ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Γεωγραφικά χαρακτηριστικά και χαρτογράφηση πλημμυρικών συμβάντων σε διασυνοριακές λεκάνες στα νότια Βαλκάνια με την χρήση διαστημικών δεδομένων παρατήρησης της Γης

Αθανάσιος Εμμανουήλ Μουραμπετζής

Αθήνα, 2020

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ισαάκ Παρχαρίδης
Καθηγητής, Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ευθύμιος Καρύμπαλης
Καθηγητής, Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Χρίστος Χαλκιάς
Καθηγητής, Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Εγώ ο Αθανάσιος-Εμμανουήλ Μουραμπετζής,

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.

“We choose to go to the moon in this decade and do the other things, not because they are easy, but because they are hard, because that goal will serve to organize and measure the best of our energies and skills, because that challenge is one that we are willing to accept, one we are unwilling to postpone, and one which we intend to win.”

- John F. Kennedy

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο κύκλος φοίτησης μου στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών κλείνει με την παράδοση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Ένας κύκλος που χαρακτηρίστηκε από ποικίλες εμπειρίες, που δύσκολα αποκτά κάποιος στα υπόλοιπα πανεπιστήμια της χώρας. Το Χαροκόπειο παρέχει την αίσθηση του «ανήκειν», οι καθηγητές του δεν είναι απρόσωποι, είναι κοντά στον φοιτητή, βοηθούν και οργανώνουν στο βαθμό που μπορούν μια ακαδημαϊκή, πανεπιστημιακή κοινότητα η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλό επίπεδο μόρφωσης, τεχνογνοσίας, υλικοτεχνικών υποδομών αλλά και το πιο σημαντικό μάθημα, πως προ πάντων είμαστε άνθρωποι, κάτι που όλο το προσωπικό θυμίζει στον φοιτητή καθημερινά. Ευχαριστώ πολύ το πανεπιστήμιο και το διδακτικό και διοικητικό του προσωπικό για όλες τις εμπειρίες και τη γνώση που μου προσέφερε, ευχαριστώ ιδιαίτερα και τον επιβλέπων καθηγητή μου, τον Δρ. Παρχαρίδη Ισαάκ, για την τρομερά εποικοδομητική και επαγγελματικού επιπέδου συνεργασία μας. Ακόμη, να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια και μου έδωσε την ευκαιρία να αφοσιωθώ στις σπουδές μου, κλείνοντας τον κύκλο της προπτυχιακής μου φοίτησης, με άρτια κατάρτιση και με τις καλύτερες δυνατές εμπειρίες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ **8**

ABSTRACT **9**

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ **10**

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ **13**

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ **14**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{Ο}: ΕΙΣΑΓΩΓΗ **15**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{Ο}: ΠΕΡΙ ΔΙΑΣΥΝΟΡΙΑΚΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ **17**

2.1 Ορισμος Διασυνοριακων Λεκανων 17
2.2 Σχεσεις Χωρων: Συναινεση η Συγκρουση στη Διαχειριση Διασυνοριακων Λεκανων. 18
2.3 Περιγραφη Κατασταση στα Βαλκανια 20
2.4 Υδροδιπλωματια 21
2.5 Πλαισιο Πολιτικης: Ήπια Νομοθεσια 23
2.6 Υποχρεωτικοι Κανονες Δικαιου: Η περιπτωση της Ευρωπαϊκης Ένωσης 28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{Ο}: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ **32**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο} : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ **36**

4.1 Επισκοπηση Περιοχης Βαλκανιων 36
4.2 Λεκανη Απορροης «Ποταμος Αωος» 36
4.1.1 Φυσικά / Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά *37*
4.1.2 Ανθρωπογεωγραφικά Χαρακτηριστικά *39*
4.2 Λεκανη Απορροης «Ποταμος Αξιος» 39
4.2.1 Φυσικά / Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά *40*
4.2.2 Ανθρωπογεωγραφικά Χαρακτηριστικά *43*
4.3 Λεκανη Απορροης «Ποταμος Στρυμωνας» 43
4.3.1 Φυσικά / Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά *44*
4.3.2 Ανθρωπογεωγραφικά Χαρακτηριστικά *46*
4.4 Λεκανη Απορροης «Ποταμος Έβρος» 48
4.4.1 Φυσικά / Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά *48*
4.4.2 Ανθρωπογεωγραφικά Χαρακτηριστικά *50*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{Ο} : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ **51**

5.1 Προγραμμα Copernicus 51
5.1.1 Δορυφόρος Sentinel-1 ..... *54*
5.1.2 Δορυφορος Sentinel-2 58
5.2 Δορυφορικα Δεδομενα / Λογισμικα Επεξεργασιας 61
5.2.1 Δεδομένα Ραντάρ GRD *61*
5.2.2 Χαρτογραφικό Υπόβαθρο *63*
5.2.3 Διανυσματικά Δεδομένα «Vector Data» *64*
5.2.4 Ψηφιδωτά Δεδομένα «Raster Data» *65*
5.2.5 Λογισμικά Επεξεργασίας *65*
5.3 Μεθοδολογια 67
5.3.1 Ανάκτηση Δορυφορικών Εικόνων Sentinel – 1 ..... *70*
5.3.2 Προ-Επεξεργασία *74*
5.3.3 Τελική Επεξεργασία *87*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{Ο} : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ **98**

6.1 Χαρτογραφηση Πλημμυρικου Φαινομενου, Λεκανη Απορροης Αωου 98
6.2 Χαρτογραφηση Πλημμυρικου Φαινομενου, Λεκανη Απορροης Αξιου 101
6.3 Χαρτογραφηση Πλημμυρικου Φαινομενου, Λεκανη Απορροης Στρυμονα 104
6.4 Χαρτογραφηση Πλημμυρικου Φαινομενου, Λεκανη Απορροης Έβρου 108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^{Ο}: ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ **118**

7.1 Συζητηση 118

7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 119

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 121

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη ερευνά την χαρτογράφηση πλημμυρικών φαινομένων εντός διασυνοριακών λεκανών στα Νότια Βαλκάνια, με τη χρήση ανοιχτών διαστημικών δεδομένων παρατήρησης της Γης του προγράμματος Copernicus του Ευρωπαϊκού Διαστημικού Οργανισμού. Ο στόχος της είναι διττός και αναφέρεται αφενός στον προσδιορισμό των διασυνοριακών λεκανών στα Νότια Βαλκάνια και αφετέρου στην μελέτη των πρόσφατων πλημμυρικών φαινομένων εντός τους, με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων παρατήρησης της Γης, Sentinel-1 (2014-2019)

Πιο αναλυτικά έπειτα από τον προσδιορισμό των 4 διασυνοριακών λεκανών μελέτης, Αώου, Αξιού, Στρυμόνα και Έβρου, έγινε ανάκτηση δεδομένων αναφορικά με τα φυσικά, γεωγραφικά και ανθρωπογεωγραφικά χαρακτηριστικά αυτών. Έγινε η ανάκτηση των αναγκαίων δορυφορικών δεδομένων, οπτικών και ραντάρ εικόνων των δορυφόρων Sentinel-2 και Sentinel-1 αντίστοιχα, της κάθε περιοχής. Για κάθε περιοχή ανακτήθηκαν δυο οπτικές εικόνες και δυο ραντάρ (SAR), μια που χρονικά συμπίπτει με την εμφάνιση των πλημμυρικών φαινομένων και μια κατά τους θερινούς μήνες όπου υπάρχει απουσία καλυμμένων από νερό εκτάσεων.

Εν συνεχεία, με τη χρήση του προγράμματος SNAP, έγινε η προ-επεξεργασία και τελική επεξεργασία μόνο των εικόνων SAR καθώς οι οπτικές περιελάβαν υψηλά ποσοστά νεφοκάλλυψης με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιηθούν. Κατά την προ-επεξεργασία, οι εικόνες SAR διορθώθηκαν γεωμετρικά, βαθμονομήθηκαν, μειώθηκε ο «θόρυβος» (Spekle) και περιορίστηκαν σε μέγεθος μέσω της περικοπής στους στο πολύγωνο της περιοχής ενδιαφέροντος (Area of Interest). Η τελική τους επεξεργασία αναφέρετε στην διαδικοποίηση (binarization) των τιμών των εικονοστοιχείων τους, με αποτέλεσμα οι καλυμμένες από νερό περιοχές να λάβουν την τιμή 255 ενώ όλες οι υπόλοιπες μηδενική, έπειτα ακολούθησε η μετατροπή τους σε αρχεία KML και την προβολή τους σε περιβάλλον Google Earth.

Τέλος, έγινε η τελική σύνθεση των θεματικών χαρτών που καταγράφουν την έκταση πλημμυρισμένων περιοχών εντός των διασυνοριακών λεκανών μελέτης, με βάση την ημερομηνία λήψης της SAR εικόνας που χρησιμοποιήθηκε. Το υπόβαθρο των θεματικών χαρτών αναφέρεται σε οπτικές δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth. Έπειτα ακολούθησε η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης με αυτά του αυτοματοποιημένου συστήματος EMS, μιας υπηρεσίας του προγράμματος Copernicus.

Τα αποτελέσματα της μελέτης χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια καθώς συμπίπτουν ακριβώς με αυτά του συστήματος EMS με εξαίρεση ορισμένες διαφορές που δεν αποδίδονται στην επεξεργασία των εικόνων στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης αλλά στην χρήση καλύτερων χωρικής διακριτικής ικανότητάς δεδομένων από το σύστημα EMS. Ακόμη, στην περίπτωση του Έβρου, το EMS δεν αποτύπωσε την έκταση του φαινομένου για την τουρκική πλευρά αφού δεν είναι μέλος της ΕΕ, η παρούσα μελέτη όμως απέδωσε αποτελέσματα για το σύνολο του φαινομένου ανεξάρτητος διοικητικών ορίων.

Λέξεις κλειδιά: Δορυφορικά Συστήματα Παρατήρησης Γης, Διασυνοριακές Λεκάνες, Χαρτογράφηση Πλημμυρικών Φαινομένων, SAR, Νότια Βαλκάνια

ABSTRACT

The current thesis conducts a study regarding the mapping of flood incidents inside of transboundary basins in the North Balkan area with the use of open, satellite earth observation data from the Copernicus programme, a branch of the European Space Agency. This research goal is twofold, at first it demarcates the transboundary basins found in North Balkans area, as well as investigate and map the flooded areas of these basins due to recent flood events with the use of open, remote sensing data.

After the demarcation of the basins is concluded, data were retrieved regarding the physical, geographical, and anthropogeographical aspects of basins of Aoos, Axios, Strymonas, Evros. In addition, the necessary open satellite data were retrieved, optical and SAR images from Stentinel-2 and Sentinel-1 satellites. For every flood event a retrieval of 2 optical and 2 SAR images, one that overlaps the time of the flood event and one during the summer months were no water masses are present or identifiable.

Moreover, with the use a the SNAP application provided by ESA, the pre-processing and the final processing was conducted only on the SAR data given to the fact that the optical data had a significant amount of cloud coverage, rendering them useless to our study, so they weren't processed at all. During the pre-processing, the SAR images received Terrain Correction, Calibration, Speckle Noise Removal and Subset (adjust their size using the Area of Interest polygon) techniques. At the final processing stage, the binarization of the image's pixels took place, from that point forward the water covered areas took the value 255, while all other, non-water pixels were given a null value, afterwards the conversion of the final images to KML protocol took place in order to overlay them in a Google Earth environment.

At last, the final synthesis of the thematical maps regarding the flood extend of the flood events inside the four transboundary basins took place, with the SAR images that overlaps the events as the master image. The flood extent layer was overlaid onto a high-resolution optical satellite imagery in a Google Earth environment. In addition, the results from the thematical maps were compared to the results of the Emergency Mapping Service (EMS), a service provided by the Copernicus proramme.

All the results are marked as high accuracy and coincide with the results of the EMS system. Any inaccuracies were accredited to the fact the EMS service used higher resolution data than ours and in the case of Evros, the EMS service did not map the Turkish side of the flood event because Turkey is not a member of the EU, but our research has produced outcomes regardless of the administrative boundaries of Greece and Turkey.

Keywords: Satellite Earth Observation Systems, Transboundary Basins, Flood Mapping, SAR, South Balkans.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

1. Εικόνα 4.1 Λεκάνη Ποταμού Αώου, Πηγή: World Basins, ESRI
2. Εικόνα 4.2: Διάγραμμα Κάλυψη Γης Λεκάνης Αώου κατά CORINE 2018. Πηγή: Copernicus Land Monitoring Service
3. Εικόνα 4.3: Κάλυψη Γης Λεκάνης Αώου κατά CORINE 2018, (Copernicus Land Monitoring Service, 2018), ESRI
4. Εικόνα 4.4 : Λεκάνη Απορροής Αξιού, Πηγή: World Basins, ESRI
5. Εικόνα 4.5: Διάγραμμα Κάληψη Γης λεκάνης Αξιού κατά Corine 2018. (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)
6. Εικόνα 4.6 : Κάλυψη Γης λεκάνης Αξιού κατά Corine 2018, (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)
7. Εικόνα 4.7: Λεκάνη Απορροής Στρυμόνα, (World Basins, ESRI)
8. Εικόνα 4.8: Κάλυψη Γης Λεκάνης Στρυμόνα κατά Corine 2018, Copernicus Land Monitoring Service, 2018
9. Εικόνα 4.9: Κάλυψη Γης Λεκάνης Στρυμόνα κατά Corine 2018, (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)
10. Εικόνα 4.10: Λεκάνη απορροής Έβρου, (World Basins, ESRI)
11. Εικόνα 4.11: Κάληψη Γης λεκάνης Έβρου κατά Corine 2018, (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)
12. Εικόνα 4.12: Κάλυψη Γης Λεκάνης Έβρου κατά Corine 2018, (Copernicus Land Monitoring Service, 2018, ESRI)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

1. Εικόνα 5.1: Σύνοψη βασικών στόχων του προγράμματος Copernicus (Πηγή: ESA)
2. Εικόνα 5.2: Ιστοσελίδα Copernicus Open Access Hub δωρεάν παροχής δορυφορικών δεδομένων (https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home)
3. Εικόνα 5.3: Οικογένεια δορυφόρων Sentinel του προγράμματος Copernicus
4. Εικόνα 5.4: Γραφική απεικόνιση δορυφόρου Sentinel-1. (Πηγή:ESA)
5. Εικόνα 5.5 : Γραφική απεικόνιση των 4 δυνητικών λειτουργιών του αισθητήρα SAR του δορυφόρου Sentinel-1 με βασική τωρινή λειτουργία το IW (Πηγή: ESA).
6. Εικόνα 5.6 Σύγκριση μεγεθών swath με στάνταρ προϊόν το IW. (Πηγή:ESA)

7. Εικόνα 5.7: Παράθεση 13 καναλιών Sentinel-2 στα μήκη κύματος του Η/Μ φάσματος (Πηγή: ESA)
8. Εικόνα 5.8: Αναπαράσταση διαδραστηκότητας της μικροκυμματικης ακτινοβολίας, από μια λεία επιφάνεια (πάνω), κατοπτρική ανάκλαση, όπως το νερό καθώς και σκέδαση από μια τραχία επιφάνεια (κάτω) όπως το ανάγλυφο μιας περιοχής (Πηγή:GEOSAGE)
9. Εικόνα 5.9: Παρουσίαση ροής εργασίας
10. Εικόνα 5.10: Πλατφόρμα Emergency Management Service – Mapping προγράμματος Copernicus (https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/service-overview)
11. Εικόνα 5.11: Παράδειγμα γεωαναφερμένου θεματικού χάρτη καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη διασυνοριακή λεκάνη του ποταμού Αωού. Με πράσινο εμφανίζεται το ορθογώνιο της Περιοχής Ενδιαφέροντος (Area of Interest).
12. Εικόνα 5.12: Εκτέλεση σύνδεσης χρήστη στην ιστοσελίδα «Copernicus Open Access Hub»
13. Εικόνα 5.13: Επιλογή Περιοχής ενδιαφέροντος με τη χρήση της επιλογής «ορισμός περιοχής» που εμφανίζεται με κόκκινο κύκλο στα δεξιά της οθόνης.
14. Εικόνα 5.14: Επιλογή εύρους ημερομηνίας, δορυφορικής πλατφόρμας Sentinel – 1A και τύπου GRD
15. Εικόνα 5.15: Εύρεση και επιλογή προϊόντος, προσθήκη στο καλάθι.
16. Εικόνα 5.16: Εντολή «Ανοίγματος προϊόντος»
17. Εικόνα 5.17: Εντολή «Ανοίγματος προϊόντος»
18. Εικόνα 5.18 Επιλογή προϊόντων για άνοιγμα.
19. Εικόνα 5.19: Προβολή «band» ενός προϊόντος.
20. Εικόνα 5.20: Εύρεση εντολής «Subset»
21. Εικόνα 5.21: Εκτέλεση εντολής «Subset»
22. Εικόνα 5.22: Εκτέλεση εντολής «Apply Orbit File»
23. Εικόνα 5.23: Εκτέλεση εντολής «Thermal Noise Removal».
24. Εικόνα 5.24: Εκτέλεση εντολής «Calibration».
25. Εικόνα 5.25: Επιλογή πόλωσης VV κατά την εκτέλεση της εντολής «Speckle-Filter».
26. Εικόνα 5.26:Εκτέλεση εντολής «Single Product Speckle Filter»
27. Εικόνα 5.27: Επιλογή πόλωσης και τύπου φιλτραρίσματος θορύβου.
28. Εικόνα 5.28: Εκτέλεση εντολής «Terrain Correction»
29. Εικόνα 5.29: Επιλογή μεθόδου επαναδειγματοληψίας εικονοστοιχείων (Image Resampling Method) και γεωγραφικού συστήματος.
30. Εικόνα 5.30: Δημιουργία και παραμετροποίηση του διαγράμματος εκτέλης εντολών.

31. Εικόνα 5.31: Εκτέλεση εντολής «Επεξεργασίας Παρτίδας»
32. Εικόνα 5.32: Άνοιγμα εικόνας μετά το πλημμυρικό φαινόμενο.
33. Εικόνα 5.33: Παραμετροποίηση ιστογράμματος για εύρεση υδάτινων μαζών
34. Εικόνα 5.34: Τοποθέτηση εξίσωσης λειτουργία «Band Math»
35. Εικόνα 5.35 Δημιουργία νέας εικόνας με τις νέες ψηφιακές τιμές 255,0
36. Εικόνα 5.36: Σύγκριση εικόνων πριν και μετά την πλημμύρα, παράθυρο ένωσης ιστογράμματος
37. Εικόνα 5.37: Τιμές εικονοστοιχείων που περιλαμβάνουν υδάτινες μάζες
38. Εικόνα 5.38: Εξαγωγή εικόνας σε μορφή GeoTIFF
39. Εικόνα 5.39: Εισαγωγή εικόνας σε περιβάλλον ArcGIS.
40. Εικόνα 5.40: Αλλαγή τρόπου χρωματικής προβολής
41. Εικόνα 5.41 Ορισμός «Απουσίας Χρώματος» για τις τιμές 0
42. Εικόνα 5.42 Ορισμός μπλε χρώματος στις περιοχές που καλύπτονται από νερό
43. Εικόνα 5.43 Τελικό αποτέλεσμα παραμετροποίησης συμβολισμού
44. Εικόνα 5.44: Εξαγωγή εικόνας σε KML
45. Εικόνα 5.45: Εισαγωγή αρχείου στο Google Earth
46. Εικόνα 5.46: Προβολή πληττόμενων περιοχών σε περιβάλλον Google Earth

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

1. Εικόνα 6.1: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Αωού, με βάση την εικόνα SAR, λήψης 5/12/2017. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.
2. Εικόνα 6.2: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Αώου, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.
3. Εικόνα 6.3: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Αξιού, με βάση την εικόνα SAR, λήψης 08/08/2017. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.
4. Εικόνα 6.4: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Αξιού, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.

5. Εικόνα 6.5: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Αξιού. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.
6. Εικόνα 6.6: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.
7. Εικόνα 6.7: Επισκόπηση περιοχής ενδιαφέροντος πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου.
8. Εικόνα 6.8: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Βόρειος Τομέας. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.
9. Εικόνα 6.9: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Κεντρικός Τομέας. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.
10. Εικόνα 6.10: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Νότιος Τομέας. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.
11. Εικόνα 6.11: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Βόρειος Ελληνικός Τομέας, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.
12. Εικόνα 6.12: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Κεντρικός Ελληνικός Τομέας, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.
13. Εικόνα 6.13: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Νότιος Ελληνικός Τομέας, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1. Πίνακας 5.1: Δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΕΛ/ΛΑΚ	Ελεύθερο Λογισμικό/Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα
ΣΓΠ	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών
ΕΟΔ	Ευρωπαϊκός Διαστημικός Οργανισμός
SAR	Synthetic Aperture Radar
EMS	Emergency Mapping System
ERSS	Emergency Response Support System
CEMS	Copernicus Emergency Mapping System
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ESA	European Space Agency
SLC	Single Look Complex
GRD	Ground Range Detected
IW	Interferometric Wide
SM	Stripmap
EW	Extra Wide
WV	Wave
SNAP	Sentinel Application Platform
VNIR	Visible and Near-Infrared
NIR	Near-Infrared
MSI	Multi-Spectral Instrument
HH	Horizontal Horizontal
HV	Horizontal Vertical
VV	Vertical Vertical
VH	Vertical Horizontal
DEM	Digital Elevation Model
UTM	Universal Transverse Mercator
UN	United Nations

Κεφάλαιο 1ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα αντιμετωπίζει και αυτή ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα παγκοσμίως, την διαχείριση των διασυνοριακών υδάτων και δη των πλημμυρών που εμφανίζονται σε διασυνοριακές λεκάνες. Αναλυτικότερα, στην Βόρεια Ελλάδα εντοπίζονται σημαντικοί για τα Βόρεια Βαλκάνια ποταμοί, όπως ο Έβρος, ο Αωός, ο Αξίος κτλ τους οποίους «μοιράζεται» με όλες τις χώρες που συνορεύει συμπεριλαμβανομένου και της Τουρκίας. Οι διασυνοριακοί αυτοί ποταμοί και κατά συνέπεια η λεκάνες απορροής τους, αποτελούν μείζον θέμα διαχείρισης, όχι μόνο για λόγους οικονομικής εκμετάλλευσης ή άσκησης πολιτικής πίεσης αλλά και για λόγους προστασίας της ανθρώπινης ζωής, για λόγους Πολιτικής Προστασίας. Η ιστορία έχει αποδείξει πως η αδυναμία συνεννόησης σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης λεκανών απορροής στις οποίες εμπλέκονται δυο ή περισσότερες χώρες και φορείς, μπορεί να αποβεί καταστροφική για τους κατοίκους των ανωτέρω περιοχών σε περιπτώσεις πυρκαγιών, πλημμυρών κτλ. Ειδικά τα τελευταία χρόνια όπου οι συχνότητα των πλημμυρών έχει αυξηθεί λόγω των κλιματικών διακυμάνσεων αλλά και των εκτενών ανθρωπίνων παρεμβάσεων στο φυσικό περιβάλλον, οι φορείς διαχείρισης των εμπλεκόμενων χωρών πρέπει να βρεθούν σε συναίνεση με στόχο την περιβαλλοντική ισορροπία των υδατικών συστημάτων.

Με βάση τα παραπάνω, κατανοούμε πως η διαχείριση και αντιμετώπιση των πλημμυρικών κινδύνων απαιτούν αναβαθμισμένη τεχνογνωσία με βάση τις αποφάσεις των Ηνωμένων Εθνών (SENDAI, https://www.undrr.org). Με στόχο αυτό, η παρούσα πτυχιακή εργασία θα προσπαθήσει να αποδείξει πως μπορεί να υπάρξει ένα ολιστικό πρόγραμμα διαχείρισης των πλημμυρών εντός των λεκανών αυτών, μεταξύ των εμπλεκόμενων χωρών, εστιάζοντας στην χαρτογράφηση πλημμυρικών φαινομένων που εμφανίστηκαν σε αυτές στην ευρύτερη περιοχή των Νοτίων Βαλκανίων, με τη χρήση διαστημικών δεδομένων παρατήρησης της Γης.

Ο στόχος της είναι διττός, αφενός ο προσδιορισμός διασυνοριακών λεκανών στα Νότια Βαλκάνια και αφετέρου η χαρτογράφηση πλημμυρικών φαινομένων στις λεκάνες που προσδιορίστηκαν με τη χρήση δεδομένων παρατήρησης της Γης του προγράμματος Copernicus. Πιο αναλυτικά, το πρώτο μέρος θα παραθέσει τις «περί διασυνοριακών λεκανών» συζητήσεις και αποφάσεις χωρών και οργανισμών όπως ο ΟΗΕ, καθώς και θα ορίσει τις λεκάνες που θα μελετηθούν όπως αυτή του Έβρου, η οποία τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο η έκτασή της δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη, η ιδιαιτερότητα της βαλκανικής χερσονήσου την καθιστά κομβικής σημασίας για την Βουλγαρία, την Τουρκία και την Ελλάδα, τις χώρες δηλαδή που την αποτελούν. Το δεύτερο μέρος θα περιλαμβάνει την πρακτική τεχνολογική ανάλυση των

πλημμυρικών φαινομένων στις ορισμένες πλέον λεκάνες προσπαθώντας να αποδείξει πως ακόμη και απομακρυσμένα, μέσω των διαστημικών δεδομένων μπορούμε να έχουμε δεδομένα και αποτελέσματα ακριβείας βοηθώντας την συνεργασία και την συναίνεση των φορέων και χωρών διαχείρισης χωρίς την φυσική τους παρουσία.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια και καταλήγει στην παράθεση των βιβλιογραφικών αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν για την συγγραφή της. Πιο συγκεκριμένα, το 1ο κεφάλαιο είναι μια γενική εισαγωγή στο θέμα και το αντικείμενο μελέτης καθώς και στους προς επίτευξη στόχους και σκοπούς της. Το 2ο κεφάλαιο παραθέτει την γενική κατάσταση των διασυνοριακών λεκανών όπως αυτή διαμορφώνεται από διάφορους οργανισμούς όπως ο ΟΗΕ και η ΕΕ. Το 3ο κεφάλαιο, αποτελεί την βιβλιογραφική επισκόπηση παρόμοιων εργασιών. Το 4ο κεφάλαιο, ορίζει και παραθέτει τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής εντός των οποίων συνέβησαν τα προς μελέτη πλημμυρικά φαινόμενα. Το 5ο κεφάλαιο αναφέρεται στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και στη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη των αποτελεσμάτων. Το 6ο κεφάλαιο παραθέτει τα αποτελέσματα που παράχθηκαν, τους χάρτες των πλημμυρισμένων εκτάσεων. Τέλος το 7ο κεφάλαιο αναφέρεται στη συζήτηση αλλά και στην παράθεση των τελικών συμπερασμάτων και η εργασία καταλήγει στις βιβλιογραφικές αναφορές.

Κεφάλαιο 2ο: Περί Διασυνοριακών Λεκανών

2.1 Ορισμός Διασυνοριακών Λεκανών

Λεκάνες οι οποίες διασχίζουν ή οριοθετούν τα γεωγραφικά ή πολιτικά σύνορα μεταξύ δύο ή και περισσότερων κρατών χαρακτηρίζονται ως διασυνοριακές λεκάνες απορροής. Ο όρος αυτός ουσιαστικά ταυτίζεται με τους «διασυνοριακούς υδατικούς πόρους», στους οποίους περιλαμβάνονται τόσο τα επιφανειακά (ποτάμια, λίμνες) όσο και τα υπόγεια νερά μιας λεκάνης απορροής και οι οποίοι υπόκεινται σε καθεστώς κοινής διαχείρισης από περισσότερα από ένα κράτη. Ο χαρακτηρισμός μιας λεκάνης ως διασυνοριακής ή όχι αποτελεί μια δυναμική παράμετρο στο θέμα της διαχείρισης των υδατικών πόρων, καθώς οι ισχύουσες πολιτικές ισορροπίες από τις οποίες προκύπτουν και τα πολιτικά σύνορα των κρατών αλλάζουν με το πέρασμα του χρόνου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ποτάμια και λίμνες που παραδοσιακά υπάγονταν σε διακρατικό καθεστώς να ανήκουν εξολοκλήρου σε ένα έθνος, αλλά και υδατικοί πόροι που έχρηζαν εσωτερικής διαχείρισης να αποτελούν φυσικό σύνορο σε νεοσύστατα κράτη. Χαρακτηριστικά παραδείγματα «διεθνοποίησης» υδατικών πόρων αποτελούν οι ποταμοί Ντον και Βόλγας, οι οποίοι χαρακτηρίστηκαν διακρατικοί μετά τη διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης.

Από την άλλη, η ένωση της Ανατολικής με τη Δυτική Γερμανία προκάλεσε την «εθνικοποίηση» του ποταμού Βέσερ. Τέλος, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου οι διαχρονικές εξελίξεις στο παγκόσμιο πολιτικό προσκήνιο μετέβαλλαν τη σύσταση και τον αριθμό των κρατών που διαχειρίζονται μια διακρατική λεκάνη, όπως συνέβη στις περιπτώσεις του ποταμού Δούναβη και του Ομπ (UNEP, 2002).

Σε παγκόσμια κλίμακα, το 45,3% της επιφάνειας της γης βρίσκεται εντός λεκανών απορροής οι οποίες σχηματίζονται από διασυνοριακούς επιφανειακούς υδατικούς πόρους, ενώ πολλοί από τους υπόγειους υδροφορείς είναι κοινοί για περισσότερα από ένα κράτη. Τα διεθνή αυτά επιφανειακά ύδατα, επηρεάζουν περίπου το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού, ενώ αποτελούν το 60% της παγκόσμιας ποτάμιας ροής. Η μονομερής δράση από μία χώρα όσον αφορά αυτούς του πόρους είναι συνήθως αναποτελεσματική και μερικές φορές μπορεί να αποτελέσει την αιτία σοβαρών διεθνών εντάσεων.

Η σημασία των διασυνοριακών λεκανών, πέρα από το πλήθος τους, ενισχύεται από το γεγονός ότι καλύπτουν έκταση μεγαλύτερη από το 50% της επιφάνειας της γης, προσφέρουν τόπο διαμονής στο 40% του παγκόσμιου πληθυσμού, ενώ συνεισφέρουν κατά περίπου 60% στο ετήσια ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα του πλανήτη. Η διαχείριση διασυνοριακών υδατικών

πόρων εμπλέκει 145 κράτη, ενώ 33 από αυτά εκτείνουν την εδαφική τους κυριαρχία σχεδόν αποκλειστικά μέσα στα όρια μιας ή και περισσότερων υδρολογικών λεκανών. Αλλά και ο αριθμός των χωρών που μμοιράζονται μια λεκάνη ποικίλλει και αποκτά ιδιάζουσα σημασία σε θέματα διαχείρισης. Για παράδειγμα ο Δούναβης διασχίζει 17 κράτη, ενώ ποτάμια όπως ο Νείλος, ο Ρήνος και ο Νίγηρας αλλά και ο Αμαζόνιος, ο Τίγρης - Ευφράτης και ο Μεκόνγκ εμπλέκουν περισσότερα από πέντε διαφορετικά κράτη στο θέμα της κατανομής και αξιοποίησης των υδάτων τους (Wolf et al., 1999).

2.2 Σχέσεις Χωρών: Συναίνεση ή Σύγκρουση στη Διαχείριση Διασυνοριακών Λεκανών.

Το νερό αποτελεί τη βασική αιτία επικείμενων διενέξεων μεταξύ κρατών με αλληλοσυγκρουόμενα συμφέροντα. Άλλωστε, η ιστορία έχει να επιδείξει πολλά παραδείγματα που ενισχύουν αυτή την άποψη και που ωθούν πολλούς θεωρητικούς και επιστήμονες να συμμερίζονται έως ένα βαθμό αυτή την ανησυχία. Κάποιοι από αυτούς, μεταξύ των οποίων ο Gleick (1993), χρησιμοποιούν περιπτωσιολογικές μελέτες από το χώρο της Μέσης Ανατολής, της Νότιας Ασίας και της Νότιας Αμερικής, όπου οι υδατικοί πόροι έχουν πυροδοτήσει ένοπλες διαμάχες μεταξύ των εμπλεκόμενων κρατών, για να εξάγουν το γενικό συμπέρασμα ότι το νερό μπορεί να αποτελέσει τον απώτερο στόχο σε πολιτικές και στρατιωτικές επεμβάσεις και ότι πλέον «σε περίπτωση πολεμικής σύγκρουσης μεταξύ κρατών που διεκδικούν την εκμετάλλευση ανανεώσιμων φυσικών πόρων, πιθανότερο αίτιο αποτελούν τα νερά των ποταμών που μοιράζονται από κοινού» (Homer - Dixon, 1994).

Ωστόσο, η γενίκευση περιπτώσεων όπως οι διενέξεις στις λεκάνες του Ιορδάνη, του Νείλου, του Ινδού, του Τίγρη και του Ευφράτη, περιοχές που επιδεικνύουν παραδοσιακά πολιτική αστάθεια και αποτελούν πεδίο εχθροπραξιών μεταξύ των γειτονικών κρατών, δεν αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα. Η σύγχρονη ιστορία δεν επιδεικνύει κανένα περιστατικό επίσημής κήρυξης πολέμου λόγω ανεπίλυτων διαφορών στο θέμα της διαχείρισης διακρατικών υδατικών πόρων, χωρίς βέβαια αυτό να σημαίνει ότι το νερό δεν μπορεί να εντείνει διακρατικές σχέσεις (Wolf et al., 2003).

Παρά τα όποια εμπόδια που ενδεχομένως δυσχεραίνουν τη διαδικασία της από κοινού διαχείρισης των διακρατικών υδάτων, τα κράτη που βρίσκονται αντιμέτωπα με αυτού του είδους τις προκλήσεις τις περισσότερες φορές επιδεικνύουν θέληση και ικανότητα να συνεργαστούν για αυτό το σκοπό. Ο οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών UN Food and 8

Agricultural Organization έχει καταμετρήσει πάνω από 3600 συμφωνίες σχετικές με τη διαχείριση και κυρίως τη διαφύλαξη της ελεύθερης ναυσιπλοΐας κατά μήκους διακρατικών υδατορευμάτων, σε ένα διάστημα που χρονολογείται από το 805 έως το 1984. Και μάλιστα από το 1814 και μετά, περισσότερες από 300 συνθήκες αφορούν στη διαπραγμάτευση θεμάτων σχετικών με τη διαχείριση των διακρατικών λεκανών σε ζητήματα κατανομής της διαθέσιμης ποσότητας νερού, διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου καθώς και σε έργα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας (Wolf, 1998).

Στο πλαίσιο της συστηματικής διερεύνησης της δυναμικής που διέπει το καθεστώς διαχείρισης διακρατικών υδάτων, μια ερευνητική ομάδα από το Oregon State University δημιούργησε μια βάση δεδομένων, η οποία καταγράφει όλα τα συμβάντα που έλαβαν χώρα από το 1948 έως το 1999 και σχετίζονται με θετικές ή αρνητικές εξελίξεις στις σχέσεις χωρών που μοιράζονται μία ή περισσότερες υδρολογικές λεκάνες. Το έργο αυτό ονομάζεται "Transboundary Freshwater Dispute Database" και περιλαμβάνει δεδομένα βιοφυσικά, κοινωνικοοικονομικά και πολιτικά για όλες τις διακρατικές λεκάνες καθώς και όλες τις καταγεγραμμένες διενέξεις ή συμφωνίες που αφορούν στη διαχείρισή τους. Σε ένα επόμενο βήμα, τα περιστατικά αυτά αξιολογήθηκαν ανάλογα με την ένταση και το χαρακτήρα τους - συνεργατικό ή συγκρουσιακό- και ταξινομήθηκαν με ανάλογο σύστημα κατάταξης προς εξαγωγή συμπερασμάτων.

Το σύστημα κατάταξης που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται BAR (Basins at Risk) Intensity Scale. Πρόκειται για μια 15βάθμια ποιοτική κλίμακα που εκτείνεται από το -7 έως το +7 και η οποία δίνει ακριβείς ορισμούς του είδους της συνεργασίας ή σύγκρουσης που αντιστοιχεί σε κάθε διαβάθμιση, προς διευκόλυνση της κατηγοριοποίησης των δεδομένων. Για παράδειγμα, η επίσημη κήρυξη πολέμου με αποκλειστική αιτία τη διαχείριση του νερού κατατάσσεται στο -7 της κλίμακας. Αντίθετα, η εθελοντική ενοποίηση κρατών για τον ίδιο λόγο κατατάσσεται στο +7, ενώ γεγονότα ουδέτερα ή με ασήμαντες επιπτώσεις στις διακρατικές σχέσεις αντιστοιχούν στο 0 (Wolf et al., 2003). Έως το 2000 η βάση δεδομένων περιελάβανε 1831 περιστατικά, τα οποία έλαβαν χώρα σε 122 διεθνείς υδρολογικές λεκάνες και στα οποία ενεπλάκησαν 124 χώρες.

Από αυτά τα 507 χαρακτηρίστηκαν ως τεκμήρια σύγκρουσης και τα 1228 ως δείγματα συνεργασίας, ενώ τα 96 κρίθηκαν ουδέτερα ή μηδαμινής σημασίας. Μια πρόσφατα αναθεωρημένη βάση δεδομένων που καλύπτει τη χρονική περίοδο από το 2000 έως το 2008 συμπεριλαμβάνει 755 επιπλέον γεγονότα σχετιζόμενα με τα κοινά νερά και τη διαχείρισή τους,

εκ των οποίων μόλις ένα 33% παραπέμπει σε κάποια μορφή ήπιας σύγκρουσης (De Stefano et al., 2009).

2.3 Περιγραφή Κατάσταση στα Βαλκάνια

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, μερικά από τα προβλήματα που χαρακτηρίζουν το βαλκανικό χώρο σε σχέση με τη διαχείριση των διασυνοριακών λεκανών είναι τα ακόλουθα (Vlachos et al., 2000):

1. Η ασταθής γεωπολιτική κατάσταση, ιδιαίτερα στην περιοχή της πρώην Ομοσπονδίας της Γιουγκοσλαβίας.
2. Οι συνεχείς ιστορικές εθνικιστικές διαμάχες που υπονομεύουν το πνεύμα συνεργασίας και εμπιστοσύνης μεταξύ όμορων κρατών.
3. Η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων λόγω της έντονης και επικίνδυνης βιομηχανικής δραστηριότητας που αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια, σε συνδυασμό με την έλλειψη πρόνοιας σε σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος.
4. Ο περιορισμένος αριθμός διακρατικών συμφωνιών, πόσο μάλλον σαφώς ορισμένων διατάξεων που να συντονίζουν και να καθορίζουν με λεπτομέρεια τη διακρατική συνεργασία, σε συνδυασμό με ακατάλληλες διοικητικές δομές και τη μη πρόβλεψη μηχανισμών επιβολής τους.
5. Η έλλειψη συγκρίσιμων και ιστορικών δεδομένων.
6. Οι περίοδοι ξηρασίας που πλήττουν κυρίως το χώρο των νότιων Βαλκανίων και που δυσχεραίνουν την ισοκατανομή στις υδροληψίες.
7. Η έλλειψη δεδομένων σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση των υπόγειων υδροφορέων και τη χωρική αλληλεξάρτησή τους.
8. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση που οφείλεται κυρίως στην εντατική άρδευση και στην έντονη τουριστική δραστηριότητα, που αναπτύσσεται κατά κύριο λόγο κατά μήκος των ακτών της Δαλματίας καθώς και στην παράκτια ζώνη του ελλαδικού χώρου.
9. Η απουσία συντονιστικών επιτροπών.

Εν κατακλείδι, η ιδιαιτερότητα στο πρόβλημα της διαχείρισης διακρατικών υδατικών πόρων στην περιοχή των Βαλκανίων έγκειται στο γεγονός ότι η γεωπολιτική διάσταση του ζητήματος ανάγει τη διαχείριση των κοινών υδάτων σε θέμα επιβολής ηγεμονίας και συχνά υπερκαλύπτει τις αδυναμίες που προκύπτουν από την εσωτερική νομοθεσία των βαλκανικών χωρών στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και από το βαθμό αποδοχής στο εσωτερικό τους δίκαιο των βασικών αρχών του διεθνούς και ευρωπαϊκού δικαίου. Προς αυτή την κατεύθυνση κινείται και η πρωτοβουλία της σύστασης της επιστημονικής επιτροπής INWEB το 2001, η οποία το 2003 ανακηρύχτηκε έδρα της UNESCO για τη «Βιώσιμη διαχείριση των υδάτων και την επίλυση διενέξεων» στο χώρο των Βαλκανίων, με κύριο στόχο την εγκαθίδρυση ενός δικτύου συνεργασίας για την ανταλλαγή

τεχνογνωσίας, τη διευκόλυνση της διακρατικής ανταλλαγής δεδομένων και την ευαισθητοποίηση του ευρύτερου κοινού στο θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος.

2.4 Υδροδιπλωματία

Εδώ εμφανίζεται και το κυρίαρχο δίλημμα της υδροδιπλωματίας, το κατά πόσον δηλαδή η κάθε χώρα θα κάνει χρήση των υδατικών πόρων εντός των εδαφών της, το πόσο θα σεβαστεί τα δικαιώματα και τις ανάγκες της όμορης χώρας 14 και πώς και οι δύο αυτές λογικές θα έχουν ως κοινή συνισταμένη την προστασία και τη λελογισμένη δίκαιη χρήση του διασυνοριακού ποταμού και των λεκανών απορροής που αυτός σχηματίζει (Ganoulis et al., 2011).

Με αυτή την έννοια, οι βασικές αρχές οι οποίες αναγνωρίζονται και από τις διεθνείς συμβάσεις και τις νομοθεσίες και θα πρέπει να τηρούνται από τις εκάστοτε ενδιαφερόμενες μεριές είναι:

1. Η εδαφική κυριαρχία κάθε χώρας,
2. Η αρχή της δίκαιης και λογικής αξιοποίησης των υδάτων,
3. Η υποχρέωση να μην προκαλείται σοβαρή βλάβη στο υδατικό σύστημα,
4. Οι αρχές της συνεργασίας, της ανταλλαγής πληροφοριών, της κοινοποίησής τους και της διαβούλευσης
5. Η ειρηνική διευθέτηση οποιονδήποτε διαφορών προκύπτουν.

Οι βασικές αυτές λοιπόν αρχές, θα μπορούσαν να είναι πολύ χρήσιμες στη διασυνοριακή διαχείριση των υδάτων, είτε μέσα σε ένα ομοσπονδιακό κράτος με ανταγωνιστικές χώρες, είτε ανάμεσα σε κυρίαρχα έθνη. Ωστόσο, παρουσιάζονται κάποια επιχειρησιακά ερωτήματα που αφορούν την εφαρμογή των αρχών αυτών όπως: ποια είναι η αρχή που επικρατεί όταν ανακύπτει μια δίκαιη σύγκρουση για να μην προκληθεί μια σοβαρή ζημιά; Και πώς ακριβώς ορίζεται μια σοβαρή ζημιά; Ποιες είναι οι ευθύνες των κρατών για την παράβαση κάποιων από τις αρχές και πώς προκύπτουν οι ευθύνες αυτές, όταν δεν υπάρχει μια διεθνώς αναγνωρισμένη νομοθεσία;

Πράγματι, αυτά τα ερωτήματα μπορούν να απαντηθούν, μόνο εάν γίνει κατανοητό ότι η διαχείριση των υδατικών πόρων, προϋποθέτει τη συνεργασία σε όλους τους τομείς και στις επιμέρους δικαιοδοσίες μεταξύ των κρατών. Για αυτόν τον πολύ βασικό λόγο, βασικός άξονας της υδροδιπλωματίας είναι η επικουρικότητα. Η έννοια, δηλαδή, ότι το ισχυρό κράτος σε μία περίπτωση διασυνοριακού υδατικού συστήματος, οφείλει να μην παρεμβαίνει εάν το άλλο

ενδιαφερόμενο κράτος που μπορεί να είναι πιο αδύναμο οικονομικά και πολιτικά, ακολουθεί τις βασικές αρχές με ικανοποιητικό τρόπο (Priscoli and Wolf, 2009).

Έτσι, με βάση όλα τα παραπάνω αλλά κυρίως με την επιδίωξη της επικουρικότητας, δημιουργούνται κάποιες βασικές τάσεις που καταδεικνύουν την ανάγκη συνεργασίας μεταξύ των κρατών που διατρέχει ένας διασυνοριακός ποταμός. Αρχικά, το ίδιο το νερό μας υποχρεώνει να σκεφτούμε περιφερειακά, επειδή ακριβώς αγνοεί νομικές οριοθετήσεις. Λόγω του ότι οι τεχνικές πληροφορίες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη λήψη αποφάσεων, η ανάγκη για περιφερειακή διαχείριση και η συλλογή δεδομένων από πολλαπλές δικαιοδοσίες, αυξάνει συνεχώς τις διακρατικές συμφωνίες και συνεννοήσεις.

Επιπλέον, η ολοένα αυξανόμενη μείωση των πόρων, λόγω κυρίως της δημοσιονομικής λιτότητας σε μια σειρά από κράτη, ενισχύει την από κοινού διαχείριση και εκμετάλλευση των διασυνοριακών υδάτων. Αυτό, σε συνάρτηση με την αύξηση του κόστους των παραδοσιακών μεθόδων διαχείρισης, προωθεί εναλλακτικές προσεγγίσεις, που αποτρέπουν την πατερναλιστική διαχείριση εκ μέρους του ισχυρού κράτους και προωθούν τις συνεργασίες.

Τέλος, η ραγδαία αναπτυσσόμενη ευαισθητοποίηση για το περιβάλλον, τα συμπτώματα της οικολογικής καταστροφής που συντελείται και η ανάπτυξη των οικολογικών κινημάτων, αναδεικνύουν καθημερινά την ανάγκη για κοινή διαχείριση και προστασία των φυσικών πόρων και προωθούν την ιδέα της υδροδιπλωματίας ως τη μόνη λύση για να αποτραπεί η περαιτέρω επιβάρυνση των διασυνοριακών υδάτων.

Παρόλα αυτά όμως, οι προσπάθειες που γίνονται στη βάση της κοινής διαχείρισης των υδάτινων πόρων είναι ακόμα σε εμβρυακό στάδιο. Αυτό συμβαίνει, είτε γιατί η πολιτική και ο διακρατικός ανταγωνισμός τις περισσότερες φορές παρακάμπτει την επιστήμη, είτε επειδή η διεθνής περιβαλλοντική πολιτική είναι ακόμη ένα μικρό υποπόδιο σε όλες τις κοινωνικές επιστήμες, με ακόμη λιγότερους ερευνητές που εστιάζουν στους διεθνείς ποταμούς. Για αυτόν ακριβώς το λόγο, οι πάνω από 300 διεθνείς συνθήκες που αφορούν τη διαχείριση των υδάτων, τα αντιπλημμυρικά έργα και την υδροηλεκτρική ενέργεια, παρέχουν πολύ μικρή καθοδήγηση στην επίλυση προβλημάτων πάνω στη διαχείριση των διασυνοριακών επιφανειακών υδάτων.

Με αυτή την έννοια, οι διεθνείς νομοθεσίες και οι προσπάθειες των κρατών που διαμοιράζονται αυτές τις 261 διασυνοριακές λεκάνες απορροής, θα πρέπει να εντείνουν τις συμφωνίες τους πάνω σε μια καινούρια βάση. Θα πρέπει να στραφούν στη λογική των αναγκών και να αφήσουν

τη μέχρι πρότινος εφαρμοζόμενη, δηλαδή των δικαιωμάτων. Η αίσθηση που υπήρχε δηλαδή, ότι η κατανομή του νερού στην παρόχθια χώρα, βασιζόμενη στην υδρογραφία και στην χρονολογία, θα πρέπει να δώσει τη θέση της σε αυτή που ορίζουν οι ανάγκες της. Δηλαδή, της ύδρευσης του πληθυσμού της, της άρδευσης, των απαιτήσεων της για κάποιο συγκεκριμένο έργο.

Κάθε μια χώρα από τις ενδιαφερόμενες, θα πρέπει να έχει πρόσβαση στο νερό, ανεξάρτητα με την κατανομή του στο έδαφός της. Επιπλέον, θα πρέπει να υπάρχουν ίσα δικαιώματα και ίσες υποχρεώσεις, ανάμεσα στις ανάντη και κατάντη χώρες. Ενώ συνήθως οι κατάντη χώρες ευνοούνται, ταυτόχρονα είναι πιο ευάλωτες σε ζητήματα μόλυνσης, η οποία προκαλείται λόγω των χρήσεων γης στην ανάντη χώρα. Ακόμη, οι οικονομικές χορηγήσεις για υδροηλεκτρικά έργα και για τη χρήση τμημάτων της λεκάνης απορροής που σχηματίζει ένας διασυνοριακός ποταμός, θα πρέπει να γίνεται με βάση την προστασία του ποταμού και το σεβασμό της ίδιας της λεκάνης. Επιπρόσθετα, η μοναδικότητα της κάθε λεκάνης απορροής, που περιγράφεται σε όλες τις διεθνείς συνθήκες, θα πρέπει να βασίζεται στις υδρολογικές, εδαφικές και πολιτιστικές ιδιαιτερότητες και όχι στις πολιτικές επιδιώξεις κάποιας από τις παρόχθιες χώρες. Με την εφαρμογή όλων των παραπάνω, οι διεθνείς συνθήκες όχι μόνο θα θωρακιστούν νομικά, γεωγραφικά και πολιτικά, αλλά θα αναπτύξουν και κοινωνικά αποδεκτά κριτήρια διασυνοριακής κατανομής του νερού (Giordano and Wolf, 2001).

2.5 Πλαίσιο Πολιτικής: Ήπια Νομοθεσία

Ο όρος «Πλαίσιο Πολιτικής Ήπιας Νομοθεσίας», αναφέρεται σε νομικά μέσα που δεν έχουν νομικά δεσμευτική ισχύ, ή των οποίων η δεσμευτική ισχύς είναι «αδύναμη» σε σχέση με τη δεσμευτική ισχύ του παραδοσιακού δικαίου, που συνήθως αναφέρεται ως «υποχρεωτικός κανόνας δικαίου». Επιπρόσθετα, ο όρος «Πλαίσιο Πολιτικής Ήπιας Νομοθεσίας» συνδέεται με το διεθνές δίκαιο, αν και προσφάτως έχει μεταφερθεί επίσης και σε κλάδους του εσωτερικού δικαίου.1 Η περίπτωση που ένας επιφανειακός υδατικός πόρος εκτείνεται χωρικά εκτός των ορίων μίας ή περισσότερων χωρών, είναι ο λόγος ο οποίος του δίνει επιπρόσθετες διαστάσεις, όπως η διεθνής γεωπολιτική και η διπλωματία.

Με δεδομένη την αύξηση του πληθυσμού αλλά και την αλόγιστη εκμετάλλευση των υδατικών πόρων, τίθεται πλέον ζήτημα επιβίωσης για τους λαούς των κρατών εκείνων που εκμεταλλεύονται τους κοινούς υδατικούς πόρους τους, όταν δεν λαμβάνουν υπόψη διεθνείς συμβάσεις και κατευθυντήριες οδηγίες για την από κοινού διαχείριση των υδατικών πόρων. Επειδή το νερό αγνοεί τα εθνικά και πολιτικά σύνορα, οι διεθνείς συμβάσεις και το διεθνές

δίκαιο οφείλουν να προσαρμοστούν στη φυσική δυναμική των υδροφόρων συστημάτων και όχι το αντίστροφο (Καλλιώρας και Πλιάκας, 2006). Κάπως έτσι, στις αρχές του δεύτερου μισού του εικοστού αιώνα, πάρθηκαν πρωτοβουλίες από οργανισμούς και διεθνή ερευνητικά προγράμματα, για το νομικό χειρισμό των διακρατικών υδατικών συστημάτων με βάση τις αρχές του διεθνούς δικαίου.

Χαρακτηριστικά είναι, ο Εκπαιδευτικός, Επιστημονικός και Πολιτιστικός Οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών (UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), το Διεθνές Υδρολογικό Πρόγραμμα, IAH (International Hydrological Programme), ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των ΗΠΑ, FAO (Food and Agricaltural Organisation of The Unitesd States) και η Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη, UNECE (United Nations Economic Commission for Europe).

Οι οργανισμοί αυτοί, εισήγαγαν τον όρο «σύστημα διεθνών υδάτων», ο οποίος αντικατέστησε την περιγραφή «διεθνής ποταμός». Ο όρος αυτός, αναφέρεται στα ύδατα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σε φυσική λεκάνη μέχρι την προέκταση οποιουδήποτε τμήματος αυτών των υδάτων εντός δύο ή περισσότερων χωρών. Το «σύστημα διεθνών υδάτων» περιλαμβάνει την κύρια ροή του ποταμού και τους παραποτάμους του, είτε τους αναπτυξιακούς (τις πηγές) είτε τους διανεμητικούς (εκβολές).

Η «λεκάνη του ποταμού» αναφέρεται στη γεωγραφική και φυσική ένωση που διαμορφώνει τη ροή των υδάτων και προσδιορίζει την ποσότητα και την ποιότητά τους. Στη σύγχρονη διεθνή νομολογία, αρκεί ένας εκ των παραποτάμων του ποταμού (το σύστημα των υδάτων) να είναι διεθνής, για να θεωρείται και η λεκάνη του διεθνής. Η διαδικασία ρύθμισης των διεθνών υδάτων υπόκειται στις γενικές αρχές του διεθνούς δικαίου, είτε είναι γραπτές είτε είναι σταθερά έθιμα. Ωστόσο εάν υπήρχαν ειδικές διμερείς ή συλλογικές συμφωνίες ανάμεσα στις χώρες του διεθνούς συστήματος υδάτων που σχετίζονται με την οργάνωση των μεριδίων των χωρών του συστήματος ή με οποιοδήποτε ζήτημα εκμετάλλευσης του συστήματος όπως η ναυτιλία, τότε αυτές οι συμφωνίες έχουν την προτεραιότητα στην εφαρμογή όπως προβλέπει ο νομικός κανόνας «Το ιδιωτικό υπερισχύει του γενικού».

Τα διεθνή συστήματα υδάτων θεωρούνται τμήμα της χερσαίας περιοχής που καλύπτεται από ύδατα στις περιοχές των χωρών που διαπερνούν ή χωρίζονται μεταξύ τους και υπόκεινται στις αρχές της «κυριαρχίας», δηλαδή στο σεβασμό της κυριαρχίας των χωρών και της ελευθερίας τους στη διαχείριση, καθώς και στην αρχή της «ισότητας στην κυριαρχία», σύμφωνα με την

οποία η κάθε χώρα ασκεί τα δικαιώματα της στην περιοχή της με απόλυτη ελευθερία υπό την προϋπόθεση να δεσμεύεται να σέβεται τα δικαιώματα των άλλων χωρών στις δικές τους περιοχές. Και αν υπάρχει απόλυτη και πλήρης κυριαρχία της χώρας πάνω στο τμήμα του διεθνούς ποταμού που περνάει από την περιοχή της έτσι ώστε να μπορεί να τον εκμεταλλεύεται όπως η ίδια ορίζει χωρίς να λαμβάνει υπόψη της τα συμφέροντα των άλλων και είχε δεχτεί κάποια νομολογική αποδοχή τον δέκατο ένατο και τον εικοστό αιώνα, τότε η σύγχρονη νομολογία συμφωνεί στο ότι οι εξουσίες των χωρών στα διεθνή υδατικά συστήματα είναι περιορισμένες και ότι η εκμετάλλευση από την κάθε χώρα του τμήματος το οποίο βρίσκεται στα εδάφη της, προϋποθέτει τη μη πρόκληση ζημιάς για τις υπόλοιπες χώρες του συστήματος καθώς και την ανάγκη συμφωνίας για το κόστος της εκμετάλλευσης η οποία θίγει τα δικαιώματα των άλλων (Αντρά, 2010).

Βάσει όσων προαναφέρθηκαν, θα προσπαθήσουμε να κατηγοριοποιήσουμε τις πιο σημαντικές διεθνείς συμφωνίες και όσα αυτές αποφάσισαν για την διακρατική δράση στην πολιτική των υδάτων. Η Επιτροπή Διεθνούς Δικαίου των Ηνωμένων Εθνών (United Nations International Law Commission, UNILC), κατά τη διάρκεια της 48ης συνέλευσής της στη Νέα Υόρκη το 1958, ανέπτυξε τέσσερις βασικές αρχές:

1. Κάθε σύστημα ποταμών και λιμνών που ανήκει σε μια λεκάνη διοχέτευσης πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια ενότητα και όχι ως ξεχωριστό τμήμα.
2. Εκτός από τις περιπτώσεις εκείνες, τις οποίες αναφέρουν συμβάσεις ή άλλα μέσα ή δεσμευτικό έθιμο των ενδιαφερομένων πλευρών, η κάθε χώρα που συνορεύει με το σύστημα έχει το δικαίωμα λογικού και ίσου μεριδίου στις εκμεταλλεύσεις των υδάτων της λεκάνης διοχέτευσης.
3. Οι χώρες που συμμετέχουν στη λεκάνη πρέπει να σέβονται τα νόμιμα δικαιώματα των άλλων χωρών που συμμετέχουν σε αυτή.
4. Η δέσμευση των χωρών που συμμετέχουν στη λεκάνη να σέβονται τα δικαιώματα των εταίρων τους, περιλαμβάνει την αποτροπή εκείνων των οποίων έχουν αναλάβει την ευθύνη, σύμφωνα με τις διατάξεις του διεθνούς δικαίου, από την υπέρβαση των νόμιμων δικαιωμάτων των υπολοίπων χωρών που συμμετέχουν στη λεκάνη.

Οι Κανόνες του Ελσίνκι για τη Χρήση των Νερών των Διεθνών Ποταμών, το 1966: Η Διεθνής Νομική Ένωση (International Law Association, ILA) ιδρύθηκε το 1873 και αποτελεί μη κυβερνητικό διεθνή οργανισμό ο οποίος λειτουργεί με σκοπό την ανάπτυξη συγκεκριμένων κανόνων για το διεθνές δίκαιο. Οι κανόνες οι οποίοι συντάχθηκαν από την ILA το 1966,

αποτελούν στην ουσία πρωταρχική απόπειρα κωδικοποίησης του διεθνούς εθιμικού δικαίου αναφορικά με τους διακρατικούς υδατικούς πόρους (Eckstein, 1998).

Στο τέταρτο και πέμπτο άρθρο, αναλύθηκε η ουσία του δίκαιου και λογικού μεριδίου της κάθε χώρας στις ωφέλιμες εκμεταλλεύσεις του διεθνούς υδατικού συστήματος ως εξής: Το δίκαιο μερίδιο δε σημαίνει ισότιμο μερίδιο, αλλά οι ανάγκες της κάθε χώρας από τις χώρες της λεκάνης για ύδατα σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο είναι η αρχή σύμφωνα με την οποία ορίζεται το μερίδιο όλων των χωρών.

Επίσης, με τον όρο «ωφέλιμες εκμεταλλεύσεις» εννοούνται εκείνες οι χρήσεις οι οποίες πρέπει να προσφέρουν οικονομικά ή κοινωνικά οφέλη στην χώρα που πραγματοποιεί τη χρήση. Το λογικό ή δίκαιο μερίδιο ορίζεται με βάση τους σχετικούς με την κάθε περίπτωση παράγοντες ξεχωριστά. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

1. Η γεωγραφία της λεκάνης, δηλαδή η επέκταση της κάθε λεκάνης εντός κάθε χώρας των χωρών της λεκάνης.
2. Η υδρολογία της λεκάνης.
3. Οι κλιματικές συνθήκες που επηρεάζουν τη λεκάνη.
4. Οι προηγούμενες και τωρινές χρήσεις των υδάτων της λεκάνης.
5. Οι οικονομικές και κοινωνικές ανάγκες της κάθε χώρας.
6. Ο αριθμός των κατοίκων που εξαρτώνται από τα ύδατα της λεκάνης σε κάθε χώρα που συμμετέχει σε αυτή.
7. Η διαθεσιμότητα -ή μη- εναλλακτικών πόρων.
8. Η αποφυγή άσκοπης απώλειας κατά τη χρήση των υδάτων της λεκάνης.
9. Η δυνατότητα -ή μη- αποζημίωσης μιας ή περισσοτέρων χωρών της λεκάνης ως μέσω για τη ρύθμιση των διενέξεων μεταξύ των χρηστών των υδάτων.

Η ικανοποίηση των αναγκών μιας χώρας της λεκάνης χωρίς να προκαλέσει μεγάλη ζημιά σε άλλη χώρα. Οι σχετικοί παράγοντες λαμβάνονται υπόψη στο σύνολό τους, με τον ορισμό του αναλογικού βάρους του καθένα από αυτούς με τη σημαντικότητα του σε σύγκριση με τους άλλους παράγοντες (Αντρά, 2010). Με τους Κανόνες της Σεούλ για τα Διεθνή Ύδατα το 1986, η Διεθνής Νομική Ένωση (ILA), συμπληρώνοντας τη λογική που είχε αποτυπωθεί στο Ελσίνκι το 1966, ουσιαστικά την πλαισίωσε με την αντίληψη, ότι το νομικό καθεστώς των διεθνών υδατορευμάτων θα πρέπει να καλύπτει ολόκληρο το σύστημα των υδάτων (επιφανειακά και υπόγεια) αποφασίζοντας:

1. Οι διεθνείς ποταμοί περιλαμβάνουν όλα τα ύδατα τα οποία επηρεάζουν την υδρολογική λεκάνη.

2. Η λεκάνη απορροής είναι μια αδιαίρετη υδρολογική μονάδα, η οποία απαιτεί ολοκληρωμένη εξέταση, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη αξιοποίηση και ανάπτυξη του κάθε τμήματος των υδάτων της (UNILC, 1991).

Τέλος, με βάση τις Αποφάσεις των Ηνωμένων Εθνών και τη Συμφωνία του Ελσίνκι το 1992 (Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes, UNECE), τα κράτη που διαθέτουν διασυνοριακά ύδατα, οφείλουν να λαμβάνουν όλα τα κατάλληλα μέτρα για να εμποδίζουν, να ελέγχουν και να ελαττώνουν οποιαδήποτε διασυνοριακή αρνητική επίπτωση. Ιδιαίτερα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα μέτρα για:

1. Την εξασφάλιση της ορθολογικής διαχείρισης των διασυνοριακών υδάτων και την από κοινού χρήση αυτών με βάση τις υδατικές ανάγκες των εμπλεκόμενων χωρών. Όταν πρόκειται για διακρατική λεκάνη ποταμού, τα δικαιώματα χρήσης των υδάτων καθορίζονται από διακρατικές συμφωνίες με βάση τη μέση ετήσια απορροή της λεκάνης.

2. Την παρεμπόδιση, τον έλεγχο και τον περιορισμό της ρύπανσης των υδάτων που έχει ή τυχόν θα έχει διασυνοριακή επίπτωση. Τα μέτρα στην περίπτωση αυτή πρέπει να λαμβάνονται αν είναι δυνατόν, στην πηγή (προέλευση) της ρύπανσης.

3. Την εξασφάλιση της προστασίας των υδατικών πόρων, καθώς και την περιβαλλοντική προστασία (διατήρηση οικοσυστημάτων κλπ.).

Θα πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες αρχές με στόχο την υλοποίηση των παραπάνω μέτρων:

1. Να παρεμποδίζεται η απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών, ακόμα και όταν η επιστημονική έρευνα δεν έχει πλήρως αποδείξει σχέση των ουσιών αυτών με ενδεχόμενη διασυνοριακή επίπτωση.

2. Τα έξοδα για την παρεμπόδιση, τον έλεγχο και τον περιορισμό της ρύπανσης να βαρύνουν το κράτος που προκαλεί τη ρύπανση. Η διαχείριση των υδατικών πόρων να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες της σημερινής γενιάς, λαμβάνοντας υπόψη και την ικανοποίηση των αναγκών και των μελλοντικών γενεών.

3. Οι εμπλεκόμενες χώρες θα πρέπει να συνεργάζονται στη βάση της ισότητας και αμοιβαιότητας μέσω διμερών και πολυμερών συμφωνιών, ώστε να αναπτύσσουν πολιτικές, προγράμματα και στρατηγικές που θα καλύπτουν το χώρο της σχετικής λεκάνης ή μέρους αυτής, με σκοπό την παρεμπόδιση, τον έλεγχο και τη μείωση οποιασδήποτε αρνητικής

διασυνοριακής επίπτωσης και την προστασία του περιβάλλοντος των διασυνοριακών υδάτων ή του ευρύτερου περιβάλλοντος που επηρεάζεται από τέτοια ύδατα, συμπεριλαμβανομένου και του θαλάσσιου περιβάλλοντος (ΥΠΕΚΑ, 2008).

2.6 Υποχρεωτικοί Κανόνες Δικαίου: Η περίπτωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Οι Οδηγίες του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, αποτελούν ένα θεσμικό πυλώνα για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, ο οποίος ταυτόχρονα απαρτίζεται από δεσμευτικές πράξεις και νόμους. Οι νόμοι αυτοί καθορίζουν δεσμευτικές υποχρεώσεις και δικαιώματα στα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και καθορίζουν την από κοινού πολιτική, στο πλαίσιο πάντα του σεβασμού του διεθνούς δικαίου και των νομικά κατοχυρωμένων διαταγμάτων της κάθε χώρας.

Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, αποτελεί ίσως το σημαντικότερο βήμα για την εφαρμογή περιβαλλοντικού δικαίου στο αντικείμενο της διαχείρισης των υδατικών πόρων σε κοινοτικό επίπεδο. Δημοσιεύθηκε στην Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων στις 20/12/2000, ενώ η προετοιμασία της διήρκεσε πάνω από μία δεκαετία, αποτελώντας πεδίο έντονης επιστημονικής και πολιτικής αντιπαράθεσης μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η ουσιαστική τομή της Οδηγίας αυτής, είναι η τάση της προς ολοκληρωμένο περιβαλλοντικό σχεδιασμό και διαχείριση, δίνοντας έμφαση στην ποσοτική και ποιοτική κατάσταση των υδατικών πόρων της Ε.Ε., με τα κράτη-μέλη της να οφείλουν να εναρμονίσουν το εθνικό τους δίκαιο προς τις προβλεπόμενες διατάξεις της. Το κύριο μέλημα της Οδηγίας, αποτελεί η θέσπιση πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων νερών.

Η Οδηγία αποβλέπει στην αποτροπή της περαιτέρω επιδείνωσης καθώς και στην προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων, ενώ αποσκοπεί στην προώθηση της βιώσιμης χρήσης, η οποία θα εγγυάται μια μακροχρόνια προστασία των διαθέσιμων πόρων. Συνοπτικά η οδηγία λοιπόν, αποσκοπεί στα εξής:

1. Στην αποτροπή της περαιτέρω επιδείνωσης, στην προστασία και βελτίωση της κατάστασης των υδάτινων οικοσυστημάτων καθώς και των αμέσως εξαρτώμενων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων και υγροτόπων σε ότι αφορά στις ανάγκες τους σε νερό.
2. Στην προώθηση της βιώσιμης χρήσης του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

3. Στην ενίσχυση της προστασίας και της βελτίωσης του υδάτινου περιβάλλοντος, μεταξύ άλλων, με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών ουσιών προτεραιότητας και με την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών των επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας.

4. Στη διασφάλιση της προοδευτικής μείωσης της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και την αποτροπή της περαιτέρω μόλυνσής τους.

5. Στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες (Πεταλάς κ.α., 2004).

Όσον αφορά στη διαχείριση των διασυνοριακών υδατικών πόρων και διεθνών ποταμών, η Οδηγία θέτει το ζήτημα των διακρατικών πολιτικών, τόσο μεταξύ κρατών-μελών, όσο και κρατών εκτός της Ευρωπαϊκής Κοινότητας (Καλλιώρας και Πλιάκας, 2006).

Η διαχείριση γίνεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής και τα κράτη-μέλη οφείλουν να εφαρμόζουν την Οδηγία εντός της εθνικής λεκάνης απορροής, όπως οφείλουν να επιζητούν τον πρέποντα συντονισμό για το σύνολο της λεκάνης απορροής που εκτείνεται και σε γειτονικά κράτη. Με αυτή την έννοια, θα πρέπει η κάθε χώρα να εναρμονίσει την εθνική της νομοθεσία με βάση την Οδηγία, να προσδιορίσει τη λεκάνη απορροής που σχηματίζει ο διακρατικός υδατικός πόρος και να καθορίσει τους αρμόδιους φορείς, τους οποίους θα πλαισιώσει με την ενεργό συμμετοχή των τοπικών κοινοτήτων και άλλων μη κυβερνητικών οργανώσεων.

Σημαντική παράμετρος πάνω σε αυτή τη λογική, αποτελεί το αν η Διεθνής Λεκάνη Απορροής του Ποταμού, βρίσκεται εξ ολοκλήρου εντός της Ευρωπαϊκής Κοινότητας ή αν την υπερβαίνει. Στην πρώτη περίπτωση, η Οδηγία προβλέπει ότι τα κράτη-μέλη συνεργάζονται για την κατάρτιση ενιαίου διεθνούς Σχεδίου Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμού. Εφόσον δεν καταστεί αυτό εφικτό, τα κράτη-μέλη οφείλουν να καταρτίσουν Σχέδιο Διαχείρισης τουλάχιστον για το τμήμα της Διεθνούς Λεκάνης που βρίσκεται στο έδαφός τους και βρίσκεται στην κατεύθυνση επίτευξης των στόχων της Οδηγίας.

Εάν η Διεθνής Λεκάνη υπερβαίνει την Κοινότητα, η λογική είναι η ίδια, όμως το πρόβλημα που ανακύπτει είναι ότι δεν δεσμεύει το κράτος που δεν είναι μέλος.4 Το ελάχιστο λοιπόν που θα πρέπει να πραγματοποιεί ένα κράτος μέλος σε μία Διεθνή Λεκάνη απορροής, θα πρέπει να είναι η ανάλυση των χαρακτηριστικών της, η επισκόπηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων της και η οικονομική ανάλυση της χρήσης των υδάτων. Συμπερασματικά, ενώ η Οδηγία αποτελεί την πιο σημαντική προσπάθεια από θεσμική πλευρά για την επίλυση των διαφωνιών πάνω στη διαχείριση των υδάτων,

ταυτόχρονα αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα στην εφαρμογή της. Η λογική της προς την κατεύθυνση της αντιμετώπισης, αφενός της επιδείνωσης της ποιότητας των υδάτων (σε επίπεδο λεκάνης απορροής) και αφετέρου των προβλημάτων που ανακύπτουν στον ποσοτικό καταμερισμό τους όταν πρόκειται για διασυνοριακά ύδατα, είναι κομβική στις χρόνιες προσπάθειες κατάρτισης μιας διεθνούς νομοθεσίας.

Δυστυχώς όμως η εφαρμογή της δεν είναι εύκολη υπόθεση. Αρχικά, επειδή η δεσμευτική της ισχύς δεν είναι διεθνής, αλλά κοινοτική. Όπως και στην περίπτωση που θα μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική (η περίπτωση του π. Έβρου), για χώρες εκτός της Κοινότητας δεν μπορεί παρά να έχει απλά συμβουλευτικό ρόλο, που στις περισσότερες των περιπτώσεων αγνοείται. Επιπλέον, η ακαμψία των εθίμων και των συνηθειών, οι εθνικισμοί και οι έριδες των κατοίκων των χωρών, αλλά και η ασάφεια των φορέων και των οργανισμών που διαχειρίζονται την πολιτική των υδάτων στα κράτη-μέλη της Κοινότητας, όχι μόνο συμβάλλουν στην αδιαφορία για την προστασία του νερού ως την πιο σημαντική πηγή ζωής, αλλά παρακωλύουν και την αναγκαία προσαρμογή των εθνικών νομοθεσιών πάνω στην Οδηγία.

Τέλος, και η ίδια η Οδηγία όμως, θα πρέπει συνεχώς να επεξεργάζεται τη λογική της, ενώ, οφείλει να είναι πιο ξεκάθαρη σε ζητήματα που χρίζουν επιστημονική και ποσοτική τεκμηρίωση (ποσοστού υδατικών πόρων που απαιτείται για ισότιμα οφέλη σε ανάντη και κατάντη χώρες, προτεινόμενα τεχνικά και αντιπλημμυρικά έργα προς αυτή την κατεύθυνση) και να αντιλαμβάνεται περισσότερο τον ανθρώπινο παράγοντα στη βάση της αντίστροφης ιεραρχίας, δηλαδή, από τις πιο υποβαθμισμένες (σε αποθέματα και ποιότητα νερού) χώρες προς τις πιο αυτάρκεις και σε αυτή τη λογική να κατευθύνει και τα κράτη-μέλη.

Το 2004 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκδίδοντας ανακοίνωση προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, επεσήμανε πως η προστασία από τις πλημμύρες θα είναι πιο αποτελεσματική, εάν η διαχείριση των κινδύνων τους γίνει σε κοινοτικό επίπεδο εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο το συντονισμό των κρατών-μελών και την ανταλλαγή πληροφοριών, λόγω του ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων, τα κράτη-μέλη μοιράζονται πολλές λεκάνες απορροής και παράκτιες περιοχές.

Έτσι, στις 18/9/2007, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε τη νέα Κοινοτική Οδηγία για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, που έρχεται να πλαισιώσει 26 και να εμπλουτίσει τις βασικές αρχές πάνω στη διαχείριση των υδάτων που εισήγαγε η Οδηγία 2000/60/ΕΚ (Καλλιώρας κ.α., 2004). Σκοπός της Οδηγίας, είναι η θέσπιση σχετικού πλαισίου

για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων που συνδέονται με τις πλημμύρες, με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά, τις οικονομικές δραστηριότητες και τις υποδομές.

Τα μέτρα για τη μείωση των κινδύνων θα πρέπει, σύμφωνα με την οδηγία, να συντονίζονται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού για να είναι αποτελεσματικά,6 λαμβάνοντας στο μέτρο του δυνατού υπόψη την τοπογραφία της περιοχής, τη θέση των υδατορευμάτων και τα γενικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά τους, την αποτελεσματικότητα των υφιστάμενων αντιπλημμυρικών έργων, τη θέση των κατοικημένων περιοχών και τις ενδεχόμενες επιδράσεις λόγω της αλλαγής του κλίματος.

Οι πλημμυρικοί όγκοι νερού, προέρχονται κατά κύριο λόγο από τοπική ή καθολική βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής, υπερχείλιση ποταμού, εισροή της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές, θραύση κάποιου φράγματος. Για να αντιμετωπιστούν αυτοί οι πλημμυρικοί όγκοι νερού, τα κράτη-μέλη διεξάγουν προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας μέσω: σύνταξης χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας οι οποίοι περιλαμβάνουν τα όρια των λεκανών απορροής καθώς και τις παράκτιες ζώνες αν υπάρχουν, ανασκόπησης και περιγραφής των πλημμύρων που έχουν σημειωθεί κατά το παρελθόν και τι επιπτώσεις προκάλεσαν, εντοπισμού των σημαντικών πλημυρών εξ αυτών και πρόβλεψη παρόμοιων φαινομένων στο μέλλον.

Βάσει αυτής της αξιολόγησης, τα κράτη-μέλη προσδιορίζουν και κατηγοριοποιούν τις περιοχές για τις οποίες εκτιμούν ότι υπάρχουν σοβαροί ή μη σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας. Όσον αφορά τις περιπτώσεις διεθνών λεκανών απορροής ποταμών, θα πρέπει να υπάρξει συντονισμός μεταξύ των εμπλεκόμενων χωρών (ανάντη και κατάντη), για να μην μετατεθούν τα προβλήματα από τη μία χώρα στην άλλη. Όπως και στην Οδηγία 2000/60, έτσι και στην Οδηγία για τις πλημμύρες, στο Άρθρο 8 στην παράγραφο 3, αναφέρεται ρητά ότι σε διασυνοριακές λεκάνες απορροής, τα κράτη θα πρέπει να καταρτίσουν ένα ενιαίο σχέδιο ή δέσμη σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας και αν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, τότε θα πρέπει να εκπονήσουν από μόνα τους ανεξάρτητα σχέδια διαχείρισης (Φωτόπουλος, 2011).

Κεφάλαιο 3ο: Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν ορισμένες μελέτες που έχουν εκπονηθεί και σχετίζονται με το αντικείμενο μελέτης όπως αυτό αναφέρεται στο 1ο κεφάλαιο. Πιο αναλυτικά, οι εργασίες αυτές προσπαθούν να προσεγγίσουν το ζήτημα της χαρτογράφησης ή/και διαχείρισης των πλημμυρών σε διασυνοριακές λεκάνες από αρκετές οπτικές όπως αυτή των δορυφορικών δεδομένων κτλ. Οι εργασίες αυτές συνέβαλλαν επικουρικά στην εκπόνηση της παρούσας και θα παρουσιαστούν με χρονική σειρά από την πιο πρόσφατη, στην πιο παλαιά.

1. Οι Tay et al. (2020), χαρτογράφησαν την έκταση των πλημμυρών που εμφανίστηκαν την Ιαπωνία κατά τη διάρκεια του τυφώνα Hagibis. Με τη χρήση εικόνων SAR και με τη χρήση διαχρονικών εικόνων, αποτύπωσαν τα πλημμυρικά φαινόμενα με τεράστια ακρίβεια καθώς συγκρίθηκαν με εναέριες και δορυφορικές εικόνες καθώς και με τις αναφορές τις πολιτικής προστασίας. Αναφέρουν ακόμη, πως τα αποτελέσματά τους, μπορούν ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση κινδύνου από τυφώνες, η διερεύνηση χωρικών συσχετίσεων των επιπτώσεων τυφώνα αλλά και η σύγκριση εναλλακτικών τεχνικών χαρτογράφησης πλημμυρών.
2. Οι Sunar et al. (2019), με αφορμή την αύξηση των πλημμυρικών φαινομένων στην ευρύτερη περιοχή των Νοτίων και Ανατολικών Βαλκανίων, διερεύνησαν τη δυνατότητα χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινόμενο που έλαβε χώρα στην διασυνοριακή λεκάνη απορροής του Έβρου με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Επέλεξαν και επεξεργάστηκαν οπτικές δορυφορικές εικόνες Landsat 8 και Sentinel – 2 αλλά και εικόνες SAR από το δορυφόρο Sentinel – 1. Το παραγόμενο αποτέλεσμα συγκρίθηκε με πλημμυρικούς χάρτες και μετεωρολογικά δεδομένα και διαπιστώθηκε πως η κύρια αιτία εκδήλωσης του φαινομένου, ήταν η μη ορθή διαχείριση του νερού στην τεχνητή λίμνη της Βουλγαρίας σε συνδυασμό με ισχυρές βροχοπτώσεις.
3. Οι Perrou et al. (2018), διερεύνησαν τα αίτια της πλημμύρας του 2015 που έλαβε χώρα στα κατάντη του ποταμού Στρυμόνα που διατρέχει διασυνοριακή λεκάνη. Στόχος τους δεν ήταν μόνο ο εντοπισμός της αιτίας αλλά και η κατανόηση της χώρο-χρονικής δυναμικής του φαινομένου. Με τη χρήση λοιπόν δεδομένων SAR, παρακολούθησαν διαχρονικά τις διακυμάνσεις της στάθμης στη λίμνη Κερκίνη η οποία αποτελεί αποδέκτη του ποταμού και ρυθμίζει την προς τα κατάντη ροή για λόγους άρδευσης ή προστασίας από πλημμύρες. Σε συμφωνία με υδρομετεωρολογικά δεδομένα και DEM υψηλής ανάλυσης, έγινε αντιληπτό ότι το συμβάν πλημμύρας αποτελεί απόρροια του όγκου του

νερού που ρέει από τα ανάντη της δεξαμενής και της μεγάλης ποσότητας νερού που αποστραγγίζεται από τους παραποτάμους σε κοντινές λεκάνες απορροής. Τέλος αναφέρουν πως η αναποτελεσματική διαχείριση της ροής του νερού του φράγματος της λίμνης έχει τη δυναμική να ενισχύσει τα πλημμυρικά φαινόμενα που εμφανίζονται στην περιοχή.

4. Οι Amarnath et al. (2017), συνδύασαν τη χρήση δορυφορικών οπτικών και ραντάρ εικόνων μαζί με υδροδυναμικά μοντέλα για την παρακολούθηση και χαρτογράφηση της έκτασης των πλημμυρών στην διασυνοριακή λεκάνη του Βόρειου Μπιχάρ στα σύνορα της Ινδίας με το Νεπάλ. Στόχος τους ήταν η τροφοδοσία των αρμόδιων αρχών και της πολιτικής προστασίας ανά τακτά χρονικά διαστήματα με χάρτες έκτασης του πλημμυρικού φαινομένου ενισχύοντας έτσι τις προσπάθειες των 2 χωρών στην αντιμετώπιση του κινδύνου. Αφού συνδυάστηκαν εικόνες ραντάρ για την χαρτογράφηση του πλημμυρικού φαινομένου, με υδραυλικά μοντέλα της περιοχής για την πρόβλεψη των χαρακτηριστικών του (ροή, ταχύτητα, μάζα κτλ) για κάθε μια ώρα, παράχθηκαν αποδεκτά αποτελέσματα τα οποία συγκρίθηκαν και επικυρώθηκαν μέσω της διαχρονικής μελέτης των πλημμυρικών φαινομένων της περιοχής την τελευταία 15ετία.
5. Οι Angelino et al. (2016), αναφέρουν πως κατά τη διάρκεια εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων, πρέπει να παράγονται πλημμυρικοί χάρτες. Θεωρούν σημαντικό, τον άμεσο προσδιορισμό της έκτασης του φαινομένου αλλά και τον τύπο κάλυψης Γης τον οποίο έχει καλύψει με νερό. Ο βασικός τους στόχος λοιπόν, ήταν χωροχρονική παρακολούθηση του φαινομένου με τη δημιουργία πλημμυρικών χαρτών που θα περιλαμβάνουν την έκταση του φαινομένου αλλά και τον τύπο κάλυψης Γης τον οποίο έχει προσβάλλει, με τη χρήση παθητικών και ενεργητικών δορυφορικών συστημάτων παρακολούθησης της Γης, ήτοι οπτικές και ραντάρ εικόνες. Τα τελικά τους αποτελέσματα αποτυπώνουν πλήρως τις πλημμυρισμένες περιοχές και μπορούν μελλοντικά να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση περιοχών δυνητικού πλημμυρικού κινδύνου, ενισχύοντας έτσι το έργο της πολιτικής προστασίας για την ελαχιστοποίηση των συνεπειών του.
6. Οι Nguyen et al. (2015), χρησιμοποιώντας ήδη υπάρχουσες γεω-χωρικές και χωρικές μελέτες σε συνδυασμό με δορυφορικά δεδομένα παρατήρησης της Γης, παρακολούθησαν και ερεύνησαν τα πλημμυρικά φαινόμενα στην ευρύτερη περιοχή της πόλης Χο Τσι Μινχ στο Βιετνάμ. Παρουσιάζουν μια μέθοδο γεωεπεξεργασίας και ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων ραντάρ που μπορούν δυνητικά να γενικευτούν σε διαδικασία συστηματικής παρακολούθησης. Η γνώση που αποκτάται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της

προστασίας από τις πλημμύρες καθώς και για την επίτευξη αποτελεσματικότερης διαχείρισης τους μέσω της χαρτογράφησης των πλημμυρικών φαινομένων διαχρονικά. Καταλήγουν στο συμπέρασμα πως για την επίτευξη μιας ολιστικής διαχείρισης των πλημμυρικών κινδύνων, πρέπει να χαρτογραφούνται και να διερευνώνται οι πιθανές περιοχές στασιμότητας του νερού και οι συνέπειές τους στον σχεδιασμό της χρήσης γης, με σκοπό τη βελτίωση της τεχνικής υποδομής, ως μέρος μιας στρατηγικής διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου.

7. Οι Skakum et al. (2014), εξέτασαν την περίπτωση δημιουργίας χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας για την Namibia, βασιζόμενοι σε 2 κύριες μεταβλητές, την πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου στην περιοχή αλλά και της τρωτότητά της, ως παράγωγα της επεξεργασίας οπτικών αλλά και SAR δορυφορικών εικόνων. Η μεθοδολογία τους βασίστηκε στη διαχρονική παρατήρηση των φαινομένων με τη χρήση πολλαπλών εικόνων SAR. Αποτύπωσαν τις εκτάσεις για κάθε πλημμυρικό συμβάν, με στόχο τη δημιουργία του χάρτη συχνότητας εμφάνισης του φαινομένου. Ταυτόχρονα, για την εύρεση της τρωτότητας των περιοχών, χρησιμοποιούν ψηφιακά μοντέλα εδάφους και οπτικές δορυφορικές εικόνες. Τέλος, καταλήγουν στο συμπέρασμα, πως οι παραγόμενοι οι παραγόμενοι χάρτες πλημμυρικής συχνότητας αποτυπώνουν τις περιοχές με την μεγαλύτερη τρωτότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντικές μελέτες
8. Οι Pulvirenti et al. (2013), αναφέρουν, πως η δορυφορικές εικόνες ραντάρ μπορούν να παρακολουθούν και να αποτυπώνουν ένα πλημμυρικό φαινόμενο λόγω της παντώς καιρού ικανότητά τους για λήψη εικόνας, της πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσής των νέων δορυφόρων αλλά και την αυξημένη πλέον συχνότητά λήψης τους. Με βάση τα παραπάνω, ερευνούν την χαρτογράφηση πλημμυρισμένων εκτάσεων με έμφαση στις πλημμυρισμένες περιοχές όπου υπάρχει βλάστηση. Με δεδομένα λοιπόν από το δορυφόρο ραντάρ, COSMO-SkyMed, αποτυπώνουν τις πλημμυρισμένες εκτάσεις για την περιοχή της Τοσκάνης στην Κεντρική Ιταλία το 2009 και παράγουν πλημμυρικούς χάρτες. Τέλος τα αποτελέσματά τους συγκρίνονται με αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν κατά την περίοδο εμφάνισης του φαινομένου επαληθεύοντας την μεθοδολογία τους
9. Η ομάδα εργασίας Flood Working Group (CIS, 2012), αναφέρει πως ο υπάρχων τρόπος πρόληψης και προστασίας από πλημμυρικά φαινόμενα εξετάζεται σε τοπικό επίπεδο περιοχής και όχι σε διασυνοριακό, όπως κρίνεται αναγκαίο στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Με βάση το παραπάνω, θέτει ως στόχο την δημιουργία ενός νέου συντονισμένου και διαχρονικού σχεδίου με διαχειριστικό επίπεδο τη συνολική έκταση των λεκανών απορροή ασχέτως των εμπλεκόμενων σε αυτές χωρών. Το τελικό τους

αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται από προβλήματα που αναφέρονται στις υπάρχουσες νομοθεσίες, στους διαφορετικούς τρόπους προσέγγισης της κάθε χώρας αλλά και τα ποικίλα είδη πλημμυρικών φαινομένων. Καταλήγουν λοιπόν, στο συμπέρασμα, πως για να εφαρμοστεί ένα τέτοιο σχέδιο, πρέπει να βασιστεί στην ολιστική συνέργεια μεταξύ των εμπλεκομένων χωρών αλλά και στη δημιουργία ενός δείκτη που θα εκφράζει όλους τους τύπους πλημμυρικών φαινομένων.

10. Οι Lawal et al. (2011), εξετάζουν τον τρόπο συμβολής των δεδομένων παρατήρησης της Γης απο το διάστημα και των ΣΓΠ στην καταγραφή πλημμυρικών συμβάντων, καθώς τα συμβατικά μέσα καταγραφής υδρολογικών παραμέτρων, αποτυγχάνουν να καταγράψουν ένα ακραίο συμβάν σε αρκετές των περιπτώσεων. Αφού παρουσιάσουν την πρόοδο της τηλεπισκόπησης από τα οπτικά συστήματα παρακολούθησης στις εικόνες ραντάρ (SAR), αναφέρουν πως οι εικόνες ραντάρ είναι εξαιρετικά χρήσιμες στην παρακολούθηση και χαρτογράφηση του πλημμυρικού φαινομένου, με στόχο η παραγόμενη γνώση να χρησιμοποιηθεί στην διαχείριση του φαινομένου, καθώς δεν επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες ενώ ταυτόχρονα παρέχουν υψηλή ανάλυση. Καταλήγουν λοιπόν στο συμπέρασμα πως με τη χρήση και το συνδυασμό δορυφορικών εικόνων ραντάρ με ΣΓΠ, μπορούν να εντοπίσουν και να οριοθετήσουν περιοχές επιδεκτικότητας σε πλημμύρες, με στόχο την βέλτιστη διαχείριση των μελλοντικών πλημμυρικών φαινομένων.
11. Ο Bakker (2009), έθεσε ως στόχο την εύρεση πλημμυρικών φαινομένων που έλαβαν χώρα εντός διασυνοριακών λεκανών με στόχο την καλύτερη κατανόηση του βαθμού επικινδυνότητας του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος που εντοπίζεται εντός αυτών, σε διεθνές αλλά και τοπικό επίπεδο. Με βάση τα οικονομικά, ανθρωπογεωγραφικά και φυσικογεωγραφικά δεδομένα των πλημμύρων, διαπίστωσε πως μόνο οι 175 από τις 1.760 πλημμύρες παγκοσμίως ήταν διασυνοριακές για την περίοδο 1985-2005 αλλά ήταν υπεύθυνες για το 32% των θανάτων και το 60% του συνόλου των ανθρώπων που έχουν πληγεί. Τέλος, προσπάθησε να αξιολογήσει τις πιο επικίνδυνες λεκάνες παγκοσμίως αλλά η επιλογή αποδείχθηκε αρκετά δύσκολη λόγω της πολύπλοκης φύσης των πλημμυρικών φαινομένων.

Κεφάλαιο 4ο : Περιγραφή Περιοχών Μελέτης

4.1 Επισκόπηση Περιοχής Βαλκανίων

Ιστορικά, ο χώρος της Νοτιοανατολικής Ευρώπης παρουσιάζει μεγάλες ιδιαιτερότητες όσον αφορά στη γεωπολιτική του κατάσταση, με αποτέλεσμα οι σχέσεις που έχουν διαμορφωθεί μεταξύ των γειτονικών κρατών στο χώρο αυτό να χαρακτηρίζονται διαχρονικά από εντάσεις και συγκρούσεις για θέματα εδαφικής κυριαρχίας. Ο πολιτικός κατακερματισμός, οι εμφύλιοι πόλεμοι, οι βίαιες συγκρούσεις και οι εθνικοί αγώνες σηματοδότησαν έναν ολόκληρο αιώνα, ενώ η δημιουργία νέων κρατών, οι εθνικές μειονότητες και τα αμφισβητούμενα σύνορα δημιούργησαν ένα καθεστώς εθνικιστικού ανταγωνισμού που δυσχέραινε την οποιαδήποτε προσπάθεια συνεργασίας. Επιπλέον, οι διαφορετικές πολιτικές και πολιτισμικές επιρροές μεταξύ βορρά και νότου οδήγησαν στη διαμόρφωση ανομοιογενών κοινωνικοοικονομικών συνθηκών και ασύμμετρης ανάπτυξης (Vlachos et al., 2000).

Η Ελλάδα εντοπίζεται στα Νότια Βαλκάνια και η πλειοψηφία των ποταμών της στα βόρεια σύνορα είναι διασυνοριακοί. Η χώρα μας βρίσκεται στα ανάντη του Αώου και στα κατάντη τεσσάρων ποταμών τους οποίους μοιράζεται με τις όμορες χώρες: του Αξιού, του Στρυμόνα, του Νέστου και του Έβρου. Επίσης, οι Πρέσπες και η λίμνη Δοϊράνη υπόκεινται σε διασυνοριακό καθεστώς διαχείρισης. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το Δέλτα του Αξιού, του Νέστου και του Έβρου καθώς και η λίμνη Κερκίνη αποτελούν περιοχές παγκόσμιου οικολογικού ενδιαφέροντος και προστατεύονται από τη συνθήκη Ramsar και τη Natura 2000. Από τα παραπάνω, επιλέγονται οι ως προς μελέτη ποταμοί, Στρυμόνας, Έβρος, Αωός και Αξιός.

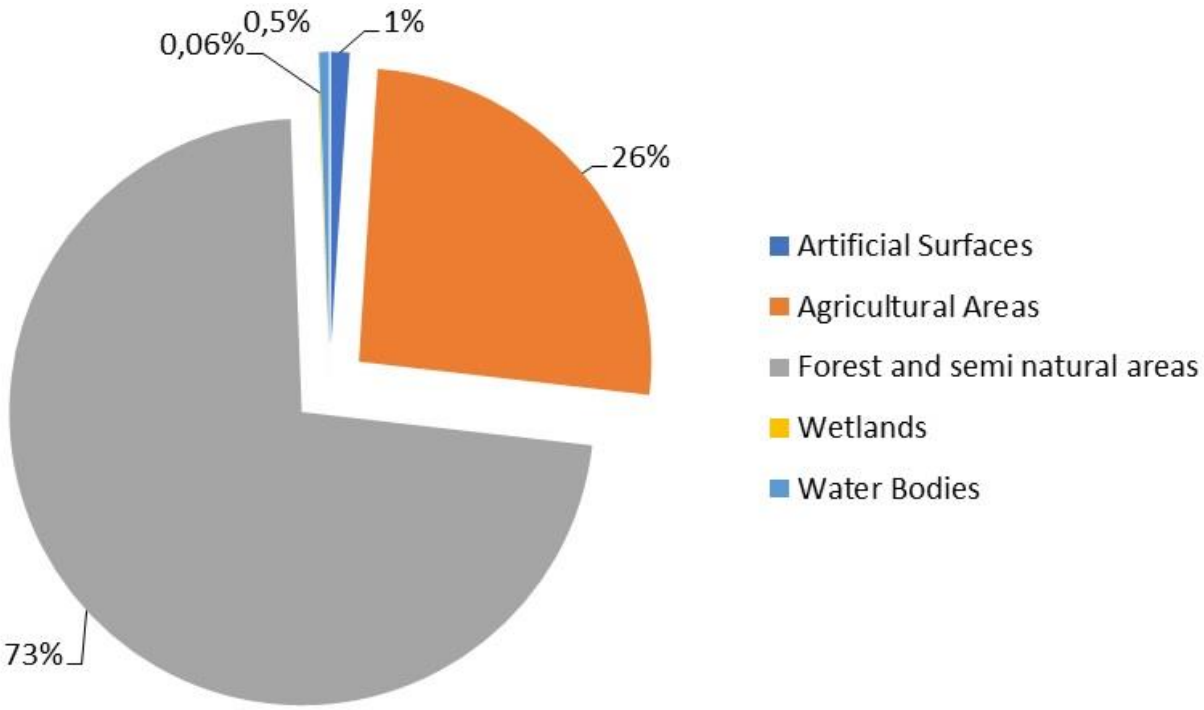
4.2 Λεκάνη Απορροής «Ποταμός Αωός»

Ο ποταμός Αώος/Vjose, πηγάζει από την Πίνδο (Ελλάδα), εισέρχεται σε αλβανικό έδαφος και εκβάλλει στην Αδριατική Θάλασσα, έχει συνολικό μήκος 292km εκ των οποίων τα 81km βρίσκονται στην Ελλάδα και τα υπόλοιπα στην Αλβανία. Είναι ο μοναδικός ποταμός της χώρας που είναι διασυνοριακός που πηγάζει από την Ελλάδα και εκβάλλει σε άλλη χώρα. Οι κυριότεροι παραπόταμοί του είναι ο Σαραντάπορος και Βοϊδομάτης, που πηγάζουν, ο πρώτος από το Γραμματικό και από τα βόρεια του όρους Σμόλικα, ενώ ο δεύτερος από τα νότια του όρους Τύρφη. Η παροχή του ποταμού κοντά στα σύνορα κυμαίνεται μεταξύ 8-130m^3/s, ανάλογα την εποχή, ενώ η μέση παροχή ανέρχεται στα 70m^3/s.

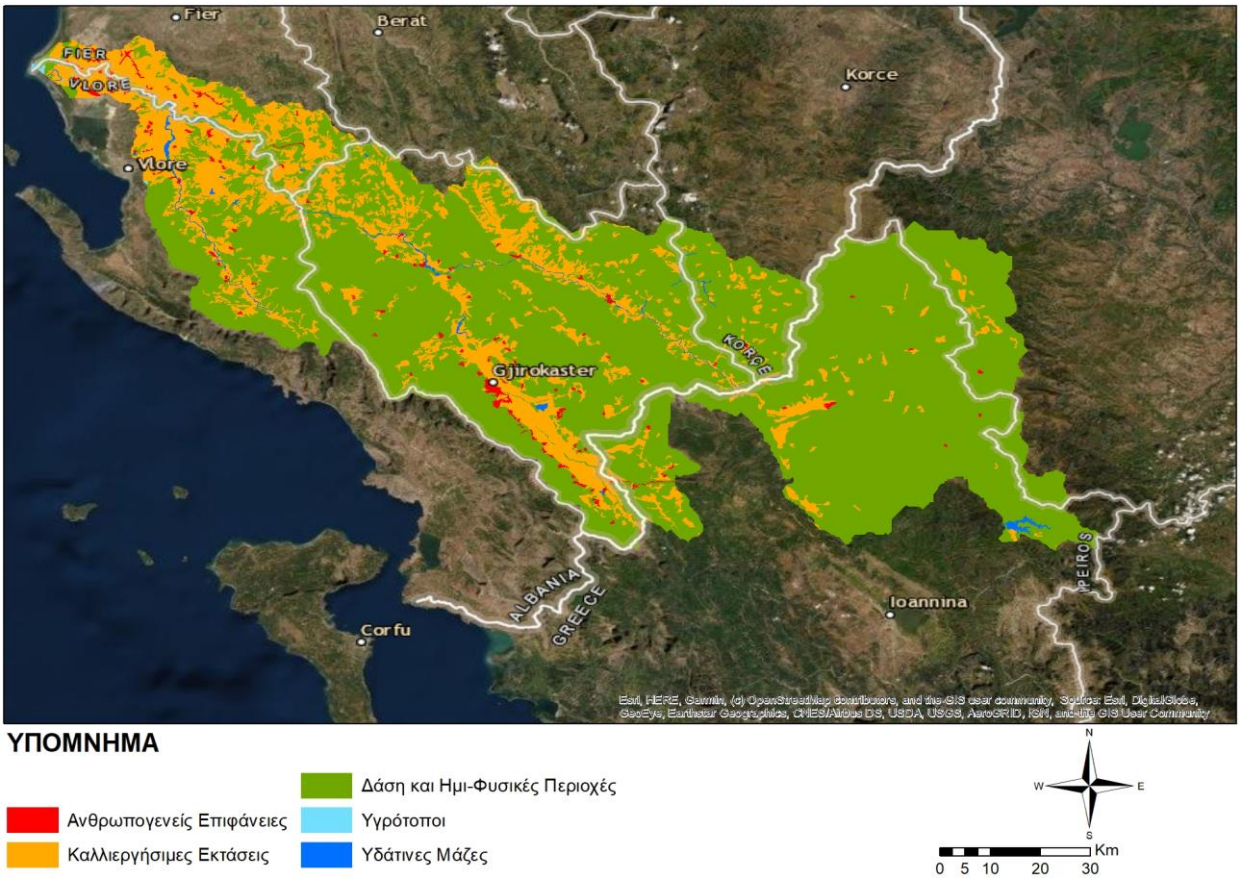
Εικόνα 4.1 Λεκάνη Ποταμού Αώου, Πηγή: World Basins, ESRI

4.1.1 Φυσικά / Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Η λεκάνη απορροής του ποταμού έχει έντονο ανάγλυφο, ενώ το της εμβαδό ανέρχεται στα 6.519 km^2, με το 66.96% ήτοι 4.365km^2 να βρίσκονται στην Αλβανία και 33,04% ήτοι 2.154km^2 στον Ελληνικό χώρο. Παρατηρούμε επίσης, πως σύμφωνα με τους τύπους Κάλυψη Γης κατά Corine 2018, η λεκάνη απορροής του ποταμού Αώου, αποτελείται από 73% Δάση και ημι-φυσικές περιοχές, 26% Καλλιεργήσιμες εκτάσεις, 1% Ανθρωπογενείς Επιφάνειες, 0,5% Υδάτινα Σώματα. (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)



Εικόνα 4.2: Διάγραμμα Κάλυψη Γης Λεκάνης Αώου κατά CORINE 2018. Πηγή: Copernicus Land Monitoring Service



Εικόνα 4.3: Κάλυψη Γης Λεκάνης Αώου κατά CORINE 2018, (Copernicus Land Monitoring Service, 2018), ESRI

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το ΥΠ.ΑΝ. (2003), στο ελληνικό έδαφος, διαπιστώθηκε ότι τα νερά του Αώου είναι κατάλληλα για ύδρευση, έπειτα από επεξεργασία, ενώ καλύπτουν και τα βασικά κριτήρια για άρδευση των γεωργικών εκτάσεων. Οι κυριότερες μη - σημειακές πηγές ρύπανσης στο ελληνικό έδαφος είναι αγροκτήματα, κυρίως στην περιοχή της Κόνιτσας, όπου τα έδαφος διαβρώνεται λόγω του έντονου ανάγλυφου της περιοχής. Σημειακές πηγές ρύπανσης στον ελληνικό χώρο αποτελούν οι αθλητικές δραστηριότητες στο Βοϊδομάτη και η ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων της Κόνιτσας. Στο αλβανικό έδαφος, πηγές ρύπανσης του ποταμού αποτελούν τα αστικά λύματα, τα οικιακά απόβλητα και οι αμμοληψίες. Στην Ελλάδα, τα συστήματα παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των νερών του Αώου και ενημέρωσης του κοινού μπορούν γενικά να χαρακτηριστούν ως ανεπαρκή. Στην Αλβανία, για τη λεκάνη απορροής του ποταμού υπάρχουν καταγεγραμμένα υδρολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία των τελευταίων 30 ετών, τα οποία όμως δεν είναι άμεσα προσβάσιμα στο κοινό, αλλά διαθέτονται από τις αρμόδιες υπηρεσίες κατόπιν σχετικής αίτησης (Παπαδοπούλου, 2006).

4.1.2 Ανθρωπογεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Ο πληθυσμός στη λεκάνη απορροής του ποταμού είναι περίπου 347.000 κάτοικοι, από τους οποίους οι 19.000 περίπου διαμένουν σε ελληνικό έδαφος. Στην Ελλάδα, ο ποταμός ανήκει στο εθνικό πάρκο Βίκος-Αώος. Η περιοχή έχει ιδιαίτερη φυσική ομορφιά και φιλοξενεί πλούσια χλωρίδα και πανίδα. Δεν υπάρχουν περιοχές μεγάλων αστικών κέντρων εντός της λεκάνης του Αώου, άνω των 50.000 παρά μόνο το Βόρειο μέρος της πόλης Vlore στις εκβολές του ποταμού. Το μεγαλύτερο ποσοστό των κατοίκων συγκεντρώνεται σε μικρά χωρία γύρω από τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της λεκάνης στα Βορειοδυτικά της κοντά στις εκβολές αλλά και στο Νότιο τμήμα της κοντά στα σύνορα.

4.2 Λεκάνη Απορροής «Ποταμός Αξιός»

Ο ποταμός Αξιός/ Vardar πηγάζει από το όρος Sar στην Βόρεια Μακεδονία κοντά στα σύνορά της με την Αλβανία. Αφού διασχίσει την Βόρεια Μακεδονία, εισέρχεται σε ελληνικό έδαφος από το Κιλκίς και εκβάλλει στον Θερμαϊκό Κόλπο. Έχει συνολικό μήκος 380km, από τα οποία μόνο τα 80km βρίσκονται εντός ελληνικών συνόρων. Η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής του είναι 23.747 km^2 και βρίσκεται μεταξύ Βόρειας Μακεδονίας, Ελλάδας και στο βόρειο τμήμα της επικοινωνεί και με την Σερβία. Η συνολική της έκταση ανέρχεται στα 23.747km^3 με το 87.06% να βρίσκεται στην Βόρεια Μακεδονία, το 10.58% στην Ελλάδα και το 2.36% στη Σερβία.

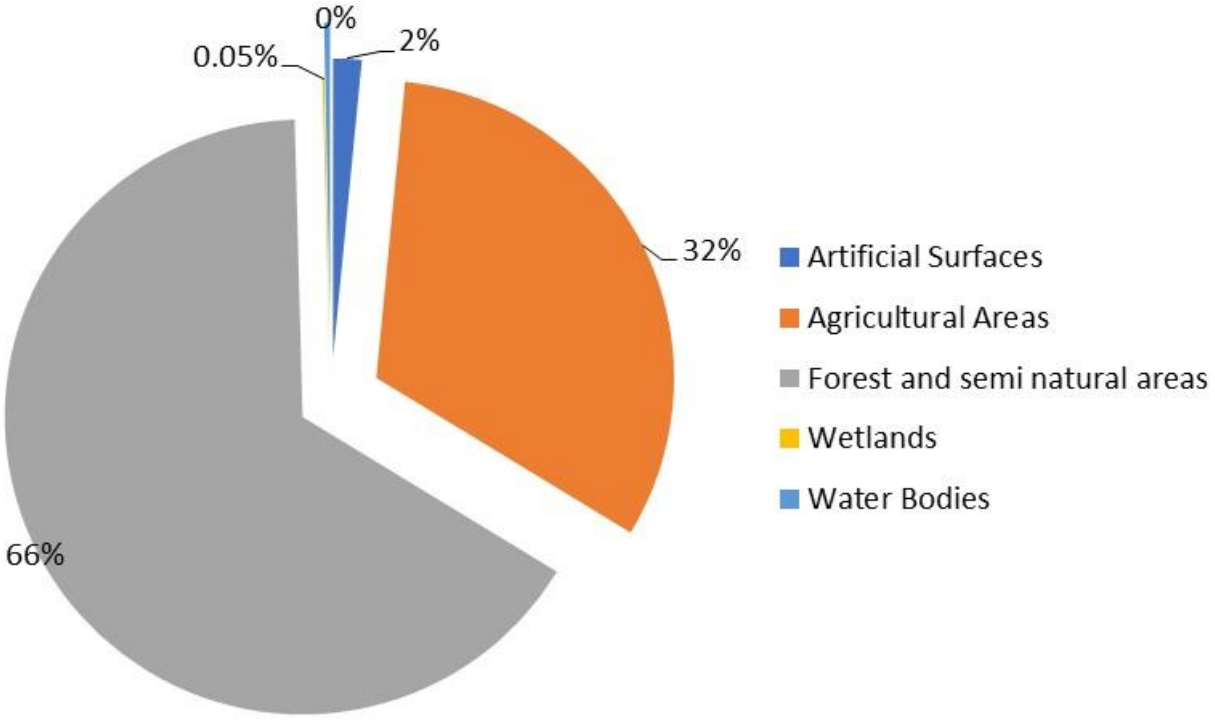
Εικόνα 4.4 : Λεκάνη Απορροής Αξιού, Πηγή: World Basins, ESRI

4.2.1 Φυσικά / Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά

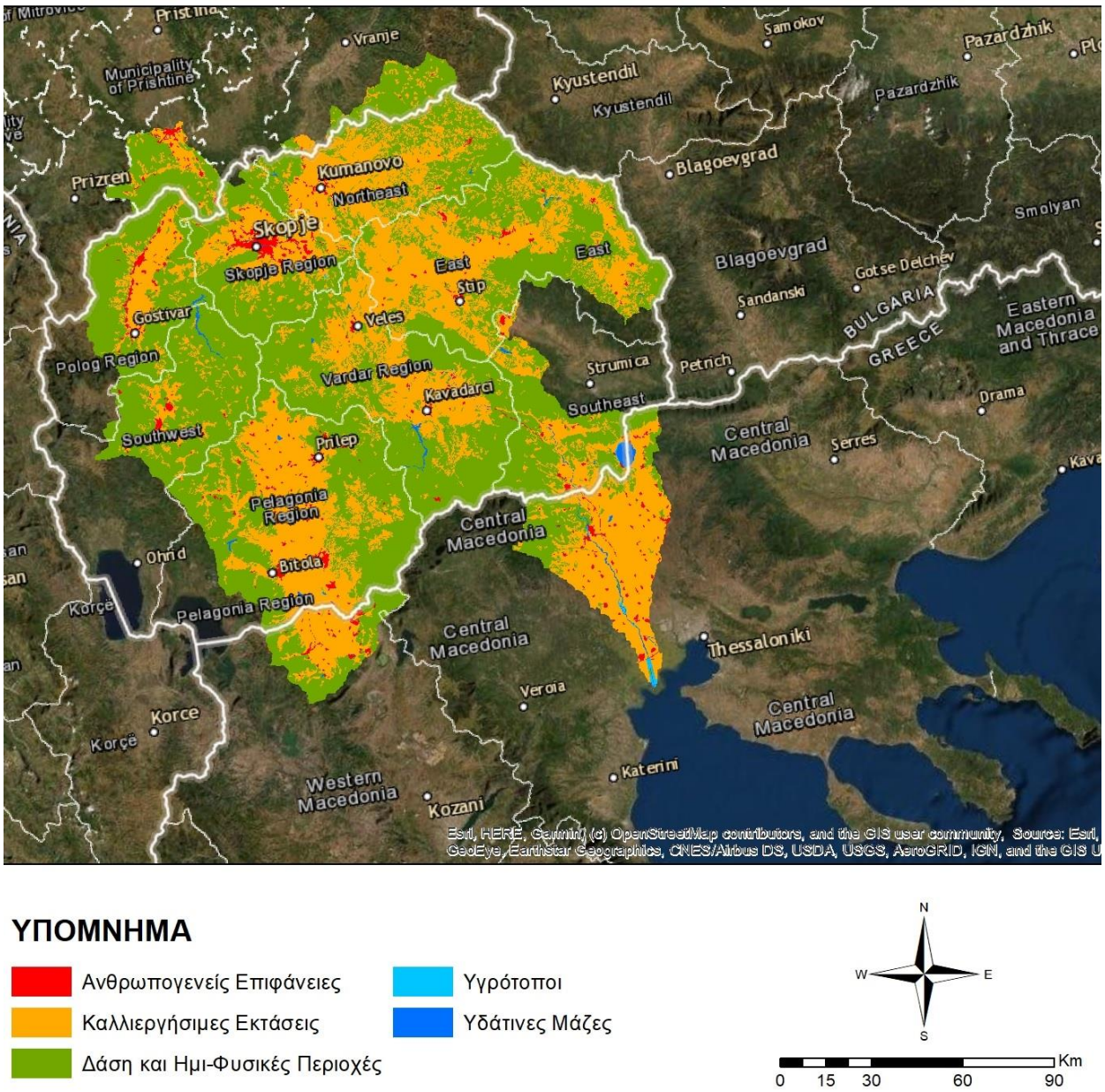
Η παροχή του νερού που εισέρχεται στο ελληνικό έδαφος εξαρτάται από τη διαχειριστική πολιτική στην Βόρεια Μακεδονία. Σύμφωνα με μετρήσεις, η μέση ετήσια παροχή στις δεκαετίες 1950 και 1960 υπολογίστηκε σε 170m3/s, ενώ με βάση στοιχεία της δεκαετίας 1985-1995 η παροχή εκτιμάται ότι ήταν 90m3/s (ΥΠ.ΑΝ. 2003). Η παροχή μειώθηκε τα τελευταία χρόνια εξαιτίας των έργων συγκράτησης των νερών του Αξιού στην Βόρεια Μακεδονία για αρδευτικούς σκοπούς.

Στην πεδιάδα της λεκάνης απορροής αναπτύσσονται κυρίως γεωργικές δραστηριότητες. Στα εδάφη της λεκάνης απορροής του ποταμού που ανήκουν στην Βόρεια Μακεδονία, βρίσκονται πολλές πόλεις, συμπεριλαμβανομένης και των Σκοπίων, στις οποίες υπάρχουν διάφορες βιομηχανίες, καθώς και μεγάλες μονάδες χημικής βιομηχανίας. Για την Ελλάδα, ο Αξιός είναι ένας από τους σημαντικότερους διακρατικούς ποταμού της, καθώς αρδεύει την πεδιάδα της Θεσσαλονίκης. Στις εκβολές του σχηματίζει Δέλτα με αξιόλογο οικολογικό πλούτο, ο οποίος προστατεύεται από τη Συνθήκη Ramsar. Για την προστασία των

οικοσυστημάτων και της ποιότητας των νερών, ένα κέντρο επεξεργασίας αστικών λυμάτων έχει κατασκευαστεί και λειτουργεί στην Ελλάδα, στα κατάντη του Αξιού, για την επεξεργασία των λυμάτων της Θεσσαλονίκης. Τα παραπάνω διαφαίνονται και στο παρακάτω διάγραμμα/εικόνα Κάλυψης Γης για την εν λόγω Λεκάνη βάση Corine 2018. (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)



Εικόνα 4.5: Διάγραμμα Κάληψη Γης λεκάνης Αξιού κατά Corine 2018. (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Ανθρωπογενείς Επιφάνειες
- Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις
- Δάση και Ημι-Φυσικές Περιοχές
- Υγρότοποι
- Υδάτινες Μάζες

N W E S

0 15 30 60 90 Km

Εικόνα 4.6 : Κάλυψη Γης λεκάνης Αξιού κατά Corine 2018, (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)

Παρατηρούμε πως το 66% της κάλυψης Γης περιλαμβάνει Δάση και Ήμι – Φυσικές Περιοχές, το 32% Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις και το 2% σε Τεχνίτες Επιφάνειες.

Σύμφωνα με έρευνα που εκπονήθηκε από το ΥΠ.ΑΝ. (2003), τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ποταμού Αξιού τον καθιστούν κατάλληλο για απόληψη νερού προς πόση, αν και οι συγκεντρώσεις νιτρικών και αμμωνιακών, που έχουν καταγραφεί εμφανίζονται περιστασιακά ιδιαίτερα υψηλές. Ο ποταμός Αξιός είναι αποδέκτης βιομηχανικών απόβλητων, αστικών λυμάτων και υπολειμμάτων γεωργικών φαρμάκων, ενώ αντιμετωπίζει και άλλα προβλήματα, περισσότερο ή λιγότερο σοβαρά, που απειλούν το Δέλτα και την κοίτη του.

Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται οι προσχώσεις, τα στερεά απόβλητα, τα απορρίμματα, οι ανεξέλεγκτες αμμοληψίες και αρδεύσεις. Το μεγαλύτερο πρόβλημα, όμως, αντιμετωπίζεται από τη γειτονική χώρα. Στην Βόρεια Μακεδονία, ο Αξιός ρυπαίνεται από χημικά απόβλητα εργοστασίων, κυρίως στις περιοχές Gostivar και Tetovo.

4.2.2 Ανθρωπογεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αξιού κατοικούν περί τους 1.960.000, το 45% αυτού κατοικεί στα 4 μεγάλα αστικά κέντρα της Βόρειας Μακεδονίας. Πιο αναλυτικά, η πόλη το Σκοπίων έχει το μεγαλύτερο πληθυσμό με 566.806 κατοίκους, η πόλη Τέτοβο φιλοξενεί 167.355, η Πρίλεπ 40.661 και η Μπιτόλα 100.616.

Οι εν λόγω περιοχές συμβάλουν στην ρύπανση του ποταμού Αξιού μιας και διαθέτουν σε αυτόν τα ανεπεξέργαστα αστικά λύματα της πόλης των Σκοπίων αλλά και άλλων περίπου 12 μικρότερων πόλεων. Ακόμη, παραπόταμοι του Αξιού, που έρχονται από το Prilep και τη Bitola, μεταφέρουν ρυπαντικά φορτία με διάφορες επικίνδυνες ουσίες, οξέα, ενώσεις χρωμίου κ.ά. από βυρσοδεψεία, αλλά και από σφαγεία, χοιροστάσια κλ. Η λήψη δράσης σε διασυνοριακό επίπεδο απαιτείται, τουλάχιστον για τη χώρα μας, που βρίσκεται στα κατάντη, προκειμένου να προστατευτεί ο κόλπος του Θερμαϊκού από τη ρύπανση αφού εκεί εκβάλλει ο ποταμός και να διατηρηθεί η οικολογική αξία του Δέλτα του ποταμού (Παπαδοπούλου 2006).

4.3 Λεκάνη Απορροής «Ποταμός Στρυμώνας»

Ο ποταμός Στρυμόνας/Struma, έχει συνολικό μήκος 400km, πηγάζει από το όρος Vitosha, 15 km νοτιοδυτικά της Σόφιας, σε υψόμετρο 2200m ρέει μέσα από τη Βουλγαρία με κατεύθυνση νότια, στο σημείο αυτό ο ποταμός είναι πολύ ορμητικός ενώ στη συνέχεια σχηματίζει μια εύφορη κοιλάδα ανάμεσα στα όρη Ρούγιεν και Ρίλα. Συνεχίζοντας προς Νότο, διανοίγει μια δίοδο ανάμεσα στα όρη Μάλες και Πιρίν και λίγο πριν την είσοδο του στο ελληνικό έδαφος, δέχεται τα νερά του σημαντικότερου παραποτάμου του, του Στρούμιτσα. Στο ελληνικό έδαφος ρέει σχεδόν αποκλειστικά στο νομό Σερρών και μαζί με τον παραπόταμο του Αγγίτη ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας. Άλλοι σημαντικοί παραπόταμοι του Στρυμόνα είναι ο Μούτκοβας ο οποίος ρέει στη μικρή κοιλάδα των Ποροϊων, ο Εξάβης που πηγάζει από το όρος Κερδύλλιον, ο Κρουσοβίτης ο οποίος πηγάζει από το όρος Όρβηλος και ο Ξηροπόταμος που πηγάζει από το Μαυροβούνι.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Strimonas / Struma Basin

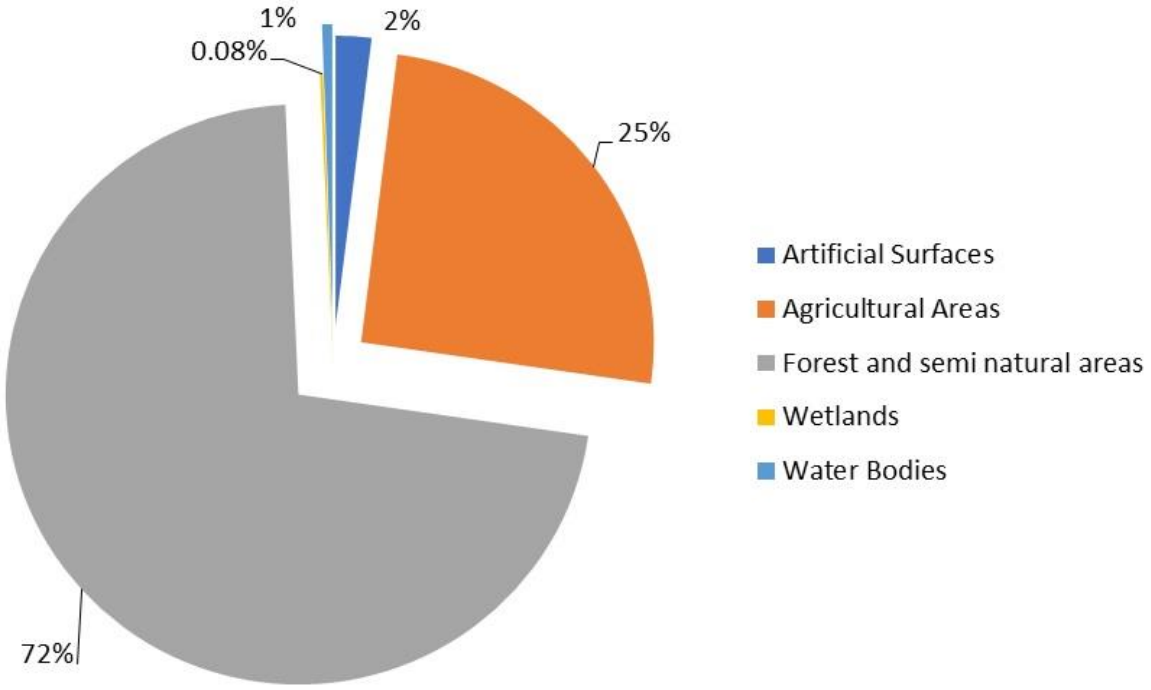
Εικόνα 4.7: Λεκάνη Απορροής Στρυμόνα, (World Basins, ESRI)

4.3.1 Φυσικά / Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Το πλάτος του Στρυμόνα ξεπερνάει κατά περιοχές τα 250 m, ενώ το βάθος του μπορεί να φθάσει τα 3 m ανάλογα με την εποχή. Η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής του ποταμού Στρυμόνα είναι 18.078 km2 και το μεγαλύτερο μέρος της εκτείνεται σε ελληνικό και βουλγαρικό έδαφος. Η μέση ετήσια απορροή του ποταμού στα σύνορα κυμαίνεται στα 2.613hm^3. Στην Ελλάδα εισέρχεται δυτικά του χωριού Προμαχώνας. Στο σημείο αυτό λόγω απότομης αλλαγής της κλίσης του εδάφους ο ποταμός χάνει την ορμητικότητα του και χωρίζεται σε δύο κύριους κλάδους. Ο δυτικός κλάδος εισέρχεται στη λίμνη Κερκίνη, έπειτα ρέει

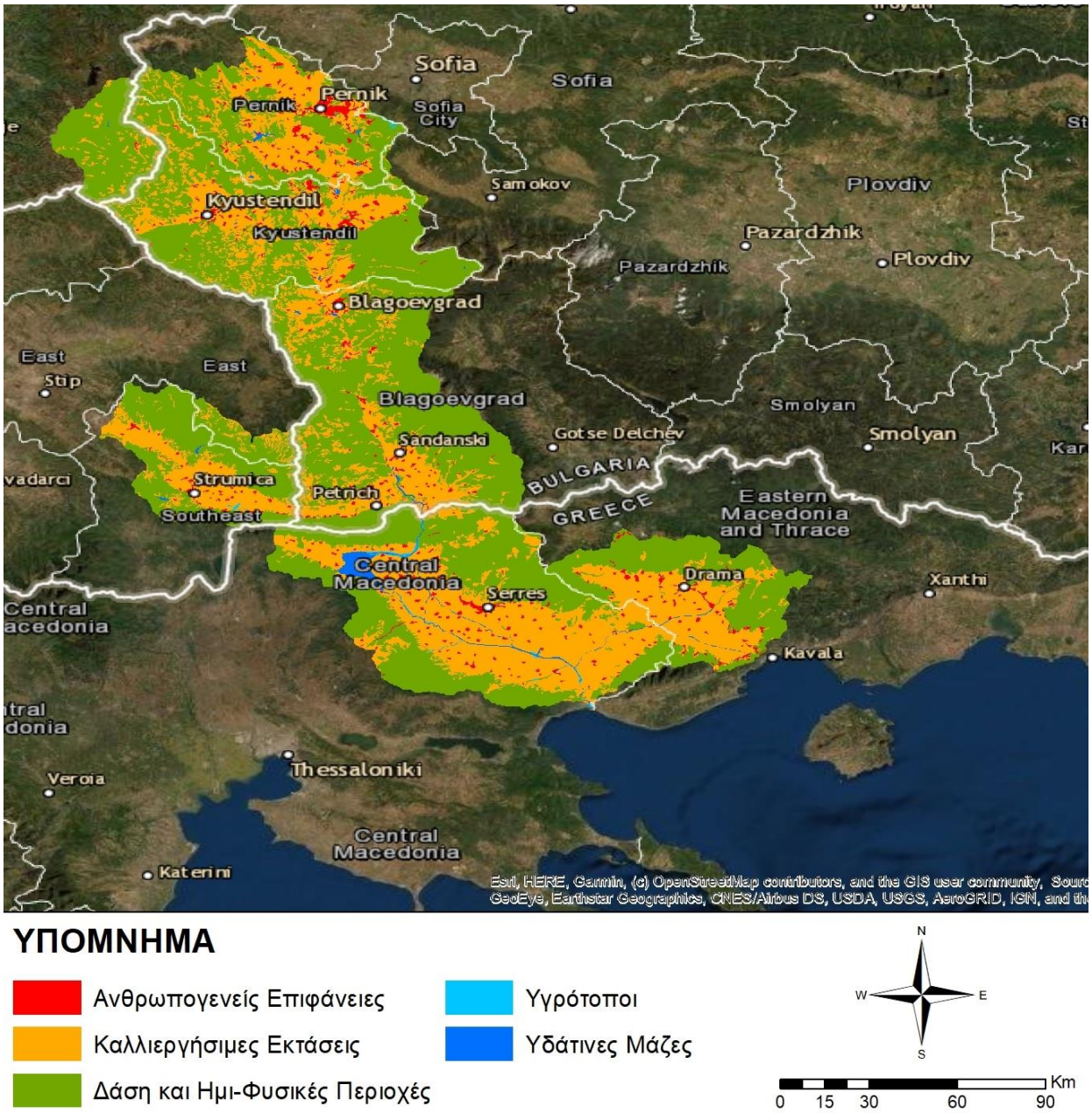
νοτιοανατολικά μέχρι το σημείο που ενώνεται με τον ανατολικό μεγαλύτερο κλάδο σχηματίζοντας ενιαία κοίτη κοντά στο χωριό Λιθοτόμος. Από το σημείο αυτό και για μήκος 50km μέχρι τη συμβολή του με τον Αγγίτη, η κοίτη του Στρυμόνα είναι τεχνητή με αναχώματα και αρδευτικά κανάλια. Τελικά ο ποταμός διέρχεται ανάμεσα από τα όρη Κερδύλλιον και Παγγαίο και εκβάλλει στο Στρυμονικό Κόλπο ανατολικά του χωριού Ν. Κερδύλλια σχηματίζοντας μικρό Δέλτα (Ορφανίδου, 2008).

Κατά το παρελθόν λόγω της αβαθούς φυσικής του κοίτης, ο Στρυμόνας πλημμύριζε συχνά την πεδιάδα των Σερρών προκαλώντας εκτεταμένες καταστροφές. Συχνές ήταν επίσης και οι αλλαγές της κοίτης. Από τα 1.200.000 στρέμματα της πεδιάδας των Σερρών το 63% το καταλάμβαναν έλη, λίμνες και περιοδικά κατακλυζόμενες εκτάσεις ενώ ποσοστό μόλις 37% δεν απειλούνταν από τον κίνδυνο πλημμύρας. Έτσι με σκοπό την αντιπλημμυρική προστασία της πεδιάδας, την άρδευση και τη συγκράτηση των φερτών υλών δημιουργήθηκε το 1932 η τεχνητή λίμνη Κερκίνη, με την κατασκευή φράγματος στη θέση Λιθότοπος. (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)



Εικόνα 4.8: Κάλυψη Γης Λεκάνης Στρυμόνα κατά Corine 2018, Copernicus Land Monitoring Service, 2018

Παρατηρούμε λοιπόν πως το 72% της λεκάνης περιλαμβάνει Δάση και Ημι – Φυσικές Περιοχές, το 25% Καλλιεργήσιμες εκτάσεις, το 2% Τεχντιτές Επιφάνειες και το 1% Σώματα νερού.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Ανθρωπογενείς Επιφάνειες
- Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις
- Δάση και Ημι-Φυσικές Περιοχές
- Υγρότοποι
- Υδάτινες Μάζες

N W E S

0 15 30 60 90 Km

Εικόνα 4.9: Κάλυψη Γης Λεκάνης Στρυμόνα κατά Corine 2018, (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)

4.3.2 Ανθρωπογεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα διαμένουν 623.000 κάτοικοι στο ελληνικό έδαφος και 430.000 βουλγαρικό. Στην ελληνική πλευρά αναπτύσσονται γεωργικές και τουριστικές δραστηριότητες καθώς και ιχθυοκαλλιέργειες, επίσης έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν φράγματα για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στις θέσεις Κερκίνη, Λευκόγια, Κατάφυτος και Φωλιά. Στο βουλγαρικό έδαφος υπάρχουν πάρκα προστασίας της χλωρίδα και της πανίδας, χιονοδρομικά κέντρα, βοσκότοποι, γεωργικές εκτάσεις, ιχθυοκαλλιέργειες,

βιομηχανικές και τουριστικές εγκαταστάσεις. Επίσης, λειτουργούν φράγματα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, τα σπουδαιότερα από τα οποία βρίσκονται στις θέσεις Studera και Pchelina (Arsov και Dacova, 2005).

Εντός της λεκάνης απορροής, βρίσκονται 3 μεγάλα αστικά κέντρα, η πόλη Sofia με 1.533.131 κατοίκους και η πόλη Blagoevgrad με 96.921 κατοίκους στη βουλγαρική πλευρά. Αντίστοιχα στην ελληνική βρίσκεται η πόλη της Καβάλας με 59.947 κατοίκους, όλα τα παραπάνω φαίνονται στην κάτωθι εικόνα.

Η ποιότητα των νερών του Στρυμόνα, στην ελληνική πλευρά, χαρακτηρίζεται καλή προς μέτρια, με υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου και ψευδαργύρου, ειδικά στα αιωρούμενα σωματίδια του ποταμού, ενώ τα γεωργικά φάρμακα αποτελούν τους κύριους οργανικούς ρυπαντές του ποταμού. Σύμφωνα με έρευνα των ΥΠ.ΑΝ. κ.ά. (2003), παρουσιάζεται αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου σε σχέση με παλαιότερα στοιχεία, οι μικροοργανικές ενώσεις κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, ενώ οι συγκεντρώσεις αρσενικού κυμαίνονται σε σχετικά υψηλά επίπεδα υπερβαίνοντας το όριο των 10μg/l. Η ποιότητα των νερών είναι ελαφρώς καλύτερη στην Κερκίνη αρά στον Στρυμόνα πριν την είσοδό του στη λίμνη. Στα υπόγεια νερά της λεκάνης του ποταμού Στρυμόνα και στη λίμνη Κερκίνη έχουν καταγραφεί υψηλές συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων Οι κύριες πηγές ρύπανσης στα κατάντη του Στρυμόνα επομένως, είναι οι γεωργικές δραστηριότητες και δευτερευόντως η παρουσία βιοτεχνικών, βιομηχανικών μονάδων και αστικών λυμάτων. Προβλήματα επίσης, δημιουργούνται από τη μεταφορά φερτών υλικών που προέρχονται κυρίως από τη διάβρωση των βουλγαρικών εδαφών. Οι φερτές ύλες προσχώνουν τη λίμνη Κερκίνη, με αποτέλεσμα να ανυψώνεται η στάθμη της και να πλημμυρίζουν οι γύρω καλλιεργούμενες εκτάσεις.

4.4 Λεκάνη Απορροής «Ποταμός Έβρος»

Πρόκειται για το δεύτερο μεγαλύτερο ποταμό της Βαλκανικής χερσονήσου μετά το Δούναβη. Έχει μήκος 530km, πηγάζει από την κεντρική Βουλγαρία και την Ευρωπαϊκή Τουρκία, και στα κατάντη του αποτελεί σύνορο μεταξύ Ελλάδας και Τουρκίας για 203km, πριν εκβάλει στο Θρακικό Πέλαγος.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Evros / Maritsa Basin

N W E S

0 20 40 80 120 Km

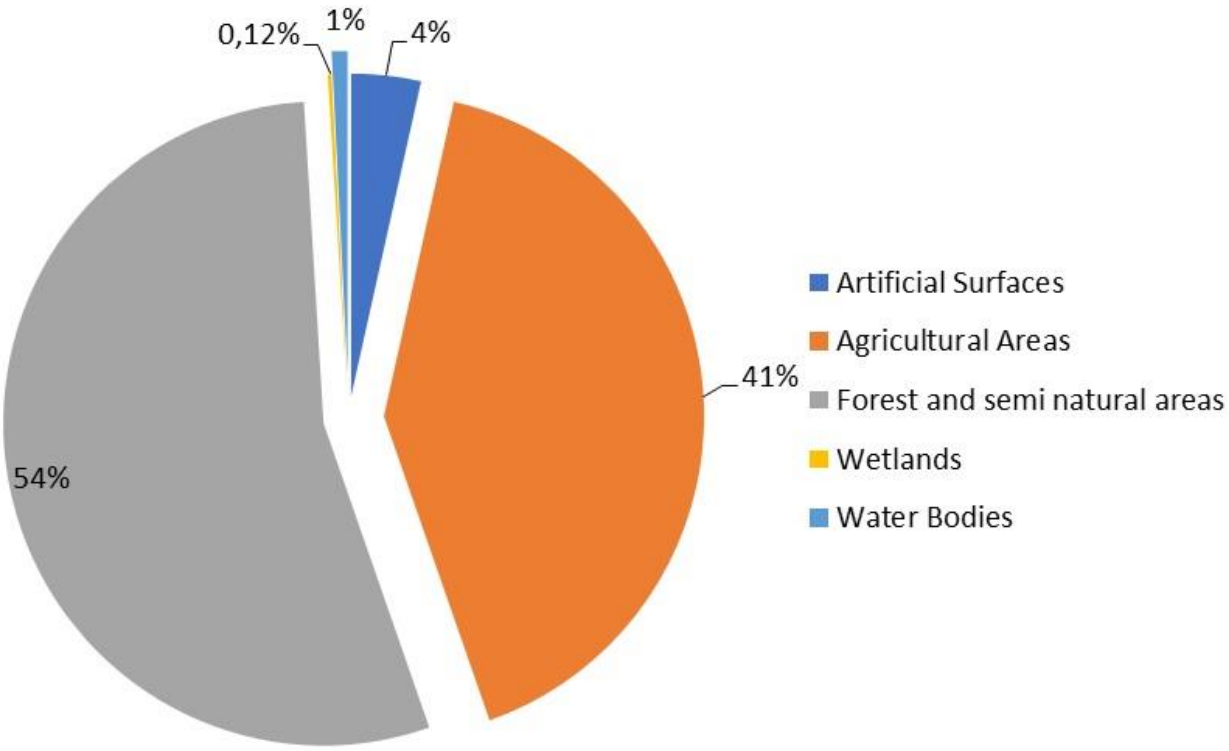
Εικόνα 4.10: Λεκάνη απορροής Έβρου, (World Basins, ESRI)

4.4.1 Φυσικά / Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Η έκταση της λεκάνης απορροής του είναι 53.000km^2 και από αυτά το ποσοστό 66% ανήκει στη Βουλγαρία, το 28% στην Τουρκία ενώ στην Ελλάδα ανήκει ποσοστό της τάξης του 6%. Αποτελεί το σύνορο ανάμεσα στις Ελλάδα-Τουρκία και Ελλάδα-Βουλγαρία.

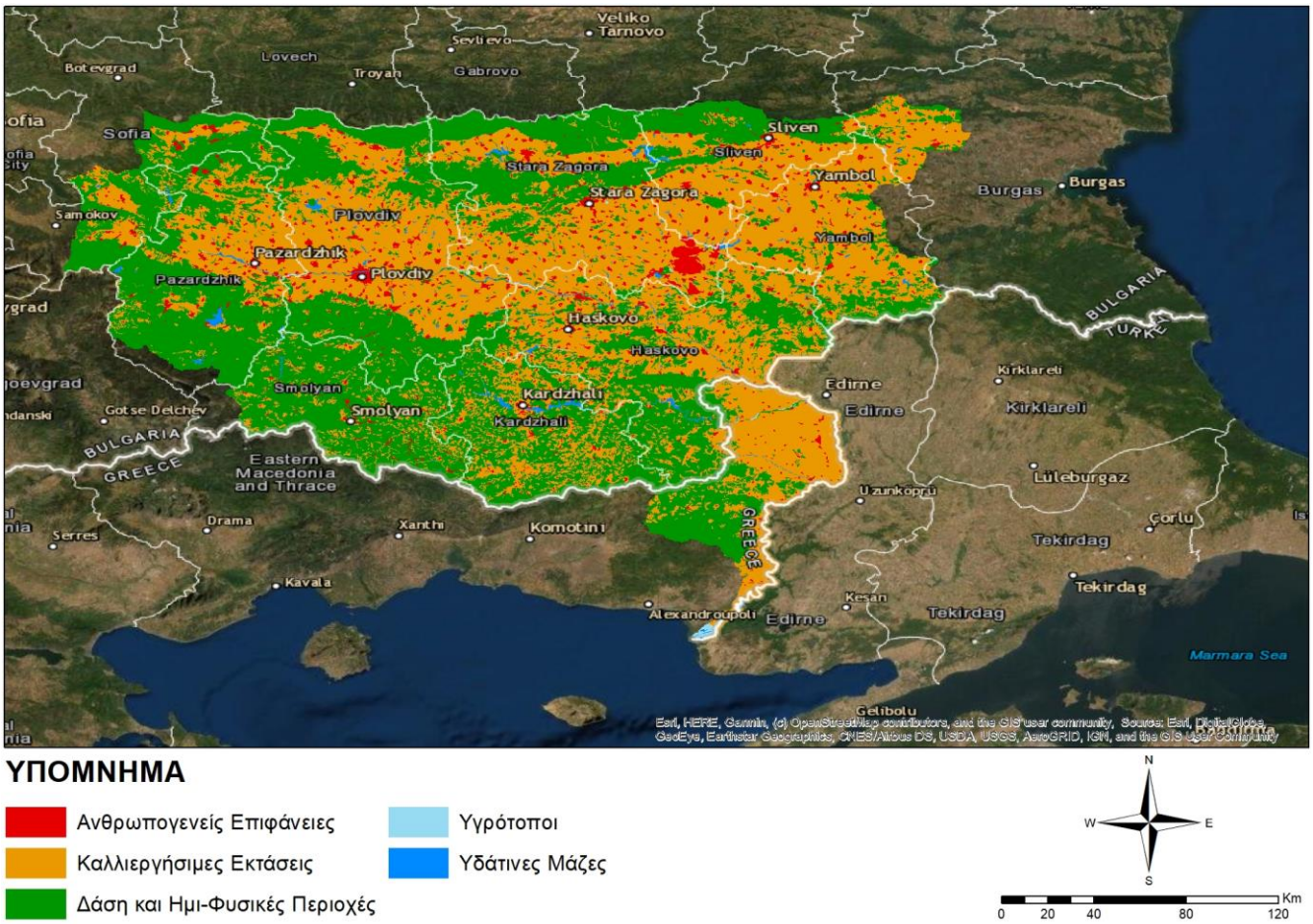
Ο Έβρος, μαζί με τους παραποτάμους του (τον Εργίνη στο τούρκικο έδαφος και τους Τούντζα και Άρδα στο βουλγαρικό έδαφος), αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα οικοσυστήματα στα ανατολικά Βαλκάνια. Η μέση ετήσια παροχή του νερού στον ποταμό, στη θέση Πύθιο (βορειοανατολικά του Διδυμότειχου), ανέρχεται σε 383m^3/s η ελάχιστη 234m^3/s και η μέγιστη

σε 921m3/s. Τα Δέλτα του ποταμού είναι εξαιρετικής οικολογικής σημασίας και προστατεύεται από τη Συνθήκη Ramsar. Τα τελευταία πενήντα χρόνια, το πλάτος της κοίτης του ποταμού περιορίστηκε σημαντικά. Από τα 1500-2000 μέτρα έφτασε στα 150-200 μέτρα σήμερα. Ο λόγος ου συνέβη αυτό είναι οι διαρκείς παρεμβάσεις του ανθρώπου και η συνεχής ανύψωση αναχωμάτων γύρω από την κοίτη του ποταμού. Το αποτέλεσμα είναι η συχνή υπερχείλιση του και οι ολοένα και περισσότερες ζημιές που προκαλούνται από τις πλημμύρες που σημειώνονται στην περιοχή.



Εικόνα 4.11: Κάληψη Γης λεκάνης Έβρου κατά Corine 2018, (Copernicus Land Monitoring Service, 2018)

Στο ανωτέρω διάγραμμα παρατηρούμε πως σε σχέση με τις υπόλοιπες λεκάνες των τριών άλλων ποταμών μελέτης, ο Έβρος εμφανίζει να έχει μεγάλο ποσοστό Καλλιεργήσιμων εκτάσεων της τάξης του 41% της έκτασης της λεκάνης, το 54% περιλαμβάνει Δάση και Ημι – Φυσικές περιοχές, το 4% Τεχνιτές Επιφάνειες και το 1% Σώματα Νερού. Copernicus Land Monitoring Service, 2018



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Ανθρωπογενείς Επιφάνειες
- Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις
- Δάση και Ημι-Φυσικές Περιοχές
- Υγρότοποι
- Υδάτινες Μάζες

N, W, E, S

0 20 40 80 120 Km

Εικόνα 4.12: Κάλυψη Γης Λεκάνης Έβρου κατά Corine 2018, (Copernicus Land Monitoring Service, 2018, ESRI)

4.4.2 Ανθρωπογεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Στη Βουλγαρική πλευρά του ποταμού υπάρχουν πόλεις όπου κατοικούν περίπου 700.000 άνθρωποι ενώ στην τουρκική πλευρά και συγκεκριμένα στην πόλη Edirne κατοικούν περίπου 115.000 άνθρωποι. Οι 700.000 στην Βουλγαρική πλευρά κατοικούν κυρίως στα 7 μεγάλα αστικά κέντρα που βρίσκονται εντός της λεκάνης του ποταμού, όπως φαίνονται και στην παρακάτω εικόνα.

Τα νερά του ποταμού χρησιμοποιούνται κυρίως για άρδευση γεωργικών εκτάσεων και ύδρευση κατοικημένων περιοχών. Στο ελληνικό έδαφος αναπτύσσονται γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες κυνήγι και αλιεία, στο βουλγαρικό έδαφος υπάρχουν γεωργικές καλλιέργειες, βοσκότοποι, και δάση και στο τούρκικο έδαφος αναπτύσσονται τόσο γεωργικές και κτηνοτροφικές, όσο και βιομηχανικές δραστηριότητες.

Κεφάλαιο 5ο : Μελέτη Περιπτώσεων Πλημμυρικών Φαινομένων

Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετηθούν πλημμυρικά φαινόμενα που έλαβαν χώρα εντός των τεσσάρων λεκανών απορροής, όπως αυτές αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4. Αναλυτικότερα, θα παρουσιαστούν τα δεδομένα και η μεθοδολογία καταγραφής της έκτασης των συμβάντων μέσω δορυφορικών δεδομένων Sentinel-1 τύπου Radar και θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του αυτοματοποιημένου συστήματος EMS Rapid Mapping του προγράμματος Copernicus της Ε.Ε.

5.1 Πρόγραμμα Copernicus

Το ευρωπαϊκό επιστημονικό πρόγραμμα Copernicus αποτελεί ένα σύγχρονο πρόγραμμα παρατήρησης και παρακολούθησης της Γης από το διάστημα, εστιάζοντας κατά κύριο λόγο στην προστασία του περιβάλλοντος και σε ζητήματα πολιτικής προστασίας. Το πρόγραμμα δημιουργήθηκε με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission) σε συνεργασία με τα κράτη μέλη της ΕΕ, τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA), τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος ΕΟΠ (European Environmental Agency - EAA), τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Εκμετάλλευση Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT), το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προβλέψεων (ECMWF), τις Υπηρεσίες της ΕΕ και την Mercator Océan (Copernicus, 2017).

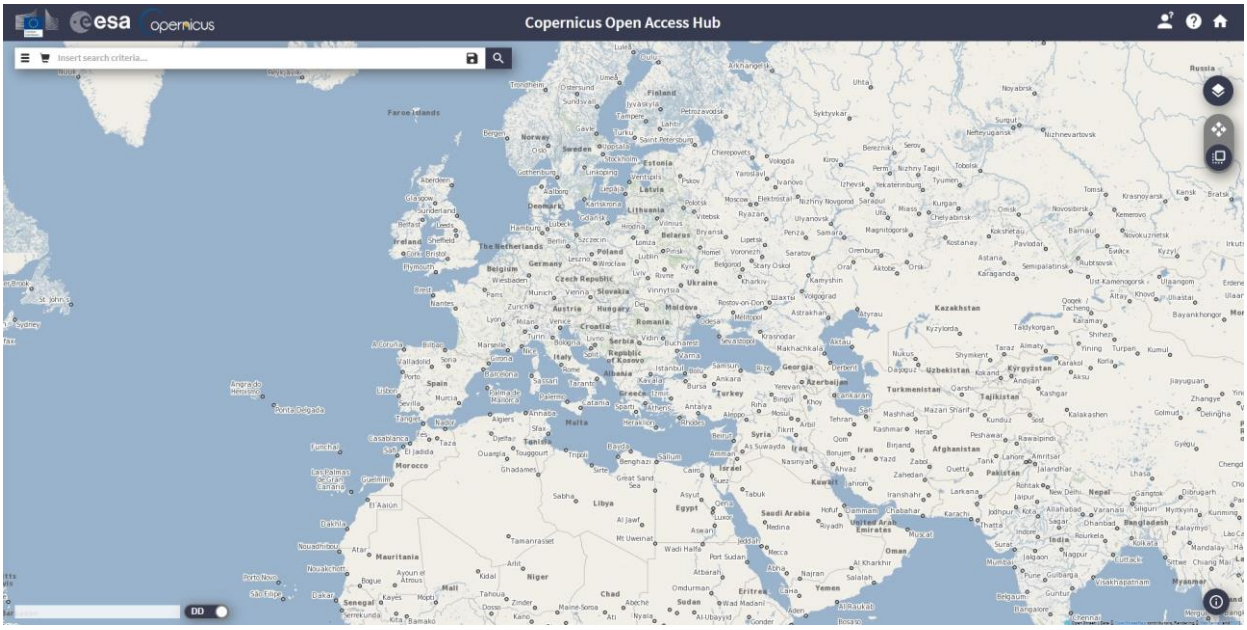
Το Copernicus έχει δομηθεί πάνω στο προηγούμενο ευρωπαϊκό πρόγραμμα παρακολούθησης της Γης GMES (Global Monitoring for Environment and Security), αποτελεί δηλαδή, συνέχεια του ευρωπαϊκού προγράμματος για την «Παγκόσμια Παρακολούθηση του Περιβάλλοντος και της Ασφάλειας», στηρίζοντας τη λειτουργία του σε υπάρχουσες ευρωπαϊκές και εθνικές προδιαγραφές (Copernicus, 2017).

Πρωταρχικός στόχος της δημιουργίας του Copernicus αποτελεί η παρακολούθηση της Γης και των οικοσυστημάτων της, εξασφαλίζοντας παράλληλα ότι οι πολίτες της είναι εκπαιδευμένοι, ευαισθητοποιημένοι και προστατευμένοι απέναντι στους ενδεχόμενους ανθρωπογενείς κινδύνους, κρίσεις και καταστροφές. Επιπλέον, καλείται να παρέχει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, αξιόπιστη και ενημερωμένη γνώση για το συντονισμό των τομέων πολιτικής προστασίας και τη διαμόρφωση στρατηγικών στο πλαίσιο διαχείρισης του κινδύνου καταστροφών, σε παγκόσμια, ηπειρωτική, εθνική και περιφερειακή κλίμακα.

Εικόνα 5.1: Σύνοψη βασικών στόχων του προγράμματος Copernicus (Πηγή: ESA)

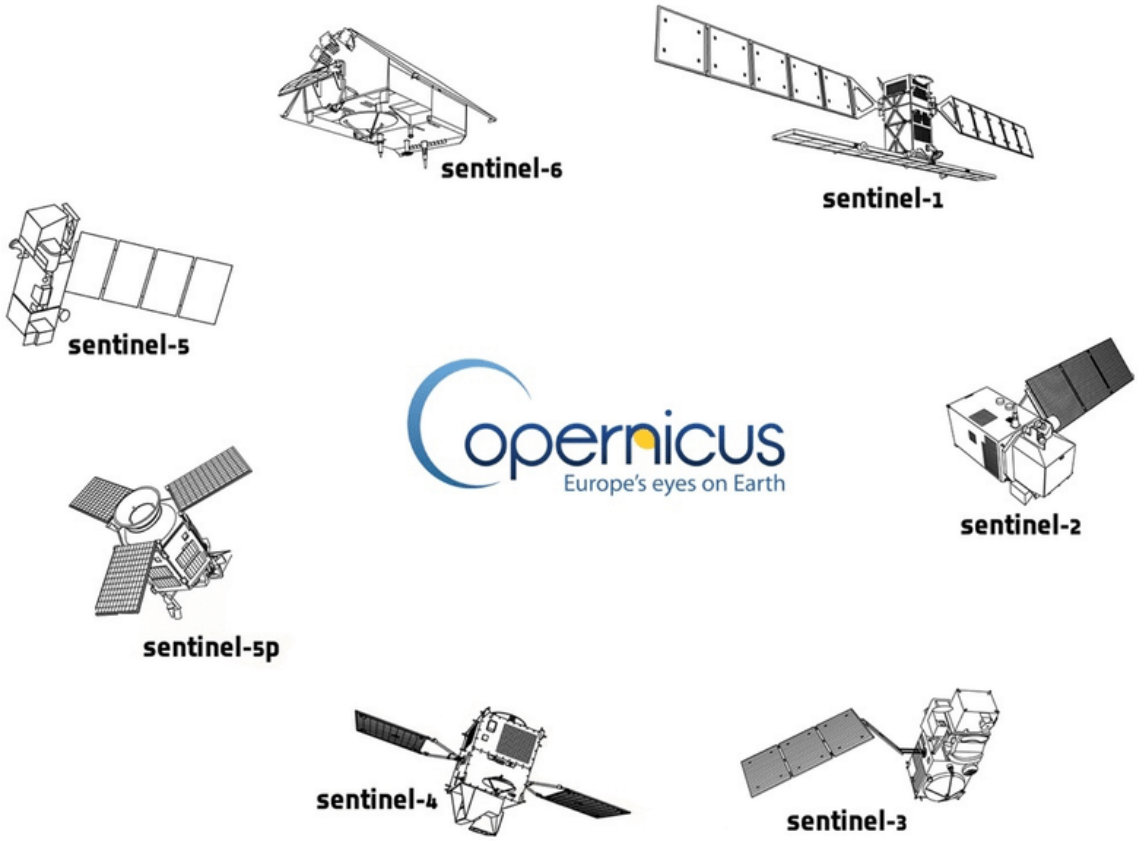
Άλλες κατηγορίες χρηστών, πέραν των φορέων χάραξης πολιτικής και των δημοσίων φορέων είναι οι ιδιώτες αλλά και φορείς στον τομέα της εκπαίδευσης και της έρευνας, όπως και οργανώσεις μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα (Copernicus, 2017, Denis, et al, 2016)

Τα ανωτέρω, είναι εφικτά, μέσω της δωρεάν παροχής δεδομένων και γνώσης από τις υπηρεσίες του Copernicus για τους μη εμπορικούς χρήστες.



Εικόνα 5.2: Ιστοσελίδα Copernicus Open Access Hub δωρεάν παροχής δορυφορικών δεδομένων (https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home)

Το πρόγραμμα Copernicus εξυπηρετείται από ένα σύνολο δορυφόρων με την ονομασία «Sentinel». Οι Sentinel είναι ειδικά σχεδιασμένοι για να ικανοποιούν τις ανάγκες των χρηστών τους, εκπληρώνοντας την ανάγκη μιας συστηματικής και ανεξάρτητης πηγής δεδομένων υψηλής ποιότητας. Στόχος της ESA είναι να σχεδιάσει και να υλοποιήσει το διαστημικό πρόγραμμα για την τοποθέτηση ενός στόλου σχεδόν 20 δορυφόρων σε τροχιά, μέσα στο χρονικό διάστημα των επόμενων δέκα ετών. Στην ουσία, το διαστημικό σκέλος διασφαλίζει τη βιώσιμη διαστημική επισκόπηση για τα διάφορα σκέλη των υπηρεσιών. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (ΕΟΔ) συντονίζει αυτό το σκέλος και εκτελεί εξειδικευμένες αποστολές και ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Εκμετάλλευση Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT) έχει οριστεί να εκτελεί κάποιες εξειδικευμένες μετεωρολογικές διαστημικές αποστολές (Berger, et al, 2012, Aschbacher, et al, 2012).



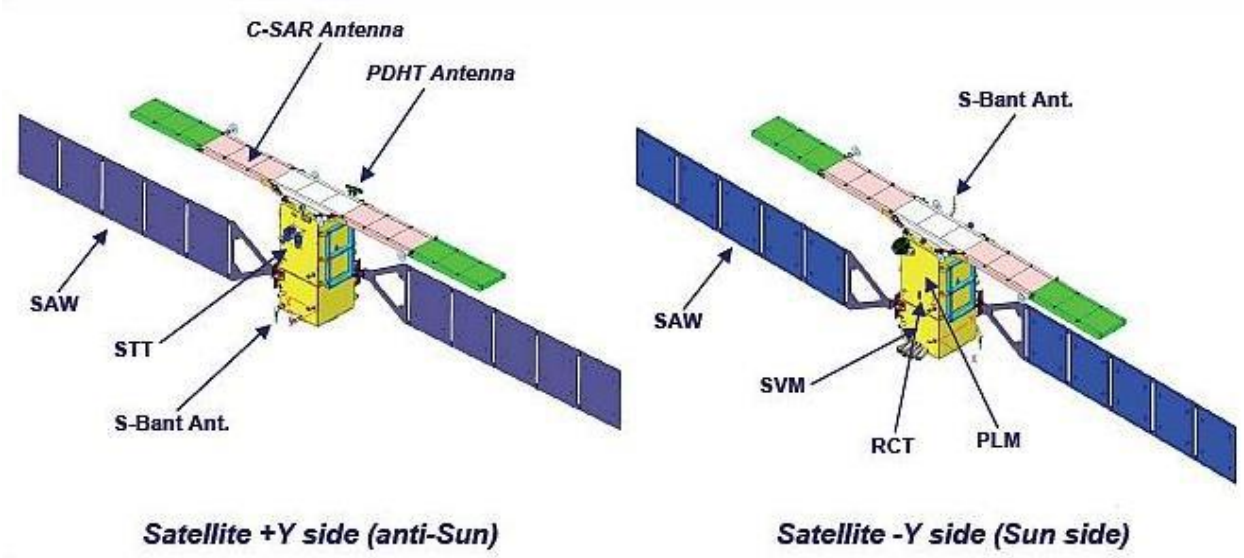
Εικόνα 5.3: Οικογένεια δορυφόρων Sentinel του προγράμματος Copernicus

Οι κύριες θεματικές ενότητες που δραστηριοποιείται το πρόγραμμα Copernicus αφορούν στην αποτύπωση και παρακολούθηση της ατμόσφαιρας και του θαλάσσιου περιβάλλοντος, την παρατήρηση και παρακολούθηση της Γης, την κλιματική αλλαγή, τη διαχείριση έκτακτων

συμβάντων και την εξασφάλιση της ασφάλειας των πολιτών. Επιτυγχάνεται, η ενημέρωση και προστασία του πληθυσμού, που αφορά στους διάφορους κινδύνους και καταστροφές, όπως για παράδειγμα οι πλημμύρες, οι κατολισθήσεις, οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι δασικές πυρκαγιές αλλά και ανθρωπογενείς κινδύνους και καταστροφές, γεγονός που θα συμβάλλει καθοριστικά στην πρόληψη και μετριασμό των επιπτώσεων, όπως για παράδειγμα την απώλειας ανθρωπίνων ζωών, των περιουσιακών κεκτημένων αλλά και του ιδίου του φυσικού περιβάλλοντος (Copernicus, 2017).

5.1.1 Δορυφόρος Sentinel-1

Η αποστολή Sentinel-1 είναι η πρώτη από τις έξι αποστολές Sentinel του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Copernicus, με απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο δορυφόρος Sentinel-1 αποτελείται από ένα αστερισμό δύο δορυφόρων οι οποίοι φέρουν όργανα καταγραφής SAR, με τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά, εξασφαλίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τη συνέχεια των παρατηρήσεων SAR της ζώνης C του μικροκομματικού τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Copernicus, 2017). Ο Sentinel-1A εκτοξεύτηκε στις 3 Απριλίου 2014, ενώ ο δεύτερος δορυφόρος Sentinel-1B, εκτοξεύτηκε στις 25 Απριλίου 2016. Οι δύο παραπάνω δορυφόροι βρίσκονται σε τροχιά με διαφορά 180°, έτσι ώστε να βελτιώσουν τη χρονική διακριτική ικανότητα λήψεων σε ολόκληρη τη Γη, κάθε 6 ημέρες (για την Ευρώπη και τη λεκάνη της Μεσογείου) με χωρική ανάλυση 10m (Potin, et al, 2016).

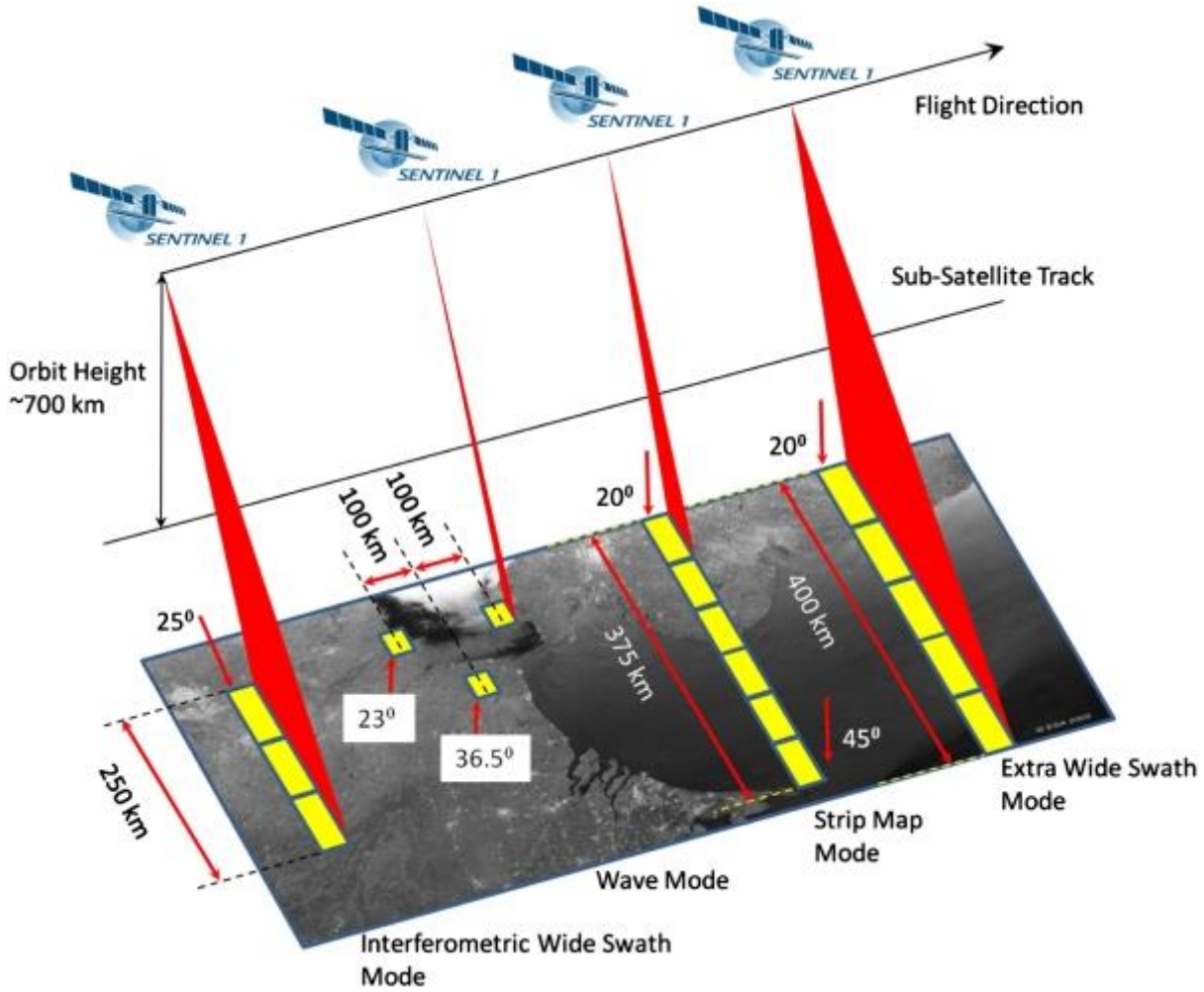


Εικόνα 5.4: Γραφική απεικόνιση δορυφόρου Sentinel-1. (Πηγή:ESA)

Οι δορυφόροι Sentinel-1 παράγουν εικόνες ημέρα και νύχτα ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών. Αυτό καθίσταται δυνατό λόγω της προηγμένης διάταξης ραντάρ μικροκομματικής ακτινοβολίας

(C-band), έχοντας χωρική διακριτική ικανότητα έως 10m και κάλυψη περιοχής έως και 400 km με το βασικό προϊόν να καλύπτει περιοχή 250km (IW). Το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) έχει το πλεονέκτημα, ότι λειτουργεί σε μήκη κύματος που δεν παρεμποδίζονται από την κάλυψη νεφών ή επηρεάζονται από την έλλειψη φωτισμού και έτσι μπορεί να λειτουργεί χωρίς περιορισμούς. Στην προκειμένη περίπτωση το SAR του Sentinel-1 λειτουργεί με μήκος κύματος λ=5.54cm σε συχνότητα 5.405 GHz. (Copernicus, 2017).

Οι Sentinel-1 χρησιμοποιούν την μέθοδο λήψης TOPSAR, ως εξέλιξη της προηγούμενης γενιάς δορυφόρων που χρησιμοποιούν την μέθοδο SCANSAR. Η βασική διαφορά είναι πως με την TOPSAR υπάρχει αυτοματοποιημένη ηλεκτρονική καθοδήγηση της δέσμης του κύματος από πίσω προς τα μπροστά αναφορικά με το αζιμούθιο με αποτέλεσμα να παράγει ομοιογενή ποιότητα εικόνας κατά τη διάρκεια λήψης του κάθε swath. (Copernicus, 2017)



Εικόνα 5.5 : Γραφική απεικόνιση των 4 δυνητικών λειτουργιών του αισθητήρα SAR του δορυφόρου Sentinel-1 με βασική τωρινή λειτουργία το IW (Πηγή: ESA).

Η σχεδίαση του Sentinel-1 αποσκοπεί στην ολοκληρωμένη παγκόσμια κάλυψη της Γης και ταυτόχρονα στην τάχιστη και αξιόπιστη μετάδοση των δεδομένων. Με βάση αυτές τις απαιτήσεις, οι αισθητήρες ραντάρ που ενσωματώνονται στους δορυφόρους της αποστολής εξάγουν δεδομένα με διαφορετικές φυσικές και ψηφιακές παραμέτρους. Έτσι, η διάταξη ραντάρ του Sentinel-1 στην τωρινή της λειτουργία παράγει προϊόντα:

1. IW (Interferometric Wide swath): 250 km swath, με χωρική ανάλυση 10m

Μελλοντικά δύναται να παράξει και τα κάτωθι προϊόντα:

1. SM (Stripmap mode): Swath 80 km με χωρική ανάλυση 5 m x 5 m
2. Λειτουργία EW (Extra Wide Swath): 400 km swath και χωρική ανάλυση 25 m x 100 m (3-look). Πρέπει να ληφθούν έξι αλληλεπικαλυπτόμενα swath για την κάλυψη του απαιτούμενου εύρους των 375 km.
3. WV (Wave Mode): χαμηλός ρυθμός δεδομένων και χωρική ανάλυση 5 m x 20 m. Λαμβάνει εικόνες 20 km x 20 km ανά 100 km κατά μήκος της τροχιάς του. Η λειτουργία Wave στην πόλωση VV είναι η προεπιλεγμένη λειτουργία για την απόκτηση δεδομένων τύπου OCEAN. Η λειτουργία WV αποκτάται με τον ίδιο τρόπος όπως και τα Stripmap, ωστόσο, λόγω της ενιαίας πόλωσης και της λήψης σε διαστήματα 100 km, ο όγκος των δεδομένων είναι πολύ χαμηλότερος.

	GRD Level 1 product resolution	Swath Width	Polarisation
EW	50m (3 ENL)	> 400 km	HH+HV or VV+VH
IW	20m (5 ENL)	> 250 km	HH+HV or VV+VH
SM	9m (4 ENL)	> 80 km	HH+HV or VV+VH
WV	50m (140 ENL)	20 x 20 km² at 100 km spacing	HH or VV

Εικόνα 5.6 Σύγκριση μεγεθών swath με στάνταρ προϊόν το IW. (Πηγή:ESA)

Σε όλους τους παραπάνω τύπους λειτουργίας του SAR οργάνου του Sentinel-1, υποστηρίζεται η καταγραφή ανακλώμενων σημάτων σύνθετων πολώσεων (VH - Vertical Horizontal & VV - Vertical Vertical). Η πόλωση προσδιορίζει την κατεύθυνση της γραμμικής πόλωσης του σήματος τόσο κατά τη στιγμή της εκπομπής όσο και της λήψης. Επομένως, είναι εύκολα κατανοητό, ότι εάν ο δορυφόρος εκπέμπει και λαμβάνει σήμα με κάθετη γραμμική πόλωση, το προϊόν συμβολίζεται ως VV (Vertical Vertical), ενώ αντίθετα αν εκπέμπει και λαμβάνει σήμα με οριζόντια πόλωση, τότε το προϊόν συμβολίζεται ως (HH- Horizontal Horizontal). 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). Ως εκ τούτου οι διάφοροι συνδυασμοί σύνθετης πόλωσης συμβολίζονται με δύο κεφαλαία γράμματα, που συμβολίζουν την πόλωση κατά την εκπομπή και την πόλωση κατά την καταγραφή, όπως π.χ. ο συνδυασμός VH (Vertical Horizontal) & ο HV (Horizontal Vertical). Οι αισθητήρες σύνθετης πόλωσης εκπέμπουν ακτινοβολία σε μια συγκεκριμένη πόλωση και καταγράφουν το οπισθοσκεδαζόμενο σήμα σε μια άλλη. Το τωρινό βασικό προϊόν που είναι το IW, παρέχεται σε δύο πολώσεις, VV και VH.

Με λειτουργία IW του αισθητήρα, μπορεί να παράγει προϊόντα στις παρακάτω μορφές:

1. Ground Range Detected (GRD). Δεδομένα που αποτυπώνουν την ένταση της οπισθοσκεδάζουσας ακτινοβολίας διαφορετικών επιφανειών (Amplitude). Τυπικά το μέγεθος του προϊόντος είναι 1GB.
2. Single Look Complex (SLC). Δεδομένα με γεωαναφορά χρησιμοποιώντας στοιχεία της τροχιάς του δορυφόρου και με γεωμετρία σύμφωνα με την κλίση εμβέλειας του δορυφόρου (slant range). Επιπλέον της έντασης της οπισθοσκέδασης (amplitude) το εισερχόμενο σήμα δίνει την πληροφορία σχετικά με την φάση. Τα προϊόντα αυτά έχουν ένα τυπικό μέγεθος 8 GB (σε λειτουργία IW διπλής πόλωσης) και 4 GB (σε λειτουργία IW μονής πόλωσης). Είναι το προϊόν που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή των μεθόδων της συμβολομετρίας.
3. OCEAN: Δεδομένα συστηματικής διανομής για εφαρμογές σχετικές με το θαλάσσιο περιβάλλον (αιολική και κυματική ενέργεια, θαλάσσια ρεύματα) (ESA Missions, 2010).

Η διάρθρωση της αποστολής του Sentinel-1 (έχει προγραμματιστεί να τεθούν οι Sentinel-1 C & D ως οι διάδοχοι δορυφόροι του A & B) έχει σχεδιαστεί ώστε να εφαρμόζεται σε έναν αρκετά μεγάλο αριθμό εφαρμογών, χάρη στη δυνατότητα χαρτογράφησης μεγάλης κλίμακας περιοχών με δεδομένα υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας. Στη συνέχεια, το τμήμα εδάφους

συστηματικά επεξεργάζεται, αρχειοθετεί και καθιστά διαθέσιμα δωρεάν όλα τα παραγόμενα δεδομένα και προϊόντα στους χρήστες. Τα δεδομένα της αποστολής τίθενται στη διάθεση πολλών υπηρεσιών. Για παράδειγμα, υπάρχουν υπηρεσίες που σχετίζονται με την παρακολούθηση της έκτασης του πάγου της Αρκτικής, της καθημερινής χαρτογράφησης περιοχών και της επιτήρησης του θαλάσσιου περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των πετρελαιοκηλίδων. Ακόμη ορισμένες δραστηριοποιούνται στην παρακολούθηση και ανίχνευση πλοίων για την εξασφάλιση της ασφάλειας ναυσιπλοΐας, τη χαρτογράφηση των δασικών εκτάσεων, την επίβλεψη του έδαφος και του υδάτινου στοιχείου καθώς και τη χαρτογράφηση περιοχών για την υποστήριξη των κρίσεων έκτακτης ανάγκης, που χρήζουν ανθρωπιστικής βοήθειας σε περιπτώσεις κινδύνου όπως οι φυσικές ή/και ανθρωπογενείς καταστροφές (Copernicus, 2017, Torres, et al, 2011).

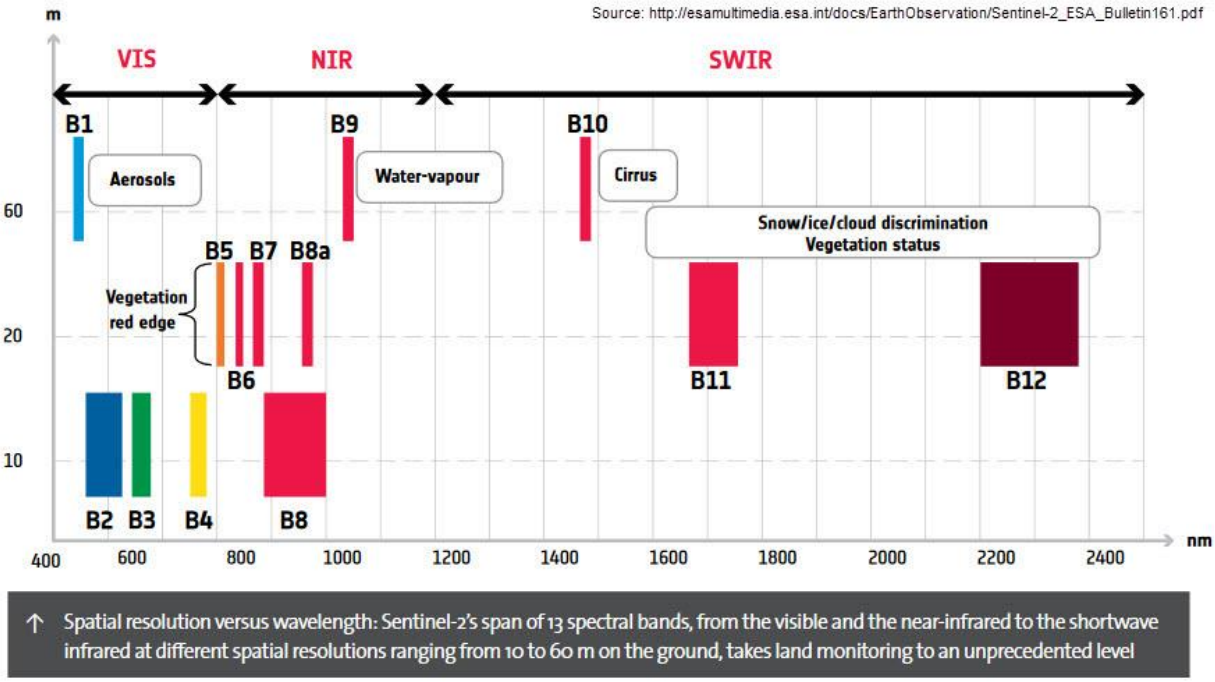
5.1.2 Δορυφόρος Sentinel-2

Ο Sentinel-2 συμμετέχει στη διαδικασία της δορυφορικής παρακολούθησης μέσω ενός αστερισμού δύο δορυφόρων που φέρουν οπτικά όργανα καταγραφής, οι οποίοι σχεδιάστηκαν από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA) και κατασκευάστηκαν από την Airbus Defense & Space. Ο Sentinel-2A τέθηκε σε τροχιά στις 22 Ιουνίου 2015 από το Κουρού στη Γαλλική Γουινέα στην κορυφή ενός πυραύλου - εκτοξευτή Vega (σχεδιασμού και κατασκευής του ΕΟΔ), καθιστώντας τον με αυτόν τον τρόπο το δεύτερο δορυφόρο σε τροχιά για το πρόγραμμα Copernicus. Μετά από περίπου δύο χρόνια, στις 7 Μαρτίου 2017 πραγματοποιήθηκε και η εκτόξευση του δίδυμου δορυφόρου της αποστολής, του Sentinel-2B δημιουργώντας έναν αστερισμό (Copernicus, 2017). Οι δύο πανομοιότυποι δορυφόροι Sentinel-2 λειτουργούν ταυτόχρονα, διαδοχικά σε απόσταση 180° μεταξύ τους, σε μια συγχρονισμένη με τον ήλιο τροχιά σε μέσο υψόμετρο 786 km (14 + 3/10 περιστροφές ανά ημέρα) με 10:30 τοπική ώρα. Αυτή η τοπική ώρα επιλέχθηκε ως ο καλύτερος συμβιβασμός μεταξύ της ελάχιστης κάλυψης νεφών και φωτισμού από τον ήλιο. (Copernicus, 2017)

Η αποστολή στοχεύει στην πλήρη και συστηματική κάλυψη της επιφάνειας της Γης τόσο σε χερσαίο και θαλάσσιο επίπεδο παγκοσμίως σε μια ζώνη από - 56° έως + 83° γεωγραφικό πλάτος, με στόχο να εξασφαλίζεται η δυνατότητα παροχής εικόνων χωρίς νεφοκάλυψη. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος αυτός και να παρέχεται υψηλή διαθεσιμότητα εικόνων, ο Sentinel-2 κάνει λήψης μιας εικόνας ανά 5 ημέρες στον Ισημερινό. Παράλληλα, οι ηλιοσύγχρονες τροχιές χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν τη σταθερή διατήρηση της

γωνίας του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια της Γης. Εκτός από μικρές εποχιακές διακυμάνσεις, η σταθεροποίηση της τροχιάς των δορυφόρων στη γωνία του ήλιου ελαχιστοποιεί τις πιθανές επιπτώσεις των σκιών και των επιπέδων φωτισμού στο έδαφος. Επιπλέον, η συλλογή δεδομένων στη ζώνη αυτή περιλαμβάνει όλα τα παράκτια ύδατα μέχρι 20 km από την ακτή, όλα τα νησιά που είναι μεγαλύτερα από 100 km^2, όλα τα νησιά της ΕΕ, τη Μεσόγειο και όλες τις κλειστές θάλασσες (π.χ. Κασπία Θάλασσα) (Martimort, et al, 2007).

Οι Sentinel-2 περιλαμβάνουν έναν υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας οπτικό πολυφασματικός απεικονιστή (MSI) με 13 φασματικές ζώνες στο ορατό και στο εγγύς υπέρυθρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (VNIR) αλλά και στη μέση υπέρυθρη ακτινοβολία (SWIR), με εύρος ανοίγματος σάρωσης διάστασης 290 km και χωρική ανάλυση 10 m σε τέσσερα ορατά και εγγύς υπέρυθρα κανάλια στα 490 nm, 560 nm, 665 nm και 842 nm, με χωρική ανάλυση 20 m σε 6 φασματικά κανάλια του εγγύς και μέσου υπέρυθρου στα 705 nm, 740 nm, 783 nm 865 nm, 1610 nm και 2190 nm και τρεις ατμοσφαιρικές ζώνες διόρθωσης σε χωρική ανάλυση 60 m με κέντρο στα 443 nm, 940 nm και 1375 nm (Copernicus, 2017, ESA Missions, 2010).



Εικόνα 5.7: Παράθεση 13 καναλιών Sentinel-2 στα μήκη κύματος του Η/Μ φάσματος (Πηγή: ESA)

Ο MSI λειτουργεί παθητικά, συλλέγοντας το ηλιακό φως που ανακλάται από τη Γη. Τα νέα δεδομένα καταγράφονται μέσω του αισθητήρα, καθώς ο δορυφόρος κινείται κατά μήκος της τροχιάς του, μέσω ενός τηλεσκοπίου τριών κατόπτρων (M1, M2 και M3). Η εισερχόμενη δέσμη φωτός διαχωρίζεται σε φίλτρο και εστιάζεται σε δύο ξεχωριστά εστιακά επίπεδα, ένα για το

ορατό και το εγγύς υπέρυθρο (VNIR) και ένα για το μέσο υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος (SWIR). Ο φασματικός διαχωρισμός κάθε ζώνης σε μεμονωμένα μήκη κύματος επιτυγχάνεται με φίλτρα λωρίδας τοποθετημένα στην κορυφή των ανιχνευτών (ESA Missions, 2010).

Τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα στους χρήστες αποτελούνται σε εικόνες που καλύπτουν περιοχές 100km παρότι το εύρος σάρωσης είναι 290km. Οι βασικές κατηγορίες των προϊόντων είναι η κάτωθι:

1. Level-1C: Δεδομένα που περιέχουν πληροφορία όπως αυτή εμφανίζεται στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας. Το παραγόμενο προϊόν περιέχει το φως που ανακλάται από το έδαφος καθώς και από την ατμόσφαιρα. Είναι γεωαναφερμένο στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα (WGS) και καλύπτει περιοχή 100km.
2. Level-2A: Δεδομένα που περιέχουν πληροφορία όπως αυτή εμφανίζεται στο επίπεδο του εδάφους σας να έχει χρησιμοποιηθεί ένα τοπικό φωτόμετρο, έχουν δηλαδή υποστεί μια βασική προ-επεξεργασία ως προς τις ατμοσφαιρικές αλλοιώσεις που υφίσταται το φως εισερχόμενο και εξερχόμενο της γήινης ατμόσφαιρας. Οι παραγόμενες εικόνες είναι γεωαναφερμένες στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα (WGS84) και καλύπτουν περιοχές 100km.

Οι εικόνες που λαμβάνονται από τους δορυφόρους Sentinel-2 χρησιμοποιούνται κατά κόρον για τον προσδιορισμό δεικτών βλάστησης και φυτών, για την παρακολούθηση γεωργικών εκτάσεων, την παρακολούθηση της επισιτιστικής ασφάλειας του πλανήτη, την εκτίμηση της γεωργικής παραγωγής και την παρακολούθηση της καλλιεργούμενης έκτασης για τη διενέργεια ειδικών γεωργικών στατιστικών ερευνών. Δεύτερο τομέα εφαρμογών αποτελεί η παρακολούθηση των φυσικών καταστροφών, αναγνωρίζοντας το μέγεθος και την έκταση των μεγάλων κυρίως καταστροφών στο συντομότερο δυνατό χρόνο, βοηθώντας στην αναγνώριση των τομέων προτεραιότητας για ανθρωπιστική και οικονομική βοήθεια, παρέχοντας παράλληλα βασικές γεωγραφικές πληροφορίες για τους κατοίκους απομακρυσμένων περιοχών, όπου η πληροφορία απουσιάζει ή είναι ανακριβής (π.χ. μετά από πλημμύρες ή σεισμούς). Ταυτόχρονα, λαμβάνει χώρα η παρακολούθηση και αποτύπωση των δασικών εκτάσεων. Καθοριστικός είναι ο ρόλος των δορυφόρων και στην αστική και πολεοδομική ανάπτυξη.

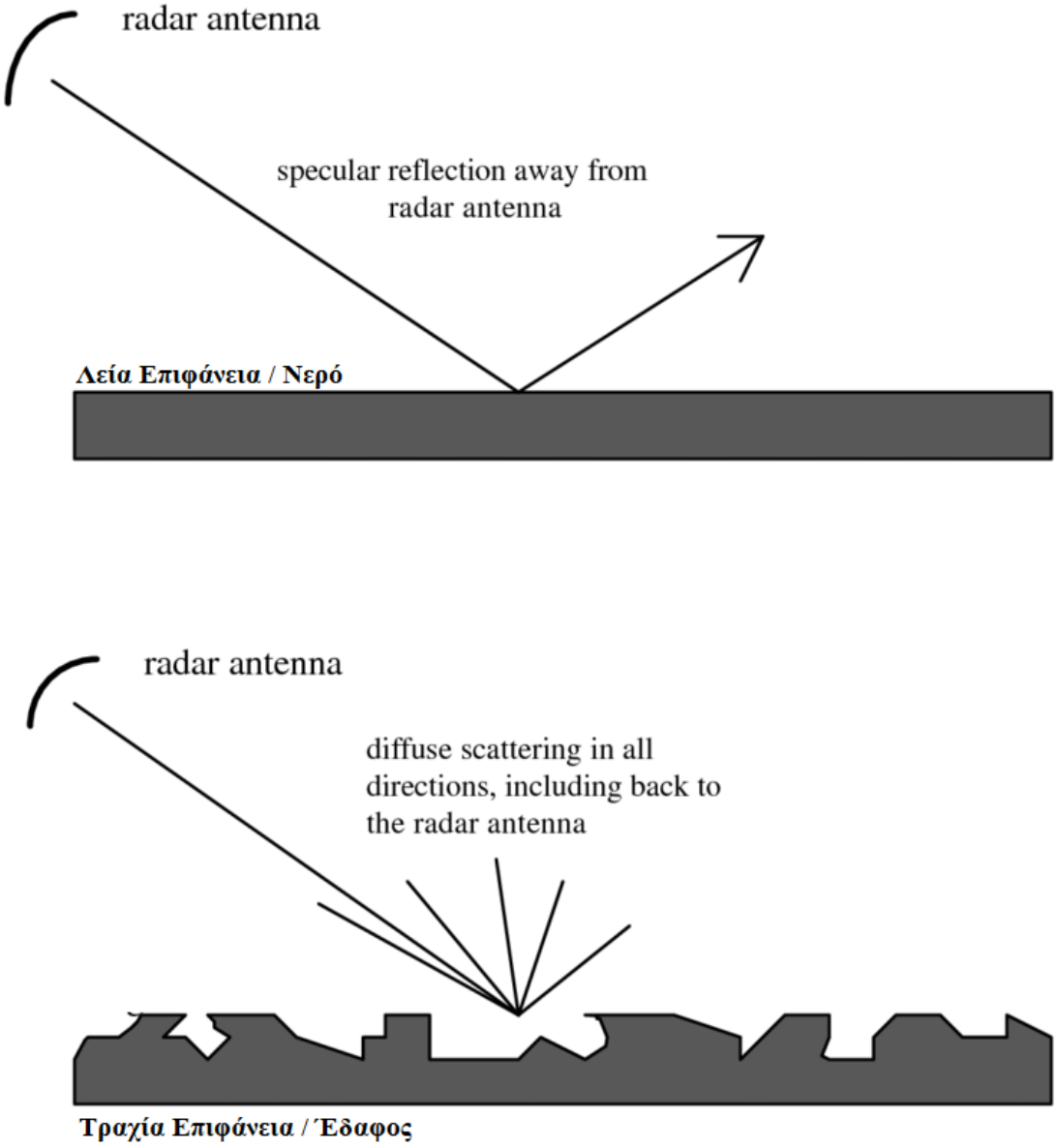
Βοηθά στην εξασφάλιση της βιώσιμης και ισορροπημένης ανάπτυξης, παρέχοντας δεδομένα σύγκρισης σε ολόκληρη την Ευρώπη, επιτρέποντας κατ’ αυτόν τον τρόπο την παρακολούθηση των αστικών περιοχών. Ακόμα, μέσω της παρακολούθησης του υδατικού στοιχείου, υλοποιείται

η πρόβλεψη ενδεχόμενης έλλειψης νερού και παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την έκταση της λειψυδρίας και της ξηρασίας, προκειμένου να ληφθούν οι απαιτούμενες αποφάσεις σε εθνικό και ηπειρωτικό επίπεδο, όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο (Copernicus, 2017).

5.2 Δορυφορικά Δεδομένα / Λογισμικά Επεξεργασίας

5.2.1 Δεδομένα Ραντάρ GRD

Όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 5.1.1, οι ενεργοί αισθητήρες μεταδίδουν ένα σήμα και λαμβάνουν την ένταση της οπισθοσκεδάζουσας ακτινοβολίας διαφορετικών επιφανειών (Martinis and Rieke, 2015). Η ισχύς της οπισθοσκέδασης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυρίως από την τραχύτητα της επιφάνειας, τις διηλεκτρικές ιδιότητες (παρουσία υγρασίας) και την τοπική τοπογραφία σε σχέση με τη προσπίπτουσα γωνία του σήματος ραντάρ (Klemas, 2014). Η ομαλή επιφάνεια του νερού λειτουργεί ως ένας κλασικός ανακλαστήρας του σήματος ραντάρ, ο οποίος τον ανακλά κατοπτρικά (Martinis and Rieke, 2015), με αποτέλεσμα να μην επιστρέφει στο δορυφόρο. Ως αποτέλεσμα, τα εικονοστοιχεία που αντιστοιχούν σε περιοχές με στάσιμο νερό, να εμφανίζονται στην εικόνα σκοτεινά (μαύρα), σε αντίθεση με εικονοστοιχεία που αντιστοιχούν σε τραχείες επιφάνειες και είναι φωτεινά. Αυτό καθιστά εύκολη τη διαφοροποίηση και την ανίχνευση pixel που αντιστοιχούν σε περιοχές καλυμμένες με νερό στις εικόνες ραντάρ. Λόγω της καλής ικανότητάς του να διακρίνει το νερό με άλλες επιφάνειες της γης, τα δεδομένα SAR είναι τα πιο κατάλληλα για την ανίχνευση πλημμυρών. (Martinis and Rieke, 2015)



Εικόνα 5.8: Αναπαράσταση διαδραστηκότητας της μικροκυμματικης ακτινοβολίας, από μια λεία επιφάνεια (πάνω), κατοπτρική ανάκλαση, όπως το νερό καθώς και σκέδαση από μια τραχία επιφάνεια (κάτω) όπως το ανάγλυφο μιας περιοχής (Πηγή:GEOSAGE)

Στην παρούσα μελέτη, θα χρησιμοποιηθούν προϊόντα τύπου GRD από το δορυφόρο Sentinel-1 καθώς η τιμές των εικονοστοιχείων αναφέρονται και αντιπροσωπεύουν την ένταση της οπισθοσκεδάζουσας ακτινοβολίας. Τα παραπάνω καθιστούν τα δεδομένα GRD του δορυφόρου Sentinel-1, τα πλέον κατάλληλα για την παρατήρηση πλημμυρικών φαινομένων (Copernicus, 2017).

5.2.1.1 Κατάλογος δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν

Για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης έγινε ανάκτηση οπτικών και ραντάρ δορυφορικών εικόνων μέσω του Copernicus Open Access Hub (https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home). Πιο αναλυτικά, λήφθηκαν συνολικά 4 εικόνες για κάθε περιοχή μελέτης - όπως αυτές εμφανίζονται στο 4ο κεφάλαιο - 2 οπτικές και 2 ραντάρ, από τους δορυφόρους Sentinel-1 και Sentinel-2. Ο λόγος που χρησιμοποιηθήκαν 2 εικόνες από κάθε δορυφόρο είναι το γεγονός πως η μια εικόνα λήφθηκε τη χρονική περίοδο που εμφανίζεται το πλημμυρικό φαινόμενο μελέτης ενώ η δεύτερη χρησιμοποιήθηκε ως εικόνα βάσης, για μια περίοδο όπου δεν εμφανίζεται κάποιο πλημμυρικό φαινόμενο άρα ούτε και εκτάσεις καλυμμένες από νερό, κυρίως κατά τους θερινούς μήνες. Κατ' εξαίρεση για το πλημμυρικό φαινόμενο στη διασυνοριακή λεκάνη απορροής του Έβρου, λήφθηκαν 4 εικόνες από κάθε δορυφόρο καθώς η μεγάλη έκταση του φαινομένου σε συνδυασμό με τη μη κάλυψη όλης της περιοχής από μια εικόνα, κατέστησαν αναγκαία την ένωση (merge) 2 εικόνων για κάθε περίοδο (πριν και μετά) μέσω του λογισμικού ArcGIS όπως αυτό περιγράφεται στο κεφάλαιο 5.2.4.

ΠΕΡΙΟΧΗ	Αριθμός Εικόνων SENTINEL-1	Ημερομηνία Λήψης	Αριθμός Εικόνων SENTINEL-2	Ημερομηνία Λήψης
Διασυνοριακή Λεκάνη Αωού	2	05/12/2017 & 02/08/2018	2	05/12/2017 & 24/01/2018
Διασυνοριακή Λεκάνη Αξιού	2	07/08/2016 –& 08/06/2016	2	09/08/2016 & 29/08/2016
Διασυνοριακή Λεκάνη Στρυμόνα	2	29/03/2015 & 20/08/2015	-	-
Διασυνοριακή Λεκάνη Έβρου	4	27/03/2018 & 05/08/2018	4	30/03/2018 & 06/04/2018

Πίνακας 5.1: Δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Από το σύνολο των 10 εικόνων ραντάρ και των 8 οπτικών εικόνων, αξιοποιήθηκαν μόνο οι 10 εικόνες ραντάρ καθώς οι οπτικές εικόνες λόγω του υψηλού ποσοστού νεφοκάλυψης δεν λήφθηκαν υπόψη στην παρούσα μελέτη.

5.2.2 Χαρτογραφικό Υπόβαθρο

Το βασικό χαρτογραφικό υπόβαθρο που θα χρησιμοποιηθεί παρέχεται από την ESRI μέσω του λογισμικού ArcGIS και θα χρησιμοποιηθεί για την προβολή των αποτελεσμάτων. Ακόμη, θα χρησιμοποιηθεί η εφαρμογή Google Earth την οποία θα χρησιμοποιούμε για την εύκολη και

γρήγορη προβολή των αποτελεσμάτων μας σε μορφή kml, kmz όπως θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Η χρήση των kml και kmz γίνεται καθώς είναι αρχεία μικρά σε μέγεθος τα οποία ανά πάσα στιγμή μπορούν να φορτωθούν στην ανωτέρω εφαρμογή και να προβάλουν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων ραντάρ για παράδειγμα επάνω στον παγκόσμιο χάρτη μαζί με λοιπές προεπιλεγμένες πληροφορίες, όπως σύνορα, τοπωνύμια, υψόμετρα κτλ.

5.2.3 Διανυσματικά Δεδομένα «Vector Data»

Επιπρόσθετα, θα χρησιμοποιηθούν διανυσματικά δεδομένα των ορίων των διασυνοριακών λεκανών απορροής / περιοχών ενδιαφέροντος (βλέπε κεφάλαιο 4^{ο}). Οι βασικές πηγές των διανυσματικών δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν είναι:

1. United Nations Global Compact: The Interactive Database of the World's River Basins, βάση δεομένων όπου παρέχετε δωρεάν από τα Ενωμένα Έθνη σε συνεργασία με φορείς όπως η WWF, WRI κτλ. στην οποία παρέχονται συνολικά για όλη την υφήλιο, δεδομένα των λεκανών απορροής σε διανυσματική μορφή.
2. Urban Atlas, Copernicus Land Monitoring Service, βάση δεδομένων του Ευρωπαϊκού Διαστημικού Οργανισμού όπου παρέχονται δωρεάν, διανυσματικά δεδομένα χαρτογραφημένων πόλεων άνω των 50.000 κατοίκων, της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως αυτές εμφανίζονται στο 4^{ο} Κεφάλαιο.
3. Corine Land Cover (Έκδοσή 2018) Copernicus Land Monitoring Service, βάση δεδομένων όπου παρέχετε δωρεάν από τον Ευρωπαϊκό Διαστημικό Οργανισμό, δεδομένα κάλυψης Γης για όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση (βλέπε Κεφάλαιο 4^{ο}).
4. EUROSTAT, Ευρωπαϊκή Στατιστική Αρχή, δωρεάν παροχή των ορίων των χωρών της Ε.Ε σε μορφή SHP.
5. GEODATA.gov, Ελληνική πλατφόρμα εύρεσης και ανάκτησης ελληνικών γεωχωρικών δεδομένων, επικουρική βοήθεια στην εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας σε θέμα ορίων ποταμών μελέτης, δήμων, περιφερειών κτλ.
6. Emergency Management Service – Mapping, Ευρωπαϊκή πλατφόρμα εύρεσης φυσικών ή/και ανθρωπογενών καταστροφών για τις οποίες έχει ενεργοποιηθεί το αυτόματο σύστημα χαρτογράφησης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής μέσω του προγράμματος Copernicus. Η υπηρεσία εκτός από γεωαναφερμένους χάρτες σε ψηφιακή μορφή, παρέχει και διανυσματικά δεδομένα για τα φαινόμενα που χαρτογραφεί, όπως το

πολύγωνο της Περιοχής Ενδιαφέροντος (Area of Interest) αλλά και τυχών δίκτυα (σιδηροδρομικά, ηλεκτρικά, οδικά) που επλήγησαν κτλ.

5.2.4 Ψηφιδωτά Δεδομένα «Raster Data»

Τα βασικά ψηφιδωτά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται κυρίως σε ψηφιοποιημένους χάρτες που ανακτήθηκαν μέσω της παρακάτω υπηρεσίας.

1. Emergency Management Service – Mapping, Ευρωπαϊκή πλατφόρμα εύρεσης φυσικών ή/και ανθρωπογενών καταστροφών για τις οποίες έχει ενεργοποιηθεί το αυτόματο σύστημα χαρτογράφησης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής μέσω του προγράμματος Copernicus. Η υπηρεσία παρέχει γεωαναφερμένους χάρτες σε ψηφιακή μορφή GeoTIFF.

5.2.5 Λογισμικά Επεξεργασίας

Τα δύο κύρια και βασικά λογισμικά που θα χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία των δεδομένων όπως αυτά αναφέρονται στο ανωτέρω κεφάλαιο, καθώς και της προβολής των αποτελεσμάτων στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι τα κάτωθι:

1. SNAP (Sentinel Application Platform), είναι ένα ΕΛ/ΛΑΚ λογισμικό, το οποίο παρέχεται δωρεάν από τον Ευρωπαϊκό Διαστημικό Οργανισμό και αποτελεί την βασική εφαρμογή όπου περιλαμβάνει όλα τα διαθέσιμα εργαλεία για την επεξεργασία οποιουδήποτε τύπου δεδομένων Sentinel. Στην προκειμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί για την εξεργασία προϊόντων Sentinel – 1, όπως αυτά αναφέρονται στο κεφάλαιο 5.2.1). Οι ελάχιστες ανάγκες συστήματος για την λήψη, εγκατάσταση και χρήση του SNAP είναι:
    1. 4GB RAM
    2. 500MB διαθέσιμο αποθηκευτικό χώρο συστήματος
    3. Λογισμικό Windows ή MacOS ή Linux σε 32 ή 64bit μορφή.
2. ArcGIS, ArcMap, αποτελεί ένα από τα πιο ευρέως εμπορικά γνωστά Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Η χρήση του θα μας προσφέρει την τελική παραμετροποίηση των αποτελεσμάτων, την επεξεργασία των διανυσματικών δεδομένων που αναφέρθηκαν παραπάνω καθώς και την παροχή διάφορων εργαλείων όπως την μετατροπή μιας εικόνας ψηφιδωτής, «Raster», μορφής σε αρχείο τύπου KML/KMZ με στόχο την προβολή της σε περιβάλλον της πλατφόρμας Google Earth. Οι ελάχιστες

ανάγκες συστήματος που θέτει η ESRI για τη λήψη, εγκατάσταση και χρήση του ArcGIS είναι η εξής:

1. Windows 10 ή παλαιότερο σε μορφή 64 ή 32bit
2. Επεξεργαστή με τουλάχιστον 2 πυρήνες και ταχύτητα άνω των 2.2GHz
3. Αποθηκευτικό χώρο συστήματος τουλάχιστον 4GB
4. Εξωτερική κάρτα γραφικών με εσωτερική μνήμη άνω των 64MB
5. Να προϋπάρχει της εγκατάστασης η εφαρμογή Microsoft .NET Framework

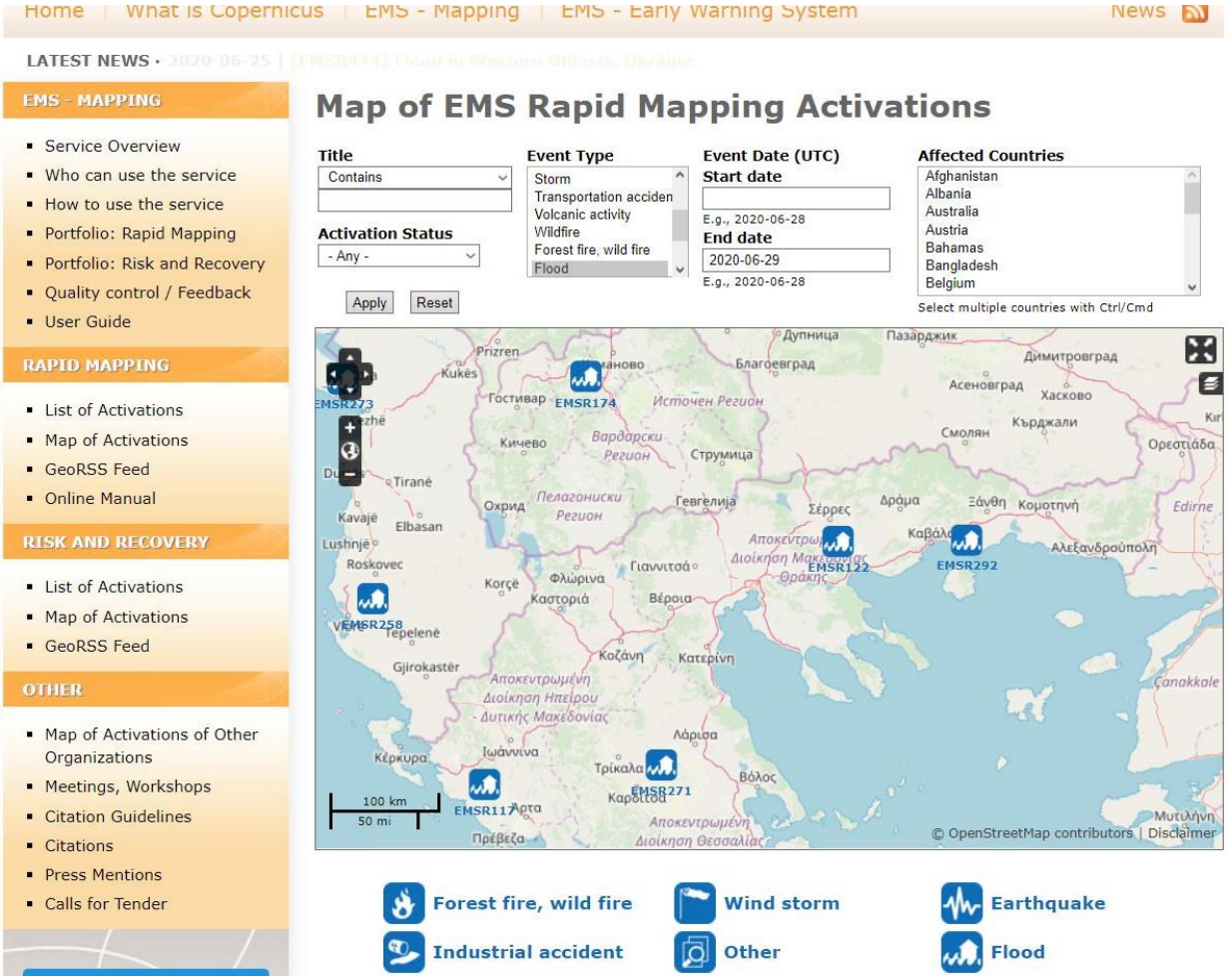
Τα παραπάνω λογισμικά εγκαταστάθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν σε περιβάλλον Microsoft Windows 10 Professional 64bit.

5.3 Μεθοδολογία

Εικόνα 5.9: Παρουσίαση ροής εργασίας

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα, στο παρών κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την συγγραφή της παρούσας εργασίας από την επιλογή των περιοχών μελέτης μέχρι και την παράθεση των αποτελεσμάτων. Πιο αναλυτικά, ορίστηκαν ως ευρύτερη περιοχή μελέτης τα Νότια Βαλκάνια. Αφού εντοπίστηκαν οι διασυνοριακές λεκάνες που βρίσκονται εντός αυτής, επιλέχθηκαν να μελετηθούν τα πλημμυρικά φαινόμενα τεσσάρων από αυτών. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν οι διασυνοριακές λεκάνες του ποταμού Αωού, Αξιού, Στρυμόνα και Έβρου.

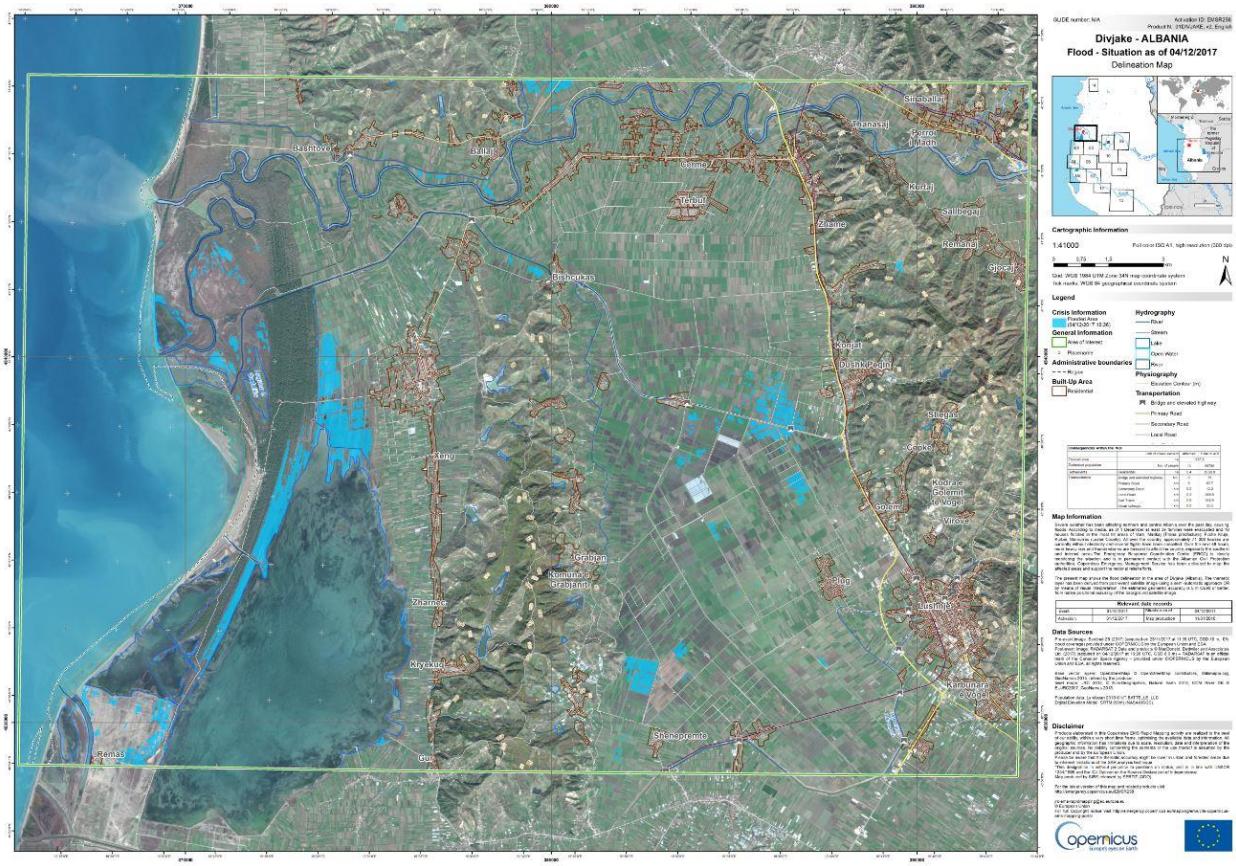
Έπειτα, αφού ορίστηκαν οι προς μελέτη λεκάνες, έγινε ανάκτηση διανυσματικών «vector» δεδομένων που περιγράφουν τα φυσικογεωγραφικά και ανθρωπογεωγραφικά χαρακτηριστικά αυτών, όπως αυτά παρουσιάζονται στο 4ο κεφάλαιο. Η συλλογή των δεδομένων αυτών έγινε από ηλεκτρονικές κυρίως πηγές όπως αυτές εμφανίζονται στο κεφάλαιο 5.2. Εν συνεχεία, για κάθε λεκάνη ξεχωριστά, έγινε η αναζήτηση των πρόσφατων πλημμυρικών φαινομένων που εμφανίστηκαν σε αυτή μέσω της πλατφόρμας Emergency Management Service – Mapping που παρέχεται δωρεάν από το πρόγραμμα Copernicus. Με την πρόσβαση στην εφαρμογή, επιλέχθηκε η εμφάνιση των πλημμυρικών φαινομένων για την περιοχή των Νοτίων Βαλκανίων και επιλέχθηκαν μόνο αυτά που εμφανίζονται εντός των 4 οριοθετημένων λεκανών μελέτης.



Εικόνα 5.10: Πλατφόρμα Emergency Management Service – Mapping προγράμματος Copernicus (https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/service-overview)

Από την πλατφόρμα αυτή, έγινε ανάκτηση δεδομένων σχετικά με την ακριβή περιοχή εμφάνισης του κάθε φαινομένου ορισμένη με συντεταγμένες (Area of Interest), γενικά χαρακτηριστικά όπως ημερομηνία, ώρα και έκταση φαινομένου καθώς και καταγραφές για απώλειες ανθρώπινης ζωής ή/και καταστροφών σε φυσικό ή ανθρωπογενές περιβάλλον. Τα

δεδομένα ανακτήθηκαν σε μορφή γεωαναφερμένων χαρτών καθώς και διανυσματικών δεδομένων όπως το πολύγωνο της Περιοχής Ενδιαφέροντος (Area of Interest) όπως φαίνεται και στο παράδειγμα της παρακάτω εικόνας.



Εικόνα 5.11: Παράδειγμα γεωαναφερμένου θεματικού χάρτη καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη διασυνοριακή λεκάνη του ποταμού Αωού. Με πράσινο εμφανίζεται το ορθογώνιο της Περιοχής Ενδιαφέροντος (Area of Interest).

Τέλος, αφού ορίστηκαν, παρουσιάστηκα και αναλύθηκαν οι περιοχές μελέτης, έγινε η ανάκτηση των δορυφορικών δεδομένων, αναγκαίων για τη μελέτη των πλημμυρικών φαινομένων, δορυφορικών εικόνων. Πιο αναλυτικά, μέσω της πλατφόρμας Copernicus Open Access Hub, ανακτήθηκαν συνολικά 20 εικόνες, 10 εικόνες ραντάρ από το δορυφόρο Sentinel-1 και 10 οπτικές από τον Sentinel-2. Στο επόμενο κεφάλαιο (5.3.1), θα αναλυθεί λεπτομερώς η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία, σύγκριση και προβολή των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης. Πιο αναλυτικά, θα παρουσιαστούν τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ανάκτηση των δορυφορικών εικόνων, την προ-επεξεργασία τους (pre-processing), την τελική επεξεργασία καθώς και την παράθεσή τους στο χαρτογραφικό υπόβαθρο που αναφέρεται στο κεφάλαιο 5.2.

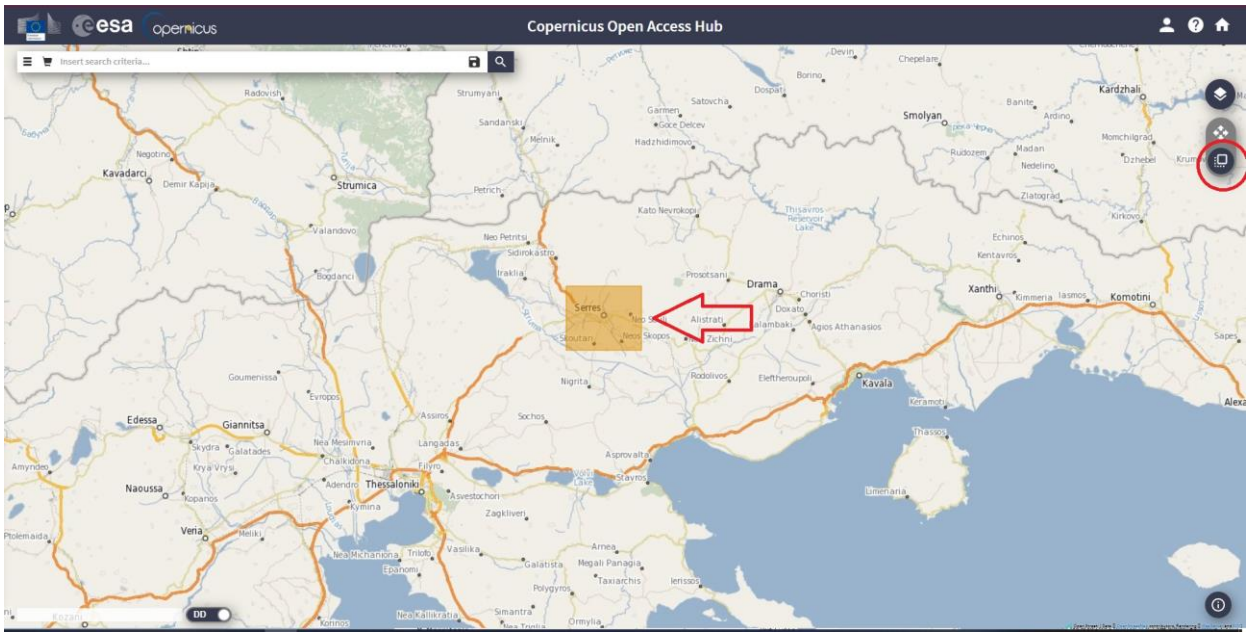
5.3.1 Ανάκτηση Δορυφορικών Εικόνων Sentinel – 1

Η ανάκτηση οποιουδήποτε προϊόντος του προγράμματος «Copernicus» του Ε.Ο.Δ μπορεί να γίνει δωρεάν στην επίσημη ιστοσελίδα του «Copernicus Open Access Hub», ως εκ τούτου τα προϊόντα Sentinel–1 θα ανακτηθούν στην ανωτέρω ιστοσελίδα στο σύνδεσμο https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home.

Η παροχή των δεδομένων γίνεται μέσω προσωποποιημένου λογαριασμού του ενδιαφερόμενου. Αφού λοιπόν δημιουργήσουμε λογαριασμό, εκτελούμε σύνδεση για να αναζητήσουμε τα δεδομένα ενδιαφέροντος.

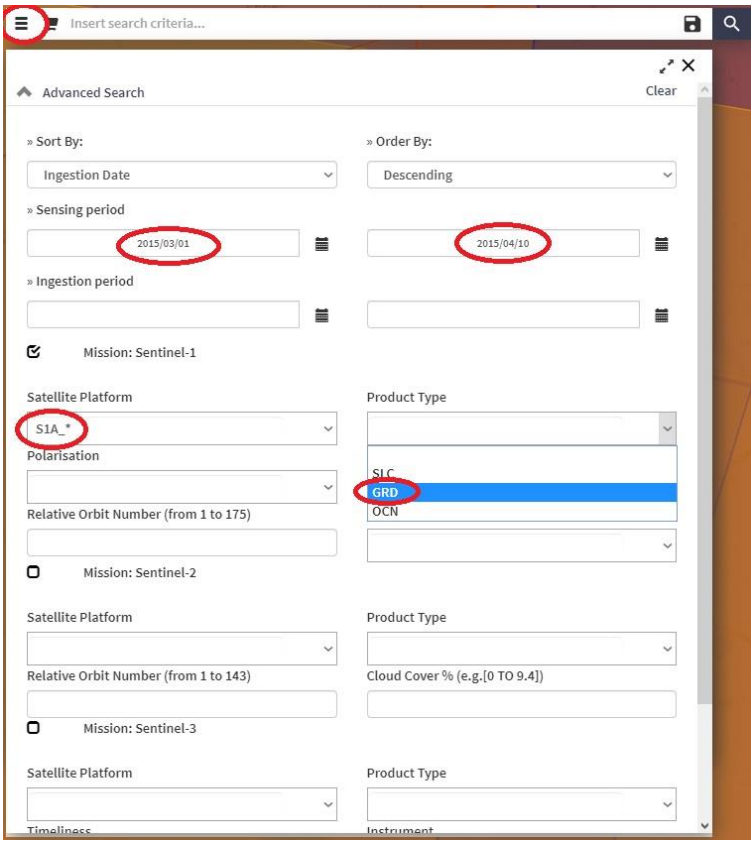
Εικόνα 5.12: Εκτέλεση σύνδεσης χρήστη στην ιστοσελίδα «Copernicus Open Access Hub»

Έπειτα, χρησιμοποιούμε τον παγκόσμιο χάρτη που μας εμφανίζει και με τη βοήθεια του ποντικιού εστιάζουμε στην περιοχή ενδιαφέροντος, στη προκειμένη περίπτωση θα κατεβάσουμε τις αναγκαίες δορυφορικές εικόνες για την χαρτογράφηση της πλημμύρας στον ποταμό Στρυμόνα πλησίον της πόλης των Σερρών το Μάρτιο του 2015.



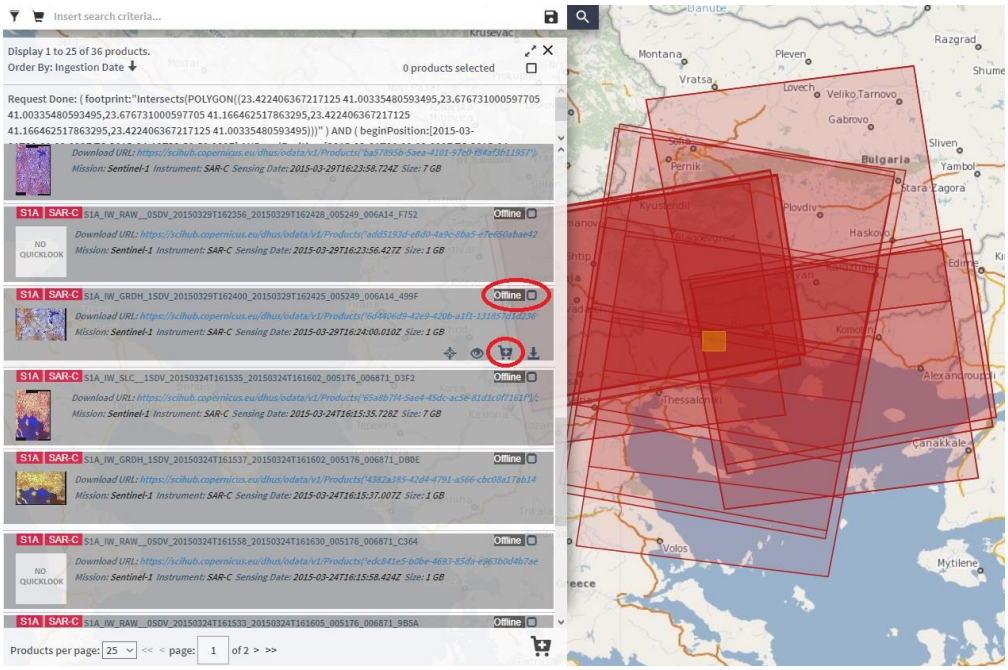
Εικόνα 5.13: Επιλογή Περιοχής ενδιαφέροντος με τη χρήση της επιλογής «ορισμός περιοχής» που εμφανίζεται με κόκκινο κύκλο στα δεξιά της οθόνης.

Αφού ορίσουμε την περιοχή ενδιαφέροντος, επιλέγουμε το μενού αναζήτησης το οποίο βρίσκεται επάνω δεξιά και εμφανίζεται ως τρεις κάθετες κουκίδες, εκεί θα οριστεί το εύρος των ημερομηνιών που επιθυμούμε να αναζητήσουμε, τον τύπο δορυφόρου, Sentinel-1 καθώς και τον τύπο του προϊόντος, ήτοι GRD. Στην προκειμένη περίπτωση, ορίζονται οι ημερομηνίες 1 Μαρτίου 2015 και 10 Απριλίου 2015, το εύρος αυτό επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψιν ότι μας παρέχονται εικόνες της ίδιας ακριβώς περιοχής / τροχιάς κάθε 6 μέρες. Το φαινόμενο έλαβε χώρα στις 30 Μαρτίου 2015 και εμείς έχουμε ορίσει περιθώριο 30 ημερών πριν και 10 ημερών μετά για την εύρεση εικόνας πριν και μετά την εκδήλωση του φαινομένου.



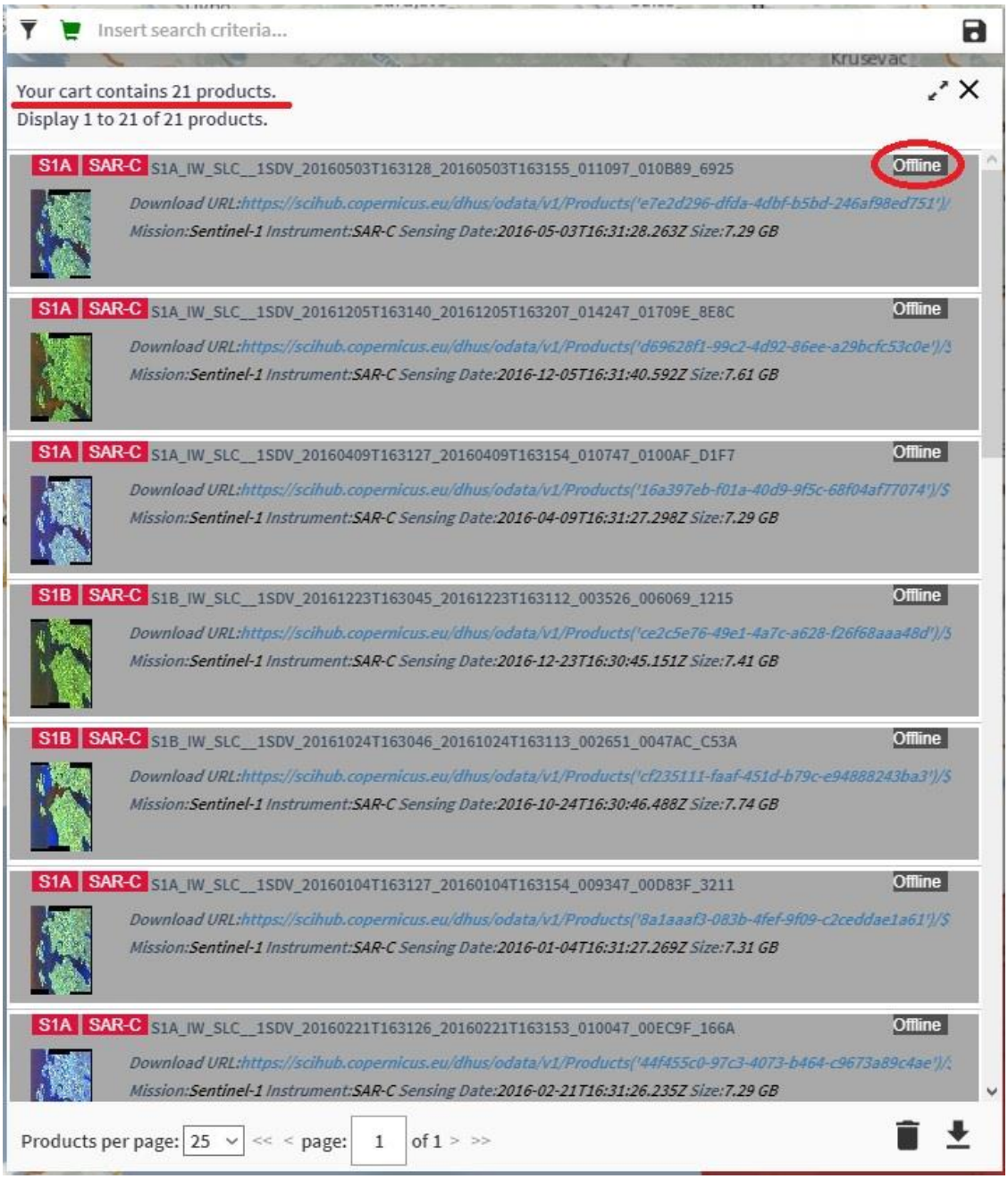
Εικόνα 5.14: Επιλογή εύρους ημερομηνίας, δορυφορικής πλατφόρμας Sentinel – 1A και τύπου GRD

Ως επόμενο βήμα ορίζεται η αναζήτηση των διαθέσιμων προϊόντων που περιλαμβάνουν την ορισμένη (κίτρινο πλαίσιο) περιοχή. Τα προϊόντα εμφανίζονται σε ένα εξελισσόμενο μενού καθώς και προβάλλονται στον χάρτη με τη μορφή κυτίου, στην προκειμένη, κυτίο κόκκινου χρώματος. Έτσι, μπορούμε να επιλέξουμε οποιοδήποτε προϊόν από το εξελισσόμενο μενού και να δούμε την περίμετρό του να γίνεται πιο έντονη όπως φαίνεται και στην κάτωθι εικόνα.



Εικόνα 5.15: Εύρεση και επιλογή προϊόντος, προσθήκη στο καλάθι.

Όπως παρατηρούμε, το προϊόν που προσπαθούμε να ανακτήσουμε είναι ανενεργό, «Offline», αυτό συμβαίνει για την προστασία των server της ιστοσελίδας και τον περιορισμό της «κίνησης» των χρηστών. Με απόφαση του Copernicus Open Access Hub τα προϊόντα ηλικίας άνω των 12 μηνών από την ημερομηνία λήψης τους δεν θα είναι ενεργά για άμεση ανάκτηση, ο χρήστης θα πρέπει να το προσθέτει στο καλάθι ώστε να ξεκινήσει αυτόματα η διαδικασία ενεργοποίησης του προϊόντος και εντός 24 ωρών να το κατεβάσει χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του λογαριασμού του. Μόλις το προϊόν είναι διαθέσιμο η κατάστασή του θα αλλάξει σε από «Offline», όπως στην παρακάτω εικόνα, σε «Online» και ο χρήστης θα μπορεί να το κατεβάσει.



Εικόνα 5.16: Καλάθι ανάκτησης.

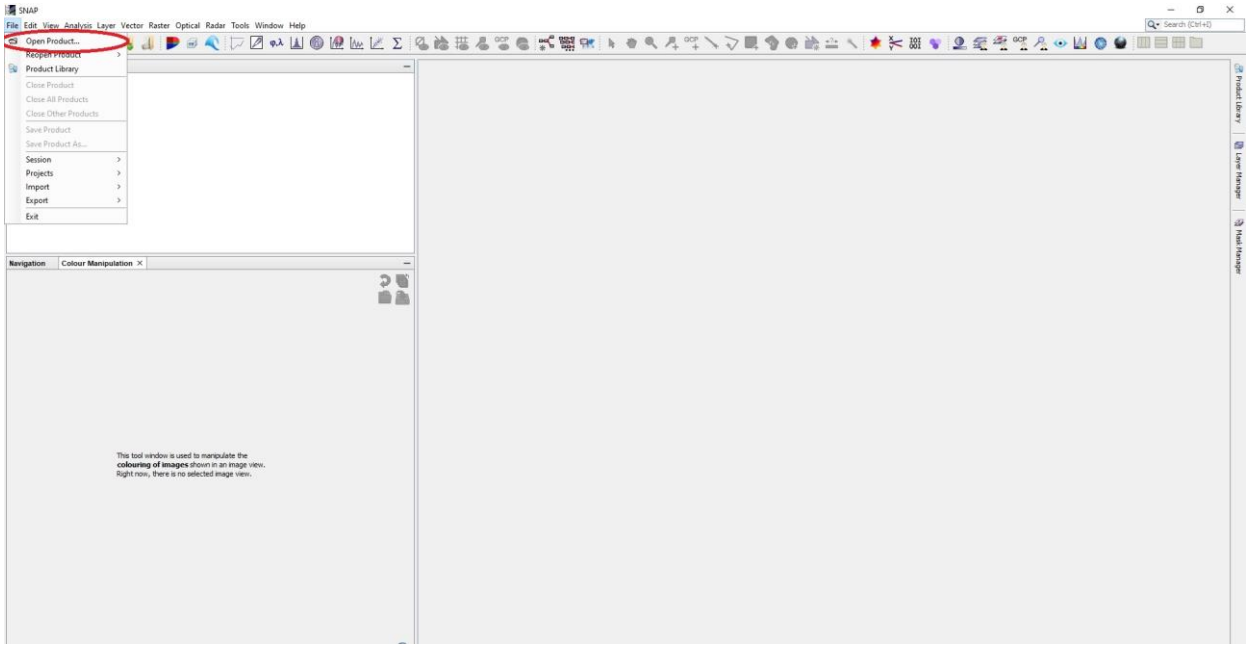
5.3.2 Προ-Επεξεργασία

Η προ-επεξεργασία των δεδομένων που ανακτήθηκαν θα γίνει στο περιβάλλον του λογισμικού SNAP όπως αυτό περιγράφεται στο κεφάλαιο 5.2.4. Αναλυτικότερα, θα περιγράφουν αναλυτικά τα βήματα προ-επεξεργασίας των εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν για την χαρτογράφηση των φαινομένων ενδιαφέροντος. Σε κάθε περίπτωση τα βήματα της προ-επεξεργασίας είναι ίδια, ανεξαρτήτως της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση των πλημμυρικών φαινομένων στις περιοχές ενδιαφέροντος. Αυτό συμβαίνει γιατί τα εν λόγο βήματα αναφέρονται

σε βασικές προ επεξεργασίες των εικόνων ώστε να μπορούν στη συνέχεια να υποστούν την κυρίως επεξεργασία από το χρήστη για την παραγωγή μετρήσιμων αποτελεσμάτων.

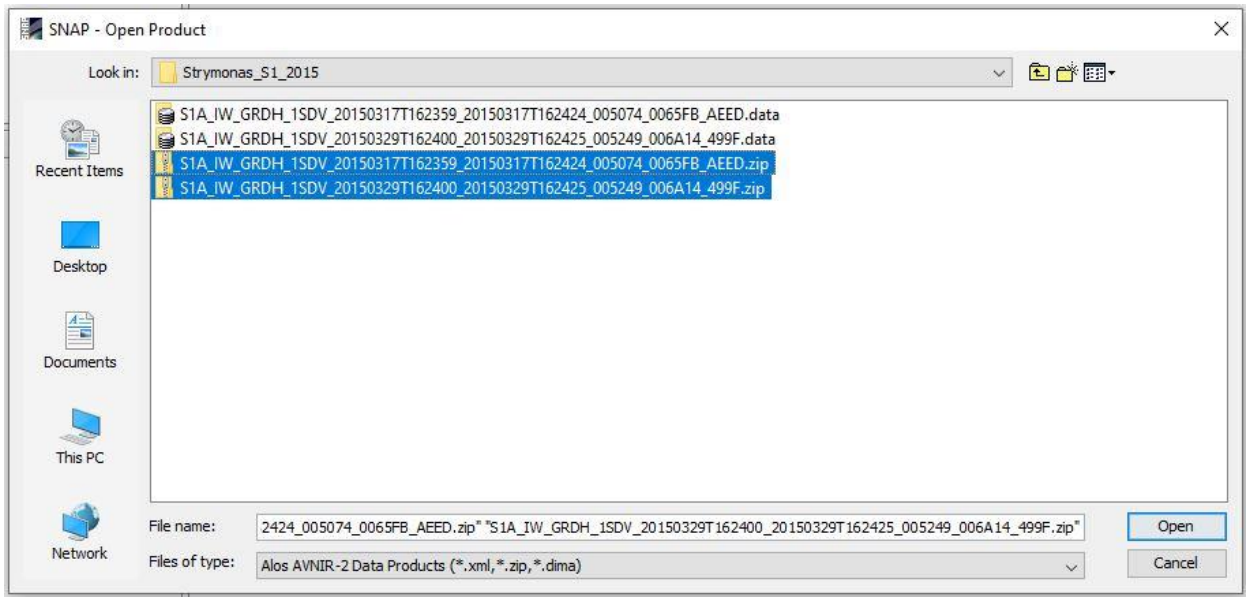
5.3.2.1 Εισαγωγή Προϊόντος

Η εισαγωγή ενός προϊόντος «Sentinel» στο πρόγραμμα «SNAP» γίνεται με τον εξής τρόπο. Αφού ο χρήστης εγκαταστήσει το λογισμικό, το ανοίγει και στο πάνω δεξιά μέρος του εξελισσόμενου μενού επιλέγει την εντολή «Open Product». (Εικόνα 5.17)



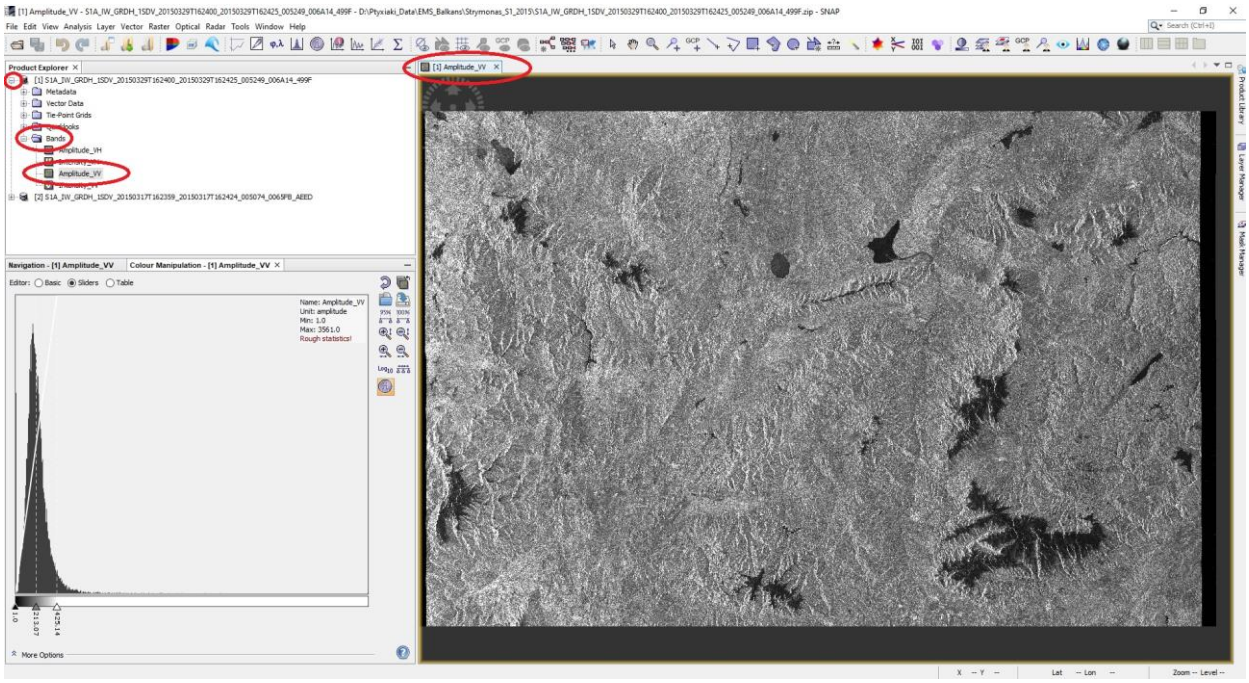
Εικόνα 5.17: Εντολή «Ανοίγματος προϊόντος»

Έπειτα, από το νέο παράθυρο περιήγησης που ανοίγει, περιηγούμαστε στο χώρο αποθήκευσης του προϊόντος ή προϊόντων στην προκειμένη, και επιλέγουμε απευθείας τα προϊόντα στη μορφή που ανακτήθηκαν, ήτοι συμπιεσμένα αρχεία «ZIP». Εν προκειμένου θα δοθεί παράδειγμα από την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την χαρτογράφηση της πλημμύρας του ποταμού Στρυμόνα στην περιοχή των Σερρών, στις 30 Μαρτίου 2015, έτσι επιλέγονται οι εικόνες πριν και μετά την πλημμύρα. (Εικόνα 5.18)



Εικόνα 5.18 Επιλογή προϊόντων για άνοιγμα.

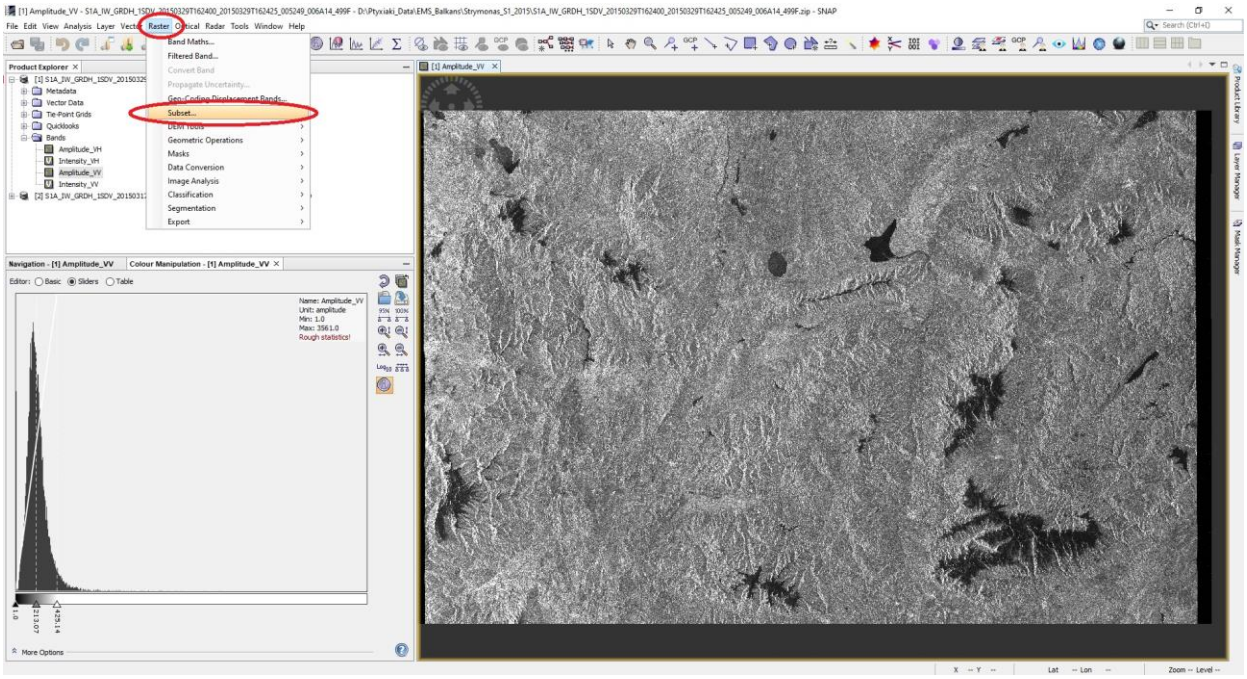
Πλέον, αφού ανοιχθεί το προϊόν, μπορούμε να επιλέξουμε την εικόνα που επιθυμούμε από το εξελισσόμενο μενού που εμφανίζεται κάτω από το όνομά της και ανοίγοντας το φάκελο «bands» να επιλέξουμε την «band» που μας ενδιαφέρει και να την προβάλλουμε. (Εικόνα 5.19).



Εικόνα 5.19: Προβολή «band» ενός προϊόντος.

5.3.2.2 Εκτέλεση εντολής «Subset»

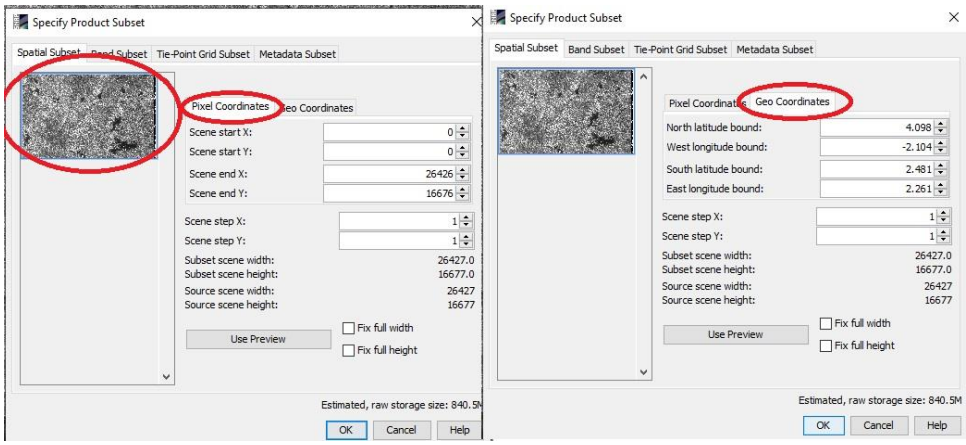
Για να μειώσουμε τον όγκο των δεδομένων μας άρα και το χρόνο επεξεργασίας τους, επιλέγουμε να περιορίσουμε, να «κόψουμε» την εικόνα στην περιοχή ενδιαφέροντος μας. Αυτό το βήμα είναι απαραίτητο καθώς οι δορυφόροι Sentinel-1 μας δίνουν μια «λωρίδα» 250 χιλιομέτρων, κατανοούμε λοιπόν πως ο περιορισμός της στην περιοχή ενδιαφέροντος θα μας δώσει την δυνατότητα να μειώσουμε σε μεγάλο βαθμό τον όγκο των προς επεξεργασία δεδομένων. (Εικόνα 5.20)



Εικόνα 5.20: Εύρεση εντολής «Subset»

Στο νέο αναδυόμενο παράθυρο επιλέγουμε την περιοχή ενδιαφέροντος με 3 διαφορετικούς τρόπους (εικόνα 5.20):

1. Χρησιμοποιώντας το ποντίκι του υπολογιστή μας οριοθετούμε με τετράγωνο την περιοχή που μας ενδιαφέρει στο ειδικό παράθυρο που μας εμφανίζει στα δεξιά.
2. Χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες των pixel της εικόνας, γραμμές και στήλες σε καρτεσιανό σύστημα ήτοι X και Y.
3. Χρησιμοποιώντας πραγματικές συντεταγμένες σε δεκαδικές μοίρες.

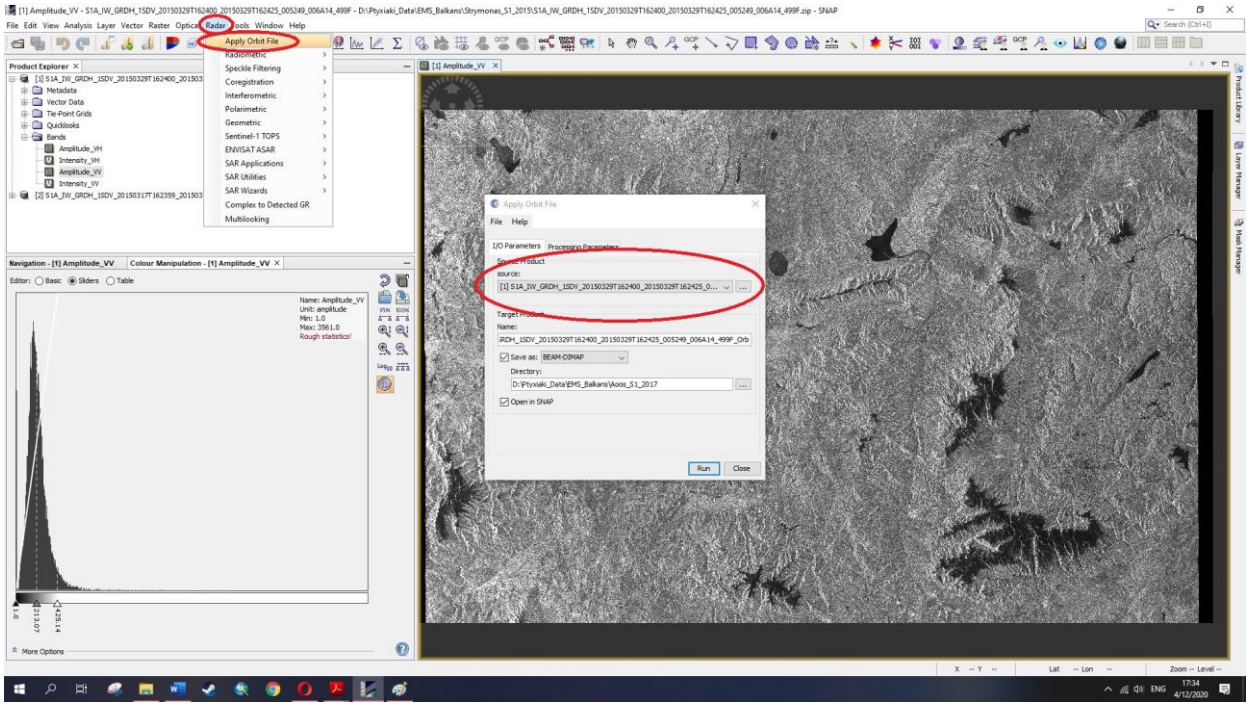


Εικόνα 5.21: Εκτέλεση εντολής «Subset»

5.3.2.3 Εντολή «Apply Orbit File»

Κατά τη δημοσίευση των εικόνων περί τις 24 ώρες από τη λήψη τους, φέρουν ορισμένες πληροφορίες, μετα-δεδομένα, σχετικά με την ταχύτητα και την τροχιά του δορυφόρου κατά την λήψη της εικόνας. Οι πληροφορίες όπως που έχει το προϊόν είναι ανακριβείς με αποτέλεσμα να μειώνεται η ακρίβεια των επόμενων βημάτων όπως οι γεωμετρικές διορθώσεις. Για αυτό, το «SNAP» μας δίνει τη δυνατότητα να διορθώσουμε τα μετα-δεδομένα αυτά αυξάνοντας την ακρίβεια του τελικού αποτελέσματός μας. Τα εν λόγω διορθωμένα μετα-δεδομένα είναι διαθέσιμα μερικές μέρες έως εβδομάδες μετά τη λήψη των εικόνων σύμφωνα με την επίσημη ανακοίνωση του Ε.Δ.Ο.

Η εντολή βρίσκεται στο εξελισσόμενο μενού «Radar» και η μόνη παρέμβασή μας είναι η επιλογή του προϊόντος προς διόρθωση καθώς και το μέρος αποθήκευσης στον υπολογιστή μας. (Εικόνα 5.22)

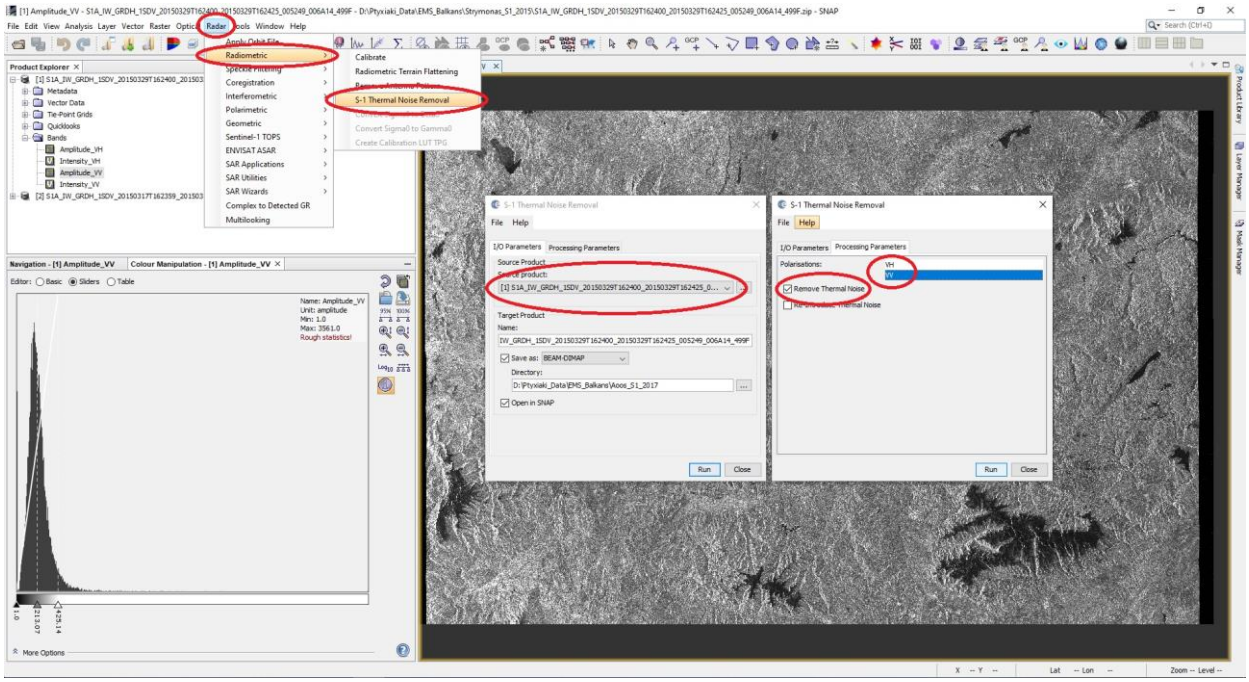


Εικόνα 5.22: Εκτέλεση εντολής «Apply Orbit File»

5.3.2.4 Μείωση Θερμικού Θορύβου

Ο θερμικός θόρυβος της εικόνας επηρεάζει την ανακλαστικότητα του οργάνου στις υψηλές τιμές και παρεμποδίζει την ακρίβεια των εκτιμήσεων της ανακλαστικότητας των «Ραντάρ» (SNAP Help). Ο θόρυβος αυτός προκαλείται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών της κεραίας (Παρχαρίδης, 2015).

Η εντολή εξάλειψης του θερμικού θορύβου βρίσκεται στο εξελισσόμενο μενού «Radar», «Radiometric», «Thermal Noise Removal», εκεί επιλέγουμε την «πόλωση» που επιθυμούμε να διορθώσουμε, στην προκειμένη την VV. (Εικόνα 5.23).



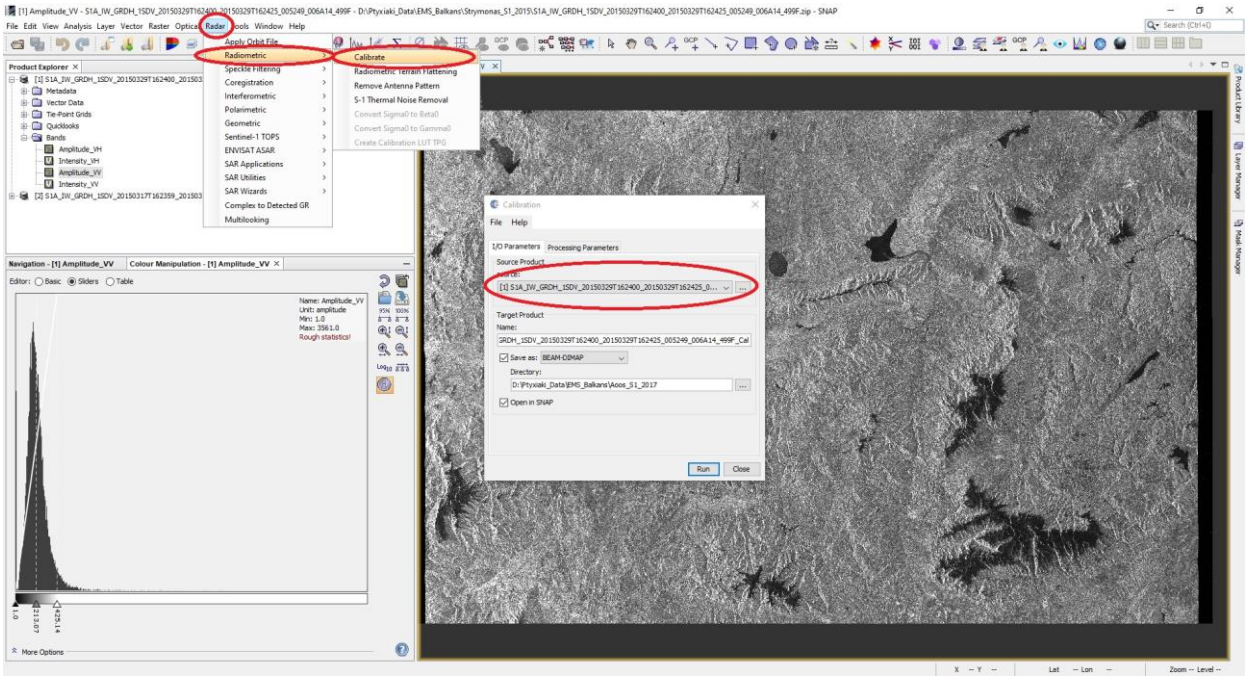
Εικόνα 5.23: Εκτέλεση εντολής «Thermal Noise Removal».

5.3.2.5 Εκτέλεση εντολής «Βαθμονόμησης» / «Calibration»

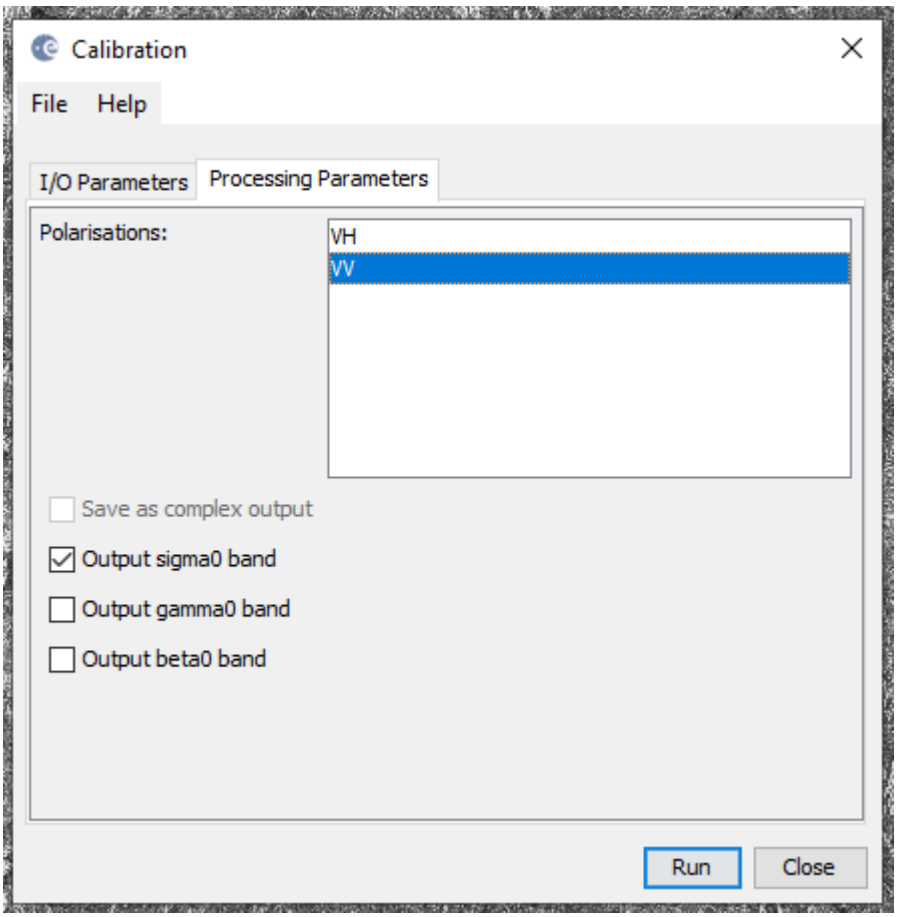
Ο στόχος της βαθμονόμησης SAR είναι η παροχή εικόνων στις οποίες οι τιμές των εικονοστοιχείων μπορούν να σχετίζονται άμεσα με την αντίστροφη μέτρηση του ραντάρ. Αν και οι αριθμητικές εικόνες SAR δεν επαρκούν για ποιοτική χρήση, οι βαθμονομημένες εικόνες SAR είναι απαραίτητες για την ποσοτική χρήση των δεδομένων SAR. (SNAP Help)

Η τυπική επεξεργασία δεδομένων SAR, η οποία παράγει εικόνες επιπέδου 1, δεν περιλαμβάνει ραδιομετρικές διορθώσεις και έχει σημαντική ραδιομετρική παραμόρφωση. Η ραδιομετρική διόρθωση είναι απαραίτητη ώστε οι τιμές των εικονοστοιχείων να αντιπροσωπεύουν πραγματικά την αντανάκλαση του ραντάρ της ανακλώσας επιφάνειας και επομένως να καθίσταται δυνατή η σύγκριση των εικόνων SAR που αποκτήθηκαν με διαφορετικούς αισθητήρες ή ίδιο αισθητήρα αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σε διαφορετικούς τρόπους ή επεξεργασμένες από διαφορετικούς επεξεργαστές. (SNAP Help)

Η εντολή αυτή μπορεί να βρεθεί στο μενού «Radar», «Radiometric», «Calibartion», εκεί επιλέγεται το προϊόν καθώς και η πόλωση VV. (Εικόνα 5.24)



Εικόνα 5.24: Εκτέλεση εντολής «Calibration».



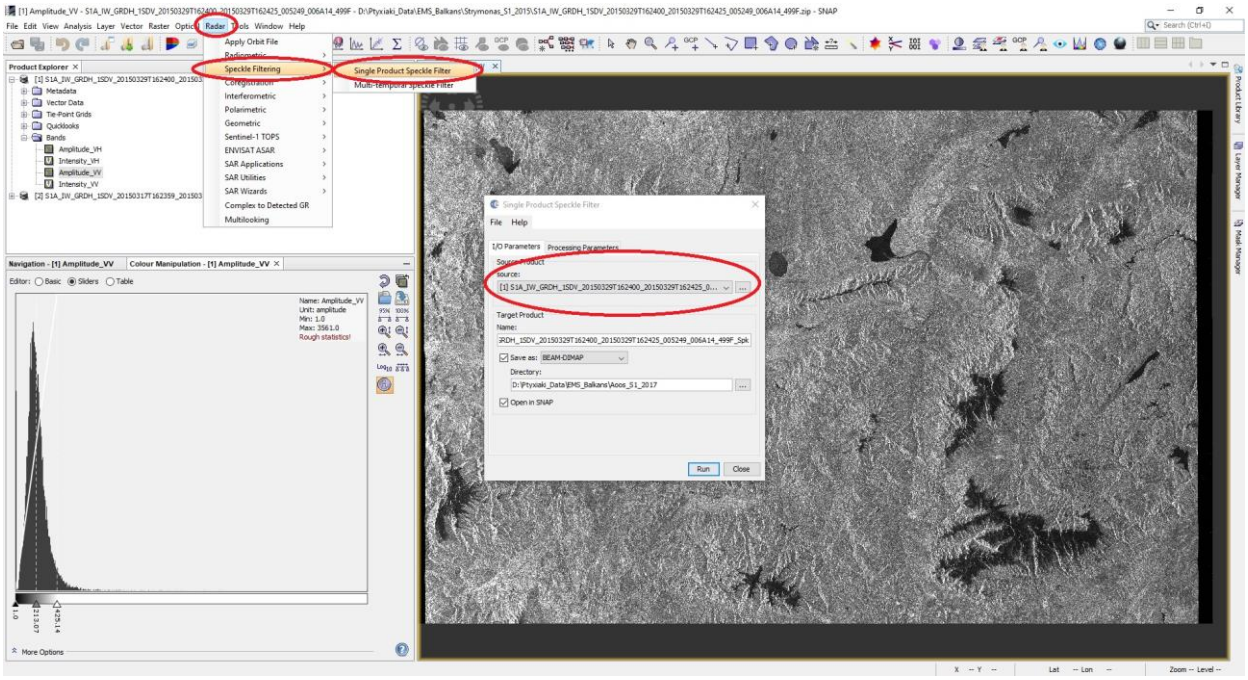
Εικόνα 5.25: Επιλογή πόλωσης VV κατά την εκτέλεση της εντολής «Speckle-Filter».

5.3.2.6 Μείωση Θορύβου «Speckle»

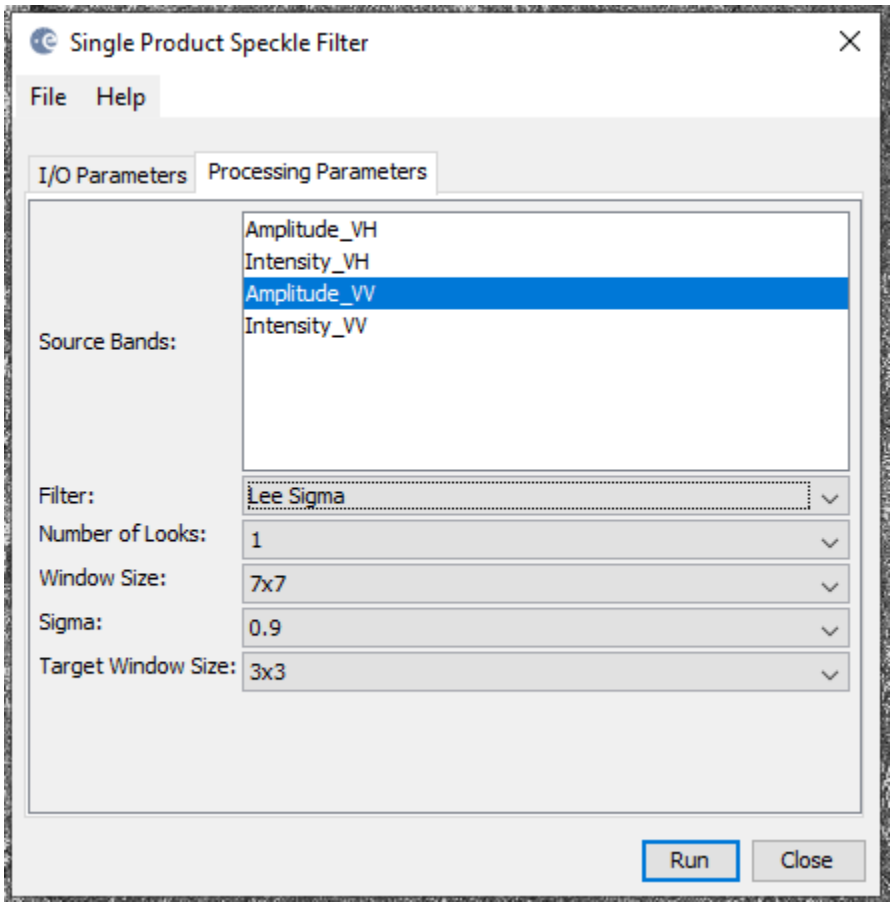
Ο θόρυβος (speckle), εμφανίζεται σαν τυχαίοι κόκκοι ίδιου μεγέθους ή ελαφρώς μεγαλύτεροι από την κυψελίδα διακριτικής ικανότητας. Η βασική της επίδραση είναι η μείωση της ικανότητας αναγνώρισης της εικόνας και μπορεί να ελαττωθεί μέσω διάφορων τεχνικών φιλτραρίσματος (Παρχαρίδης, 2015). Στην προκειμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί το Lee Filter.

Το φίλτρο αυτό εισήχθη από τον Jong-Sen Lee το 1980, είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο τοπικό φίλτρο στατιστικών στοιχείων για τη μείωση του θορύβου. Πρόκειται για ένα γραμμικό φίλτρο που ελαχιστοποιεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας μετρήσεις του μέσου δείγματος, της διακύμανσης του δείγματος της θορυβώδους εικόνας και της γνώσης του τύπου ανίχνευσης και του αριθμού εμφάνισης. (SNAP Help)

Η εντολή είναι διαθέσιμη στο εξελισσόμενο μενού «Radar», «Speckle Filtering», «Single Product Speckle Filter», εκεί επιλέγουμε το προϊόν καθώς και την διαθέσιμη πόλωση VV μιας και αυτή θα χρησιμοποιήσουμε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μας. (Εικόνα5.27)



Εικόνα 5.26:Εκτέλεση εντολής «Single Product Speckle Filter»



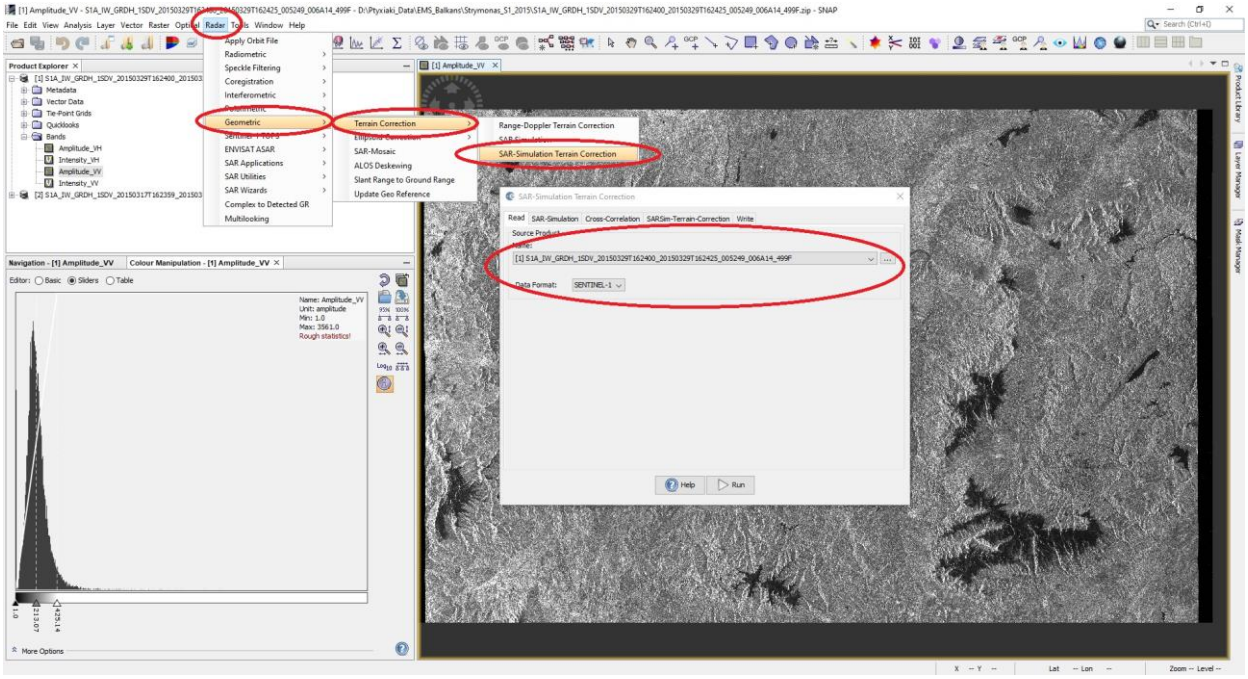
Εικόνα 5.27: Επιλογή πόλωσης και τύπου φιλτραρίσματος θορύβου.

5.3.2.7 Γεωμετρικές Διορθώσεις / «Terrain Correction»

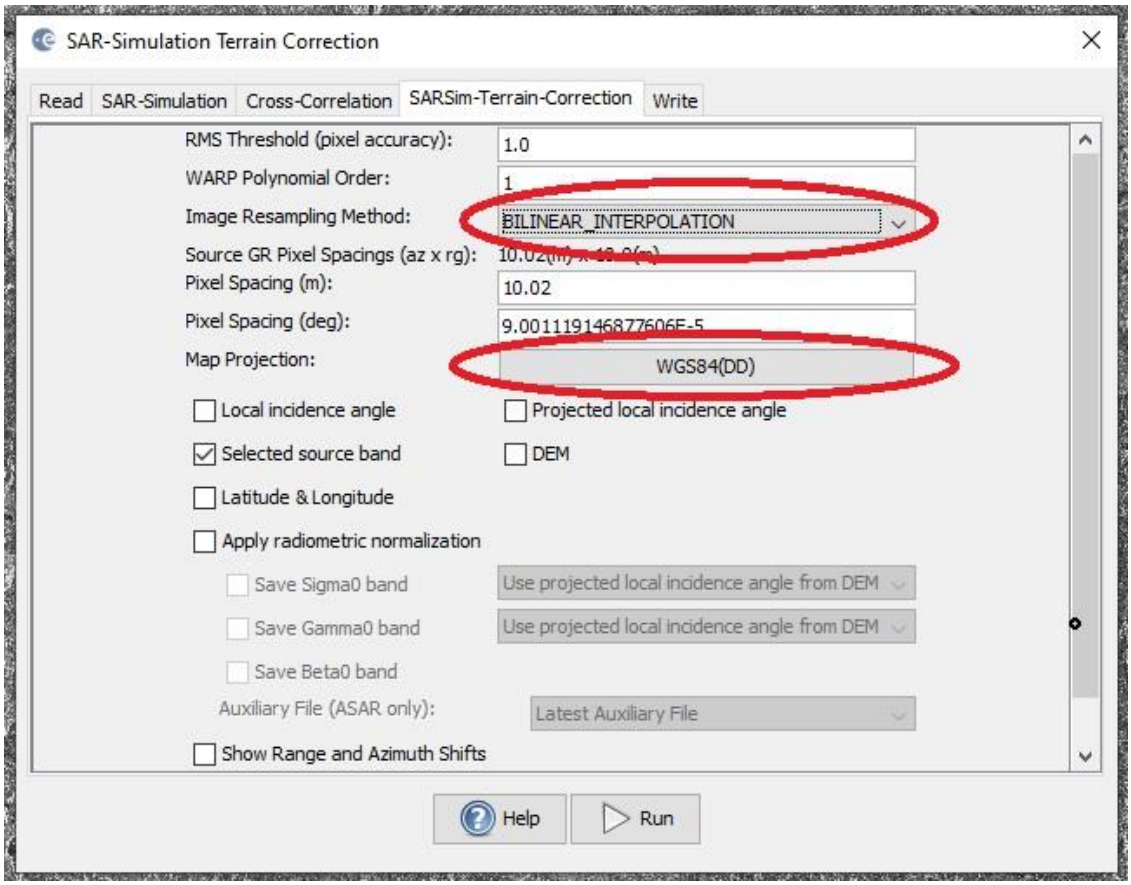
Μέχρι στιγμής, τα δεδομένα μας παραμένουν σε γεωμετρία ραντάρ, αυτό αποτελεί πρόβλημα καθώς οι τοπογραφικές παραλλαγές της σκηνής λήψης και της κλίσης του δορυφορικού αισθητήρα, μπορούν να παραμορφώσουν τις αποστάσεις στις εικόνες SAR. Ως εκ τούτου, στο τελευταίο βήμα της προ-επεξεργασίας, θα εφαρμόσουμε την «διόρθωση εδάφους» για να αντισταθμίσουμε τις στρεβλώσεις και να επανασχεδιάσουμε τη σκηνή στη γεωγραφική προβολή που επιθυμούμε, στην προκειμένη τα δεδομένα μας θα προβληθούν στο Παγκόσμιο WGS 84.

Η εντολή «Terrain Correction» είναι διαθέσιμη στο μενού «Radar», «Geometric», «Terrain Correction», «SAR-Simulation Terrain Correction», εκεί επιλέγουμε το προϊόν που θέλουμε να διορθώσουμε. Ακόμη, επιλέγουμε τη μέθοδο επαναδειγματοληψίας της εικόνας μας (Image Resampling Method) καθώς και το σύστημα συντεταγμένων που επιθυμούμε, ήτοι WGS 84. (Εικόνες 5.28, 5.29)

Η μέθοδος επαναδειγματοληψίας της εικόνας μας (Image Resampling Method) είναι αυτή της διαγραμμικής παρεμβολή, «Bilinear Interpolation» και χρησιμοποιεί σταθμισμένο μέσο όρο των τεσσάρων πλησιέστερων εικονοστοιχείων. Όσο πλησιέστερο είναι το κέντρο των δύο εικονοστοιχείων, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της τιμής του νέου εικοστοιχείου. Αυτό σημαίνει ότι η τιμή του νέου εικονοστοιχείου μπορεί να είναι διαφορετική από την πλησιέστερη αρχική, αλλά πάντοτε βρίσκεται εντός της ίδιας κλίμακας τιμών με την αρχική. Δεδομένου ότι οι τιμές μπορούν να αλλάξουν, η «Bilinear Interpolation» δεν συνιστάται για κατηγορηματικά δεδομένα και χρησιμοποιείται για συνεχή δεδομένα όπως τιμές ανύψωσης (elevation data) άρα και για τις τιμές των εικόνων που προέρχονται από αισθητήρες SAR. (ESRI Technical Support)



Εικόνα 5.28: Εκτέλεση εντολής «Terrain Correction»



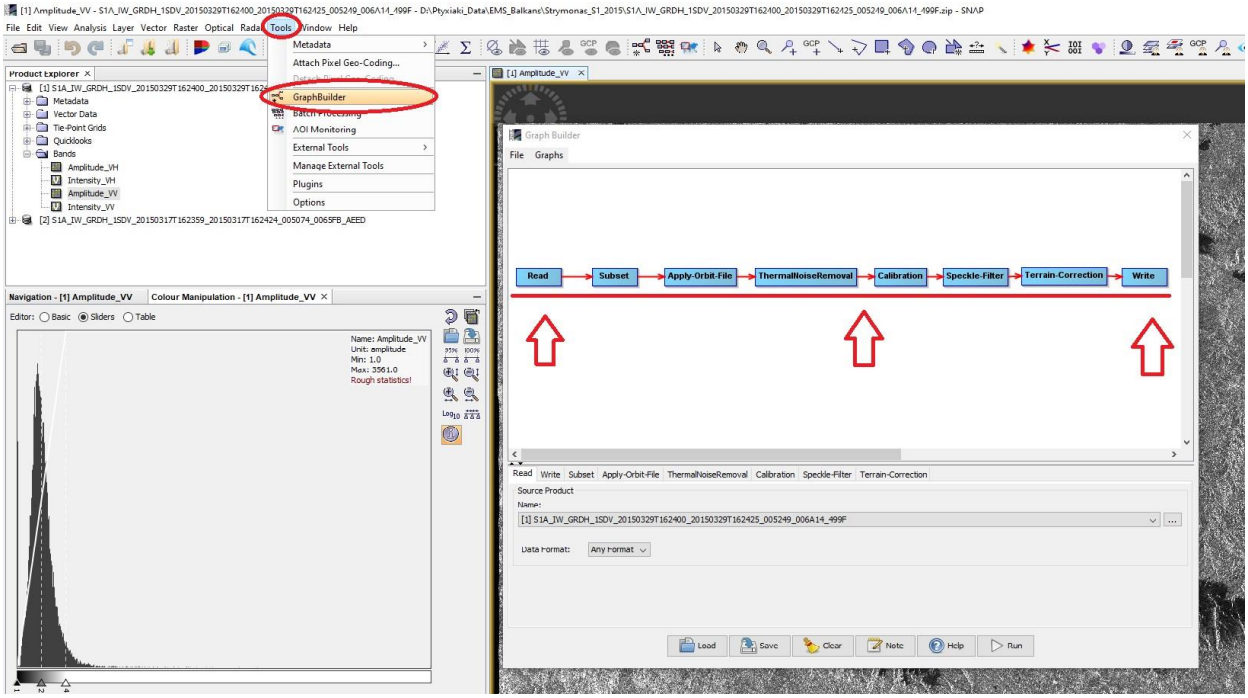
Εικόνα 5.29: Επιλογή μεθόδου επαναδειγματοληψίας εικονοστοιχείων (Image Resampling Method) και γεωγραφικού συστήματος.

5.3.2.8 Επεξεργασία «Παρτίδας»

Καθώς θα επιθυμούμε να εφαρμόσουμε τα ίδια στάδια προ-επεξεργασίας σε όλες τις εικόνες μας, θα χρησιμοποιήσουμε μια τεχνική που μας παρέχεται από το λογισμικό, αυτή της επεξεργασίας «παρτίδας». Η εν λόγω εντολή μας δίνει την δυνατότητα να «χτίσουμε» ένα διάγραμμα με τις εντολές που επιθυμούμε να εφαρμόσουμε στις εικόνες μας. Έπειτα το λογισμικό εφαρμόζει τις εντολές συνολικά, σε όσες εικόνες εμείς το επιθυμούμε με απόρροια αυτού τη μείωση του όγκου εργασίας, του χρόνου ολοκλήρωσης αλλά και των απαιτήσεων του συστήματος μας.

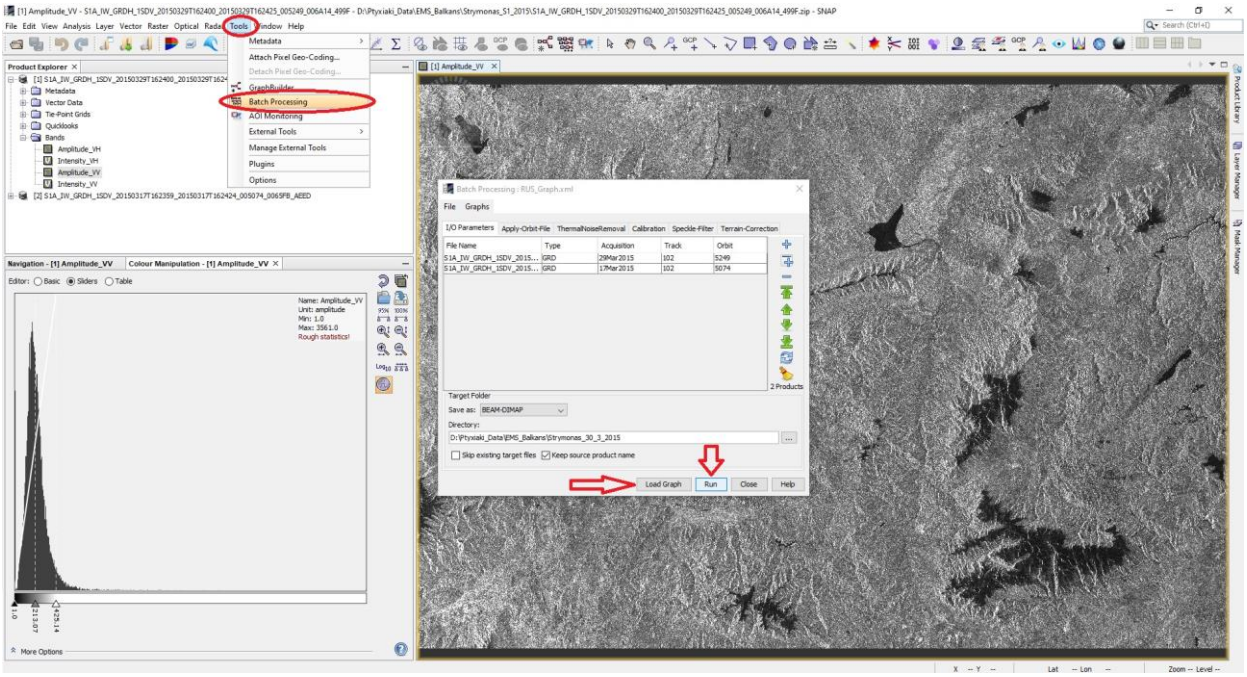
Αρχικά, δημιουργούμε το διάγραμμα ροής που οριοθετεί στο λογισμικό μας την σειρά και το είδος των εντολών που επιθυμούμε να εκτελέσουμε. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιούμε την εφαρμογή «Graph Builder» από το μενού «Tools» και ορίζουμε τις εντολές που επιθυμούμε να εκτελέσουμε, στην προκειμένη, τοποθετούμε τις εντολές με τη σειρά που τις αναφέρουμε στο κεφάλαιο 5.3. Η μόνη διαφορά είναι πως προσθέτουμε δύο επιπλέον εντολές, την εντολή

«Read» στην οποία ορίζουμε που βρίσκονται οι εικόνες μας και την εντολή «Write», στην οποία ορίζουμε τον τόπο αποθήκευσης των εικόνων στον υπολογιστή μας. (Εικόνα 5.30)



Εικόνα 5.30: Δημιουργία και παραμετροποίηση του διαγράμματος εκτέλης εντολών.

Αφού ετοιμάσαμε το διάγραμμα και ορίσαμε τις εντολές που θέλουμε, το αποθηκεύουμε και προχωράμε στην «Επεξεργασία Παρτίδας», το βήμα στο οποίο ορίζουμε τις εικόνες στις οποίες θέλουμε να εκτελέσουμε μαζικά τις παραπάνω εντολές. Από το μενού «Tools», επιλέγουμε την εντολή «Batch Processing», φορτώνουμε τις εικόνες που επιθυμούμε, επιλέγουμε το διάγραμμα που περιγράφει το είδος και την σειρά των εντολών και αφού ορίσουμε εκ νέου, αν θέλουμε, σημείο αποθήκευσης στον υπολογιστή μας, εκτελούμε την εντολή και αναμένουμε τα αποτελέσματά της. (Εικόνα 5.31)



Εικόνα 5.31: Εκτέλεση εντολής «Επεξεργασίας Παρτίδας»

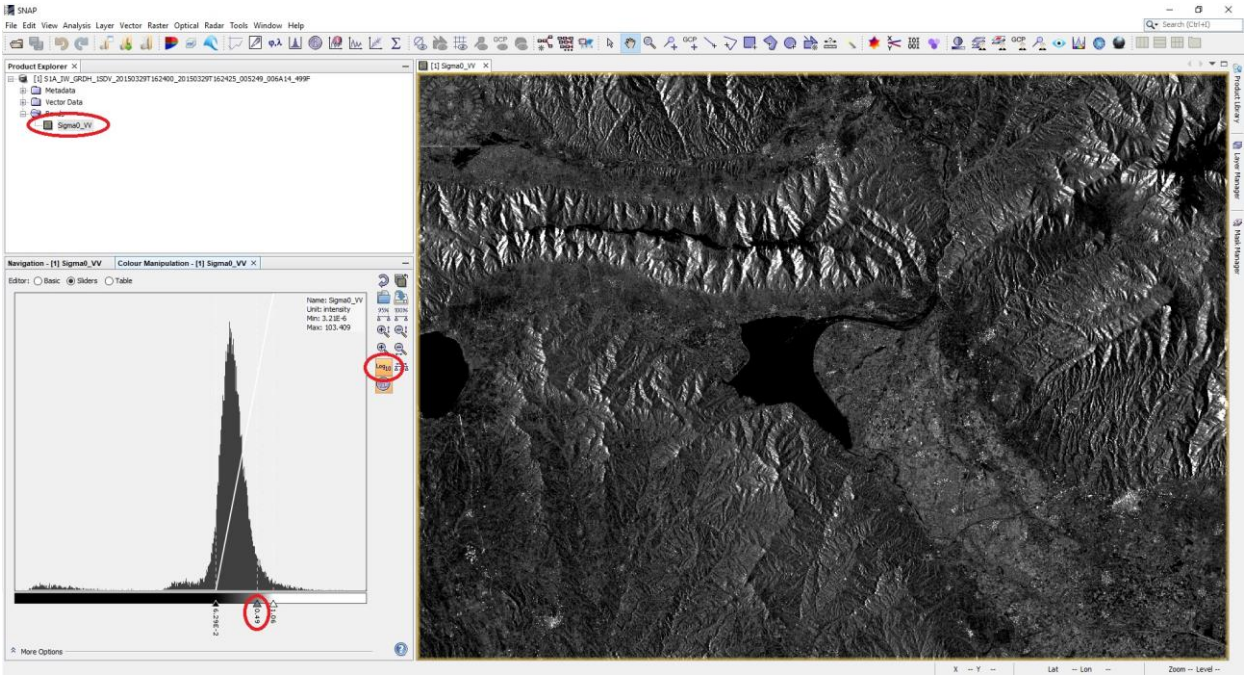
5.3.3 Τελική Επεξεργασία

Το στάδιο αυτό αναφέρεται στην τελική επεξεργασία και παραμετροποίηση των εικόνων μας ώστε να προβάλλουμε με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια το φαινόμενο της πλημμύρας που μελετάμε. Οι μεθοδολογίες που θα χρησιμοποιηθούν είναι 2, η εξαγωγή του πλημμυρικού γεγονότος με τη χρήση μιας μόνο εικόνας, αυτής μετά το φαινόμενο, καθώς και με τη ταυτόχρονη σύγκριση των εικόνων πριν και μετά. Σε κάθε μια από τις 2 μεθοδολογίες το αποτέλεσμα θα εξαχθεί από την εικόνα μετά το φαινόμενο που μελετάμε.

5.3.3.1 Δυαδικοποίηση / Binarization

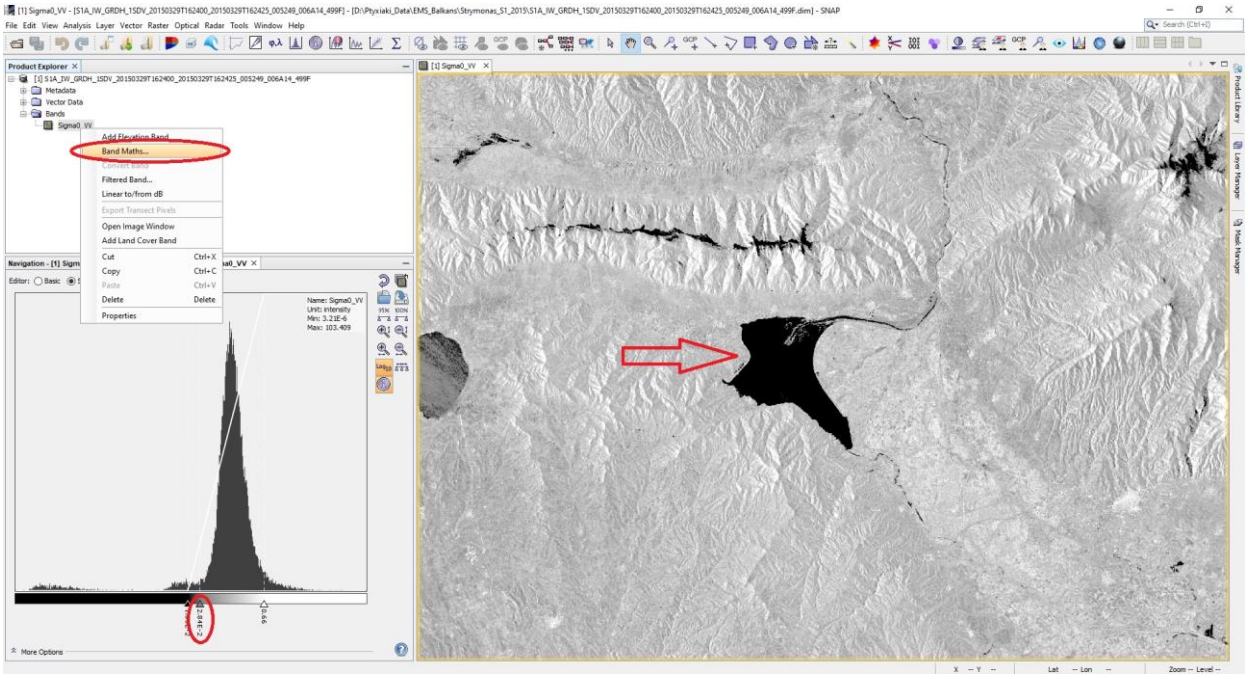
Στο παρόν βήμα, θα προσπαθήσουμε να δυαδικοποιήσουμε τις ψηφιακές τιμές των εικόνων μας και πλέον οι περιοχές στις οποίες εμφανίζονται υδάτινες μάζες του πλημμυρικού φαινομένου που μελετάμε να έχουν την τιμή 255 και οι υπόλοιπες την τιμή 0.

Πιο αναλυτικά, το πρώτο βήμα είναι να εμφανίσουμε την πλέον προ-επεξεργασμένη εικόνα «Sigma0_VV» η οποία λήφθηκε μετά το πλημμυρικό φαινόμενο. Επιπρόσθετα μπορώ να ανοίξω και την ίδια εικόνα που λήφθηκε πριν την πλημμύρα και να τις ενώσω με την εντολή «Tile Evenly» όπως περιγράφεται και στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 5.32: Άνοιγμα εικόνας μετά το πλημμυρικό φαινόμενο.

Αφού ανοίξουμε την εικόνα ενδιαφέροντος (εικόνα 5.31), επιλέγουμε το παράθυρο του ιστογράμματος και εφαρμόζουμε την εντολή Log10 όπου διαπλατύνει το ιστόγραμμα λογαριθμικά. Πλέον μπορούμε πιο εύκολα να αναγνωρίσουμε υδάτινες μάζες. Επόμενό βήμα είναι να παραμετροποιήσουμε το ιστόγραμμα και «σέρνοντας» τον γκρι δείκτη να εντοπίσουμε σε ποιο σημείο του, οι υδάτινες μάζες είναι πιο έντονες, πιο φωτεινές. (Εικόνα 5.32)

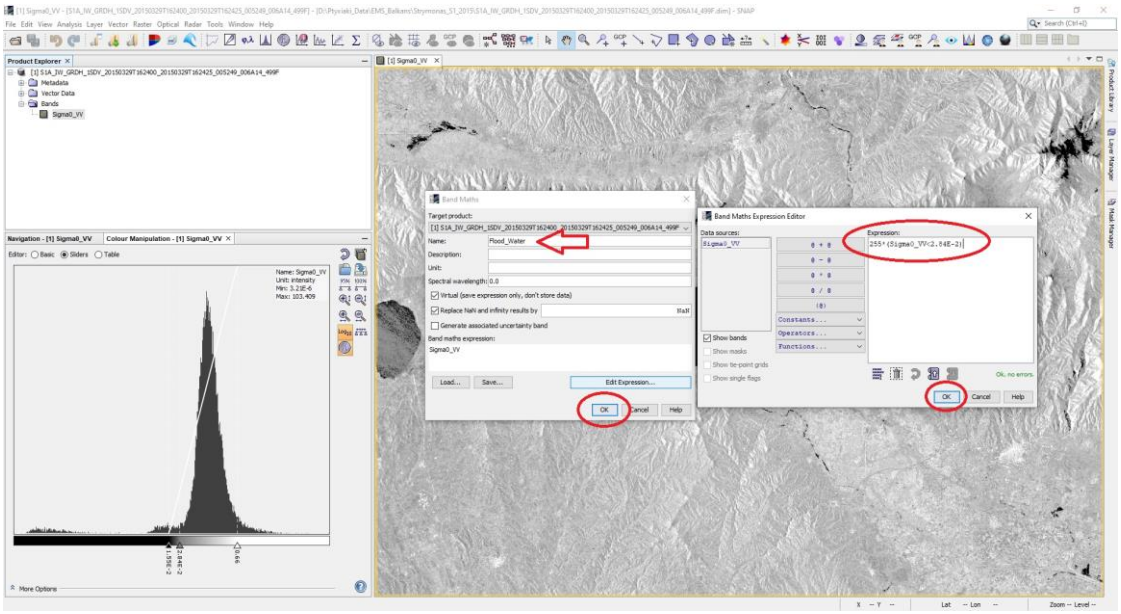


Εικόνα 5.33: Παραμετροποίηση ιστογράμματος για εύρεση υδάτινων μαζών

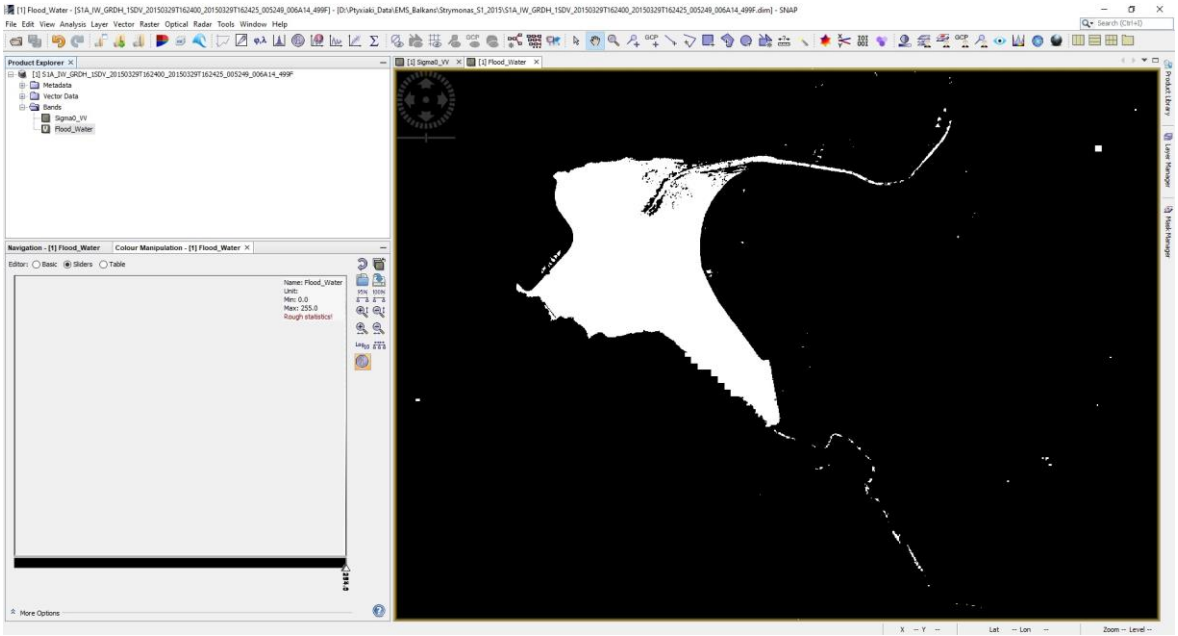
Αφού εντοπίσουμε τον αριθμό του γκρι δείκτη στον οποίο οι υδάτινες μάζες εμφανίζονται πιο έντονες, φωτεινές, τότε επιλέγουμε με αριστερό κλικ την εικόνα μας και εκτελούμε τη εντολή «Band Math». Η εντολή αυτή θα δημιουργήσει μια νέα εικόνα, στην οποία, οι υδάτινες μάζες θα εμφανίζουν την τιμή 255 και όλες η υπόλοιπες περιοχές την τιμή 0. Η σχέση που θα χρησιμοποιηθεί είναι η εξής:

$$255*(Sigma0_VV<2.84^{E}-2)$$

Επί της ουσίας με αυτή τη σχέση κάθε pixel κάτω της τιμής που βρήκαμε πως εμφανίζονται πιο έντονα οι υδάτινες μάζες θα λαμβάνει την τιμή 255 και οποιοδήποτε άλλο την τιμή 0. Η εξίσωση αυτή τοποθετείτε στην θέση «Edit Expression» στο παράθυρο «Band Math» που ανοίξαμε σε προηγούμενο στάδιο. (Εικόνες 5.34, 5.35)

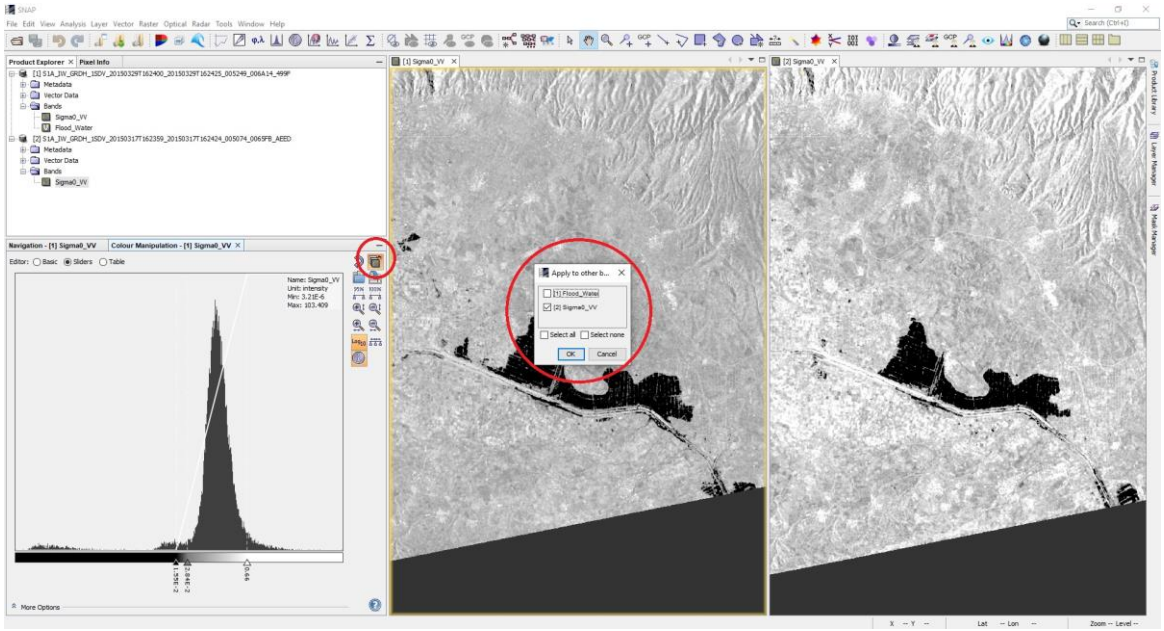


Εικόνα 5.34: Τοποθέτηση εξίσωσης λειτουργία «Band Math»



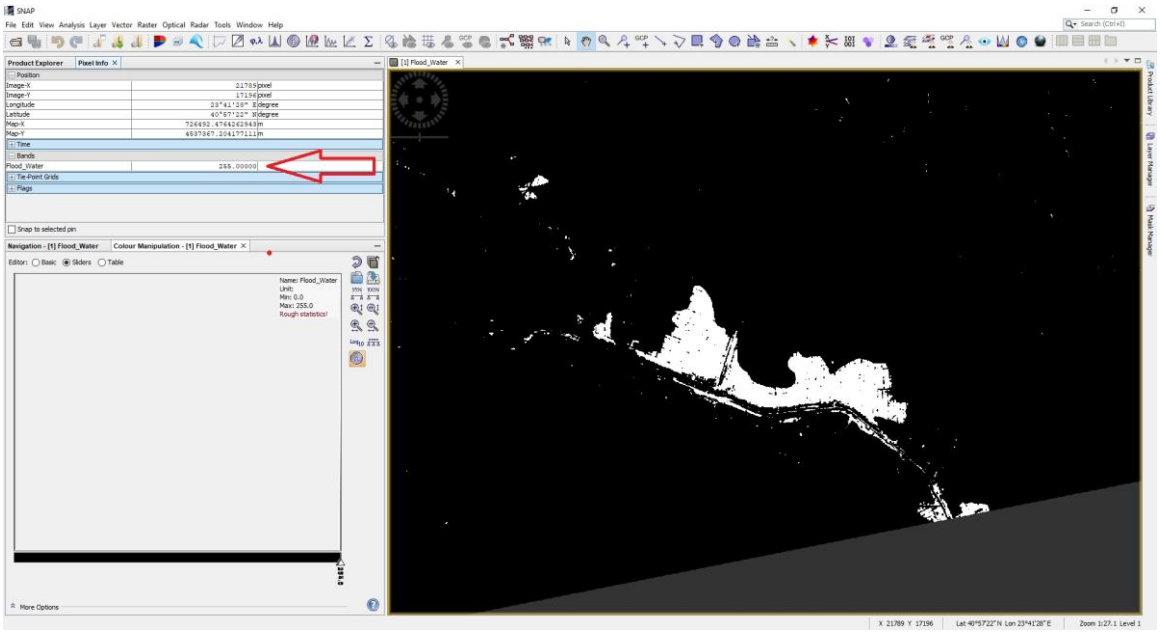
Εικόνα 5.35 Δημιουργία νέας εικόνας με τις νέες ψηφιακές τιμές 255,0

Με την παραπάνω διαδικασία δημιουργήσαμε μια νέα εικόνα με δυαδικές τιμές 255 για τις υδάτινες μάζες και 0 για όλα τα υπόλοιπα pixel. Την ίδια διαδικασία μπορούμε να ακολουθήσουμε για την εξαγωγή παρόμοια εικόνας μέσω της σύγκρισης εικόνων πριν και μετά το φαινόμενο, η μόνη διαφορά είναι πως υπάρχουν 2 ανοιχτά παράθυρα και γίνεται σύγκριση μεταξύ των δύο (Εικόνα 5.36). Ενδεχομένως με τον τρόπο αυτό να μπορούμε να εντοπίσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τον αριθμό της εξίσωσης που θέλουμε για να εμφανίσουμε με όση περισσότερη ακρίβεια γίνεται τις υδάτινες μάζες. Τα αποτελέσματα αυτού θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 5.36: Σύγκριση εικόνων πριν και μετά την πλημμύρα, παράθυρο ένωσης ιστογράμματος

Πλέον, η παραγόμενες από αυτή τη διαδικασία εικόνες είναι δυαδικού χαρακτήρα και φέρουν μόνο την τιμή 255 για τις περιοχές που καλύπτονται από νερό και 0 για όλες τις υπόλοιπες.

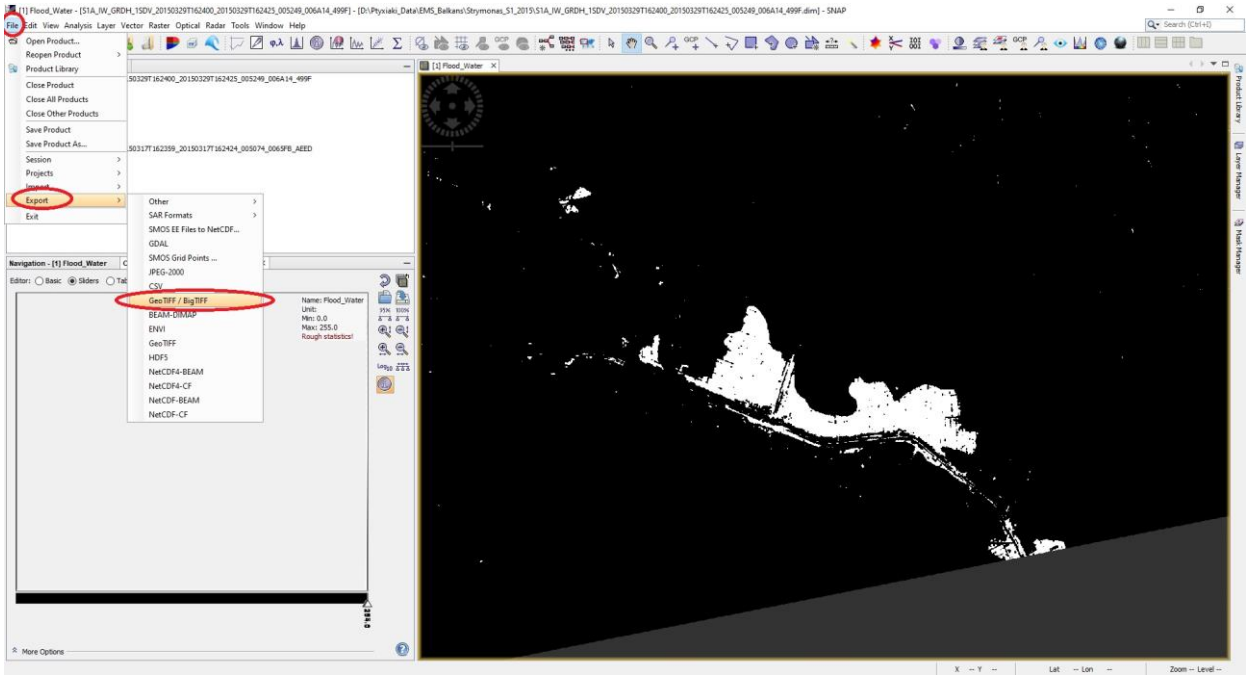


Εικόνα 5.37: Τιμές εικονοστοιχείων που περιλαμβάνουν υδάτινες μάζες

5.3.3.2 Εξαγωγή αποτελεσμάτων / Εισαγωγή σε περιβάλλον ΣΓΠ

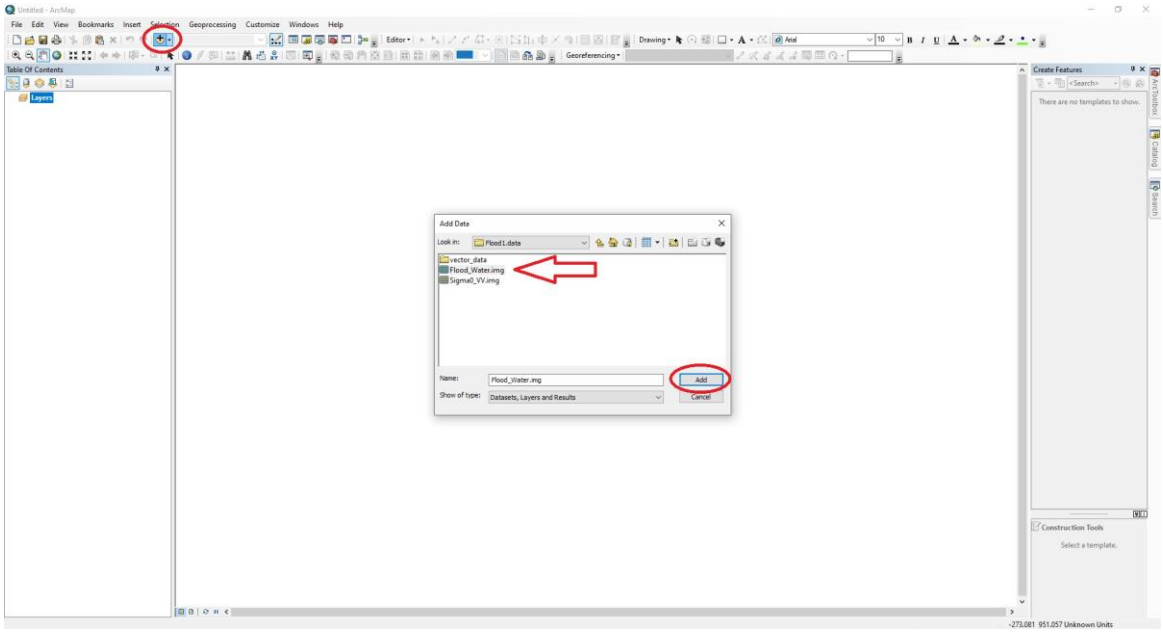
Αφού παραμετροποιήσουμε τις εικόνες μας και καταλήξουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα, μπορούμε να τις εξάγουμε από το περιβάλλον του «SNAP» και να τις εισάγουμε στο πρόγραμμα «ArcGIS» για περαιτέρω παραμετροποίηση και τελικός προβολή σε κάποιο χαρτογραφικό υπόβαθρο.

Αρχικά, επιλέγουμε τη δυαδική εικόνα που θέλουμε να εξάγουμε από το μενού «File», «Export» και επιλέγουμε τον τύπο του αρχείου που επιθυμούμε, στην προκειμένη η εικόνα θα εξαχθεί σε μορφή «Geo TIFF», ενός ψηφιδωτού, «Raster» αρχείου, το οποίο αναγνωρίζει το ArcGIS και μπορεί να το επεξεργαστεί καθώς είναι γεωαναφερμένο στο σύστημα που ορίσαμε στο κεφάλαιο 5.2.1.6.



Εικόνα 5.38: Εξαγωγή εικόνας σε μορφή GeoTIFF

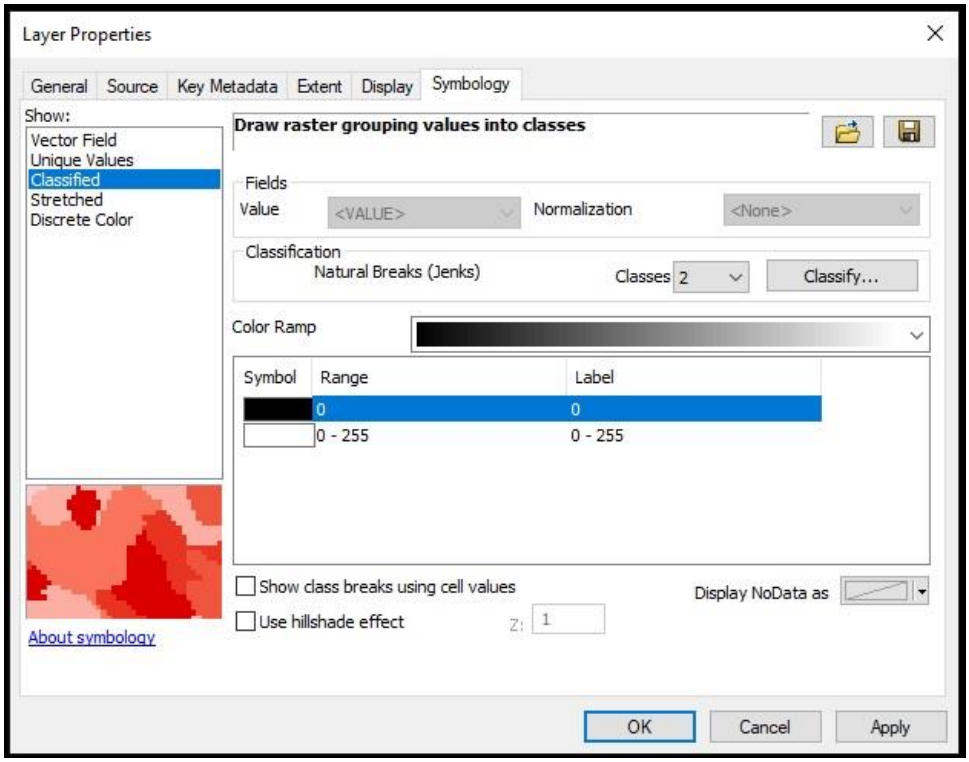
Αφού εξάγουμε την εικόνα μας σε μορφή Geo TIFF, ανοίγουμε το πρόγραμμα Arc GIS και την εισάγουμε με την εντολή «Add Data» πάνω αριστερά όπως αυτή εμφανίζεται στην εικόνα 5.39.



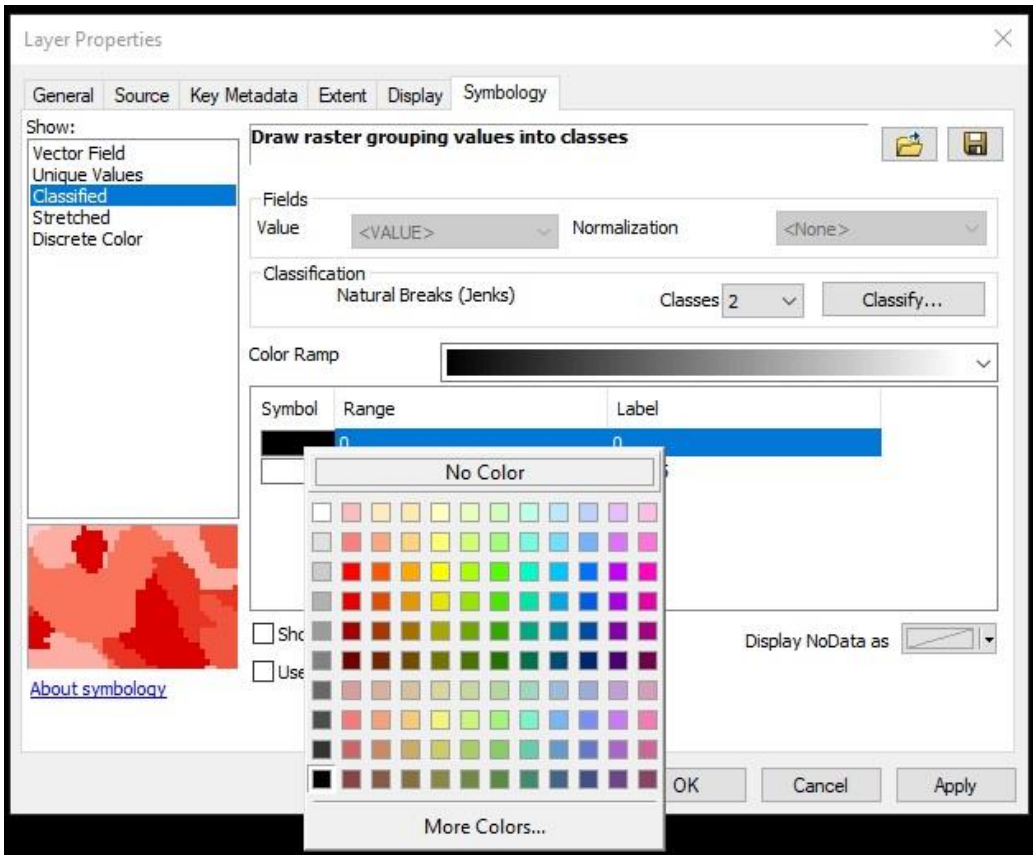
Εικόνα 5.39: Εισαγωγή εικόνας σε περιβάλλον ArcGIS.

Κατά την εισαγωγή της, η εικόνα θα έχει ως προεπιλεγμένο τρόπο προβολής την μονοχρωματική διακύμανση, μιας και πρόκειται για μια εικόνα «Raster». Πιο αναλυτικά, θα αλλάξουμε τον τρόπο προβολής στην καρτέλα «Symbology» έτσι ώστε να μας δοθεί η δυνατότητα να ορίσουμε εμείς τα χρώματα για κάθε τιμή της εικόνας. Στην προκειμένη, θα ορίσουμε πως οι τιμή μηδέν δεν θα προβάλλετε με κανένα χρώμα, «No Color» και θα είναι

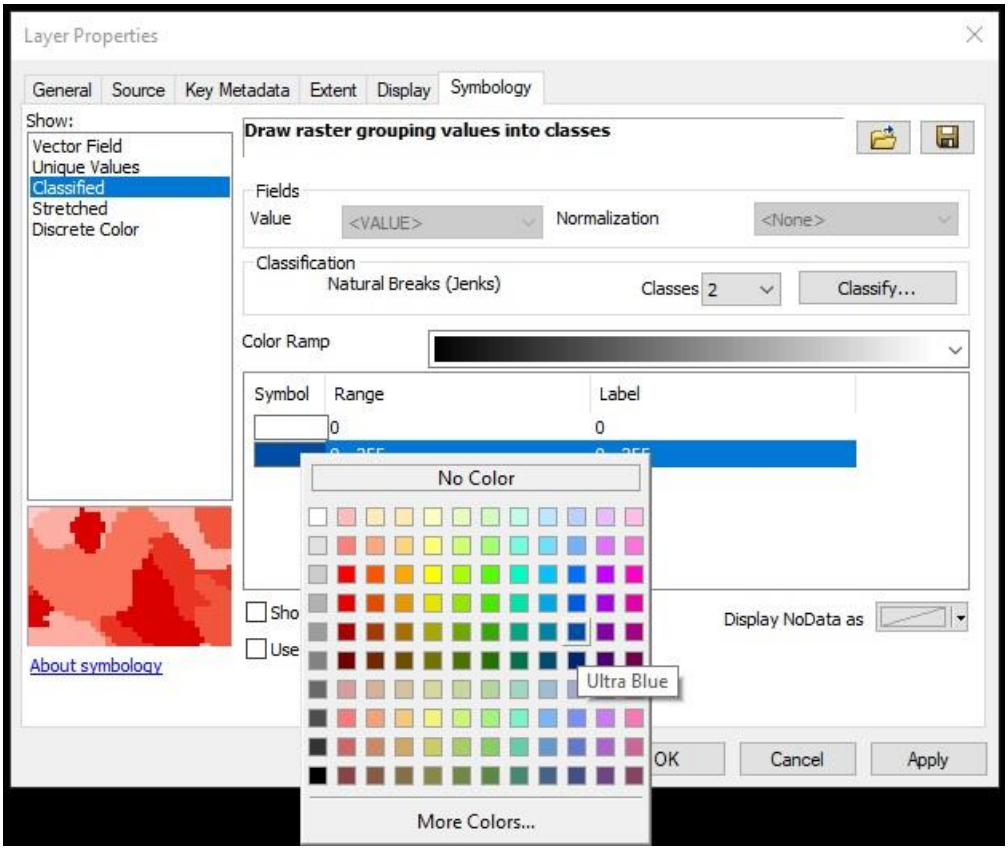
διαφανής, καθώς περιέχει μια άχρηστη για εμάς πληροφορία. Αντίθετα, θα ορίσουμε πως η τιμή 255 θα εμφανίζεται με βαθύ μπλε χρώμα καθώς αποτελεί την τιμή ενδιαφέροντος που εμφανίζει τις περιοχές που έχουν καλυφθεί με νερό.



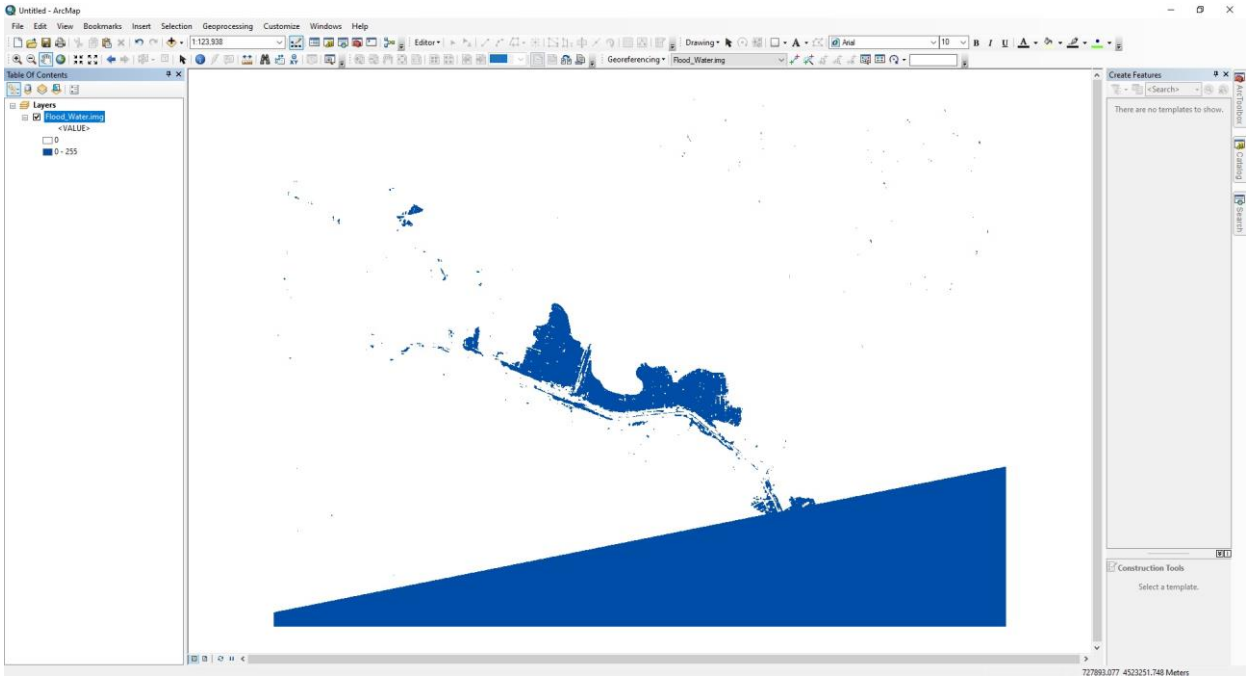
Εικόνα 5.40: Αλλαγή τρόπου χρωματικής προβολής



Εικόνα 5.41 Ορισμός «Απουσίας Χρώματος» για τις τιμές 0

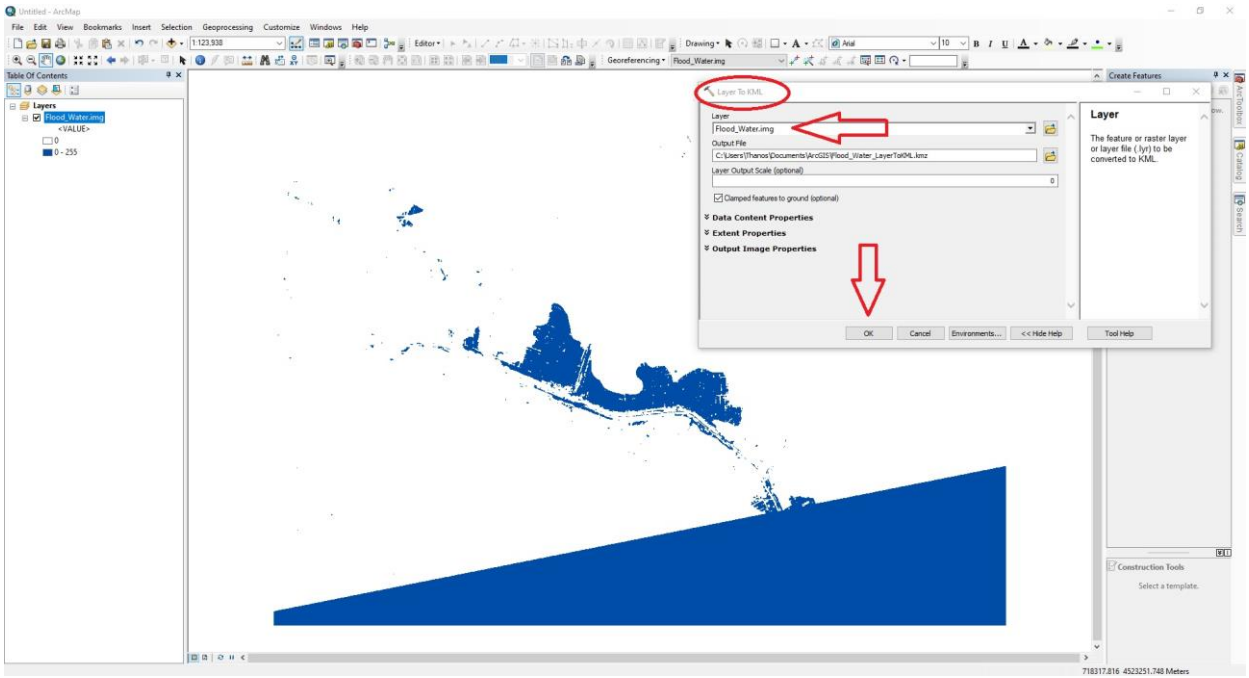


Εικόνα 5.42 Ορισμός μπλε χρώματος στις περιοχές που καλύπτονται από νερό



Εικόνα 5.43 Τελικό αποτέλεσμα παραμετροποίησης συμβολισμού

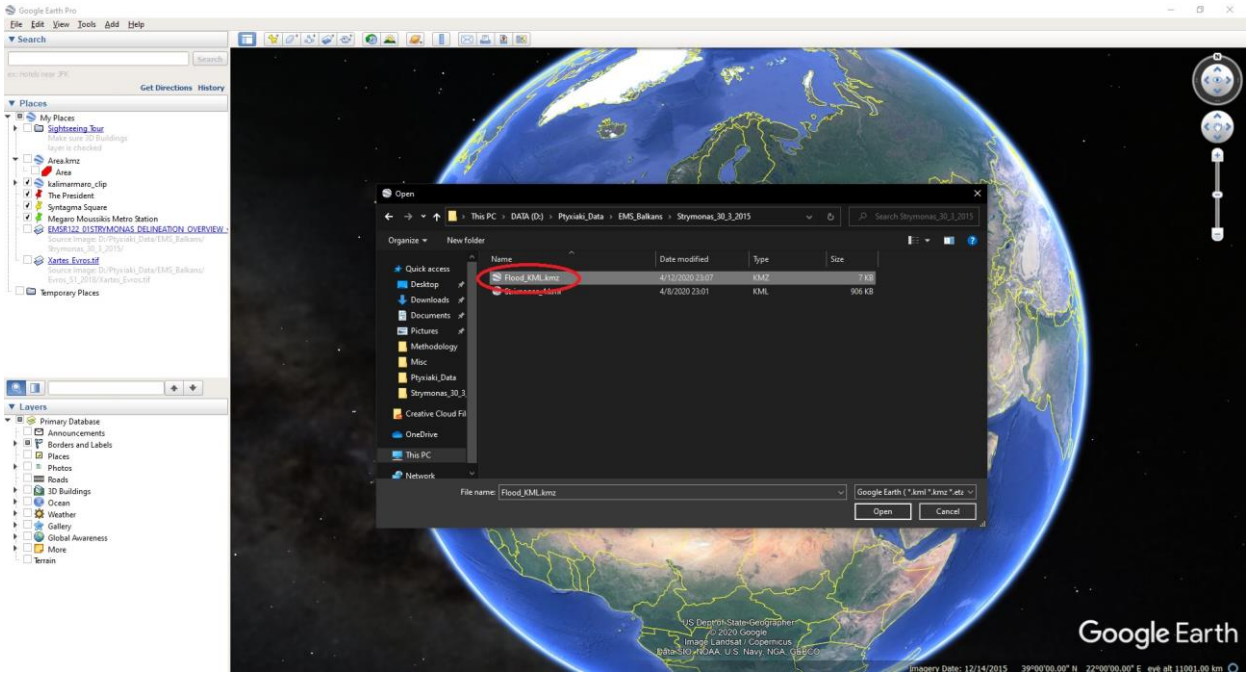
Αφού παραμετροποιήσαμε τον συμβολισμό των τιμών της εικόνας, μπορούμε πλέον να την εξάγουμε σε μορφή KML με στόχο την προβολή της στο χαρτογραφικό υπόβαθρο της εφαρμογής «Google Earth». Εκτελούμε λοιπόν την εντολή «Layer to KML» όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, ορίζουμε το επίπεδο που θέλουμε να μετατρέψουμε, ήτοι την εικόνα μας καθώς και το χώρο αποθήκευσης.



Εικόνα 5.44: Εξαγωγή εικόνας σε KML

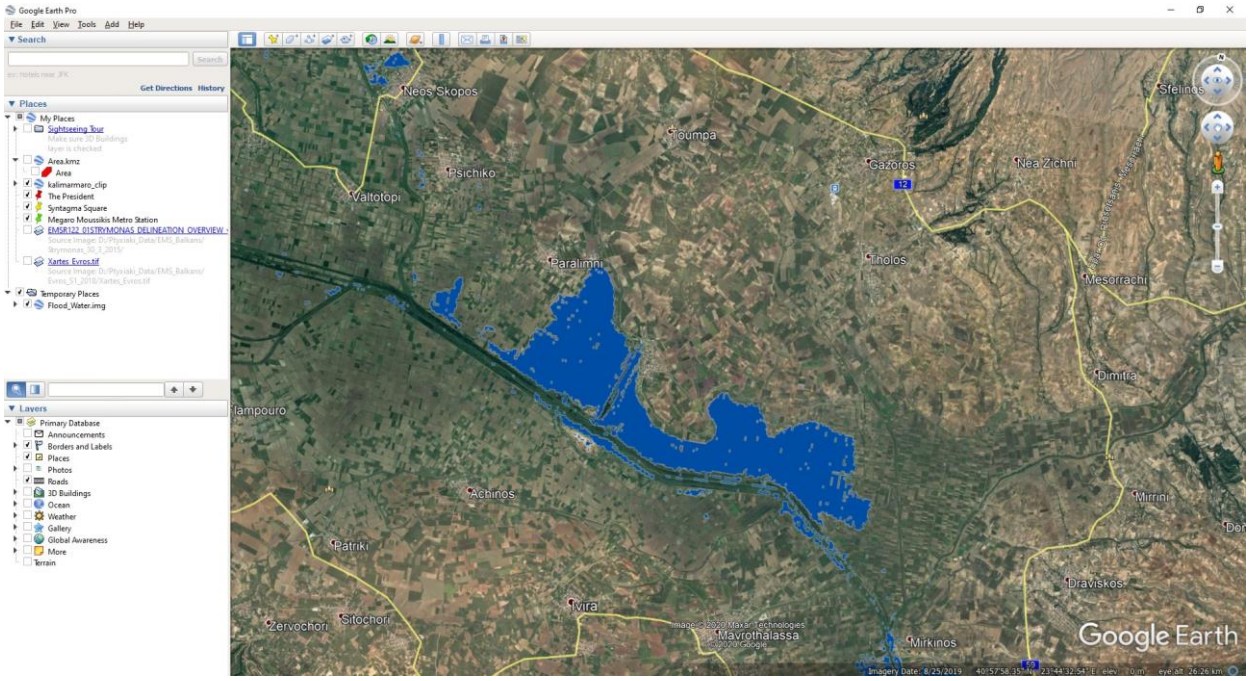
5.3.3.3 Εισαγωγή αποτελέσματος στην εφαρμογή «Google Earth»

Μετά την μετατροπή των αποτελεσμάτων μας σε μορφή KML, φορτώνουμε το αρχείο στην εφαρμογή Google Earth όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 5.45: Εισαγωγή αρχείου στο Google Earth

Αυτό το βήμα προβάλλει την επεξεργασμένη εικόνα στο χαρτογραφικό υπόβαθρο του Google Earth, ήτοι τον παγκόσμιο χάρτη. Μας βοηθάει έτσι να κρίνουμε ολιστικά τα αποτελέσματά μας, να διαπιστώσουμε ότι αντιστοιχούν με την πραγματικότητά καθώς και να διαπιστώσουμε την έκταση που καλύπτουν.



Εικόνα 5.46: Προβολή πληττόμενων περιοχών σε περιβάλλον Google Earth

Κεφάλαιο 6^{ο} : Αποτελέσματα

Με βάση τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε και αναλύθηκε στο 5^{ο} κεφάλαιο, αποτυπώθηκε η έκταση των πλημμυρικών φαινομένων στις 4 διασυνοριακές λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος. Πιο αναλυτικά, παράχθηκαν πλημμυρικοί χάρτες οι οποίοι περιέχουν τις εκτάσεις των περιοχών που καλύφθηκαν από νερό συγκριτικά με τα όρια των λεκανών απορροής αλλά και το ορθογώνιο της Περιοχής Ενδιαφέροντος (Area of Interest). Τα παραπάνω, παρουσιάζονται σε χαρτογραφικό υπόβαθρο που παρέχεται από την ESRI μέσω του λογισμικού ArcGIS.

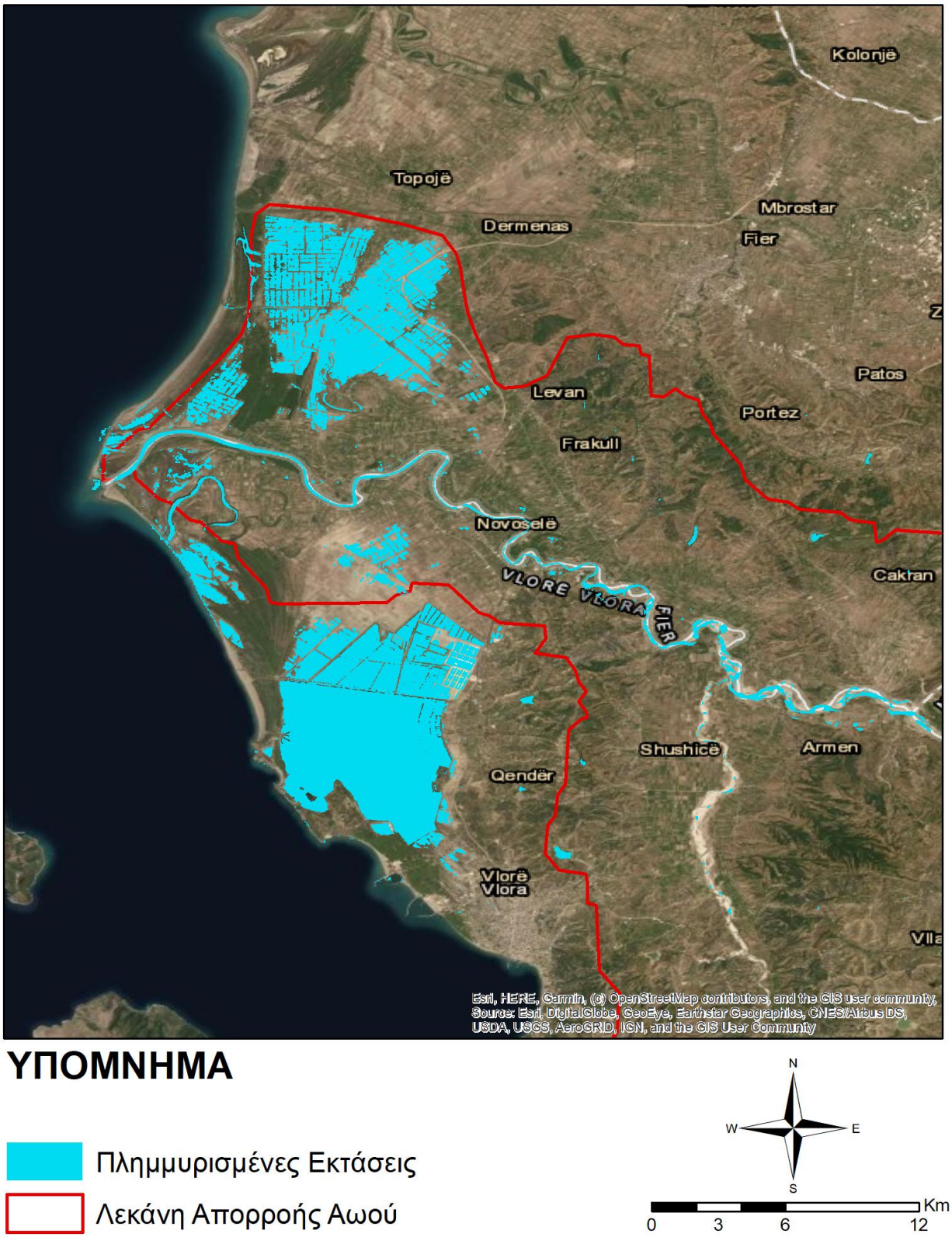
Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, θα διεξαχθεί και η σύγκρισή τους με τα αποτελέσματα του αυτοματοποιημένου συστήματος EMS Rapid Mapping του προγράμματος Copernicus της Ε.Ε.

6.1 Χαρτογράφηση Πλημμυρικού Φαινομένου, Λεκάνη Απορροής Αώου

Το πλημμυρικό φαινόμενο έλαβε χώρα εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Αωού, πλησίον των εκβολών του στην Αδριατική Θάλασσα στην Αλβανία στις 1/12/2017. Αναλυτικότερα, λόγω ισχυρών βροχοπτώσεων την προηγούμενη ημέρα της πλημμύρας (CEMS, 2017), ο ποταμός Αώος υπερχείλισε με αποτέλεσμα να πλημμυρήσουν εκτάσεις περιμετρικά των εκβολών του στην περιοχή Vlore της Αλβανίας. Το ακραίο καιρικό φαινόμενο συνεχίστηκε και την επομένη το πρωί, με αποτέλεσμα να ενισχυθεί το πλημμυρικό φαινόμενο με αποτέλεσμα να καλυφθούν με ύδατα μεγάλες εκτάσεις την 1^{η} του Δεκεμβρίου 2017.

Κατά πρώτον, ανακτήθηκαν δορυφορικές εικόνες SAR του Sentinel-1, έγινε η προ-επεξεργασία και η κυρίως επεξεργασίας τους για την τελική παραγωγή του θεματικού χάρτη καταγραφής πλημμυρισμένων εκτάσεων, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του 5^{ου} κεφαλαίου (σελ. 65). Οι εικόνες που συλλέχθηκαν, λήφθηκαν από το δορυφόρο στις 05/12/2017, που χρονικά συμπίπτει με την εκδήλωση του φαινομένου και αντίστοιχα στις 02/08/2018 που αποτελεί την βάσης που η λήψης της έγινε πριν την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου.

Με βάση τα παραπάνω, έγινε η παραγωγή του θεματικού χάρτη (Εικόνα 6.1), ο οποίος απεικονίζει τις περιοχές που έχουν καλυφθεί από νερό κατά το πλημμυρικό φαινόμενο που ξεκίνησε στις 1/12/2017, στην περιοχή Vlore της Αλβανίας.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Πλημμυρισμένες Εκτάσεις

Λεκάνη Απορροής Αωού

N
W
E
S

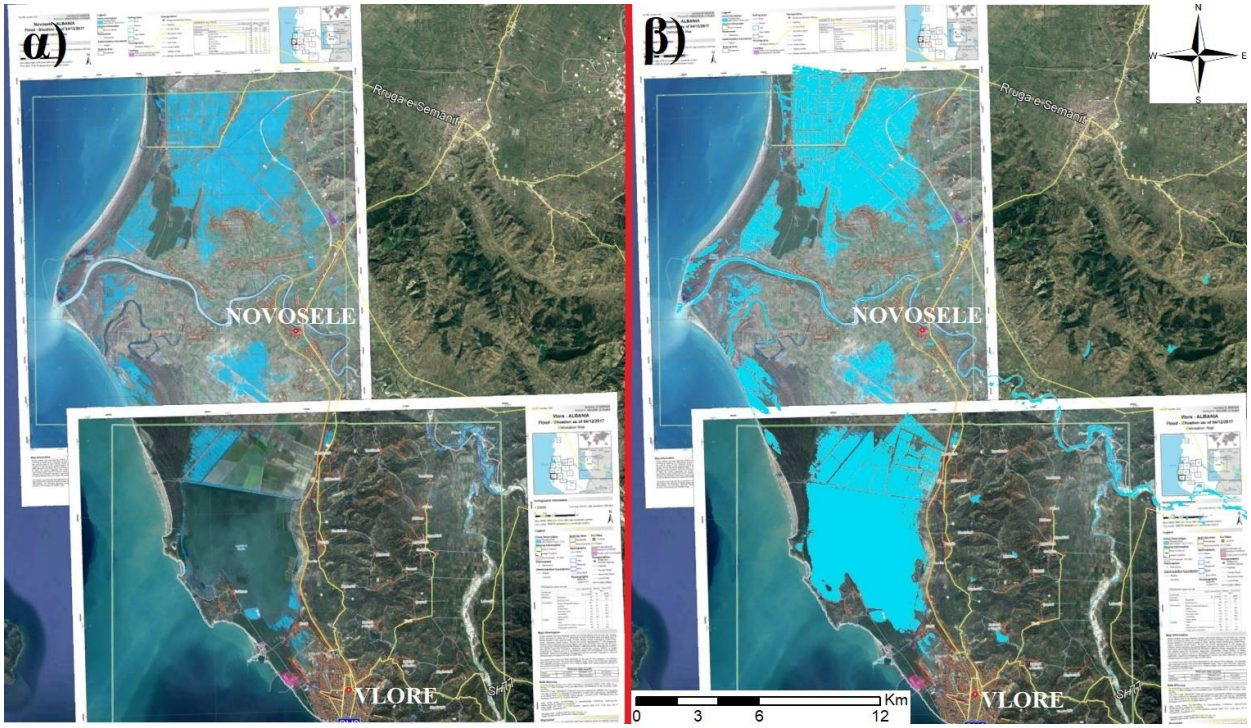
0 3 6 12 Km

Εικόνα 6.1: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Αωού, με βάση την εικόνα SAR, λήψης 5/12/2017. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.

Όπως παρατηρούμε στον χάρτης της εικόνας 6.1, οι περιοχές που επλήγησαν περισσότερο βρίσκονται βόρεια των εκβολών του ποταμού αλλά και στα όρια της λεκάνης απορροής του (βλέπε όρια). Η συνολική έκταση του πλημμυρικού φαινομένου ανέρχεται στα 46 τετραγωνικά χιλιόμετρα και έχει καλύψει κυρίως καλλιεργήσιμες εκτάσεις όπως παρατηρούμε στους χάρτες Κάλυψης Γης (πηγή: Corine Land Cover, εικόνες 4.2 και 4.3) το μεγαλύτερο ποσοστό των εκτάσεων που καλύφθηκαν από νερό είναι καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Κατά την δημιουργία του τελικού χάρτης ελήφθησαν υπόψιν τα τοπικά χαρακτηριστικά της Λιμνοθάλασσας «Νάρτες» και τον ποντισμένων καλλιεργειών της που εντοπίζονται νότια των εκβολών του ποταμού αλλά και εκτός της λεκάνης απορροής του. Η συνολική έκταση που είναι καλυμμένη από νερό αλλά δεν οφείλεται σε πλημμυρικό φαινόμενο ανέρχεται περίπου στα 42 τετραγωνικά χιλιόμετρα και αφαιρέθηκαν από την έκταση του πλημμυρικού φαινομένου (N. Pano, 2005).

Τέλος, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μελέτης μας με αυτά που παρήγαγε το αυτοματοποιημένο σύστημα EMS Rapid Mapping (https://emergency.copernicus.eu/mapping/) της υπηρεσίας του προγράμματος Copernicus της Ε.Ε, παρατηρούμε την προβολή του χάρτη του συστήματος EMS Rapid Mapping στο χαρτογραφικό υπόβαθρο του Google Maps.



Εικόνα 6.2: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Αώου, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.

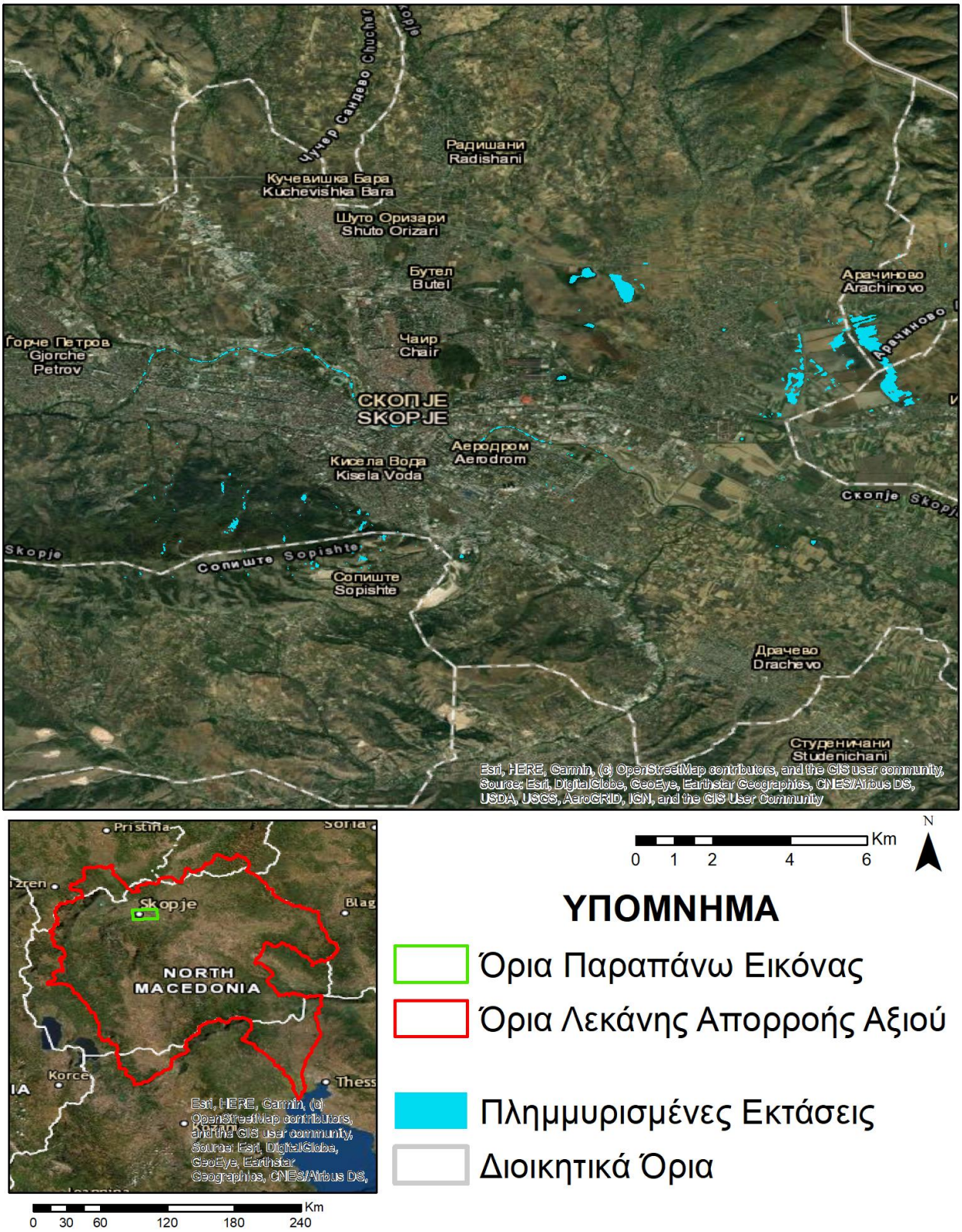
Όπως παρατηρούμε, υπάρχει ταύτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων. Το σύστημα EMS αποτύπωσε μια περιοχή καλυμμένη με νερό έκτασης 47 τετραγωνικών χιλιομέτρων σε σύγκριση με την αποτύπωση της παρούσας μελέτης, της τάξεως των 46 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

6.2 Χαρτογράφηση Πλημμυρικού Φαινομένου, Λεκάνη Απορροής Αξιού

Στις 06/08/2016 εντός της διασυνοριακής λεκάνης απορροής του ποταμού Αξιού, εκδηλώθηκε πλημμυρικό φαινόμενο στην περιοχή της πόλης των Σκοπίων. Σύμφωνα με το Μηχανισμό Πολιτικής Προστασίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η περιοχή των Σκοπιών στις 6 και 7 Αυγούστου του 2016, επλήγησε από ισχυρές βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα την υπερχείλιση του ποταμού Αξιού και την πλημμύρα ορισμένων περιοχών πλησίον της κοίτης του. Το ύψος των κατακρημνισμάτων που καταγράφηκαν, ανέρχεται στα 94 χιλιοστά, το καιρικό φαινόμενο, χαρακτηρίστηκε ως ξαφνική σφοδρή βροχόπτωση με ηλεκτρικές εκκενώσεις και δυνατούς ανέμους με αποτέλεσμα το πλημμυρικό φαινόμενο να χαρακτηριστεί ως «Flash Flood / Ξαφνική Πλημμύρα» (CEMS, https://emergency.copernicus.eu/mapping/).

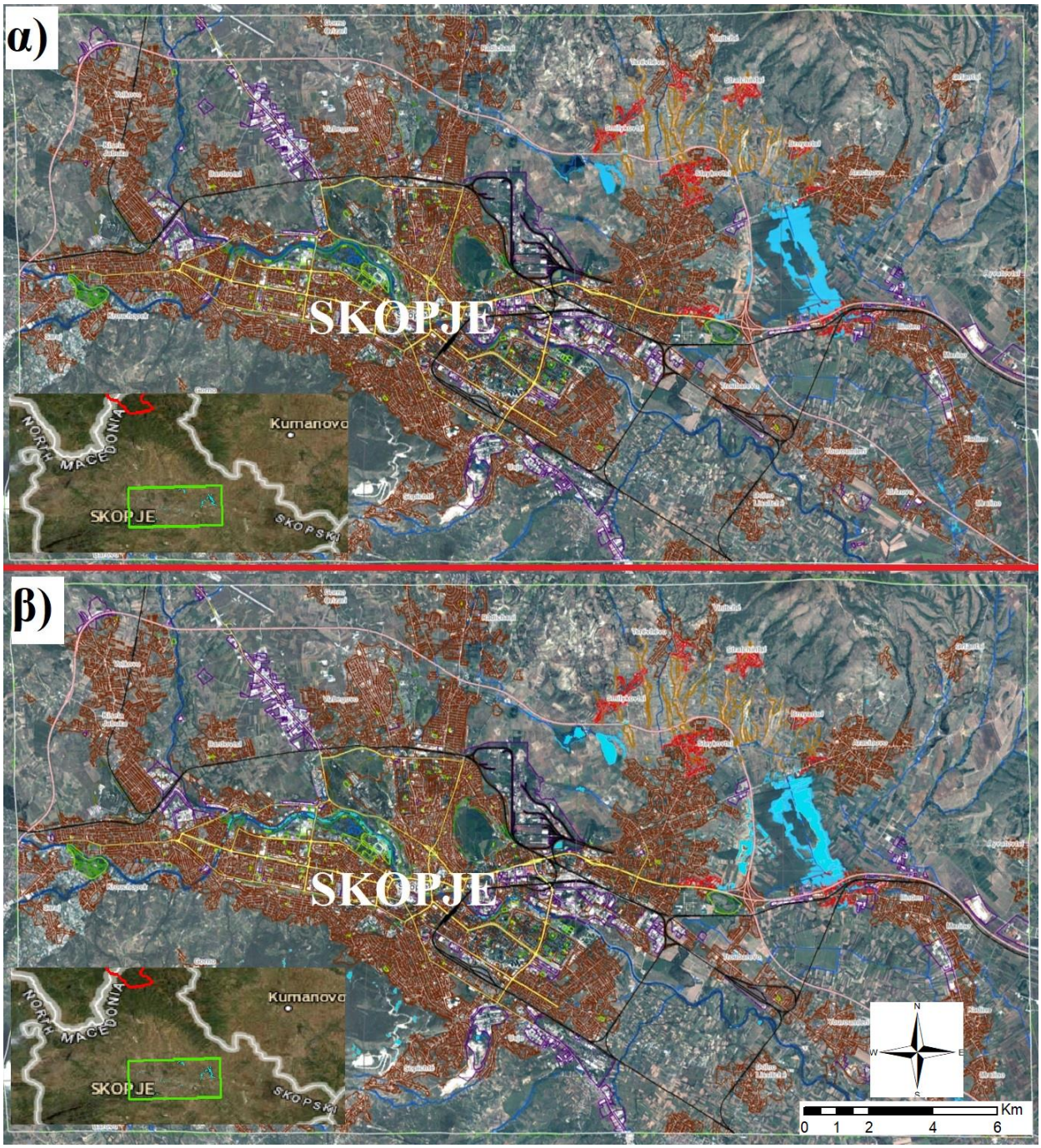
Για την παραγωγή των τελικών αποτελεσμάτων, ανακτήθηκαν και επεξεργάστηκαν SAR δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου Sentinel-1, οι οποίες λήφθηκαν στις 08/06/2016 για την εικόνα βάσης και αντίστοιχα στις 08/08/2016 για την εικόνα που συμπίπτει χρονικά με την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου.

Η παρακάτω εικόνα 6.3, αποτυπώνει την συνολική περιοχή που έχει καλυφθεί από νερό στην περιοχή των Σκοπίων. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, οι περιοχές που επλήγησαν περισσότερο βρίσκονται στα βορειοδυτικά της πόλης και αναφέρονται κυρίως σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις όπως αποτυπώνεται και στον «Χάρτη 4.5», όπου παρατηρούμε πως μόνο το κέντρο της πόλης είναι οικονομημένο, ενώ τα περίχωρα στα οποία εκδηλώθηκε το φαινόμενο, εμφανίζουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Η συνολική έκταση της πλημμύρας ανέρχεται στα 2.0 τετραγωνικά χιλιόμετρα από τα οποία μόνο τα 0.2 αναφέρονται σε δομημένο περιβάλλον που υπάρχει νότια των εκτάσεων που πλημμύρησαν και στην απέναντι πλευρά της κοίτης του ποταμού.



Εικόνα 6.3: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Αξιού, με βάση την εικόνα SAR, λήψης 08/08/2017. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.

Ταυτόχρονα με την σύνθεση του ανωτέρω χάρτη, έγινε η σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά του συστήματος EMS Rapid Mapping της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα αποτελέσματά μας εξήχθησαν σε μορφή KML και παρατέθηκαν επάνω σε αυτά του συστήματος EMS όπως φαίνεται στην κάτωθι εικόνα.



Εικόνα 6.4: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Αξιού, σε τοπική κλίμακα, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.

Όπως παρατηρούμε στη εικόνα 6.4, υπάρχει ταύτιση ως προς την τοποθεσία φαινομένου αλλά μικρή απόκλιση αναφορικά με την έκτασή του. Η βασική διαφορά είναι, πως το αυτοματοποιημένο σύστημα εμφανίζει μεγαλύτερη έκταση φαινομένου κατά 0.5 τετραγωνικά χιλιόμετρα καθώς το σύνολο που αναφέρει είναι 2.5 τ.χιλ σε σύγκριση με την παρούσα μελέτη που εμφανίζει 2.0 τ.χιλ. Η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στο γεγονός πως το σύστημα EMS χρησιμοποίησε δεδομένα από τον δορυφόρο Pleiades – 1A τα οποία έχουν μεγαλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα (1m) σε σύγκριση με τα δεδομένα του Sentinel -1 (10m).

6.3 Χαρτογράφηση Πλημμυρικού Φαινομένου, Λεκάνη Απορροής Στρυμόνα

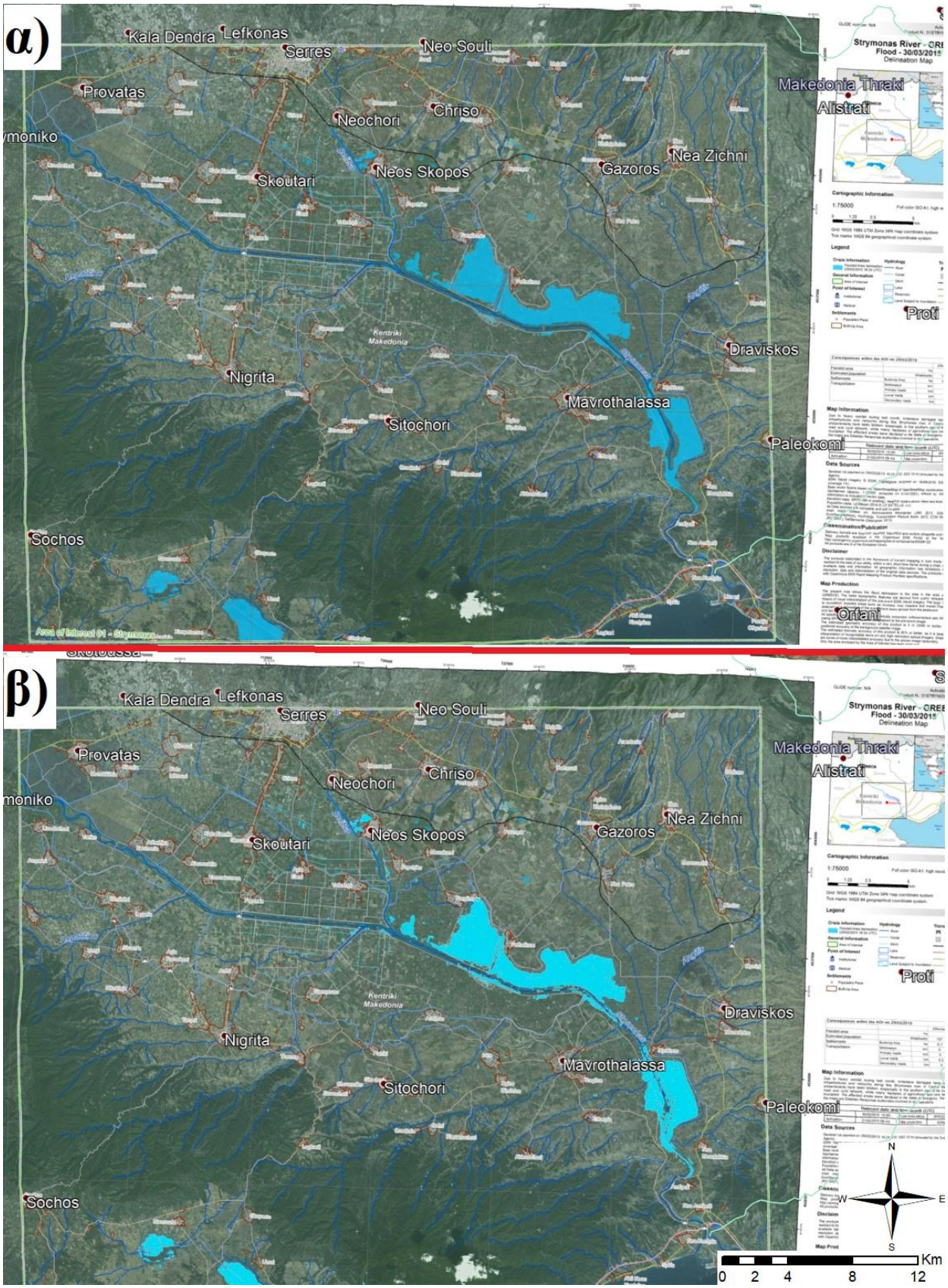
Η υπερχείλιση του ποταμού Στρυμόνα, που έπληξε εκτάσεις στα νοτιοανατολικά της πεδιάδας των Σερρών έλαβε χώρα στις 29/3/2015. Πιο αναλυτικά, λόγω σφοδρών βροχοπτώσεων κατά τον μήνα Μάρτιο του 2015, υπήρξαν εκτενείς ζημίες στις υλικοτεχνικές υποδομές της κοίτης του ποταμού όπως τα αναχώματα προστασίας από πλημμύρες, αρκετά από τα οποία βρέθηκαν κατεστραμμένα, ειδικά στο νότιο κομμάτι του ποταμού, όπου και εκδηλώθηκε το πλημμυρικό φαινόμενο (CEMS, https://emergency.copernicus.eu/mapping/). Απόρροια των παραπάνω ήταν η πλημμύρα περιοχών πλησίον της κοίτης στα νοτιοανατολικά της πεδιάδας των Σερρών.

Για την επεξεργασία και αποτύπωση του παραπάνω πλημμυρικού φαινομένου ανακτήθηκαν SAR δορυφορικές εικόνες που λήφθηκαν στις 29/3/2015 για την εικόνα που συμπίπτει με την ακριβή ημερομηνία εκδήλωσης του φαινομένου και στις 20/8/2015 για την εικόνα βάσης. Η προ-επεξεργασία και τελική επεξεργασία τους παρήγαγε αποτελέσματα που συντέθηκαν στον παρακάτω θεματικό χάρτη όπου απεικονίζονται οι περιοχές που έχουν καλυφθεί από νερό (Εικόνα 6.5).

Εικόνα 6.5: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Αξιού. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.

Όπως παρατηρούμε στην εικόνα 6.5, οι εκτάσεις που έχουν καλυφθεί από νερό είναι κυρίως καλλιέργειες έναντι των πλησιέστερων χωριών όπως ο Αχινός που βρίσκονται παραπάνω από 2 χιλιόμετρα μακριά από την κοίτη του ποταμού και τα σημεία που καλύφθηκαν από νερό. Το ίδιο συμπέρασμα μπορεί να εξαχθεί από τη σύγκριση των πλημμυρισμένων περιοχών με τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις που εμφανίζονται στην εικόνα 5.8. Τέλος, κατά την σύγκριση των αποτελεσμάτων της μελέτης με αυτά του αυτοματοποιημένου συστήματος EMS, παρατηρούμε απόλυτη ταύτιση αποτελεσμάτων των 2 μελετών. Τα αποτελέσματά μας είναι όμοια με αυτά του συστήματος EMS όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην κάτωθι εικόνα, όπου επάνω βλέπουμε τα αποτελέσματα του συστήματος και κάτω τα δικά μας με παράθεση επάνω στου συστήματος.

Τα αποτελέσματά μας, αναφέρουν πως οι πλημμυρισμένες εκτάσεις ανέρχονται σε 45 τετραγωνικά χιλιόμετρα το οποίο συμφωνεί με την συνολική έκταση 45.03 τ.χιλ που αναφέρει το σύστημα της υπηρεσίας EMS του προγράμματος Copernicus.



Εικόνα 6.6: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα, σε τοπική κλίμακα, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.

6.4 Χαρτογράφηση Πλημμυρικού Φαινομένου, Λεκάνη Απορροής Έβρου

Σύμφωνα με το Συντονιστικό Κέντρο Αντιμετώπισης Έκτακτων Αναγκών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, λόγω ισχυρών βροχοπτώσεων τις προηγούμενες του φαινομένου ημέρες, μετρήθηκαν 64.4 χιλιοστά κατακρημνισμάτων 5 μέρες πριν την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου στις 27/03/2018. Επιπρόσθετα, λόγω του λιωσίματος των πάγων στην περιοχή η ποσότητα νερού αυξήθηκε άρα και η στάθμη του ποταμού. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με τη μη ορθή διαχείριση της ροής του νερού στο φράγμα του Ιβαήλοβγκραντ στη Βουλγαρία, δημιούργησαν μια αλυσίδα γεγονότων που οδήγησαν στην πλημμύρα περιοχών πλησίον και εκατέρωθεν της κοίτης του ποταμού Έβρου. Επλήγησαν περιοχές από τα Βόρεια σύνορα με την Βουλγαρία και Τουρκία, κοντά στην περιοχή της Ορεστιάδας, μέχρι τις εκβολές του ποταμού στα Νότια, κοντά στη περιοχή των Φερών στον Έβρο. Το φαινόμενο έπληξε κυρίως καλλιεργήσιμες εκτάσεις, οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο καθώς έλαβε χώρα εκατέρωθέν της κοίτης του ποταμού που βρίσκεται στα Ελληνοτουρκικά σύνορα χωρίς να επηρεάσει κατοικημένες περιοχές.

Λόγω της τεράστιας έκτασης της περιοχής εκδήλωσης του φαινομένου, θα χρησιμοποιηθούν 2 εικόνες για κάθε περίοδο η οποίες θα χωρίζουν στη μέση την περιοχή ενδιαφέροντος όπως αυτή παρουσιάζεται στην εικόνα 6.7. Δυο δορυφορικές εικόνες SAR που λήφθηκαν από τον δορυφόρο Sentinel-1 στις 27/03/2018 που χρονικά συμπίπτει με το πλημμυρικό φαινόμενο, καθώς και δυο στις 05/08/2018 κατά τους θερινούς μήνες.

Επιπλέον, η παρακάτω εικόνα 6.7, αναφέρεται σε επισκόπηση της περιοχής ενδιαφέροντος (Area of Interest), δηλαδή στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, πλησίον των Ελληνοτουρκικών συνόρων. Για την καλύτερη απεικόνισή του, η αποτύπωση του πλημμυρικού φαινομένου θα χωριστεί σε 3 τομείς, στον Βόρειο, Κεντρικό και Νότιο τομέα όπως εμφανίζονται και στους θεματικούς χάρτες της υπηρεσίας EMS του προγράμματος Copernicus.

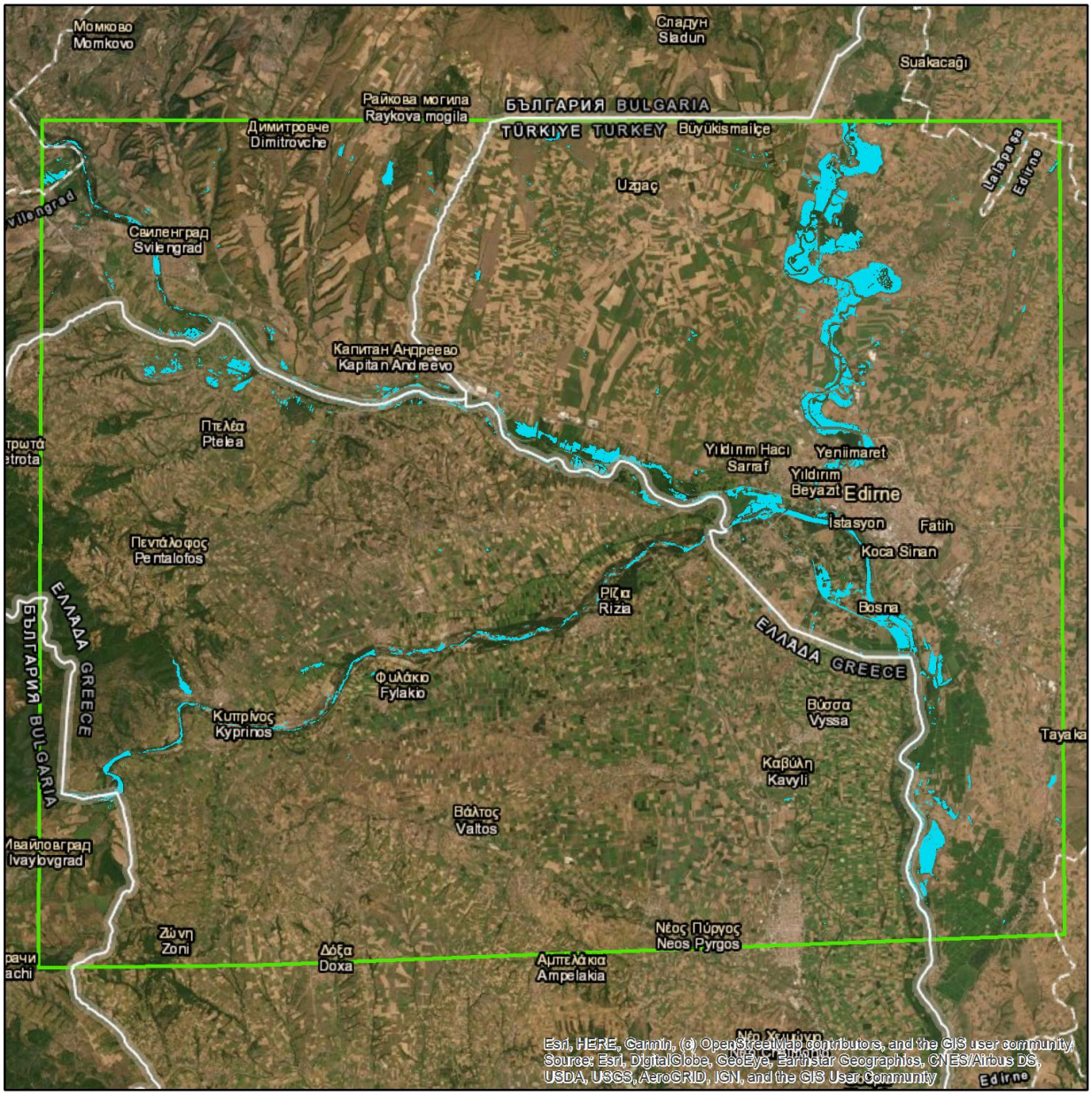
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Λεκάνη Απορροής Ποταμού Έβρου
- Περιοχή Εμφάνισης Πλημμυρικού Φαινομένου
- Διοικητικά Όρια

N
W E
S

0 20 40 80 120 Km

Εικόνα 6.7: Επισκόπηση περιοχής ενδιαφέροντος πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη απορροής του ποταμού Έβρου.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

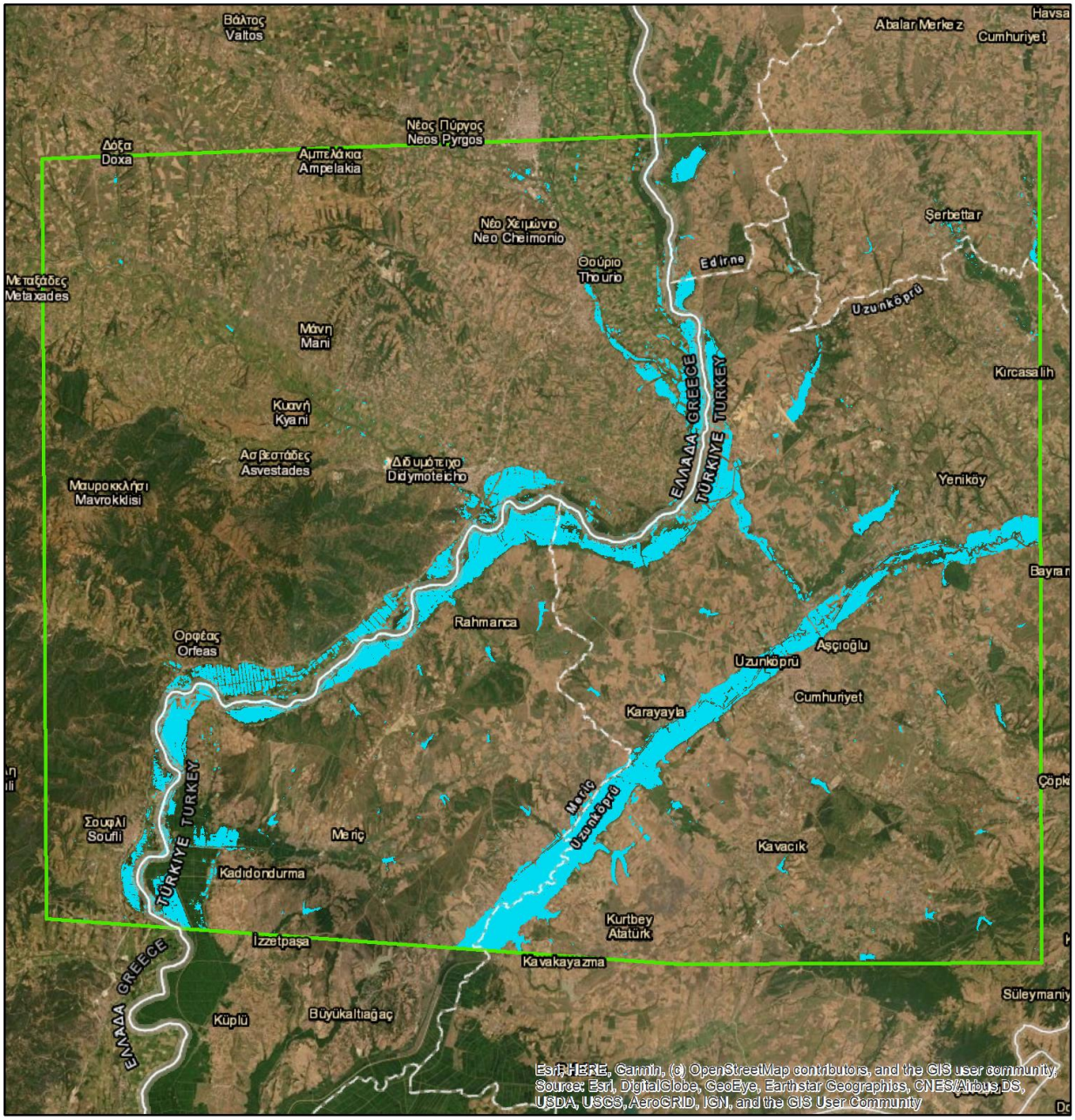
Area of Interest, Βόρειος Τομέας

Πλημμυρισμένες Εκτάσεις

N
W E
S

0 2 4 8 12 Km

Εικόνα 6.8: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Βόρειος Τομέας. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

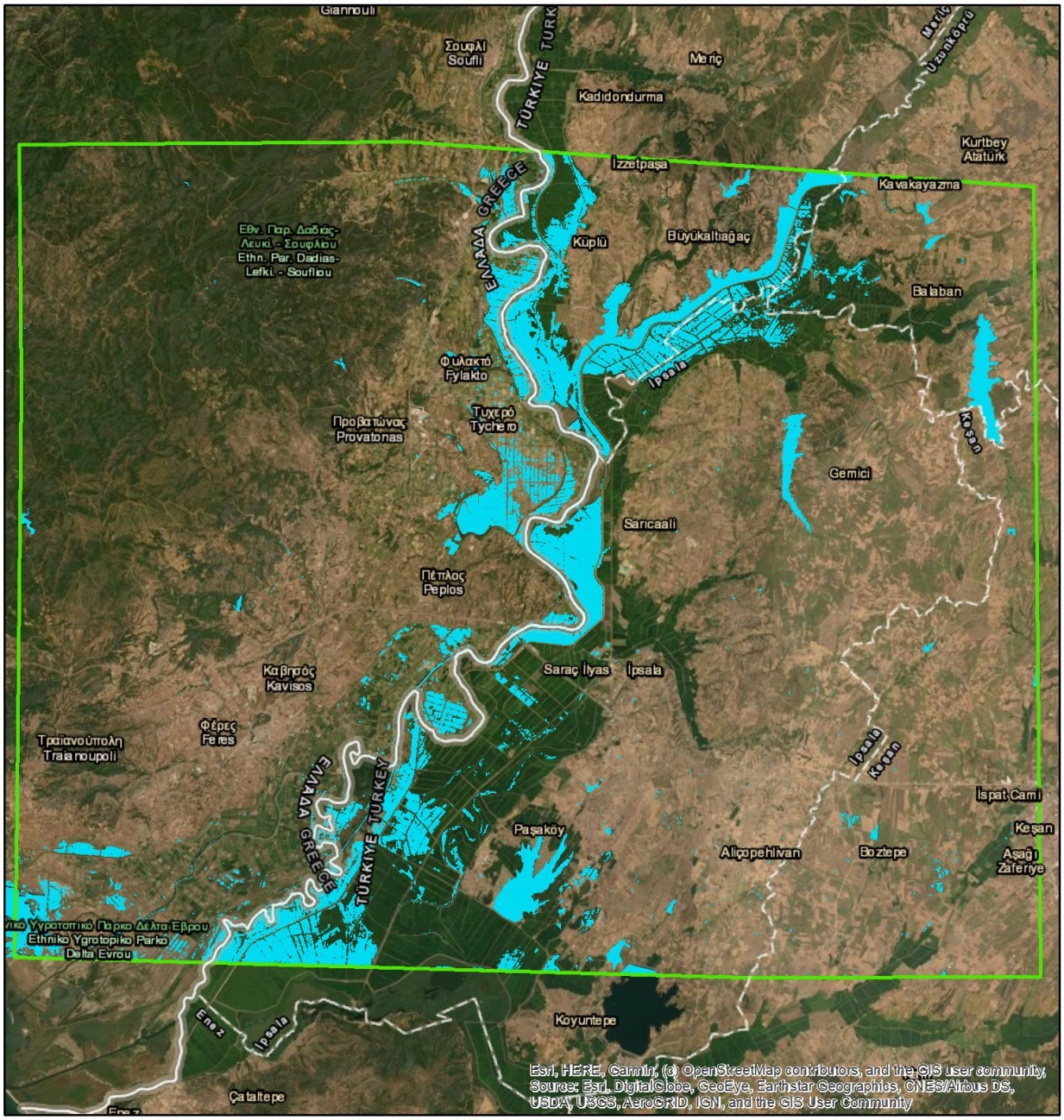
Area of Interest, Κεντρικός Τομέας

Πλημμυρισμένες Εκτάσεις

N
W E
S

0 2 4 8 12 16 Km

Εικόνα 6.9: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Κεντρικός Τομέας. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Area of Interest, Νότιος Τομέας

Πλημμυρισμένες Εκτάσεις

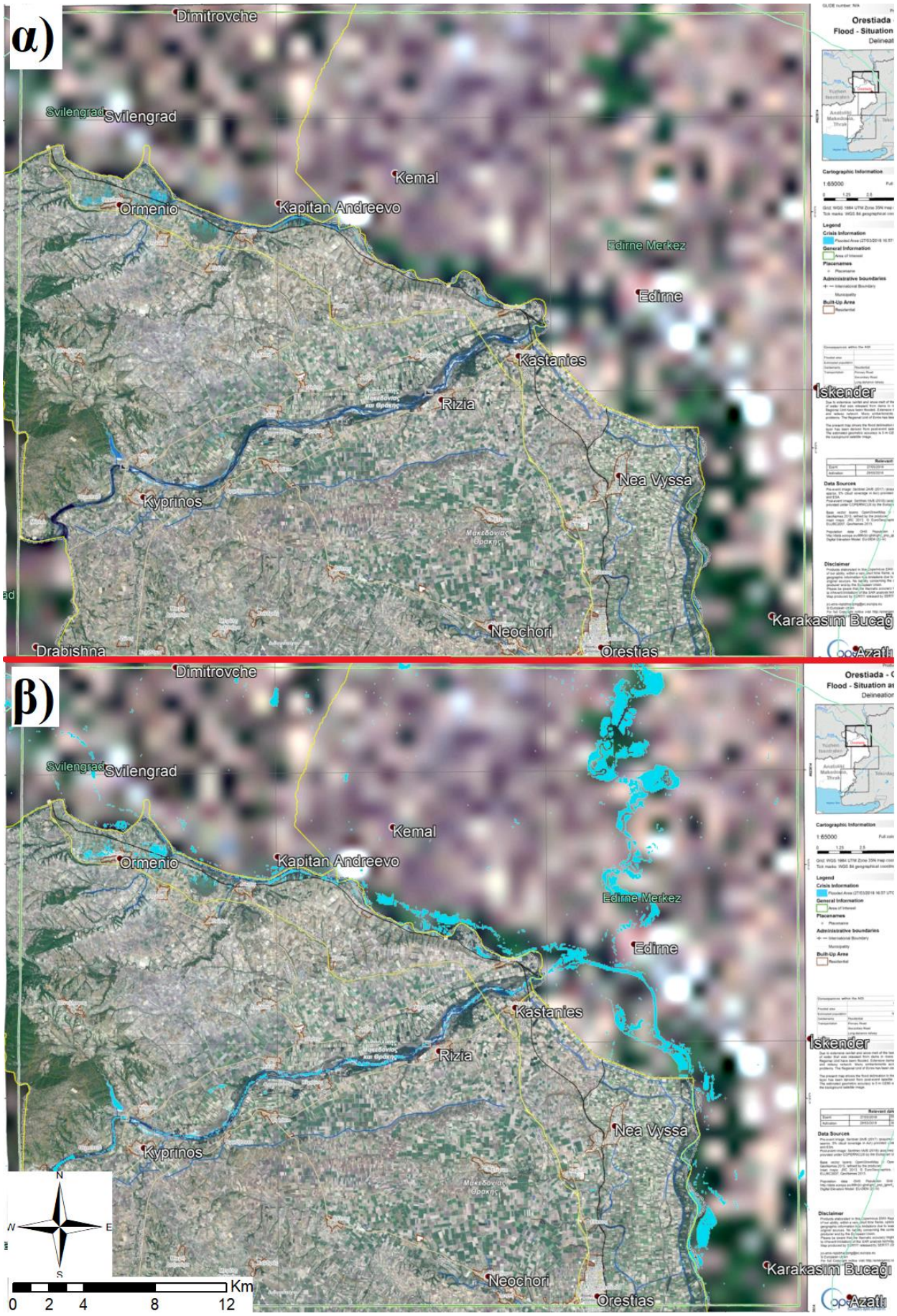
N
W E
S

0 2 4 8 12 16 Km

Εικόνα 6.10: Θεματικός χάρτης καταγραφής πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Νότιος Τομέας. Το υπόβαθρο είναι οπτική δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης σε περιβάλλον Google Earth.

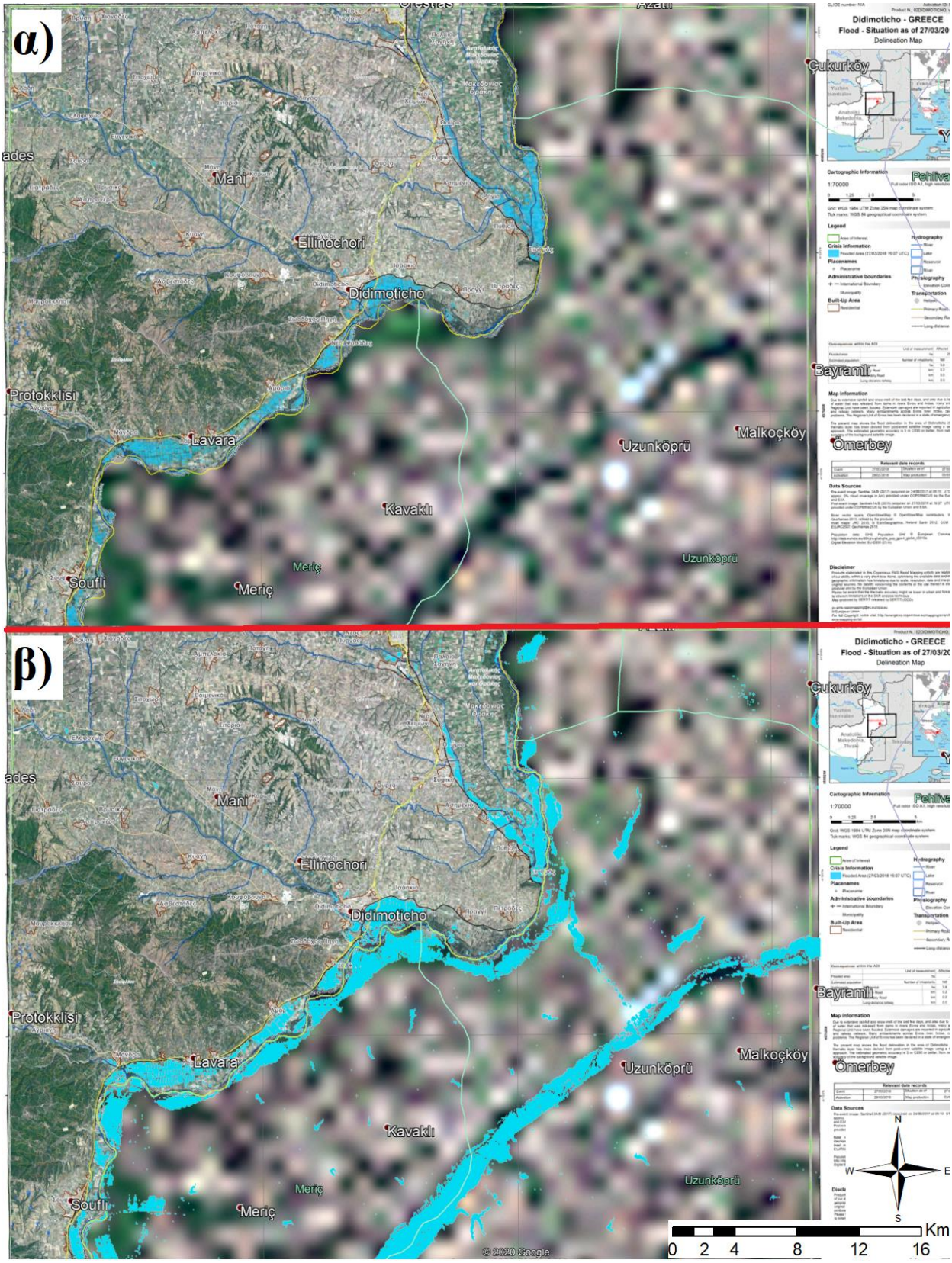
Στους παραπάνω χάρτες παρατηρούμε τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης του πλημμυρικού φαινομένου εντός της λεκάνης του ποταμού Έβρου στις 27/3/2018. Η συνολική έκταση που καταγράφηκε να έχει καλυφθεί από νερό ανέρχεται στα 318 Km^2, αναφέρεται κυρίως σε αγροτικές και καλλιεργήσιμες εκτάσεις καθώς και σε οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο που βρίσκεται κατά μήκος της συνοριογραμμής Ελλάδας - Τουρκίας. Το οικιστικό περιβάλλον των γύρω ελληνικών οικισμών δεν επηρεάστηκε μιας και οι καλυμμένες από νερό εκτάσεις εμφανίζονται πλησίον τους αλλά όχι μέσα σε αυτούς. Αντίθετα, επηρεάστηκαν ορισμένοι αγροτικοί οικισμοί της Τουρκίας όπως ο οικισμός Edirne στα βόρεια ελληνοτουρκικά σύνορα αλλά και μερικοί αγροτικοί οικισμοί όπως φαίνονται στην εικόνα 6.8.

Όμως, καθώς η Τουρκία δεν αποτελεί μέλος κράτος της Ευρωπαϊκής Ένωσης και δεν δημοσιοποιεί συχνά μελέτες της, δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων μας όπως χάρτες του συστήματος EMS για όλη την περιοχή ενδιαφέροντος, πάρα μόνο για τις καλυμμένες από νερό περιοχές της Ελλάδας. Οι χάρτες του EMS όχι μόνο δεν εμπεριέχουν στοιχεία για την τουρκική πλευρά αλλά είναι και αλλοιωμένοι.

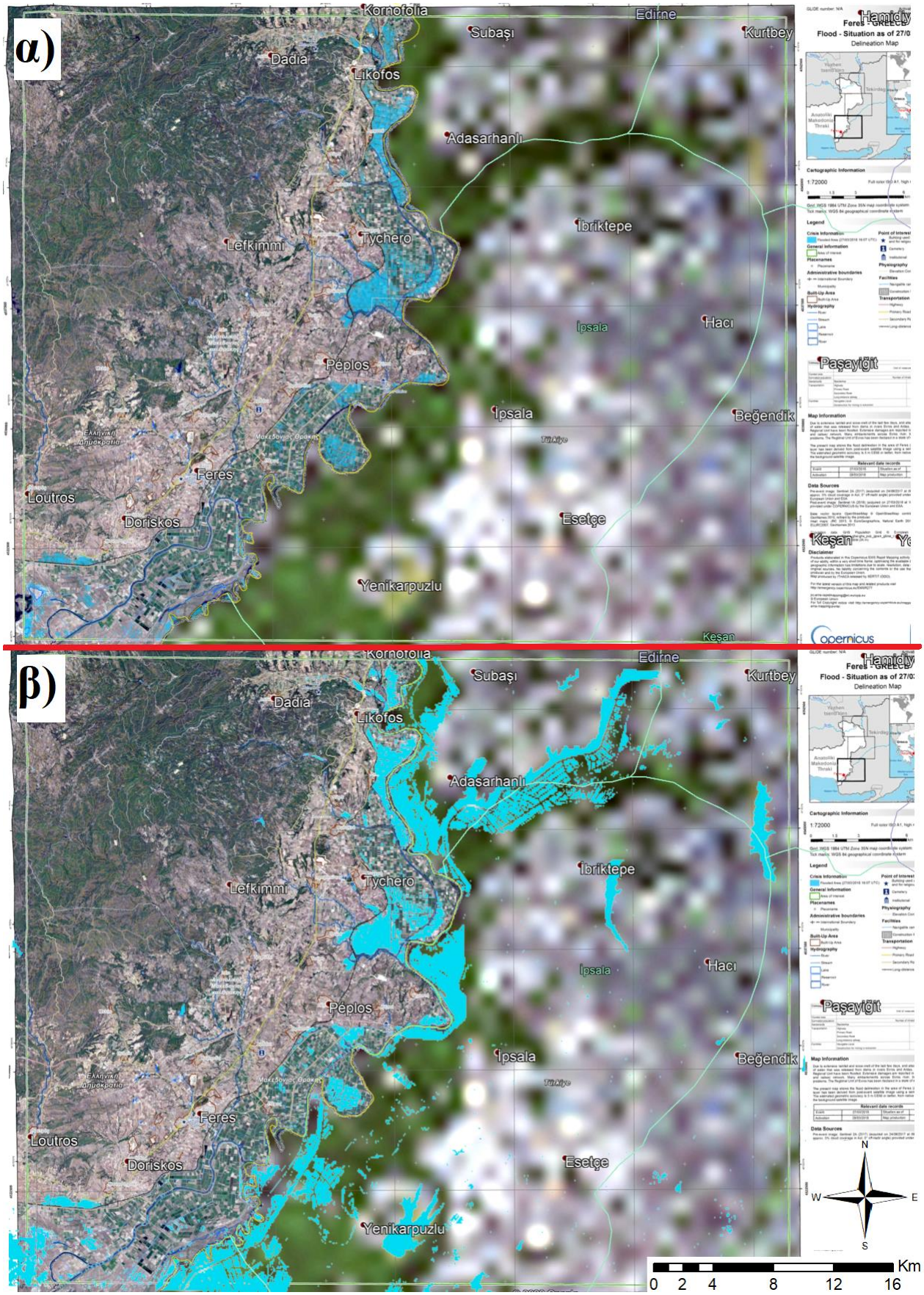


Εικόνα 6.11: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του

ποταμού Έβρου, Βόρειος Ελληνικός Τομέας, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.



Εικόνα 6.12: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Κεντρικός Ελληνικός Τομέας, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.



Εικόνα 6.13: Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρτογράφησης πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του ποταμού Έβρου, Νότιος Ελληνικός Τομέας, α) Χάρτης EMS Rapid Mapping Copernicus και β) Χάρτης που παρήχθη στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας.

Παρατηρούμε υψηλή ακρίβεια αναφορικά με την θέση των υδάτινων μαζών από την παραπάνω υπέρθεση των επιπέδων της παρούσας μελέτης, με τα αποτελέσματα του EMS.

Κεφάλαιο 7ο: Συζήτηση – Συμπεράσματα

7.1 Συζήτηση

Οι δυο βασικοί στόχοι της παρούσας πτυχιακής μελέτης ήταν ο προσδιορισμός διασυνοριακών λεκανών στα Νότια Βαλκάνια και αφετέρου η χαρτογράφηση πλημμυρικών φαινομένων στις λεκάνες που προσδιορίστηκαν με τη χρήση δεδομένων παρατήρησης της Γης του προγράμματος Copernicus.

Οι διασυνοριακές λεκάνες που προσδιορίστηκαν είναι αυτές του Αώου, Αξιού, Στρυμόνα και Έβρου. Έπειτα, με τη ανάκτηση και χρήση δωρεάν διαστημικών δεδομένων παρατήρησης της Γης από τον δορυφόρο Sentinel-1 τύπου ραντάρ, του προγράμματος Copernicus, έγινε η χαρτογράφηση των πλημμυρικών φαινομένων που εκδηλώθηκαν εντός αυτών. Η μελέτη περιλαμβάνει μόνο εικόνες SAR μιας και οι οπτικές χαρακτηρίστηκαν από υψηλά ποσοστά νεφοκάλυψης και δεν χρησιμοποιήθηκαν.

Τα τελικά αποτελέσματα αναφέρονται σε θεματικούς χάρτες που αποτυπώνουν την έκταση των πλημμυρικών φαινομένων. Οι εκτάσεις αυτές, συγκρίνονται με τις εκτάσεις που αποτυπώνονται στους θεματικούς χάρτες του αυτοματοποιημένου συστήματος EMS, μια υπηρεσίας του προγράμματος Copernicus.

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, υπάρχει ταύτιση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με αυτά του EMS και αναφορικά με την πλημμυρισμένη έκταση αλλά και με την τοποθεσία των υδάτινων μαζών. παρ' όλ' αυτά, σε δυο περιπτώσεις παρατηρούνται φαινόμενα μερικής αναντιστοιχίας. Πιο αναλυτικά, στην περίπτωση του πλημμυρικού φαινομένου στην λεκάνη του ποταμού Αξιού πλησίον της πόλης των Σκοπίων, το σύστημα EMS αναφέρει πως οι πλημμυρισμένες εκτάσεις καλύπτουν μια περιοχή της τάξεως των 2.5km^2 ενώ η παρούσα εργασία αναφέρει έκταση 2km^2. Η αναντιστοιχία αυτή οφείλεται στο γεγονός πως για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δωρεάν δεδομένα εικόνων SAR από το δορυφόρο Sentinel-1 με χωρική διακριτική ικανότητά 10m ενώ το σύστημα EMS χρησιμοποίησε επί πληρωμή οπτικές εικόνες του δορυφόρου Pleiades-1A με χωρική διακριτική ικανότητα 2.8m. Η εικόνα λήφθηκε 1 μέρα μετά την αντίστοιχη οπτική του Sentinel-2 με αποτέλεσμα οι νέφωση να έχει υποχωρήσει.

Επιπρόσθετα, στην περίπτωση της πλημμύρας εντός της διασυνοριακής λεκάνης του ποταμού Έβρου, παρατηρούμε, πως το σύστημα EMS έχει χαρτογραφήσει μόνο τις υδάτινες μάζες που εμφανίζονται σε ελληνικό έδαφος. Ταυτόχρονα, η πλευρά της Τουρκίας δεν φέρει καμία πληροφορία καθώς σε αυτό το σημείο υπάρχει αλλοίωση των στοιχείων του χάρτη. Σε κάθε περίπτωση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συμπίπτουν με αυτά του EMS αναφορικά με την έκταση και την τοποθεσία των υδάτινων μαζών στην ελληνική πλευρά αλλά ταυτόχρονα παρέχουν πολύτιμη πληροφορία για τις πλημμυρισμένες εκτάσεις της τουρκικής πλευράς. Αποτέλεσμα αυτού είναι η πληρέστερη αποτύπωση του φαινομένου ανεξαρτήτως των διοικητικών και κρατικών συνόρων που είναι και ο απώτερος σκοπός μιας ολιστικής διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου και των πλημμυρικών φαινομένων σε περιπτώσεις διασυνοριακών λεκανών, όπου εμπλέκονται παραπάνω από 1 χώρες.

Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι ακριβή, περιγράφουν και αποτυπώνουν ικανοποιητικά τα πλημμυρικά φαινόμενα και επαληθεύονται από τα αποτελέσματα του συστήματος EMS του προγράμματος Copernicus.

Μελλοντικά, η μελέτη δύναται να συνδυαστεί με δεδομένα από γεωστατικούς δορυφόρους με τα οποία μπορούμε να συνδυάσουμε τα πλημμυρικά φαινόμενα με την συμπεριφορά των καιρικών μετώπων, με δεδομένα αναφορικά με την επιδεκτικότητα της περιοχής σε πλημμύρες αλλά και με διαχρονικές παρατηρήσεις. Όλα τα παραπάνω μπορούν να συνδυαστούν για την εύρεση του πλημμυρικού κινδύνου (flood risk) της κάθε περιοχής ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία ενός ολιστικού σχεδίου παρατήρησης και διαχείρισης πλημμυρικών φαινομένων εντός διασυνοριακών λεκανών.

7.2 Συμπεράσματα

1. Πλημμυρισμένες εκτάσεις εντός διασυνοριακών λεκανών που ευρέθηκαν από την επεξεργασία των SAR εικόνων του δορυφόρου Sentinel-1 του προγράμματος Copernicus
    a. Αώου - 01/12/2017: 46 Km^2
    b. Αξιού – 06/08/2016: 2 Km^2
    c. Στρυμόνα – 30/03/2015: 45 Km^2
    d. Έβρου – 27/03/2018: 318Km^2
2. Οι δορυφορικές εικόνες SAR του Sentinel-1 κρίθηκαν η πλέον κατάλληλες για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης καθώς οι οπτικές εικόνες του Sentinel-2

χαρακτηρίστηκαν με υψηλά ποσοστά νεφοκάλυψης και δεν μπόρεσαν να χρησιμοποιηθούν.

3. Ταύτιση αποτελεσμάτων με αυτά του αυτοματοποιημένου συστήματος EMS, μιας υπηρεσίας του προγράμματος Copernicus.
4. Η σημαντική συμβολή των ελεύθερων διαστημικών δεδομένων παρατήρησης της Γης του προγράμματος Copernicus του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος στην εκπόνηση ερευνητικών μελετών όπως και η παρούσα.
5. Η συνεισφορά των δεδομένων αυτών που μας δίνουν τη δυνατότητα να παρακολουθούμε και να αποτυπώνουμε φαινόμενα ανεξαρτήτως διοικητικών ορίων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αντρά Η., 2010. Η κρίση των υδατικών πόρων στον Αραβικό Κόσμο, ΕΜΠ, Αθήνα 2010

Ειδική Γραμματεία Υδάτων, *Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας Λεκάνης Απορροής π. Έβρου*, Αθήνα, Αύγουστος 2013.

Καλλιώρας Α., Πλιάκας, Φ. 2006. Διεθνείς θεωρήσεις και δραστηριότητες για τη διαχείριση διασυνοριακών υπόγειων υδατικών συστημάτων, *Περιβάλλον & Δίκαιο*, σελ. 41-51.

Καλλιώρας, Α., Φ. Πλιάκας, Χ. Πεταλάς και Ι. Διαμαντής 2004. Η εναρμόνιση του Εθνικού Δικαίου με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, *Περιβάλλον & Δίκαιο*, σελ. 480–488.

Μερτίκας, Σ.Π., 1999. *Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας, Εκδόσεις ΙΩΝ*, Αθήνα.

Νόμος 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000». (ΦΕΚ Α΄ 280/9.12.2003).

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, *Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων*, 21.12.2000.

Παρχαρίδης Ι., 2015. *Αρχές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*.

Τ.Π.Π.Ν.Δ.Ε., *Ιστορικό των πλημμυρών του Φεβρουαρίου 2010 στο Νομό Έβρου*. Καταγραφή από το Τμήμα Πολιτικής Προστασίας του Νομαρχιακού Διαμερίσματος Έβρου, Αλεξανδρούπολη, 2010.

Υ.Π.Ε.Κ.Α., *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκάνης Απορροής Έβρου, Στάδιο Ι: Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας*, Αθήνα, Ιούλιος 2013.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., *Παρουσίαση και αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης αντιπλημμυρικής προστασίας σε περιοχές της λεκάνης απορροής του ποταμού Έβρου*, Αθήνα, Αύγουστος 2007.

ΥΠΑΝ, ΕΜΠ, ΙΓΜΕ, και ΚΕΠΕ. *Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας*, Συμπλήρωση της ταξινόμησης ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων στα υδατικά διαμερίσματα της χώρας, Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 549 σελίδες, Υπουργείο Ανάπτυξης Αθήνα, Ιανουάριος 2003.

Angelino, C., Cicala, L., Fiscante, N. and Focareta, M., 2016. Estimated post-flood effects through free, full and open satellite remote sensing data to support civil protection. In: *36th IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Beijing, https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730098.

Anusha, N., B., 2019. Flood detection and flood mapping using multi-temporal synthetic aperture radar and optical data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2019.01.001.

Arsov, R., 2004. Bulgarian Transboundary rivers, *Development of an Inventory of Internationally Shared Surface Waters in South-Eastern Europe*.

Bakker, M., 2009. Transboundary River Floods and Institutional Capacity. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 45(3), pp. 553-566.

Berger, M., Moreno, J., Johannessen, J., Pieternel, F., Hanssen, R., 2012. ESA's sentinel missions in support of Earth system science, *Remote Sensing of Environment*, 120, pp. 84-90.

Briscoe, J. 1997. Managing water as an economic good: Rules for reformers, *Water Supply*, no.15, pp. 153-172.

Copernicus.eu. 2020. *Homepage | Copernicus*. [online] Available at: <https://www.copernicus.eu/en>.

Copernicus.eu. *SciHub* 2020. [online] Available at: <http://emergency.copernicus.eu/>.

De Stefano, L., De Silva, L., Edwards, P., Wolf, A., 2009. Updating the International Water Events Database, *Program for Water Conflict Management and Transformation*, for UNESCO PCCP.

De Stefano, L., De Silva, L., Edwards, P., Wolf, A., 2010. Tracking Cooperation and Conflict in International Basins: Historic and Recent Trends, *Water Policy*, vol.12 no.6, pp. 871-884.

Denis, G., Boissezon, H., Hosford, S., Pasco, X., Montfort, B., Ranera, F., 2016. The evolution of Earth Observation satellites in Europe and its impact on the performance of emergency response services, *Acta Astronautica*, 127, pp. 619-633.

Ec.europa.eu. 2020. *European Commission*. [online] Available at: <http://ec.europa.eu/>.

Eckstein G., 1998. Hydrologic Reality: International Water Law and Transboundary Ground-Water Resources, *Water: Dispute Prevention and Development*, American University Center for the Global South.

Emergency.copernicus.eu. 2020. *Copernicus Emergency Management Service*. [online] Available at: <https://emergency.copernicus.eu/>

Esa.int. 2020. *European Space Agency*. [online] Available at: <https://www.esa.int/>.

European Environment Agency. 2020. *European Environment Agency's Home Page*. [online] Available at: <http://www.eea.europa.eu/>.

Giordano, M., Wolf, A. 2002. The world's International Freshwater Agreements: Historical Development and Future Opportunities, *Atlas of International Freshwater Agreements*, UNEP.

Gleick, P. 1993. Water and conflict: fresh water resources and international security, *International Security*. Vol.18, no.1, pp. 79-112.

Gleick, P., 2008. Water Conflict Chronology, Data from the Pacific Institute for Studies in Development, *Environment and Security database on Water and Conflict*.

Homer – Dixon, T., 1994. Environmental Scarcities and Violent Conflict: Evidence from Cases, *International Security*, vol. 19, no. 1, pp. 5-40.

Kliot, N., Shmueli, D., Shamir, U., 2001. Institutions for management of transboundary water resources: their nature, characteristics and shortcomings, *Water Policy*, no.3, pp. 229-255.

Lacroix, P., Bièvre, G., Pathier, E., Kniess, U., Jongmans, D., 2018. Use of Sentinel-2 images for the detection of precursory motions before landslide failures, *Remote Sensing of Environment*, 215, pp. 507-516.

Lawal, D.U., Matori, A., Hashim, A.M., Chandio, I.A., Sabri, S., Balogun, A.-. & Abba, H.A., 2011. "Geographic information system and remote sensing applications in flood hazards management: A review", *Research Journal of Applied Sciences*, Engineering and Technology, vol. 3, no. 9, pp. 933-947.

Legal.un.org. 2020. *International Law Commission*. [online] Available at: https://legal.un.org/ilc/.

Nguyen, X., Kopec, J. and Netzband, M., 2016. Remote Sensing and Spatial Analysis for Flood Monitoring and Management in Ho Chi Minh City. *Sustainable Ho Chi Minh City: Climate Policies for Emerging Mega Cities*, pp.151-173.

Perrou, T., Garioud, A. and Parcharidis, I., 2018. Use of Sentinel-1 imagery for flood management in a reservoir-regulated river basin. *Frontiers of Earth Science*, 12(3), pp. 506-520.

Potin, P., Rosich, B., Miranda, N., Grimont, P., 2016. Sentinel-1 Mission Status, *Conference on ENTERprise Information Systems / International Conference on Project*

MANagement / Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies, CENTERIS / ProjMAN, pp. 1927-1304.

Pulvirenti, L., Pierdicca, N., Chini, M., Guerriero, L., 2013. Monitoring Flood Evolution in Vegetated Areas Using COSMO-SkyMed Data: The Tuscany 2009 Case Study. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(4), pp. 1807-1816.

Savenije, H., van der Zaag, P., 2000. Conceptual framework for the management of shared river basins with special reference to the SADC and EU, *Water Policy*, no. 2, pp. 9-45.

Sunar, A.F., Yagmur, N. & Dervisoglu, A. 2019. "Flood analysis with remote sensing data – A case study: Maritsa River, Edirne", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, pp. 497.

Tay, C., Yun, S., Chin, S., Bhardwaj, A., Jung, J., Hill, E., 2020. Rapid flood and damage mapping using synthetic aperture radar in response to Typhoon Hagibis, Japan. *Scientific Data*, 7(1), https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11968443.

Uddin, Matin and Meyer, 2019. Operational Flood Mapping Using Multi-Temporal Sentinel-1 SAR Images: A Case Study from Bangladesh. *Remote Sensing*, 11(13), pp. 1581.

UNEP 2001, Atlas of Population and Environment.

UNEP 2002, Atlas of International Freshwater Agreements.

UN-Water 2008. Transboundary waters: Sharing Benefits, Sharing Responsibilities, Thematic Paper, *Un-Water Task Force on Transboundary Waters.*

Wang, Q., Atkinson, P., 2018. Spatio-temporal fusion for daily Sentinel-2 images, *Remote Sensing of Environment*, 204, pp. 31-42.

Wolf, A. 1998. Conflict and cooperation along international waterways, *Water Policy*, no.2, pp. 251-265

Wolf, A., Yoffe, S., Giordano, M. (2003). International waters: identifying basins at risk, *Water Policy*, no.5, pp. 29-60.

Wolf, A.T., Natharius, J.A., Danielson, Jeffrey, J., Ward, Brian, S. and P., Jan, K., 1999. International River Basins of the World, *Water Resources Development*, no. 15, pp. 387-427.

World Water Commission 2000. A water secure world – vision for water, life and the environment, *Thanet Press*, London.