

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ΒΟΛΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Εργασία Εξαμήνου
**Ανίχνευση επιπτώσεων
πλημμυρών και αξιολόγηση
βλάστησης με τη χρήση
δεδομένων Sentinel-1 και
Sentinel-2 στον Βόλο**

ΓΚΟΥΓΚΟΥΛΗΣ ΠΑΥΛΟΣ 02428

ΧΕΙΜΕΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2024



Περιεχόμενα

1 Περίληψη	3
2 Εισαγωγή	3
2.1 Υπόβαθρο	3
2.2 Σκοπός	4
3 Περιοχή Μελέτης	4
4 Δεδομένα και Μέθοδοι	4
4.1 Πηγές Δεδομένων	4
4.1.1 Δεδομένα Sentinel-2	5
4.1.2 Δεδομένα Sentinel-1	5
4.2 Προεπεξεργασία	6
4.2.1 Μάσκα Σύννεφων	6
4.2.2 Σύνθεση Μέσης Τιμής	7
4.3 Τυπολογισμένοι Δείκτες	7
4.3.1 Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υδάτων (NDWI):	7
4.3.2 Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υδάτων (MNDWI):	8
4.3.3 Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI):	8
4.3.4 Δείκτης Κατάστασης Βλάστησης (VCI):	9
4.4 Ανίχνευση Αλλαγών	10
5 Αποτελέσματα και Οπτικοποίηση	10
5.1 Εικόνες RGB (Πριν και Μετά)	10
5.2 Ανίχνευση Υδάτινων Σωμάτων	13
5.3 Ανίχνευση Πλημμυρών με SAR	17
5.4 Αλλαγές στη Βλάστηση	19
5.5 Χάρτες Αλλαγών	23
6 Συζήτηση	27
6.1 Ανάλυση Έκτασης Πλημμυρών	27
6.2 Επίδραση στη Βλάστηση	27
6.3 Σύγκριση Δεδομένων	28
6.4 Περιορισμοί	28
7 Project Code Repository	28



1 Περίληψη

Αυτή η αναφορά αποσκοπεί στην αξιολόγηση της επίδρασης της πρόσφατης καταιγίδας Daniel στην περιοχή του Βόλου μέσω της ανίχνευσης των περιοχών που επλήγησαν από τις πλημμύρες και της ανάλυσης των αλλαγών στη βλάστηση πριν και μετά την καταιγίδα. Χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες από τους Sentinel-1 και Sentinel-2, υπολογίστηκαν βασικοί περιβαλλοντικοί δείκτες όπως ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Νερού (NDWI), ο Τροποποιημένος NDWI (MNDWI), ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI) και ο Δείκτης Κατάστασης Βλάστησης (VCI). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανίχνευση πλημμυρών χρησιμοποιώντας δεδομένα ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) από τον Sentinel-1. Η ανάλυση αποκάλυψε σημαντικές αλλαγές στα υδάτινα σώματα και την υγεία της βλάστησης, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για την έκταση και την συνολική επιρροή της πλημμύρας.

2 Εισαγωγή

2.1 Υπόβαθρο

Η δορυφορική απεικόνιση έχει φέρει επανάσταση στην περιβαλλοντική παρακολούθηση, παρέχοντας δεδομένα υψηλής ανάλυσης και μεγάλης κλίμακας που επιτρέπουν την παρατήρηση φαινομένων όπως οι αλλαγές στη χρήση γης, η εξάλειψη των δασών και οι φυσικές καταστροφές, όπως οι πλημμύρες. Η δυνατότητα ανίχνευσης και παρακολούθησης πλημμυρών μέσω τεχνολογιών τηλεπισκόπησης είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την αξιολόγηση των άμεσων και μακροπρόθεσμων επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, τις υποδομές και τη γεωργία. Οι πλημμύρες αποτελούν κοινή φυσική καταστροφή που μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένες ζημιές σε αστικές και αγροτικές περιοχές, επηρεάζοντας σημαντικά τη βλάστηση, την υγεία του εδάφους και το συνολικό περιβάλλον.

Συγκεκριμένα, οι πλημμύρες συχνά οδηγούν σε μετατόπιση υδάτινων σωμάτων, καταστροφή βλάστησης και μεταβολή των τοπίων. Η παρακολούθηση αυτών των αλλαγών είναι κρίσιμη για την ανταπόκριση σε καταστροφές, την αποκατάσταση και τον σχεδιασμό. Οι δορυφόροι Sentinel-1 και Sentinel-2, που αποτελούν μέρος του προγράμματος Copernicus του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος, παρέχουν πολύτιμα δεδομένα για την ανίχνευση πλημμυρών και την περιβαλλοντική ανάλυση. Ο Sentinel-1 χρησιμοποιεί δεδομένα ραντάρ (SAR) που δεν επηρεάζονται από την νέφωση, καθιστώντας τον ιδανικό για την παρακολούθηση πλημμυρών, ενώ ο Sentinel-2 παρέχει οπτικές εικόνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της υγείας της βλάστησης και της κατάστασης των υδάτινων σωμάτων.



2.2 Σκοπός

Η παρούσα μελέτη στοχεύει στη χρήση δεδομένων από τους Sentinel-1 και Sentinel-2 για την ανίχνευση και ανάλυση αλλαγών στην περιοχή του Βόλου πριν και μετά από την πρόσφατη καταιγίδα Daniel τον Σεπτέμβριο του 2023. Συγκεκριμένα, οι στόχοι είναι οι εξής:

- Ανίχνευση και χαρτογράφηση των περιοχών που πλημμύρισαν χρησιμοποιώντας δεδομένα SAR από τον Sentinel-1.
- Αξιολόγηση των αλλαγών στη βλάστηση και τα υδάτινα σώματα μέσω των δεικτών NDWI, MNDWI, NDVI και VCI που εξήχθησαν από τον Sentinel-2.
- Σύγκριση των εικόνων πριν και μετά την καταιγίδα για την ανάδειξη της επίδρασής της στις πλημμύρες και την υγεία της βλάστησης.

3 Περιοχή Μελέτης

Ο Βόλος, που βρίσκεται στη κεντρική Ελλάδα, είναι ένα αστικό κέντρο κοντά στο Αιγαίο Πέλαγος. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής μελέτης εκτείνονται από 22.9°E έως 23.2°E γεωγραφικό μήκος και από 39.3°N έως 39.5°N γεωγραφικό πλάτος. Αυτή η περιοχή, η οποία χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα, αντιμετωπίζει συχνά έντονες βροχοπτώσεις που μπορούν να οδηγήσουν σε πλημμύρες, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια καταιγίδων.

Η τοπογραφία του Βόλου είναι ποικιλόμορφη, με παράκτιες πεδιάδες και λοφώδη εδάφη που συμβάλλουν στις πλημμύρες σε χαμηλότερες περιοχές. Οι γεωργικές εκτάσεις, οι υποδομές και οι αστικές περιοχές της περιοχής βρίσκονται συχνά σε κίνδυνο κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων και πλημμυρών, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για αποτελεσματική παρακολούθηση και συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης. Αυτή η μελέτη είναι ιδιαίτερα σημαντική, δεδομένης της αυξανόμενης συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων λόγω της κλιματικής αλλαγής, καθιστώντας επιτακτική την κατανόηση των δυναμικών των πλημμυρών και των αλλαγών στη βλάστηση.

4 Δεδομένα και Μέθοδοι

4.1 Πηγές Δεδομένων

Για τη συγκεκριμένη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από δορυφορικές εικόνες των Sentinel-1 και Sentinel-2, τα οποία παρέχουν συμπληρωματικές πληροφορίες για την ανίχνευση πλημμυρών και την αξιολόγηση της βλάστησης. Οι αποστολές αυτές είναι μέρος του προ-



γράμματος Copernicus του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος και προσφέρουν εικόνες υψηλής ανάλυσης που είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την περιβαλλοντική παρακολούθηση.

4.1.1 Δεδομένα Sentinel-2

Το Sentinel-2 παρέχει οπτικές εικόνες με χωρική ανάλυση 10 μέτρων για τις ζώνες του ορατού φάσματος και του χοντινού υπέρυθρου (NIR), καθώς και 20 μέτρων για τις ζώνες του βραχέως υπέρυθρου (SWIR). Είναι ιδιαίτερο για την παρακολούθηση της βλάστησης, των υδάτινων σωμάτων και της χρήσης γης. Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Sentinel-2 από τον Αύγουστο του 2023 (πριν από την καταιγίδα) και την περίοδο Σεπτεμβρίου–Οκτωβρίου 2023 (μετά την καταιγίδα). Επιλέχθηκαν εικόνες χωρίς νεφοκάλυψη ή με νεφοκάλυψη μικρότερη του 10%, ώστε να διασφαλιστεί ότι οι εικόνες αναπαριστούν με ακρίβεια το τοπίο χωρίς να καλύπτονται από σύννεφα.

Οι ζώνες (bands) που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη περιλαμβάνουν:

- B2 (Μπλε): Χρήσιμη για διόρθωση της ατμόσφαιρας και ανίχνευση βλάστησης.
- B3 (Πράσινη): Χρησιμοποιείται για ανίχνευση υδάτων, εκτίμηση της υγείας της βλάστησης και ταξινόμηση χρήσης γης.
- B4 (Κόκκινη): Σημαντική για την παρακολούθηση της βλάστησης.
- B8 (Κοντινό Υπέρυθρο - NIR): Απαραίτητη για την ανάλυση της υγείας της βλάστησης και την ανίχνευση υδάτινων σωμάτων.
- B11 (Βραχύ Υπέρυθρο - SWIR): Χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της ανίχνευσης υδάτινων σωμάτων και την αναγνώριση τύπων κάλυψης γης.

4.1.2 Δεδομένα Sentinel-1

Το Sentinel-1 παρέχει δεδομένα ραντάρ (SAR), τα οποία δεν επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες ή τη νεφοκάλυψη. Αυτό το καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο για την ανίχνευση πλημμυρών, καθώς τα δεδομένα SAR μπορούν να διεισδύσουν μέσα από τα σύννεφα και να παρέχουν καθαρές εικόνες ακόμα και κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Για αυτή τη μελέτη, τα δεδομένα Sentinel-1 συλλέχθηκαν με πολωτική μέθοδο VV χρησιμοποιώντας τη λειτουργία IW (Interferometric Wide Swath). Αυτή η λειτουργία είναι κατάληγη για ευρεία κάλυψη περιοχών και είναι αποτελεσματική στην ανίχνευση πλημμυρισμένων περιοχών με την αναγνώριση αλλαγών στην υγρασία της επιφάνειας ή στη συσσώρευση υδάτων. Τα δεδομένα SAR από το Sentinel-1 συλλέχθηκαν τις ίδιες χρονικές περιόδους με τα δεδομένα του Sentinel-2 (Αύγουστος 2023 και Σεπτέμβριος–Οκτώβριος 2023) για να διασφαλιστεί η συνέπεια στην



ανάλυση.

Και τα δύο σύνολα δεδομένων υποβλήθηκαν σε προεπεξεργασία για να μάσκονται τα σύνεφα, και τα δεδομένα SAR του Sentinel-1 αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας όριο τιμής -18 dB για την αναγνώριση περιοχών με σημαντική συσσώρευση υδάτων, που υποδηλώνουν πλημμύρες.

Συνδυάζοντας αυτές τις δύο ισχυρές πηγές δεδομένων, καταφέραμε να δημιουργήσουμε μια ολοκληρωμένη κατανόηση των πλημμυρών και της επιβάρυνσης της βλάστησης στον Βόλο πριν και μετά την καταιγίδα. Τα οπτικά δεδομένα Sentinel-2 προσέφεραν λεπτομερείς πληροφορίες για την υγεία της βλάστησης και τις αλλαγές στα υδάτινα σώματα, ενώ τα δεδομένα SAR του Sentinel-1 παρείχαν πολύτιμες πληροφορίες για την έκταση των πλημμυρών, ξεπερνώντας τους περιορισμούς που θέτει η νεφοκάλυψη στις οπτικές εικόνες.

4.2 Προεπεξεργασία

Στην τηλεπισκόπηση, η προεπεξεργασία είναι ένα κρίσιμο βήμα για να διασφαλιστεί η ποιότητα και η αξιοπιστία των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση. Για αυτή τη μελέτη, η προεπεξεργασία αφορούσε χυρίως την μάσκα σύννεφων και την μείωση της επιρροής του ατμοσφαιρικού θιρύβου, ο οποίος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων, ιδιαίτερα στις φασματικές ζώνες που αξιοποιούνται από τον δορυφόρο Sentinel-2.

4.2.1 Μάσκα Σύννεφων

Οι εικόνες Sentinel-2 συχνά περιέχουν σύννεφα ή άλλες ατμοσφαιρικές παρεμβολές που μπορούν να καλύψουν την επιφάνεια της γης. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, εφαρμόσαμε μια τεχνική μάσκας σύννεφων χρησιμοποιώντας τη ζώνη QA60 από τις εικόνες Sentinel-2. Αυτή η ζώνη παρέχει πληροφορίες για την παρουσία σύννεφων, με συγκεκριμένα bits που προσδιορίζουν τα νέφη. Χρησιμοποιώντας τη λειτουργία bitwise AND (bitwiseAnd(1 << 10)), απομονώσαμε τα νέφη και τα εξαιρέσαμε από την ανάλυση. Αυτή η μάσκα σύννεφων εφαρμόστηκε τόσο στις εικόνες «πριν» όσο και στις εικόνες «μετά» την καταιγίδα, διασφαλίζοντας ότι οι παρατηρούμενες αλλαγές στα δεδομένα δεν επηρεάζονται από τη νεφοκάλυψη.



4.2.2 Σύνθεση Μέσης Τιμής

Η συνάρτηση median() χρησιμοποιήθηκε για να μειωθεί ο θόρυβος και να βελτιωθεί η ανθεκτικότητα της ανάλυσης. Αυτή η τεχνική είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν εργαζόμαστε με δεδομένα χρονοσειρών, όπως αυτά του Sentinel-2, καθώς βοηθά στη μείωση της επιδρασης περιστασιακών ατμοσφαιρικών διαταραχών ή άλλων προσωρινών προβλημάτων στις εικόνες. Η σύνθεση μέσης τιμής δημιουργεί μια «καινορότερη» εικόνα, επιλέγοντας τη μέση τιμή όλων των ελεύθερων από σύννεφα pixels κατά την επιλεγμένη χρονική περίοδο, προσφέροντας μια πιο σταθερή αναπαράσταση του τοπίου τόσο κατά την περίοδο πριν όσο και κατά την περίοδο μετά την καταιγίδα.

4.3 Υπολογισμένοι Δείκτες

Για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών αλλαγών που προκλήθηκαν από την καταιγίδα, υπολογίστηκαν συγκεκριμένοι σημαντικοί δείκτες χρησιμοποιώντας τα δεδομένα Sentinel-2. Αυτοί οι δείκτες βοηθούν στην ανάδειξη συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ενδιαφέροντος, όπως τα υδάτινα σώματα, η υγεία της βλάστησης και η επιβάρυνση της βλάστησης.

Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την ανάλυση ήταν οι NDWI, MNDWI, NDVI και VCI. Κάθε δείκτης εξυπηρετεί έναν μοναδικό σκοπό στην αξιολόγηση των αλλαγών πριν και μετά την καταιγίδα.

4.3.1 Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υδάτων (NDWI):

Ο NDWI είναι ένας δείκτης τηλεπισκόπησης που έχει σχεδιαστεί για να αναδεικνύει τα υδάτινα σώματα, χρησιμοποιώντας τη διαφορά μεταξύ των ζώνων του πράσινου και του κοντινού υπέρυψρου (NIR) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Η φόρμουλα για τον NDWI είναι η εξής:

$$\text{NDWI} = \frac{B3 - B8}{B3 + B8} \quad (1)$$

Όπου:

- B3 (Πράσινο) είναι η πράσινη ζώνη της εικόνας Sentinel-2.
- B8 (NIR) είναι η ζώνη του κοντινού υπέρυψρου της εικόνας Sentinel-2.



Οι τιμές του NDWI κυμαίνονται από -1 έως 1, όπου οι τιμές κοντά στο 1 υποδηλώνουν την παρουσία υδάτων, ενώ οι τιμές κοντά στο -1 υποδηλώνουν μη-υδάτινα χαρακτηριστικά, όπως το έδαφος. Ο NDWI βοηθά στην ανίχνευση υδάτινων σωμάτων και μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την ανίχνευση πλημμυρών. Στο χάρτη, οι περιοχές με υψηλότερες τιμές NDWI απεικονίζονται σε αποχρώσεις του μπλε, υποδεικνύοντας την παρουσία υδάτων. Συγχρίνοντας τους χάρτες NDWI «πριν» και «μετά», μπορούμε να εντοπίσουμε περιοχές όπου τα υδάτινα σώματα επεκτάθηκαν, κάτι που υποδηλώνει πλημμύρες σε ορισμένες περιοχές.

4.3.2 Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υδάτων (MNDWI):

Ο MNDWI είναι παρόμοιος με τον NDWI, αλλά χρησιμοποιεί τη ζώνη του βραχέως υπέρυθρου (SWIR) (B11) αντί της ζώνης του κοντινού υπέρυθρου (NIR). Η προσθήκη της ζώνης SWIR ενισχύει την ανίχνευση υδάτινων σωμάτων και μειώνει την επιρροή των ανεπτυγμένων περιοχών ή της βλάστησης.

Η φόρμουλα για τον MNDWI είναι η εξής:

$$\text{MNDWI} = \frac{B3 - B11}{B3 + B11} \quad (2)$$

Όπου:

- B3 (Πράσινο) είναι η πράσινη ζώνη.
- B11 (SWIR) είναι η ζώνη του βραχέως υπέρυθρου.

Οι τιμές του MNDWI κυμαίνονται επίσης από -1 έως 1, με υψηλότερες τιμές να υποδεικνύουν υδάτινα σώματα και χαμηλότερες τιμές να υποδεικνύουν χαρακτηριστικά μη-υδάτινα. Η χρήση της ζώνης SWIR επιτρέπει καλύτερη διάκριση μεταξύ των υδάτων και άλλων χαρακτηριστικών, όπως οι αστικές περιοχές ή η βλάστηση. Στους χάρτες που παράγονται από αυτόν τον δείκτη, οι περιοχές πλημμύρας ή συσσώρευσης υδάτων απεικονίζονται σε αποχρώσεις του γαλάζιου, παρέχοντας μια εναλλακτική μέθοδο ανίχνευσης των πλημμυρών που μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική σε ορισμένα τοπία, όπως αστικές περιοχές ή περιοχές με πυκνή βλάστηση.

4.3.3 Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI):

Ο NDVI είναι ένας από τους πιο χρησιμοποιούμενους δείκτες για την εκτίμηση της υγείας και της πρασινάδας της βλάστησης. Μετρά τη διαφορά μεταξύ των ζωνών του κοντινού υπέρυθρου (NIR) και του κόκκινου (Red) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, όπου η υγιής



βλάστηση αντανακλά έντονα το φως του NIR και απορροφά το κόκκινο φως.

Η φόρμουλα για τον NDVI είναι η εξής:

$$\text{NDVI} = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (3)$$

Όπου:

- B8 (NIR) είναι η ζώνη του κοντινού υπέρυθρου.
- B4 (Κόκκινο) είναι η ζώνη του κόκκινου.

Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται από -1 έως 1, με τις τιμές κοντά στο 1 να υποδηλώνουν υγιή, πράσινη βλάστηση, και τις τιμές κοντά στο -1 να υποδεικνύουν γυμνές ή καταπονημένες περιοχές (όπως υδάτινα σώματα, χιόνι ή γυμνό έδαφος). Στη μελέτη αυτή, ο NDVI χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμηθούν οι αλλαγές στην υγεία της βλάστησης πριν και μετά την καταιγίδα. Οι χάρτες που προκύπτουν δείχνουν περιοχές όπου η βλάστηση έχει καταπονηθεί ή έχει χαθεί, παρέχοντας πληροφορίες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της καταιγίδας στην φυτική ζωή. Οι χάρτες NDVI «πριν» και «μετά» θα αναδείξουν περιοχές όπου η υγεία της βλάστησης έχει επιδεινωθεί, κάτι που μπορεί να υποδηλώνει την άμεση επιδραση της πλημύρας, του κορεσμού του εδάφους ή άλλων επιπτώσεων που σχετίζονται με την καταιγίδα.

4.3.4 Δείκτης Κατάστασης Βλάστησης (VCI):

Ο VCI είναι ένας δείκτης που παρέχει μια σχετική μέτρηση της υγείας της βλάστησης, συγκρίνοντας την τρέχουσα τιμή του NDVI με τις ιστορικές μέγιστες και ελάχιστες τιμές NDVI για την περιοχή.

Η φόρμουλα για τον VCI είναι η εξής:

$$\text{VCI} = \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \times 100 \quad (4)$$

Όπου:

- NDVI είναι η τρέχουσα τιμή του NDVI.
- NDVI_{\min} είναι η ελάχιστη τιμή NDVI που παρατηρήθηκε στην περιοχή.
- NDVI_{\max} είναι η μέγιστη τιμή NDVI που παρατηρήθηκε στην περιοχή.



Οι τιμές του VCI κυμαίνονται από 0 έως 100, όπου το 0 αντιπροσωπεύει ακραία επιβάρυνση της βλάστησης (τη χαμηλότερη τιμή NDVI), και το 100 υποδηλώνει την καλύτερη κατάσταση της βλάστησης (τη μεγαλύτερη τιμή NDVI). Ο VCI παρέχει μια πιο λεπτομερή κατανόηση της υγείας της βλάστησης, κανονικοποιώντας τις τιμές NDVI με βάση τη ιστορική μεταβλητότητα της βλάστησης στην περιοχή μελέτης. Στο χάρτη, οι περιοχές με χαμηλές τιμές VCI (κοντά στο 0) επισημαίνονται ως περιοχές με έντονη επιβάρυνση ή ζημιά στη βλάστηση, ενώ οι περιοχές με υψηλότερες τιμές VCI υποδεικνύουν περιοχές υγιούς ή ανακάμψασας βλάστησης. Ο VCI είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την εκτίμηση της επίδρασης περιβαλλοντικών καταπονήσεων όπως πλημμύρες, ξηρασίες ή καταιγίδες, καθιστώντας τον έναν απαραίτητο εργαλείο για αυτήν την ανάλυση.

4.4 Ανίχνευση Αλλαγών

Η ανάλυση των αλλαγών επικεντρώθηκε στις διαφορές στους δείκτες πριν και μετά την καταιγίδα.

- Αλλαγή NDWI: Για την ανίχνευση των αλλαγών στα υδάτινα σώματα, υπολογίστηκε η διαφορά μεταξύ των εικόνων NDWI μετά και πριν την καταιγίδα. Αυτό ανέδειξε περιοχές όπου τα υδάτινα σώματα είχαν επεκταθεί λόγω πλημμυρών.
- Αλλαγή MNDWI, NDVI και VCI: Με τον ίδιο τρόπο, υπολογίστηκαν οι αλλαγές στους δείκτες MNDWI, NDVI και VCI για να εντοπιστούν περιοχές με σημαντική απώλεια ή επιβάρυνση στη βλάστηση και να εκτιμηθεί η έκταση των περιοχών που επηρεάστηκαν από τις πλημμύρες.

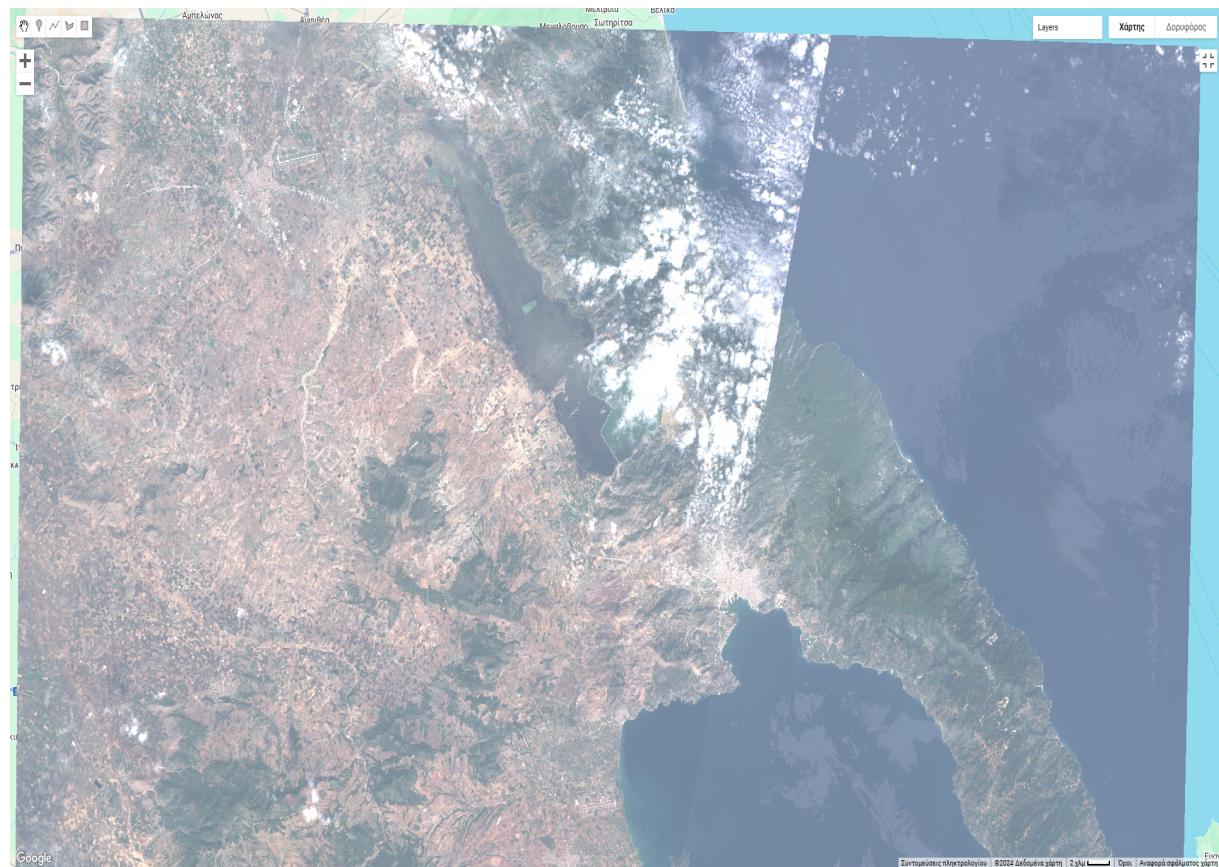
5 Αποτελέσματα και Οπτικοποίηση

5.1 Εικόνες RGB (Πριν και Μετά)

Οι εικόνες RGB παρέχουν μια οπτική αναπαράσταση των αλλαγών στο τοπίο πριν και μετά την καταιγίδα. Στις εικόνες πριν την καταιγίδα, τα υδάτινα σώματα είναι εμφανή, με τη βλάστηση να φαίνεται πράσινη και τις αστικές περιοχές να είναι σε ουδέτερα χρώματα. Στις εικόνες μετά την καταιγίδα, παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές, με μεγαλύτερα υδάτινα σώματα και περιοχές άγους στη βλάστηση, που υποδεικνύονται από μεταβολές στους χρωματικούς τόνους.



Σχήμα 1: Before RGB



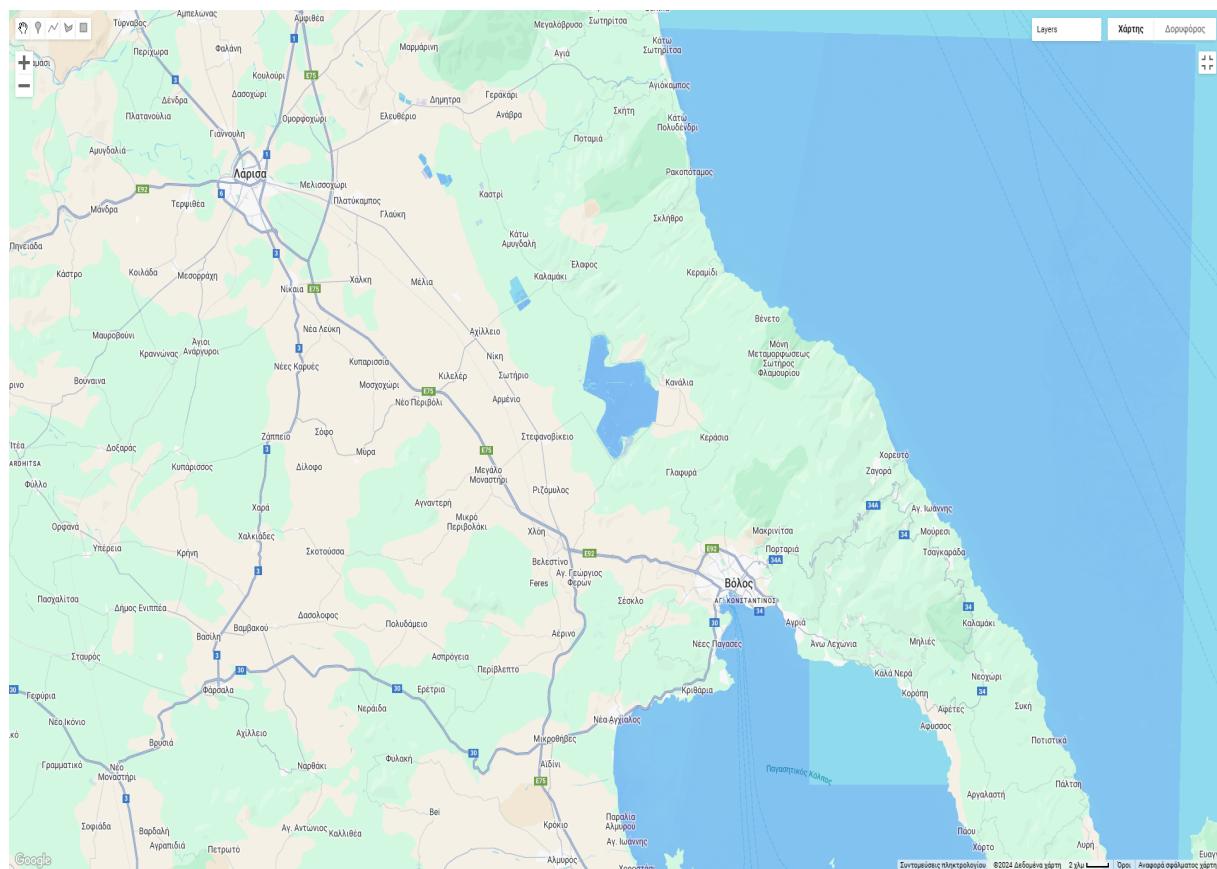
Σχήμα 2: After RGB



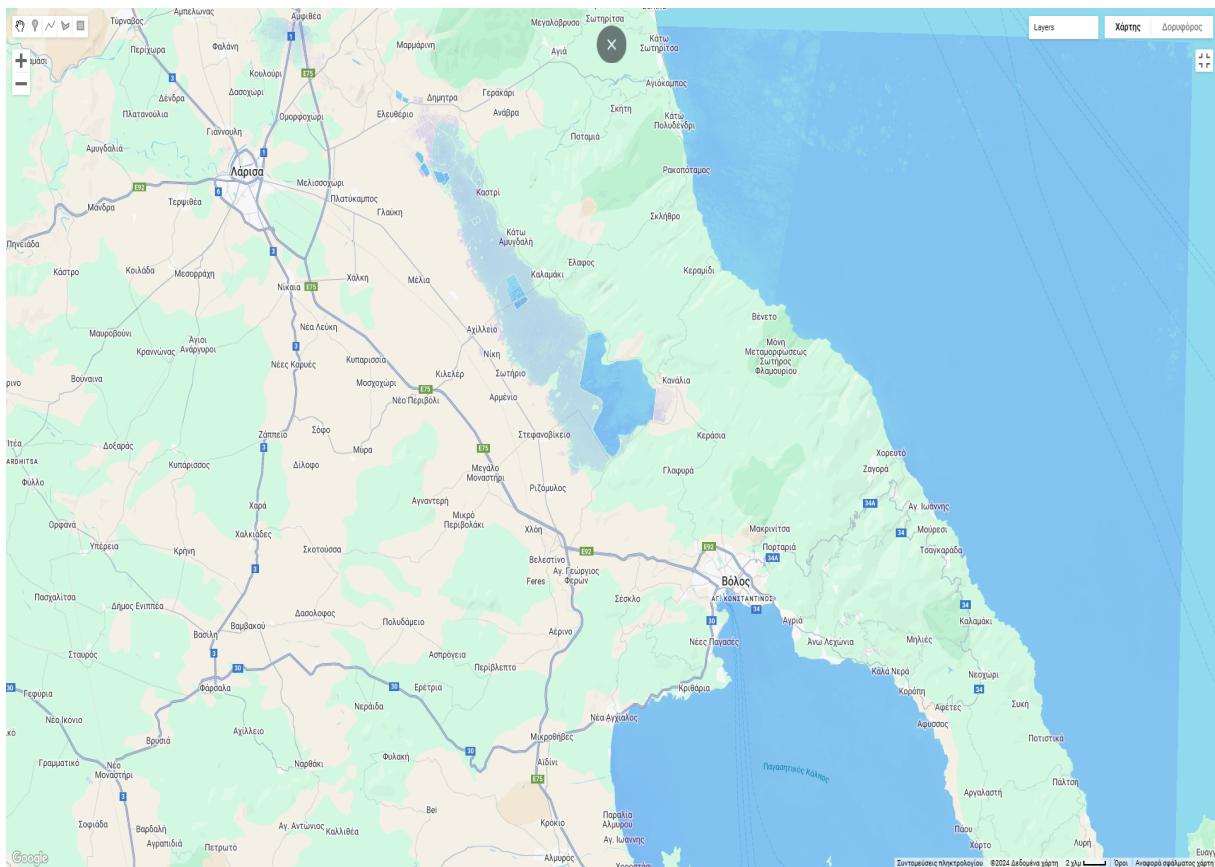
Σχήμα 3: Before and After RGB

5.2 Ανίχνευση Υδάτινων Σωμάτων

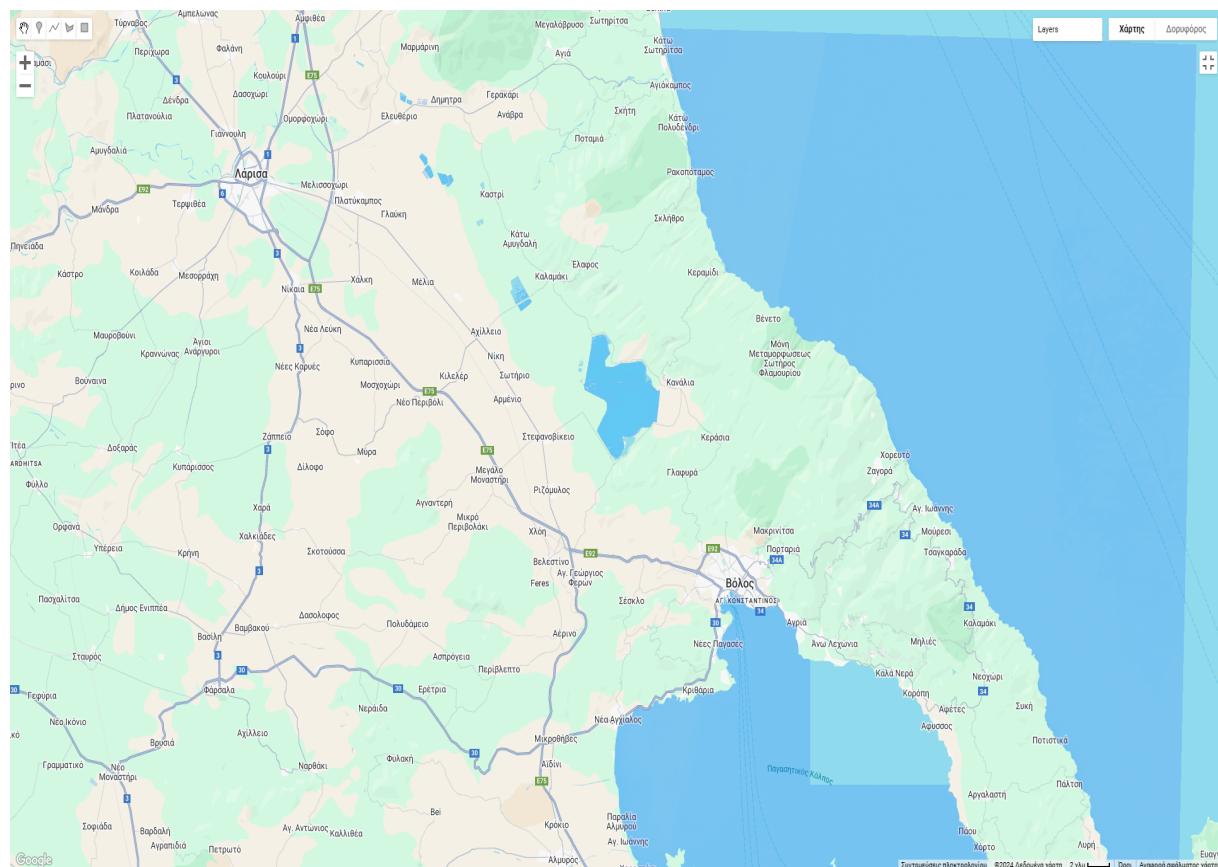
Τα αποτελέσματα των NDWI και MNDWI αποκαλύπτουν την επέκταση των υδάτινων σωμάτων μετά την καταιγίδα. Ο NDWI πριν την καταιγίδα υποδεικνύει σχετικά σταθερά υδάτινα σώματα, ενώ ο NDWI μετά την καταιγίδα δείχνει σημαντική αύξηση στην κάλυψη του νερού, ειδικά σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο. Τα αποτελέσματα του MNDWI ενισχύουν περαιτέρω την επίδραση της καταιγίδας, αναδεικνύοντας περιοχές που επηρεάστηκαν από πλημμύρες και δεν ήταν αρχικά ορατές στα αποτελέσματα του NDWI.



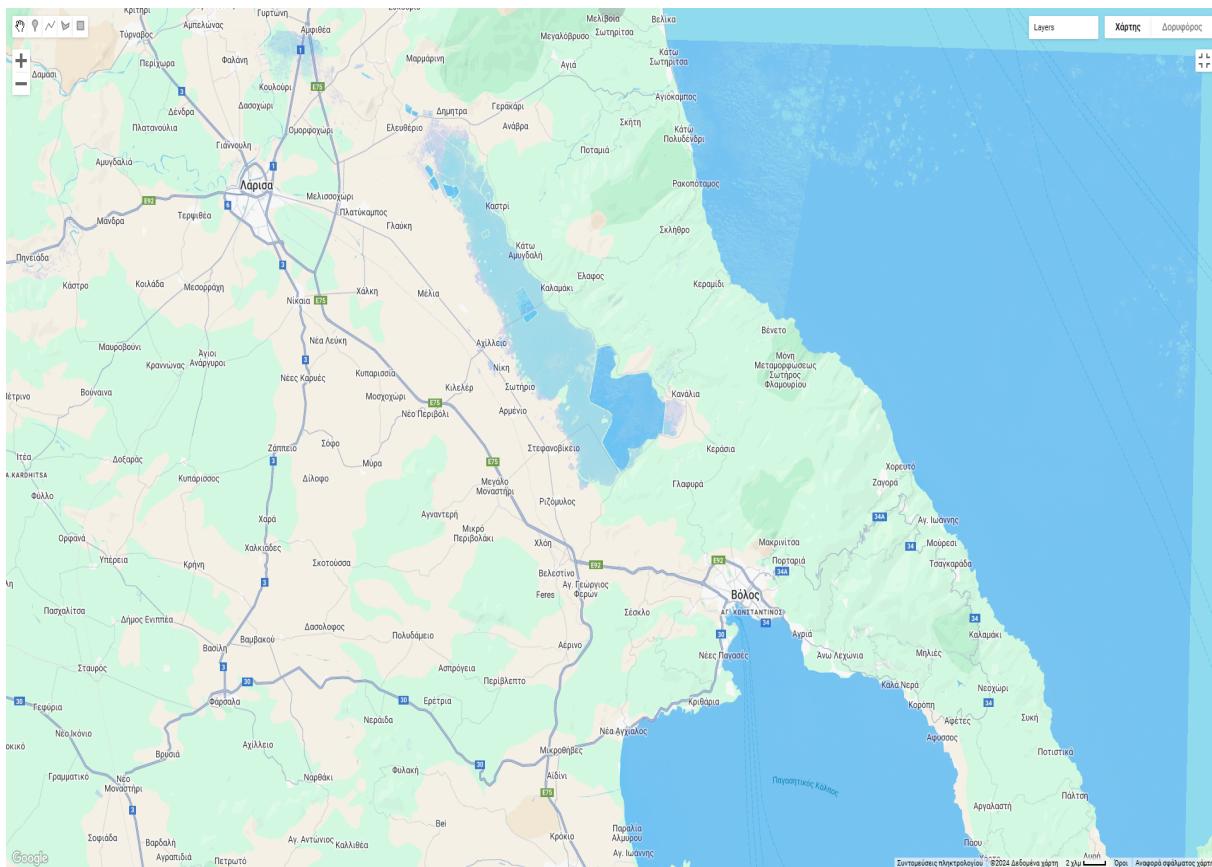
Σχήμα 4: Before NDWI



Σχήμα 5: After NDWI



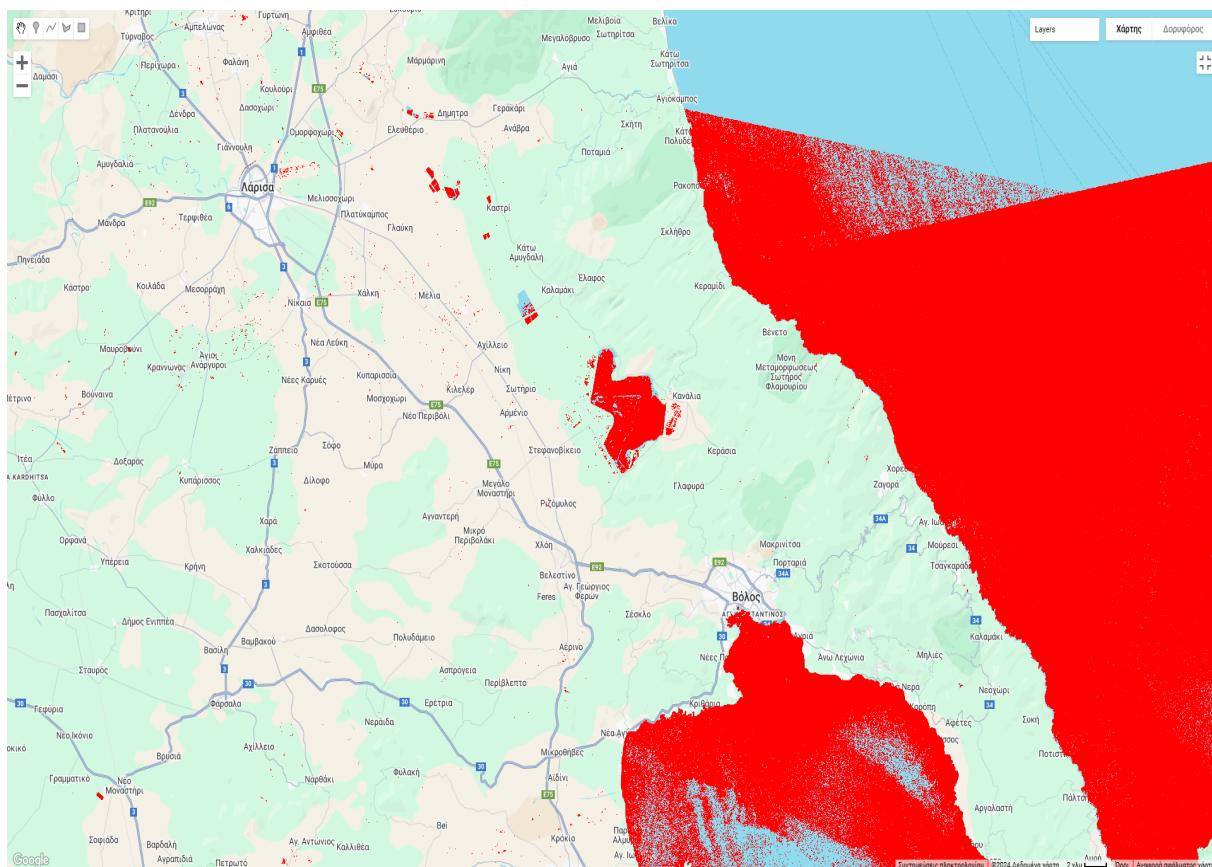
Σχήμα 6: Before MNDWI



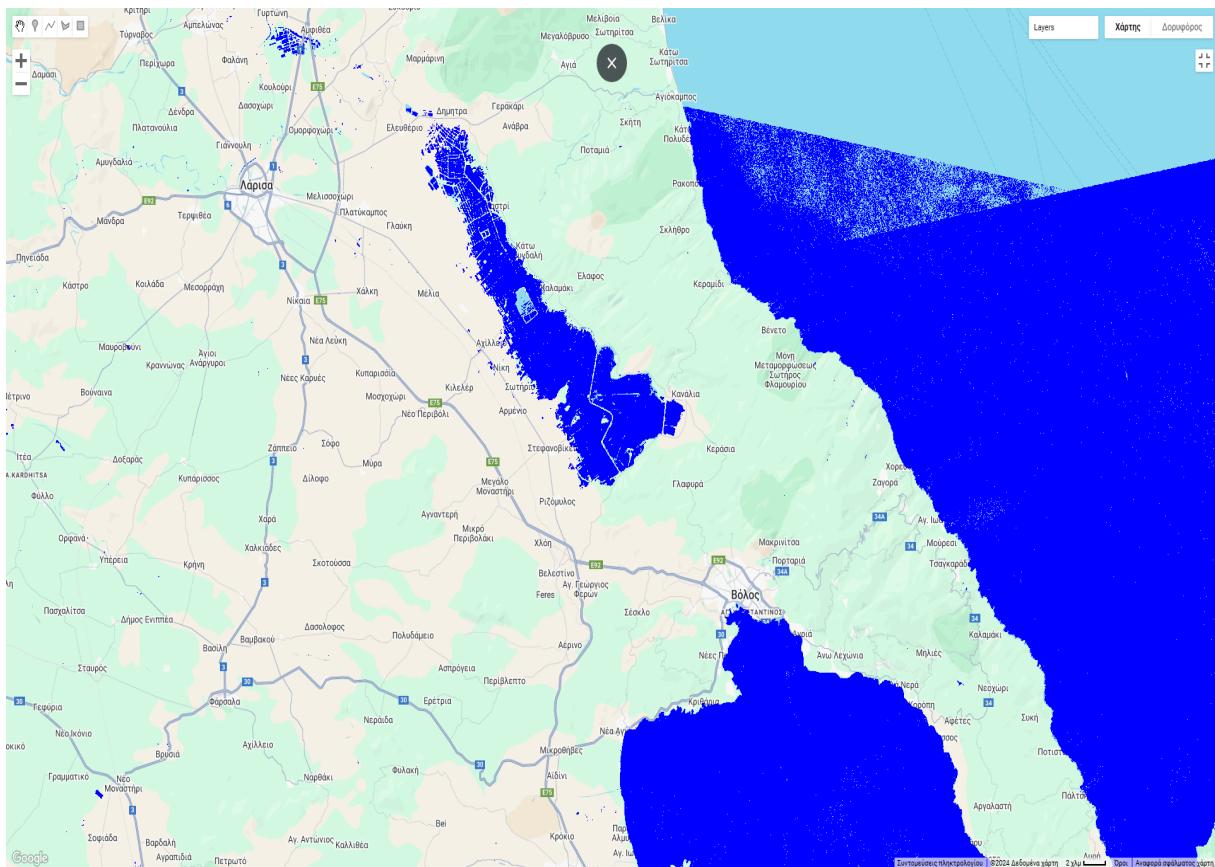
Σχήμα 7: After MNDWI

5.3 Ανίχνευση Πλημμυρών με SAR

Τα αποτελέσματα της ανίχνευσης πλημμύρας από τα δεδομένα Sentinel-1 SAR δείχνουν σαφώς τις περιοχές που πλημμύρισαν κατά τη διάρκεια της καταιγίδας. Πριν την καταιγίδα, αυτές οι περιοχές ήταν ξερές ή είχαν χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό, ενώ μετά την καταιγίδα, σημαντικά τμήματα του τοπίου είναι πλημμυρισμένα, όπως υποδεικνύεται από τις μπλε περιοχές στον χάρτη.



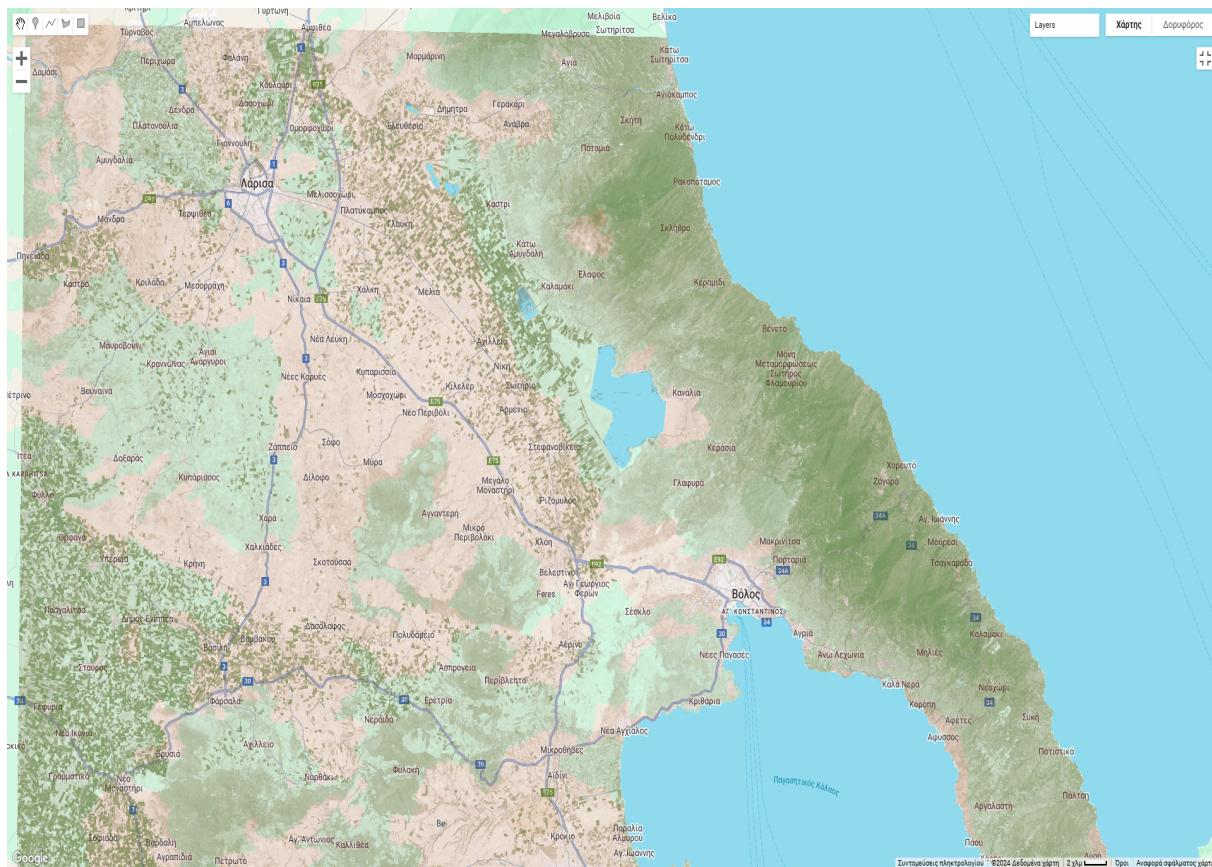
Σχήμα 8: Flooded Before with SAR



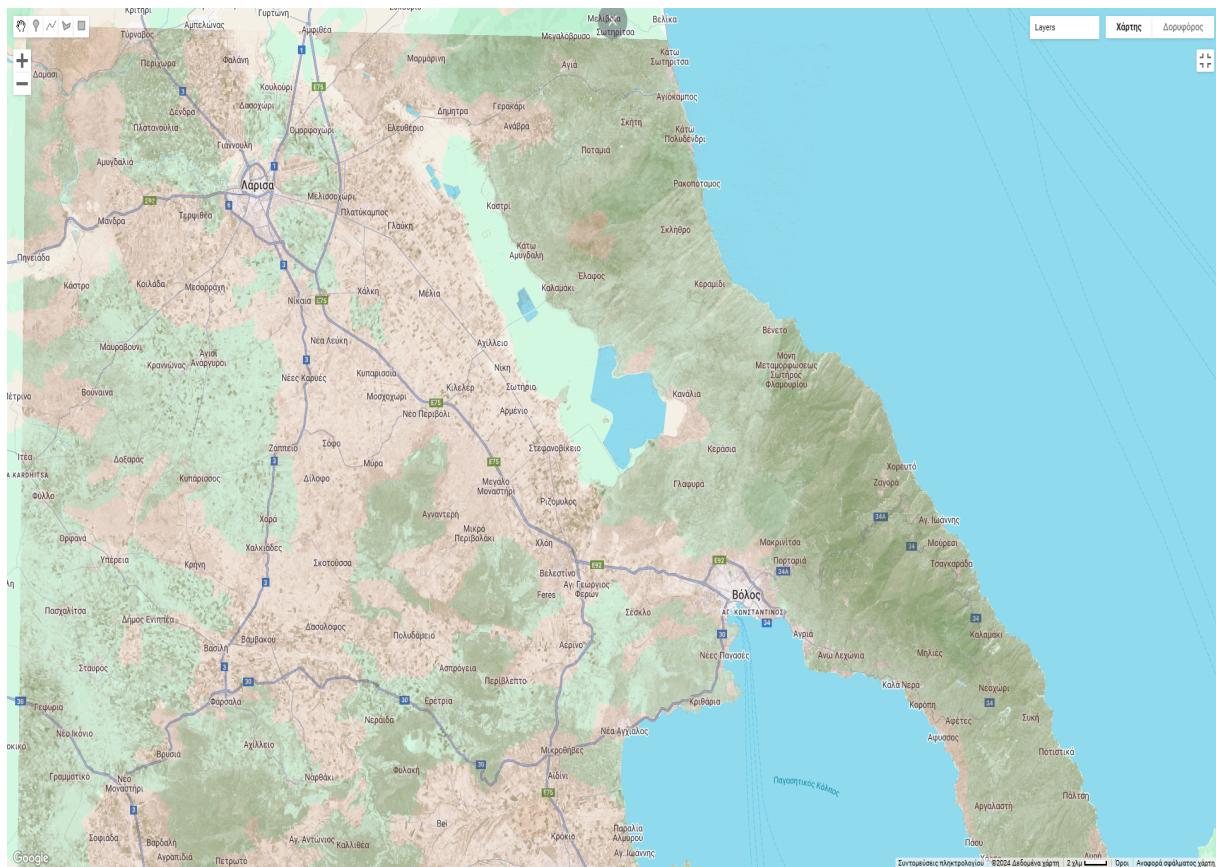
Σχήμα 9: Flooded Area with SAR

5.4 Αλλαγές στη Βλάστηση

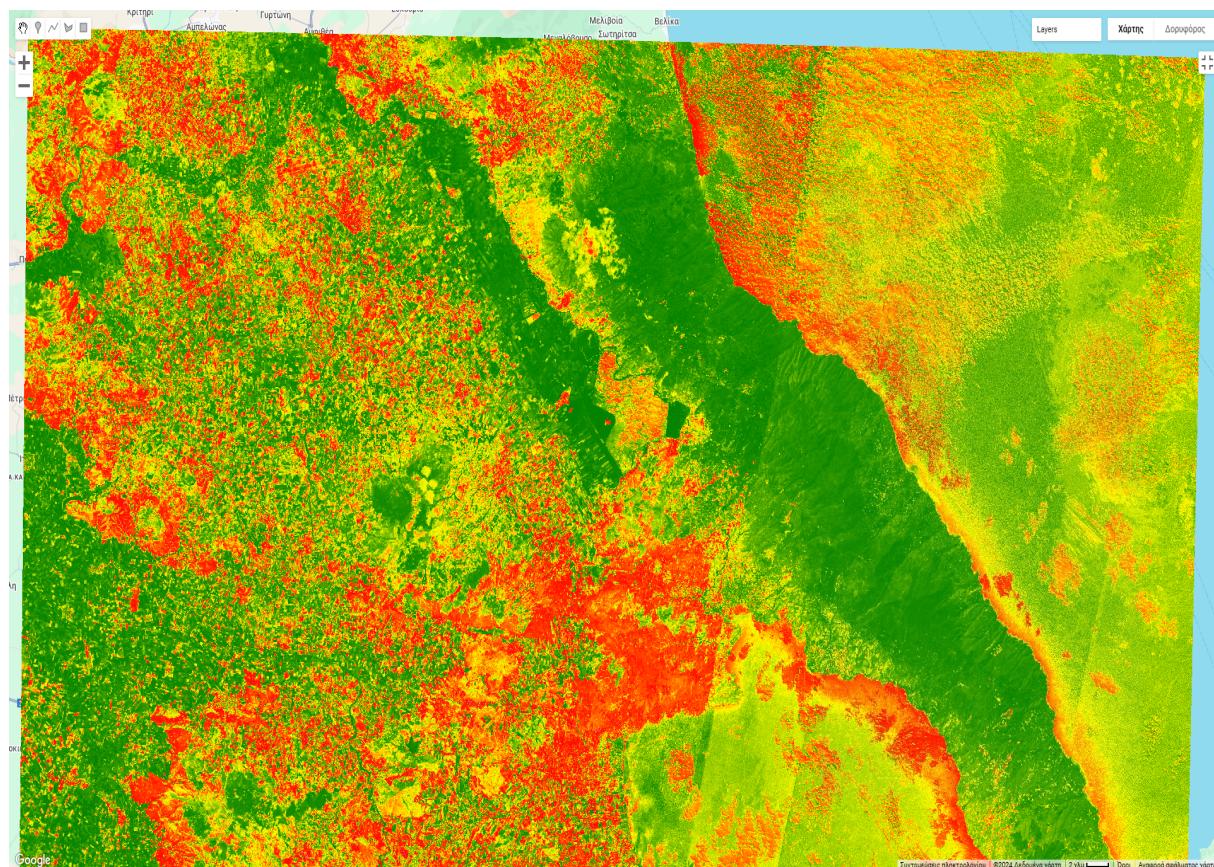
Τα αποτελέσματα των NDVI και VCI δείχνουν περιοχές με φθορά ή άγος στη βλάστηση λόγω της καταιγίδας. Οι τιμές NDVI είναι χαμηλότερες μετά την καταιγίδα, υποδεικνύοντας ότι η καταιγίδα πιθανώς προκάλεσε ζημιά στη βλάστηση. Τα αποτελέσματα του VCI αναδεικνύουν περιοχές με έντονη επιβάρυνση στη βλάστηση, ειδικά όπου τα νερά της πλημύρας ενδέχεται να έχουν προκαλέσει μακροχρόνια ζημιά σε καλλιέργειες και φυσική βλάστηση.



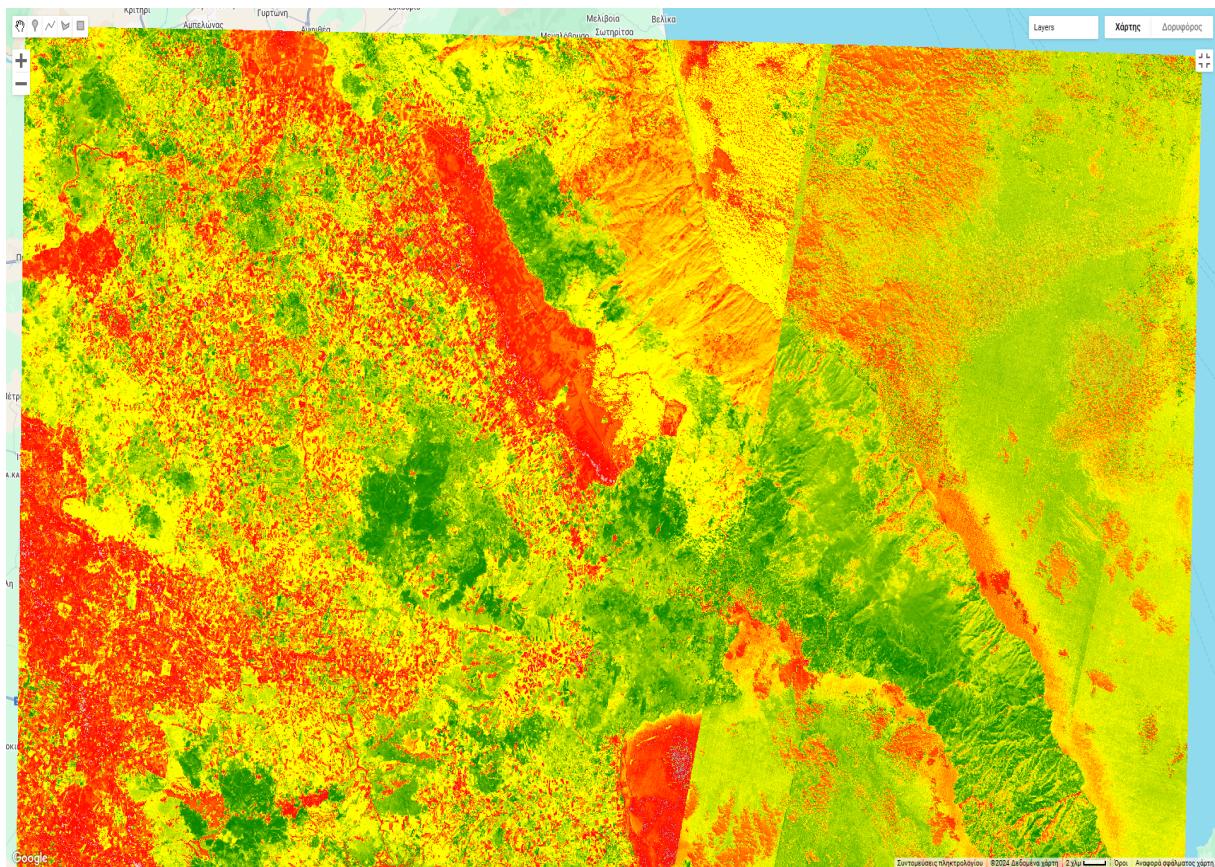
Σχήμα 10: Before NDVI



$\Sigma\chi\nu\alpha$ 11: After NDVI



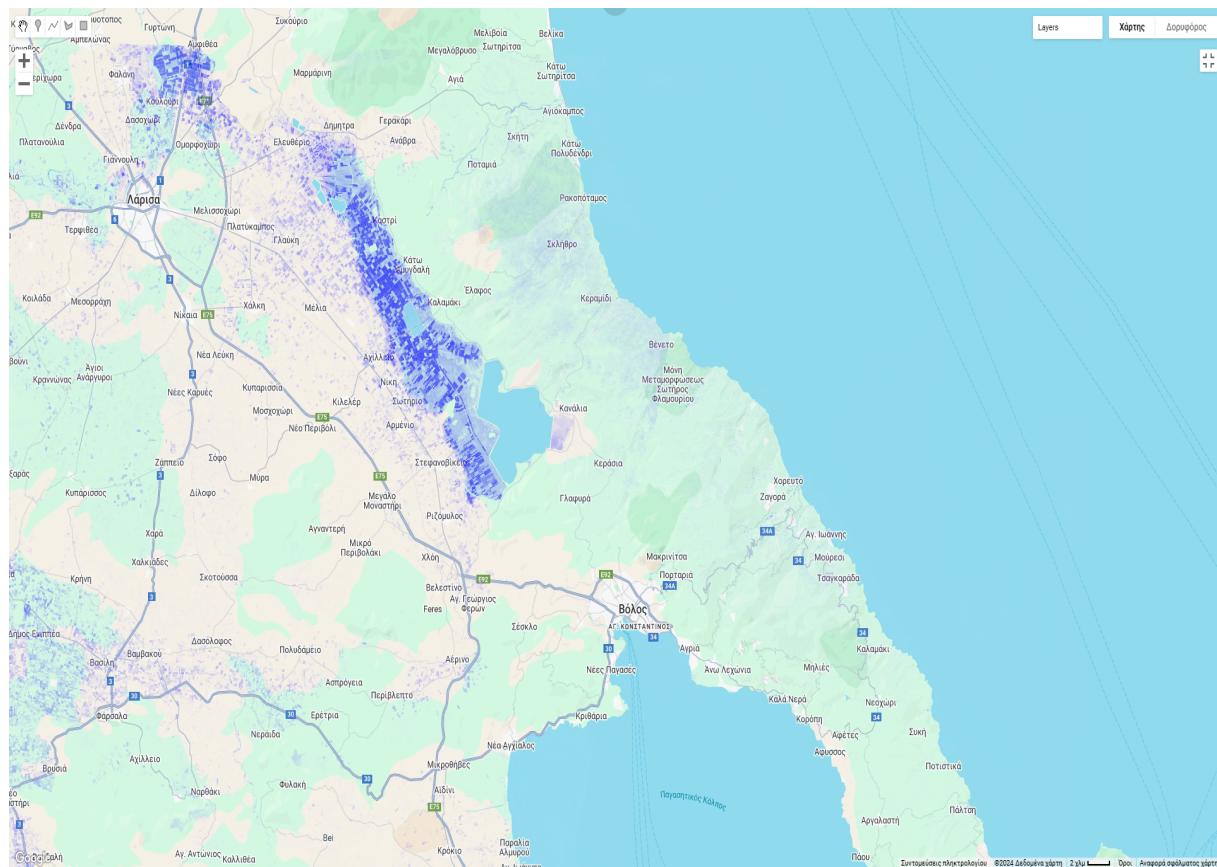
Σχήμα 12: Before VCI



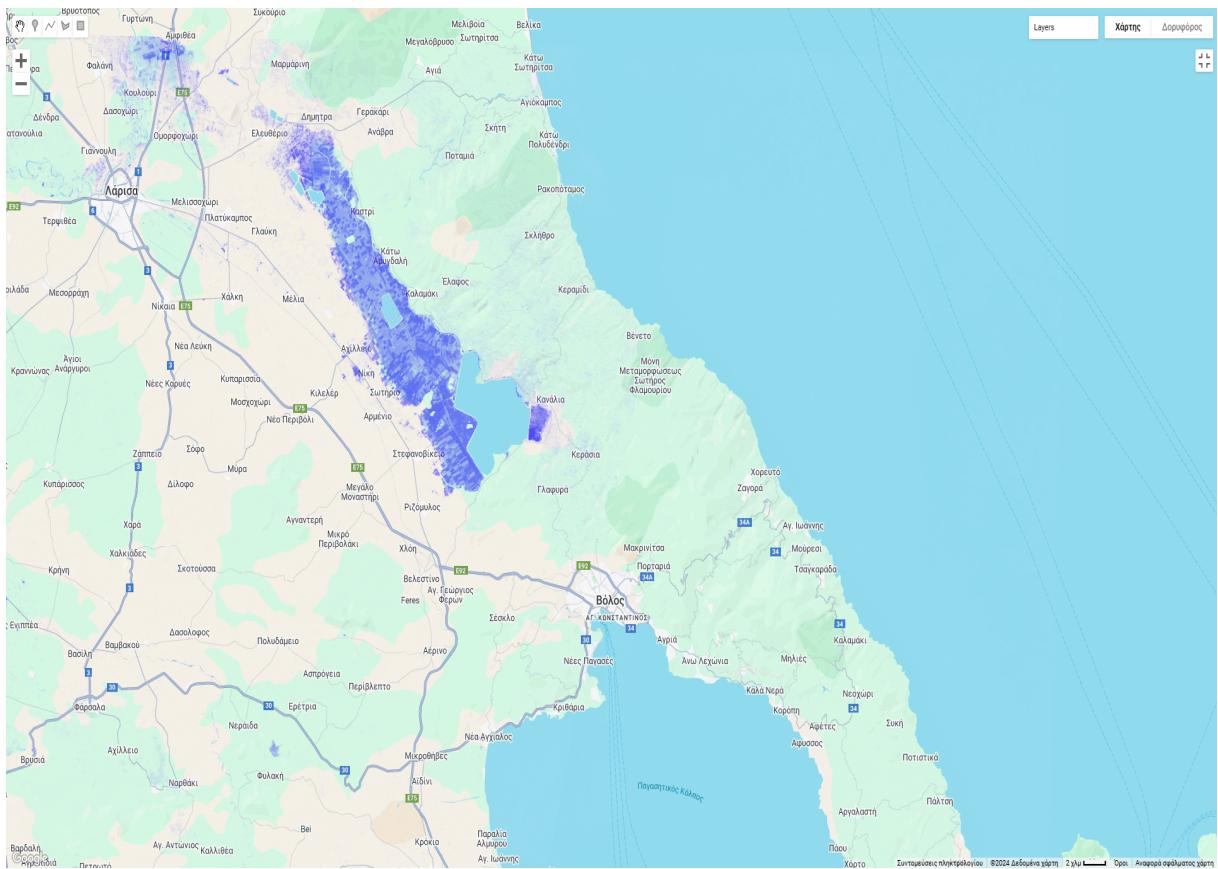
Σχήμα 13: After VCI

5.5 Χάρτες Αλλαγών

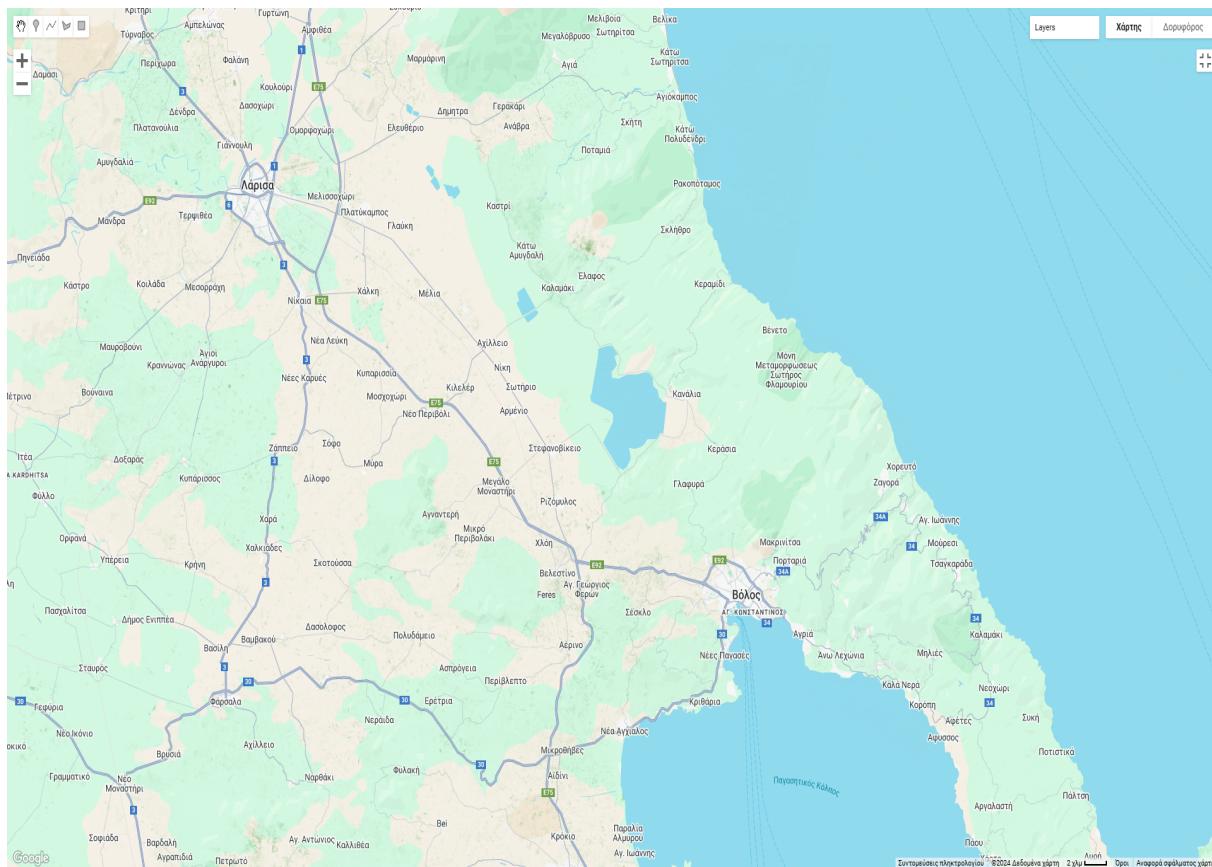
Οι χάρτες αλλαγών παρέχουν μια συνολική εικόνα του τρόπου που η καταιγίδα επηρέασε την περιοχή. Οι χάρτες αλλαγής NDWI δείχνουν την έκταση της επέκτασης των υδάτινων σωμάτων, ενώ οι χάρτες αλλαγής MNDWI αποκαλύπτουν τις περιοχές που επηρεάστηκαν από πλημμύρες. Οι χάρτες αλλαγής NDVI και αλλαγής VCI αναδεικνύουν τις περιοχές απώλειας και άγους της βλάστησης, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για τις επιπτώσεις της καταιγίδας στο οικοσύστημα.



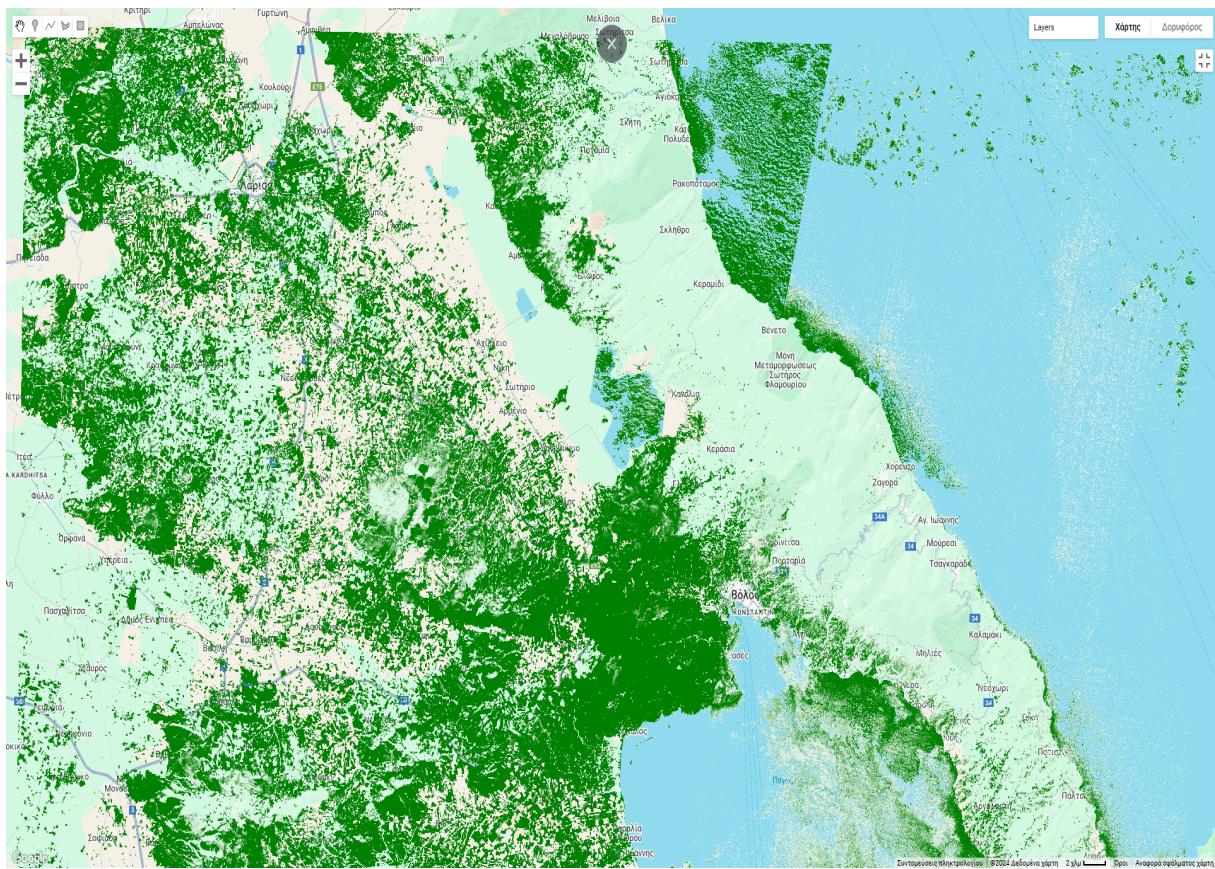
Σχήμα 14: Change NDWI



Σχήμα 15: Change MNDWI



Σχήμα 16: Change NDVI



Σχήμα 17: Change VCI

6 Συζήτηση

6.1 Ανάλυση Έκτασης Πλημμυρών

Η ανάλυση της έκτασης των πλημμυρών με τη χρήση τόσο των δεδομένων SAR όσο και των οπτικών δεδομένων αναδεικνύει τη σοβαρότητα της καταιγίδας όσον αφορά την επέκταση του νερού. Τα δεδομένα Sentinel-1 SAR προσέφεραν μια σαφή εικόνα των πλημμυρισμένων περιοχών, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου τα οπτικά δεδομένα καλύφθηκαν από νέφος. Ο NDWI και ο MNDWI επιβεβαίωσαν επίσης την επέκταση των υδάτινων σωμάτων, με τον MNDWI να είναι πιο ευαίσθητος στις πλημμυρισμένες περιοχές λόγω της ενισχυμένης ανίχνευσης υδάτινων σωμάτων σε περιοχές με βλάστηση.

6.2 Επίδραση στη Βλάστηση

Η επίδραση της πλημμύρας στη βλάστηση είναι εμφανής στα αποτελέσματα των NDVI και VCI. Οι τιμές NDVI μειώθηκαν μετά την καταιγίδα, υποδεικνύοντας ότι η υγεία της βλάστησης επηρεάστηκε σε περιοχές που πλήγηκαν από τα νερά της πλημμύρας. Τα αποτελέσ-



ματα του VCI επιβεβαιώνουν περαιτέρω αυτό το γεγονός, με πολλές περιοχές να δείχνουν χαμηλές τιμές VCI, υποδεικνύοντας ότι η επιβάρυνση στη βλάστηση ήταν εκτεταμένη.

6.3 Σύγκριση Δεδομένων

Η σύγκριση των δεδομένων Sentinel-2 (οπτικά) και Sentinel-1 (SAR) αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς κάθισ τύπου δεδομένων. To Sentinel-1 αποδείχθηκε πιο αξιόπιστο για την ανίχνευση πλημμυρών, ιδιαίτερα σε περιοχές με πυκνό νέφος, ενώ το Sentinel-2 ήταν πιο αποτελεσματικό για την εκτίμηση της υγείας της βλάστησης και των αλλαγών στα υδάτινα σώματα.

6.4 Περιορισμοί

Ένας σημαντικός περιορισμός της μελέτης αυτής είναι η παρουσία νέφωσης στα οπτικά δεδομένα, η οποία μπορεί να καλύψει ορισμένες περιοχές στις εικόνες του Sentinel-2. Επίσης, τα δεδομένα SAR ενδέχεται να παράγουν ψευδώς θετικά αποτελέσματα στην ανίχνευση πλημμυρών λόγω της επιρροής άλλων συνυθηκών επιφάνειας, όπως οι σκιές ή οι περιοχές με χαμηλή ανάκλαση σήματος. Παρά αυτούς τους περιορισμούς, η συνδυασμένη χρήση των δεδομένων Sentinel-1 και Sentinel-2 προσέφερε μια ισχυρή ανάλυση των επιπτώσεων των πλημμυρών και των αλλαγών στη βλάστηση.

7 Project Code Repository

Η πηγή κώδικα για αυτήν την μελέτη είναι διαθέσιμη σε δημόσιο Repository στο GitHub. Μπορείτε να έχετε πρόσβαση στο Repository μέσω του παρακάτω συνδέσμου:https://github.com/PavlosGkougkoulis/ThlepisKophs_GEE_Repo