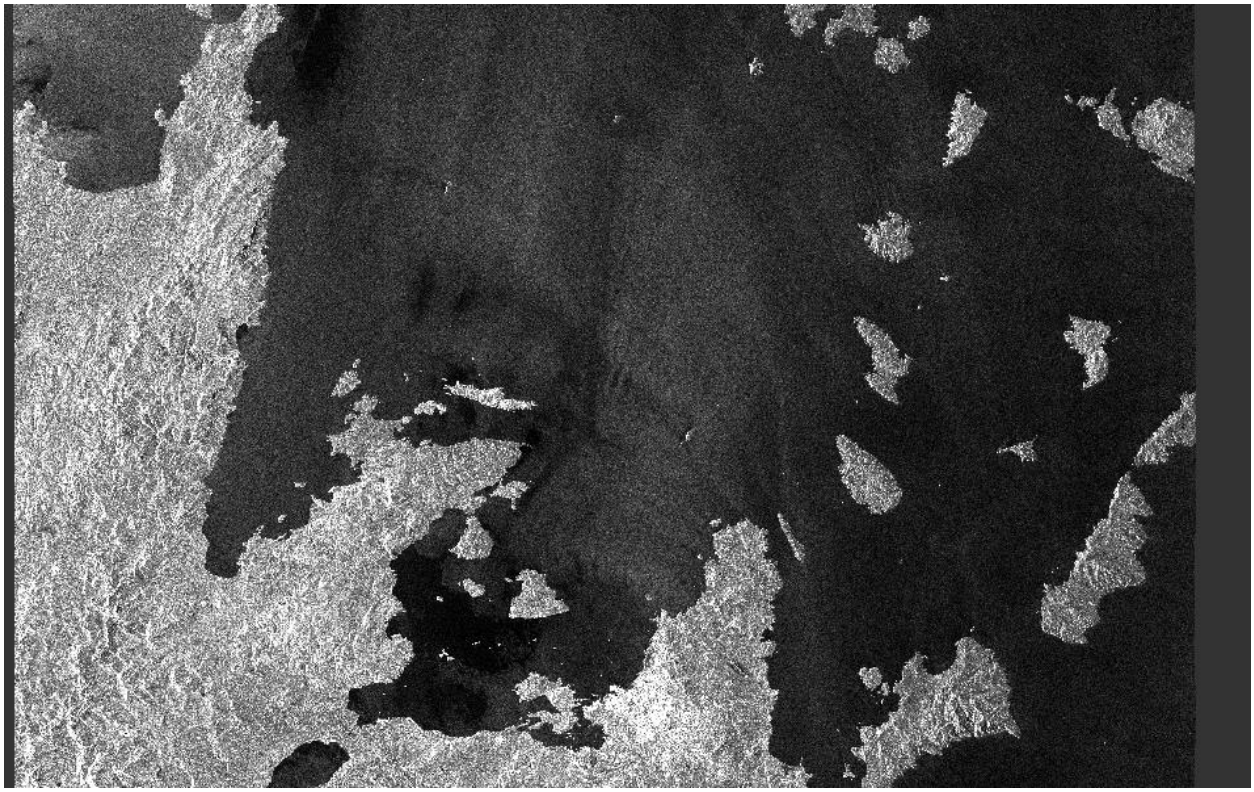
Για τις εικόνες μας λοιπόν των δορυφόρων Sentinel-1A και Sentinel-1B χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα SNAP, το οποίο διατίθεται δωρεάν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA) και εκεί διατίθενται όλες οι βασικές εργαλειοθήκες για την επεξεργασία των εικόνων Sentinel. Μέσω αυτού του προγράμματος πραγματοποιήσαμε την προεπεξεργασία των εικόνων μας όπως το φιλτράρισμα και την γεωμετρική διόρθωση, καθώς και την μετέπειτα επεξεργασία μας, της ανίχνευσης πλοίων και της εισαγωγής των δεδομένων ανέμου. Ακόμη, από το πρόγραμμα SNAP εξηγάγαμε τις τελικές μας εικόνες σε μορφή GeoTIFF μαζί με τα σημειακά μας αρχεία των πλοίων, τα οποία στη συνέχεια εισάγαμε στο πρόγραμμα ArcMap10.1 .

5.3 Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων

Η περιοχή μελέτης που επιλέξαμε να μελετήσουμε, είναι ο Σαρωνικός κόλπος και ο λόγος είναι ότι εκεί λαμβάνει χώρα και το λιμάνι του Πειραιά. Στο λιμάνι του Πειραιά υπάρχει μεγάλη κινητικότητα καθώς αποτελεί το μεγαλύτερο λιμάνι της χώρας μας. Λόγω λοιπόν της μεγάλης κινητικότητας παρατηρήσαμε ότι ένα πλήθος πλοίων αγκυροβολεί έξω από το λιμάνι ώστε η προσέλευση και η αναχώρηση των πλοίων να είναι πιο ελεγχόμενη και για την καλύτερη εξυπηρέτηση. Θελήσαμε λοιπόν να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά των αγκυροβολημένων πλοίων σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες και κατά πόσο αυτές επηρεάζουν την καθυστέρησή τους στην προσέλευσή τους στο λιμάνι.

Ξεκινώντας λοιπόν ανοίξαμε το πρόγραμμα SNAP στο οποίο και βασίστηκε όλη μας η έρευνα.

- Ως πρώτο βήμα, όπως βλέπουμε και στην εικόνα 15, εισάγαμε την πρώτη μας εικόνα στο πρόγραμμα μέσω των εντολών File→Open Product.



Εικόνα 15: Αρχική εικόνα SAR

Με αυτό τον τρόπο φορτώνονται τα δεδομένα του προϊόντος μας στο παράθυρο Product Explorer και εκεί έχουμε την δυνατότητα να λάβουμε τις παρακάτω πληροφορίες:

- Σχετικά με την εικόνα μας (Metadata)
- Vector δεδομένα
- Το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, την γωνία πρόσπτωσης καθώς και το εύρος της κλίσης των χρονικών τιμών (Tie-points grid)
- και τα κανάλια της εικόνας (Bands)

  Κάθε εικόνα διαθέτει δύο κανάλια(Amplitude, Intensity) και το κάθε κανάλι έχει από δύο πολώσεις (VV,VH). Στην παρούσα εργασία επιλέξαμε την VV (κατακόρυφη εκπομπή - κατακόρυφη επιστροφή) πόλωση, και το Amplitude κανάλι. Σύμφωνα με τον D.J.Crisp (2004), η οπισθοσκέδαση του ωκεανού είναι καλύτερη στην VV πόλωση από την VH. Σε αυτόν τον συνδυασμό, στην εικόνα μας ο κυματισμός ήταν εντονότερος οπτικά λόγω της εντονότερης οπισθοσκέδασης του σήματος και ήταν πιο ευδιάκριτα τα ίχνη των πλοίων για να μπορέσουμε να διακρίνουμε τα εν κινήσει από τα αγκυροβολημένα πλοία.

Πόλωση

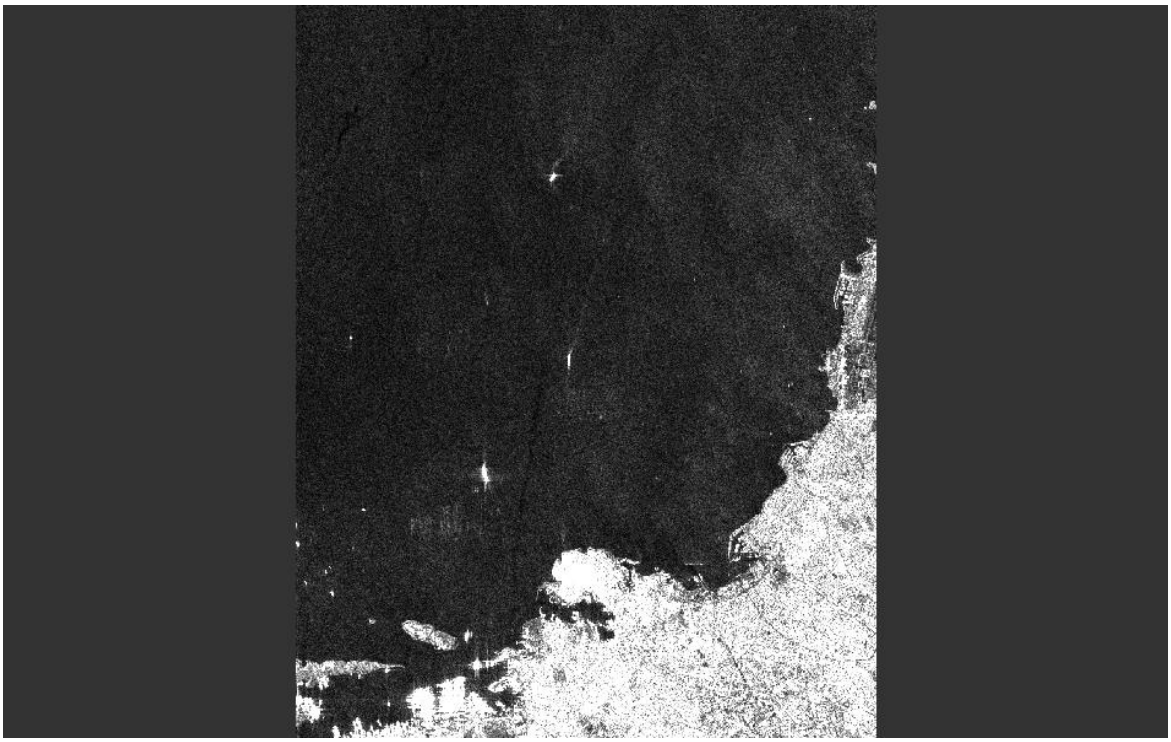
Το διάνυσμα Ε του ηλεκτρικού πεδίου του εκπεμπόμενου παλμού Radar μπορεί να πολωθεί στο κατακόρυφο ή στο οριζόντιο επίπεδο. Κατά την πρόσπτωσή του στο έδαφος, η περισσότερη ενέργεια που επιστρέφει προς την κεραία του Radar διατηρεί την ίδια πόλωση με εκείνη της εκπομπής. Η ακτινοβολία αυτή καταγράφεται ως εικόνα παράλληλης πόλωσης και συμβολίζεται με HH(οριζόντια εκπομπή, οριζόντια επιστροφή) ή με VV (κατακόρυφη εκπομπή κατακόρυφη επιστροφή). Πολλές φορές μέρος της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας μεταβάλλει το αρχικό επίπεδο πόλωσης λόγω της τραχύτητας της επιφάνειας του στόχου.

Η μεταβολή του επιπέδου της πόλωσης είναι εντονότερη στις επιφάνειες με βλάστηση παρά στα χερσαία εδάφη. Τα φύλλα, τα κλαδιά, οι κορμοί των δέντρων, προκαλούν πολλαπλές ανακλάσεις που είναι υπεύθυνες για τη μεταβολή του επιπέδου της πόλωσης. Για τον λόγο αυτό, μερικά εικονοληπτικά Radar διαθέτουν και δεύτερη κεραία λήψης, που λαμβάνει ενέργεια με επίπεδο πόλωσης κάθετο προς την αρχική πόλωση του εκπεμπόμενου παλμού. Η προκύπτουσα εικόνα ονομάζεται εικόνα εγκάρσιας πόλωσης ή HV (οριζόντια εκπομπή, κατακόρυφη επιστροφή) ή VH (κατακόρυφη εκπομπή, οριζόντια επιστροφή). Οι περισσότερες

εικόνες Radar λαμβάνονται σε μορφή HH, επειδή παρέχουν τα πιο ισχυρά σήματα επιστροφής (Μερτίκας, 2009).

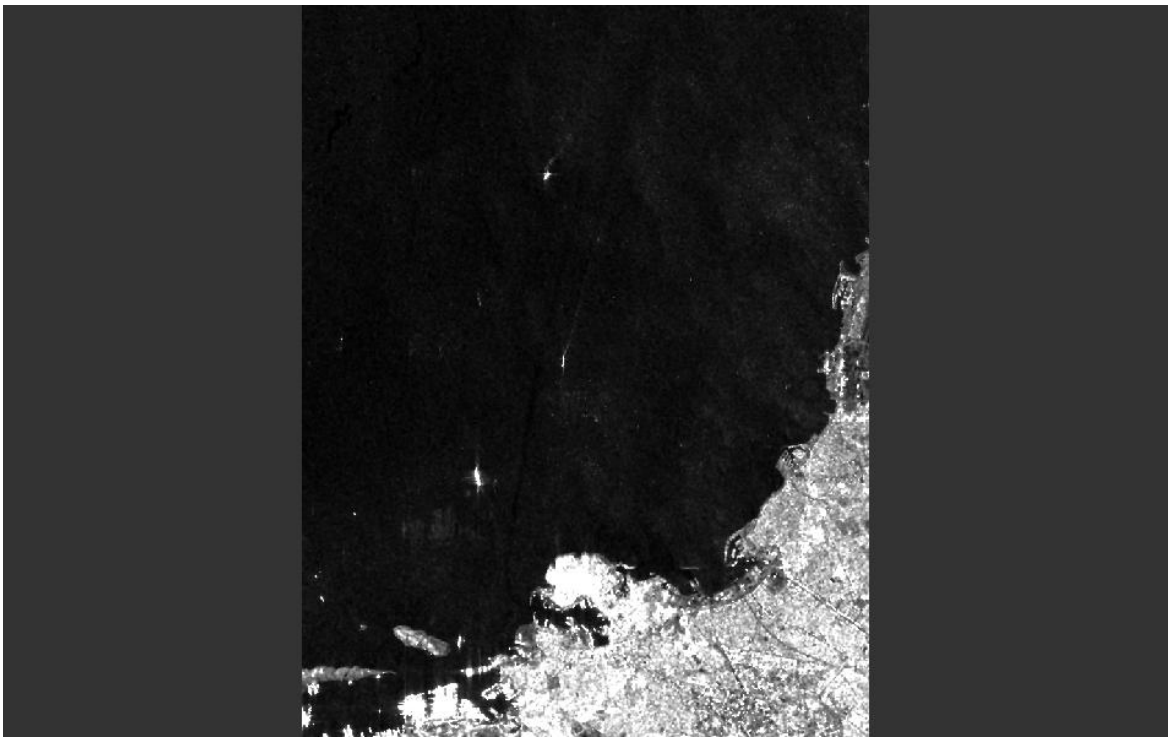
- Επόμενό μας βήμα όπως βλέπουμε και στην εικόνα 16, ήταν η δημιουργία ενός υποσυνόλου της αρχικής μας εικόνας. Αυτό το κάναμε για την καλύτερη προσέγγιση της περιοχής μας ώστε να είναι πιο ευδιάκριτη η περιοχή του Σαρωνικού και συγκεκριμένα η είσοδος του λιμανιού.

  Τα εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε για την επίτευξη αυτής της ενέργειας είναι τα ακόλουθα: Από την εργαλειοθήκη του Menu → Raster → Subset και στο παράθυρο που εμφανίζεται ρυθμίσαμε τα επιθυμητά όρια της περιοχής μας τα οποία κρατήσαμε σταθερά για όλες της εικόνες μας. Επιβεβαιώνοντας τις αλλαγές που επιλέξαμε, αυτόματα εμφανίζεται στο SNAP το υποσύνολο που δημιουργήσαμε.



Εικόνα 16: Υποσύνολο της αρχικής εικόνας SAR

- Τρίτο βήμα που ακολουθήσαμε όπως βλέπουμε και στην εικόνα 17, ήταν η εισαγωγή πληροφοριών τροχιάς του δορυφόρου από την εργαλειοθήκη Radar → Apply Orbit File.



Εικόνα 17: Το αποτέλεσμα της εικόνας μετά την εισαγωγή πληροφοριών τροχιάς

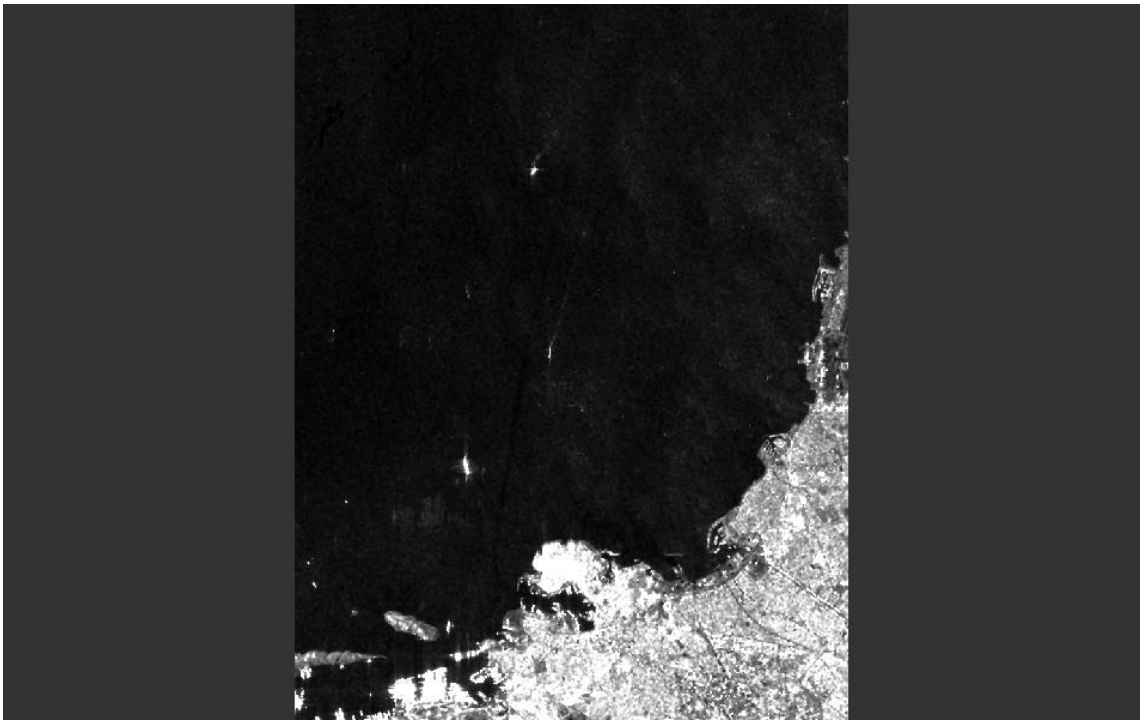
Το αρχείο τροχιάς παρέχει ακριβείς πληροφορίες δορυφορικής θέσης και ταχύτητας και με βάση αυτές, οι φορείς κατάστασης τροχιάς στα αφηρημένα μεταδεδομένα του προϊόντος ενημερώνονται.

- Στη συνέχεια, όπως βλέπουμε και στην εικόνα 18, η ενέργεια που ακολουθήσαμε ήταν το φιλτράρισμα της εικόνας.

  Οι SAR εικόνες παρουσιάζουν θόρυβο (speckles), που εμφανίζεται σαν κηλιδώσεις και αυτό το φαινόμενο μειώνει την ικανότητα αναγνώρισης της εικόνας. Οι φωτεινές κηλιδώσεις είναι μια τυχαία διάταξη φωτεινών και σκοτεινών στιγμάτων που εμφανίζονται κυρίως στις εικόνες SAR συνθετικού ανοίγματος του Radar. (Μερτίκας,2009)

  Για την αντιμετώπιση αυτών των κηλίδων υπάρχουν ειδικά φίλτρα τα οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να περιορίσουμε τις αλλοιώσεις των εικόνων. Για την πραγματοποίηση του φιλτραρίσματος στο SNAP ακολουθήσαμε την εξής διαδικασία για όλες μας τις εικόνες: Από την εργαλειοθήκη Radar → Speckle Filtering → Single

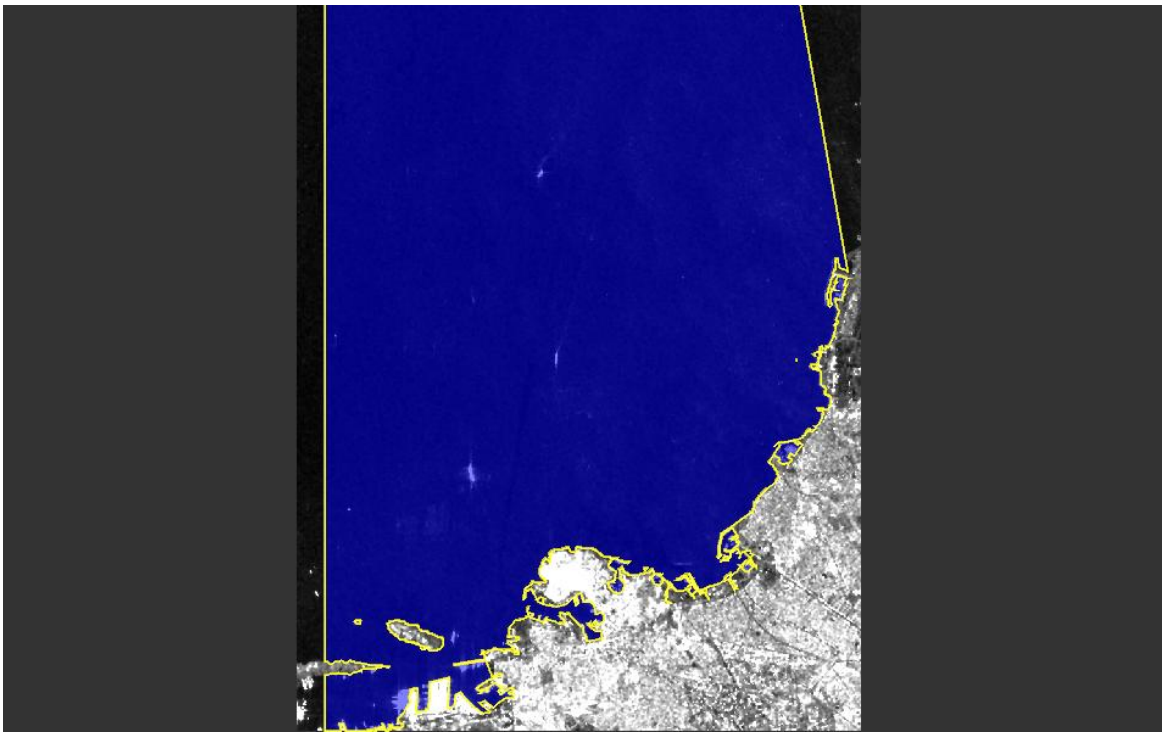
Product Speckle Filter. Στο παράθυρο φιλτραρίσματος που εμφανίζεται, στην καρτέλα Proccessing Parameters → επιλέγουμε την πόλωση Amplitude_VV και για φίλτρο (Filter) επιλέγουμε το lee Sigma. Είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο φίλτρο για εικόνες SAR και βασίζεται στην πιθανότητα Sigma της Gaussian κατανομής. Αρχικά υπολογίζεται η τυπική απόκλιση ολόκληρης της σκηνής και στη συνέχεια αντικαθιστά κάθε κεντρικό εικονοστοιχείο σε ένα κινούμενο παράθυρο με τον μέσο όρο μόνο των γειτονικών εικονοστοιχείων που έχουν τιμή έντασης μέσα σε ένα σταθερό Sigma εύρος του κεντρικού εικονοστοιχείου. Ακόμα, το Lee φίλτρο, είναι ανώτερο στην ικανότητά του για να διατηρήσετε προεξέχοντες άκρες, γραμμικά χαρακτηριστικά, στόχους και πληροφορίες υφής. (Παρχαρίδης, 2015)



Εικόνα 18: Το αποτέλεσμα της εικόνας μετά την διαδικασία φιλτραρίσματος

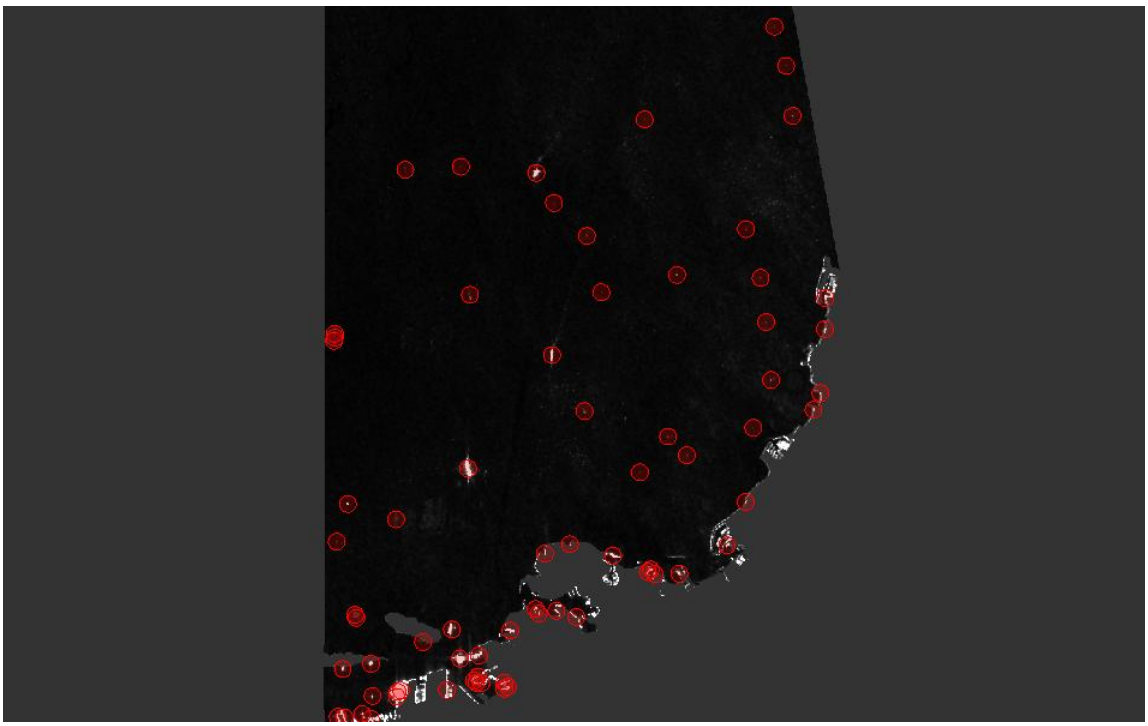
- Επόμενο βήμα που εφαρμόσαμε ήταν ο ορισμός μάσκας. Αυτή η ενέργεια έγινε έχοντας ως σκοπό τον διαχωρισμό της στεριάς από την θάλασσα και αυτό γιατί θέλαμε να μελετήσουμε την θαλάσσια επιφάνεια. Ακολουθήσαμε λοιπόν τα εξής βήματα: από την εργαλειοθήκη Vector → Εισάγουμε (Import)→ ESRI Shapefile και με αυτό τον τρόπο επιλέγουμε το αρχείο που έχουμε αποκτήσει και το φορτώνουμε στο πρόγραμμα. Στην

συγκεκριμένη περίπτωση το αρχείο μας το αποκτήσαμε από την ιστοσελίδα: http://openstreetmapdata.com/data/water-polygons. Φορτώνοντάς το λοιπόν γίνεται ο διαχωρισμός στεριάς από θάλασσα όπως διακρίνουμε και στην εικόνα 19.



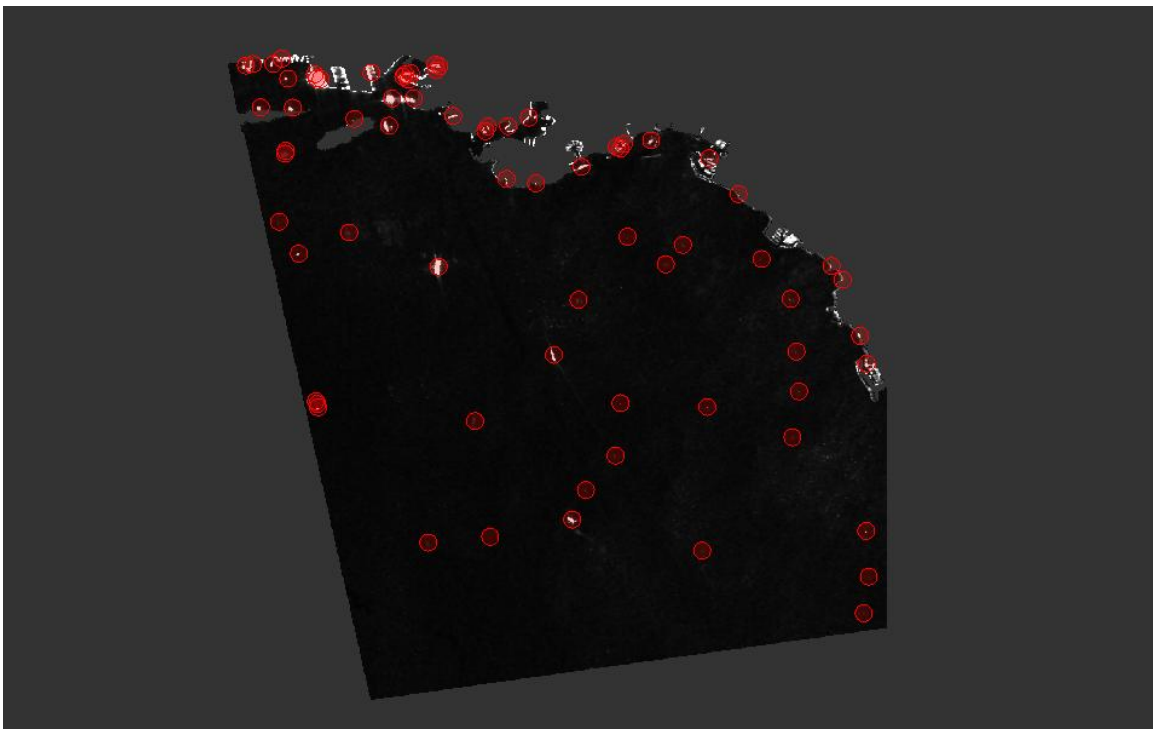
Εικόνα 19: Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μάσκα η οποία διαχωρίζει τη στεριά από τη θάλασσα

- Σε αυτό το σημείο εφαρμόσαμε το εργαλείο για την ανίχνευση πλοίου (Ship Detection) μέσω της εργαλειοθήκης Radar → SAR Applications → Ocean Applications → Ocean Object Detection. Σε αυτό το εργαλείο κάναμε κάποιες ρυθμίσεις στην κάθε καρτέλα για να πάρουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αρχικά στην καρτέλα (Read) επιλέξαμε το αρχείο μας, ενώ στην δεύτερη καρτέλα (Land-Sea-Mask) επιλέξαμε χειροκίνητα την μάσκα που φτιάξαμε στο προηγούμενο βήμα. Επίσης, στην καρτέλα (Adaptive Thresholding) ορίσαμε ως μέγεθος του στόχου μας τα 30 μέτρα. Αφού ολοκληρώσαμε τις αλλαγές μας, τρέξαμε το εργαλείο και εμφανίστηκε στο SNAP η εικόνα μας με τα ανιχνεύσιμα πλοία που εντόπισε το εργαλείο όπως φαίνεται και στην εικόνα 20.



Εικόνα 20: Αποτέλεσμα εικόνας με τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων

- Η επόμενή μας ενέργεια ήταν η γεωμετρική διόρθωση όπως βλέπουμε και στην εικόνα 21. Στη παρούσα διπλωματική η γεωμετρική διόρθωση που επιλέξαμε βασίζεται στον αλγόριθμο ορθοαναγωγής Ellipsoid Correction GG Operator και ο λόγος είναι επειδή η περιοχή την οποία μελετάμε δεν χρειάζεται διορθώσεις από παραμορφώσεις οπισθοσκέδασης που προέρχονται από το ανάγλυφο του εδάφους, καθώς η επιφάνεια της θάλασσας είναι σχεδόν επίπεδη και δεν παρουσιάζει αλλοιώσεις. Το πρόγραμμα SNAP αξιοποιεί την γεωαναφορά της εικόνας με σκοπό να την αποτυπώσει στο προβολικό σύστημα που θα επιλέξει ο χρήστης. Οι εικόνες που κατεβάσαμε είναι προσαρμοσμένες στη γεωμετρία του δορυφόρου Sentinel-1 γι αυτό πρέπει να τις προβάλλουμε πάλι με την πραγματική τους γεωγραφική προβολή. Έτσι λοιπόν από την κεντρική μπάρα επιλέγουμε την εργαλειοθήκη Radar → Geometric → Ellipsoid Correction → Geolocation-Grid. Στο νέο παράθυρο που ανοίγει, στην καρτέλα Proccessing Parameters επιλέγουμε την πόλωση που θέλουμε καθώς και το προβολικό UTM/WGS84. Με αυτή την ενέργεια ολοκληρώνεται και η επεξεργασία των Level-1 δεδομένων και ακολουθεί η σύγκριση με τα δεδομένα Level-2.



Εικόνα 21: Αποτέλεσμα γεωμετρικά διορθωμένης εικόνας

❖ Επεξεργασία των OCN δεδομένων

Τα προϊόντα Level-2 τα εισάγαμε με τον ίδιο τρόπο στο πρόγραμμα SNAP στο οποίο επεξεργαστήκαμε τις εικόνες μας των Level-1 προϊόντων. Δεν χρειάστηκε να προβούμε σε κάποια επεξεργασία καθώς μας δίνουν εξ αρχής τις πληροφορίες που χρειαστήκαμε. Φορτώνοντας λοιπόν την εικόνα από την κεντρική εργαλειοθήκη File → Open Product ανοίξαμε από τον φάκελο Bands τα αρχεία WindSpeed και WindDirection. Από την κεντρική εργαλειοθήκη επιλέξαμε την εντολή Tile Horizontally ώστε να έχουμε την δυνατότητα να βλέπουμε ταυτόχρονα στην οθόνη μας και τις δύο εικόνες που αφορούν την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου. Ακόμα, από την εργαλειοθήκη View → επιλέξαμε τις εντολές Synchronise Image Cursors και Synchronise Image Views για να μελετάμε ακριβώς το ίδιο εικονοστοιχείο στα δύο παράλληλα αρχεία. Στο κεντρικό παράθυρο του προγράμματος επομένως, αφού έχουμε κάνει αυτές τις ενέργειες, ζουμάραμε στην περιοχή μελέτης μας και πατώντας πάνω σε κάθε pixel στο παράθυρο Pixel info μας εμφανίζονται οι πληροφορίες της ταχύτητας του ανέμου σε μέτρα ανά λεπτό και της διεύθυνσης σε μοίρες. Με αυτόν τον τρόπο, μελετώντας προσεκτικά όλα

τα pixel των εικόνων μας, για κάθε ημερομηνία είχαμε ένα εύρος τιμών στην ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου όπου οι παρακάτω πίνακες μας οριοθέτησαν τις τιμές που βρήκαμε.

Διεύθυνση	**Επίσημη Ονομασία**	**Κοινή Ονομασία**
350°-10°	Βόρειος	Τραμουντάνα
10°-80°	Βόρειο-Ανατολικός	Γραίγος
80°-100°	Ανατολικός	Λεβάντες
100°-170°	Νότιο-Ανατολικός	Σιρόκος
170°-190°	Νότιος	Όστρια
190°-260°	Νότιο-Δυτικός	Γαρμπής
260°-280°	Δυτικός	Πουνέντες
280°-350°	Βόρειο-Δυτικός	Μαΐστρος

Πίνακας 3: Χαρακτηρισμός διεύθυνσης ανέμου

(Πηγή: https://iasonsailing.eu/anemologio/)

Κλίμακα Beaufort		
Βαθμίδα	**Ταχύτητα ανέμου (m/sec)**	**Χαρακτηρισμός Ανέμου**
0	<1	Άπνοια
1	1-2	Σχεδόν άπνοια
2	2-3	Πολύ ασθενής
3	4-5	Ασθενής
4	6-8	Σχεδόν μέτριος

5	9-11	Μέτριος
6	12-14	Ισχυρός
7	15-17	Σχεδόν θυελλώδης
8	18-21	Θυελλώδης
9	22-24	Πολύ θυελλώδης
10	25-28	Θύελλα
11	29-32	Ισχυρή Θύελλα
12	33+	Κυκλώνας

Πίνακας 4: Βαθμίδες ταχύτητας ανέμου

(Πηγή: http://hnms.gr/emy/el/navigation/naftilia_beaufort)

- Τελευταίο μας βήμα ήταν η δημιουργία των τελικών χαρτών.

Έχοντας επεξεργαστεί τις SAR εικόνες εξάγαμε τα τελικά μας προϊόντα σε μορφή GeoTIFF τα οποία δημιουργήσαμε στο πρόγραμμα SNAP μέσω της διαδικασίας File → Export → GeoTIFF/Big TIFF, καθώς και τα αρχεία των πλοίων που δημιουργήσαμε μέσω της διαδικασίας της ανίχνευσης τα οποία αποθηκεύσαμε από το παράθυρο Product Explorer στο φάκελο Vector Data → Geometry as Shape file.

Στη συνέχεια ξεκινήσαμε την χαρτογραφική μας απεικόνιση στο πρόγραμμα ArcMap.

Αρχικά, προσθέσαμε από την εντολή Add Data τα αντίστοιχα δύο αρχεία μας κάθε φορά (SAR εικόνα, Ship Detection). Έπειτα, για την χρωματική διαβάθμιση του γκρι, επιλέξαμε από το Layer την επιλογή Properties και από εκεί την καρτέλα Symbology, όπου στο type ορίσαμε την επιλογή Standard Deviations → OK.

Επίσης, στο Arc Catalog δημιουργήσαμε νέα Shapefiles για να ψηφιοποιήσουμε τις λάθος ανιχνεύσεις, τα πλοία που δεν ανιχνεύτηκαν, τις βραχονησίδες που

ανιχνεύτηκαν ως πλοία και τις επαναλήψεις ανίχνευσης που παρατηρήσαμε πάνω στο ίδιο πλοίο.

Εν κατακλείδι, στο εκάστοτε υπόμνημα, αναφέρονται οι αντίστοιχες ανιχνεύσεις, λίγα στοιχεία της εικόνας Radar, ένας χάρτης Ελλάδος στον οποίο είναι πλαισιωμένη η περιοχή μελέτης καθώς και οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.

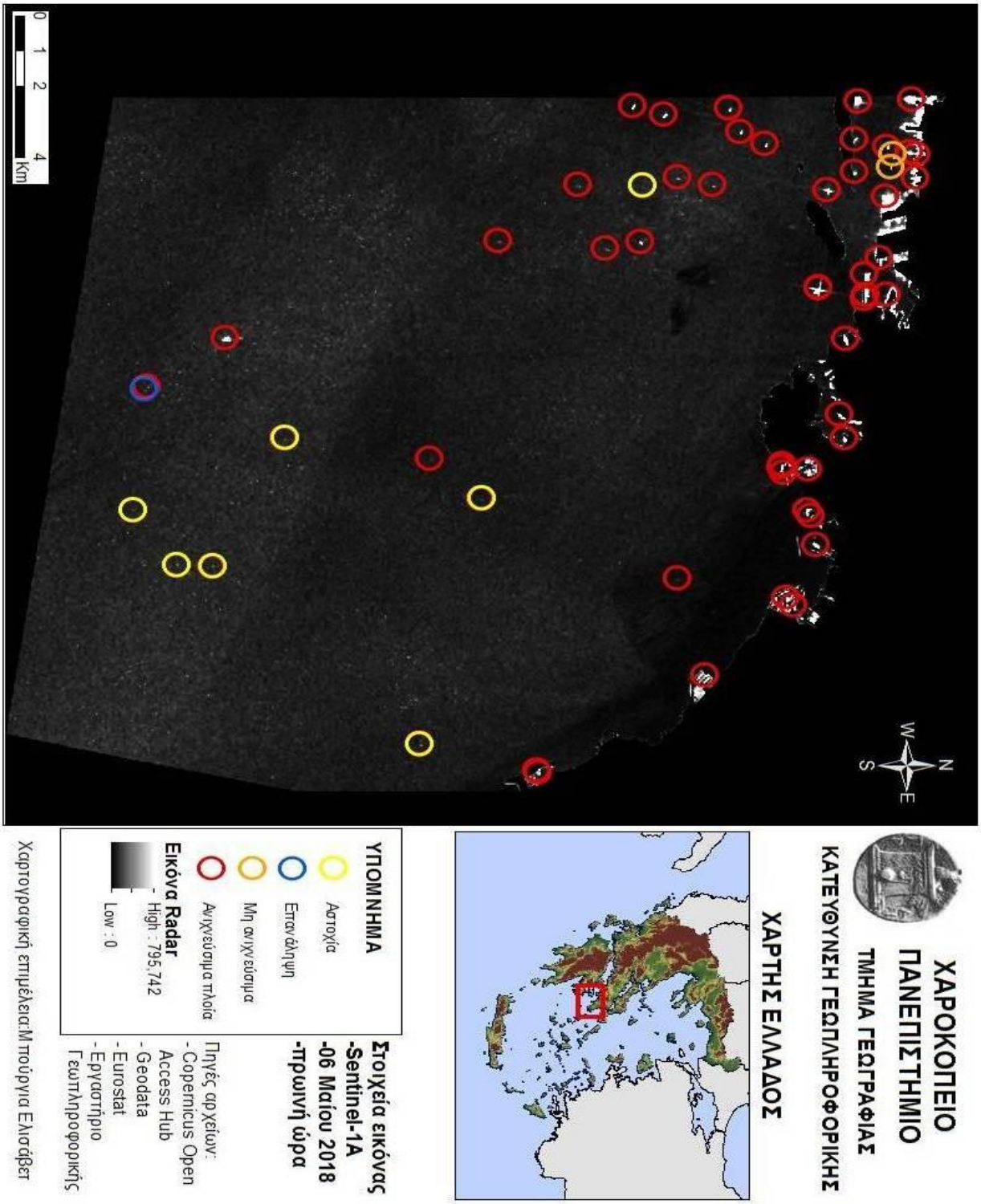
Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα

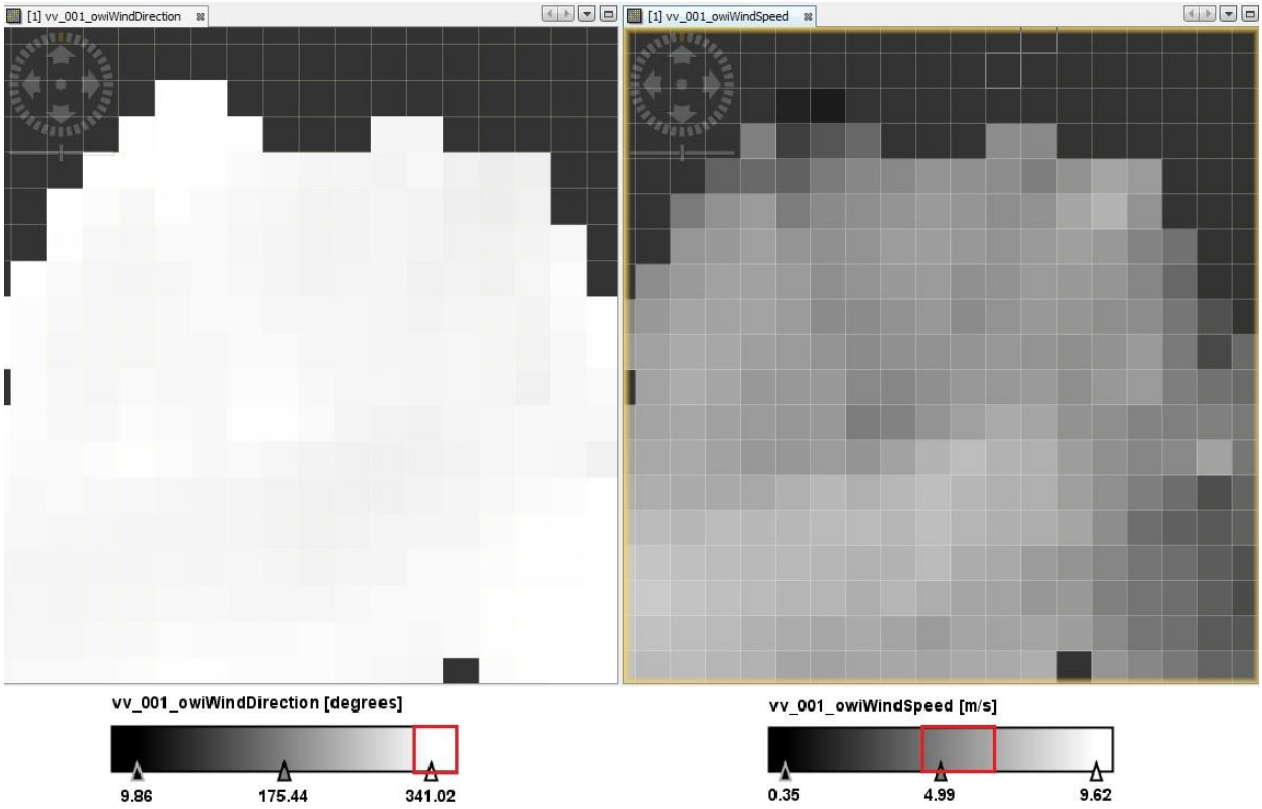
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι χάρτες τους οποίους φτιάξαμε έπειτα από την επεξεργασία των εικόνων που αποκτήσαμε από τους δορυφόρους Sentinel-1A και Sentinel-1B. Οι απεικονίσεις μας, είναι ισάριθμες καθώς επεξεργαστήκαμε 5 εικόνες από τον δορυφόρο Sentinel-1A και 5 εικόνες από τον δορυφόρο Sentinel-1B, κατά την χρονική περίοδο του μήνα Μαΐου. Ο μήνας που επιλέξαμε ήταν τυχαίος υπό κάποιους περιορισμούς. Αρχικά, απορρίψαμε τους καλοκαιρινούς μήνες λόγο της μεγάλης κινητικότητας πλοίων και τους χειμερινούς μήνες λόγο της κακοκαιρίας, καθώς αν η ένταση του ανέμου ήταν πολύ μεγάλη, θα είχαμε μεγάλο κυματισμό κάτι που θα προκαλούσε μεγάλη οπισθοσκέδαση και τα pixel θα απεικονίζονταν με φωτεινότερη απόχρωση του γρι και θα υπήρχε δυσκολία στην ανίχνευση των πλοίων. Επίσης, είχαμε πρωινή και βραδινή λήψη, κάτι που μας βοήθησε στην παρατήρηση των μεταβολών του ανέμου αλλά και της κινητικότητας των πλοίων. Η περιοχή μελέτης μας, είναι τμήμα του Σαρωνικού Κόλπου και πιο συγκεκριμένα, είναι η περιοχή έξω από το λιμάνι του Πειραιά.

Sentinel-1A

06 Μαΐου 2018, πρωινή ώρα (04:31 UTC + 3:00)



Εικόνα 22: Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων, στις 06/05/2018, πρωινή ώρα, καθοδική τροχιά



Εικόνα 23: Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 06/05/2018, πρωινή ώρα

Αρχικά, όπως φαίνεται και στο υπόμνημα διαπιστώσαμε ότι με την επεξεργασία της ανίχνευσης πλοίων δεν πήραμε ένα ακριβές αποτέλεσμα καθώς στην συγκεκριμένη εικόνα 2 πλοία δεν ανιχνεύτηκαν, τουλάχιστον 7 ανιχνεύσεις δεν ευσταθούν και υπάρχει και μια επανάληψη ανίχνευσης πάνω στο ίδιο πλοίο. Αναλυτικότερα, με κόκκινο χρώμα έχουμε απεικονίσει στον χάρτη μας τα εύστοχα ανιχνεύσιμα πλοία από το πρόγραμμα SNAP. Με κίτρινο χρώμα επιλέξαμε να απεικονίσουμε τις άστοχες ανιχνεύσεις όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση αποτελούν pixel τα οποία στην προεπεξεργασία που κάναμε, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει και τις κηλιδώσεις ως πλοία. Επίσης, κοντά στην στεριά, βορειοδυτικά της εικόνας μας, με πορτοκαλί χρώμα έχουμε στιγματίσει δύο πλοία τα οποία δεν ανιχνεύτηκαν στην επεξεργασία μας ως πλοία. Ακόμα, παρατηρήσαμε και μία επανάληψη. Με μπλε λοιπόν χρώμα, απεικονίσαμε το φαινόμενο της επανάληψης, όταν δηλαδή το εργαλείο μας βάζει πάνω από δύο κύκλους ανίχνευσης πάνω σε ένα πλοίο.

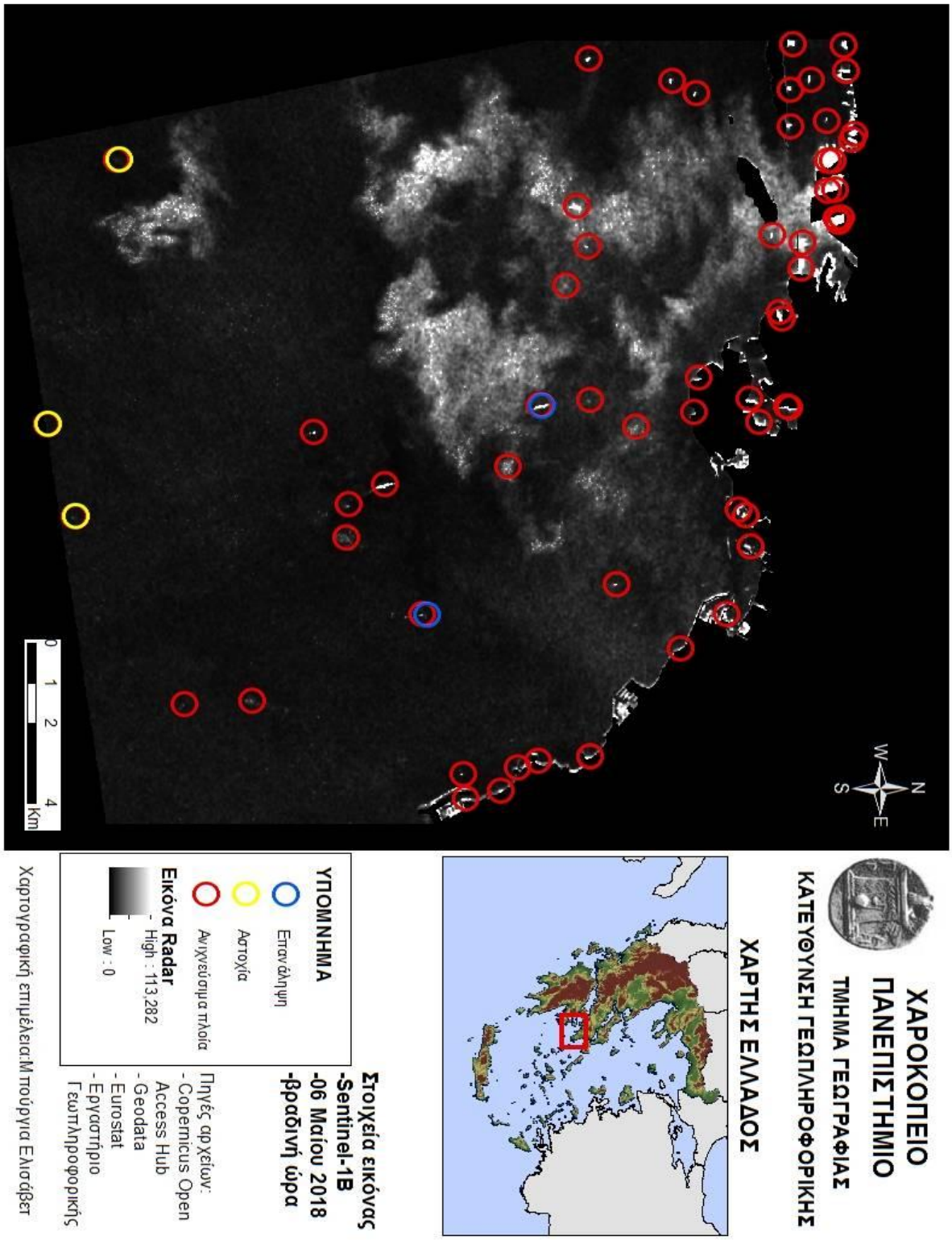
Πάνω αριστερά, που διακρίνεται ο συνωστισμός των πλοίων, πριν την Ψυττάλεια, η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται στα 4 με 6 μέτρα το δευτερόλεπτο, το οποίο σε κλίμακα Beaufort αντιστοιχεί στα 3 με 4. Αυτό σημαίνει ότι ο άνεμος χαρακτηρίζεται ως ασθενής.

Η διεύθυνση του ανέμου είναι από τις 315° έως τις 350°, το οποίο μεταφράζεται ως βορειοδυτική.

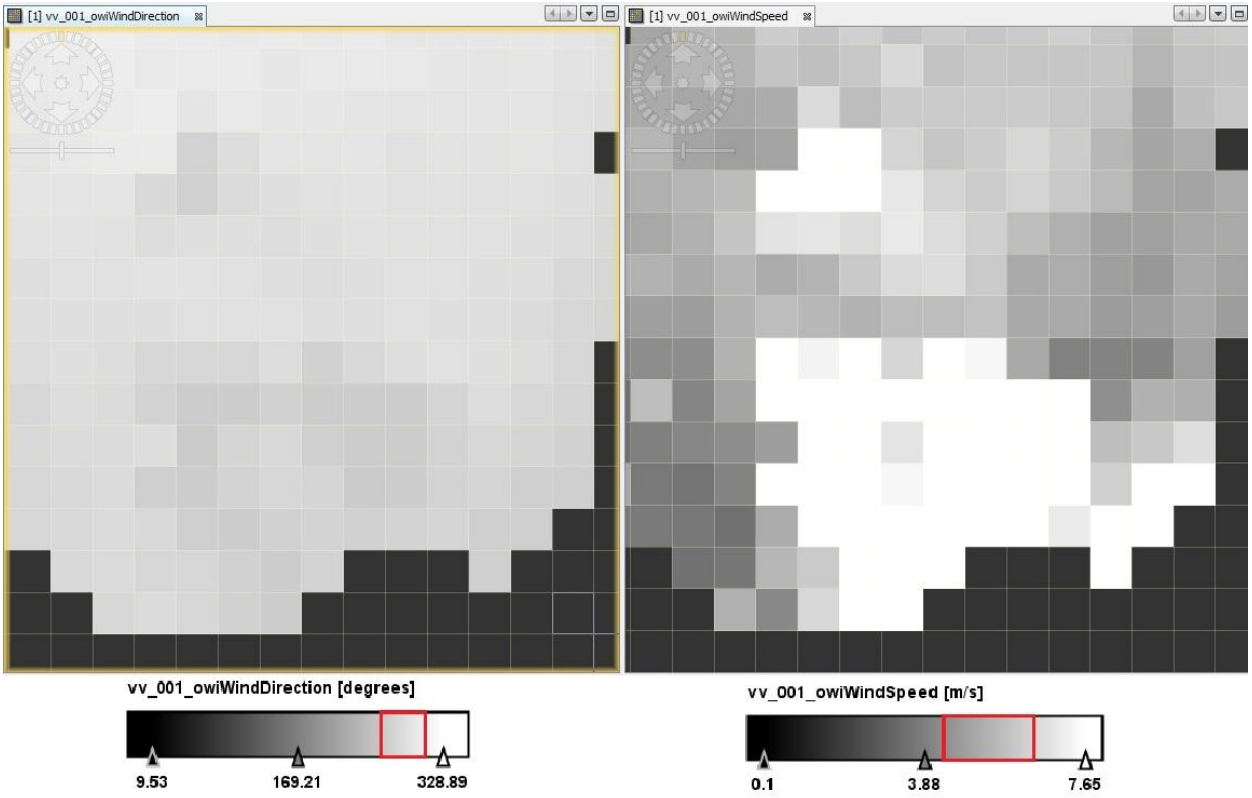
Με αυτά τα δυο στοιχεία και έπειτα από παρατήρηση των πλοίων, όσων είναι διακριτά σε μεγάλη μεγέθυνση, διαπιστώσαμε ότι στην πλειοψηφία αυτών, έχει επηρεαστεί ο προσανατολισμός τους, τουλάχιστον όσων είναι αγκυροβολημένα διότι τα εν κινήσει πλοία έχουν προκαθορισμένο προσανατολισμό. Εφόσον λοιπόν, δεν διακρίνεται κάποιο ίχνος πίσω από αυτά τα πλοία, υποθέτουμε ότι είναι αγκυροβολημένα στην πλειοψηφία τουλάχιστον αυτών και η κατεύθυνσή τους έχει επηρεαστεί καθώς συμβαδίζει με την διεύθυνση του ανέμου.

Sentinel-1B

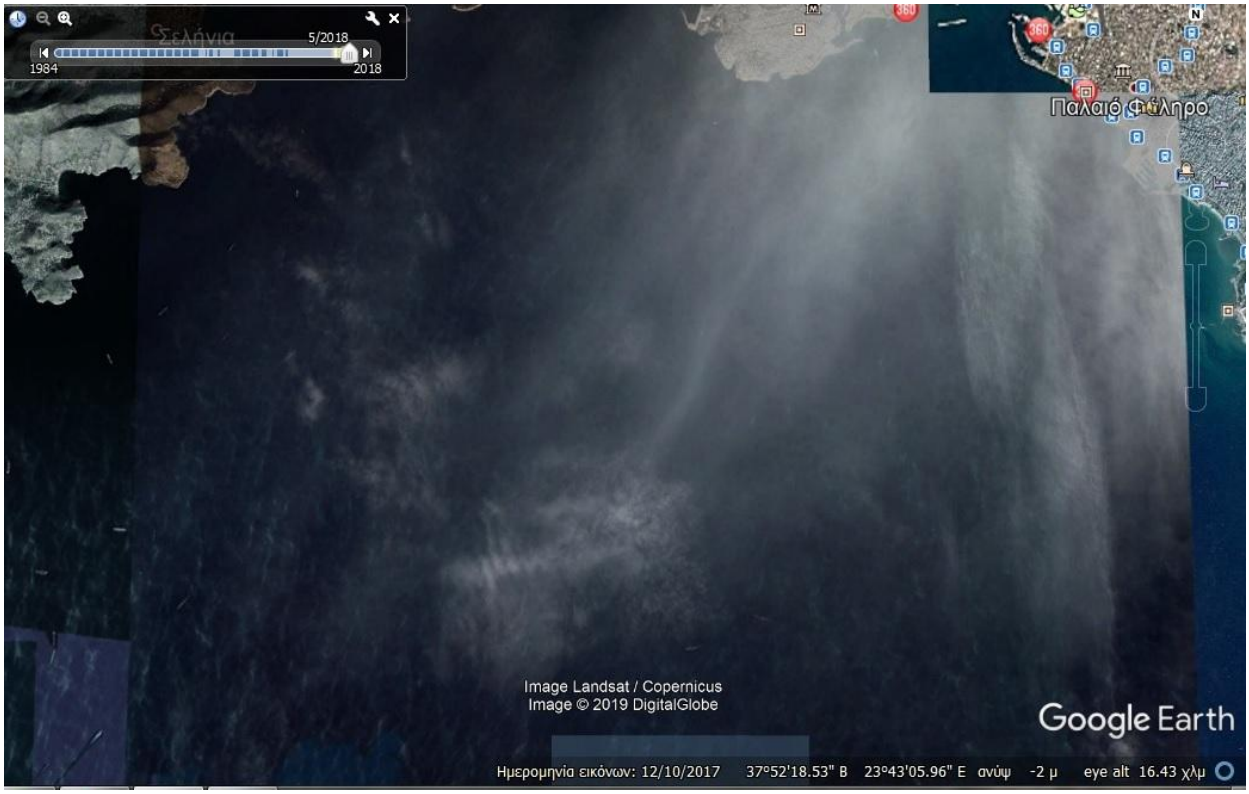
06 Μαΐου 2018, βραδινή ώρα (16:22 UTC + 3:00)



Εικόνα 24: Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις, στις 06/05/2018, βραδινή ώρα, ανοδική τροχιά



Εικόνα 25: Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 06/05/2018, βραδινή ώρα



Εικόνα 26: Οπτική εικόνα του Google Earth που διακρίνεται ένα φαινόμενο

Την ίδια ημέρα αλλά βραδινή ώρα, όπως φαίνεται και στην εικόνα μας, διαπιστώσαμε ότι το εργαλείο ανίχνευσης πάλι δεν έχει ακριβές αποτέλεσμα. Αναγνωρίστηκαν τουλάχιστον τρεις άστοχες ανιχνεύσεις και δύο επαναλήψεις. Αναλυτικότερα, με κόκκινο χρώμα έχουμε απεικονίσει στον χάρτη μας τα εύστοχα ανιχνεύσιμα πλοία από το πρόγραμμα SNAP. Με κίτρινο χρώμα απεικονίσαμε τις άστοχες ανιχνεύσεις, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση αποτελούν pixel τα οποία στην προεπεξεργασία που κάναμε, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει και τις κηλιδώσεις ως πλοία. Η μία από τις λάθος ανιχνεύσεις μας οφείλεται σε ανίχνευση ίχνους. Το πλοίο πιθανόν να βρισκόταν εν κινήσει και καθώς το ίχνος των πλοίων προκαλεί κυματισμό, τα ραντάρ λόγω της μεγαλύτερης οπισθοσκέδασης απεικονίζουν την περιοχή με φωτεινότερη απόχρωση του γκρι, με αποτέλεσμα το εργαλείο μας να εκλάβει ως πλοίο, το ίχνος του πλοίου. Ακόμα, παρατηρήσαμε και δύο επαναλήψεις τις οποίες απεικονίσαμε με μπλε χρώμα, όταν δηλαδή το εργαλείο μας βάζει πάνω από δύο κύκλους ανίχνευσης πάνω σε ένα πλοίο.

Η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 4 έως 6 μέτρα το δευτερόλεπτο στην κλίμακα Beaufort το οποίο αντιστοιχεί σε 3 και ο άνεμος χαρακτηρίζεται ασθενής.

Επίσης, η διεύθυνση του ανέμου είναι από 270° έως 300° δηλαδή δυτική – βορειοδυτική.

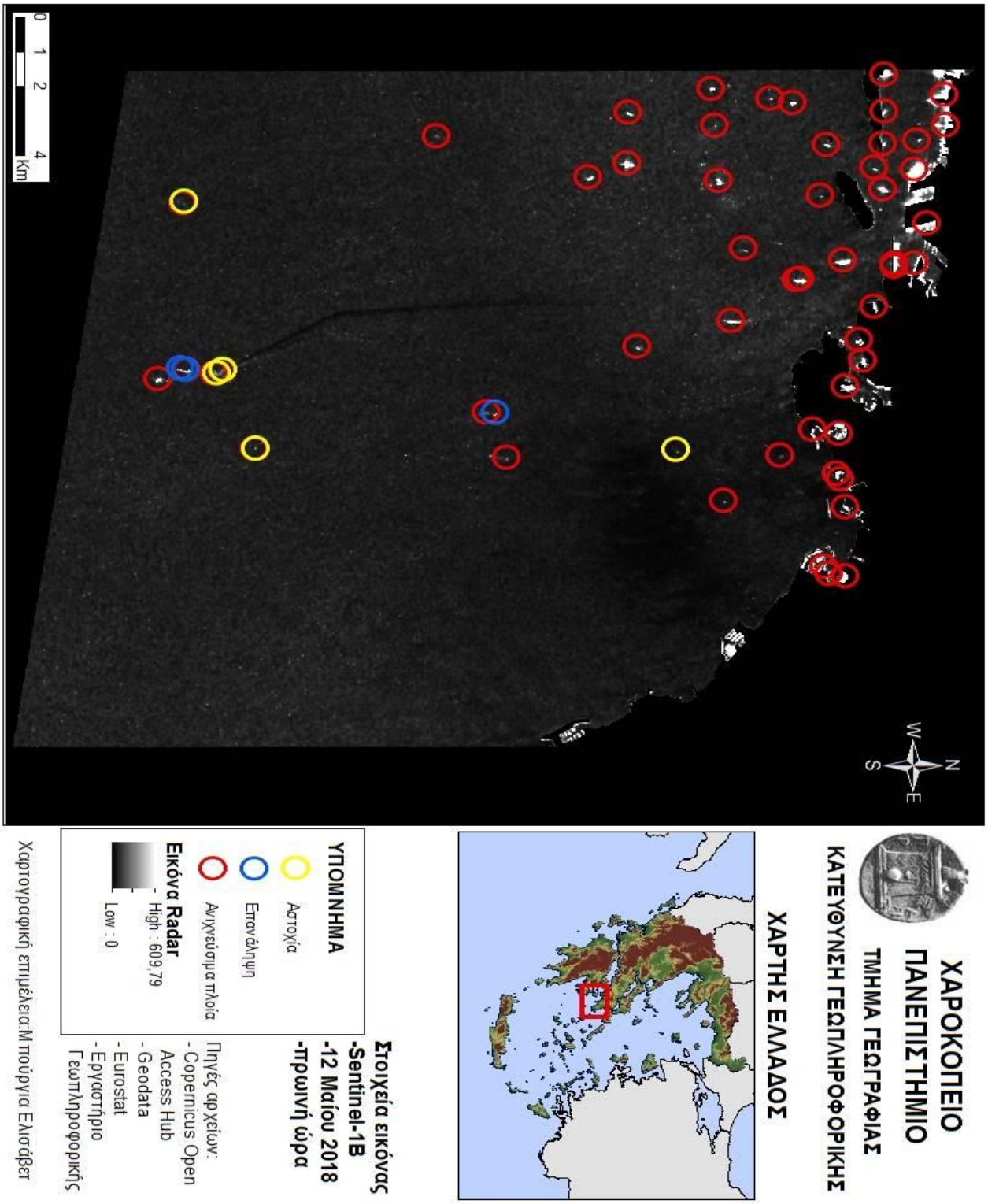
Με αυτά τα δυο στοιχεία και έπειτα από παρατήρηση των πλοίων, όσων είναι διακριτά σε μεγάλη μεγέθυνση, διαπιστώσαμε ότι στην πλειοψηφία αυτών, έχει επηρεαστεί ο προσανατολισμός τους, τουλάχιστον όσων είναι αγκυροβολημένα διότι τα εν κινήσει πλοία έχουν προκαθορισμένο προσανατολισμό. Παρά του ότι ο άνεμός μας εκείνη την ημέρα είναι ασθενής, τα αγκυροβολημένα πλοία έχουν επηρεαστεί και συμβαδίζουν με την διεύθυνση του ανέμου.

Παρατηρήσαμε επίσης, ότι την πρώτη ημέρα, από την πρωινή στη βραδινή ώρα δεν είχαμε μεταβολή στην ταχύτητα του ανέμου αλλά μία μικρή μεταβολή στη διεύθυνση του ανέμου. Συγκρίνοντας τις δύο ώρες της ημέρας, παρατηρούμε ακόμα, αρκετά ανιχνεύσιμα πλοία, όπως επίσης και ότι δεν είχαμε μεγάλη μεταβολή στο πλήθος των πλοίων όσον αφορά την κινητικότητα στο λιμάνι του Πειραιά.

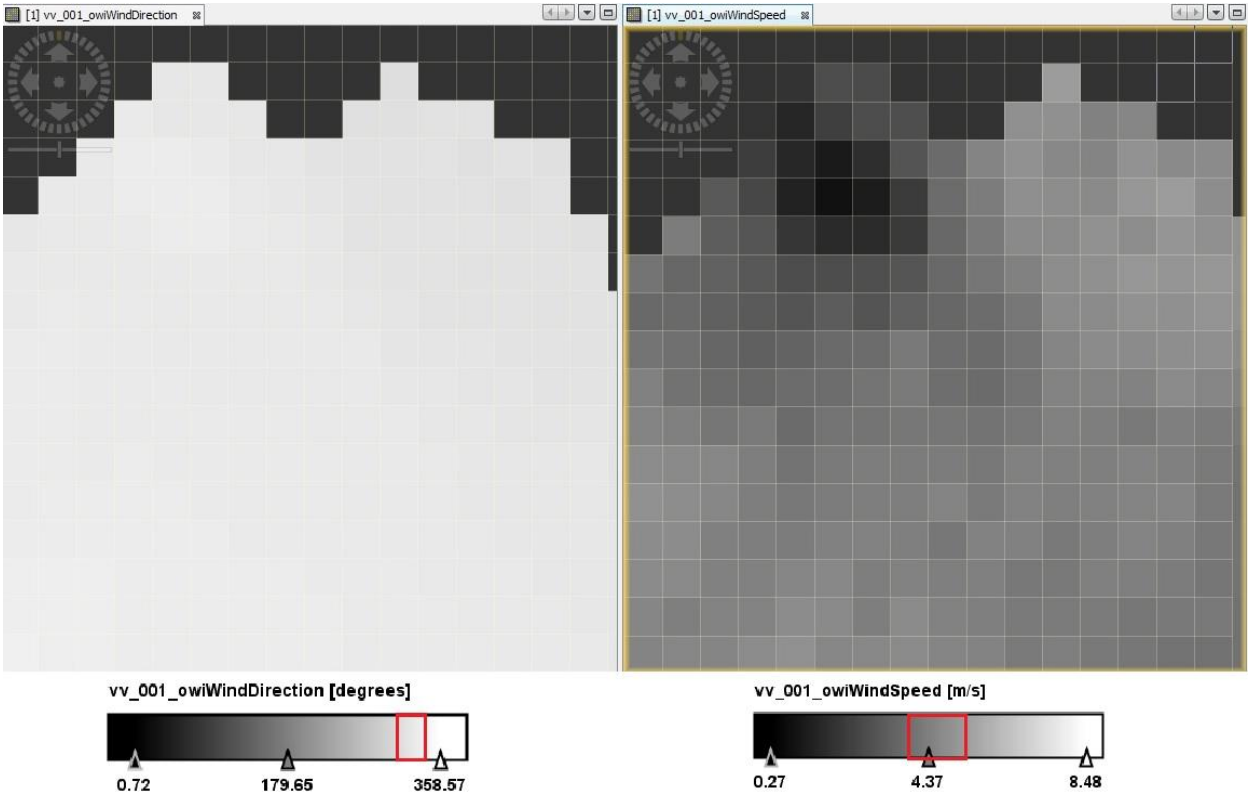
Εν κατακλείδι, είναι εμφανές στην εικόνα Radar μας ένα φαινόμενο το οποίο έχει έντονη οπισθοσκέδαση και έχουμε ένα μεγάλο πλήθος φωτεινών κηλιδώσεων. Ακριβώς το ίδιο φαινόμενο όμως παρατηρήσαμε την ίδια ημερομηνία και σε οπτική εικόνα την οποία αποκτήσαμε από το Google Earth. Αυτό το φαινόμενο απεικονίζεται στην εικόνα 26.

Sentinel-1B

12 Μαΐου 2018, πρωινή ώρα (04:30 UTC + 3:00)



Εικόνα 27: Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων, στις 12/05/2018, πρωινή ώρα, καθοδική τροχιά



Εικόνα 28: Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 12/05/2018, πρωινή ώρα

Την πρωινή ώρα στις 12 Μαΐου υπάρχει συνωστισμός πλοίων στον Σαρωνικό Κόλπο με λιγότερες αυτή την φορά άστοχες ανιχνεύσεις, συγκεκριμένα διακρίναμε πέντε. Επίσης, διακρίναμε και δύο επαναλήψεις. Αναλυτικότερα, με κόκκινο χρώμα έχουμε απεικονίσει στον χάρτη μας τα εύστοχα ανιχνεύσιμα πλοία από το πρόγραμμα SNAP. Με κίτρινο χρώμα απεικονίσαμε τις άστοχες ανιχνεύσεις, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση οι τρεις εκ των πέντε αποτελούν pixel τα οποία στην προεπεξεργασία που κάναμε, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει και τις κηλιδώσεις ως πλοία. Οι δύο από τις λάθος ανιχνεύσεις μας οφείλεται σε ανίχνευση ίχνους. Το πλοίο πιθανόν να βρισκόταν εν κινήσει και καθώς το ίχνος των πλοίων προκαλεί κυματισμό, τα ραντάρ λόγω της μεγαλύτερης οπισθοσκέδασης απεικονίζουν την περιοχή με φωτεινότερη απόχρωση του γκρι με αποτέλεσμα το εργαλείο μας να εκλάβει ως πλοίο, το ίχνος του πλοίου. Ακόμα, παρατηρήσαμε και δύο επαναλήψεις τις οποίες απεικονίσαμε με μπλε χρώμα, όταν δηλαδή το εργαλείο μας βάζει πάνω από δύο κύκλους ανίχνευσης πάνω σε ένα πλοίο.

Εκείνη την χρονική στιγμή λοιπόν, διαπιστώσαμε ότι η ταχύτητα του ανέμου κυμαινόταν από 4 έως 5 μέτρα το δευτερόλεπτο το οποίο αντιστοιχεί σε 3 Beaufort.

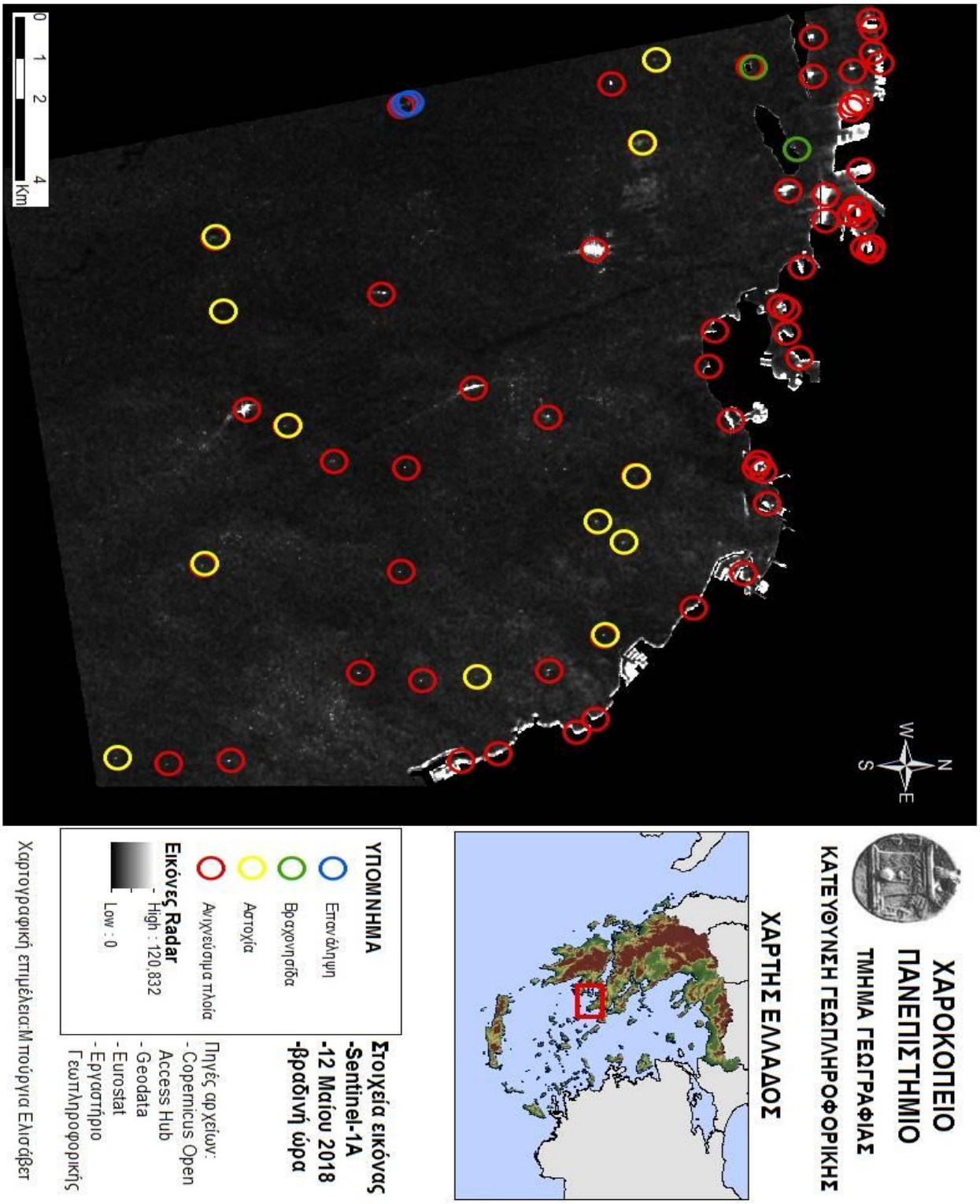
Η διεύθυνση του ανέμου κυμαίνεται από 310° έως 330° το οποίο σύμφωνα με το ανεμολόγιο ο άνεμος είναι βορειοδυτικός.

Με αυτά τα δυο στοιχεία και έπειτα από παρατήρηση των πλοίων, όσων είναι διακριτά σε μεγάλη μεγέθυνση, διαπιστώσαμε ότι στην πλειοψηφία αυτών, έχει επηρεαστεί ο προσανατολισμός τους, καθώς κατά κύριο λόγο είναι στραμμένα προς τον βορρά και προς τα βορειοδυτικά, τουλάχιστον όσων είναι αγκυροβολημένα διότι τα εν κινήσει πλοία έχουν προκαθορισμένο προσανατολισμό.

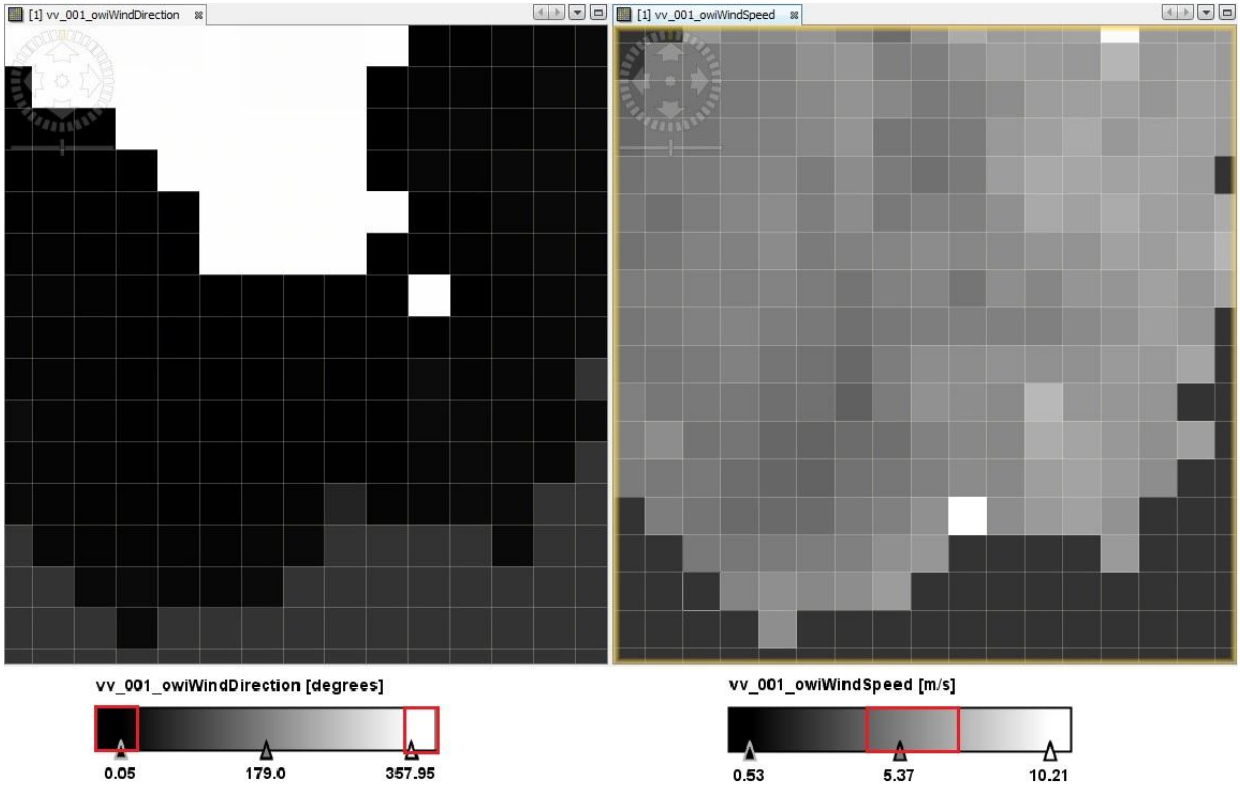
Ακόμη, παρατηρήσαμε στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης μας, ένα μαύρο ίχνος πλοίου με μεγάλη έκταση το οποίο υποθέτουμε ότι είναι παράνομη ρίψη πετρελαίου ή ρύπων από το πλοίο.

Sentinel-1A

12 Μαΐου 2018, βραδινή ώρα (16:23 UTC + 3:00)



Εικόνα 29: Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις, στις 12/05/2018, βραδινή ώρα, ανοδική τροχιά



Εικόνα 30: Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 12/05/2018, βραδινή ώρα

Στην δεύτερη ημερομηνία που μελετήσαμε, όπως φαίνεται και στο υπόμνημα, διαπιστώσαμε ότι με την επεξεργασία της ανίχνευσης πλοίων δεν πήραμε ούτε εδώ ένα ακριβές αποτέλεσμα, καθώς στην συγκεκριμένη εικόνα ανιχνεύτηκαν βραχονησίδες αντί για πλοία, περίπου 12 ανιχνεύσεις δεν ευσταθούν και υπάρχει και μια επανάληψη ανίχνευσης πάνω στο ίδιο πλοίο. Αναλυτικότερα, με κόκκινο χρώμα έχουμε απεικονίσει στον χάρτη μας τα εύστοχα ανιχνεύσιμα πλοία από το πρόγραμμα SNAP. Με κίτρινο χρώμα απεικονίσαμε τις άστοχες ανιχνεύσεις, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε 12 και αποτελούν pixel τα οποία στην προεπεξεργασία που κάναμε, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει και τις κηλιδώσεις ως πλοία. Ακόμα, παρατηρήσαμε και μια επανάληψη την οποία απεικονίσαμε με μπλε χρώμα, όταν δηλαδή το εργαλείο μας βάζει πάνω από δύο κύκλους ανίχνευσης πάνω σε ένα πλοίο. Εδώ ήταν η πρώτη μας εικόνα, που το εργαλείο ανίχνευσης πλοίων, αναγνώρισε ένα τμήμα των βραχονησίδων που έχουμε στην περιοχή μελέτης μας, ως πλοίο, παρά το γεγονός ότι έχουμε διαχωρίσει με μάσκα την στεριά

από την θάλασσα. Αυτή την λανθασμένη ανίχνευση λοιπόν την απεικονίσαμε με πράσινο χρώμα.

Σε αυτή την εικόνα διακρίνεται πλήθος πλοίων στην περιοχή του Σαρωνικού και εδώ είναι εμφανές σε κάποια πλοία και το ίχνος τους, όπου και συμπεραίνουμε ότι είναι εν κινήσει. Στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 4 έως 7 μέτρα το δευτερόλεπτο, το οποίο σε κλίμακα Beaufort αντιστοιχεί σε 3 με 4 που σημαίνει ότι ο άνεμος είναι και εδώ ασθενής.

Ακόμη, η διεύθυνση του ανέμου είναι από τις 350° έως τις 10° δηλαδή είναι Βόρειος.

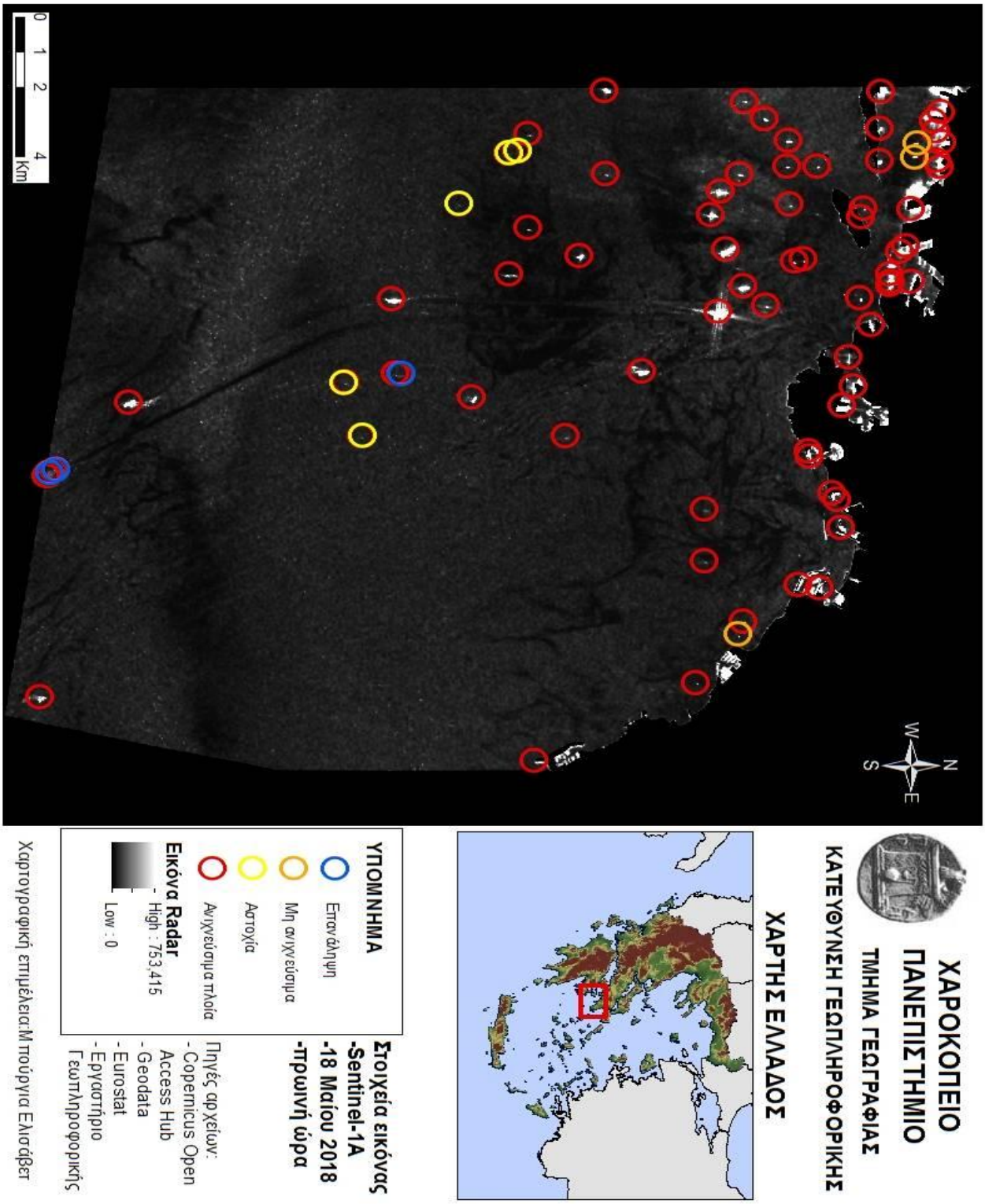
Παρατηρούμε λοιπόν, ότι τα εν κινήσει πλοία εκ των πραγμάτων έχουν πορεία προς τον βορρά για να εισέλθουν στο λιμάνι, αλλά και τα αγκυροβολημένα έχουν βόρεια διεύθυνση παρά τον ασθενή άνεμο που θα μπορούσε να μην τα επηρεάσει.

Παρατηρήσαμε επίσης, ότι την δεύτερη ημέρα, από την πρωινή στη βραδινή ώρα είχαμε μία μικρή μεταβολή στην ταχύτητα του ανέμου, της τάξεως του ενός Beaufort αλλά μία μικρή μεταβολή στη διεύθυνση του ανέμου από Βορειοδυτική σε Βόρεια.

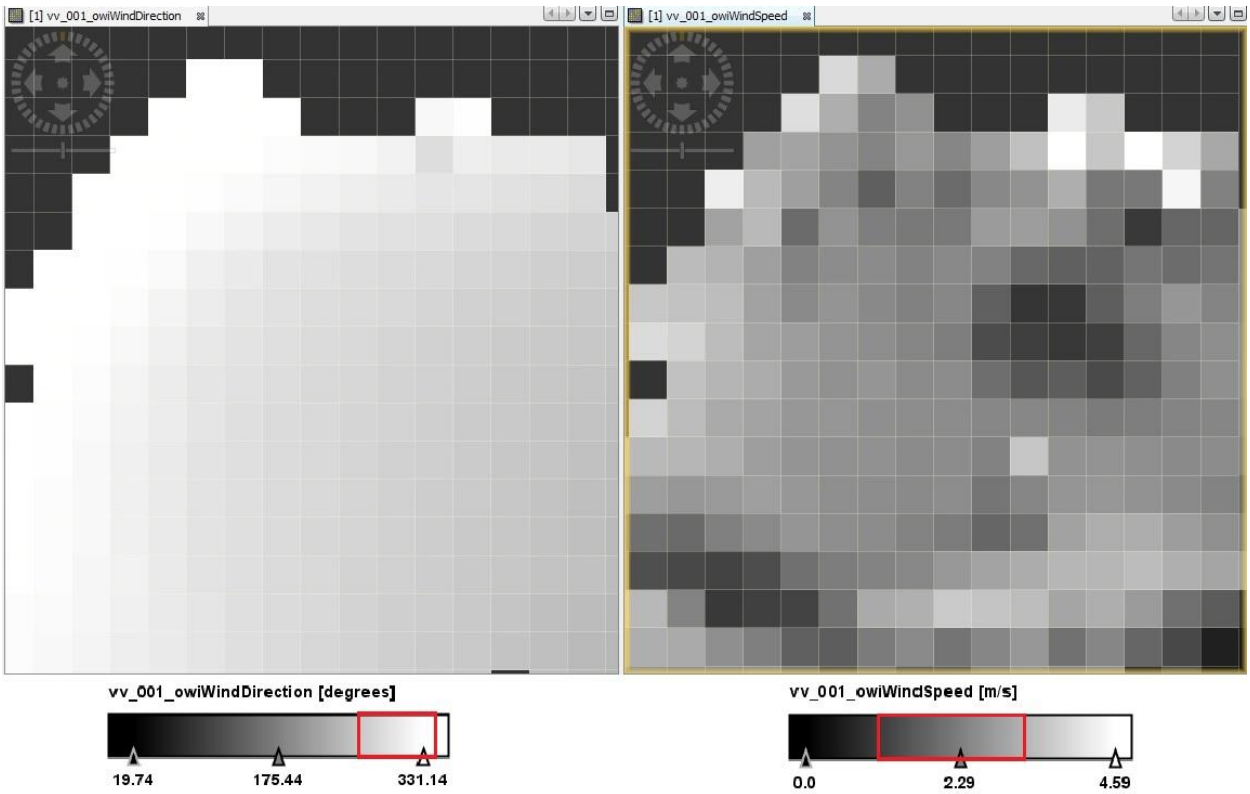
Τέλος, όπως βλέπουμε συγκρίνοντας τις δύο ώρες της δεύτερης ημέρας, παρατηρούμε αρκετά ανιχνεύσιμα πλοία, όπως επίσης και ότι δεν είχαμε μεγάλη μεταβολή στο πλήθος των πλοίων όσον αφορά την κινητικότητα στο λιμάνι του Πειραιά. Αυτό που αλλάζει όμως είναι η κατανομή των πλοίων καθώς την πρωινή ώρα είναι συγκεντρωμένα στο βόρειο τμήμα της εικόνας μας, σε σχέση με την βραδινή εικόνα που είναι πιο διασκορπισμένα στην περιοχή μελέτης μας.

Sentinel-1A

18 Μαΐου 2018, πρωινή ώρα (04:31 UTC + 3:00)



Εικόνα 31: Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις πλοίων, στις 18/05/2018, πρωινή ώρα, καθοδική τροχιά



Εικόνα 32: Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 18/05/2018, πρωινή ώρα

Σε αυτή την εικόνα ενώ έχουμε μεγάλο πλήθος πλοίων, έχουμε μόλις 5 άστοχες ανιχνεύσεις, δύο επαναλήψεις και τρία πλοία που δεν ανιχνεύτηκαν. Αναλυτικότερα, με κόκκινο χρώμα έχουμε απεικονίσει στον χάρτη μας τα εύστοχα ανιχνεύσιμα πλοία από το πρόγραμμα SNAP. Με κίτρινο χρώμα απεικονίσαμε τις άστοχες ανιχνεύσεις όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε 5 και αποτελούν pixel τα οποία στην προεπεξεργασία που κάναμε, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει και τις κηλιδώσεις ως πλοία. Επίσης, κοντά στην στεριά, βορειοδυτικά της εικόνας μας, αλλά και βορειανατολικά με πορτοκαλί χρώμα έχουμε στιγματίσει δύο πλοία και ένα αντίστοιχα, τα οποία δεν ανιχνεύτηκαν στην επεξεργασία μας ως πλοία. Ακόμα, παρατηρήσαμε και δύο επαναλήψεις. Με μπλε λοιπόν χρώμα, απεικονίσαμε το φαινόμενο της επανάληψης, όταν δηλαδή το εργαλείο μας βάζει πάνω από δύο κύκλους ανίχνευσης πάνω σε ένα πλοίο.

Η ταχύτητα του ανέμου στις 18 Μαΐου κυμαίνεται από 1 έως 3 μέτρα το δευτερόλεπτο, το οποίο ισούται από 1 έως 2 Beaufort. Ο άνεμός μας λοιπόν σε αυτή την εικόνα χαρακτηρίζεται πολύ ασθενής.

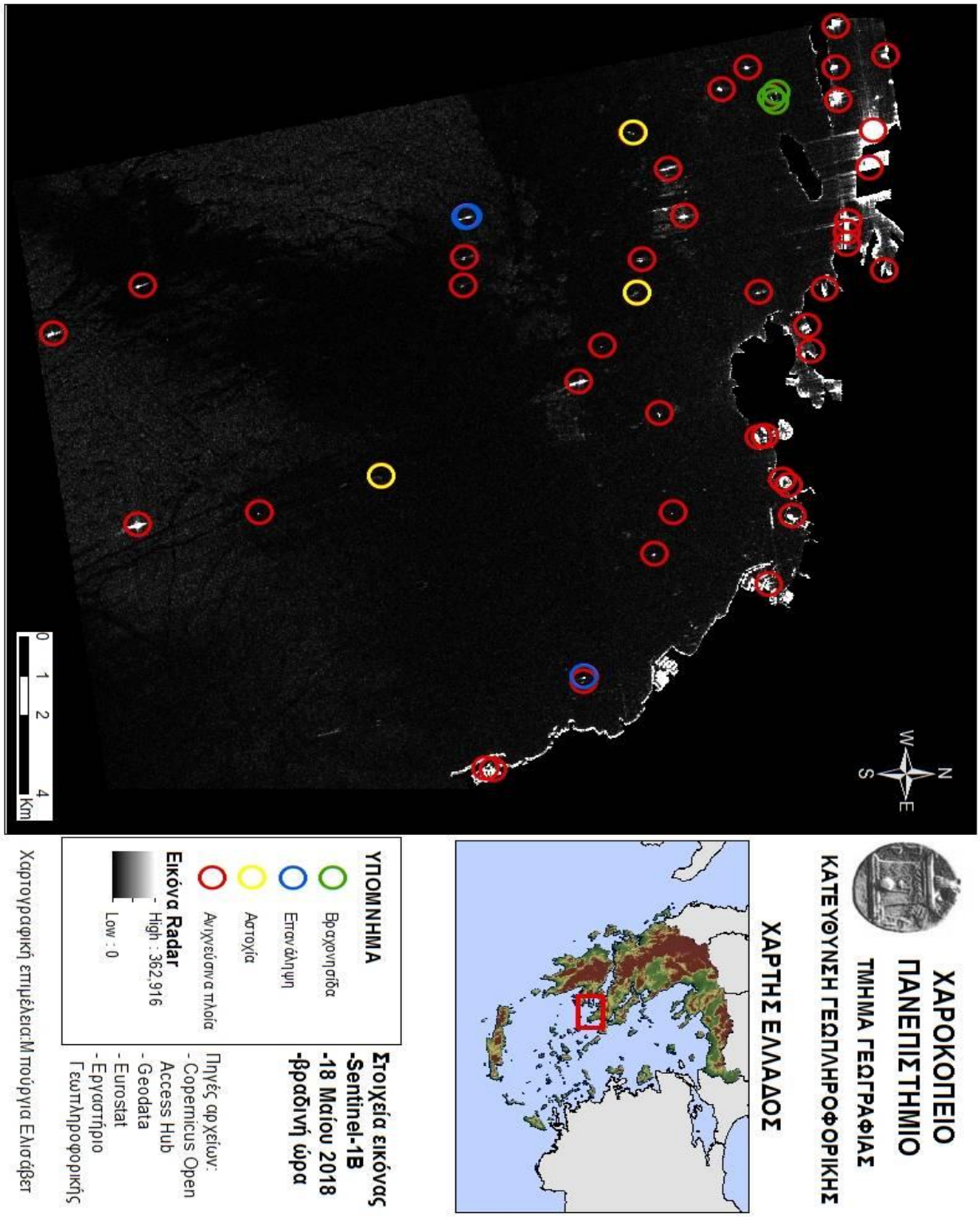
Η διεύθυνση του ανέμου έχει ένα εύρος από 250° έως 340°, δηλαδή είναι δυτική ή βορειοδυτική.

Με αυτά τα δυο στοιχεία και έπειτα από παρατήρηση των πλοίων, όσων είναι διακριτά σε μεγάλη μεγέθυνση, διαπιστώσαμε ότι τα εν κινήσει πλοία δεν επηρεάζονται από τον άνεμο και σε όσα δεν διακρίνουμε το ίχνος τους, η πλειοψηφία αυτών, είτε είναι στραμμένα προς τον βορρά είτε έχουν μια βορειοδυτική κλίση. Έτσι, κατά κύριο λόγο αν και ο άνεμος είναι αμελητέος, τα πλοία επηρεάζονται και παίρνουν την ίδια διεύθυνση.

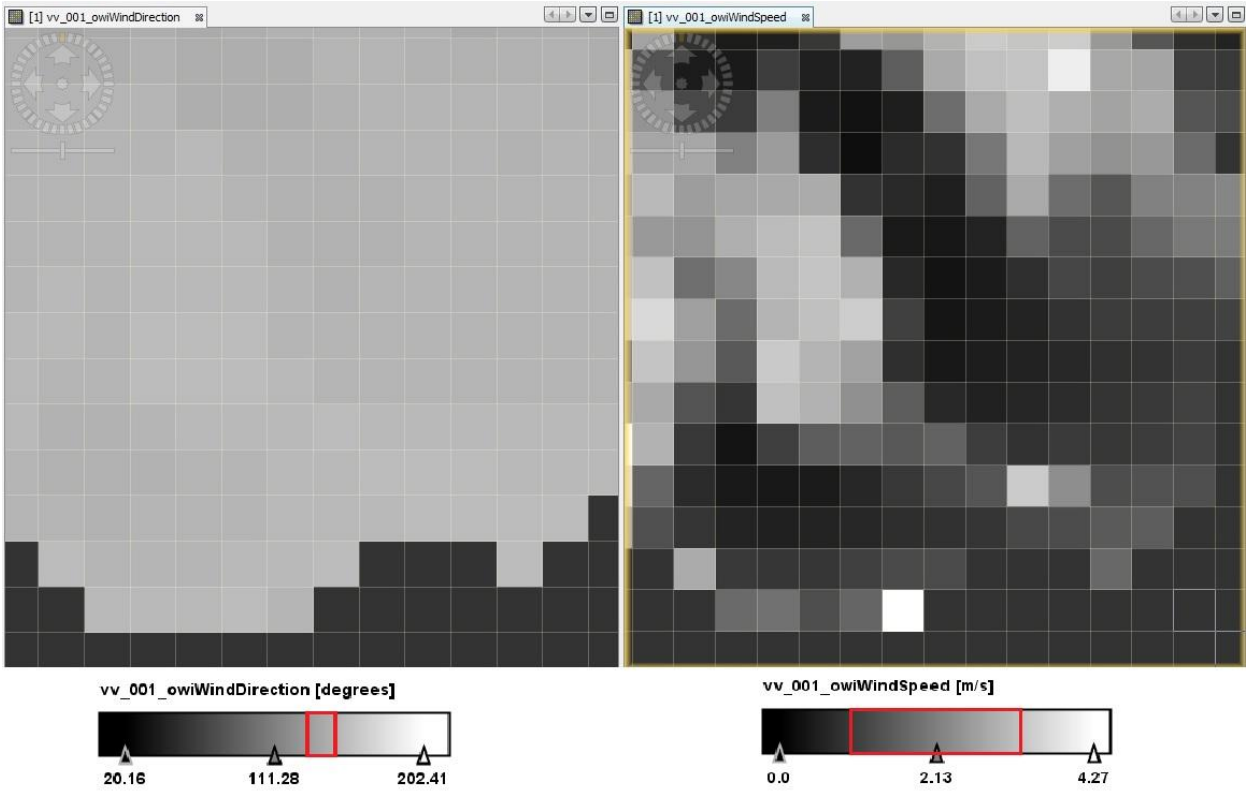
Ακόμη, παρατηρήσαμε στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης μας, ένα μαύρο ίχνος πλοίου με μεγάλη έκταση το οποίο υποθέτουμε ότι είναι παράνομη ρίψη πετρελαίου ή ρύπων από το πλοίο.

Sentinel-1B

18 Μαΐου 2018, βραδινή ώρα (16:22 UTC + 3:00)



Εικόνα 33: Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις, στις 18/05/2018, βραδινή ώρα, ανοδική τροχιά



Εικόνα 34: Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 18/05/2018, βραδινή ώρα

Παρατηρώντας την εικόνας της 18^{ης} ημέρας του Μαΐου, την βραδινή ώρα, διακρίνεται μικρότερο πλήθος πλοίων με τουλάχιστον 3 άστοχες ανιχνεύσεις, 2 επαναλήψεις και μία ανίχνευση βραχονησίδας. Αναλυτικότερα, με κόκκινο χρώμα έχουμε απεικονίσει στον χάρτη μας τα εύστοχα ανιχνεύσιμα πλοία από το πρόγραμμα SNAP. Με κίτρινο χρώμα απεικονίσαμε τις άστοχες ανιχνεύσεις, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε τουλάχιστον τρεις και αποτελούν pixel τα οποία στην προεπεξεργασία που κάναμε, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει και τις κηλιδώσεις ως πλοία. Ακόμα, παρατηρήσαμε και δυο επαναλήψεις τις οποίες απεικονίσαμε με μπλε χρώμα, όταν δηλαδή το εργαλείο μας βάζει πάνω από δύο κύκλους ανίχνευσης πάνω σε ένα πλοίο. Επίσης, για ακόμα μία φορά, το εργαλείο ανίχνευσης πλοίων, αναγνώρισε ένα τμήμα της μίας από τις βραχονησίδες που έχουμε στην περιοχή μελέτης μας, ως πλοίο, παρά το γεγονός ότι έχουμε διαχωρίσει με μάσκα την στεριά από την θάλασσα. Αυτή την λανθασμένη ανίχνευση λοιπόν την απεικονίσαμε με πράσινο χρώμα.

Σε αυτή την εικόνα, όπως και στην πρωινή λήψη, η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 1 έως 3 μέτρα το δευτερόλεπτο, το οποίο και ισούται από 1 έως 2 Beaufort. Ο άνεμός μας και σε αυτή την εικόνα χαρακτηρίζεται ως πολύ ασθενής.

Η διεύθυνση του ανέμου όμως έχει αλλάξει και είναι από 140° έως 160° δηλαδή έπνεε Νοτιοανατολικός άνεμος.

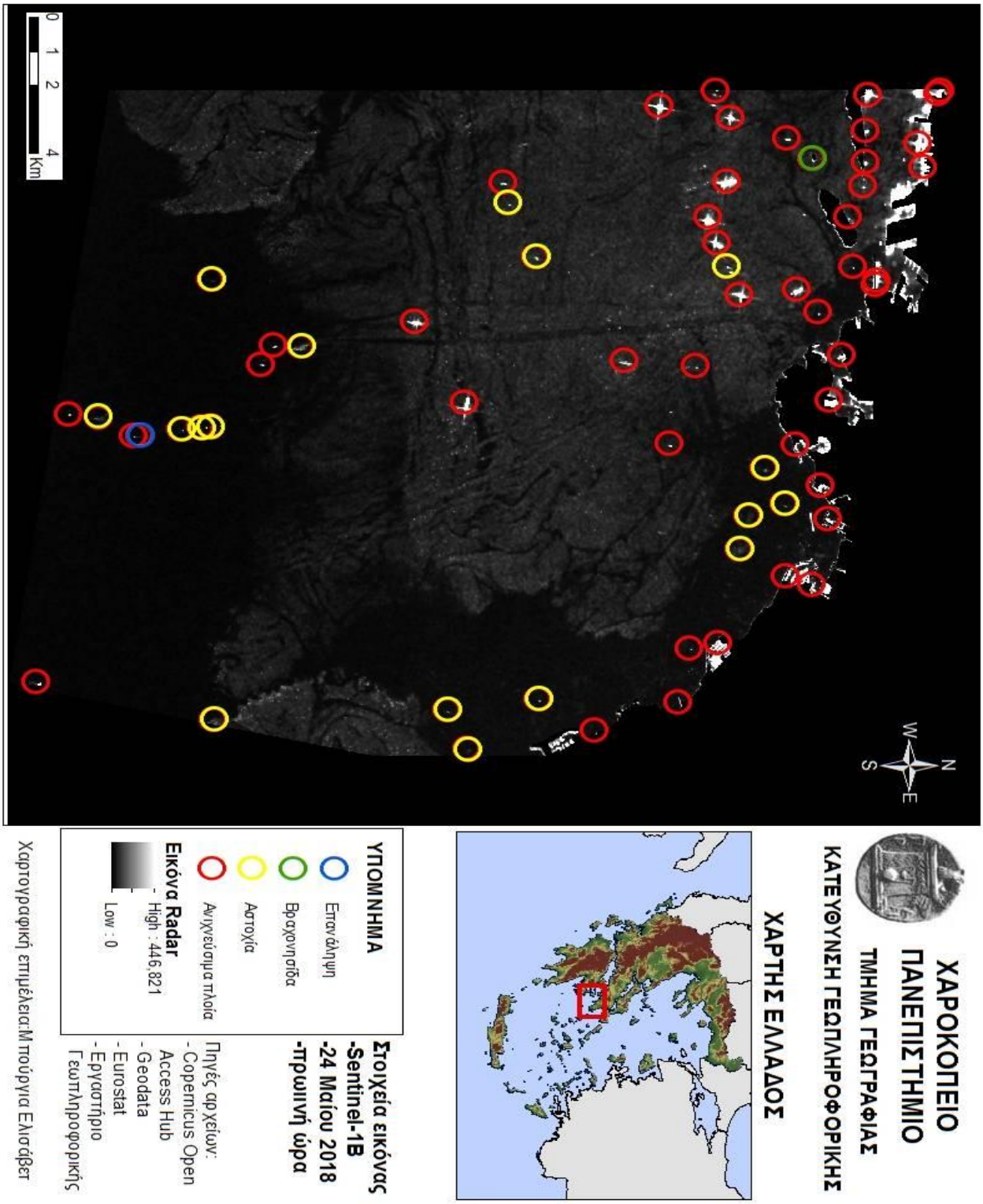
Παρατηρούμε λοιπόν, ότι αν και πολύ ασθενής ο άνεμος, σχεδόν όλα τα πλοία συμβαδίζουν με την νοτιοανατολική φορά του ανέμου εκτός από τρία κοντά στο λιμάνι του Πειραιά.

Παρατηρήσαμε επίσης, ότι την τρίτη ημέρα, από την πρωινή στη βραδινή ώρα δεν είχαμε μεταβολή στην ταχύτητα του ανέμου, αλλά είχαμε μεταβολή στη διεύθυνση του ανέμου από Βορειοδυτική σε Νοτιοανατολική.

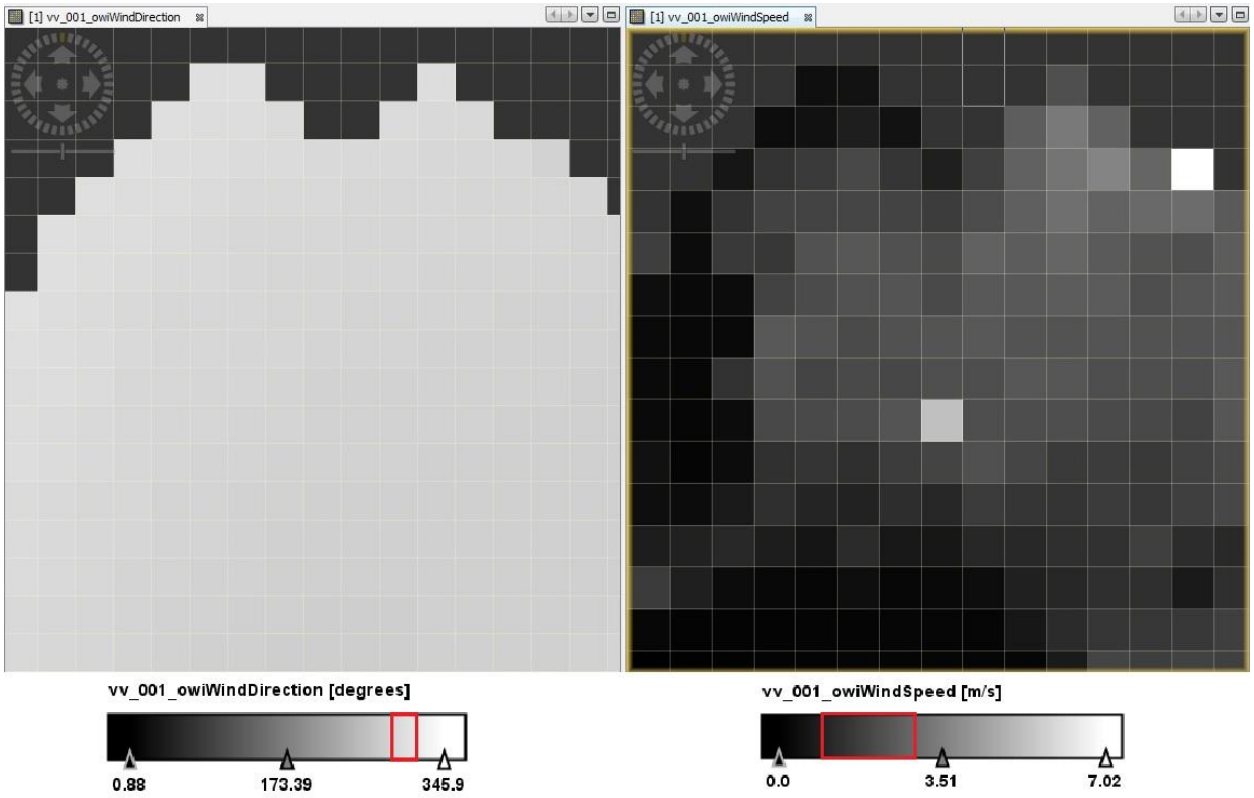
Τέλος, όπως βλέπουμε συγκρίνοντας τις δύο ώρες της τρίτης ημέρας, παρατηρούμε ότι η κινητικότητα έξω από το λιμάνι του Πειραιά είναι εμφανώς μεγαλύτερη την πρωινή από την βραδινή ώρα.

Sentinel-1B

24 Μαΐου 2018, πρωινή ώρα (04:30 UTC + 3:00)



Εικόνα 35: Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις, στις 24/05/2018, πρωινή ώρα, καθοδική τροχιά



Εικόνα 36: Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 24/05/2018, πρωινή ώρα

Σε αυτή την διαδικασία ανίχνευσης, όπως είναι ευδιάκριτο, το ποσοστό αστοχίας είναι αρκετά μεγάλο καθώς έχουμε τουλάχιστον 17 άστοχες ανιχνεύσεις, μια επανάληψη και μια ανίχνευση βραχονησίδας. Αναλυτικότερα, με κόκκινο χρώμα έχουμε απεικονίσει στον χάρτη μας τα εύστοχα ανιχνεύσιμα πλοία από το πρόγραμμα SNAP. Με κίτρινο χρώμα απεικονίσαμε τις άστοχες ανιχνεύσεις, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση οι 13 εκ των οποίων αποτελούν pixel τα οποία στην προεπεξεργασία που κάναμε, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει και τις κηλιδώσεις ως πλοία. Οι υπόλοιπες 4 από τις άστοχες ανιχνεύσεις μας οφείλεται σε ανίχνευση ίχνους. Το πλοίο πιθανόν να βρισκόταν εν κινήσει και καθώς το ίχνος των πλοίων προκαλεί κυματισμό, τα ραντάρ λόγω της μεγαλύτερης ανάκλασης απεικονίζουν την περιοχή με φωτεινότερη απόχρωση του γκρι με αποτέλεσμα το εργαλείο μας να εκλάβει ως πλοίο, το ίχνος του πλοίου. Ακόμα, παρατηρήσαμε και μια επανάληψη την οποία απεικονίσαμε με μπλε χρώμα, όταν δηλαδή το εργαλείο μας βάζει πάνω από δύο κύκλους ανίχνευσης πάνω σε ένα πλοίο. Επίσης, το εργαλείο ανίχνευσης πλοίων,

αναγνώρισε ένα τμήμα της μίας από τις βραχονησίδες που έχουμε στην περιοχή μελέτης μας, ως πλοίο, παρά το γεγονός ότι έχουμε διαχωρίσει με μάσκα την στεριά από την θάλασσα. Αυτή την λανθασμένη ανίχνευση λοιπόν την απεικονίσαμε με πράσινο χρώμα.

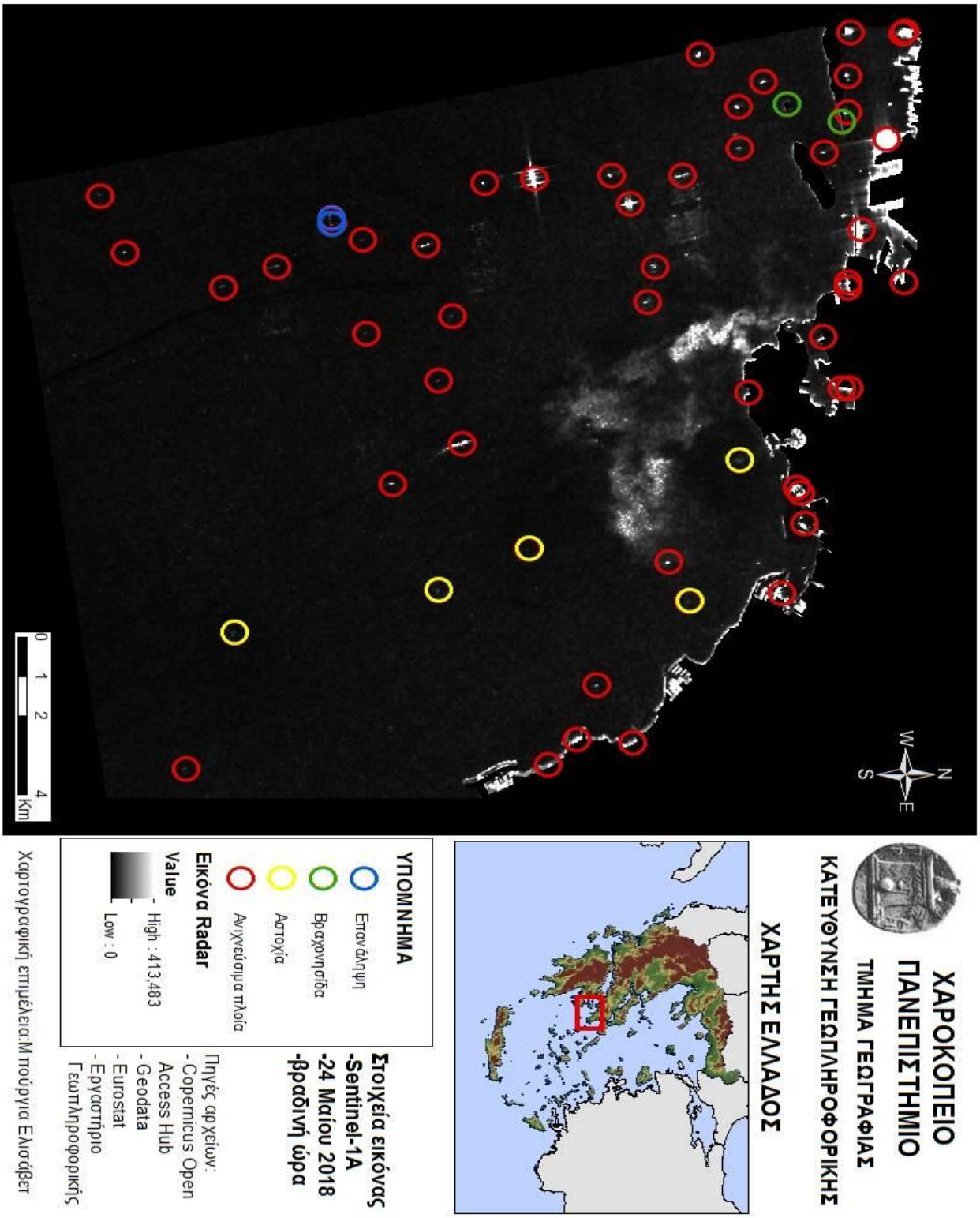
Όσον αφορά τα δεδομένα ανέμου, η ταχύτητά του κυμαίνεται από 1 έως 3 μέτρα το δευτερόλεπτο, το οποίο αντιστοιχεί σε 1 με 2 Beaufort και ο άνεμος χαρακτηρίζεται ως πολύ ασθενής.

Επίσης, η διεύθυνση του ανέμου είναι από 280° έως 300° δηλαδή έπνεε βορειοδυτικός άνεμος.

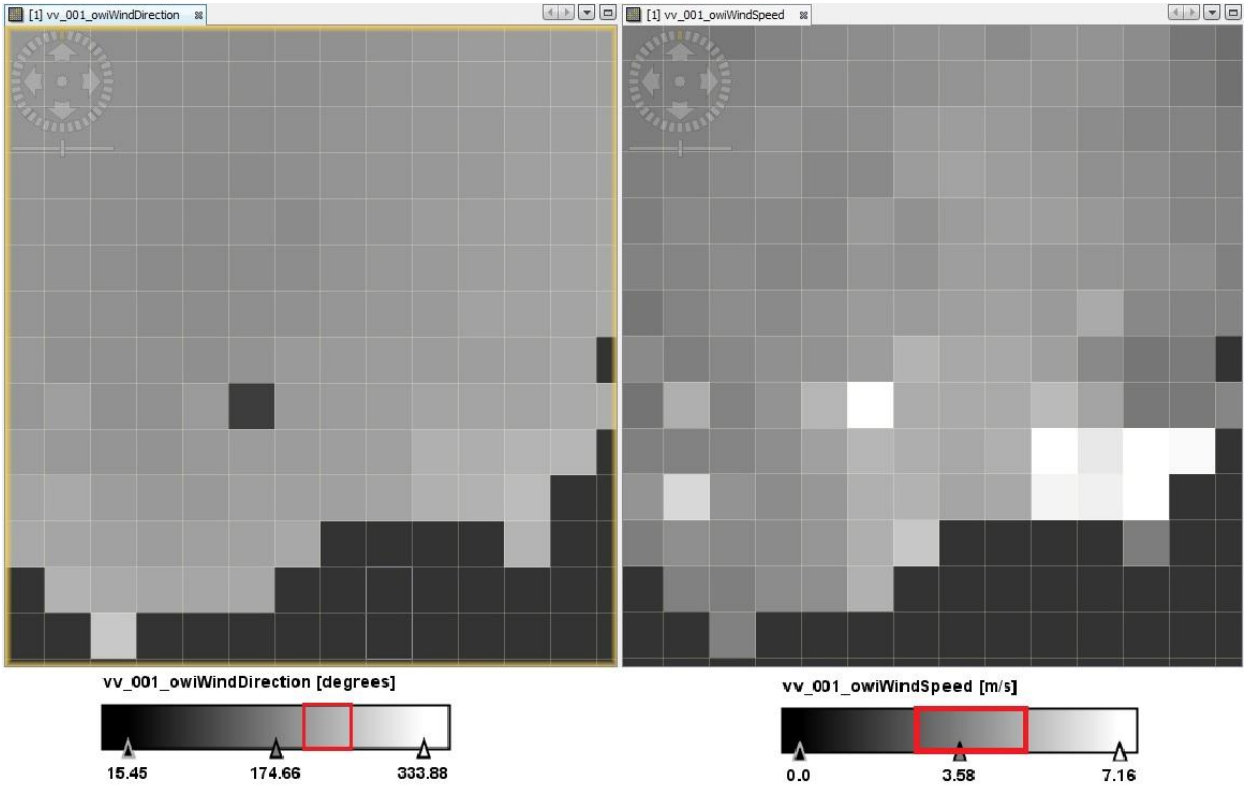
Με αυτά τα δυο στοιχεία και έπειτα από παρατήρηση των πλοίων, όσων είναι διακριτά σε μεγάλη μεγέθυνση, διαπιστώσαμε ότι στην πλειοψηφία αυτών, δεν έχει επηρεαστεί ο προσανατολισμός τους, τουλάχιστον όσων είναι αγκυροβολημένα διότι τα εν κινήσει πλοία έχουν προκαθορισμένο προσανατολισμό. Εφόσον λοιπόν δεν διακρίνεται κάποιο ίχνος πίσω από αυτά τα πλοία, υποθέτουμε ότι είναι αγκυροβολημένα στην πλειοψηφία τουλάχιστον αυτών και η κατεύθυνσή τους δεν συμβαδίζει με τον προσανατολισμό του ανέμου, παρά το μεγάλο πλήθος πλοίων που διακρίνουμε. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην πολύ μικρή ένταση ανέμου που είχαμε εκείνη την ημέρα, παρ όλα αυτά την ίδια ημέρα, με την ίδια ένταση ανέμου, την βραδινή ώρα όπως θα δούμε παρακάτω, τα πλοία μας ταυτίζονται με τον άνεμο.

Sentinel-1A

24 Μαΐου 2018, βραδινή ώρα (16:23 UTC + 3:00)



Εικόνα 37: Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις, στις 24/05/2018, βραδινή ώρα, ανοδική τροχιά



Εικόνα 38: Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 24/05/2018, βραδινή ώρα

Στις 24 Μαΐου, την δεδομένη στιγμή, παρατηρήσαμε 6 άστοχες ανιχνεύσεις, μια επανάληψη και δυο ανιχνεύσεις πάνω σε βραχονησίδα. Λόγω του πλήθους των πλοίων όμως είχαμε και αρκετές εύστοχες ανιχνεύσεις. Αναλυτικότερα, με κόκκινο χρώμα έχουμε απεικονίσει στον χάρτη μας τα εύστοχα ανιχνεύσιμα πλοία από το πρόγραμμα SNAP. Με κίτρινο χρώμα απεικονίσαμε τις άστοχες ανιχνεύσεις, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση και οι 6 αποτελούν pixel τα οποία στην προεπεξεργασία που κάναμε, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει και τις κηλιδώσεις ως πλοία. Ακόμα, παρατηρήσαμε και μια επανάληψη την οποία απεικονίσαμε με μπλε χρώμα, όταν δηλαδή το εργαλείο μας βάζει πάνω από δύο κύκλους ανίχνευσης πάνω σε ένα πλοίο. Επίσης, το εργαλείο ανίχνευσης πλοίων, αναγνώρισε ένα τμήμα της μίας από τις βραχονησίδες που έχουμε στην περιοχή μελέτης μας, αλλά και ένα τμήμα της Σαλαμίνας, ως πλοίο, παρά το γεγονός ότι έχουμε διαχωρίσει με μάσκα την στεριά από την θάλασσα. Αυτή την λανθασμένη ανίχνευση λοιπόν την απεικονίσαμε με πράσινο χρώμα.

Σε αυτή την εικόνα, η ταχύτητα του ανέμου κυμαινόταν πάλι σε μικρά επίπεδα. Αναλυτικότερα παρατηρήσαμε ότι είναι από 1 έως 3 μέτρα το δευτερόλεπτο, το οποίο στην κλίμακα Beaufort ισούται με 1 έως 2, δηλαδή επικρατεί σχεδόν άπνοια εναλλακτικά χαρακτηρίζουμε τον άνεμο ως πολύ ασθενή.

Η διεύθυνση του ανέμου είναι από τις 190° έως τις 230° το οποίο αντιστοιχεί σε Νοτιοδυτικό προσανατολισμό.

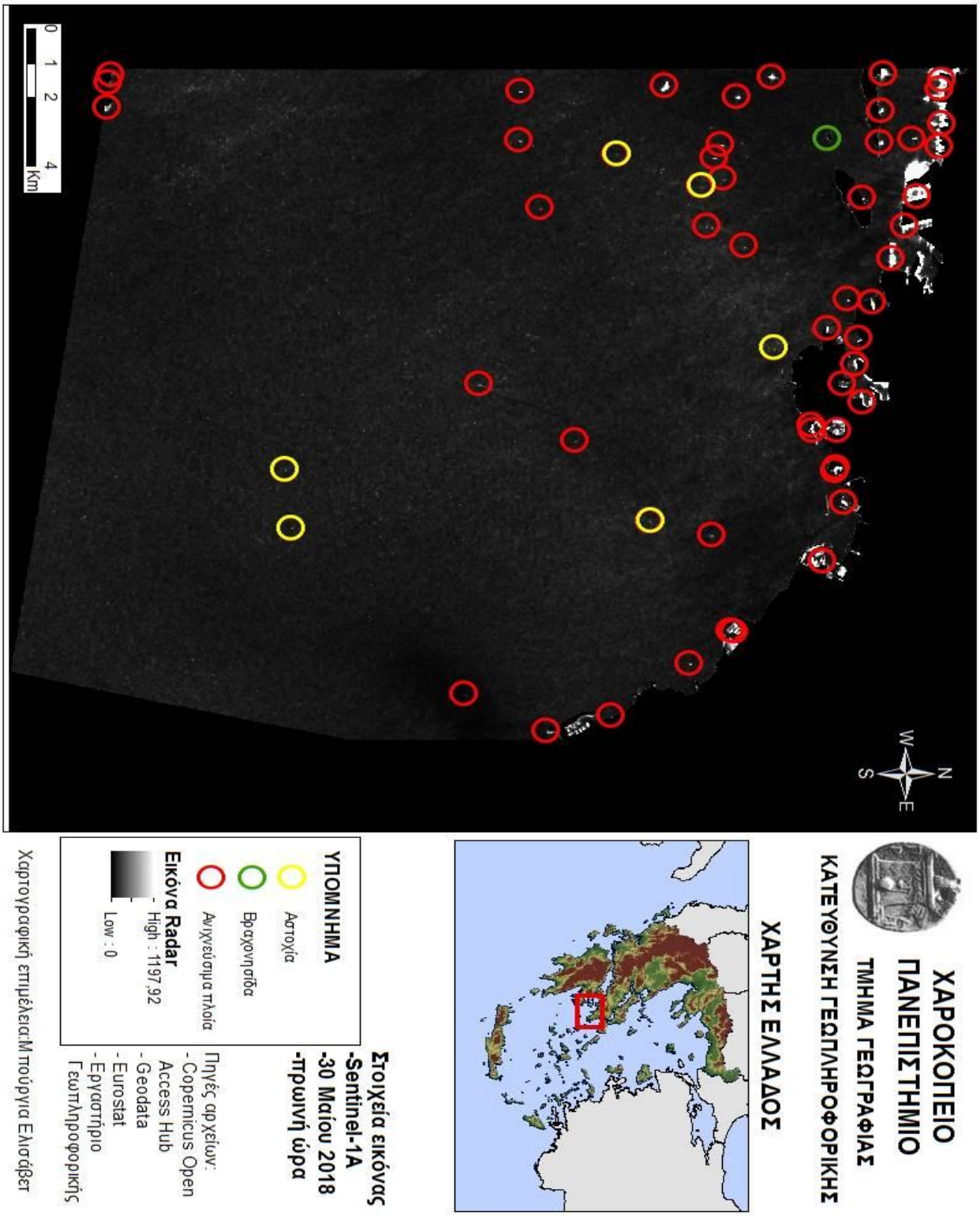
Με αυτά τα δυο στοιχεία και έπειτα από παρατήρηση των πλοίων, όσων είναι διακριτά σε μεγάλη μεγέθυνση, διαπιστώσαμε ότι στην πλειοψηφία αυτών, με εξαίρεση δύο πλοία, έχει επηρεαστεί ο προσανατολισμός τους, τουλάχιστον όσων είναι αγκυροβολημένα διότι τα εν κινήσει πλοία έχουν προκαθορισμένο προσανατολισμό. Εφόσον λοιπόν δεν διακρίνεται κάποιο ίχνος πίσω από αυτά τα πλοία, υποθέτουμε ότι είναι αγκυροβολημένα και διαπιστώνουμε ότι ο προσανατολισμός τους ταυτίζεται με την διεύθυνση του ανέμου.

Παρατηρήσαμε επίσης, ότι την τέταρτη ημέρα, από την πρωινή στη βραδινή ώρα δεν είχαμε μεταβολή στην ταχύτητα του ανέμου, αλλά είχαμε μεταβολή στη διεύθυνση του ανέμου από Βορειοδυτική σε Νοτιοδυτική.

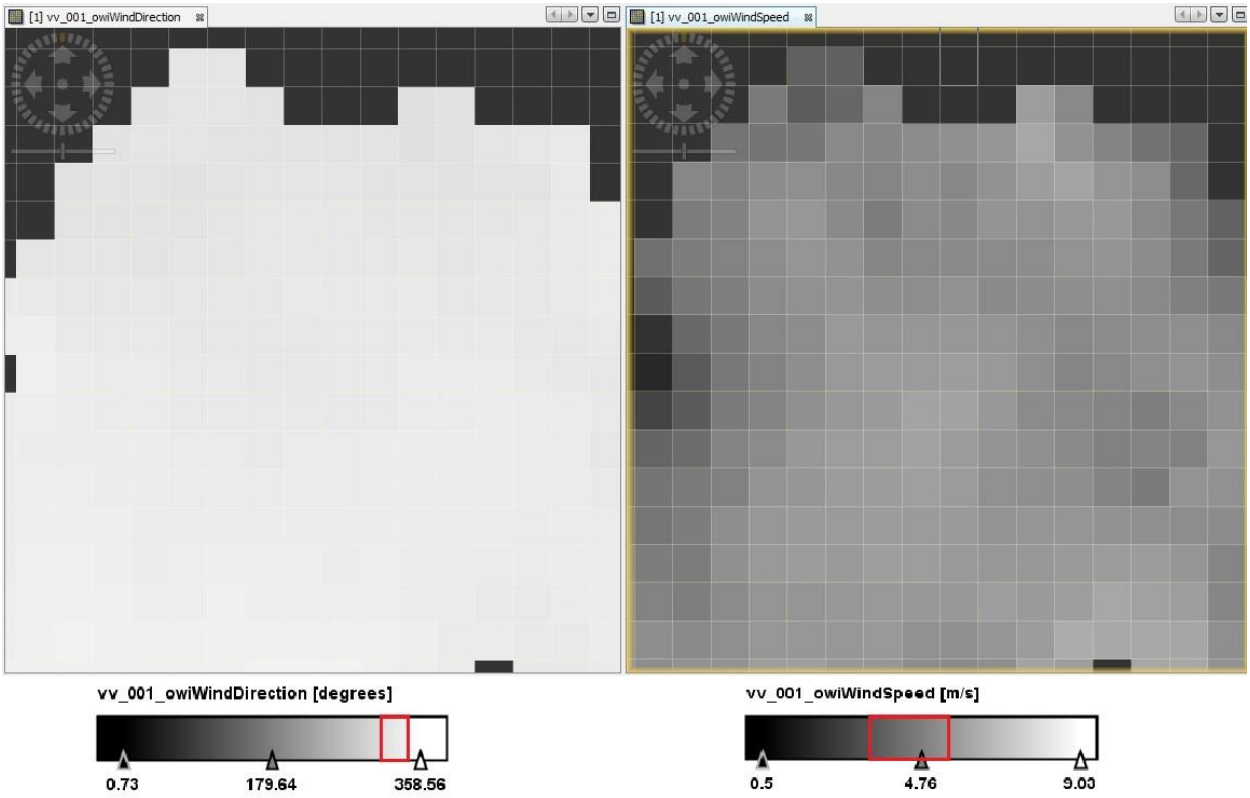
Τέλος, όπως βλέπουμε συγκρίνοντας τις δύο ώρες της τέταρτης ημέρας, παρατηρούμε ότι η κινητικότητα έξω από το λιμάνι του Πειραιά δεν διαφέρει αριθμητικά όσον αφορά τις έγκυρες ανιχνεύσεις όσο έχει να κάνει με τις άστοχες ανιχνεύσεις οι οποίες υπερτερούν την πρωινή ώρα.

Sentinel-1A

30 Μαΐου 2018, πρωινή ώρα (04:31 UTC + 3:00)



Εικόνα 39: Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις, στις 30/05/2018, πρωινή ώρα, καθοδική τροχιά



Εικόνα 40: Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 30/05/2018, πρωινή ώρα

Την πρωινή ώρα της τελευταίας ημέρας παρατήρησης, διαπιστώσαμε ότι ενώ ο αριθμός των άστοχων ανιχνεύσεων είναι μικρότερος, παρ' όλα αυτά το αποτέλεσμα που μας έδωσε η επεξεργασία της εικόνας δεν είναι ικανοποιητικό. Σε αυτή την εικόνα λοιπόν είχαμε τουλάχιστον έξι άστοχες ανιχνεύσεις και μια ανίχνευση μέρους μιας βραχονησίδας. Αναλυτικότερα, με κόκκινο χρώμα έχουμε απεικονίσει στον χάρτη μας τα εύστοχα ανιχνεύσιμα πλοία από το πρόγραμμα SNAP. Με κίτρινο χρώμα απεικονίσαμε τις άστοχες ανιχνεύσεις, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση είχαμε τουλάχιστον έξι, οι οποίες αποτελούν pixel τα οποία στην προεπεξεργασία που κάναμε, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει και τις κηλιδώσεις ως πλοία. Επίσης, το εργαλείο ανίχνευσης πλοίων, αναγνώρισε ένα τμήμα της μίας από τις βραχονησίδες που έχουμε στην περιοχή μελέτης μας, ως πλοίο, παρά το γεγονός ότι έχουμε διαχωρίσει με μάσκα την στεριά από την θάλασσα. Αυτή την λανθασμένη ανίχνευση λοιπόν την απεικονίσαμε με πράσινο χρώμα.

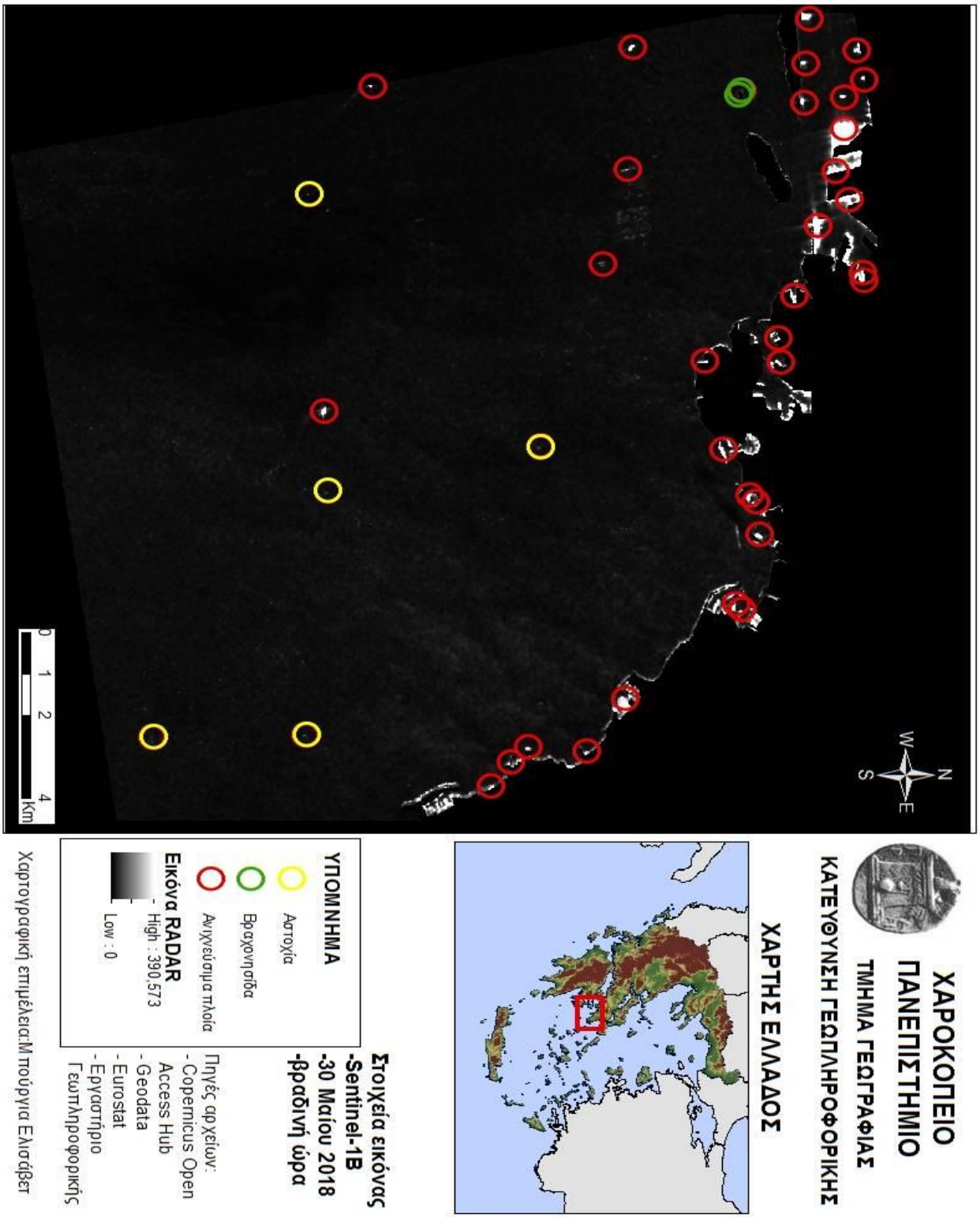
Όσον αφορά τα δεδομένα του ανέμου, παρατηρήσαμε ότι η ταχύτητά του κυμαίνεται από 3 έως 5 μέτρα το δευτερόλεπτο, το οποίο στην κλίμακα Beaufort ισούται με 2 έως 3 και ο άνεμος χαρακτηρίζεται ως ασθενής.

Ακόμα, η διεύθυνση του ανέμου είναι από 320° έως 330° όπου συμπεραίνουμε ότι ο άνεμος έπνεε βορειοδυτικός.

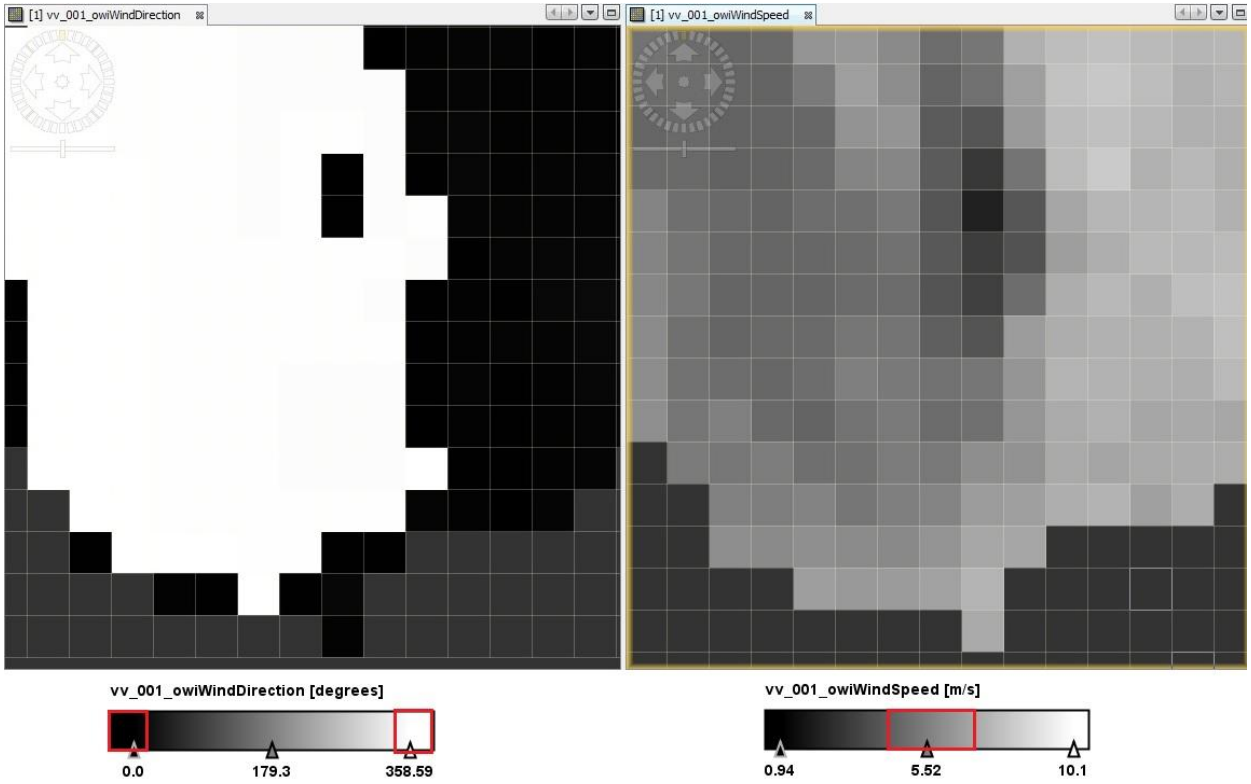
Ξέροντας τα παραπάνω δεδομένα και παρατηρώντας τα ανιχνεύσιμα πλοία της εικόνας μας, όσων είναι διακριτά σε μεγάλη μεγέθυνση, διαπιστώσαμε για ακόμα μια φορά ότι εκτός από ένα πλοίο με βορειοδυτικό προσανατολισμό, τα υπόλοιπα δεν ακολουθούν την διεύθυνση του ανέμου, όσα είναι αγκυροβολημένα, διότι τα εν κινήσει πλοία έχουν προκαθορισμένο προσανατολισμό. Εφόσον λοιπόν δεν διακρίνεται κάποιο ίχνος πίσω από αυτά τα πλοία, υποθέτουμε ότι είναι αγκυροβολημένα και διαπιστώνουμε ότι ο προσανατολισμός τους δεν ακολουθεί τον προσανατολισμό του ανέμου μας καθώς σχεδόν όλα έχουν φορά προς τον Βορρά.

Sentinel-1B

30 Μαΐου 2018, βραδινή ώρα (16:22 UTC + 3:00)



Εικόνα 41: Εικόνα με όλες τις πιθανές ανιχνεύσεις, στις 30/05/2018, βραδινή ώρα, ανοδική τροχιά



Εικόνα 42: Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου περιοχής μελέτης στις 30/05/2018, βραδινή ώρα

Στην τελευταία βραδινή μας εικόνα, έχουμε ένα μικρό πλήθος ανιχνεύσιμων πλοίων, από τα οποία τα πέντε αποτελούν άστοχη ανίχνευση και ακόμα ένα αποτελεί ανίχνευση βραχονησίδας. Αναλυτικότερα, με κόκκινο χρώμα έχουμε απεικονίσει στον χάρτη μας τα εύστοχα ανιχνεύσιμα πλοία από το πρόγραμμα SNAP. Με κίτρινο χρώμα απεικονίσαμε τις άστοχες ανιχνεύσεις, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση είχαμε τουλάχιστον πέντε, οι οποίες αποτελούν pixel τα οποία στην προεπεξεργασία που κάναμε, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει και τις κηλιδώσεις ως πλοία. Επίσης, το εργαλείο ανίχνευσης πλοίων, αναγνώρισε ένα τμήμα της μίας από τις βραχονησίδες που έχουμε στην περιοχή μελέτης μας, ως πλοίο, παρά το γεγονός ότι έχουμε διαχωρίσει με μάσκα την στεριά από την θάλασσα. Αυτή την λανθασμένη ανίχνευση λοιπόν την απεικονίσαμε με πράσινο χρώμα.

Σε αυτή την εικόνα λοιπόν η ταχύτητα του ανέμου είναι ασθενής καθώς κυμαίνεται από 4 έως 7 μέτρα το δευτερόλεπτο το οποίο αντιστοιχεί σε 3 με 4 Beaufort.

Επιπροσθέτως, η διεύθυνση του ανέμου είναι από 350° έως 10° το οποίο αντιστοιχεί σε Βόρεια διεύθυνση του ανέμου.

Με αυτά τα δυο στοιχεία και έπειτα από παρατήρηση των πλοίων, όσων είναι διακριτά σε μεγάλη μεγέθυνση, διαπιστώσαμε ότι τα δύο μεγαλύτερα πλοία της εικόνας έχουν βορειοδυτική κλίση και τα υπόλοιπα είχαν κλίση προς τον Βορρά κάτι που μας δείχνει ότι ο άνεμος ίσως τα επηρέασε, τουλάχιστον όσων είναι αγκυροβολημένα διότι τα εν κινήσει πλοία έχουν προκαθορισμένο προσανατολισμό. Εφόσον λοιπόν δεν διακρίνεται κάποιο ίχνος πίσω από αυτά τα πλοία, υποθέτουμε ότι είναι αγκυροβολημένα και διαπιστώνουμε ότι ο προσανατολισμός τους μπορεί να επηρεάζεται από τον άνεμο.

Παρατηρήσαμε επίσης, ότι την πέμπτη ημέρα, από την πρωινή στη βραδινή ώρα είχαμε μια μικρή μεταβολή στην ταχύτητα του ανέμου της τάξεως του ενός Beaufort, καθώς και μια μικρή μεταβολή στη διεύθυνση του ανέμου από Βορειοδυτική σε Βόρεια.

Τέλος, όπως βλέπουμε συγκρίνοντας τις δύο ώρες της πέμπτης ημέρας, παρατηρούμε ότι η κινητικότητα έξω από το λιμάνι του Πειραιά διαφέρει κατά πολύ αριθμητικά καθώς το πλήθος των ανιχνεύσεων υπερτερεί την πρωινή από την βραδινή ώρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συζήτηση - Συμπεράσματα

Παρατηρώντας και τις πέντε ημερομηνίες, τα δεδομένα των οποίων επεξεργαστήκαμε, προβήκαμε σε κάποια συμπεράσματα.

Αρχικά, όσον αφορά την ώρα αιχμής, δεν είχαμε κάποιο προφανές αποτέλεσμα, καθώς δεν είχαμε μεγάλες διαφορές στην κινητικότητα των πλοίων, συγκρίνοντας τις πρωινές με τις βραδινές ώρες. Συγκεκριμένα, μόνο τις ημερομηνίες 18 και 30 Μαΐου είχαμε μια αριθμητική υπεροχή στην πρωινή ώρα.

Επιπροσθέτως, όσον αφορά τις μεταβολές του ανέμου παρατηρήσαμε κάποιες μεταβολές κατά την διάρκεια της ημέρας. Αναλυτικότερα, τις ημερομηνίες 6, 12 και 30 Μαΐου διαπιστώσαμε μία μικρή μεταβολή στην ταχύτητα του ανέμου, του ενός Beaufort, από την πρωινή στη βραδινή ώρα. Σε αντίθεση με την διεύθυνση του ανέμου, όπου σε όλες τις ημερομηνίες παρατηρούμε αλλαγή από την πρωινή στη βραδινή ώρα.

Παρά τις μεταβολές του ανέμου, παρατηρήσαμε ότι κατά κύριο λόγο ο άνεμος ακόμα και πολύ ασθενής, επηρεάζει τον προσανατολισμό των ανιχνεύσιμων πλοίων μας. Συγκεκριμένα, τις ημερομηνίες 6, 12 και 18, τις πρωινές καθώς και τις βραδινές ώρες, ο προσανατολισμός της πλειοψηφίας των ανιχνεύσιμων πλοίων ταυτίζεται με την διεύθυνση του ανέμου. Αντιθέτως, τις ημερομηνίες 24 και 30 τις πρωινές ώρες, δεν παρατηρούμε ταύτιση του προσανατολισμού των πλοίων με την διεύθυνση του ανέμου, ενώ τις βραδινές ώρες, παρατηρούμε ταύτιση του προσανατολισμού των πλοίων με την διεύθυνση του ανέμου.

Έχει λοιπόν ιδιαίτερο ενδιαφέρον η παρατήρηση των πλοίων σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου καθώς και με την ταχύτητά του. Γι αυτό τον λόγο διερευνήσαμε το πώς ο άνεμος επηρεάζει την φορά ενός αγκυροβολημένου πλοίου, καθώς όταν έρθει η χρονική στιγμή να ξεκινήσει, θα προκύψει καθυστέρηση μέχρις ότου να προσανατολιστεί και πάλι με προορισμό το λιμάνι. Αυτό με την σειρά του θα επηρεάσει την κινητικότητα του λιμανιού καθώς θα προκύψουν καθυστερήσεις στα προγραμματισμένα δρομολόγια των πλοίων.

Καταλήξαμε έπειτα από την επεξεργασία των εικόνων μας, στο ότι κατά κύριο λόγο, ακόμα και με ασθενή άνεμο, ο προσανατολισμός των πλοίων μας αλλάζει και ταυτίζεται με αυτόν του ανέμου και συμπεραίνουμε ότι η κινητικότητα του λιμανιού πιθανότατα θα επηρεαστεί και θα προκύψουν καθυστερήσεις.

Επίσης, δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε και τα προβλήματα τα οποία συναντήσαμε κατά την περάτωση αυτής της διπλωματικής, κυρίως στην επεξεργασία των εικόνων. Αναφερόμαστε στη διαδικασία ανίχνευσης πλοίων η οποία είχε πολλές αστοχίες, μειώνοντας την ακρίβεια των αποτελεσμάτων μας. Συγκεκριμένα, όπως έχουμε παρουσιάσει και στις χαρτογραφικές μας απεικονίσεις, με κίτρινο χρώμα απεικονίσαμε τις άστοχες ανιχνεύσεις, οι οποίες αποτελούν pixel όπου στο στάδιο της προεπεξεργασίας, παραδείγματος χάριν στο φιλτράρισμα, κάποιες φωτεινές κηλιδώσεις δεν διορθώθηκαν. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα στην επεξεργασία για την ανίχνευση πλοίου, να αναγνωρίσει αυτές τις κηλιδώσεις ως πλοία.

Στον παρακάτω πίνακα, συνοψίσαμε τα αποτελέσματα των ανιχνεύσεών μας, με σκοπό να βγάλουμε ένα ποσοστό αστοχίας. Με αυτόν τον τρόπο διαπιστώνουμε ότι χρειάζονται βελτιώσεις για την καλύτερη αξιοπιστία του εργαλείου, καθώς το ποσοστό αστοχίας είναι αρκετά υψηλό.

Ημερομηνία	**Ώρα**	**Πιθανές Ανιχνεύσεις**	**Πιθανές Αστοχίες**	**Επανα-λήψεις**	**Μη ανιχνεύσιμα πλοία**	**Βραχονη-σίδες**	**Ποσοστό αστοχίας**
06/05/2018	07:31	44	7	1	2	-	22,7%
	19:22	51	3	2	-	-	9,8%
12/05/2018	07:30	45	5	3	-	-	17,7%
	19:23	51	12	2	-	2	31,3%
18/05/2018	07:31	63	5	3	3	-	17,4%
	19:22	38	3	2	-	3	21%
24/05/2018	07:30	42	17	1	-	1	45,2%
	19:23	46	5	2	-	2	19,5%
30/05/2018	07:31	48	6	-	-	1	14,5%
	19:22	32	5	-	-	2	21,8%

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας με το πλήθος των αστοχιών

Για πιο έγκυρα αποτελέσματα στην διαδικασία της ανίχνευσης πλοίων, θα ήταν ουσιαστική η βελτίωση του εργαλείου Object detection του προγράμματος SNAP. Ειδικότερα, θα βοηθούσε σημαντικά ο διαχωρισμός των φωτεινών κηλιδώσεων, οι οποίες δεν διορθώθηκαν στην προεπεξεργασία, από τα υπόλοιπα αντικείμενα που είναι προς ανίχνευση.

Εν κατακλείδι, με την χρήση του προγράμματος SNAP και με την επεξεργασία των εικόνων μας παρατηρήσαμε ακόμα και το φαινόμενο της παράνομης ρήψης πετρελαίου ή ρύπων στην περιοχή μελέτης μας καθώς επίσης και το φαινόμενο της εικόνας 24, που διασταυρώσαμε και με οπτική εικόνα (εικόνα 26).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

Μερτίκας Στ. (2009), «Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας», Εκδόσεις «ΙΩΝ», Αθήνα

Καρτάλης Κ., Φειδάς Χ. (2013), «Αρχές & Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης», Εκδόσεις «Τζιόλα», Αθήνα.

Παρχαρίδης Ι. (2015), «Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπισης Θεωρία και Εφαρμογές», [ηλεκτρονικό βιβλίο], Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Ανακτήθηκε από: https://repository.kallipos.gr/handle/11419/3960

Περάκης Κ., Φαρασλής Ι., Μωυσιάδης Α., (2015), «Η Τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες Θεωρία, Μέθοδοι και Εφαρμογές», [ηλεκτρονικό βιβλίο], Αθήνα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Ανακτήθηκε από: https://repository.kallipos.gr/handle/11419/1840

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- D.J.Crisp (2004), «The State-of-the-Art in ship Detection in Synthetic Aperture Radar Imagery», DSTO-RR-0272 Information Sciences Laboratory, Australia
- Eldhuset K. (1988), «Automatic ship and ship wake detection in space borne SAR images from coastal regions», Digest - International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Edinburgh, UK, Vol. 3, pp. 1529-1533
- Rye A., Sawyer F. and Sothinathan R. (1990), «A workstation for the fast detection of ships», Digest - International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), College Park, MD, USA, Vol. 3, pp. 2263-2266
- Alparone L., Argenti F., Benelli G., Cappelini V. and Mecocci A. (1991), «A fuzzy complete SAR processing chain for ship detection and velocity estimation», European Transactions on Telecommunications, Firenze, Italy, Vol. 2, pp. 689-693
- Argenti F., Benelli G., Garzelli A. and Mecocci A. (1992), «Automatic ship detection in SAR images», IEE Conference Publication, Brighton, England, Issue 365, pp. 465-468

- Garzelli A. (1995), «Detection of ship wakes in SAR images using morphological operators», Computers and Geosciences, Firenze, Italy, Vol. 21, pp. 1201-1203
- Wang C., Liao M., Li X., (2008), «Ship detection in SAR image based on the Alpha-stable distribution», Sensors, Vol. 8, pp. 4948-4960
- Marino A., Sanjuan M., Hajnsek I., Ouchi K., (2015), «Ship detection with spectral analysis of synthetic aperture radar: comparison of new and well-known algorithms», Remote Sensing, Vol. 7, pp. 5416-5439
- Nie T., He B., Bi G., Zhang Y., Wang W., (2017), «A method of ship detection under complex background», ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol. 6, Article number 159
- Bi F., Chen J., Zhuang Y., Bian M., Zhang Q., (2017), «A decision mixture model-based method for inshore ship detection using high-resolution remote sensing images», Sensors (Switzerland), Vol. 17, Article number 1470
- Shi H., Zhang Q., Bian M., Wang Z., Chen L., Yang J., (2018), «A novel ship detection method based on gradient and integral feature for single-polarization synthetic aperture radar imagery», Sensors (Switzerland), Vol. 18, Article number 563
- Liu Y., Fang M., Feng Q., Wang L., (2003), «An automatic ship detection system using ERS SAR images», International Geoscience and Remote Sensing Symposium(IGARSS), China, Vol. 4, pp. 2656-2658
- Wu B., Wang C., Zhang B., Wu F., (2011), «Ship detection based on Radarsat-2 full-polarimetric images», Proceedings of 2011 IEEE CIE International Conference on Radar, RADAR 2011, China, Vol. 1, Article number 6159620
- Jiang Q., Aitnouri E., Wang S., Ziou D., (2000), «Automatic detection for ship target in SAR imagery using PNN-Model», Canadian Journal of Remote Sensing, Canada, Vol. 26, pp. 297-305

Διαδικτυακή βιβλιογραφία

- https://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/02/Sentinel-1
- http://www.wikiwand.com/el/Κύμα

- https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers/instruments/sar/applications/radar-courses/content-2/-/asset_publisher/qIBc6NYRXfnG/content/radar-course-2-parameters-affecting-radar-backscatter
- http://www.wikiwand.com/el/Κύμα
- http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C107/144/1031,3722/
- https://earth.esa.int/handbooks/asar/CNTR5-5.html
- https://www.nrcan.gc.ca/node/9341
- http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Disasters_GR/SEM5XS1YRYG_1.html
- https://el.wikipedia.org/wiki/Σαλαμίνα_(νησί) (Τελευταία τροποποίηση 28 Νοεμβρίου 2018)
- https://el.wikipedia.org/wiki/Σαρωνικός_κόλπος (Τελευταία τροποποίηση 29 Σεπτεμβρίου 2018)
- https://www.hellogreece.gr/argosaronikos/
- https://www.aktor.gr/egkatastaseis_epeksergasias_ygron_stereon_apobliton/arthro/kentro_epeksergasias_lymaton_athinas_psytalleia-15453528/
- https://el.wikipedia.org/wiki/Ψυττάλεια (Τελευταία τροποποίηση 17:40, 29 Σεπτεμβρίου 2018)
- https://www.hnhs.gr/el/
- https://csisalamina.wordpress.com/csisalamina
- http://hnms.gr/emy/el/
- https://iasonsailing.eu/
- https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/administrative-units-statistical-units/nuts
- http://geodata.gov.gr/