

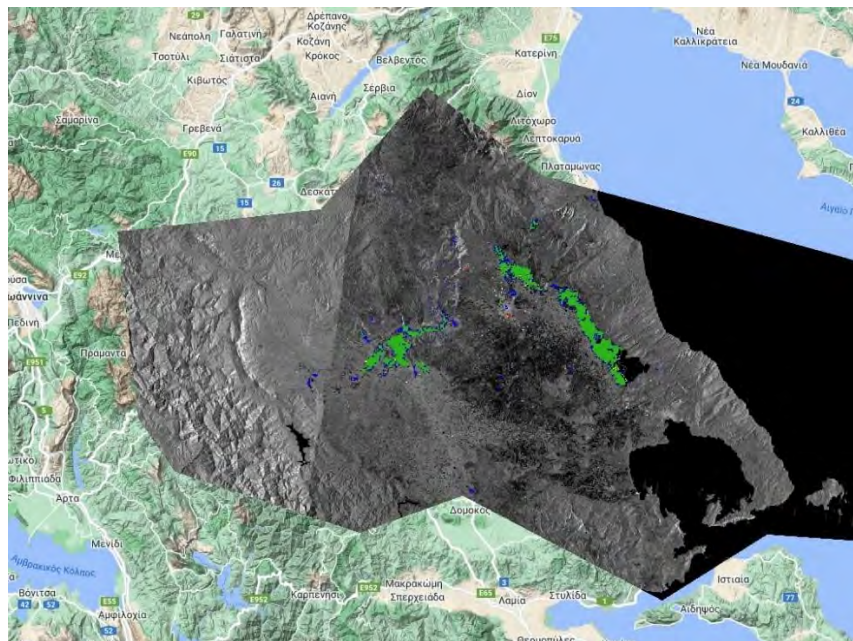


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΖΗΜΙΩΝ ΣΤΗ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑ, ΛΟΓΩ ΤΩΝ ΚΑΚΟΚΑΙΡΙΩΝ DANIEL ΚΑΙ ELIAS, ΜΕ  
ΧΡΗΣΗ GOOGLE EARTH ENGINE**

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΦΑΦΟΥΤΕΛΛΗΣ**



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

**ΒΟΛΟΣ 2024**

© 2024 Δημήτριος Φαφουτέλλης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## **Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Μάριος Σπηλιόπουλος  
ΕΔΙΠ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Λάμπρος Βασιλειάδης  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Νικήτας Μυλόπουλος  
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Περίληψη

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός χάρτη έκτασης πλημμύρας, με τη χρήση της πλατφόρμας Google Earth Engine, για την αξιολόγηση των πληγείσων περιοχών στη Θεσσαλία, λόγω των κακοκαιριών του Σεπτεμβρίου 2023 Daniel και Elias. Το Google Earth Engine είναι μια ισχυρή πλατφόρμα ιστού για επεξεργασία δεδομένων τηλεπισκόπησης σε μεγάλη κλίμακα βάσει cloud. Για τη χαρτογράφηση των συγκεκριμένων πλημμυρών χρησιμοποιήθηκε η συνιστώμενη πρακτική των Ηνωμένων Εθνών με τη χρήση του Google Earth Engine. Η πλατφόρμα παράγει έναν χάρτη έκτασης πλημμύρας χρησιμοποιώντας εικόνες SAR Sentinel-1 και εμφανίζει πληροφορίες για καλλιεργήσιμες εκτάσεις και αστικές περιοχές που επηρεάζονται, προκειμένου να αντιμετωπίσει το σύνολο των μεγάλων ανησυχιών που προκαλούν οι πλημμύρες.

**Λέξεις κλειδιά:** *Χαρτογράφηση πλημμύρας, Google Earth Engine, Κακοκαιρία Daniel, Κακοκαιρία Elias, Θεσσαλία, Έκταση πληγείσων περιοχών, Πλημμύρα*

## Abstract

This thesis aims to create a flood extent map, using Google Earth Engine, to assess the flooded areas in Thessaly, due to the September 2023 Daniel and Elias storms. Google Earth Engine is a powerful web platform for large-scale cloud-based remote sensing data processing. For the mapping of these floods, the United Nations recommended practice of using the Google Earth Engine to map the specific floods was followed. The platform produces a flood extent map using SAR Sentinel-1 imagery and displays information on cropland and urban areas affected in order to address the set of major concerns caused by flooding.

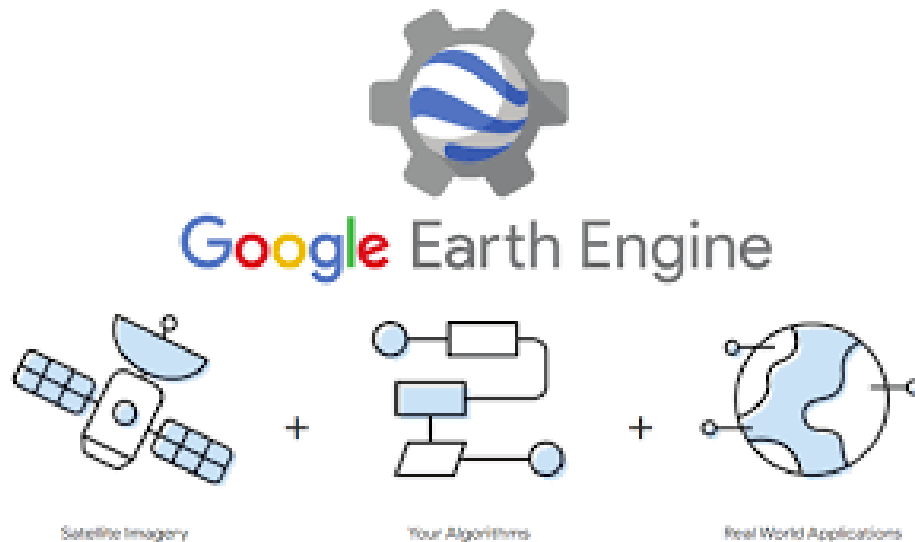
**Keywords:** *Flood mapping, Google Earth Engine, Daniel, Elias, Thessaly, Flood, Flooded area*

## Πίνακας περιεχομένων

1. Google Earth Engine.....	4
1.1 Τα δεδομένα του Google Earth Engine.....	5
1.1.1 LANDSAT .....	5
1.1.2 SENTINEL (ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ COPERNICUS).....	7
1.1.3 MODIS.....	18
1.2 Λειτουργία Google Earth Engine.....	19
1.3 Google Earth Engine Cloud.....	22
2. Πλημμύρες.....	22
2.1 Τύποι πλημμύρας.....	23
2.2 Επιπτώσεις πλημμύρας.....	24
2.3 Μέθοδοι μείωσης επιπτώσεων πλημμύρας .....	26
3. Κακοκαιρία Daniel.....	32
4. Κακοκαιρία Elias .....	34
5. Χαρτογράφηση πλημμυρών και εκτίμηση ζημιών με χρήση του Google Earth Engine ....	35
6. Αποτελέσματα.....	40
6.1 Θεσσαλία.....	41
6.2 Λάρισα .....	44
6.3 Βόλος .....	47
6.4 Τρίκαλα .....	50
6.5 Καρδίτσα .....	53
6.6 Τύρναβος .....	56
6.7 Περιοχή στην κεντρική Θεσσαλία.....	59
6.8 Λίμνη Κάρλα και κοντινές καλλιεργήσιμες περιοχές .....	62
7. Συμπεράσματα .....	65
Αναφορές.....	67

## 1. Google Earth Engine

Το Google Earth Engine είναι μια Cloud πλατφόρμα για επιστημονική ανάλυση και απεικόνιση γεωχωρικών δεδομένων που προέρχονται κυρίως από τηλεπισκόπηση αλλά και από επιστημονικά δεδομένα, τα οποία ο χρήστης επεξεργάζεται με τη χρήση API (Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών). Συνδυάζει έναν κατάλογο πολλών δορυφορικών εικόνων και γεωχωρικών δεδομένων, τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες να οπτικοποιούν, να χειρίζονται, να επεξεργάζονται και να δημιουργούν χωρικά δεδομένα. Ενσωματώνει ένα ευρύ φάσμα εργαλείων χωρικής χρήσης που επιτρέπει σε επιστήμονες, ερευνητές και προγραμματιστές να ανιχνεύουν αλλαγές, να χαρτογραφούν γεγονότα και να ποσοτικοποιούν τις διαφορές στην επιφάνεια της Γης.



Εικόνα 1, Πηγή: <http://unesco.w.sharif.ir/1st-workshop-on-google-earth-engine-gee/>

Το Google Earth Engine παρέχει πρόσβαση σε μια εκτενή συλλογή δεδομένων τηλεπισκόπησης, συμπεριλαμβανομένων δορυφορικών εικόνων, κλιματικών δεδομένων και πληροφοριών εδάφους. Σημαντικές πηγές της βάσης δεδομένων της πλατφόρμας αποτελούν οι δορυφόροι Landsat και Sentinel και το όργανο MODIS. Οι δορυφορικές εικόνες της πλατφόρμας αποθηκεύονται σε ένα δημόσιο αρχείο δεδομένων που περιλαμβάνει ιστορικές εικόνες της γης που χρονολογούνται περισσότερο από 40 χρόνια. Οι εικόνες, που λαμβάνονται σε καθημερινή βάση, διατίθενται στη συνέχεια ως δεδομένα παγκόσμιας κλίμακας. Έτσι, ο χρήστης έχει στη διάθεσή του ένα μεγάλο αρχείο δεδομένων, το οποίο ανανεώνεται συνεχώς, και είναι έτοιμο για χρήση. Το Google Earth Engine δεν προσφέρει μόνο δορυφορικές, γεωφυσικές και καιρικές εικόνες αλλά και άλλου είδους δεδομένα όπως δημογραφικά στοιχεία. Όλα αυτά τα δεδομένα βρίσκονται στη βάση δεδομένων της πλατφόρμας σε cloud μορφή, ενώ ο χρήστης μπορεί να προσθέσει και δικά του δεδομένα.

Με τη χρήση cloud γίνεται και η επεξεργασία δεδομένων και λήψη αποτελεσμάτων, αφού πρώτα ο χρήστης έχει δώσει τις κατάλληλες εντολές μέσω αλγορίθμου, με τις γλώσσες προγραμματισμού JavaScript ή Python και με τη βοήθεια μιας βιβλιοθήκης εντολών του Google Earth Engine την οποία μπορούν να εμπλουτίσουν χρήστες του προγράμματος. Η χρήση cloud τόσο στα δεδομένα όσο και στην επεξεργασία δεδομένων είναι πολύ σημαντική και ένας από τους κυριότερους λόγους που διαφοροποιεί το Google Earth Engine από άλλα γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα, γιατί δεν απαιτεί μεγάλο αποθηκευτικό χώρο ούτε ισχυρό υπολογιστή, αφού η επεξεργασία ανατίθεται σε εξωτερικούς διακομιστές της Google. Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί τρόποι αξιοποίησης του προγράμματος. Κάποια παραδείγματα χρήσης του προγράμματος είναι:

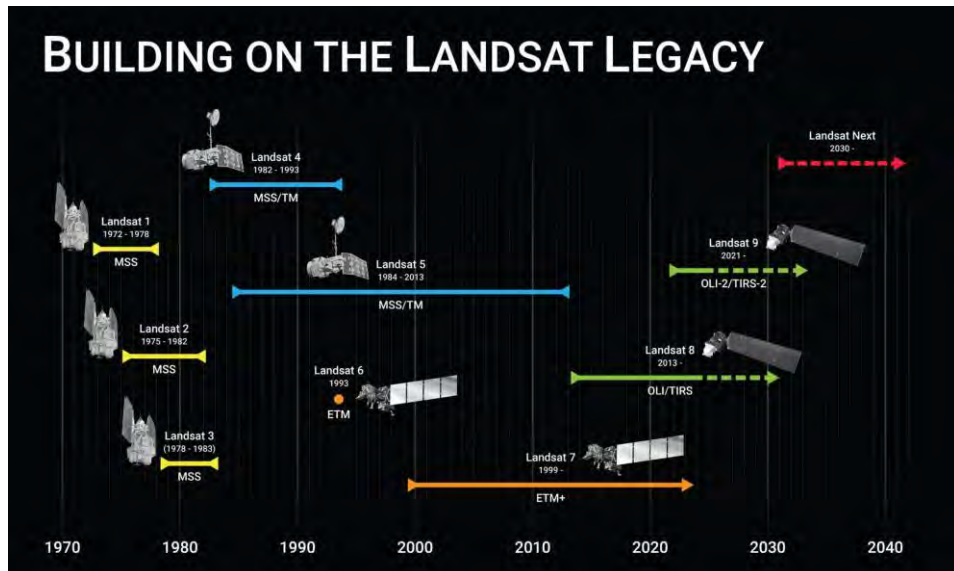
- 1) Περιβαλλοντική παρακολούθηση
- 2) Διαχείριση καταστροφών
- 3) Παρακολούθηση της γεωργίας
- 4) Κλιματική αλλαγή
- 5) Πολεοδομικός σχεδιασμός
- 6) Δημόσια υγεία
- 7) Διαχείριση υδατικών πόρων
- 8) Παρακολούθηση βιοποικιλότητας
- 9) Ανάλυση συστατικών αέρα και εδάφους
- 10) Κλίμα και καιρός
- 11) Γεωφυσική
- 12) Δημογραφικά δεδομένα
- 13) Ωκεανογραφία [2], [3]

### **1.1 Τα δεδομένα του Google Earth Engine**

Το Google Earth Engine παρέχει πρόσβαση σε πολλά petabyte γεωχωρικών δεδομένων ανοιχτού κώδικα, συμπεριλαμβανομένων των αρχείων Landsat, οπτικών δεδομένων και δεδομένων ραντάρ από το Sentinel, ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα (DEMs) και άλλα υψομετρικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένου του Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) και το Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM). Επιπλέον, το Google Earth Engine περιλαμβάνει σύνολα δεδομένων για τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία και άλλες κλιματικές μεταβλητές, όπως η ομάδα Climate Hazards Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS), το Global Historical Climatology Network (GHCN) και η πρόσβαση σε σύνολα δεδομένων κάλυψης και χρήσης γης, όπως το National Land Cover Database (NLCD), το Global Land Cover Facility (GLCF) και το International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP). [3]

#### **1.1.1 LANDSAT**

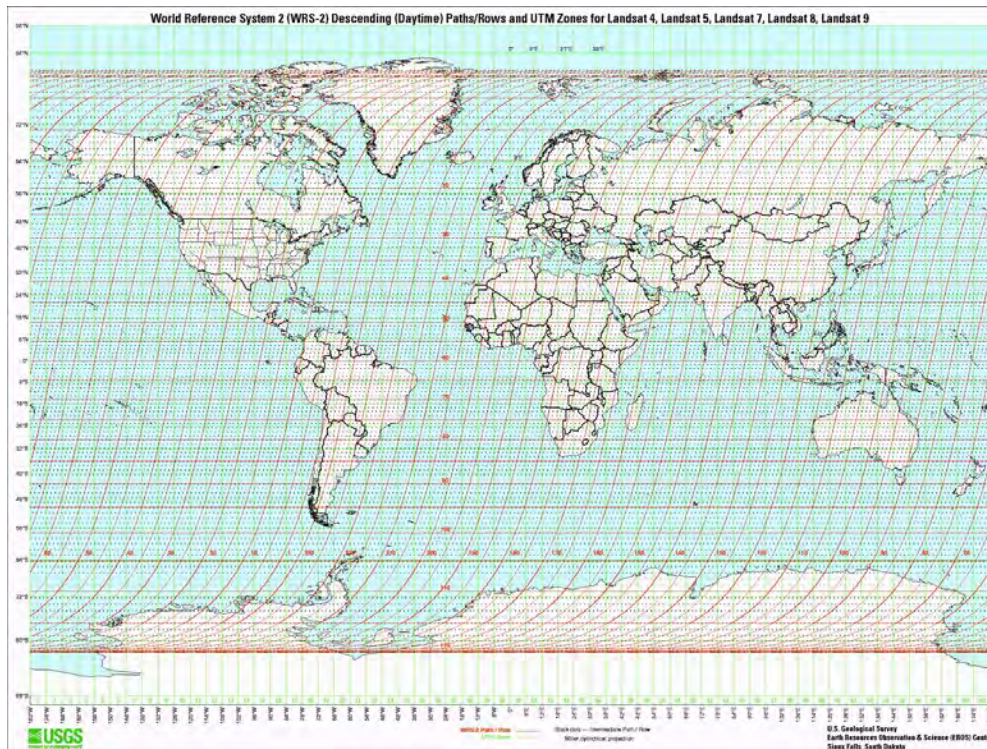
Το πρόγραμμα USGS/NASA Landsat αποτελείται από μια σειρά δορυφορικών αποστολών παρατήρησης της Γης. Απεικονίζει ολόκληρη την επιφάνεια της Γης σε ανάλυση 30 μέτρων περίπου μία φορά κάθε δύο εβδομάδες. Οι σειρές δορυφόρων Landsat τοποθετούνται σε συγχρονισμένη τροχιά με τον Ήλιο και συνεχίζουν την ίδια διαδρομή κάθε 16 ημέρες. Επειδή οι αποστολές ξεκίνησαν το 1972 με το Landsat 1 και συνεχίστηκαν (με εξαίρεση κάποιες τεχνικές δυσλειτουργίες) μέχρι σήμερα, τα δεδομένα του Landsat επιτρέπουν να γίνονται συγκρίσεις, σε χρονικές κλίμακες πολλών δεκαετιών, των αλλαγών του τοπίου λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως το αυξανόμενο μέγεθος πόλεων ή καταστροφής τροπικών δασών λόγω των γεωργικών πρακτικών καύσης. Τα φασματικά και θερμικά δεδομένα που παρέχονται από τους αισθητήρες Landsat αποτελούν βασικό συστατικό πολλών εφαρμογών παρακολούθησης και έρευνας της Γης, όπως διαχείριση καταστροφών, κλίμα της Γης, διαχείριση δασών, αστική ανάπτυξη, υδατικοί πόροι, χαρτογράφηση και άλλα. Τέσσερις δεκαετίες εικόνων Landsat παρέχουν μια μοναδική πηγή για όσους εργάζονται στη γεωργία, τη γεωλογία, τη δασοκομία, τη χαρτογράφηση και την έρευνα για την παγκόσμια αλλαγή. Μετά από περισσότερες από πέντε δεκαετίες παρατηρήσεων και εννιά αποστολών, το πρόγραμμα Landsat συνεχίζει να παρέχει επιστημονικά πολύτιμες εικόνες της Γης.



Εικόνα 2, Πηγή: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-next/mission-details/>

Οι αποστολές Landsat αποτελούνται επί του παρόντος από εννιά επιχειρησιακούς δορυφόρους παρατήρησης της Γης που φέρουν αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων και την απεικόνιση του πλανήτη ως μέρος του προγράμματος National Land Imaging (NLI) του Αμερικανικού Γεωλογικού Ινστιτούτου (USGS). Τα δεδομένα του Landsat υποβάλλονται σε επεξεργασία και φιλοξενούνται στο Κέντρο Παρατήρησης και Επιστήμης των Πόρων της Γης (EROS) του USGS στο Sioux Falls στη Νότια Ντακότα. Ξεκινώντας από τη δεκαετία του 1960, η τηλεπισκόπηση και η επιστημονική κοινότητα εργάστηκαν για να πραγματοποιήσουν αυτές τις αποστολές προς όφελος της ανθρωπότητας, ωφελώντας τη γεωγραφία, τη γεωλογία, την υδρολογία και άλλα πεδία διαχείρισης φυσικών πόρων. Τον Σεπτέμβριο του 1966 η Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA) και το Υπουργείο Εσωτερικών των ΗΠΑ (DOI) συνεργάστηκαν στη διαστημική τεχνολογία παρατήρησης της Γης για την παρακολούθηση των φυσικών πόρων του πλανήτη. Στη συνέχεια, το DOI, η NASA και το Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ (USDA) ξεκίνησαν μία προσπάθεια για την ανάπτυξη και την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου παρατήρησης της Γης. Αυτοί οι δορυφόροι τοποθετήθηκαν σε μια ηλιακή τροχιά, σχεδόν πολική, ολοκληρώνοντας πολλές περιστροφές γύρω από τη Γη κάθε μέρα για να αποτυπώσουν την επιφάνεια της γης. Με αυτήν την τροχιά ότι ο δορυφόρος περνά κοντά στον Βόρειο και τον Νότιο πόλο καθώς περιστρέφεται γύρω από τη Γη. Επίσης περνά πάνω από τον ισημερινό σε διαφορετικό γεωγραφικό μήκος σε κάθε περιστροφή, με αποτέλεσμα το να ολοκληρώνει μια πλήρη εικόνα του πλανήτη μετά από 251 τροχιές δηλαδή περίπου 16 ημέρες. Η διυπηρεσιακή προσπάθεια πέτυχε τον στόχο της στις 23 Ιουλίου 1972, με την εκτόξευση του Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1), που αργότερα μετονομάστηκε σε Landsat 1. Το έργο EROS οδήγησε σε πολυάριθμες διεθνείς συνεργασίες με επίκεντρο την επιστήμη και την τεχνολογία. Για την καταγραφή εικόνων Landsat που συλλέγονται στον Καναδά, το Canada Centre for Remote Sensing (CCRS) δημιούργησε μια σειρά τροχιών, σε όλη τη χώρα τους, που σχεδιάζονται παράλληλα με τις γραμμές γεωγραφικού πλάτους. Το USGS αργότερα υιοθέτησε αυτό το σχήμα επεκτείνοντας το σε ολόκληρη την επιφάνεια του πλανήτη. Αυτό το σύστημα αναφοράς έγινε γνωστό ως Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς (WRS-1). Σήμερα χρησιμοποιούμε το WRS-2, μια επέκταση του συστήματος WRS-1. Το Landsat 1 έως 3 χρησιμοποιούσε το WRS-1 και το Landsat 4 έως 9 χρησιμοποιεί το WRS-2. Η επόμενη αποστολή, Landsat Next, έχει προγραμματιστεί για εκτόξευση το 2030. Θα αποτελείται από τρία παρατηρητήρια που θα αποστέλλονται σε τροχιά με το ίδιο όχημα εκτόξευσης, και θα συλλέγει κατά μέσο όρο περίπου 20 φορές περισσότερα δεδομένα από το Landsat 9. Η διαρκής κληρονομιά του Project EROS συνεχίζεται με το πρόγραμμα Landsat μέχρι σήμερα. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από πολλούς δορυφόρους παρατήρησης της

Γης, όπως ο Landsat, χρησιμεύουν τώρα ως ένα κοινό, αξιόπιστο αρχείο για την περιβαλλοντική αλλαγή σε όλο τον κόσμο. Τον τελευταίο μισό αιώνα, η καταγραφή της παρατήρησης της Γης από το διάστημα έχει γίνει απαραίτητο θεμέλιο σχεδόν όλων των συζητήσεων σχετικά με την κατάσταση του πλανήτη. [4]



Εικόνα 3: Χάρτης με κάποιες διαδρομές του World Reference System-2 (WRS-2), Πηγή: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>

### 1.1.2 SENTINEL (ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ COPERNICUS)

Το Copernicus είναι ένα πρόγραμμα γεωσκόπησης που παρέχει ακριβείς, έγκαιρες και εύκολα προσβάσιμες πληροφορίες για τη βελτίωση της διαχείρισης του περιβάλλοντος, την κατανόηση και τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και τη διασφάλιση της πολιτικής ασφάλειας. Το πρόγραμμα Copernicus υλοποιείται σε συνεργασία με τα κράτη μέλη, τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA), τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Εκμετάλλευση Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT), το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF), τους Οργανισμούς της ΕΕ και τον Mercator Ocean International. Τεράστιες ποσότητες παγκόσμιων δεδομένων από δορυφόρους και επίγεια αερομεταφερόμενα και θαλάσσια συστήματα μέτρησης παρέχουν πληροφορίες για να βοηθήσουν τους παρόχους υπηρεσιών τις δημόσιες αρχές και άλλους διεθνείς οργανισμούς να βελτιώσουν τη ζωή των πολιτών. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες πληροφόρησης είναι δωρεάν και ανοιχτά προσβάσιμες στους χρήστες. Το Copernicus καλύπτει ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως κλιματική αλλαγή, παρακολούθηση γαιών, θερμοκρασία και πυρκαγιά, γεωργία, παρακολούθηση καταστροφών (όπως πλημμύρες, ηφαίστεια, σεισμοί), ατμοσφαιρική ρύπανση και άλλα.

Για να καλύψει τις επιχειρησιακές ανάγκες του προγράμματος Copernicus, η ESA ανέπτυξε την οικογένεια δορυφόρων Sentinel. Αυτές οι αποστολές υποστηρίζονται από το επίγειο τμήμα Copernicus, το οποίο επιβλέπει τις δορυφορικές λειτουργίες, καθώς και την απόκτηση, την παραγωγή και τη διάδοση δεδομένων. Τρεις πλήρεις συστοιχίες με δύο δορυφόρους βρίσκονται σε τροχιά, μαζί με δύο επιπλέον μεμονωμένους δορυφόρους Sentinel-5P. Με το τέλος της αποστολής για τον δορυφόρο Sentinel-1B, ο Sentinel-1C σχεδιάζεται να ενωθεί με τον

Sentinel-1A σε τροχιά για να αποκαταστήσει τη συστοιχία Sentinel-1. Οι Sentinel παρέχουν ένα σύνολο παρατηρήσεων, ξεκινώντας με τις εικόνες ραντάρ παντός καιρού, ημέρας και νύχτας από την αποστολή Sentinel-1, που εκτοξεύτηκε το 2014 και το 2016 αντίστοιχα. Το Sentinel-2A, που κυκλοφόρησε στις 23 Ιουνίου 2015, έχει σχεδιαστεί για να παρέχει οπτικές εικόνες υψηλής ανάλυσης για υπηρεσίες ξηράς. Οι δύο δορυφόροι Sentinel-3, που εκτοξεύτηκαν στις 16 Φεβρουαρίου 2016 και στις 25 Απριλίου 2018, παρέχουν δεδομένα για υπηρεσίες που σχετίζονται με τον ωκεανό και τη στεριά. Το Sentinel-3 marine λειτουργεί από την EUMETSAT και το Sentinel-3 land που διαχειρίζεται η ESA. Στις 13 Οκτωβρίου 2017 εκτοξεύτηκε το Sentinel-5P για την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας της γης. Το Space Component, που διαχειρίζεται από την ESA, εξυπηρετεί τους χρήστες με δορυφορικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα μέσω των Sentinels σε εθνικό, ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο.



Εικόνα 4, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/copernicus-programme>

### Sentinel-1

Το Sentinel-1 είναι ένα βασικό στοιχείο του προγράμματος Copernicus της ESA, σχεδιασμένο να παρέχει πολύτιμες και αξιόπιστες εικόνες ραντάρ για παρατήρηση της Γης. Αυτή η δορυφορική συστοιχία ραντάρ αποτελείται από δύο πανομοιότυπους δορυφόρους, τον Sentinel-1A και τον Sentinel-1B, που συνεργάζονται για να επιτρέψουν τη συνεχή απεικόνιση της επιφάνειας της Γης. Η κύρια αποστολή του Sentinel-1 είναι να αποκτήσει δεδομένα SAR, για την παρακολούθηση διαφόρων πτυχών της Γης. Η τεχνολογία SAR επιτρέπει την απεικόνιση της επιφάνειας της Γης ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες, το φως της ημέρας ή την κάλυψη σύννεφων, διασφαλίζοντας την απόκτηση κρίσιμων δεδομένων υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Οι εικόνες SAR είναι ο καλύτερος τρόπος για την παρακολούθηση της καθίζησης και των δομικών ζημιών. Αυτού του είδους οι πληροφορίες είναι απαραίτητες για την παρακολούθηση μετατοπίσεων από σεισμούς, κατολισθήσεις και ύψωσης του εδάφους λόγω ηφαιστίων. Επιπλέον, βοηθά την παρακολούθηση των γεωλογικών κινδύνων, την εξόρυξη, τη γεωλογία και τον πολεοδομικό σχεδιασμό μέσω της αξιολόγησης του κινδύνου καθίζησης. Τα προϊόντα διπλής πολωσιμετρίας της αποστολής ωφελούν τους χρήστες που ενδιαφέρονται για τη γεωργία, τη δασοκομία και την ταξινόμηση της κάλυψης γης. Η ικανότητα SAR να παρέχει παρατήρηση σε όλες τις καιρικές συνθήκες και σε συνθήκες ημέρας ή νύχτας, το καθιστά ιδανικό για θαλάσσια και αρκτική παρακολούθηση. Οι εικόνες που λαμβάνονται πάνω από τον ωκεανό είναι απαραίτητες για τη δημιουργία έγκαιρων χαρτών

θαλάσσιου πάγου, για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση πετρελαιοκηλίδων και προσφέρουν βασικές πληροφορίες για τον άνεμο και τα κύματα στην ανοιχτή θάλασσα για εφαρμογές ναυτιλίας και κυματικής ενέργειας. Ακόμα, το Sentinel-1 έχει σχεδιαστεί ειδικά για να παρέχει άμεσα εικόνες σε περίπτωση καταστροφών όπως πλημμύρες και σεισμούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι το Sentinel-1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον τομέα της ασφάλειας ώστε να παρακολουθεί τις κύριες διαδρομές ναυτιλίας για να ανιχνεύει παράνομες δραστηριότητες, να εντοπίζει κτίρια σε περιοχές όπου απαγορεύονται οι κατασκευές, να παρακολουθεί την αποψίλωση των δασών και να βοηθά δραστηριότητες έρευνας και διάσωσης. Τα κύρια χαρακτηριστικά της αποστολής, όπως ο σύντομος χρόνος επανεπισκεψης και η ταχεία διάδοση δεδομένων, ωφελούν τους χρήστες στην αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, όπως πλημμύρες, σεισμοί, ηφαιστειακές εκρήξεις και κατολισθήσεις.

### Περιγραφή Sentinel-1

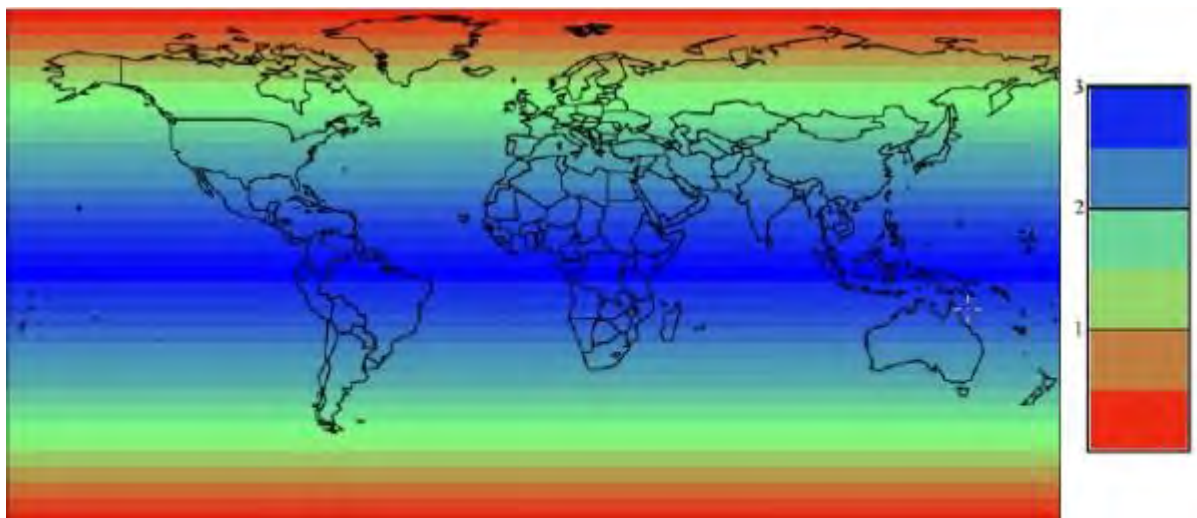


Εικόνα 5, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission#Sentinel-1-Mission>

Η αποστολή Sentinel-1 περιλαμβάνει μία συστοιχία δύο δορυφόρων, συγχρονισμένων με τον ήλιο, σε πολική τροχιά, που μοιράζονται το ίδιο τροχιακό επίπεδο με διαφορά φάσης τροχιάς  $180^\circ$ . Λειτουργούν μέρα και νύχτα εκτελώντας απεικόνιση ραντάρ συνθετικού διαφράγματος C-band, επιτρέποντάς τους να αποκτούν εικόνες ανεξάρτητα από το καιρό. Λειτουργεί σε τέσσερις αποκλειστικές λειτουργίες απεικόνισης με διαφορετική ανάλυση (έως 5 m) και κάλυψη (έως 400 km). Παρέχει δυνατότητα διπλής πόλωσης, πολύ σύντομους χρόνους επανεπίσκεψης και γρήγορη παράδοση αποτελεσμάτων. Για κάθε παρατήρηση, διατίθενται ακριβείς μετρήσεις της θέσης και της στάσης του διαστημικού σκάφους. Το Sentinel εκτός από τη δημιουργία ενός αρχείου δεδομένων για εφαρμογές όπως αυτές που αναφέρονται παραπάνω, είναι προγραμματισμένο και για την αποφυγή συγκρούσεων. Το Sentinel-1 αποτελείται από δύο αποστολές δορυφόρων, τον Sentinel-1A (3 Απριλίου 2014) και τον Sentinel-1B (25 Απριλίου 2016). Το Sentinel-1B αντιμετώπισε μια ανωμαλία που σχετίζεται με την τροφοδοσία ηλεκτρονικών οργάνων που παρέχεται από τη δορυφορική πλατφόρμα, αφήνοντάς το ανίκανο να παρέχει δεδομένα ραντάρ από τις 23 Δεκεμβρίου 2021, κατά συνέπεια, η ESA ανακοίνωσε το τέλος της αποστολής στις 3 Αυγούστου 2022. Η εκτόξευση του Sentinel-1C προγραμματίζεται για τις αρχές του 2024.

Ο δορυφόρος Sentinel-1 δημιουργήθηκε από μια βιομηχανική κοινοπραξία με επικεφαλής την Thales Alenia Space Italy, με την Astrium Germany να είναι υπεύθυνη για το ωφέλιμο φορτίο CSAR, ενσωματώνοντας το κεντρικό υποσύστημα ηλεκτρονικών ραντάρ που αναπτύχθηκε από την Astrium UK. Το διαστημόπλοιο είναι ένας σταθεροποιημένος δορυφόρος τριών αξόνων, σύστημα διεύθυνσης yaw/pitch/roll (zero Doppler), που αποτελείται από αισθητήρες ήλιου, αστέρα, γυροσκοπίου και μαγνητικού πεδίου, ένα σύνολο τεσσάρων τροχών αντίδρασης αφιερωμένο στον έλεγχο τροχιάς και στάσης και τρεις ράβδους ροπής ως ενεργοποιητές για την παροχή δυνατοτήτων διεύθυνσης σε κάθε άξονα. Ο δορυφόρος είναι εξοπλισμένος με δύο πτερύγια ηλιακής συστοιχίας ικανά να παράγουν 5900 W (στο τέλος της ζωής του) για αποθήκευση σε μια αρθρωτή μπαταρία χωρητικότητας 324 Ah. Ο δορυφόρος βασίζεται στην πλατφόρμα PRIMA (Piattaforma Italiana Multi Applicativa) η οποία παρέχει δυνατότητες για τη διαχείριση των συστημάτων ελέγχου στάσης και τροχιάς, χειρισμό επιστημονικών δεδομένων με δυνατότητα αποθήκευσης 1.410 Gb, πρόωση, ισχύ, θερμικό έλεγχο, αυτονομία διαστημικού σκάφους και εντοπισμό αστοχίας και ανάκτηση, και επικοινωνία με το έδαφος. Η συνολική μάζα του διαστημικού σκάφους κατά την εκτόξευση είναι περίπου 2300 kg (συμπεριλαμβανομένων 130 kg καυσίμου). [16]

Ο Sentinel-1 βρίσκεται σε μια σχεδόν πολική, σύγχρονη τροχιά, με κύκλο επανάληψης 12 ημερών και 175 τροχιές ανά κύκλο. Τόσο το Sentinel-1A όσο και το Sentinel-1B μοιράζονται το ίδιο επίπεδο τροχιάς με διαφορά φάσης τροχιάς 180°. Με τους δύο δορυφόρους που λειτουργούν, ο κύκλος επανάληψης είναι έξι ημέρες. Δεδομένου ότι η απόσταση τροχιάς ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, ο ρυθμός επανεπίσκεψης (αύξουσα/φθίνουσα προβολή) είναι σημαντικά μεγαλύτερος σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη από ό,τι στον ισημερινό: λιγότερο από 1 ημέρα στην Αρκτική και παρέχει κάλυψη σε Ευρώπη και Καναδά, κύριες διαδρομές αποστολής σε 1-3 ημέρες και σε 3 ημέρες στον ισημερινό. Τα δεδομένα ραντάρ παραδίδονται στις υπηρεσίες Copernicus εντός μίας ώρας από την απόκτηση.



- ✓ Two satellites in a 12 day orbit
- ✓ Repeat frequency: 6 days (important for coherence)
- ✓ Revisit frequency: (asc/desc & overlap): 3 days at the equator, <1 day at high latitudes (Europe ~ 2 days)

Εικόνα 6: Χάρτης με τον χρόνο επανεπίσκεψης για τους δορυφόρους Sentinel-1A και Sentinel-1B σε ημέρες ανά επανάληψη, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission#Sentinel-1-Mission>

### Τεχνολογία SAR

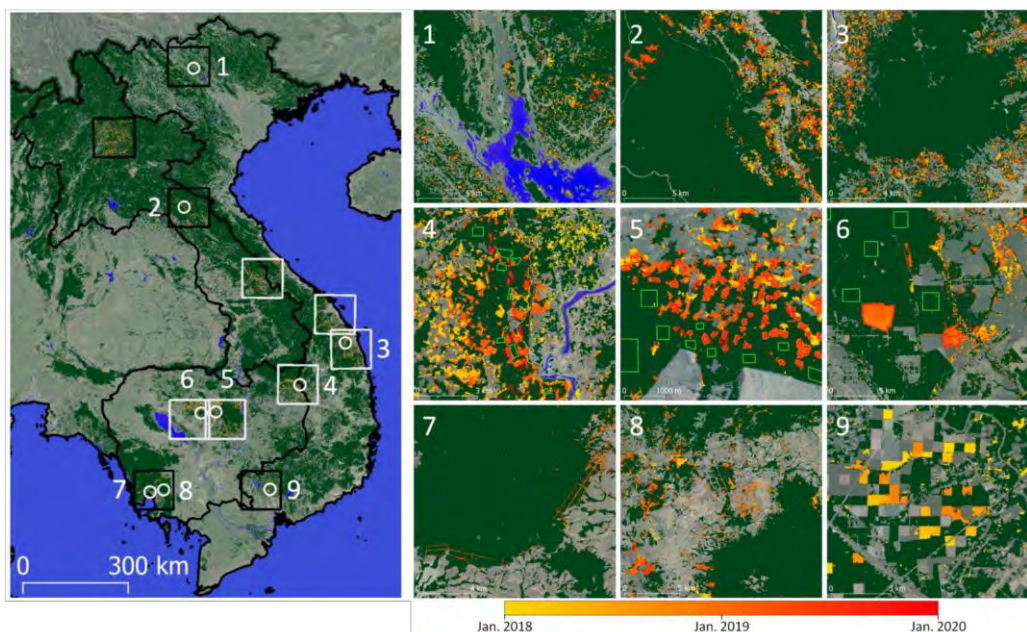
Το όργανο C-SAR έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί από την EADS Astrium GmbH της Γερμανίας. Το όργανο παρέχει μια δυνατότητα απεικόνισης παντός καιρού, ημέρας και νύχτας για τη λήψη δεδομένων μέτρησης σε υψηλή και μεσαία ανάλυση. Η λειτουργία του βασίζεται

στο φαινόμενο Doppler. Οι αισθητήρες χρησιμοποιούν συχνότητες μικροκυμάτων για να εκπνεύσουν και να λάβουν σήματα, υπό γωνία και δεξιά της κατεύθυνσης των δορυφόρων, για να δημιουργήσουν ένα συνθετικό άνοιγμα της πραγματικής κεραίας του ραντάρ. Το σήμα επανασκεδάζεται στην επιφάνεια της Γης και το σύστημα SAR υπολογίζει την ισχύ του και δημιουργεί απεικονίσεις. Έτσι γνωρίζουμε και το υλικό στο οποίο επανασκεδάζεται το σήμα, αφού η τραχύτητα του αντικειμένου, η διηλεκτρικότητά του και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν την ισχύ του σήματος. Σημαντική είναι και η φάση του σήματος, δηλαδή ο χρόνος από τη στιγμή που το σήμα φεύγει από τον αισθητήρα, φτάνει σε έναν στόχο στην επιφάνεια της Γης και γυρίζει ξανά στο αισθητήρα του δορυφόρου. Οπότε για να υπολογίσουμε τη θέση του στόχου, δηλαδή την απόσταση στόχου δορυφόρου, αρκεί να διαιρέσουμε τη φάση με το μήκος κύματος του σήματος. Συνδυάζοντας τα δεδομένα φάσης από διαφορετικές απεικονίσεις (ανερχόμενες και κατερχόμενες ή διαφορετικές χρονικές εποχές, κ.λ.π.) προκύπτουν τυχόν μετατοπίσεις των επίγειων στόχων, δηλαδή η Συμβολομετρία SAR (InSAR, Interferometric Synthetic Aperture Radar). Έτσι η συμβολομετρία SAR υπολογίζει τη συνολική οριζόντια και κατακόρυφη μετατόπιση στοιχείων στην επιφάνεια της Γης για τη για τη χαρτογράφηση της εδαφικής παραμόρφωσης.

## Εφαρμογές του δορυφόρου Sentinel-1

### Sentinel-1 και διαχείριση δασών

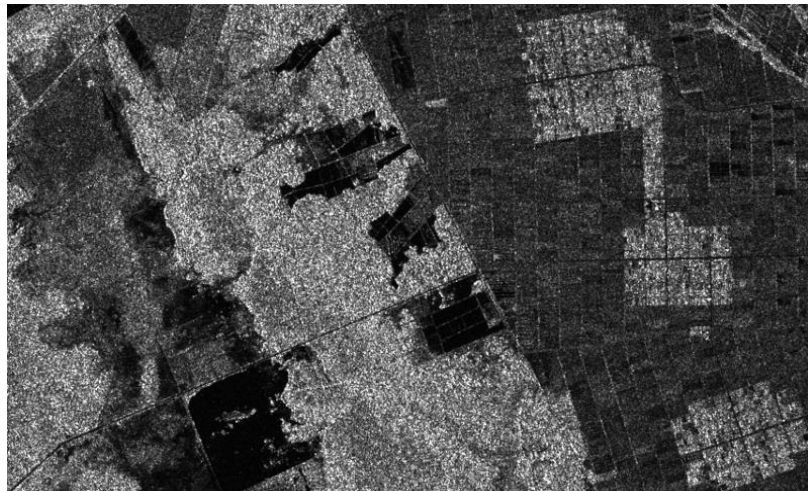
Το Sentinel-1 μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη βιώσιμη διαχείριση των δασών με ανίχνευση, ταξινόμηση τύπου δασών, εκτίμηση βιομάζας και ανίχνευση διαταραχών. Για την κλιματική αλλαγή, η χαρτογράφηση των ζημιών των δασικών πυρκαγιών μπορεί να είναι ένα σημαντικό μέρος της χαρτογράφησης της ιστορίας του άνθρακα ενός δάσους και διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην εκτίμηση των εκπομπών άνθρακα. Οι χάρτες κάλυψης γης μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διαχείριση των δασών και στην παρακολούθηση της παράνομης υλοτόμησης ξυλείας παγκοσμίως. Για την εφαρμογή της διαχείρισης των δασών η διπλή πόλωση είναι η καταλληλότερη. Στην πραγματικότητα, η πόλωση VH είναι πιο ευαίσθητη στην αλλαγή στην πυκνότητα και τη δομή της βλάστησης, ενώ η πόλωση VH/VV είναι ένας σημαντικός δείκτης για την περιεκτικότητα της βλάστησης σε νερό.



Εικόνα 7: Χάρτης ανίχνευσης αποψίλωσης στο Λάος, την Καμπότζη και το Βιετνάμ από το 2018 έως το 2020, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission#Sentinel-1-Mission>

### Sentinel-1 και γεωργία

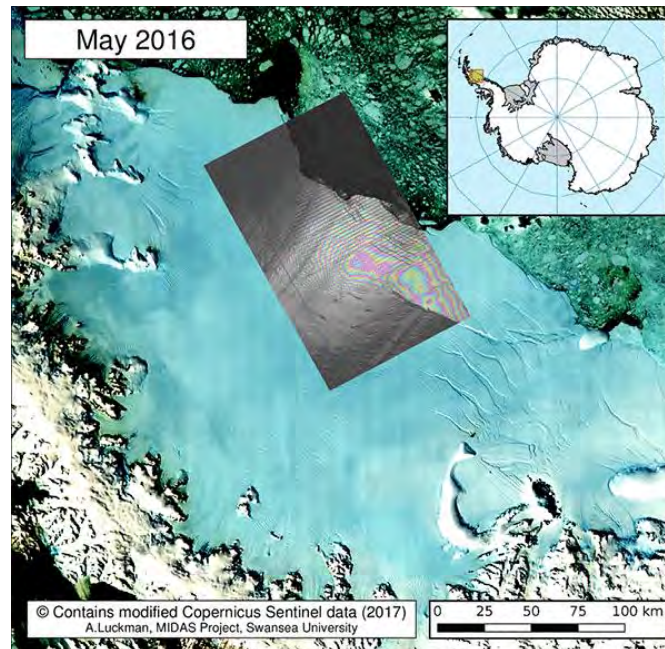
Η παρακολούθηση των συνθηκών των καλλιεργειών, των ιδιοτήτων του εδάφους και της χαρτογράφησης των δραστηριοτήτων οργώματος, συμβάλλει στην αξιολόγηση της χρήσης γης, στην πρόβλεψη των συγκομιδών, στην παρακολούθηση των εποχιακών αλλαγών και στην εφαρμογή της πολιτικής για την αειφόρο ανάπτυξη. Το Sentinel-1 μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των αλλαγών της γεωργικής παραγωγής και της παραγωγικότητας των βοσκοτόπων που προκαλούνται από την ξηρασία, και την παρακολούθηση της μείωσης της παραγωγικότητας της γης και της υποβάθμισης του εδάφους λόγω υπερβολικής καλλιέργειας και βοσκοτόπων, και ακατάλληλης άρδευσης. Οι γεωργικοί χάρτες επιτρέπουν την παροχή ανεξάρτητων και αντικειμενικών εκτιμήσεων για την έκταση της καλλιέργειας σε μια δεδομένη περιοχή ή καλλιεργητική περίοδο, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υποστηρίξουν τις προσπάθειες για τη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας σε ευάλωτες περιοχές. Για τους ίδιους λόγους με την εφαρμογή της διαχείρισης των δασών χρησιμοποιείται η πόλωση VH και η πόλωση VH/VV.



Εικόνα 8: Χάρτης κάλυψη γης, βορειοανατολικά της Γουιάνας το 2017, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission#Sentinel-1-Mission>

### Sentinel-1 και παρακολούθηση πάγου

Οι υπηρεσίες χαρτογράφησης πάγου υψηλής ανάλυσης παρέχουν ταξινομήσεις πάγου και δεδομένα παγόβουνου, για να βοηθήσουν στη διασφάλιση της ασφαλούς πλοήγησης όλο το χρόνο στις καλυμμένες από πάγο αρκτικές και υποαρκτικές ζώνες. Για τον θαλάσσιο πάγο, μπορούν να προσδιοριστούν πληροφορίες σχετικά με τη συγκέντρωση, την έκταση, τον τύπο, το πάχος και την ταχύτητα μετατόπισης του πάγου, καθώς και τη θέση, το μέγεθος και τη μετατόπιση των παγόβουνων. Τα δεδομένα διπλής πόλωσης Copernicus Sentinel-1 μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ταξινόμηση του πάγου. Η αλληλεπίδραση του SAR με τον θαλάσσιο πάγο είναι ένα σύνθετο φαινόμενο που εξαρτάται από τις παραμέτρους του ραντάρ (συχνότητα, πόλωση, γωνία πρόσπτωσης), τα χαρακτηριστικά του πάγου (αλατότητα, τραχύτητα, πάχος, πυκνότητα, προσανατολισμός, εγκλείσματα) και τις ιδιότητες του χιονιού που καλύπτει την επιφάνεια του παγου (περιεκτικότητα σε υγρασία, μέγεθος κόκκου, πυκνότητα, πάχος). Για την ταξινόμηση του παγου χρησιμοποιείται η διπλή πόλωση HH και HV.

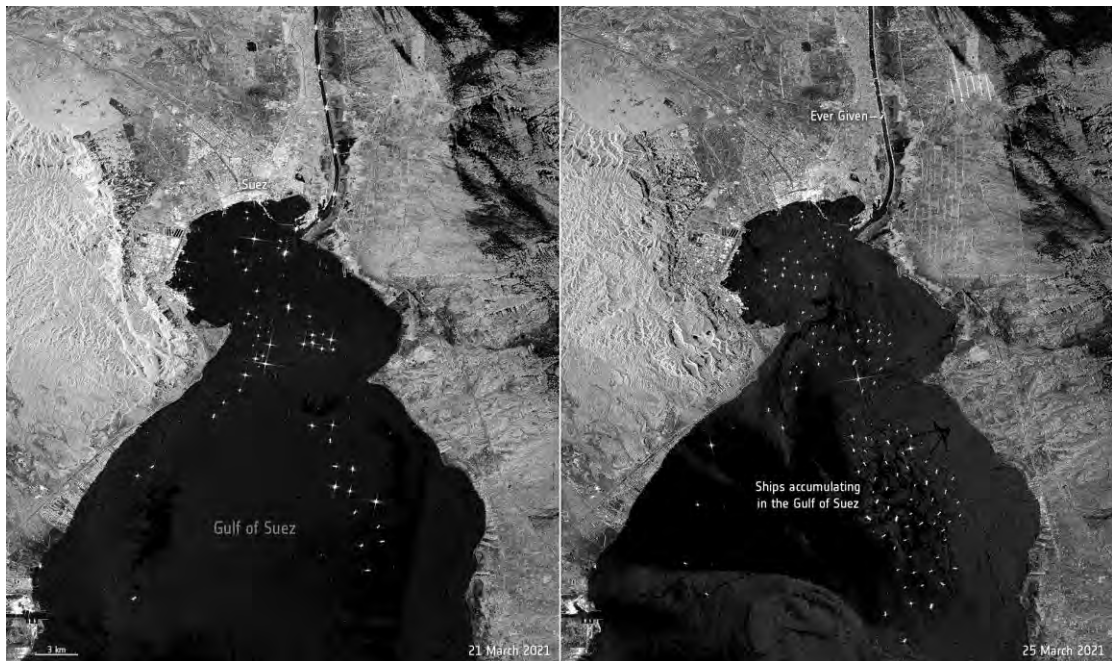


Εικόνα 9, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission#Sentinel-1-Mission>

### Sentinel-1 και Παρακολούθηση Πλοίου

Η θαλάσσια επιτήρηση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθοδολογίες. Μια πρώτη επιλογή αποτελείται από συστήματα συνεργασίας στα οποία τα ίδια τα πλοία αναφέρουν την ταυτότητα και τη θέση τους. Οι τρεις πιο κοινές επιλογές είναι το Automatic Identification System (AIS), το Long Range Identification and Tracking (LRIT) και το Vessel Monitoring System (VMS). Ενώ το πρώτο είναι στην πραγματικότητα διαθέσιμο συνεχώς και παγκοσμίως, τα άλλα δύο δεν είναι. Μια άλλη επιλογή είναι τα μη συνεργατικά συστήματα που δεν απαιτούν συνεργασία του σκάφους. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν συνήθως κάμερες και ραντάρ που βρίσκονται σε διάφορες πλατφόρμες (πλοία, αεροπλάνα, δορυφόροι κ.λπ.). Η ανίχνευση πλοίων μέσω των διαστημοπλοίων Copernicus Sentinel-1 A και B εμπίπτει στην κατηγορία των μη συνεργαζόμενων και επιτρέπει τον εντοπισμό σκαφών που δεν φέρουν AIS ή άλλο σύστημα παρακολούθησης, όπως μικρότερα αλιευτικά ή πλοία που βρίσκονται στην περιοχή της έρευνας παράνομα (παράνομη αλιεία, πειρατεία κλπ.).

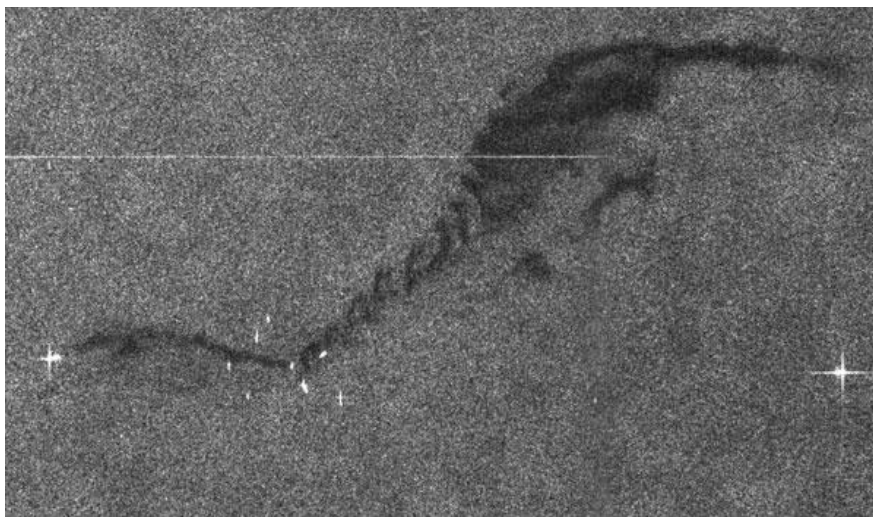
Στην παρακάτω εικόνα το τεράστιο πλοίο μεταφοράς εμπορευμάτων Ever Given, σφηνωμένο στη Διώρυγα του Σουέζ της Αιγύπτου, είναι ορατό σε εικόνες που τραβήχτηκαν από την αποστολή Copernicus Sentinel-1. Το γιγάντιο πλοίο μεταφοράς εμπορευμάτων προσάραξε στο κανάλι στις 23 Μαρτίου στο ταξίδι του από την Κίνα προς την Ολλανδία. Η εικόνα στα αριστερά, που τραβήχτηκε στις 21 Μαρτίου, δείχνει τη συνήθη θαλάσσια κυκλοφορία στο κανάλι με σκάφη ορατά κάθε 2 έως 3 χλμ. Η εικόνα στα δεξιά, που τραβήχτηκε στις 25 Μαρτίου, δείχνει το πλοίο 400 μέτρων να φράζει το κανάλι.



Εικόνα 10, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission#Sentinel-1-Mission>

### Sentinel-1 και ρύπανση από πετρέλαιο

Οι εφαρμογές ανίχνευσης πετρελαίου χρησιμοποιούνται για τη συλλογή αποδεικτικών στοιχείων για παράνομες απορρίψεις, την ανάλυση της εξάπλωσης των πετρελαιοκηλίδων και την αναζήτηση αποθεμάτων πετρελαίου, επισημαίνοντας τη φυσική διαρροή. Οι πετρελαιοκηλίδες είναι ευδιάκριτα ορατές στις εικόνες SAR ως χαρακτηριστικά σκοτεινά στοιχεία. Οι περισσότερες πετρελαιοκηλίδες προκαλούνται από τα πλοία που αδειάζουν πριν εισέλθουν στο λιμάνι. Η ανίχνευση φυσικής διαρροής πετρελαίου από τον πυθμένα του ωκεανού μπορεί να παρέχει ενδείξεις για την αναζήτηση πετρελαίου.

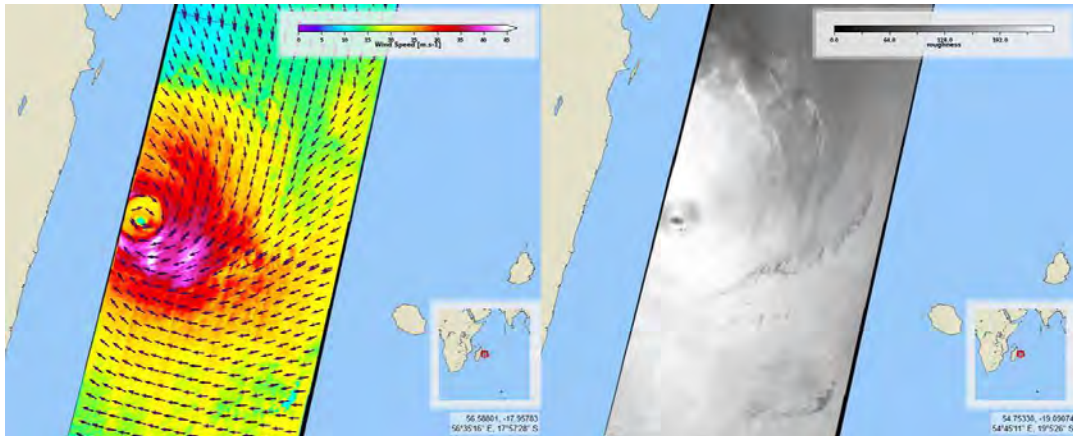


Εικόνα 11: Η πετρελαιοκηλίδα που παρατηρήθηκε στα ανοιχτά των βελγικών ακτών κοντά στο Zeebrugge στις 08/10/2015 μετά από σύγκρουση δύο πλοίων, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission#Sentinel-1-Mission>

### Sentinel-1 και θαλάσσια κύματα και άνεμοι

Το SAR είναι ευαίσθητο σε χωρικά μεταβαλλόμενα μοτίβα τραχύτητας επιφάνειας που προκαλούνται από ανέμους στην επιφάνεια του ωκεανού. Τα προϊόντα ωκεανού Copernicus Sentinel-1, σε συνδυασμό με παγκόσμια μοντέλα ωκεάνιων κυμάτων, βοηθούν στον προσδιορισμό της κατεύθυνσης, του μήκους κύματος και των υψών των κυμάτων στους

ανοιχτούς ωκεανούς και βοηθούν στην πρόβλεψη του καιρού, στη μεταφορά πλοίων και σε εφαρμογές κυματικής ενέργειας. Αυτό είναι χρήσιμο για την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ κυμάτων και ρευμάτων και για την απεικόνιση ωκεάνιων ρευμάτων μεγάλης κλίμακας, κρύων/θερμών μαζών νερού, παράκτιων υδάτινων ρευμάτων και εσωτερικών κυμάτων, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα για εφαρμογές ναυτιλίας και κυματικής ενέργειας, με δυνητικά οικονομικά οφέλη. Τα συστήματα Synthetic Aperture Radar (SAR), όπως αυτά στους δορυφόρους Sentinel-1, μπορούν να παρέχουν μετρήσεις ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου στον ωκεανό, ειδικά σε θαλάσσιες παράκτιες περιοχές και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, όπως η θαλάσσια μετεωρολογία, η ωκεανογραφία, η παρακολούθηση πετρελαιοκηλίδων και η αξιολόγηση των αιολικών πόρων για λειτουργίες σταθμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 12: Κυκλώνας Emnati, που παρατηρήθηκε από το Sentinel-1A στις 22 Φεβρουαρίου 2022, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission#Sentinel-1-Mission>

### Sentinel-1 και διαχείριση πλημμύρας

Πάνω από το 75% των φυσικών καταστροφών που συμβαίνουν παγκοσμίως αφορούν πλημμύρες. Η ικανότητα του SAR να παρατηρεί κατά τη διάρκεια της νεφοκάλυψης και οι συχνές επισκέψεις του Sentinel-1 το καθιστούν ιδανικό για παρακολούθηση πλημμύρας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της έκτασης των πλημμυρισμένων περιοχών και των επιπτώσεων στην ανθρώπινη, οικονομική και περιβαλλοντική απώλεια. Επιπλέον, ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα υψηλής ανάλυσης (DEMs), που δημιουργούνται μέσω του Sentinel-1, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση απορροής και πλημμύρας σε περιοχές που προηγουμένως δεν είχαν υψομετρικά δεδομένα. Οι ήρεμες επιφάνειες ανοιχτού νερού εμφανίζονται επίπεδες όταν χτυπηθούν από ακτινοβολία SAR και η ακτινοβολία διασκορπίζεται μακριά από τον αισθητήρα του δορυφόρου. Κατά συνέπεια, η λαμβανόμενη ενέργεια (μετρούμενη ως οπισθοσκέδαση) είναι χαμηλή και παρουσιάζει υψηλή αντίθεση με τις γενικές επιφάνειες γης. Γενικά, η βασική αρχή των μεθόδων χαρτογράφησης πλημμυρών που βασίζονται στο SAR είναι ο εντοπισμός μετρήσεων χαμηλής οπισθοσκέδασης όπου αναμένεται γη υπό κανονικές συνθήκες. Απαιτούνται δύο πολώσεις SAR (VV και VH) για να επιτραπεί η ανίχνευση πλημμυρισμένης βλάστησης.



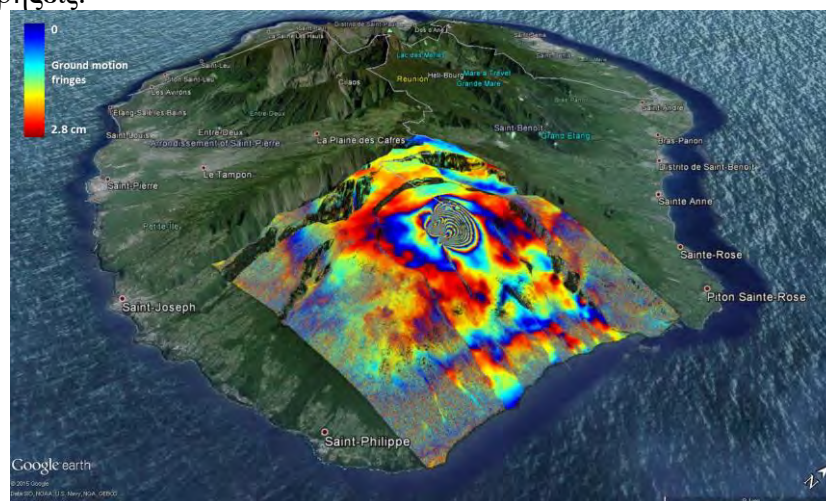
Εικόνα 13: Χαρτογράφηση πλημμυρισμένων περιοχών στο Μπαγκλαντές το 2016 με χρήση δεδομένων Sentinel-1, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission#Sentinel-1-Mission>

### Sentinel-1 και ανάλυση σεισμών

Το SAR παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής χαρτών μεσαίας και υψηλής ανάλυσης παραμορφώσεων σεισμών. Μέσω της επίμονης παρακολούθησης των σεισμογενών περιοχών, μπορούν να ανακαλυφθούν ενεργές γραμμές ρηγμάτων και να μελετηθούν οι πιθανοί κίνδυνοι.

### Sentinel-1 και παρακολούθηση κατολισθήσεων και ηφαιστειών

Η συμβολομετρία InSAR μπορεί να εντοπίσει περιοχές επιρρεπείς σε κατολισθήσεις και να παρακολουθεί την παραμόρφωση της επιφάνειας για να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση για πιθανές καταστροφές. Η ανύψωση πριν από την έκρηξη και η ηφαιστειακή συρρίκνωση μετά την έκρηξη μπορούν να παρακολουθηθούν και να συμπληρώσουν παρατηρητήρια ηφαιστειών. Η παρακολούθηση InSAR μπορεί να βοηθήσει στην ανίχνευση των πρώτων σημείων αύξησης ηφαιστειακής δραστηριότητας, προηγούμενων σεισμών και άλλων παραγόντων που μπορεί να σηματοδοτούν εκρήξεις.



Εικόνα 14: Χάρτης με την παραμόρφωση που σημειώθηκε στο ηφαίστειο Piton de la Fournaise στο Νησί Ρεϋνιόν τον Μάιο του 2015, Πηγή: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission#Sentinel-1-Mission>

## Sentinel-2



Εικόνα: 15, Πηγή: [6]

Το Sentinel-2 είναι μια ευρωπαϊκή αποστολή απεικόνισης ευρείας ζώνης, υψηλής ανάλυσης και πολλαπλών φασμάτων. Η πλήρης προδιαγραφή αποστολής των δίδυμων δορυφόρων που πετούν στην ίδια τροχιά αλλά σταδιακά στις 180°, έχει σχεδιαστεί για να παρέχει υψηλή συχνότητα επανεπίσκεψης 5 ημερών στον Ισημερινό. Αυτοί οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη μιας ποικιλίας υπηρεσιών και εφαρμογών που προσφέρει το Copernicus, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης γης, της γεωργίας, της δασοκομίας, του ελέγχου καταστροφών, των επιχειρήσεων ανθρωπιστικής βοήθειας, της χαρτογράφησης κινδύνου και των ανησυχιών για την ασφάλεια. Η αποστολή Sentinel-2 αποτελείται από δύο πανομοιότυπους δορυφόρους, τον Sentinel-2A και τον Sentinel-2B.

Η αποστολή Sentinel-2 παρέχει συστηματική κάλυψη στους ακόλουθους τομείς:

- 1) όλες οι ηπειρωτικές χερσαίες επιφάνειες (συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών υδάτων) μεταξύ γεωγραφικών πλατών 56° νότια και 82,8° βόρεια
- 2) όλα τα παράκτια ύδατα έως και 20 χλμ. από την ακτή
- 3) όλα τα νησιά μεγαλύτερα από 100 km<sup>2</sup>
- 4) όλα τα νησιά της ΕΕ
- 5) Μεσόγειος Θάλασσα
- 6) όλες οι κλειστές θάλασσες (π.χ. Κασπία Θάλασσα).

Επιπλέον, το σενάριο παρατήρησης Sentinel-2 περιλαμβάνει παρατηρήσεις μετά από αιτήματα κρατών μελών ή υπηρεσιών Copernicus (π.χ. Ανταρκτική, Κόλπος Baffin).

**Sentinel-3**

Εικόνα 16, Πηγή: [6]

Ο ορισμός της αποστολής Sentinel-3 βασίζεται στην ανάγκη για συνέχεια στην παροχή δεδομένων ERS, ENVISAT και SPOT, με βελτιώσεις στην απόδοση και την κάλυψη του οργάνου. Το Sentinel-3A εκτοξεύτηκε στις 16 Φεβρουαρίου 2016 και το Sentinel-3B εκτοξεύτηκε στις 25 Απριλίου 2018. Ο κύριος στόχος του είναι η μέτρηση της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και της ξηράς και του χρώματος της επιφάνειας του ωκεανού και της γης με υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία για την υποστήριξη του ωκεανού, συστήματα πρόβλεψης, περιβαλλοντική παρακολούθηση και παρακολούθηση του κλίματος. Οι παρατηρήσεις του Sentinel-3 υποστηρίζουν επίσης εφαρμογές που βασίζονται στη βλάστηση καθώς και στη φωτιά, στα εσωτερικά ύδατα (ύψος επιφάνειας νερού ποταμών και λιμνών), στην κρυσφαίρα (δηλαδή πάχος χερσαίου πάγου και θαλάσσιου πάγου) και στην ατμόσφαιρα.

Το πρόγραμμα Copernicus αποτελείται από το Sentinel-1, το Sentinel-2, το Sentinel-3 και το Sentinel-5P, όμως το Google Earth Engine χρησιμοποιεί δεδομένα μόνο από τους δορυφόρους Sentinel-1 έως 3, οπότε η περιγραφή του Sentinel-5P δεν είναι απαραίτητη για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Συνοψίζοντας, το πρόγραμμα Copernicus με τη βοήθεια των δορυφόρων Sentinel παρέχει ένα σύστημα μέσω του οποίου τροφοδοτούνται μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε μια σειρά θεματικών υπηρεσιών πληροφόρησης, σχεδιασμένες να ωφελούν το περιβάλλον και τις ανθρωπιστικές ανάγκες, υποστηρίζοντας παράλληλα την αποτελεσματική χάραξη πολιτικής για ένα πιο βιώσιμο μέλλον. [5], [6], [19]

**1.1.3 MODIS**

Το MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) είναι ένα όργανο στους δορυφόρους Terra και Aqua της NASA που λειτουργεί από το 2000 μέχρι σήμερα. Τα Terra MODIS και το Aqua MODIS βλέπουν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης κάθε μία έως δύο ημέρες, λαμβάνοντας δεδομένα που περιγράφουν χαρακτηριστικά της γης, των ωκεανών και της ατμόσφαιρας, επομένως χρησιμοποιούνται ευρέως στην έρευνα για την κλιματική αλλαγή. Το MODIS είναι σε πολική τροχιά και διασχίζει τον ισημερινό την ίδια τοπική ώρα (10:30 για το Terra και 13:30 για το Aqua). Έχει πλάτος θέασης 2.330 km, οι ανιχνευτές του μετρούν 36 φασματικές ζώνες μεταξύ 0,405 και 14,385 μm και αποκτά δεδομένα σε τρεις χωρικές

αναλύσεις (250m, 500m και 1.000m). Μαζί με όλα τα δεδομένα από άλλα όργανα στο διαστημόπλοιο Terra και το διαστημόπλοιο Aqua, τα δεδομένα MODIS μεταφέρονται σε επίγειους σταθμούς στο White Sands, στο Νέο Μεξικό, μέσω του δορυφορικού συστήματος παρακολούθησης και αναμετάδοσης δεδομένων (TDRSS). Στη συνέχεια, τα δεδομένα αποστέλλονται στο EOS Data and Operations System (EDOS) στο Goddard Space Flight Center.

Το Earth Engine παρέχει εύκολη διαδικτυακή πρόσβαση σε έναν εκτενή κατάλογο δορυφορικών εικόνων και άλλων γεωχωρικών δεδομένων σε μορφή έτοιμη για ανάλυση. Ο κατάλογος δεδομένων συνδυάζεται με υπολογιστική ισχύ που υποστηρίζεται από κέντρα δεδομένων της Google και ευέλικτα API που εφαρμόζουν τις υπάρχουσες γεωχωρικές ροές εργασίας. Αυτό επιτρέπει ανάλυση και οπτικοποίηση σε παγκόσμια κλίμακα. [7]

## **1.2 Λειτουργία Google Earth Engine**

Το Google Earth Engine βασίζεται σε έναν συνδυασμό τεχνολογιών αιχμής όπως το σύστημα διαχείρισης συμπλέγματος Borg, καταμεμημένες βάσεις δεδομένων Bigtable και Spanner, το Colossus (διάδοχος του συστήματος αρχείων Google) και το πλαίσιο FlumeJava. [3] Επιπλέον, αλληλεπιδρά με το Google Fusion Tables, μια βάση δεδομένων που βασίζεται στο web που τροφοδοτεί γεωμετρικά δεδομένα με διάφορα χαρακτηριστικά. Το Earth Engine Code Editor και εφαρμογές τρίτων χρησιμοποιούν προγραμματιστικές βιβλιοθήκες (JavaScript και Python) για την αποστολή διαδραστικών ή μαζικών ερωτημάτων (queries) μέσω ενός REST API. Οι διακομιστές Front End χειρίζονται αιτήματα on-the-fly, προωθώντας περίπλοκα δευτερεύοντα ερωτήματα στο Compute Masters που είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της κατανομής των υπολογισμών σε μια ομάδα υπολογιστικών διακομιστών. Ενώ το on-the-fly σύστημα λειτουργεί μέσω αυτού του μηχανισμού, το σύστημα batch χρησιμοποιεί το FlumeJava για διανομή. Η βάση αυτών των υπολογιστικών συστημάτων είναι μια ποικιλία υπηρεσιών δεδομένων, με εμφανή χαρακτηριστικά μια βάση δεδομένων που αποθηκεύει αποτελεσματικά τα μεταδεδομένα ανά εικόνα και διευκολύνει το φιλτράρισμα. Οι χρήστες δημιουργούν ερωτήματα συνδέοντας λειτουργίες από μια βιβλιοθήκη με περισσότερες από 800 συναρτήσεις, που εκτείνονται σε απλές μαθηματικές πράξεις έως προηγμένες λειτουργίες γεωστατιστικής, μηχανικής μάθησης και επεξεργασίας εικόνας. Οι χρήστες κατασκευάζουν προγράμματα Earth Engine μέσω βιβλιοθηκών που είναι διαθέσιμες σε Python και JavaScript. Αυτές οι βιβλιοθήκες χρησιμοποιούν εντολές για Εικόνες, Συλλογές και άλλους τύπους δεδομένων, επιτρέποντας στους χρήστες να χειρίζονται αυτά τα αντικείμενα και να καταγράφουν την αλληλουχία λειτουργιών. Στη συνέχεια η αλληλουχία αυτή μετατρέπεται σε γράφημα DAG. Το DAG την απλοποιεί όπου είναι δυνατόν για να αποφευχθεί ο περιττός υπολογισμός. Έτσι το Google Earth Engine υπολογίζει μόνο τα απαραίτητα τμήματα της αλληλουχίας.

Το Earth Engine χρησιμοποιεί διαφορετικά μοντέλα διανομής δεδομένων για την επίτευξη υψηλών επιδόσεων. Αυτά τα μοντέλα διαθέτουν διάφορα μοτίβα πρόσβασης σε δεδομένα:

### **Image Tiling**

Ο υπολογισμός κάθε εικονοστοιχείου βασίζεται σε κοντινά εικονοστοιχεία εντός μιας καθορισμένης απόστασης. Το Tiling χρησιμοποιείται για τον χειρισμό μεγάλων εικόνων, χωρίζοντάς τις σε μικρότερα, διαχειρίσιμα πλακίδια για παράλληλη επεξεργασία. Οι διαδικασίες στο Earth Engine συχνά περιλαμβάνουν διαστάσεις 256 x 256 pixel.

### **Spatial Aggregation**

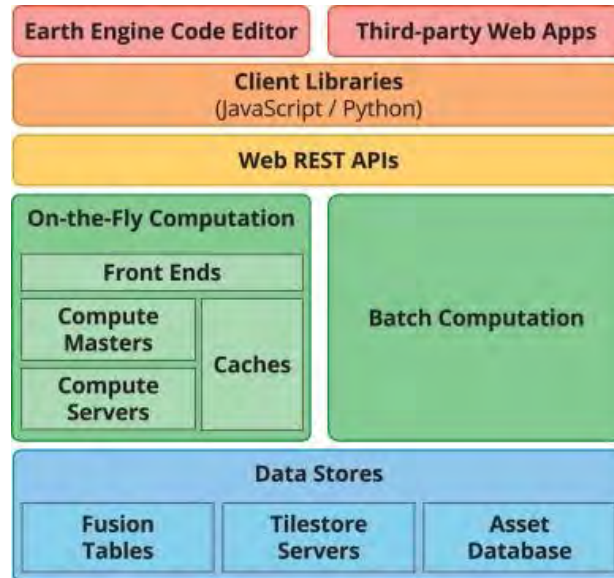
Το Earth Engine χρησιμοποιεί ένα μοντέλο scatter-gather, διαιρώντας τη χωρική περιοχή σε υποπεριοχές που αξιολογούνται παράλληλα. Η κύρια μονάδα συνδυάζει δευτερεύοντα αποτελέσματα για να δημιουργήσει την τελική έξοδο.

### **Streaming Collections**

Η ανάλυση χρονοσειρών περιλαμβάνει υπολογισμούς σε στοίβες εικόνων μέσα στο χρόνο. Το Earth Engine συνδυάζει το Tiling με τη χωρική συνάθροιση, για να υπολογιστούν τα στατιστικά ανά pixel σε μία ομάδα εικόνων μέσα σε ορισμένο χρονικό πλαίσιο.

### Caching και common sub-expression elimination

Χρησιμοποιούνται από το Earth Engine για να αποφευχθεί ο περιττός υπολογισμός.



Εικόνα 17, Πηγή: [3]

### Google Earth Engine Code Editor

Το Google Earth Engine Code Editor είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) που βασίζεται στον ιστό και επιτρέπει στους χρήστες να γράφουν, να δοκιμάζουν και να εκτελούν κώδικα για ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα Google Earth Engine. Το Google Earth Engine βασίζεται στο cloud που παρέχει μια τεράστια συλλογή δεδομένων παρατήρησης της Γης και ισχυρές υπολογιστικές δυνατότητες για την ανάλυση και την οπτικοποίηση αυτών των δεδομένων.

Ακολουθούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και πτυχές του Επεξεργαστή κώδικα του Google Earth Engine:

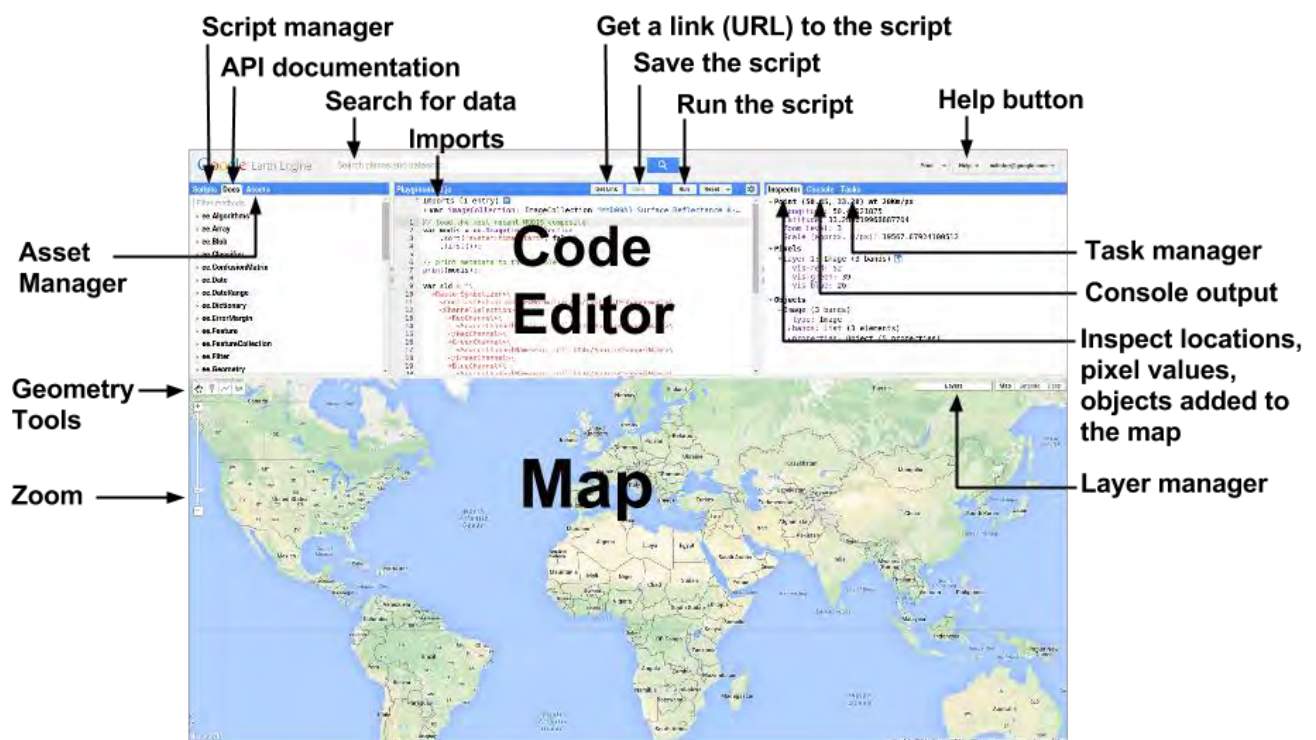
1. Βασισμένο στον Ιστό IDE: Το πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα λειτουργεί μέσω ενός προγράμματος περιήγησης ιστού, διευκολύνοντας τους χρήστες να γράφουν και να εκτελούν κώδικα γεωχωρικής ανάλυσης χωρίς την ανάγκη σύνθετων εγκαταστάσεων λογισμικού.
2. Βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού JavaScript: Το πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα του Google Earth Engine χρησιμοποιεί κυρίως JavaScript ως γλώσσα προγραμματισμού. Οι χρήστες μπορούν να γράφουν σενάρια χρησιμοποιώντας το Earth Engine JavaScript API για να αλληλεπιδρούν και να αναλύουν δεδομένα παρατήρησης της Γης.
3. Εκτέλεση κώδικα: Οι χρήστες μπορούν να εκτελέσουν τα σενάρια τους απευθείας στο Code Editor για να δουν άμεσα αποτελέσματα. Αυτό επιτρέπει τη γρήγορη δοκιμή και επανάληψη κατά την ανάπτυξη ροών εργασίας γεωχωρικής ανάλυσης.
4. Το Code Editor διευκολύνοντας τους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τις λειτουργίες, τις μεθόδους και τα σύνολα δεδομένων του Earth Engine κατά τη σύνταξη του κώδικά τους.

5. Αποσπάσματα κώδικα και παραδείγματα: Η πλατφόρμα προσφέρει μια ποικιλία αποσπασμάτων κώδικα και παραδείγματα που οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως σημεία εκκίνησης για τα δικά τους σενάρια. Αυτό βοηθά τους χρήστες να μάθουν και να κατανοήσουν πώς να εκτελούν διαφορετικές γεωχωρικές αναλύσεις.

6. Απεικόνιση χάρτη: Το πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα περιλαμβάνει μια απεικόνιση χάρτη που επιτρέπει στους χρήστες να οπτικοποιούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης τους σε πραγματικό χρόνο. Αυτό βοηθά στην κατανόηση των χωρικών προτύπων και σχέσεων στα δεδομένα.

7. Πρόσβαση στο αρχείο δεδομένων του Earth Engine: Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ένα μεγάλο αρχείο δεδομένων παρατήρησης της Γης που είναι διαθέσιμα στο Google Earth Engine, συμπεριλαμβανομένων δορυφορικών εικόνων, κλιματικών δεδομένων και άλλων συνόλων γεωχωρικών δεδομένων. Αυτό επιτρέπει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από την παρακολούθηση της κάλυψης της γης έως την ανάλυση της κλιματικής αλλαγής.

8. Το πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα υποστηρίζει τη συνεργασία, επιτρέποντας στους χρήστες να μοιράζονται τα σενάρια τους με άλλους. Αυτό διευκολύνει την ανταλλαγή γνώσεων και τη συλλογική εργασία σε γεωχωρικά έργα.



Εικόνα 18, Πηγή: [3]

Περιγραφή της παραπάνω εικόνας(18) του UI του Google Earth Engine:

**Editor Panel:** Ο χώρος όπου γράφεται και επεξεργάζεται ο κώδικας Javascript.

**Run:** εκτελεί τον κώδικα.

**Console:** Εμφανίζει την έξοδο της εντολής print

**Inspector:** Γίνεται η αναζήτηση αποτελεσμάτων χάρτη. Στον χάρτη εμφανίζεται μία κλίμακα σε μέτρα που σχετίζεται με το επίπεδο ζουμ.

**Tasks:** Για διαχείριση μακροχρόνιων εργασιών.

**Scripts:** Για τη διαχείριση των σεναρίων προγραμματισμού με το εργαλείο Git

**Docs:** Πρόσβαση στο Documentation του Google Earth Engine. Περιλαμβάνει το σύνολο των συναρτήσεων με τα ορίσματα και το τύπο τους

**Assets:** Για τη διαχείριση των στοιχείων που ανεβάζει ο χρήστης

**Διαδραστικός χάρτης:** Για οπτικοποίηση των layers του χάρτη. Σημειώνει τα στοιχεία ελέγχου των layers. Σημειώνει τα εργαλεία γεωμετρίας

**Μπάρα αναζήτησης:** Για την εύρεση συνόλων δεδομένων και σημείων ενδιαφέροντος.

**Get Link:** Ένα στατικό στιγμιότυπο του Code Editor τη στιγμή που γίνεται κλικ στο κουμπί. [2], [3], [8], [9]

### 1.3 Google Earth Engine Cloud

1. Αρχείο δεδομένων: Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το Google Earth Engine διαθέτει ένα εκτενές αρχείο δεδομένων παρατήρησης της Γης, συμπεριλαμβανομένων δορυφορικών εικόνων από διάφορους αισθητήρες, κλιματικά δεδομένα και άλλα σύνολα δεδομένων γεωχωρικών δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα αποθηκεύονται στην υποδομή cloud της Google, καθιστώντας τα εύκολα προσβάσιμα για ανάλυση.

2. Επειδή το Google Earth Engine είναι cloud υπηρεσία οι χρήστες μπορούν να εκτελούν υπολογισμούς και αναλύσεις τοπικά σε πλανητική κλίμακα χωρίς την ανάγκη λήψης ή αποθήκευσης μαζικών συνόλων δεδομένων.

3. API και SDK: Το Google Earth Engine παρέχει API και SDK (Software Development Kits) για διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένων των JavaScript και Python. Αυτά τα API επιτρέπουν στους χρήστες να αλληλεπιδρούν και να αναλύουν γεωχωρικά δεδομένα μέσω προγραμματισμού.

4. Το Google Earth Engine είναι συνδεδεμένο με το Google Cloud Platform. Αυτή η ενοποίηση επιτρέπει στους χρήστες να αξιοποιήσουν τις υπολογιστικές και αποθηκευτικές δυνατότητες του Google Cloud Platform, διασφαλίζοντας αποτελεσματική επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων.

5. Code Editor: Το Code Editor φιλοξενείται στο cloud του Google Earth Engine.

6. Το Google Earth Engine επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται τα σενάρια και τις αναλύσεις τους με άλλους. Αυτό το περιβάλλον συνεργασίας προωθεί την ανταλλαγή γνώσεων στον τομέα της γεωχωρικής έρευνας.

7. Μηχανική Μάθηση: Το Earth Engine ενσωματώνει δυνατότητες μηχανικής εκμάθησης, επιτρέποντας στους χρήστες να εφαρμόζουν προηγμένους αλγόριθμους για ταξινόμηση εικόνων, εξαγωγή χαρακτηριστικών και άλλες εργασίες. Η υποδομή cloud υποστηρίζει τις υπολογιστικές απαιτήσεις των ροών εργασιών μηχανικής εκμάθησης.

8. Public Data Catalog: Το Google Earth Engine παρέχει έναν cloud κατάλογο δημόσιων δεδομένων που περιέχει μια ποικιλία από ελεύθερα διαθέσιμα σύνολα δεδομένων. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτά τα σύνολα δεδομένων για τις αναλύσεις τους. [2], [3]

## 2. Πλημμύρες

Η πλημμύρα είναι η υπερχειλίση νερού πάνω σε ένα έδαφος που συνήθως είναι ξηρό. Πλημμύρες μπορεί να συμβούν κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, όταν τα κύματα του ωκεανού έρχονται στην ακτή, όταν το χιόνι λιώνει γρήγορα ή όταν σπάνε φράγματα ή αναχώματα. Μια καταστροφική πλημμύρα μπορεί να εκδηλωθεί είτε με λίγα εκατοστά νερού,

είτε με μεγαλύτερη ποσότητα, καλύπτοντας εκτεταμένες περιοχές. Η πλημμύρα είναι η πιο συχνή και διαδεδομένη από όλες τις φυσικές καταστροφές που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες.

Οι πλημμύρες μπορεί να συμβούν μέσα σε λίγα λεπτά ή για μεγάλο χρονικό διάστημα και μπορεί να διαρκέσουν ημέρες, εβδομάδες ή περισσότερο. Οι ξαφνικές πλημμύρες είναι το πιο επικίνδυνο είδος πλημμύρας, γιατί συνδυάζουν την καταστροφική δύναμη μιας πλημμύρας με μεγάλη ταχύτητα. Συμβαίνουν όταν οι έντονες βροχοπτώσεις υπερβαίνουν την ικανότητα του εδάφους να τις απορροφήσει. Εμφανίζονται επίσης όταν το νερό γεμίζει ξηρούς κολπίσκους ή ρυάκια ή όταν συσσωρεύεται αρκετό νερό ώστε τα ρέματα να ξεπεράσουν τις όχθες τους, προκαλώντας ταχεία άνοδο του νερού σε σύντομο χρονικό διάστημα. Μπορούν να συμβούν μέσα σε λίγα λεπτά μετά από μια έντονη βροχόπτωση, περιορίζοντας τον χρόνο για την προειδοποίηση των πολιτών. [16], [10]

### **2.1 Τύποι πλημμύρας**

Οι πλημμύρες μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορους τύπους με βάση τα αίτια, τα χαρακτηριστικά και τη σοβαρότητά τους. Ακολουθούν ορισμένοι συνήθεις τύποι πλημμυρών:

#### **Αστικές πλημμύρες**

Οι πυκνοκατοικημένες περιοχές διατρέχουν υψηλό κίνδυνο για ξαφνικές πλημμύρες. Η κατασκευή κτιρίων, αυτοκινητοδρόμων και χώρων στάθμευσης αυξάνει την απορροή μειώνοντας την ποσότητα της βροχής που απορροφάται από το έδαφος. Αυτή η απορροή αυξάνει τη δυναμική ξαφνικής πλημμύρας. Μερικές φορές, ρέματα μέσα από πόλεις και κωμοπόλεις οδηγούνται υπόγεια σε αγωγούς αποχέτευσης ομβρίων υδάτων. Σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, οι αγωγοί αυτοί μπορεί να πλημμυρίσουν ή να παρεμποδιστούν από συντρίμμια, οδηγώντας σε πλημμύρες κοντινών δρόμων και κατασκευών, όπως υπόγειοι χώροι στάθμευσης.

#### **Περιοχές κοντά σε ποτάμια**

Οι περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ποτάμια είναι ιδιαίτερα ευάλωτες, γιατί κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων ή όταν τα ποτάμια ξεπερνούν τις όχθες τους καθώς διογκώνονται, ο κίνδυνος πλημμύρας αυξάνεται δραματικά. Οι πλημμύρες των ποταμών τείνουν να αναπτύσσονται σταδιακά και μπορούν να επηρεάσουν μεγάλες περιοχές κατά μήκος της ροής του ποταμού. Για να αποτραπούν οι ζημιές σε κτίρια και καλλιέργειες κοντά στην περιοχή χτίζονται συχνά αναχώματα κατά μήκος των ποταμών.

#### **Περιοχές με χαμηλό υψόμετρο**

Οι περιοχές που βρίσκονται σε κοιλάδες, πεδιάδες ή παράκτιες ζώνες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε ξαφνικές πλημμύρες λόγω της μικρής απόστασής τους σε υδάτινα σώματα και της τάσης τους να συσσωρεύουν γρήγορα νερό κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων.

#### **Απότομο έδαφος**

Οι ορεινές ή λοφώδεις περιοχές κινδυνεύουν από ξαφνικές πλημμύρες λόγω της ταχείας ροής του νερού σε κατηφόρα κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων ή τήξης χιονιού. Οι απότομες πλαγιές συχνά επιδεινώνουν την ταχύτητα και την ένταση των πλημμυρών, με αποτέλεσμα ξαφνικές πλημμύρες κατάντη.

#### **Καμένα εδάφη**

Οι περιοχές που επλήγησαν πρόσφατα από πυρκαγιές διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο ξαφνικών πλημμυρών λόγω της απώλειας της βλάστησης και της σταθερότητας του εδάφους (κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, οι ρίζες των φυτών και η οργανική ύλη στο έδαφος συχνά καταστρέφονται, με αποτέλεσμα η εδαφική σταθερότητα να μειωθεί σημαντικά), που μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη απορροή και ροές συντριμμίων κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων.

### **Χιόνι και πάγος**

Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται το συσσωρευμένο χιόνι αρχίζει να λιώνει με κίνδυνο πλημμύρας. Επίσης, σε περιοχές με ψυχρά κλίματα, το χιόνι μπορεί να συσσωρευτεί τους χειμερινούς μήνες και να λειτουργήσει ως δεξαμενή νερού, αποθηκεύοντας μεγάλες ποσότητες πιθανής απορροής. Ακόμα σε συστήματα ποταμών όπου έχει σχηματιστεί πάγος κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το λιώσιμο του χιονιού και του πάγου μπορεί να δημιουργήσει μεγάλα κομμάτια πάγου που επιπλέουν κατάντη. Όταν αυτά τα κομμάτια πάγου συναντούν εμπόδια όπως γέφυρες, στροφές στο ποτάμι ή στενά τμήματα, μπορεί να μπλοκάρουν μεταξύ τους, σχηματίζοντας φραγμούς.

### **Παράκτιες πλημμύρες**

Οι παράκτιες πλημμύρες συμβαίνουν κατά μήκος των ακτών και συνήθως προκαλούνται από τροπικές καταιγίδες, τυφώνες ή τσουνάμι. Οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση που σχετίζονται με αυτά τα καιρικά φαινόμενα μπορεί να ωθήσουν το θαλασσινό νερό στην ενδοχώρα, με αποτέλεσμα να πλημμυρίσουν οι παράκτιες περιοχές. Οι παράκτιες πλημμύρες μπορεί να επιδεινωθούν από παράγοντες όπως η υψηλή παλίρροια και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, οδηγώντας σε σημαντικές πλημμύρες και ζημιές στις παράκτιες κοινότητες.

### **Πλημμύρες υπόγειων υδάτων**

Οι πλημμύρες των υπόγειων υδάτων συμβαίνουν όταν ο υδροφόρος ορίζοντας ανεβαίνει στην επιφάνεια λόγω υπερβολικής βροχόπτωσης, τήξης χιονιού ή άλλων παραγόντων. Αυτές οι πλημμύρες μπορεί να προκαλέσουν τη διείσδυση του νερού σε υπόγεια και άλλες χαμηλές περιοχές οδηγώντας σε υλικές ζημιές.

### **Φράγματα**

Οι πλημμύρες αυτές συμβαίνουν όταν ένα φράγμα αστοχεί ή σπάει, απελευθερώνοντας μεγάλο όγκο νερού κατάντη. Αυτές οι πλημμύρες μπορεί να είναι καταστροφικές, προκαλώντας εκτεταμένες πλημμύρες, υλικές ζημιές και απώλειες ζωών σε περιοχές που βρίσκονται κατάντη του φράγματος.

### **Εποχικές πλημμύρες**

Συμβαίνουν προβλέψιμα κατά τη διάρκεια ορισμένων περιόδων του έτους, όπως η εποχή των μουσώνων σε τροπικές περιοχές ή η ανοιξιάτικη απόψυξη χιονιού και πάγου σε εύκρατα κλίματα. Αυτές οι πλημμύρες συχνά συνδέονται με εποχιακά καιρικά φαινόμενα και μπορούν να επηρεάσουν μεγάλες περιοχές, επηρεάζοντας τη γεωργία, τις μεταφορές και τις κοινότητες κατά μήκος των κοιλάδων των ποταμών και των παράκτιων περιοχών. [13], [16], [11]

## **2.2 Επιπτώσεις πλημμύρας**

Οι πλημμύρες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις ανθρώπινες ζωές, τις υποδομές, την οικονομία και το οικοσύστημα. Οι πλημμύρες έχουν καταστροφικές συνέπειες, στοιχίζοντας ζωές και τραυματίζοντας πολλούς ανθρώπους. Προκαλούν περιβαλλοντική καταστροφή και διαταράσσουν το οικοσύστημα. Οι υποδομές υφίστανται αρκετές ζημιές, εμποδίζοντας τις προσπάθειες αποκατάστασης, ενώ η μετατόπιση κατοικιών πλημμυρισμένων περιοχών επιδεινώνει την πρόσβαση σε βασικές ανάγκες. Οι κίνδυνοι για την υγεία αυξάνονται λόγω του μολυσμένου νερού, ευνοώντας την εξάπλωση ασθενειών. Συχνά η γεωργία αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα θέτοντας σε κίνδυνο την επισιτιστική ασφάλεια. Οι πλημμύρες δημιουργούν σημαντικές επιπτώσεις και στην οικονομία της περιοχής. Και, τέλος, οι πλημμύρες μπορούν να επηρεάσουν την ψυχολογία των ανθρώπων.

### **Απώλεια ζωής και τραυματισμοί**

Οι πλημμύρες ευθύνονται για σημαντική απώλεια ζωών παγκοσμίως κάθε χρόνο. Η γρήγορη άνοδος των πλημμυρικών υδάτων μπορεί να οδηγήσει σε πνιγμό, ειδικά σε περιοχές με ανεπαρκή συστήματα αποχέτευσης ή σε περιοχές με ανεπαρκή σύστημα εντοπισμού και ενημέρωσης για την πλημμύρα. Επιπλέον, μπορεί να προκληθούν τραυματισμοί λόγω συντριμμιών που μεταφέρονται από πλημμυρικά νερά, καταρρεύσεις κατασκευών ή ατυχήματα κατά τη διάρκεια των προσπαθειών εκκένωσης. Οι ευάλωτοι πληθυσμοί, όπως τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και τα άτομα με αναπηρίες, κινδυνεύουν ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια πλημμυρών.

### **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**

Τα νερά των πλημμυρών μεταφέρουν ιζήματα, θρεπτικά συστατικά και ρύπους, επηρεάζοντας την ποιότητα του νερού και τους υδρόβιους βιότοπους. Οι πλημμύρες μπορεί να προκαλέσουν και κατολισθήσεις, επιδεινώνοντας τη διάβρωση του εδάφους και την καθίζηση. Η απώλεια της βλάστησης και της βιοποικιλότητας μπορεί να διαταράξει τη λειτουργία του οικοσυστήματος, επηρεάζοντας τη διήθηση του νερού, τη ρύθμιση των πλημμυρών και την παροχή οικοτόπων. Συνολικά, οι πλημμύρες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση φυσικών τοπίων και οικοσυστημάτων.

### **Ζημιές σε υποδομές κοινής ωφέλειας**

Οι πλημμύρες μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές σε υποδομές συμπεριλαμβανομένων δρόμων, γεφυρών, κτιρίων και υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Τα νερά της πλημμύρας μπορούν να διαβρώσουν τους δρόμους, να επηρεάσουν τα θεμέλια των γεφυρών και να θέσουν σε κίνδυνο τη δομική ακεραιότητα των κτιρίων. Η ζημιά σε συστήματα ύδρευσης, εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, ηλεκτρικά δίκτυα κ.α μπορεί να διαταράξει τις βασικές υπηρεσίες, παρατείνοντας τις προσπάθειες αποκατάστασης και επιδεινώνοντας τις επιπτώσεις των πλημμυρών στις πληγείσες κοινότητες.

### **Εκκένωση κατοικίας**

Οι πλημμύρες συχνά αναγκάζουν τους ανθρώπους να εκκενώσουν τα σπίτια τους προσωρινά ή μόνιμα πηγαίνοντας σε καταφύγια έκτακτης ανάγκης, σε αυτοσχέδιους καταυλισμούς ή με φίλους και συγγενείς. Οι άνθρωποι αυτοί μπορεί να δυσκολεύονται να έχουν πρόσβαση σε βασικές ανάγκες, όπως φαγητό, νερό και υγειονομική περίθαλψη, επιδεινώνοντας περαιτέρω τις δυσκολίες τους.

### **Κίνδυνοι για την υγεία και εστίες ασθενειών**

Τα νερά των πλημμυρών μπορεί να θέτουν σημαντικούς κινδύνους για την υγεία των πληγέντων πληθυσμών. Στα μολυσμένα νερά των πλημμυρών μπορεί να υπάρχει μία ποικιλία παθογόνων μικροοργανισμών συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, ιών και παρασίτων, οδηγώντας σε ασθένειες που μεταδίδονται με νερό όπως η χολέρα, ο τυφοειδής πυρετός και η γαστρεντερίτιδα. Το στάσιμο νερό και η αυξημένη υγρασία που προκαλούνται από τις πλημμύρες μπορούν επίσης να δημιουργήσουν ιδανικές συνθήκες αναπαραγωγής για τα κουνούπια, αυξάνοντας τον κίνδυνο ασθενειών που μεταδίδονται από φορείς όπως η ελονοσία, ο δάγκειος πυρετός και ο ιός Ζίκα. Οι ανεπαρκείς εγκαταστάσεις υγιεινής και οι συνωστισμένες συνθήκες διαβίωσης στα καταφύγια έκτακτης ανάγκης μπορούν να επιδεινώσουν περαιτέρω την εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών.

### **Επιπτώσεις στη γεωργία**

Οι πλημμύρες μπορούν να πλήξουν τις γεωργικές καλλιέργειες και την κτηνοτροφία, οδηγώντας σε ελλείψεις τροφίμων και απώλεια μέσων διαβίωσης. Τα νερά της πλημμύρας μπορούν να φτάσουν σε γεωργικές εκτάσεις, προκαλώντας διάβρωση του εδάφους, ιζήματα και μείωση θρεπτικών ουσιών. Το στάσιμο νερό μπορεί να πνίξει τις καλλιέργειες και να δημιουργήσει συνθήκες υγρασίας ακατάλληλες για την ανάπτυξη των φυτών. Η ζημιά σε γεωργικές υποδομές, όπως συστήματα άρδευσης, εγκαταστάσεις αποθήκευσης και δίκτυα

μεταφοράς μπορεί να διαταράξει την παραγωγή, τη διανομή και την πρόσβαση τροφίμων, επιδεινώνοντας την επισιτιστική ανασφάλεια στις περιοχές που έχουν πληγεί από τις πλημμύρες.

### **Οικονομικές απώλειες και διαταραχές**

Οι οικονομικές επιπτώσεις των πλημμυρών μπορεί να είναι σημαντικές, επηρεάζοντας τις επιχειρήσεις, τις βιομηχανίες και την οικονομία σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Οι ζημιές που σχετίζονται με τις πλημμύρες σε επιχειρήσεις, εργοστάσια και εμπορικές εγκαταστάσεις μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια εσόδων, απώλειες αποθεμάτων και απολύσεις θέσεων εργασίας. Η διακοπή των δικτύων μεταφορών, των αλυσίδων εφοδιασμού και των αγορών μπορεί να παρεμποδίσει τις οικονομικές δραστηριότητες και να εμποδίσει τις προσπάθειες ανάκαμψης. Οι μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στις απώλειες που σχετίζονται με τις πλημμύρες λόγω των περιορισμένων πόρων και της ικανότητας για ανθεκτικότητα και ανάκαμψη.

### **Ψυχολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις**

Οι πλημμύρες μπορεί να έχουν βαθιές ψυχολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις σε άτομα και κοινότητες που έχουν πληγεί. Το τραύμα της εμπειρίας μιας πλημμύρας, η απώλεια σπιτιών, περιουσιακών στοιχείων και μέσων διαβίωσης και η αβεβαιότητα για το μέλλον μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα επίπεδα άγχους, κατάθλιψης και διαταραχής μετατραυματικού στρες (PTSD). Η διακοπή των κοινωνικών δικτύων, μπορεί να επιδεινώσει περαιτέρω τα συναισθήματα απομόνωσης και απώλειας μεταξύ των πληγέντων πληθυσμών. Οι μακροπρόθεσμες προσπάθειες ανάκαμψης και ανοικοδόμησης απαιτούν συχνά την αντιμετώπιση των ψυχοκοινωνικών αναγκών ατόμων και κοινοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της πρόσβασης σε υπηρεσίες ψυχικής υγείας και δίκτυα κοινωνικής υποστήριξης. [11], [16], [18], [20]

## **2.3 Μέθοδοι μείωσης επιπτώσεων πλημμύρας**

Οι μέθοδοι μείωσης επιπτώσεων πλημμύρας χρησιμοποιούνται για τη μείωση ή την πρόληψη των επιζήμιων επιπτώσεων των νερών πλημμύρας. Οι πλημμύρες μπορεί να προκληθούν με έναν συνδυασμό φυσικών διεργασιών, όπως ακραία καιρικά φαινόμενα, και ανθρώπινες αλλαγές σε υδάτινα σώματα και απορροή. Γίνεται διάκριση μεταξύ δομικών και μη δομικών αντιπλημμυρικών μέτρων. Οι δομικές μέθοδοι περιορίζουν φυσικά τα νερά της πλημμύρας (χρησιμοποιώντας φυσικές λύσεις, όπως ταμιευτήρες, αναχώματα και εκτροπές), ενώ οι μη δομικές μέθοδοι όχι (χωροταξικό σχεδιασμό, προηγμένα συστήματα προειδοποίησης, πρόβλεψη πλημμυρών). Η κατασκευή δομικών αντιπλημμυρικών μέτρων, όπως πλημμυρικοί τοίχοι, είναι αποτελεσματική στη διαχείριση των πλημμυρών. Ωστόσο, η βέλτιστη επιλογή είναι οι μη δομικές μέθοδοι και τα φυσικά συστήματα, όπως έλη και πλημμυρικές πεδιάδες, για τη διαχείριση της πλημμύρας. Για την πρόληψη ή τη διαχείριση των παράκτιων πλημμυρών, οι πρακτικές διαχείρισης των ακτών πρέπει να χρησιμοποιούν φυσικές διεργασίες, όπως οι παλίρροιες, αλλά και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας που προκαλείται από τον άνθρωπο. Ο έλεγχος και η μείωση των πλημμυρών είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός τρόπος προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Τόσο η άνοδος της στάθμης της θάλασσας όσο και οι αλλαγές του καιρού (η κλιματική αλλαγή προκαλεί πιο έντονες και ταχύτερες βροχοπτώσεις) σημαίνει ότι οι πλημμύρες των ανθρώπινων υποδομών είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε όλο τον κόσμο. Στην περιβαλλοντική μηχανική, ο έλεγχος των πλημμυρών περιλαμβάνει τη διαχείριση της κίνησης των πλημμυρικών υδάτων, όπως η ανακατεύθυνση της απορροής των πλημμυρών με τη χρήση τοιχωμάτων και πυλών πλημμύρας, και όχι την προσπάθεια να αποτραπούν εντελώς οι πλημμύρες. Η περιβαλλοντική μηχανική περιλαμβάνει επίσης ενημέρωση των ανθρώπων, σε περίπτωση πλημμύρας, και τρόπους προστασίας, όπως η εκκένωση των περιοχών που κινδυνεύουν και η ιδιωτική στεγανοποίηση. Η πρόληψη και ο μετριασμός των πλημμυρών

μπορεί να μελετηθεί σε τρία επίπεδα: σε μεμονωμένες ιδιοκτησίες, μικρές κοινότητες και ολόκληρες πόλεις.

### Δομικές μέθοδοι

Ορισμένες μέθοδοι ελέγχου των πλημμυρών εφαρμόζονται από την αρχαιότητα. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν δημιουργία περιοχών βλάστησης ώστε να συγκρατούν ποσότητες νερού, δημιουργία επίπεδων επιφανειών σε λόφους για μείωση της ροής της πλημμύρας σε κατηφορικά εδάφη και κατασκευή πλημμυρικών οδών (τεχνητά κανάλια για την εκτροπή του νερού πλημμύρας). Άλλες τεχνικές περιλαμβάνουν την κατασκευή αναχωμάτων, λιμνών, φραγμάτων, δεξαμενών, λιμνών συγκράτησης για να συγκρατούν επιπλέον νερό σε περιόδους πλημμύρας.

### 1) Φράγματα

Πολλά φράγματα και οι δεξαμενές τους έχουν σχεδιαστεί, πλήρως ή εν μέρει, για να βοηθήσουν στην προστασία από πλημμύρα και στον έλεγχο πλημμυρών. Πολλά μεγάλα φράγματα, για προληπτικούς λόγους, διατηρούν το επίπεδο μιας δεξαμενής κάτω από ένα ορισμένο ύψος πριν από την έναρξη των περιόδων βροχών και τήξης πάγων, ώστε να υπάρχει περιθώριο να γεμίσουν από τα νερά των πλημμυρών. Το περίσσιο νερό μπορεί να απελευθερωθεί σταδιακά κατά τις περιόδους ξηρασίας. Αυτό βοηθά στην αποφυγή ξαφνικών αυξήσεων στις στάθμες των ποταμών που μπορεί να οδηγήσουν σε πλημμύρες κατάντη.

Τα φράγματα μπορούν επίσης να διοχετεύσουν την ροή του ποταμού, κατευθύνοντας το νερό κατά μήκος ελεγχόμενων μονοπατιών που ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο πλημμύρας σε κατοικημένες περιοχές. Με την απελευθέρωση νερού μέσω υπερχειλιστών ή άλλων εξόδων, τα φράγματα μπορούν να διαχειριστούν τη ροή του ποταμού για να αποτρέψουν την υπερχειλίση και τις πλημμύρες.

Τα φράγματα διαθέτουν συχνά συστήματα παρακολούθησης για την παρακολούθηση της στάθμης των υδάτων και των καιρικών συνθηκών ανάντη. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη πιθανών πλημμυρών, επιτρέποντας στις αρχές να εκδίδουν έγκαιρες προειδοποιήσεις και να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των πλημμυρών.



Εικόνα 19: Εκκένωση πλημμύρας στο φράγμα του ποταμού Xin'an, κατά τις πλημμύρες του 2020 στην Κίνα.

Ενώ τα φράγματα μπορεί να είναι αποτελεσματικά εργαλεία για τον έλεγχο των πλημμυρών, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μπορεί επίσης να έχουν περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις, όπως να επηρεάσουν το οικοσύστημα και την ποιότητα του νερού κατάντη. Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός, η λειτουργία και η διαχείριση των φραγμάτων πρέπει να εξισορροπούν προσεκτικά τους στόχους ελέγχου των πλημμυρών με τις ευρύτερες περιβαλλοντικές και κοινωνικές εκτιμήσεις.

## 2) Κανάλια ελέγχου πλημμύρας

Τα κανάλια ελέγχου πλημμύρας έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ειδικά για τη διαχείριση και τον έλεγχο των υδάτων πλημμύρας, κυρίως με την εκτροπή του παραπανίσιου νερού μακριά από ευάλωτες περιοχές. Η κύρια λειτουργία των καναλιών ελέγχου πλημμύρας είναι να εκτρέπουν το πλημμυρικό νερό από ποτάμια, χείμαρρους ή άλλα υδάτινα ρεύματα κατά τη διάρκεια περιόδων έντονων βροχοπτώσεων ή τήξης χιονιού. Δημιουργώντας μία συγκεκριμένη διαδρομή για τα νερά της πλημμύρας, αυτά τα κανάλια βοηθούν στην αποφυγή πλημμυρών στις κατάντη περιοχές.

Τα κανάλια ελέγχου πλημμύρας έχουν κατασκευαστεί με επαρκή χωρητικότητα για να διαχειρίζονται υψηλούς όγκους νερού. Αυτή η χωρητικότητα προσδιορίζεται με βάση παράγοντες όπως ιστορικά δεδομένα πλημμύρας και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Με την αποτελεσματική μεταφορά μεγάλων όγκων νερού, τα κανάλια ελέγχου πλημμύρας μειώνουν τον κίνδυνο πλημμύρας στις κοντινές περιοχές.

Η κλίση και το σχήμα της διατομής των καναλιών ελέγχου πλημμύρας έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να ρυθμίζουν τη ροή του νερού. Με τον έλεγχο της ταχύτητας και του όγκου του νερού, αυτά τα κανάλια αποτρέπουν την πλημμύρα ανάντη και κατάντη διασφαλίζοντας ότι το νερό κινείται μέσω του καναλιού με ελεγχόμενο ρυθμό.

Μερικά κανάλια ελέγχου πλημμύρας διαθέτουν χώρους αποθήκευσης νερού για να συγκρατούν προσωρινά το περίσσιο νερό κατά τις περιόδους αιχμής της ροής. Αυτοί οι χώροι αποθήκευσης συμβάλλουν στην μείωση της ροής του νερού, μειώνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας κατάντη, απελευθερώνοντας νερό σταδιακά.

Η τακτική συντήρηση των καναλιών αντιπλημμυρικής προστασίας είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας τους. Αυτό περιλαμβάνει την απομάκρυνση συντριμμίων και της βλάστησης από το κανάλι, την επιδιόρθωση ζημιών από τη διάβρωση και την επιθεώρηση και συντήρηση των σχετικών υποδομών από το κανάλι.



Εικόνα 20: Φωτογραφία από το Tujunga Wash, το κανάλι ελέγχου πλημμύρας του Λος Άντζελες των ΗΠΑ.

Συμπερασματικά, τα κανάλια ελέγχου πλημμύρας αποτελούν μία σημαντική υποδομή για την μείωση ή την αποφυγή πλημμύρας, διοχετεύοντας το επιπλέον νερό από μία ασφαλή διαδρομή, διαχειρίζοντας τον ρυθμό ροής του νερού και προστατεύουν τις κοινότητες, τις υποδομές και τα οικοσυστήματα από τις επιζήμιες συνέπειες της πλημμύρας.

### 3) Πλημμυρικές πεδιάδες και επαναφόρτιση υπόγειων υδάτων

Οι πλημμυρικές πεδιάδες είναι περιοχές με χαμηλό υψόμετρο δίπλα σε ποτάμια και ρέματα που πλημμυρίζουν φυσικά σε περιόδους υψηλής ροής νερού. Επιτρέποντας στα νερά της πλημμύρας να εξαπλωθούν σε αυτές τις εκτεταμένες περιοχές, οι πλημμυρικές περιοχές λειτουργούν ως φυσική αποθήκευση πλημμυρών, συγκρατώντας προσωρινά το επιπλέον νερό και μειώνοντας τον ρυθμό ροής κατάντη. Αυτό συμβάλλει στον μετριασμό του κινδύνου πλημμύρας σε ανεπτυγμένες περιοχές, παρέχοντας χώρο για τη διάχυση του νερού και τη σταδιακή υποχώρηση.

Η αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων περιλαμβάνει τη σκόπιμη αναπλήρωση υδροφορέων με περίσσεια επιφανειακών υδάτων, όπως βρόχινο νερό ή επεξεργασμένα λύματα. Με τη διείσδυση νερού στο έδαφος, τα επίπεδα των υπόγειων υδάτων μπορούν να αναπληρωθούν, συμβάλλοντας στη διατήρηση της ικανότητας αποθήκευσης του υδροφόρου ορίζοντα και στη στήριξη της βασικής ροής σε ποτάμια και ρέματα. Κατά τη διάρκεια περιόδων έντονων βροχοπτώσεων ή πλημμυρών, η περίσσεια νερού μπορεί να εκτραπεί σε λεκάνες διήθησης, όπου διεισδύει στο έδαφος και αναπληρώνει τα υπόγεια ύδατα.

Η αποκατάσταση των πλημμυρικών πεδιάδων στη φυσική τους κατάσταση ή η ενίσχυση τους μπορεί να βοηθήσει σημαντικά τις προσπάθειες ελέγχου των πλημμυρών. Με τη διατήρηση ή την αποκατάσταση της βλάστησης των πλημμυρικών πεδιάδων, αυξάνεται η ικανότητα αυτών των περιοχών να αποθηκεύουν και να μειώνουν τα νερά της πλημμύρας. Αυτό μειώνει τον κίνδυνο πλημμύρας κατάντη και παρέχει πολύτιμο βιότοπο για την άγρια ζωή.

Η διαχειριζόμενη επαναφόρτιση υδροφορέων περιλαμβάνει σκόπιμη διοχέτευση περίσσειας επιφανειακών υδάτων σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης υπόγειων υδάτων. Κατά τη διάρκεια πλημμυρών, το επιπλέον νερό μπορεί να εκτραπεί σε αυτές τις εγκαταστάσεις επαναφόρτισης, όπου διεισδύει στο έδαφος και αναπληρώνει τους υδροφόρους ορίζοντες. Αυτό όχι μόνο βοηθά στη διαχείριση των πλημμυρικών υδάτων αλλά ενισχύει επίσης την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα της παροχής νερού.

Τα ολοκληρωμένα έργα διαχείρισης πλημμυρών που συνδυάζουν την αποκατάσταση της πλημμυρικής περιοχής με την αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων μπορούν να προσφέρουν πολλαπλά οφέλη. Για παράδειγμα, οι κατασκευασμένοι υγρότοποι ή οι παρόχθιοι προστατευτικοί χώροι εντός των πλημμυρικών πεδιάδων μπορούν να βοηθήσουν στην εξασθένηση των πλημμυρικών υδάτων, στη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων και στη βελτίωση του οικοτόπου, ενώ επίσης συμβάλλουν στην αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων. Τέτοια έργα πολλαπλών χρήσεων μεγιστοποιούν την αποτελεσματικότητα των προσπαθειών ελέγχου των πλημμυρών, ενώ προάγουν την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα. Αξιοποιώντας τις φυσικές λειτουργίες των πλημμυρικών πεδιάδων και εφαρμόζοντας διαχειριζόμενες πρακτικές αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων, οι κοινότητες μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητά τους στις πλημμύρες, να προστατεύσουν πολύτιμους πόρους και να προωθήσουν τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτων. Αυτές οι στρατηγικές συμπληρώνουν την υποδομή ελέγχου των πλημμυρών και συμβάλλουν σε ολοκληρωμένες προσπάθειες για τη μείωση του κινδύνου πλημμύρας.

### 4) Στα ποτάμια

Η χρήση δομικών μεθόδων στα ποτάμια, για τον έλεγχο πλημμυρών, είναι πολύ σημαντική ιδιαίτερα σε περιοχές επιρρεπείς σε πλημμύρες ποταμών. Συχνά χρησιμοποιούνται αναχώματα και τοιχώματα στις όχθες των ποταμών. Τα αναχώματα χτίζονται κατά μήκος των όχθων ποταμών για να αποτρέπουν τις πλημμύρες, περιορίζοντας τη ροή του ποταμού μέσα σε ένα καθορισμένο κανάλι. Τα τοιχώματα πλημμύρας είναι κατακόρυφα εμπόδια που

κατασκευάζονται κατά μήκος των όχθων ποταμών για να παρέχουν παρόμοια προστασία. Αυτές οι κατασκευές αυξάνουν αποτελεσματικά το ύψος των όχθων του ποταμού, μειώνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας κατά τη διάρκεια φαινομένων υψηλής ροής.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και επιχώματα, δηλαδή υπερυψωμένοι σωροί χώματος που κατασκευάζονται κατά μήκος των όχθων ποταμών για να δημιουργήσουν ένα φράγμα ενάντια στις πλημμύρες. Υπάρχουν και άλλες παρόμοιες αλλά μικρότερες υπερυψωμένες περιοχές που συχνά χτίζονται στην προς την ξηρά πλευρά αναχωμάτων και παρέχουν πρόσθετη προστασία. Και οι δύο αυτές κατασκευές βοηθούν στον περιορισμό των πλημμυρικών υδάτων και εμποδίζουν την εξάπλωσή τους σε παρακείμενες περιοχές.

Οι υπερχειλιστές είναι κατασκευές που είναι ενσωματωμένες σε φράγματα ή αναχώματα για την εκτροπή της περίσσειας νερού μακριά από το κύριο κανάλι του ποταμού κατά τη διάρκεια υψηλής ροής. Είναι κινητά εμπόδια που εγκαθίστανται σε αναχώματα ή τοιχώματα πλημμύρας για τη ρύθμιση της ροής του νερού και την αποφυγή πλημμύρας στις κατάντη περιοχές. Αυτές οι κατασκευές παρέχουν ελεγχόμενη απελευθέρωση πλημμυρικών υδάτων για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου πλημμύρας.

Η βλάστηση κατά μήκος των όχθων του ποταμού παίζει καθοριστικό ρόλο στη σταθεροποίηση του εδάφους, στη μείωση της διάβρωσης και στην απορρόφηση νερού κατά τις πλημμύρες. Η παρόχθια βλάστηση και οι υγρότοποι, μπορούν να βοηθήσουν στην απορρόφηση των πλημμυρικών υδάτων, στην επιβράδυνση της ταχύτητας ροής αλλά και στην παροχή βιότοπων για την άγρια ζωή. Οι κατάλληλες πρακτικές διαχείρισης της βλάστησης την αποτελεσματικότητά στον έλεγχο πλημμυρών.

Σημαντικό είναι να παρθούν και μέτρα ελέγχου διάβρωσης, που έχουν σχεδιαστεί για να προστατεύουν τις όχθες του ποταμού από τη διάβρωση που προκαλείται σε περίπτωση υψηλής ροής. Χρησιμοποιούνται κεκλιμένες κατασκευές από πέτρα, σκυρόδεμα ή άλλα υλικά και τοποθετούνται κατά μήκος των όχθων του ποταμού για να διαχέουν την ενέργεια του κινούμενου νερού και να αποτρέπουν τη διάβρωση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και βράχοι ή ογκόλιθοι που τοποθετούνται κατά μήκος των όχθων ποταμών ή των αναχωμάτων, για τη σταθεροποίηση του εδάφους και την πρόληψη της διάβρωσης.

Ακόμα η τροποποίηση της φυσικής ροής ενός ποταμού βελτιώνει την ικανότητά του να μεταφέρει νερό και να μειώσει τον κίνδυνο πλημμύρας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει ευθυγράμμιση, εμβάθυνση ή διεύρυνση του καναλιού του ποταμού για να αυξηθεί η ικανότητα ροής του και για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα υπερχειλίσης κατά τη διάρκεια πλημμύρας. Συνολικά, όλα τα παραπάνω αποτελούν βασική υποδομή για τον μετριασμό των επιπτώσεων των πλημμυρών ποταμών, την προστασία ζώων, περιουσιών και υποδομών σε περιοχές που είναι επιρρεπείς στις πλημμύρες. Έτσι, μειώνεται ο κίνδυνος πλημμύρας και ενισχύεται η ανθεκτικότητα των κοινοτήτων σε πλημμυρικά συμβάντα.

### 5) Παράκτιες περιοχές

Οι δομικές μεθοδολογίες που εκτελούνται στις παράκτιες περιοχές έχουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των πλημμυρών, ιδιαίτερα σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε καταιγίδες, παλίρροιες και άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Ακολουθούν κάποιες συνήθειες στρατηγικές παράκτιας άμυνας για τον έλεγχο των πλημμυρών:

**Θαλάσσια τοιχώματα:** Είναι ανθεκτικές κατασκευές που χτίζονται παράλληλα με την ακτογραμμή για να μειώσουν τις επιπτώσεις των κυμάτων και των καταιγίδων. Λειτουργούν ως φραγματα, απορροφώντας και αντανακλώντας την ενέργεια των κυμάτων για να αποτρέψουν τις πλημμύρες.

**Κυματοθραύστες:** Είναι υπεράκτιες κατασκευές σχεδιασμένες να διαχέουν την ενέργεια των κυμάτων πριν αυτή φτάσει στην ακτή. Μπορεί να είναι βυθισμένοι ή μερικώς βυθισμένοι και συχνά χτίζονται μπροστά από ευάλωτες παράκτιες περιοχές για να μειώσουν το ύψος των κυμάτων και τη διάβρωση.

**Παλιρροϊκά φράγματα:** Είναι μεγάλες κινητές κατασκευές που εγκαθίστανται για να αποτρέπουν τα κύμα καταιγίδας και τις παλίρροιες να πλημμυρίσουν παράκτιες περιοχές. Αυτά τα εμπόδια μπορούν να λειτουργούν χειροκίνητα ή αυτόματα για να κλείνουν κατά τη διάρκεια πλημμυρών και να ανοίγουν υπό κανονικές συνθήκες.

### **Μη δομικές μέθοδοι**

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι μη δομικού ελέγχου πλημμυρών που αποτελούν μέρος των στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου πλημμύρας. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν πολιτική που μειώνει τον αριθμό των αστικών δομών που χτίζονται γύρω από πλημμυρικές πεδιάδες ή περιοχές επιρρεπείς στις πλημμύρες, μέσω κανονισμών. Αυτό βοηθά στη μείωση των διαδικασιών που απαιτούνται για την προστασία των ανθρώπων και των κτιρίων από πλημμύρες. Ομοίως, τα συστήματα προειδοποίησης πλημμυρών είναι σημαντικά για τη μείωση των κινδύνων. Μετά την εμφάνιση πλημμυρικών γεγονότων, άλλα μέτρα όπως σχέδια ανοικοδόμησης και αποζημίωση ζημιών μπορούν να ενσωματωθούν στα σχέδια διαχείρισης πλημμύρας. Απαιτείται διαφοροποίηση της στρατηγικής διαχείρισης κινδύνου πλημμύρας ανά περιοχή για να διασφαλιστεί ότι οι στρατηγικές διαχείρισης καλύπτουν πολλά διαφορετικά σενάρια και βέλτιστες πρακτικές.

### **1) Χαρτογράφηση πλημμυρών**

Η χαρτογράφηση πλημμυρών είναι ένα κρίσιμο εργαλείο για τον έλεγχο και τη διαχείριση των πλημμυρών. Περιλαμβάνει τη δημιουργία χαρτών που προσδιορίζουν τις περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες, την έκταση των πιθανών πλημμυρών και την ευπάθεια των κοινοτήτων και των υποδομών σε κινδύνους πλημμύρας. Αυτοί οι χάρτες δημιουργούνται συνήθως χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό δεδομένων από προγράμματα όπως το Google Earth Engine ή το GIS, τοπογραφικών πληροφοριών, ιστορικών δεδομένων πλημμύρας, υδρολογικών μοντέλων και τεχνολογιών τηλεπισκόπησης, όπως δορυφορικές εικόνες. Υπάρχουν διάφοροι βασικοί λόγοι για τη χαρτογράφηση πλημμυρών στις προσπάθειες αντιπλημμυρικού ελέγχου:

**Αξιολόγηση Κινδύνου:** Οι χάρτες πλημμύρας βοηθούν στην αξιολόγηση του κινδύνου που δημιουργείται από τις πλημμύρες σε διάφορες περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των κοινοτήτων, των υποδομών και των φυσικών οικοτόπων. Εντοπίζοντας περιοχές που είναι επιρρεπείς στις πλημμύρες, η πολιτεία μπορεί να δώσει τους απαιτούμενους πόρους και να εφαρμόσει μέτρα για τη μείωση της ευπάθειας από τις πλημμύρες.

**Σχεδιασμός Αντιμετώπισης Έκτακτης Ανάγκης:** Οι χάρτες πλημμυρών είναι απαραίτητοι για τον σχεδιασμό αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης, γιατί παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για διαδρομές εκκένωσης, θέσεις καταφυγίων έκτακτης ανάγκης και κατανομή πόρων κατά τη διάρκεια πλημμυρών.

**Σχεδιασμός χρήσης γης:** Οι χάρτες πλημμύρας βοηθούν αποτελεσματικά για να παρθούν αποφάσεις για τον σχεδιασμό χρήσης γης, προσδιορίζοντας περιοχές όπου η ανάπτυξη πρέπει να περιοριστεί ή όπου θα πρέπει να εφαρμοστούν ειδικοί οικοδομικοί κανονισμοί και αντιπλημμυρικές τεχνικές κατασκευής για την ελαχιστοποίηση των ζημιών από τις πλημμύρες.

**Σχεδιασμός Υποδομών:** Χρησιμοποιούνται χάρτες πλημμύρας για να σχεδιαστούν υποδομές όπως γέφυρες, δρόμοι και συστήματα διαχείρισης όμβριων υδάτων για την αντιμετώπιση πλημμυρών. Έτσι διασφαλίζεται ότι οι υποδομές είναι ανθεκτικές και μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια πλημμυρών.

**Προστασία του Περιβάλλοντος:** Με τη χαρτογράφηση πλημμύρας μπορούν να προστατευτούν περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές που ενδέχεται να κινδυνεύουν από πλημμύρες, όπως υγροτοποι και περιοχές ειδών υπό εξαφάνιση.

Συνολικά, η χαρτογράφηση πλημμυρών έχει κρίσιμο ρόλο στην υποστήριξη ελέγχου πλημμύρας παρέχοντας βασικές πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων, τον σχεδιασμό και τις δραστηριότητες ετοιμότητας που στοχεύουν στη μείωση των επιπτώσεων των πλημμυρών στις κοινότητες και στο περιβάλλον.

## 2) Μοντελοποίηση πλημμύρας

Εκτός από τα παραπάνω στη χαρτογράφηση βοηθούν και τα μοντέλα πλημμύρας. Η μοντελοποίηση πλημμύρας περιλαμβάνει τη χρήση μαθηματικών μοντέλων για την προσομοίωση και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των πλημμυρικών υδάτων υπό διάφορες συνθήκες. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούν παράγοντες όπως μοτίβα βροχοπτώσεων, τοπογραφία γης, χρήση γης, τύπους εδάφους, χαρακτηριστικά ποταμών και ρεμάτων, και την υπάρχουσα υποδομή για την εκτίμηση της έκτασης, του βάθους, της ταχύτητας και των πιθανών επιπτώσεων της πλημμυρας.

Τα μοντέλα πλημμύρας βοηθούν στην αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας προβλέποντας την πιθανότητα και το μέγεθος των πλημμυρικών γεγονότων σε διαφορετικές περιοχές. Εντοπίζοντας ζώνες υψηλού κινδύνου μπορούν να γίνουν προσπάθειες για τον μετριασμό της πλημμύρας και για την ετοιμότητα σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Τα μοντέλα πλημμύρας χρησιμοποιούνται και για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση υποδομών ελέγχου πλημμύρας όπως αναχώματα, τοιχώματα πλημμύρας και συστήματα αποχέτευσης όμβριων υδάτων. Με την προσομοίωση διάφορων σεναρίων μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση του σχεδιασμού αυτών των κατασκευών για να μετριαστούν αποτελεσματικά οι επιπτώσεις από τις πλημμύρες.

Όπως και η χαρτογράφηση πλημμύρας, έτσι και τα μοντέλα πλημμύρας βοηθούν στον σχεδιασμό αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης παρέχοντας έγκαιρες και ακριβείς προβλέψεις πλημμυρών.[16],[17]

## 3. Κακοκαιρία Daniel

Η καταιγίδα Daniel ήταν ένας κυκλώνας στην Μεσόγειο στις αρχές Σεπτεμβρίου 2023. Η καταιγίδα έφερε έντονες βροχοπτώσεις και ισχυρούς ανέμους, που οδήγησαν σε εκτεταμένες πλημμύρες σε πολλές χώρες, κυρίως στη Λιβύη, την Ελλάδα, τη Βουλγαρία και την Τουρκία. Αποτελεί τον πιο θανατηφόρο μεσογειακό κυκλώνα που έχει καταγραφεί ποτέ. Ξεκίνησε 4 Σεπτεμβρίου και επηρέασε αρκετές περιοχές της Ελλάδας και κυρίως τη Θεσσαλία. Στη Θεσσαλία η ένταση της κακοκαιρίας Daniel οφείλεται σε τρία μετεωρολογικά στοιχεία που συνέβαιναν την ίδια στιγμή:

### 1. Δυναμικές ανοδικές τάσεις στην ατμόσφαιρα

α) Το φαινόμενο της ψυχρής "λίμνης" στην ανώτερη ατμόσφαιρα δημιούργησε έντονες διαταραχές στην ατμόσφαιρα, ωθώντας τον αέρα προς τα πάνω.

β) Τα θερμά νερά του Αιγαίου δημιούργησαν ασταθή ατμόσφαιρα με μεγαλύτερη επίδραση τη νύχτα όταν η ατμοσφαιρική ψύξη εντεινόταν.

γ) Συγκλίσεις ανέμων, δηλαδή άνεμοι που έρχονταν από διαφορετικές κατευθύνσεις, συναντήθηκαν στην περιοχή Θεσσαλίας - Σποράδων. Η συνάντηση δημιούργησε ισχυρά ανοδικά ρεύματα, ωθώντας τον αέρα προς τα πάνω με ορμή.

2. Παρατηρήθηκε έντονη μεταφορά υδρατμών από το Αιγαίο Πέλαγος προς την ηπειρωτική χώρα, ιδιαίτερα προς την περιοχή της Θεσσαλίας. Η υγρασία τροφοδοτούνταν από υγρές αέριες μάζες, οι οποίες ωθούνταν προς την ανατολική Ελλάδα από το επικρατέστερο ανεμολογικό πεδίο. Οι υγρές αέριες μάζες, φέροντας υψηλά ποσοστά υγρασίας, συναντούσαν ευνοϊκές συνθήκες πάνω από την ηπειρωτική χώρα, οδηγώντας στην ανάπτυξη καταγιδόφρων νεφών.

3. Δημιουργία Mesoscale Convective Complex (MCC). Πολλές καταιγίδες ενώθηκαν και δημιούργησαν ένα μεγάλο, κυκλικό σύστημα (MCC) το οποίο έφερε έντονες βροχοπτώσεις και δυνατούς ανέμους.

### Γεγονότα ανά ημέρα

**5 Σεπτεμβρίου:** Στα χωριά του Πηλίου, Ζαγορά και Πορταριά, ο μετεωρολογικός σταθμός κατέγραψε 754mm και 613mm βροχής αντίστοιχα. Όμως, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος μετεωρολογικός σταθμός, που καταγράφει δεδομένα από την περιοχή, δεν μπόρεσε να καταγράψει επιπλέον χιλιοστά βροχής μετά τις 20:45, λόγω διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος.





Εικόνα 21: Χάρτης της Θεσσαλίας με τα ύψη βροχής και πίνακας με τις 8 περιοχές με το μεγαλύτερο ύψος βροχής στις 5 Σεπτεμβρίου, Πηγή: [15]

**6 Σεπτεμβρίου:** Η κακοκαιρία Daniel ενίσχυσε τον χείμαρρο Κραυσίδωνα, ο οποίος πηγάζει στο Πήλιο, διασχίζει τον Βόλο και εκβάλλει στον Κόλπο του Βόλου. Έτσι, η ορμή του χείμαρρου έφτασε στον Βόλο και κατέστρεψε μία γέφυρα και προκάλεσε σοβαρές ζημιές σε ένα γηροκομείο. Ακόμα, στο πέρασμά του, παρέσυρε αυτοκίνητα, λεωφορεία, δέντρα και άλλα αντικείμενα.

**7 Σεπτεμβρίου:** Ο αυτοκινητόδρομος και τα δρομολόγια τρένου της διαδρομής Αθήνα - Θεσσαλονίκη σταμάτησαν να λειτουργούν. Ακόμα, η ΕΜΑΚ βοήθησε 800 ανθρώπους να απεγκλωβιστούν μέσα από γκρεμισμένα κτίρια και γέφυρες και από κάποια βυθισμένα χωριά. Στη Λάρισα ο Πηνειός ποταμός πλημμύρισε με τη στάθμη του να ανεβαίνει, από τα 4 μέτρα βάθος που συνήθως έχει, στα 9,5 μέτρα. Εκτός από τον Πηνειό, πλημμύρισε και ο ποταμός

Ληθαίος, σε διάφορα τμήματά του στα Τρίκαλα, δημιουργώντας σοβαρές ζημιές. Ακόμα στην ανατολική πλευρά της Λάρισας υπερχείλισε ο χείμαρρος Γκουσμπασανιώτης. Στον Δήμο Φαρκαδόνας επλήγησαν πολλά χωριά όπως το Κεραμίδι και ο Κλοκοτός, αλλά και το κέντρο του Δήμου, η Φαρκαδόνα. Τέλος, στην Κοιλάδα των Τεμπών υπερχείλισε ο Πηνειός στα 18 μέτρα. [14]

	Τα ύψη βροχόπτωσης (mm) της κακοκαιρίας DANIEL στη Θεσσαλία					
	04/09/2023	05/09/2023	06/09/2023	07/09/2023	08/09/2023	
Ζαγορά Πηλίου	134,6	759,6	3,8	197,6	0,6	1096,2
Πορταριά Πηλίου <sup>1</sup>	108,2	761,9	14,4	0	0	884,5
Πεζούλα Καρδίτσας	43,2	250	378,4	90,8	0	762,4
Καρδίτσα – Πόλη	42,4	185,2	404,4	26,8	0	658,8
Περτούλι Χ/Κ <sup>2</sup>	0,6	58,6	415,2	165,8	2,4	642,6
Βόλος <sup>3</sup>	35,2	450,8	121	10,4	0	617,4
Μουζάκι	23,8	163,8	321,8	89	0	598,4
Κωφοί Μαγνησίας	23,4	152,6	342,2	32,2	0	550,4
Τρίκαλα	17,6	116,6	256,8	86,4	0	477,4
Χαλκιάδες Φαρσάλων	19,4	205,6	223,2	17,8	0	466
Σκιάθος – Ξάνεμος	42,4	321,8	0,8	33,6	0	398,6
Νεράιδα Φαρσάλων	19,6	226,6	99,2	23,8	0	369,2
Καλαμπάκα	10,8	94,2	165,8	85,2	0,2	356,2
Αγιά Λάρισας	11,2	218,6	15,4	90,6	0	335,8
Λάρισα – Χάλικη	25,2	180,8	68,8	30,4	0,2	305,4
Αλώνησος	25,4	216,2	0	40,8	0	282,4
Γόννοι Τεμπών	14	147,4	31,4	71,2	0,2	264,2
Σμόκοβο Καρδίτσας <sup>4</sup>	40,2	97	89,4	—	—	226,6
Σκόπελος <sup>5</sup>	—	—	—	—	—	218,8
Πλατανούλια Λάρισας	18,6	75,4	91,2	25,4	0	210,6
Πλατύκαμπος Λάρισας	20,8	107,6	0,4	76,4	1,4	206,6
Δέντρα Τυρνάβου	19,2	86,4	64,8	22,8	0	193,2
Γλώσσα Σκοπέλου	49	104,4	0,4	15	0,2	169
Νέσων Τεμπών	11,6	78	3,6	71,6	0,2	165
Ελασσόνα	26,4	72,2	19,6	40,8	0	159

Εικόνα 22: Πίνακας με τα ύψη βροχής της κακοκαιρίας Daniel σε διάφορες περιοχές της Θεσσαλίας ανά ημέρα αλλά και συνολικά από το δίκτυο αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών/meteo.gr.

1. Παύση μετάδοσης δεδομένων από 06/09, λόγω βλάβης του Μ/Σ,
  2. Μερική απώλεια δεδομένων στις 04-05/09, η οποία εκτιμάται στα ~100 mm
  3. Τρίωρη απώλεια δεδομένων στις 06/09, η οποία εκτιμάται στα ~50 mm,
  4. Εκκρεμεί η συλλογή δεδομένων στις 06-08/09,
  5. Εκκρεμεί η συλλογή των ημερήσιων τιμών της κακοκαιρίας. Το άθροισμα είναι σωστό
- Πηγή: [15]

#### 4. Κακοκαιρία Elias

Η κακοκαιρία Elias διήρκεσε από τη Δευτέρα 25 Σεπτεμβρίου 2023 έως την Πέμπτη 28 Σεπτεμβρίου 2023, στην Ελλάδα. Στις 24 Σεπτεμβρίου, ένα ισχυρό αντικυκλωνικό σύστημα, στη Δυτική Ευρώπη, βοήθησε ψυχρές αέριες μάζες να μετακινηθούν από τις Άλπεις και τα Βαλκάνια προς την Ιταλία. Αυτό το σύστημα χαμηλής πίεσης στάθηκε στο Ιόνιο Πέλαγος και

βοήθησε στη δημιουργία έντονων καταγίδων στην Ελλάδα. Τη Δευτέρα 25 Σεπτεμβρίου σημειώθηκε χαλαζόπτωση διαμέτρου έως 6 cm σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Την Τετάρτη 27 Σεπτεμβρίου καταγίδες άνω των 315 mm σημειώθηκαν στον Βόλο σε λιγότερο από 24 ώρες. Γενικά τον Σεπτέμβριο, και με τις δύο κακοκαιρίες, η μηνιαία βροχόπτωση έφτασε τα 933 mm. [15]

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα ύψη βροχής σε διάφορες περιοχές της Θεσσαλίας κατά τη διάρκεια των δύο κακοκαιριών από το δίκτυο αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών/meteo.gr.

Σταθμός	Αθροιστικά ύψη βροχής (mm)	
	Κακοκαιρία Daniel 04-08/09/2023	Κακοκαιρία Elias 25-28/09/2023**
Περτούλι	643*	205
Πεζούλα Καρδίτσας	762	241
Τρίκαλα	477	143
Καρδίτσα – πόλη	656	130
Λάρισα – Χάλκη	305	65
Ζαγορά	1096	96
Βόλος	617	316

Εικόνα 23:

\* Απώλειες λόγω βλάβης ~ 100mm

\*\* Δεδομένα 28/09 έως 17:00

Πηγή: [15]

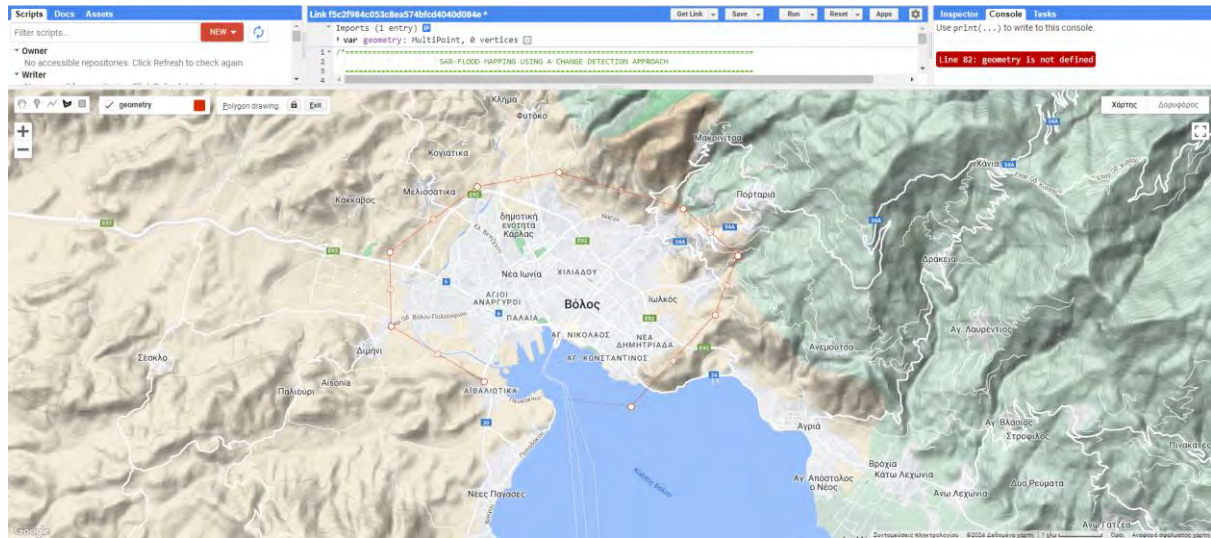
## 5. Χαρτογράφηση πλημμυρών και εκτίμηση ζημιών με χρήση του Google Earth Engine

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη χαρτογράφηση των πλημμυρών στη Θεσσαλία κατά τη διάρκεια των δύο κακοκαιριών του Σεπτεμβρίου του 2023 και για την εκτίμηση των ζημιών. Η μέθοδος αποτελείται από διακριτά βήματα και βασίζεται στην προτεινόμενη προσέγγιση του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για την καταγραφή φυσικών καταστροφών με τη χρήση δεδομένων από δορυφόρους. Συγκεκριμένα, στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία ενός χάρτη έκτασης πλημμύρας για την αξιολόγηση των πληγείσων περιοχών. Η έκταση της πλημμύρας δημιουργείται με τη χρήση μιας προσέγγισης ανίχνευσης αλλαγών σε δεδομένα Sentinel-1 (SAR). Για την αξιολόγηση του αριθμού των δυνητικά εκτεθειμένων ατόμων, των επηρεαζόμενων καλλιεργήσιμων εκτάσεων και των αστικών περιοχών, πρόσθετες βάσεις δεδομένων θα συνδυαστούν με το παραγόμενο επίπεδο έκτασης της πλημμύρας και θα απεικονιστούν.

Η διαδικασία χρησιμοποιεί το Google Earth Engine, το οποίο όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα επεξεργασίας δεδομένων μεγάλης κλίμακας με βάση το νέφος (cloud). Τα βασικά πλεονεκτήματά της στην καταγραφή φυσικών καταστροφών (π.χ. πλημμυρών) είναι η υψηλή υπολογιστική ταχύτητα και η μεγάλη ποικιλία βάσεων δεδομένων που ενημερώνονται συνεχώς, ενώ δεν απαιτείται και η λήψη ακατέργαστων εικόνων. Αναλυτικά, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα παρακάτω:

### Βήμα 1: Καθορισμός περιοχής μελέτης.

Αρχικά πρέπει να καθοριστούν τα όρια της περιοχής μελέτης, η οποία είναι απαραίτητη για τον περιορισμό της έκτασης επεξεργασίας της ανάλυσης και την αποφυγή περιττών υπολογισμών. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει την περιοχή μελέτης χειροκίνητα, μέσω του σχεδιασμού πολυγώνου που την περιέχει, η οποία είναι και η ταχύτερη και ευκολότερη επιλογή, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 24, Πηγή: Στιγμιότυπο οθόνης στο Google Earth Engine

Εναλλακτικά, οι συντεταγμένες των ορίων της περιοχής μελέτης μπορούν να εισαχθούν από ένα αρχείο GIS/διανύσματος (shapefile).

### Βήμα 2: Επιλογή χρονικής περιόδου ανάλυσης

Εκτός από την περιοχή ενδιαφέροντος, ο χρήστης καλείται να ορίσει τις χρονικές περιόδους πριν και μετά την πλημμύρα. Ορίζοντας περιόδους και όχι μεμονωμένες ημερομηνίες, ο χρήστης εξασφαλίζει την ύπαρξη αρκετών εικόνων από τον δορυφόρο για την κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος, μιας και οι εικόνες του Sentinel-1 λαμβάνονται τουλάχιστον κάθε 12 ημέρες για κάθε σημείο του πλανήτη. Για αυτό τον λόγο, ο χρήστης πρέπει στη συνέχεια να ελέγξει αν υπάρχει επαρκής κάλυψη της περιοχής μελέτης.

### Βήμα 3: Εκτέλεση του κώδικα

Στη συνέχεια, εκτελείται ο αντίστοιχος κώδικας για τη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων για τις επιλεγμένες περιόδους και συγκεκριμένα την πραγματοποίηση της σύγκρισης ανάμεσα στις δύο περιόδους, πριν και μετά την πλημμύρα.

### Βήμα 4: Φιλτράρισμα δεδομένων

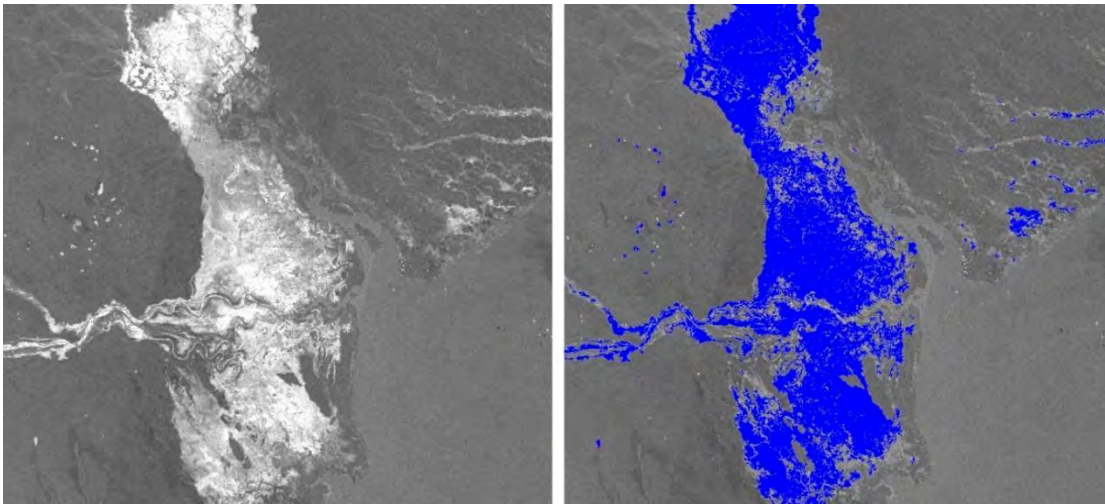
Το πρώτο βήμα κατά την εκτέλεση του κώδικα αφορά το φιλτράρισμα των δεδομένων, δηλαδή η επιλογή των δεδομένων που αφορούν την περιοχή και τις περιόδους μελέτης.

### Βήμα 5: Προεπεξεργασία εικόνων

Τα δεδομένα που είναι προσβάσιμα μέσω του Google Earth Engine έχουν ήδη υποστεί προεπεξεργασία που περιλαμβάνει την αφαίρεση θορύβου, βαθμονόμηση και διόρθωση εδάφους. Επιπλέον, για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, εφαρμόζεται ένα φίλτρο εξομάλυνσης για την μείωση του εγγενούς φαινομένου του στίγματος των εικόνων ραντάρ (speckle effect), το οποίο είναι αποτέλεσμα της παρεμβολής πολλών κυμάτων της ίδιας συχνότητας, με διαφορετικές φάσεις και πλάτη, τα οποία αθροίζονται και δίνουν ένα κύμα του οποίου το πλάτος, και συνεπώς η ένταση, μεταβάλλεται τυχαία.

### Βήμα 6: Εντοπισμός μεταβολών

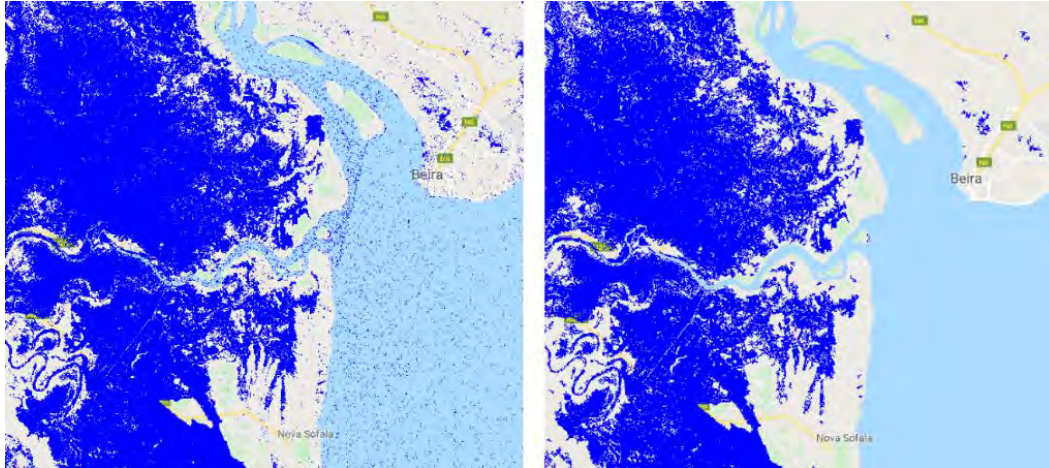
Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιείται μία απλή προσέγγιση για την ανίχνευση των αλλαγών, όπου η εικόνα μετά την πλημμύρα, δηλαδή το μωσαϊκό εικονοστοιχείων (πίξελς), διαιρείται με την αντίστοιχη πριν την πλημμύρα, με αποτέλεσμα ένα διάνυσμα δύο διαστάσεων που αντιστοιχεί στον βαθμό αλλαγής ανά εικονοστοιχείο. Οι υψηλές τιμές (φωτεινά εικονοστοιχεία) υποδηλώνουν μεγάλη αλλαγή, ενώ οι χαμηλές τιμές (σκοτεινά εικονοστοιχεία) υποδηλώνουν μικρή αλλαγή. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιείται ως «κατώφλι» που υποδηλώνει σημαντική μεταβολή η τιμή 1.25 και έτσι τελικά αποδίδεται τιμή 1 σε όλες τις τιμές μεγαλύτερες από 1.25 και 0 σε όλες τις τιμές μικρότερες από 1.25. Αξιοποιώντας το δυαδικό επίπεδο πλέγματος που δημιουργήθηκε με αυτή τη διαδικασία, εντοπίζεται η πιθανή έκταση της πλημμύρας. Το κατώφλι 1.25 επιλέχθηκε μέσω δοκιμών ως η πιο κατάλληλη τιμή, αλλά μπορεί να αλλάξει σε άλλες περιπτώσεις όπου πιθανώς να δίνεται έμφαση σε περισσότερο ή λιγότερο έντονες μεταβολές.



Εικόνα 25: Επίπεδο μεταβολών (αριστερά), με φωτεινό χρώμα οι περιοχές με τις εντονότερες μεταβολές, δεξιά μετά την εφαρμογή του κατωφλιού 1.25, Πηγή [1]

### Βήμα 7: Βελτιστοποίηση και διόρθωση επιπέδου έκτασης της πλημμύρας

Στο βήμα αυτό αξιοποιούνται πρόσθετες βάσεις δεδομένων για την εξάλειψη εικονοστοιχείων (πίξελς) που κακώς εντοπίστηκαν. Συγκεκριμένα, η βάση δεδομένων JRC Global Surface Water χρησιμοποιείται για τον αποκλεισμό όλων των περιοχών που καλύπτονται από νερό για διάστημα μεγαλύτερο των 10 μηνών ετησίως (π.χ. μεγαλύτερα ή μικρότερα ποτάμια, λίμνες, κτλ.). Επιπλέον, αφαιρούνται μεμονωμένα σημεία (πίξελς) ή μικρές ομάδες έως 8 πίξελς που δε συνδέονται με τα υπόλοιπα, καθώς θεωρείται ότι είναι πιο πιθανό να εντοπίστηκαν λόγω τυχαίου σφάλματος στην επεξεργασία των εικόνων. Αυτό μειώνει σε μεγάλο βαθμό τον θόρυβο των τελικώς παραγόμενων δεδομένων. Ένα παράδειγμα της διαδικασίας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



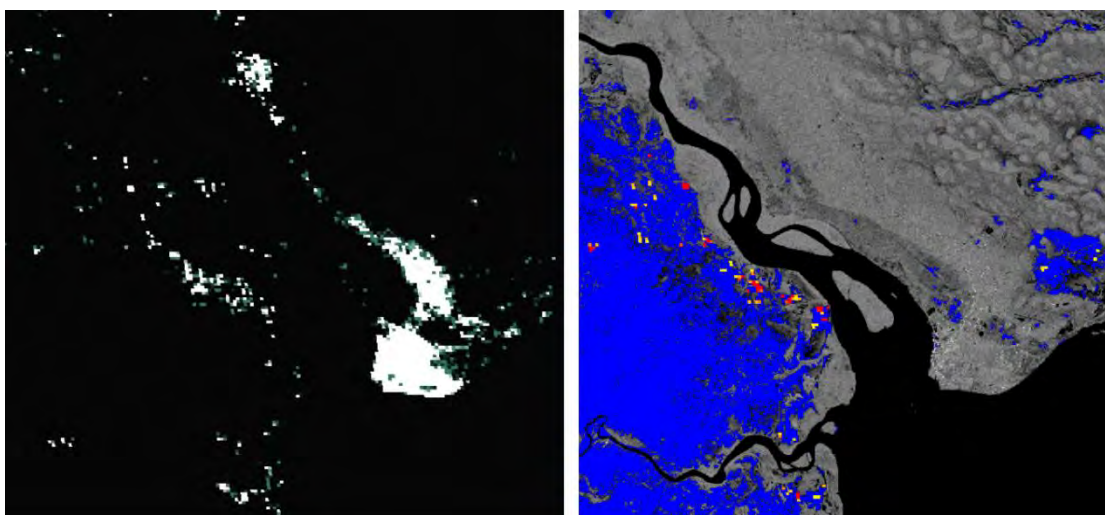
Εικόνα 26: Πριν και μετά το Βήμα 7, Πηγή: [1]

### **Βήμα 8: Υπολογισμός έκτασης πλημμύρας**

Για τον υπολογισμό του εμβαδού της έκτασης της πλημμύρας, υπολογίζεται το εμβαδόν σε  $m^2$  για κάθε εικονοστοιχείο, το οποίο εξαρτάται από την λεπτομέρεια της χαρτογράφησης κάθε περιοχής. Με την άθροιση όλων των εικονοστοιχείων προκύπτει η πληροφορία για την έκταση και μετατρέπεται σε εκτάρια.

### **Βήμα 9: Πυκνότητα εκτιθέμενου πληθυσμού**

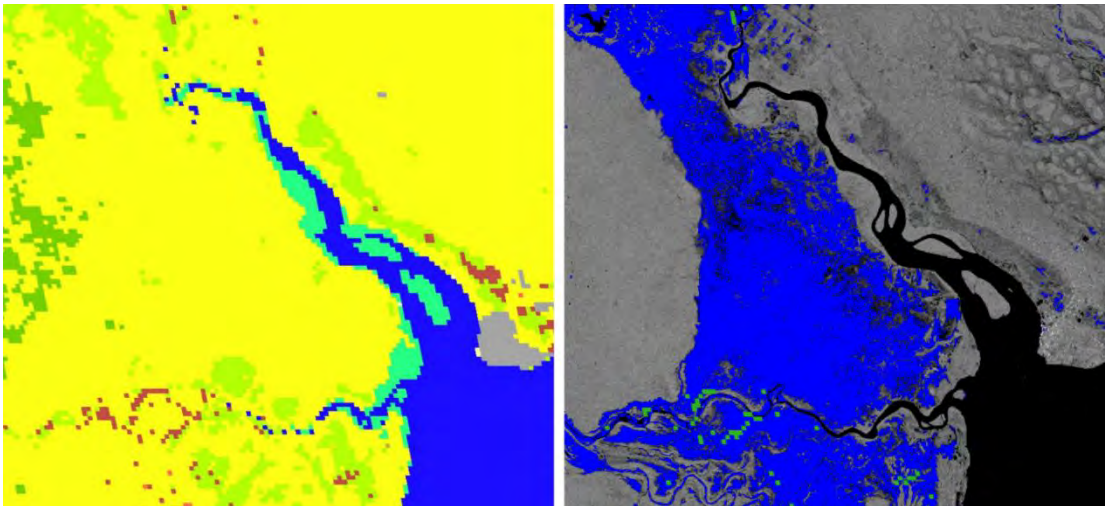
Για την εκτίμηση του αριθμού των εκτεθειμένων ατόμων, ο κώδικας χρησιμοποιεί το Παγκόσμιο Στρώμα Πληθυσμού Ανθρωπίνων Οικισμών (JRC Global Human Settlement Population Layer), το οποίο έχει ανάλυση 250 m, δηλαδή μέγεθος πίξελ 250m x 250m και περιέχει πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των ανθρώπων που ζουν σε κάθε πίξελ. Για την τομή του στρώματος πλημμύρας με το στρώμα πληθυσμού, το στρώμα έκτασης της πλημμύρας πρέπει πρώτα να αναπροβληθεί στην ανάλυση και του συνόλου δεδομένων πληθυσμού. Τέλος, για τον υπολογισμό του αριθμού των εκτεθειμένων ατόμων, αθροίζονται όλες οι τιμές του εκτεθειμένου πληθυσμού των εικονοστοιχείων της τομής των δύο στρωμάτων. Ένα παράδειγμα της παραπάνω διαδικασίας δίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 27: Αριστερά το επίπεδο πυκνότητας πληθυσμού και δεξιά η τομή του με το επίπεδο πλημμύρας (με κίτρινο και κόκκινο χρώμα, ανάλογα με την τιμή της πυκνότητας), Πηγή: [1]

#### **Βήμα 10: Επηρεαζόμενες καλλιεργήσιμες εκτάσεις**

Για να εκτιμηθεί η ποσότητα των επηρεαζόμενων καλλιεργήσιμων εκτάσεων, επιλέχθηκε το στρώμα MODIS Land Cover Type που είναι το μόνο παγκόσμιο σύνολο δεδομένων για την Κάλυψη Γης που είναι επί του παρόντος διαθέσιμο στο Google Earth Engine. Υπολογίζεται η τομή του στρώματος καλλιεργήσιμων εκτάσεων με αυτό της πλημμύρας και στη συνέχεια η έκταση της τομής τους υπολογίζεται με ανάλογο τρόπο με αυτόν του εκτεθειμένου πληθυσμού.



Εικόνα 28: Αριστερά το επίπεδο καλλιεργήσιμων εκτάσεων και δεξιά (με πράσινο χρώμα) η τομή με το επίπεδο της πλημμύρας, Πηγή [1]

#### **Βήμα 11: Επηρεαζόμενες αστικές περιοχές**

Τα δεδομένα για τις αστικές περιοχές εξάγονται από το στρώμα MODIS Land Cover Type, που χρησιμοποιήθηκε και για τον εντοπισμό των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η έκταση των περιοχών που επλήγησαν με παρόμοιο τρόπο.

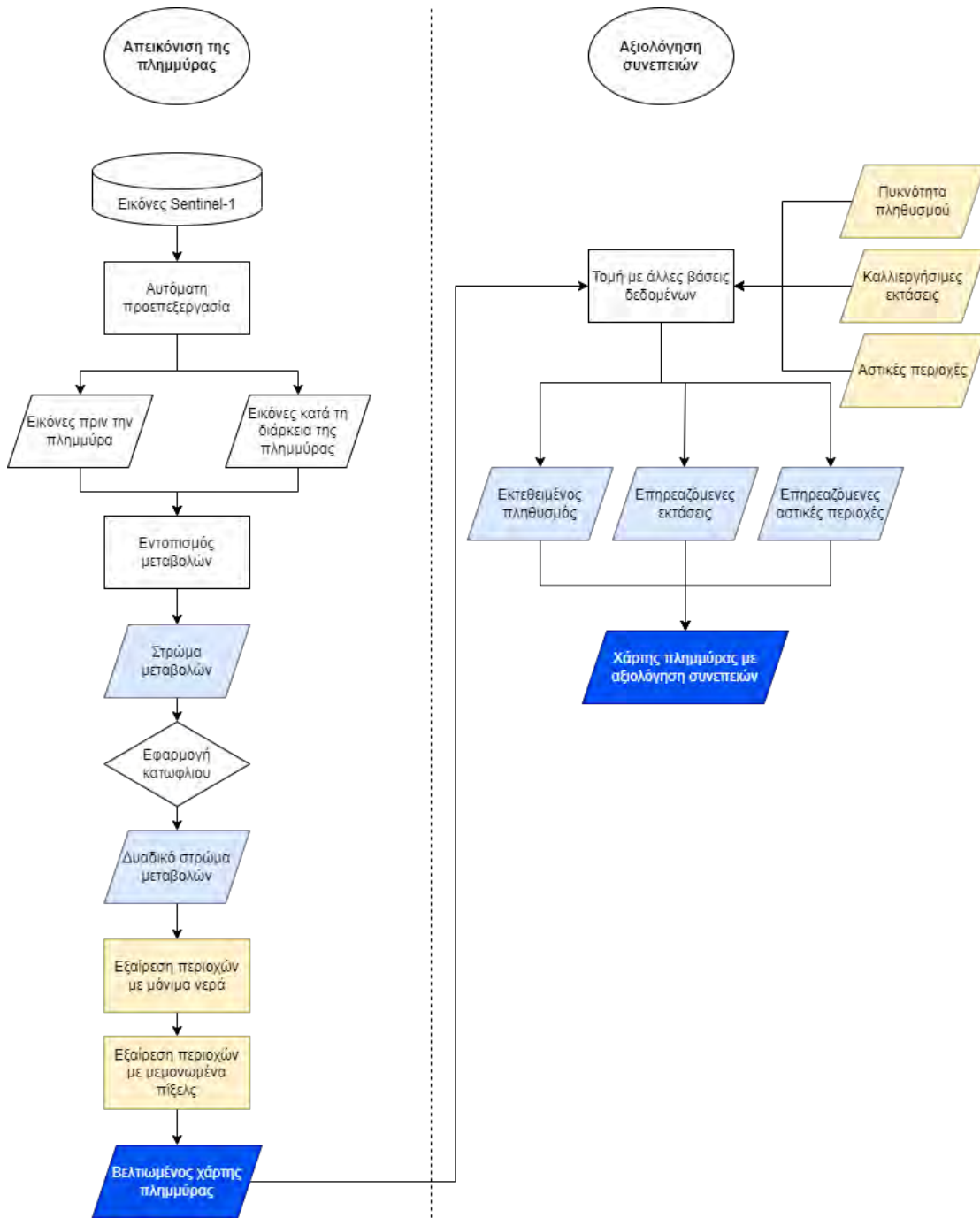
#### **Βήμα 12: Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων**

Τα παραγόμενα αποτελέσματα μπορούν να οπτικοποιηθούν σε χάρτες, οι οποίοι ενδεικτικά περιλαμβάνουν τις αστικές και αγροτικές εκτάσεις που επηρεάστηκαν και τον αντίστοιχο πληθυσμό. Περισσότερες λεπτομέρειες παρουσιάζονται παρακάτω στα αποτελέσματα.

#### **Βήμα 13: Εξαγωγή αποτελεσμάτων**

Τέλος, τα παραγόμενα αρχεία αποτελεσμάτων μπορούν να εξαχθούν και να αποθηκευτούν από τον χρήστη για περαιτέρω επεξεργασία.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται σχηματικά η παραπάνω διαδικασία: [1]

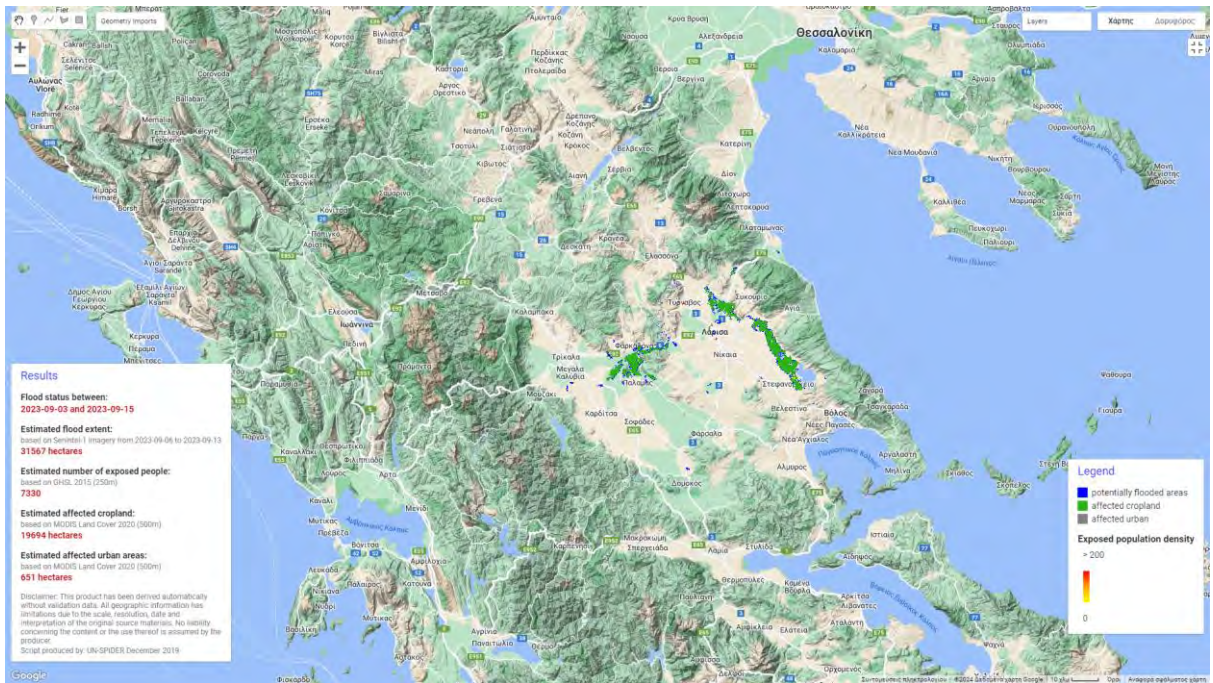


Εικόνα 29, Πηγή: [1]

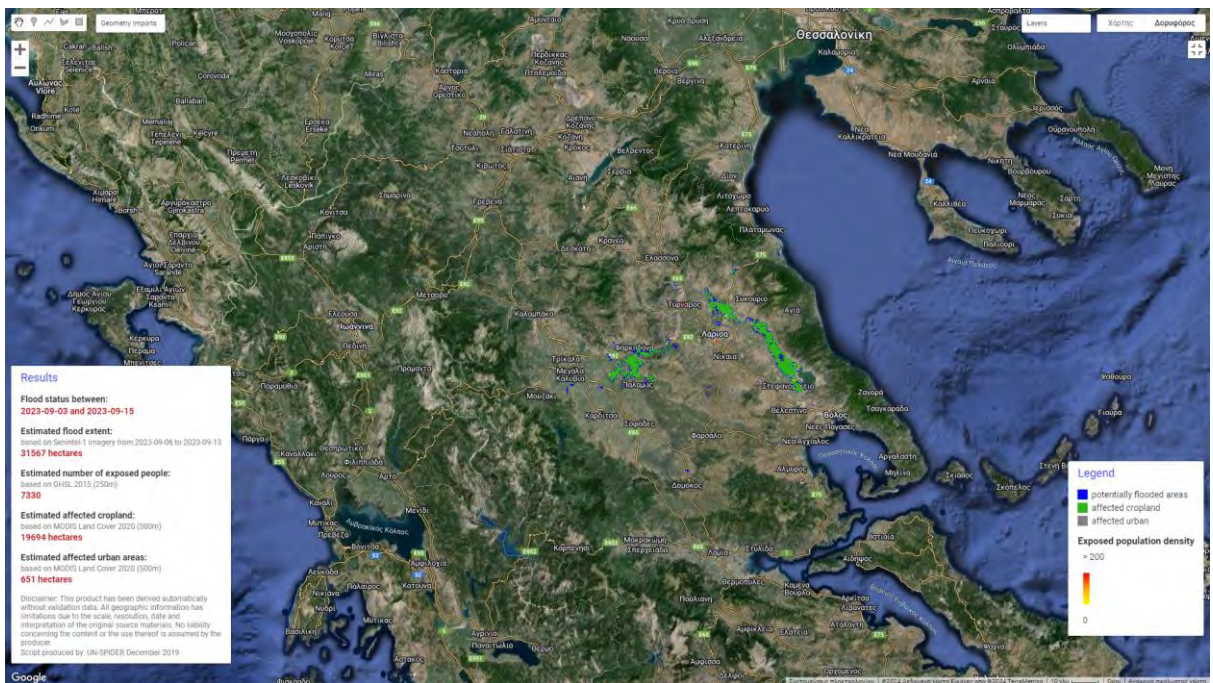
## 6. Αποτελέσματα

Ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα στο Google Earth Engine υπολογίστηκαν χάρτες που απεικονίζουν τις επιφάνειες που πλημμύρισαν στην Θεσσαλία κατά τη διάρκεια των κακοκαιριών Daniel και Elias, και σε ποιές από αυτές επηρεάστηκαν άνθρωποι ή ήταν καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Υπολογίζεται ακόμα ένας πίνακας με αποτελέσματα που αφορούν το συνολικό εμβαδόν των περιοχών που πλημμύρισαν, τον αριθμό των ανθρώπων που επηρεάστηκαν, το συνολικό εμβαδόν των καλλιεργήσιμων περιοχών που επηρεάστηκαν και το συνολικό εμβαδόν των αστικών περιοχών που επηρεάστηκαν. Το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε για όλη τη Θεσσαλία και για κάποιες σημαντικές περιοχές της, τη Λάρισα, τον Βόλο, τα Τρίκαλα, την Καρδίτσα, τον Τύρναβο, μία περιοχή στην κεντρική Θεσσαλία ανάμεσα στα



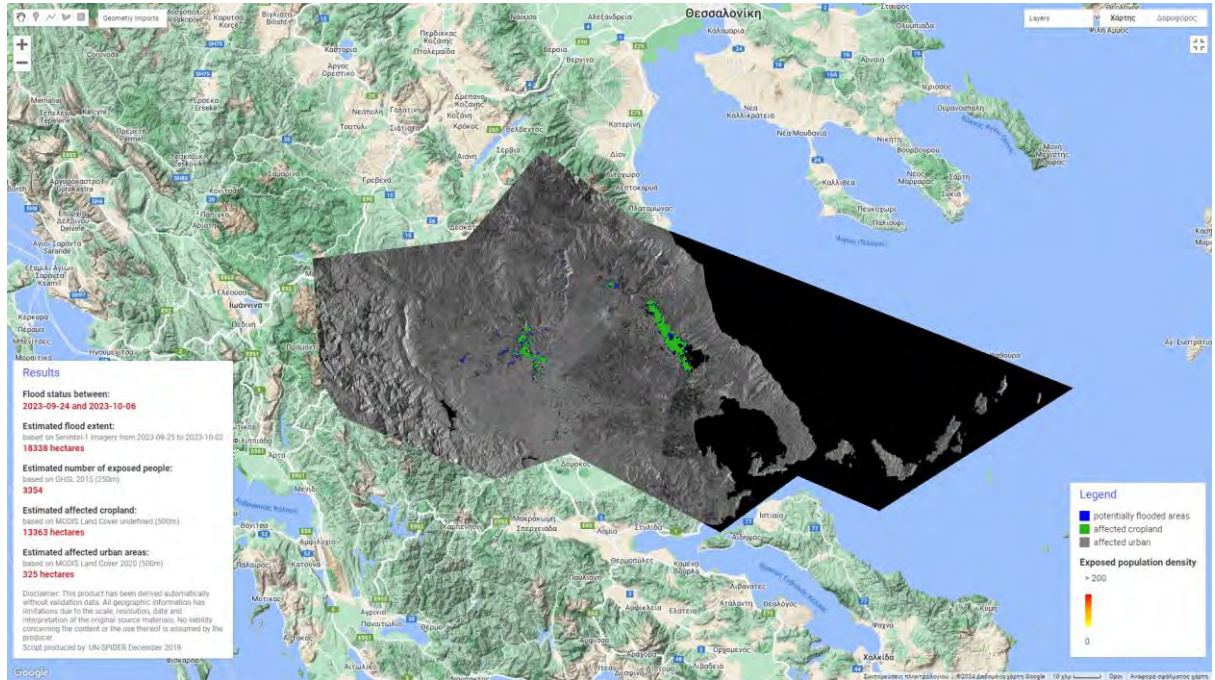


Εικόνα 31



Εικόνα 32

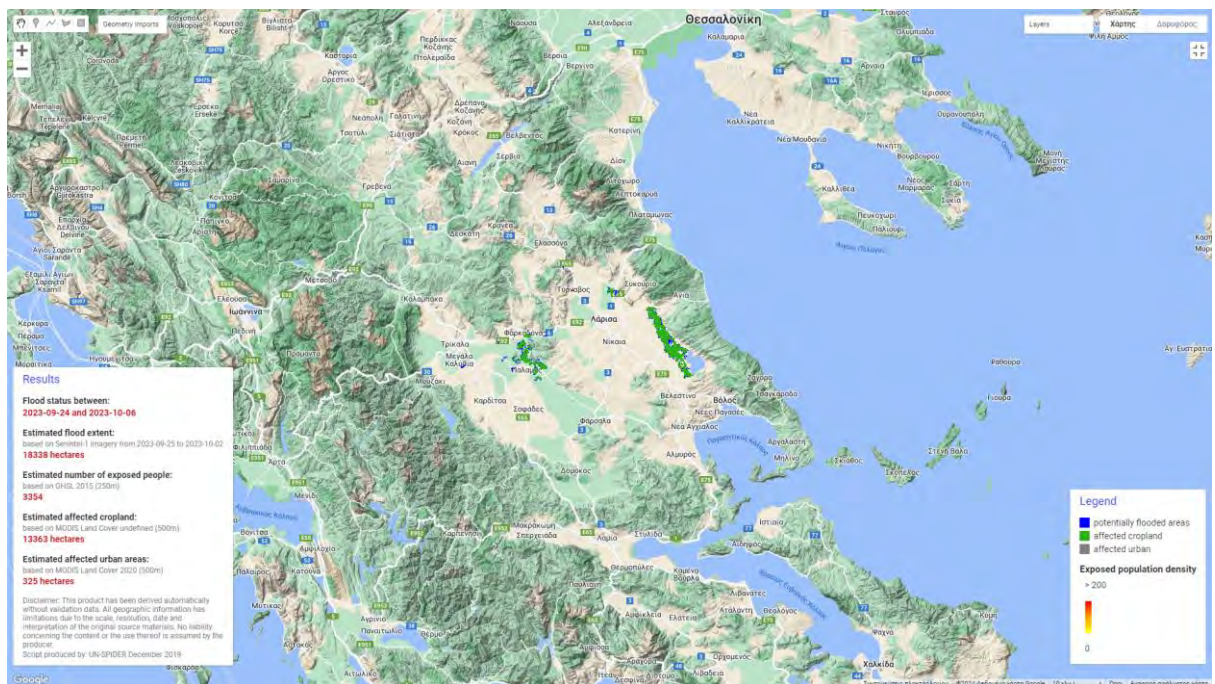
β) Κακοκαιρία Elias



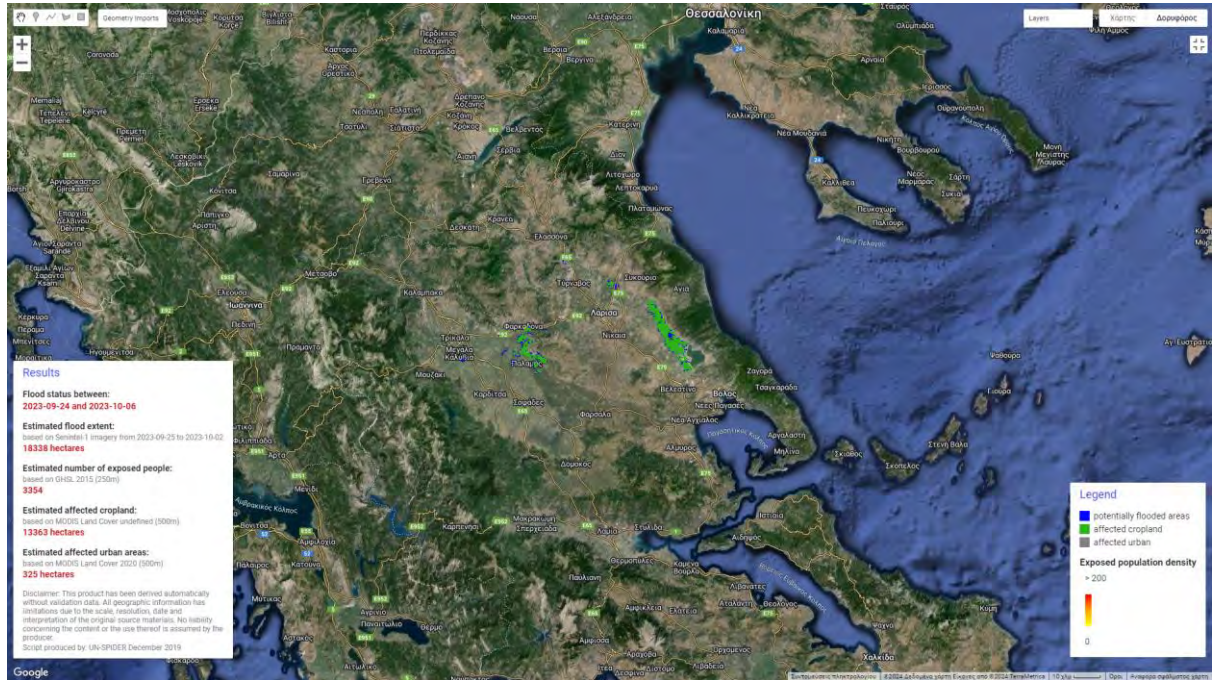
Εικόνα 33

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στη Θεσσαλία λόγω της κακοκαιρίας Elias ήταν 183380 στρέμματα. Από αυτά, τα 3250 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 133630 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 3354 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.



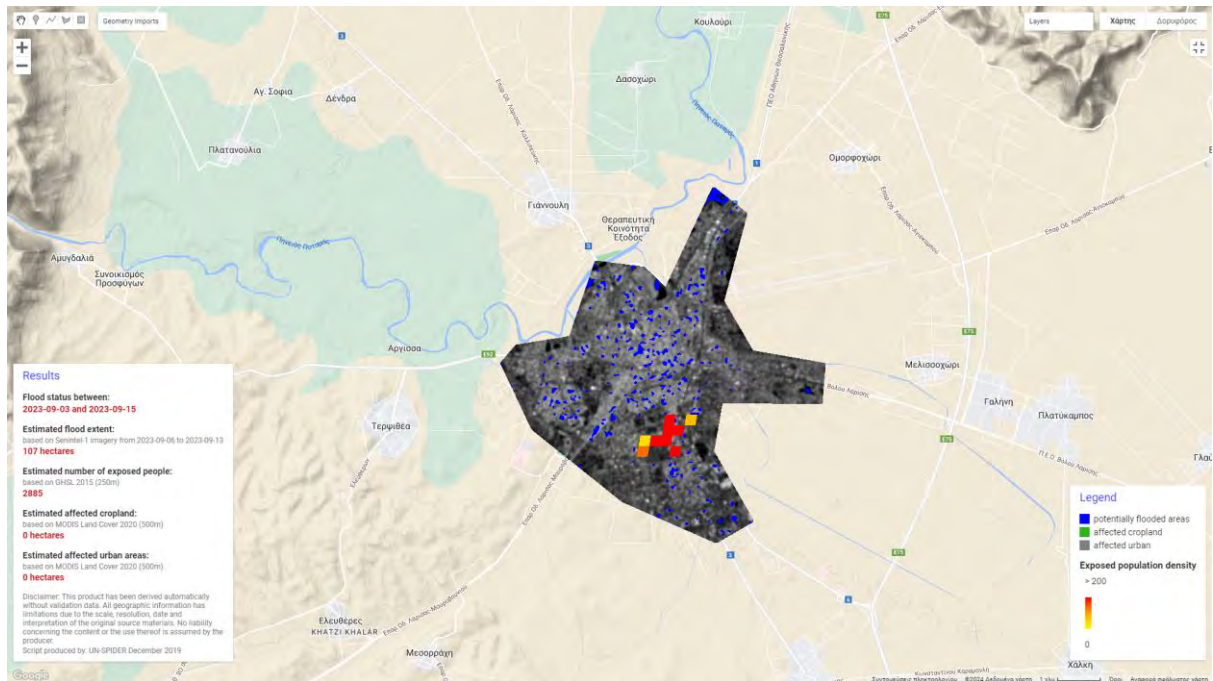
Εικόνα 34



Εικόνα 35

## 6.2 Λάρισα

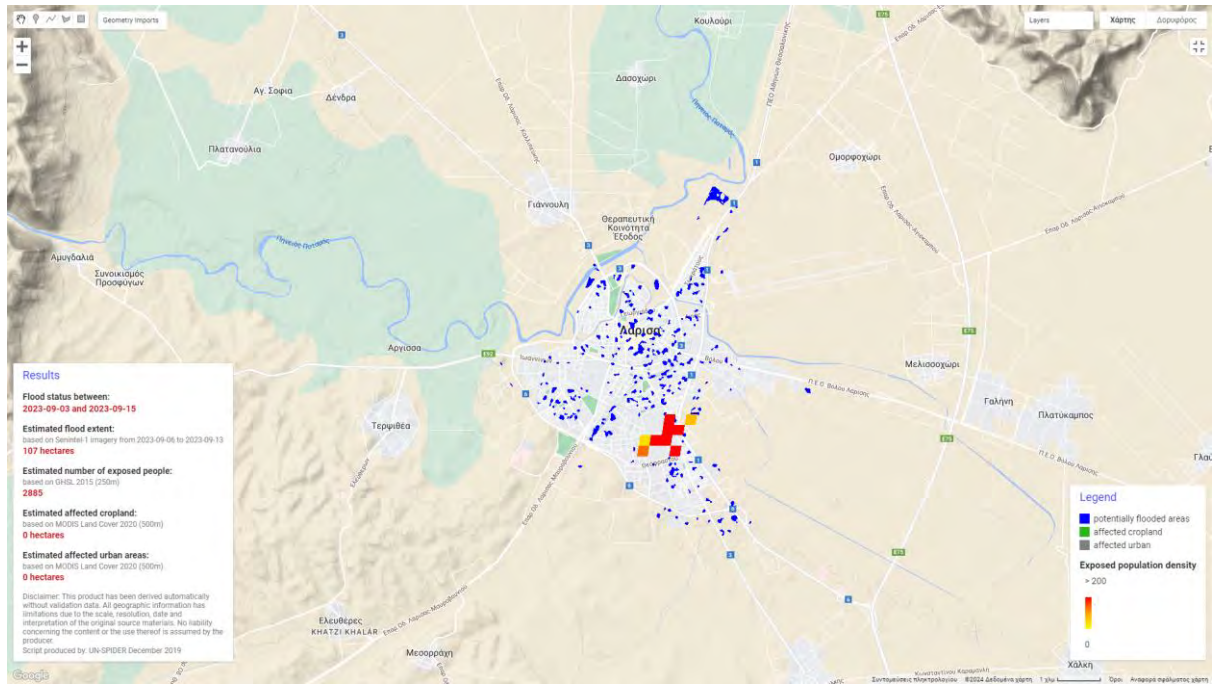
### α) Κακοκαιρία Daniel



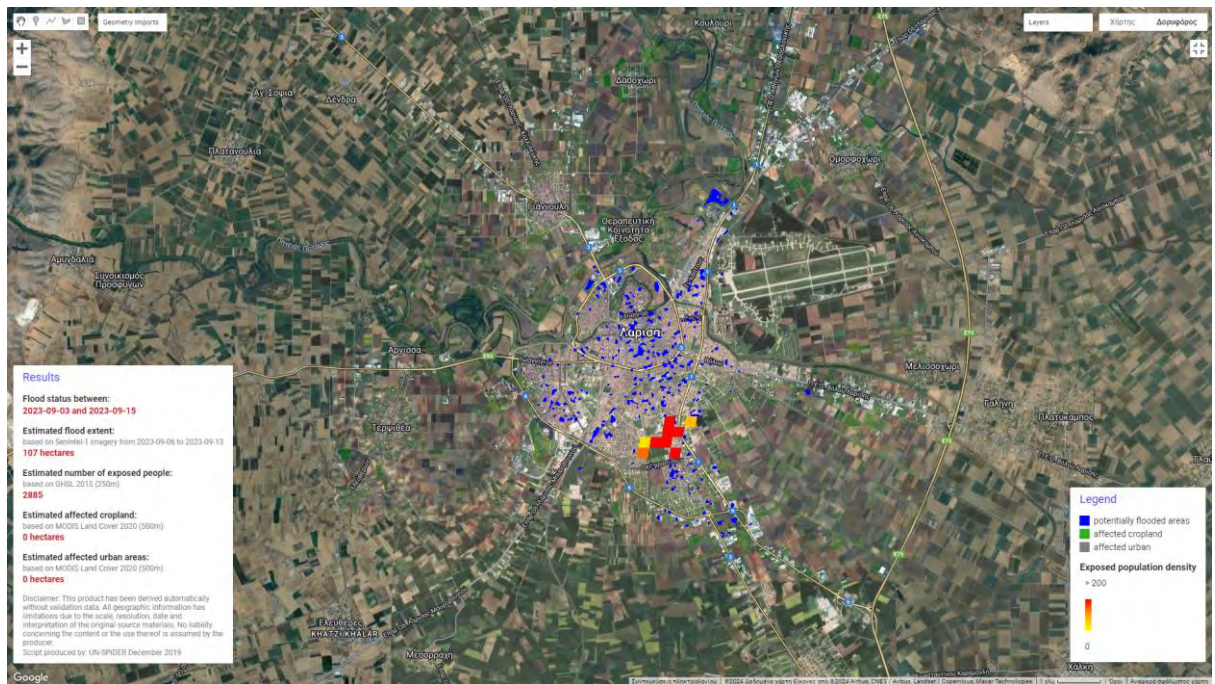
Εικόνα 36

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στη Λάρισα λόγω της κακοκαιρίας Daniel ήταν 1070 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 0 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 2885 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.

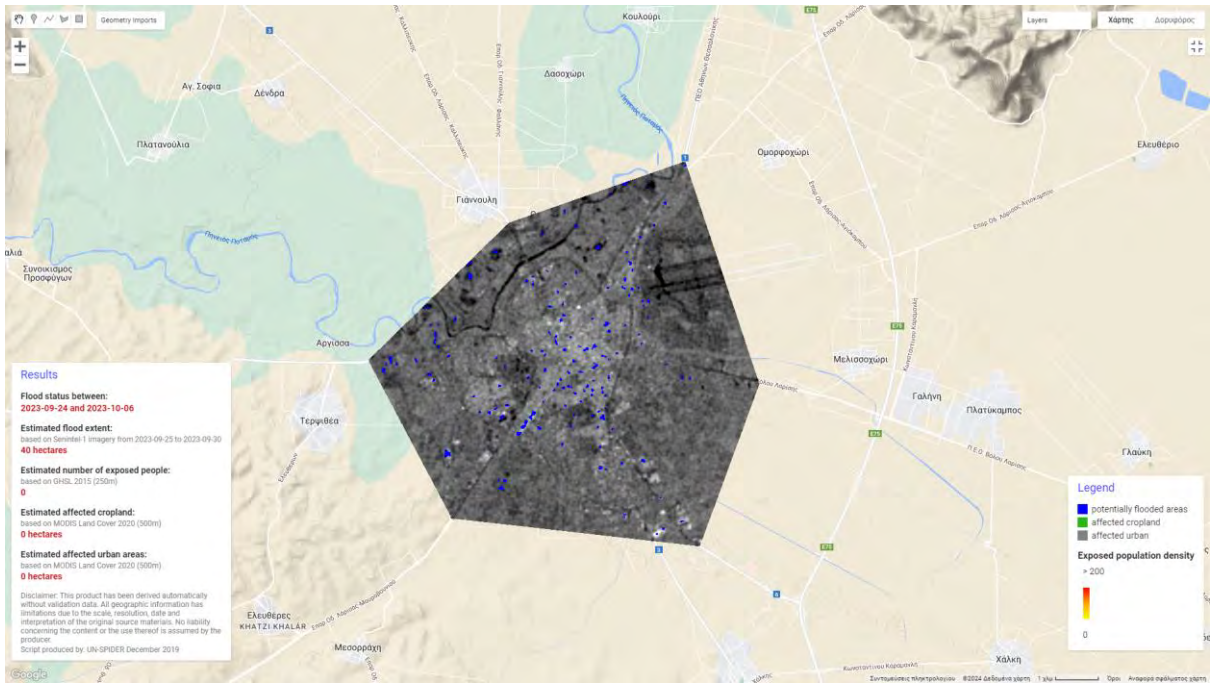


Εικόνα 37



Εικόνα 38

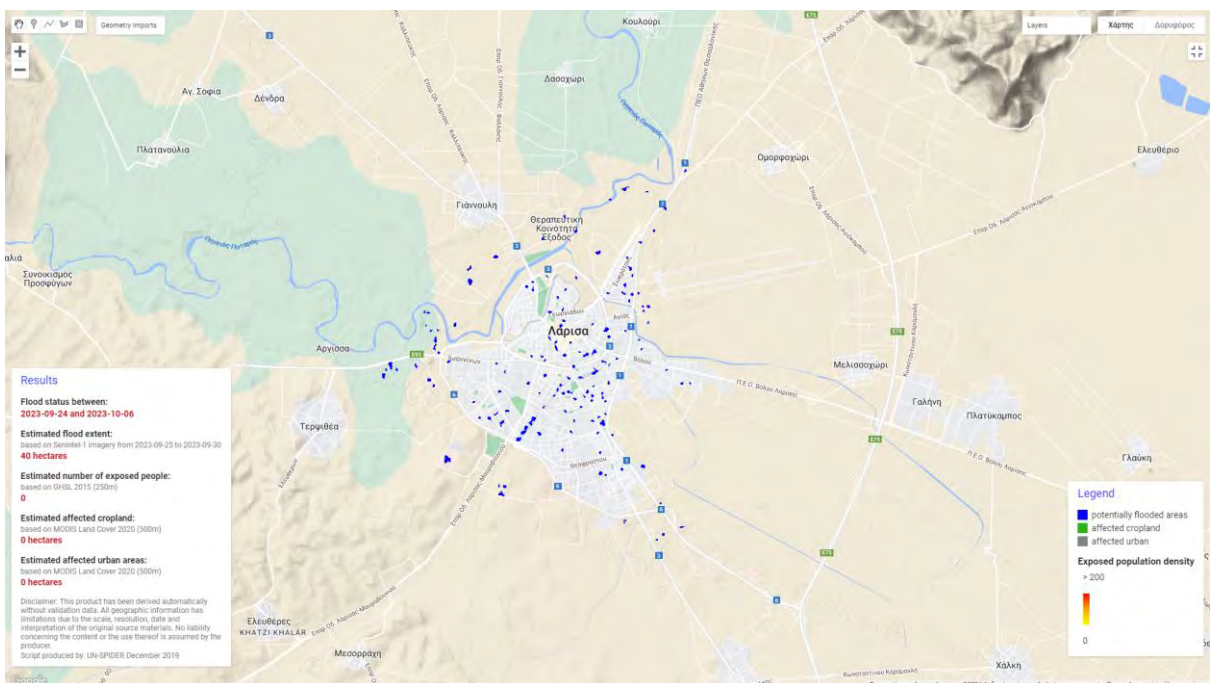
β) Κακοκαιρία Elias



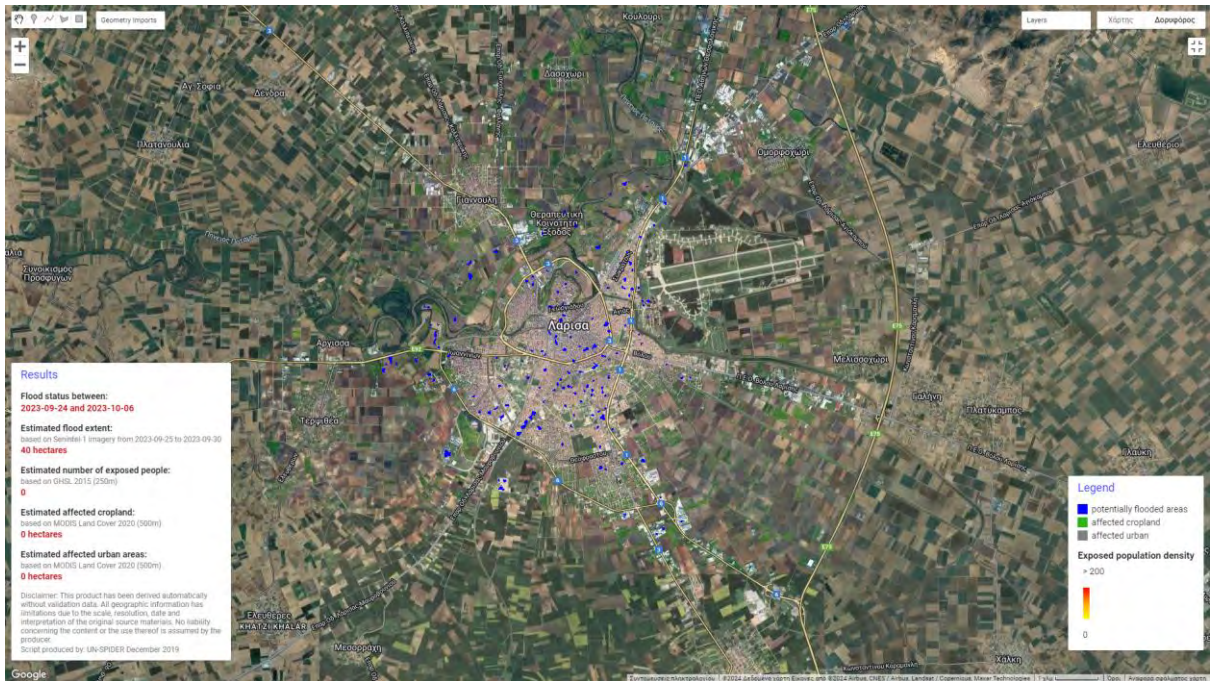
Εικόνα 39

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στη Λάρισα λόγω της κακοκαιρίας Elias ήταν 400 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 0 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 0 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.



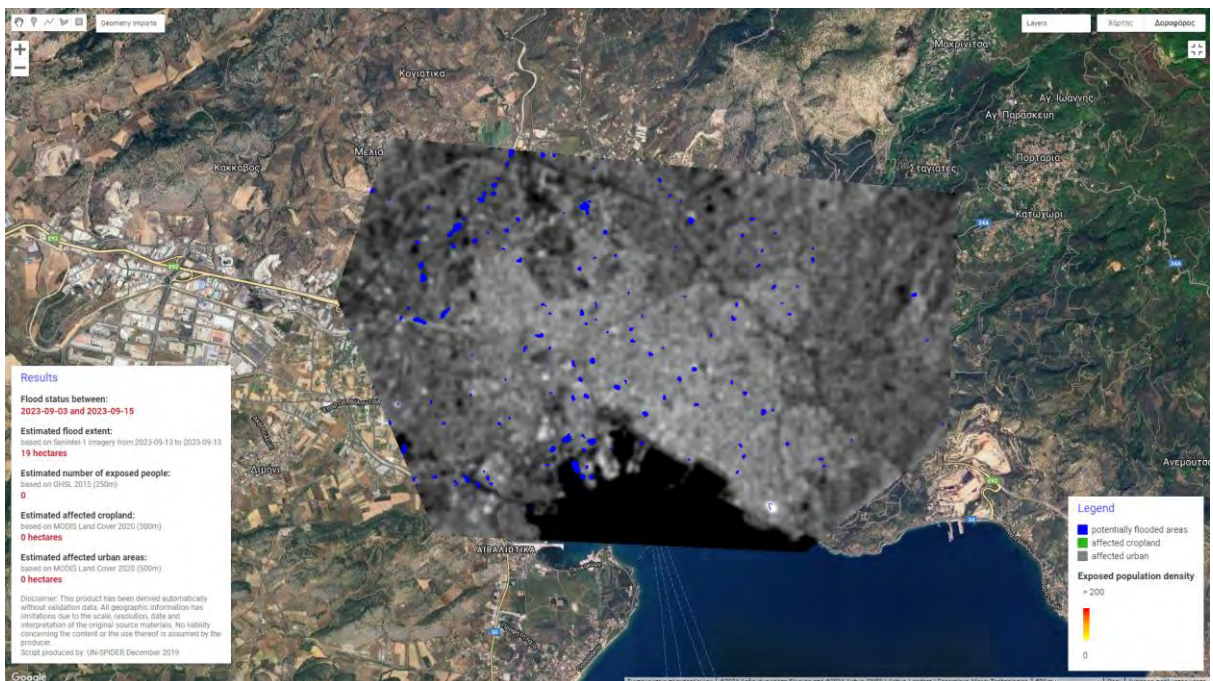
Εικόνα 40



Εικόνα 41

### 6.3 Βόλος

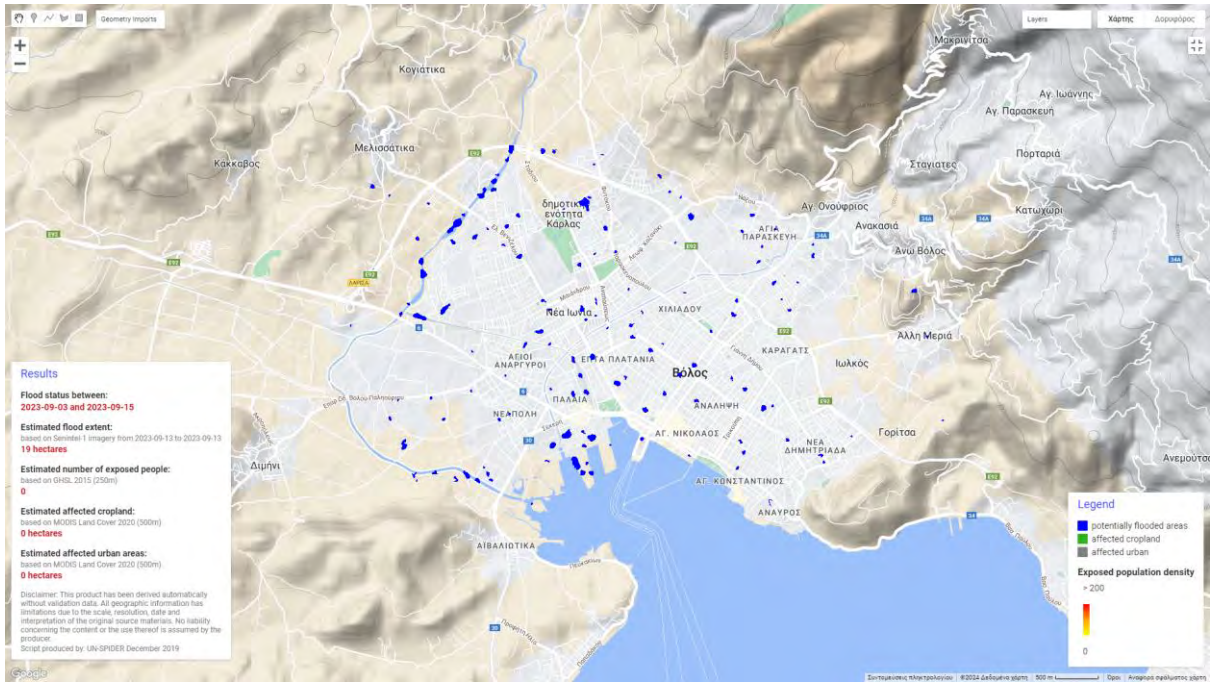
#### α) Κακοκαιρία Daniel



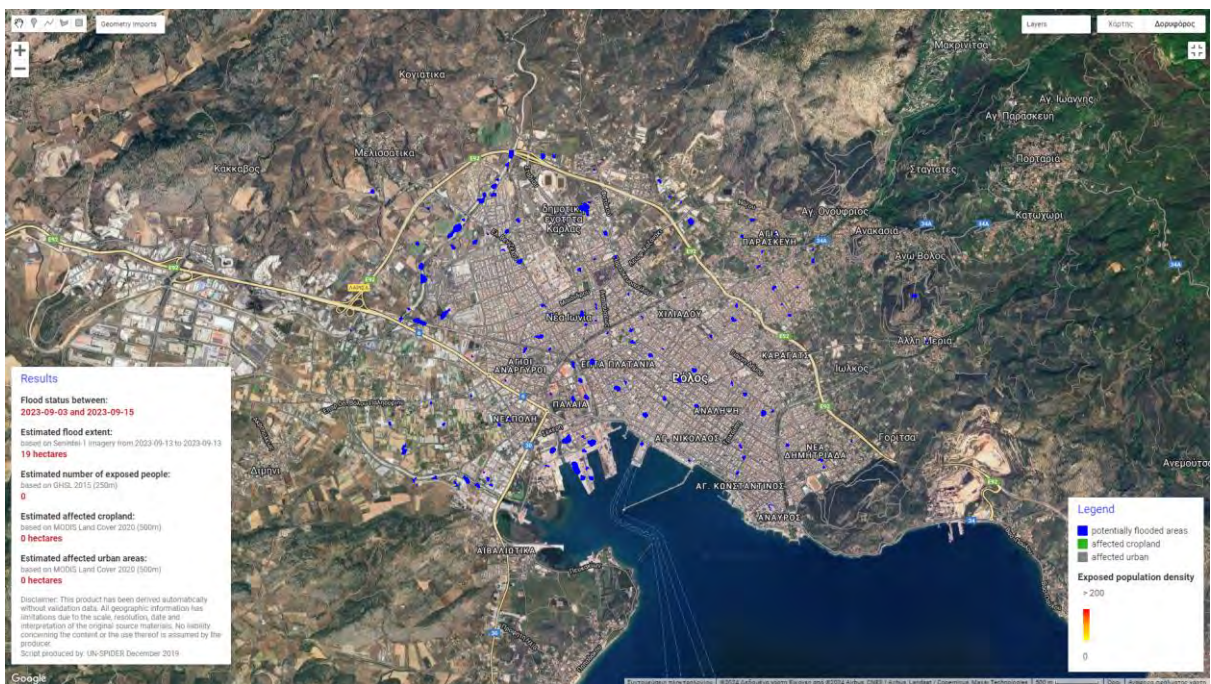
Εικόνα 42

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στο Βόλο λόγω της κακοκαιρίας Daniel ήταν 190 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 0 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 0 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.

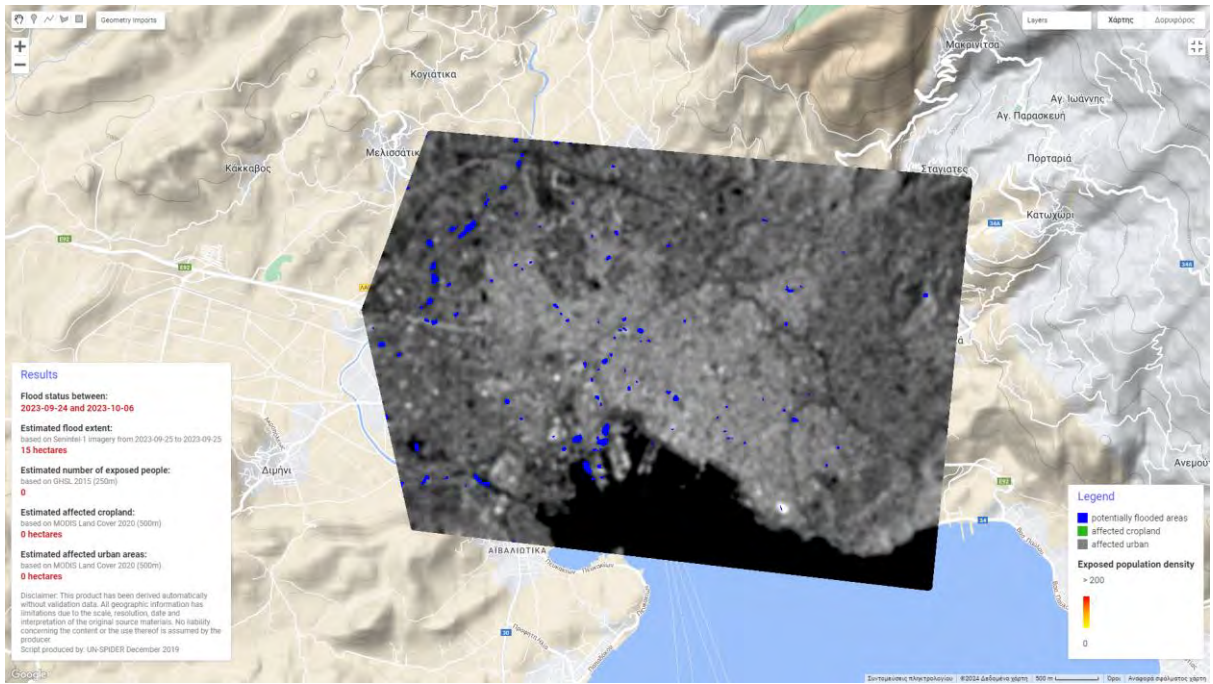


Εικόνα 43



Εικόνα 44

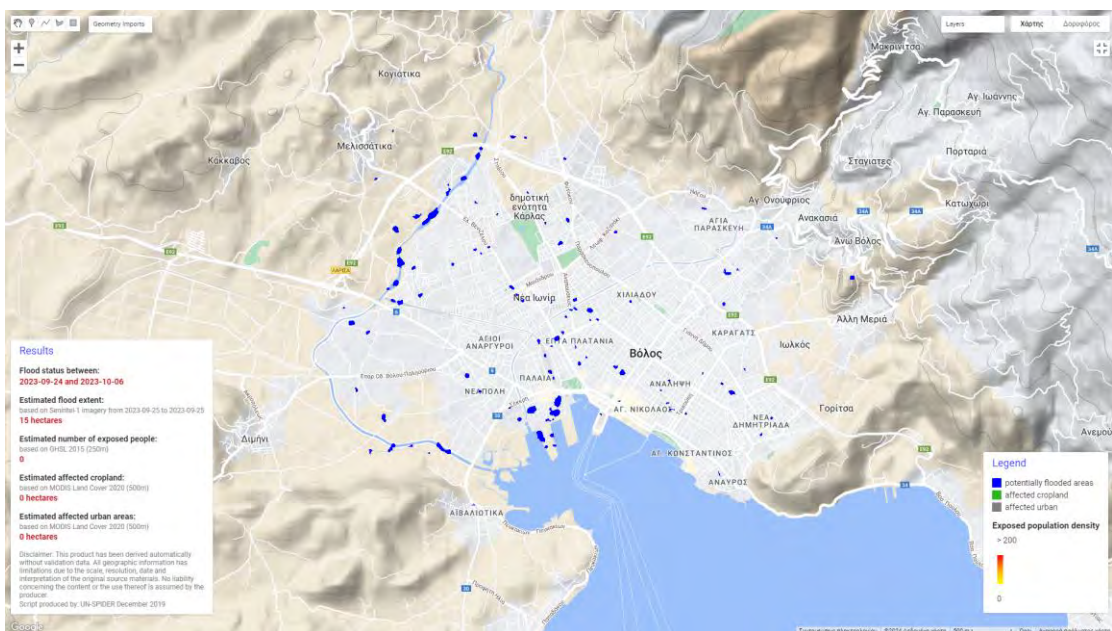
β) Κακοκαιρία Elias



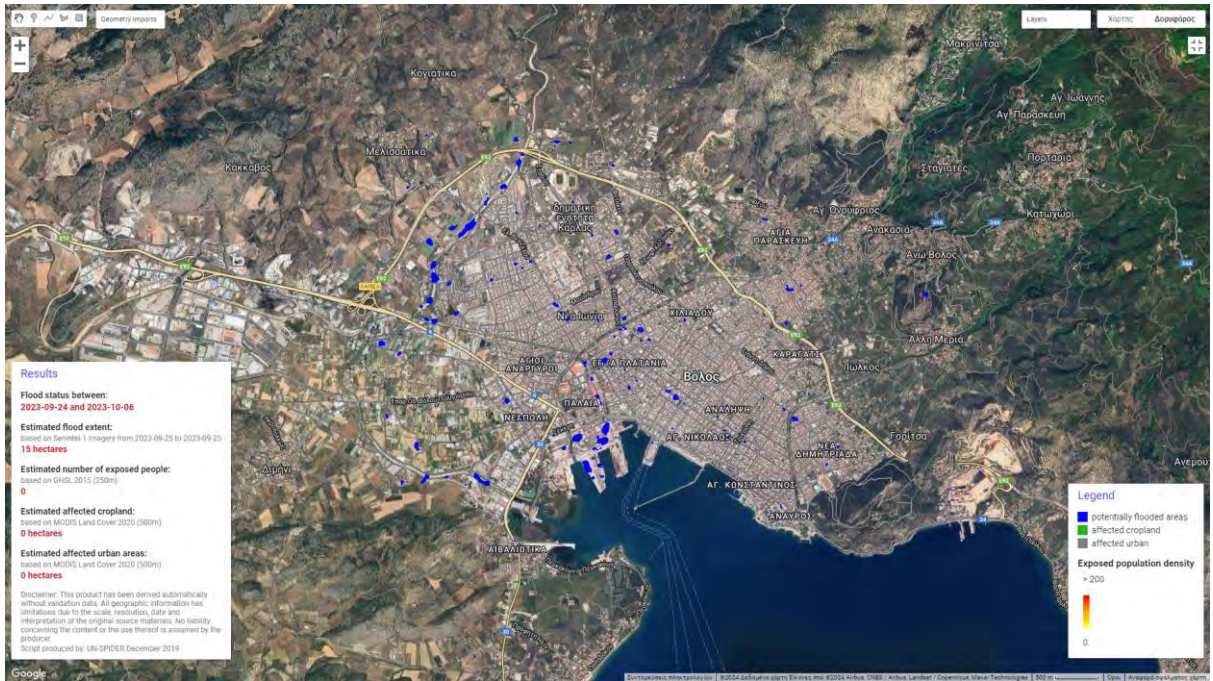
Εικόνα 45

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στο Βόλο λόγω της κακοκαιρίας Elias ήταν 150 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 0 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 0 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.



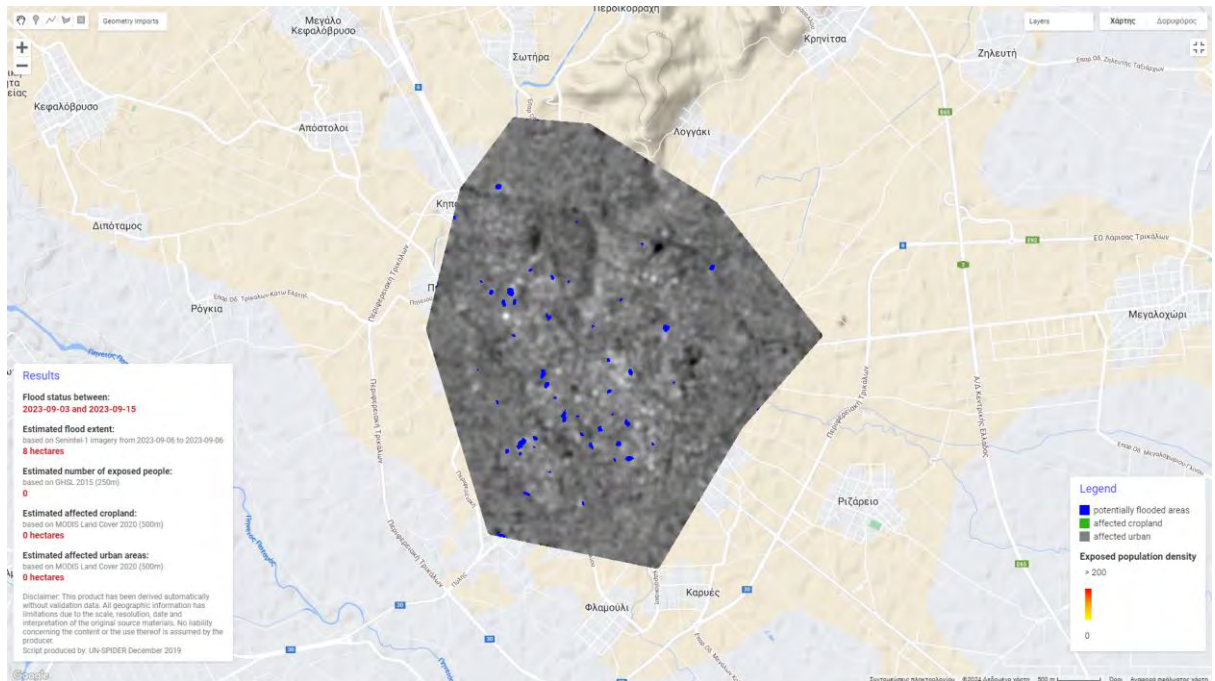
Εικόνα 46



Εικόνα 47

## 6.4 Τρίκαλα

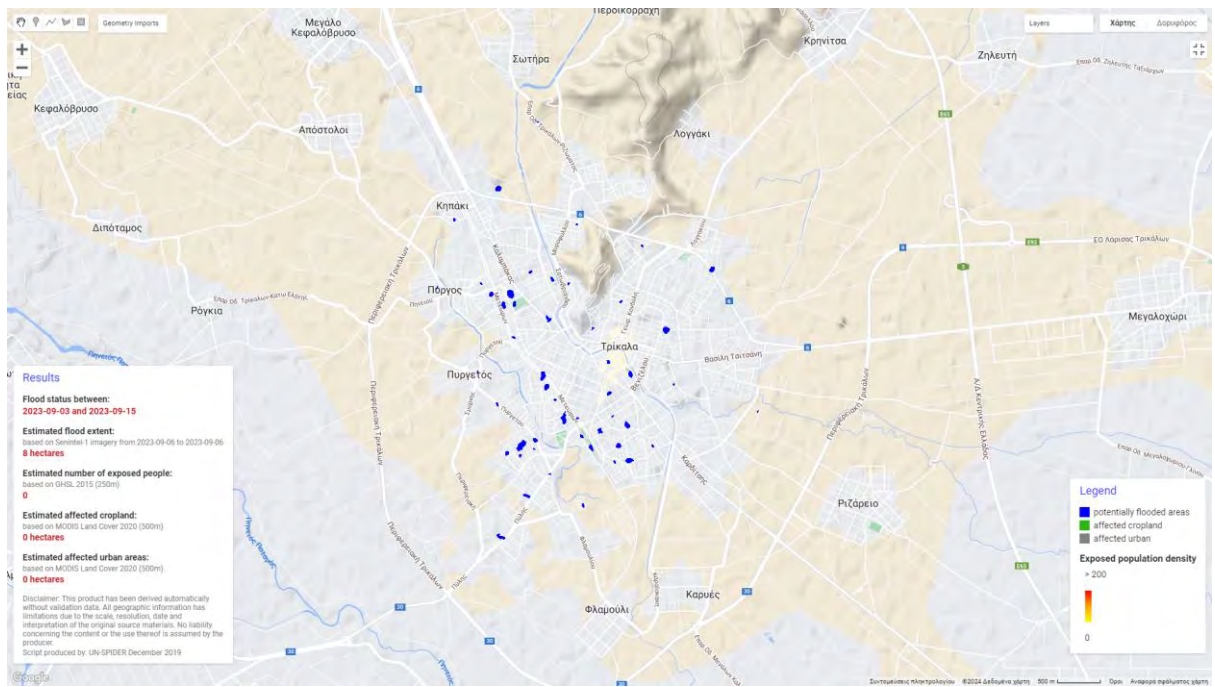
### α) Κακοκαιρία Daniel



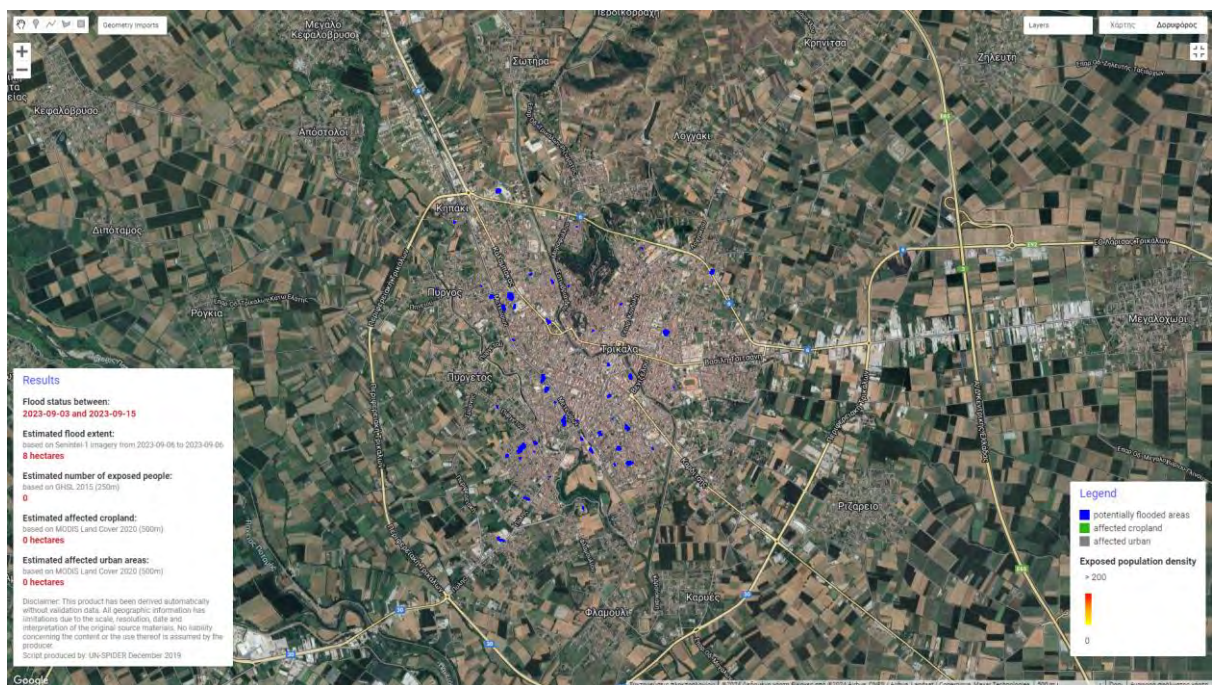
Εικόνα 48

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στα Τρίκαλα λόγω της κακοκαιρίας Daniel ήταν 80 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 0 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 0 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.

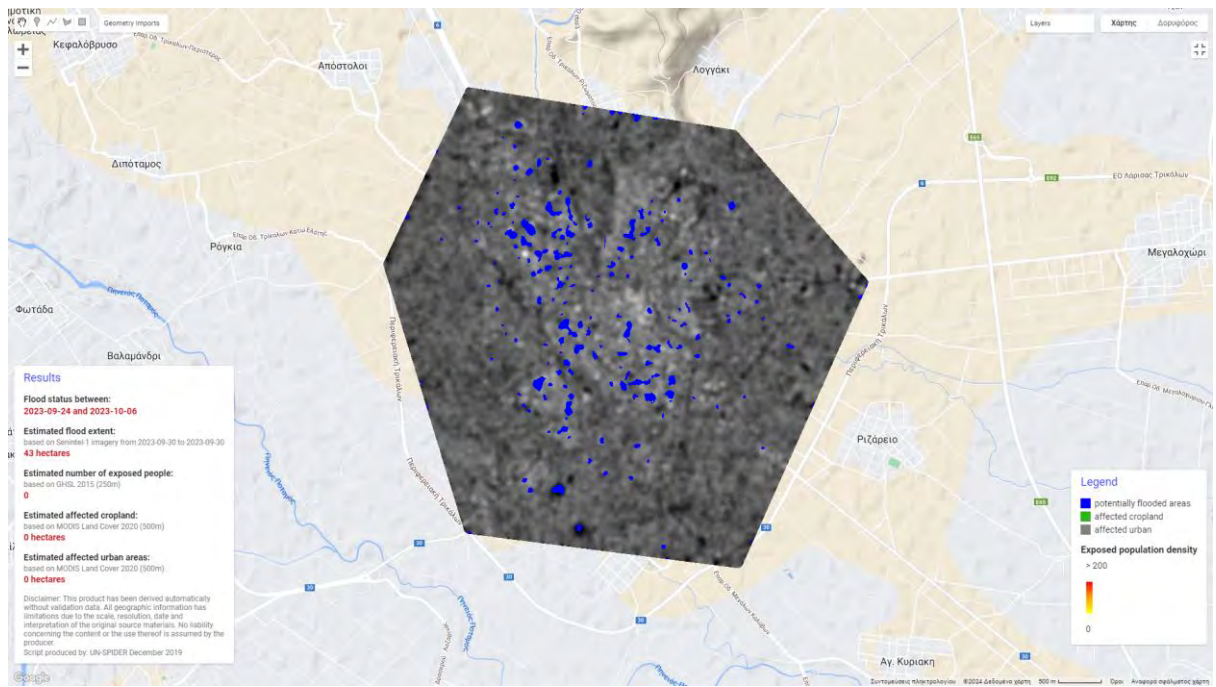


Εικόνα 49



Εικόνα 50

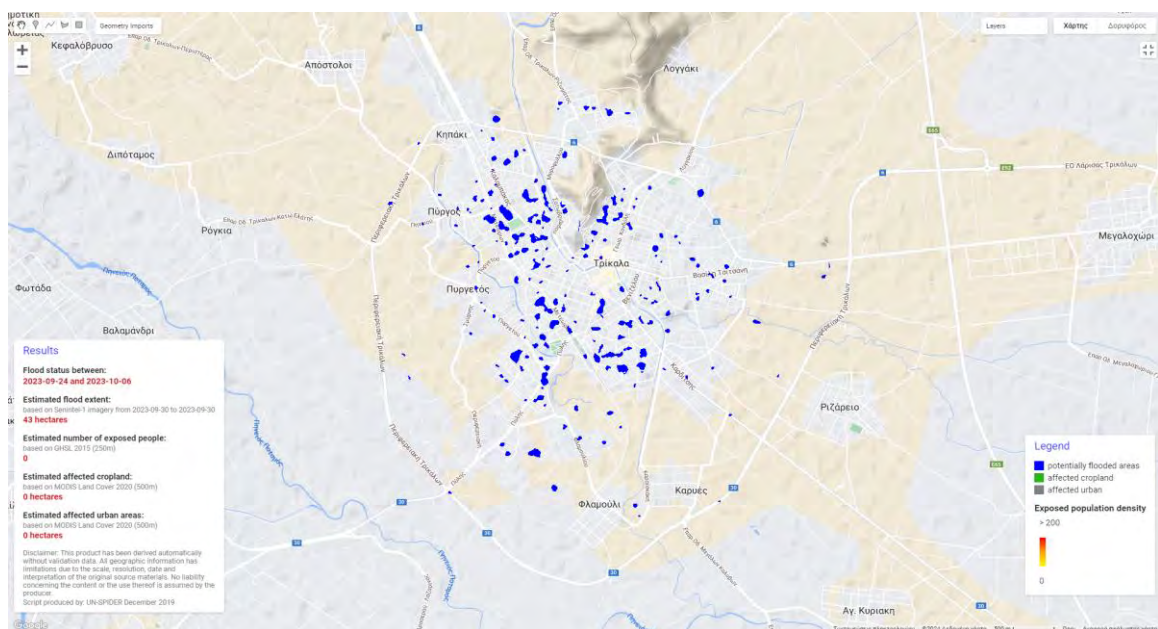
β) Κακοκαιρία Elias



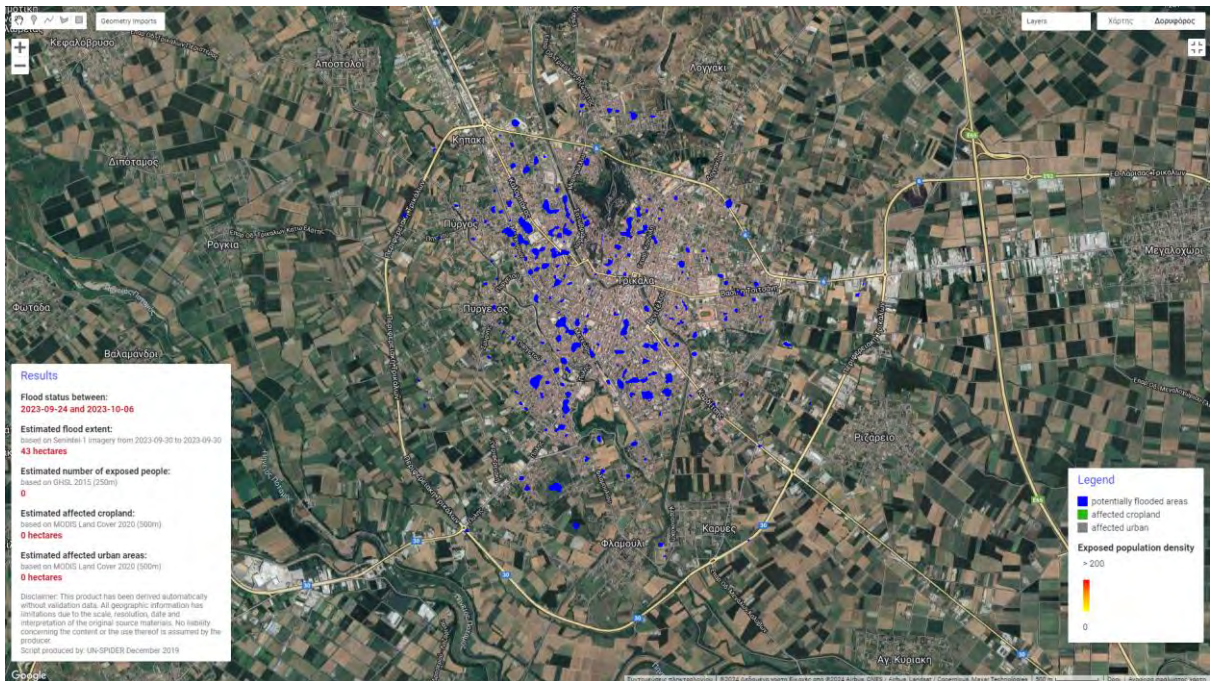
Εικόνα 51

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στα Τρίκαλα λόγω της κακοκαιρίας Elias ήταν 430 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 0 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 0 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.



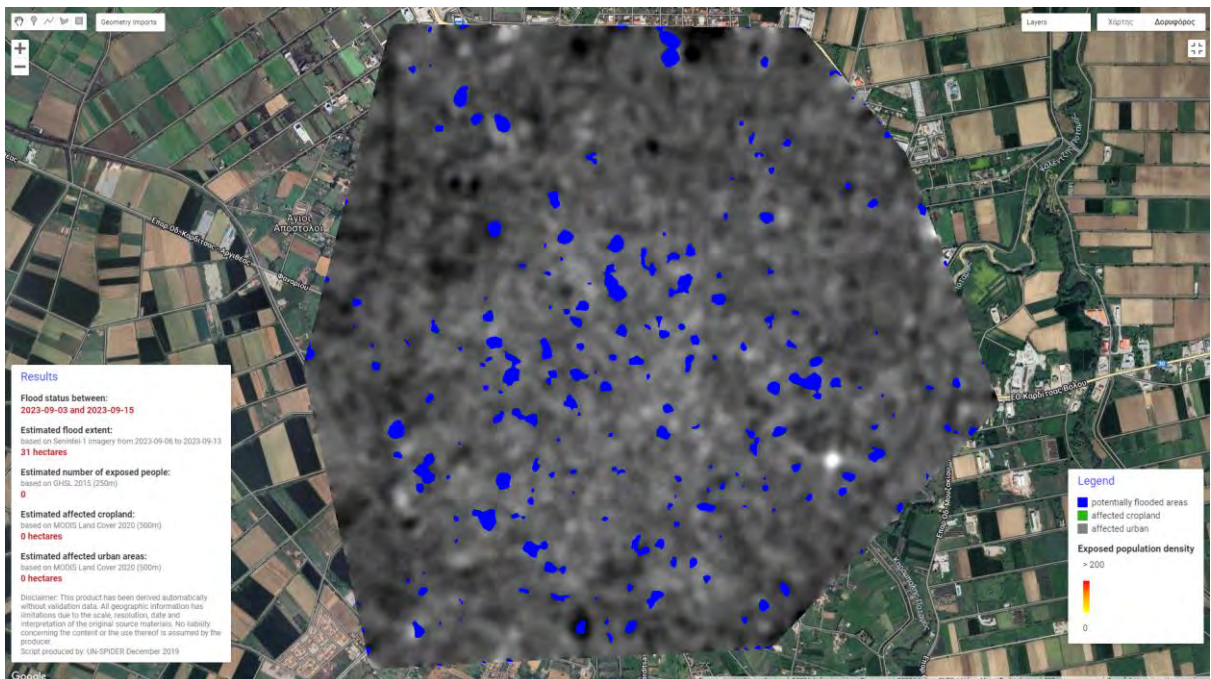
Εικόνα 52



Εικόνα 53

## 6.5 Καρδίτσα

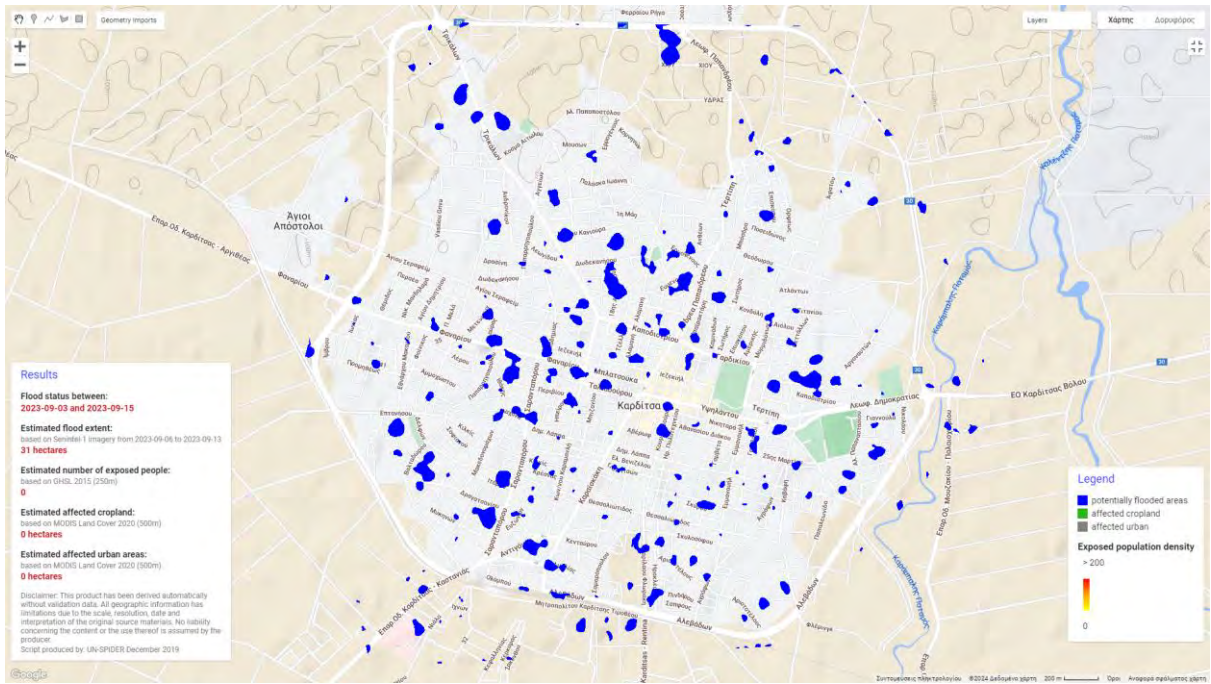
### α) Κακοκαιρία Daniel



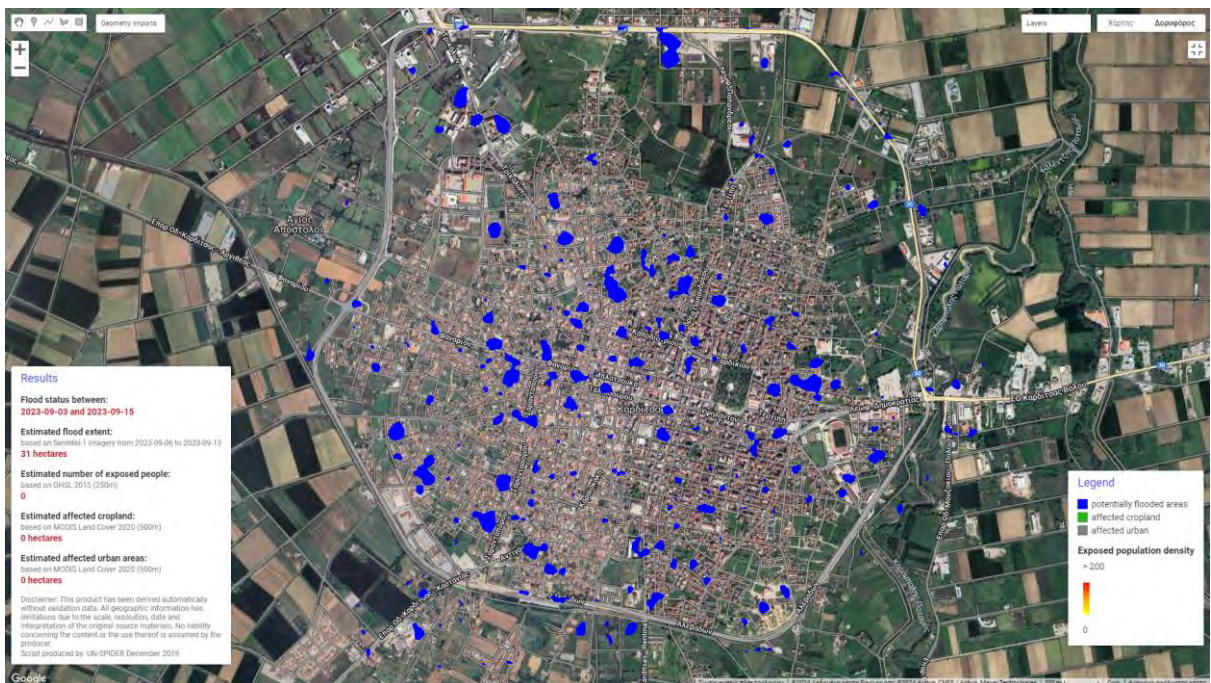
Εικόνα 54

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στην Καρδίτσα λόγω της κακοκαιρίας Daniel ήταν 310 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 0 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 0 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.

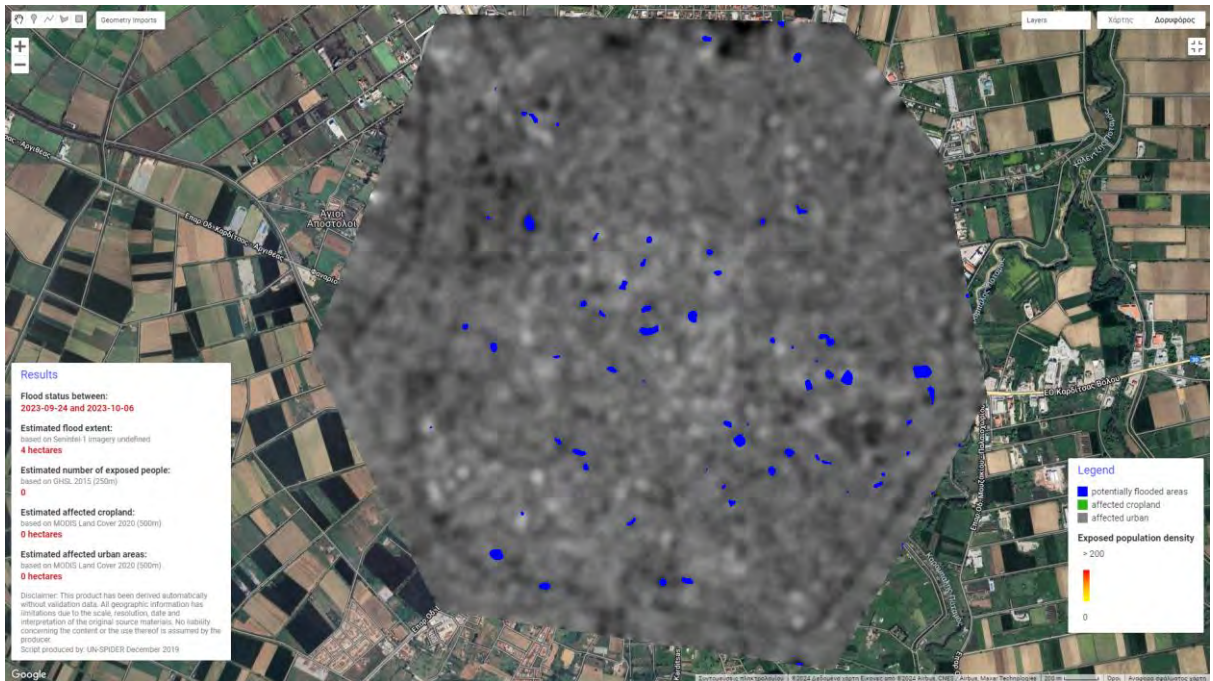


Εικόνα 55



Εικόνα 56

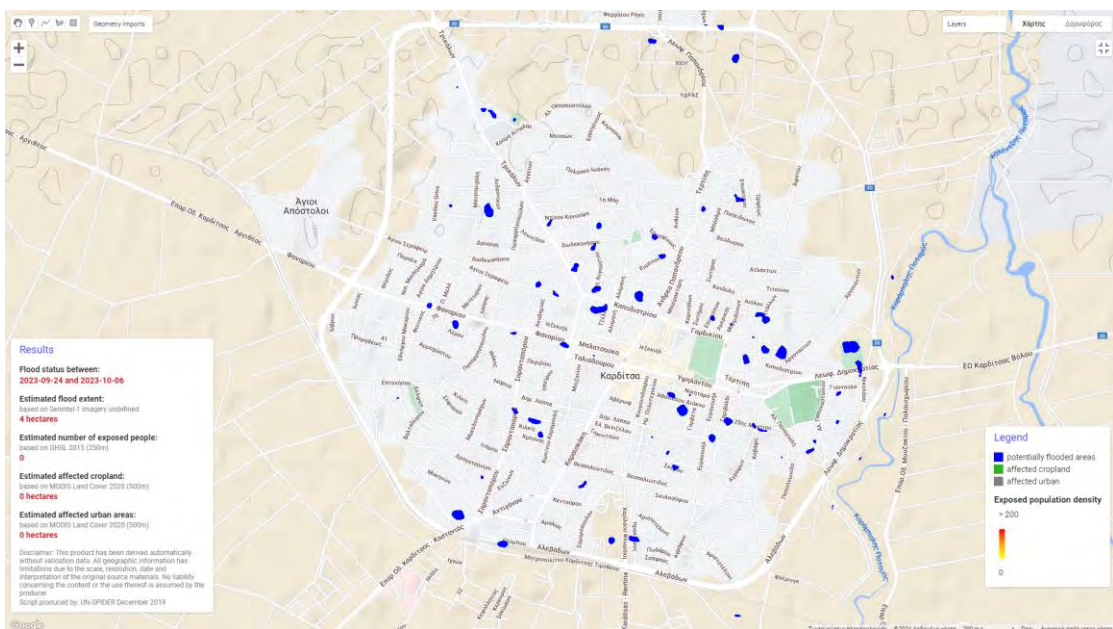
β) Κακοκαιρία Elias



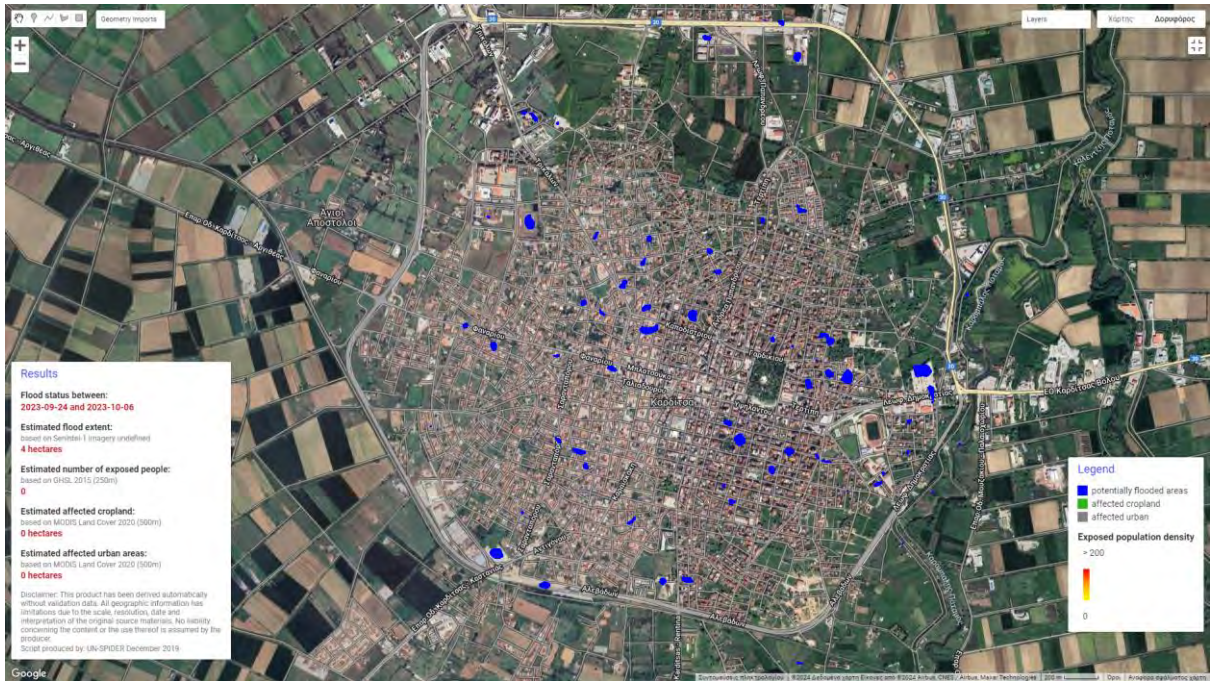
Εικόνα 57

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στην Καρδίτσα λόγω της κακοκαιρίας Elias ήταν 40 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 0 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 0 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.



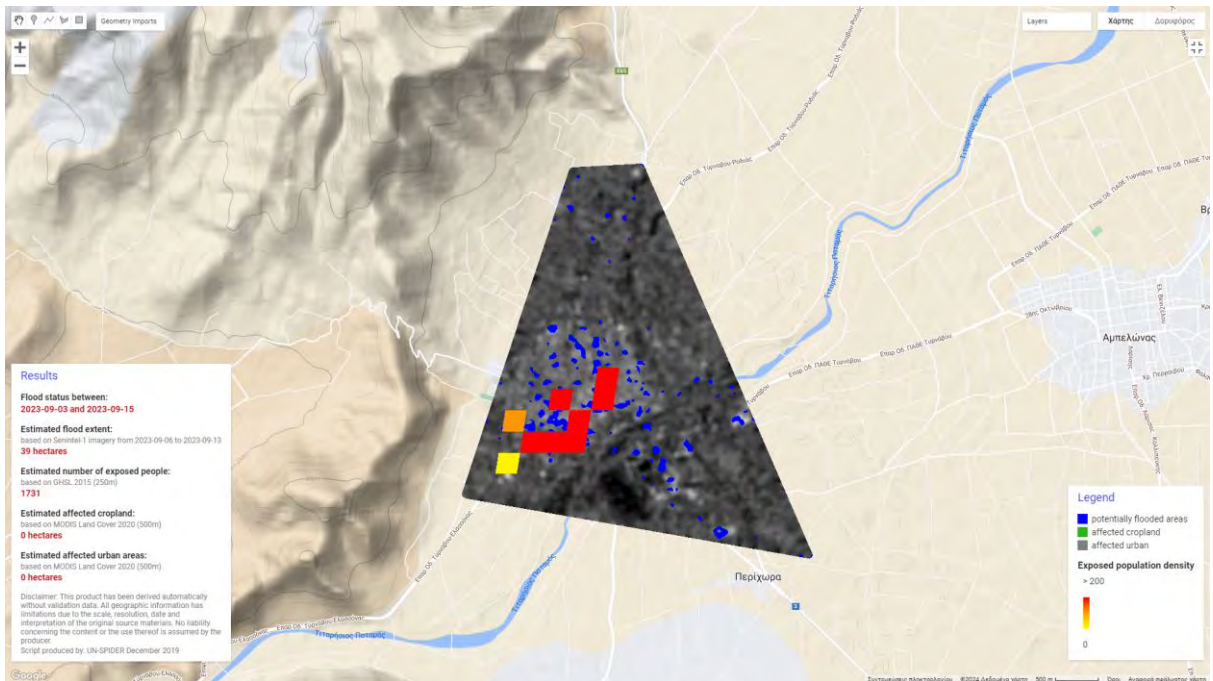
Εικόνα 58



Εικόνα 59

## 6.6 Τύρναβος

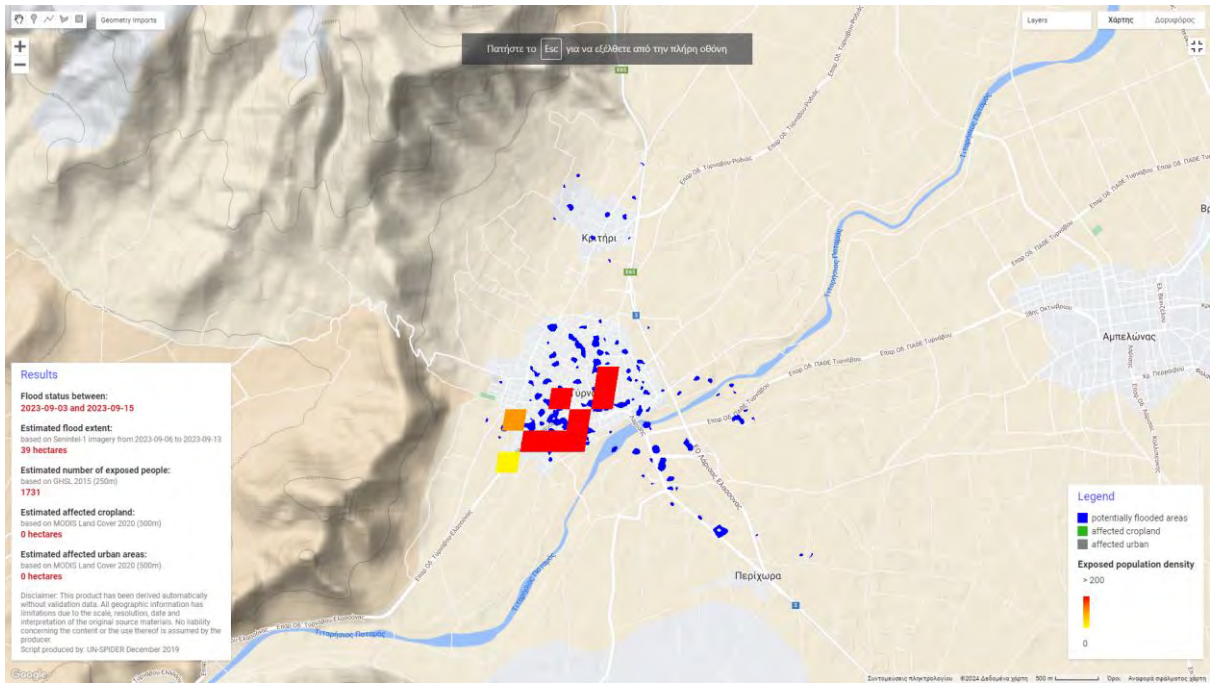
### α) Κακοκαιρία Daniel



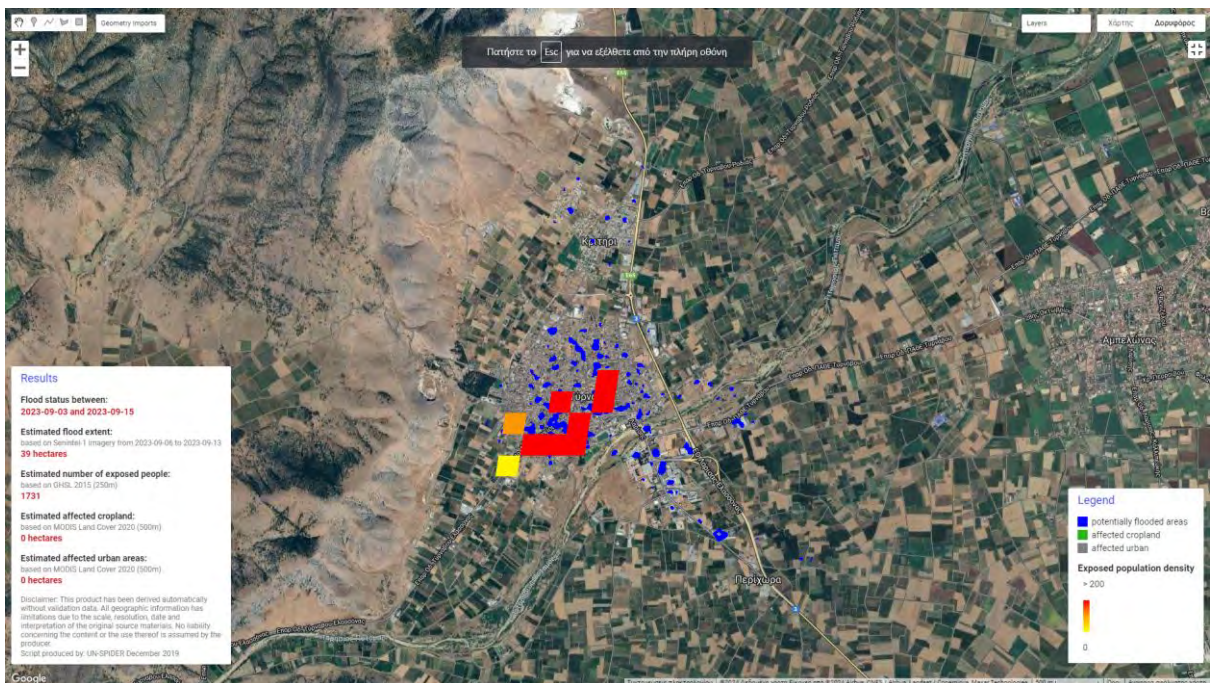
Εικόνα 60

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στον Τύρναβο λόγω της κακοκαιρίας Daniel ήταν 390 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 0 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 1731 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.

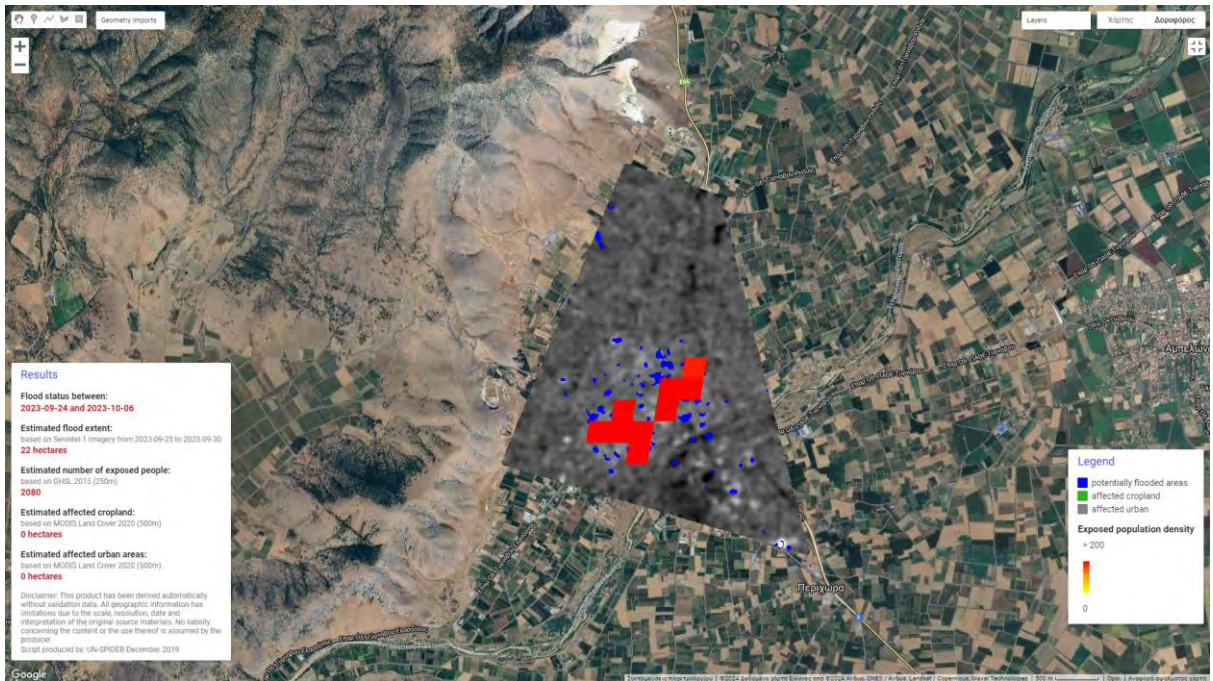


Εικόνα 61



Εικόνα 62

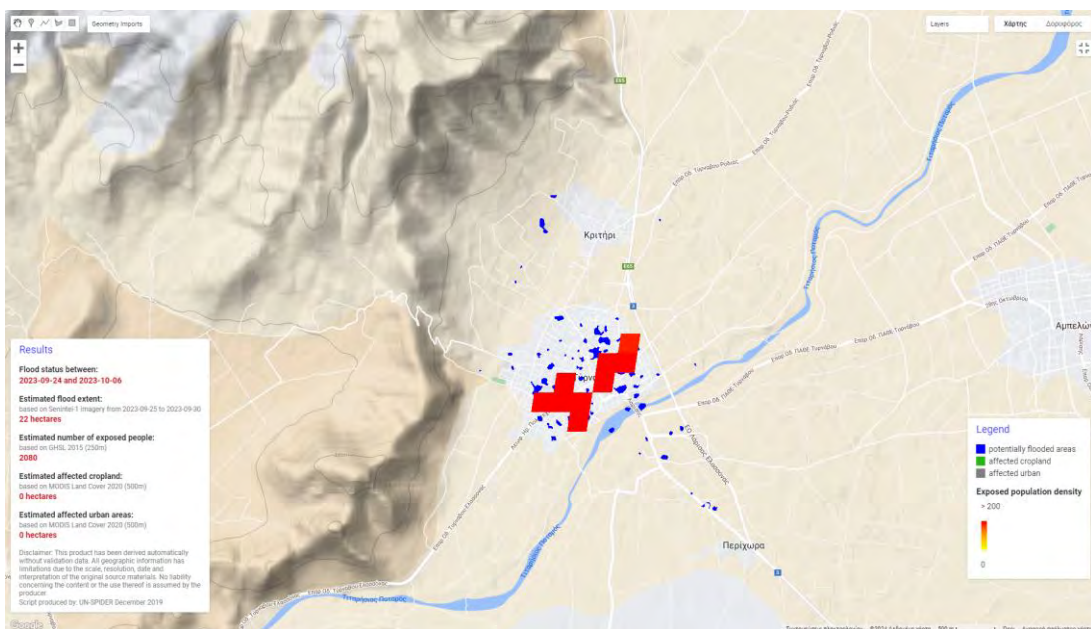
β) Κακοκαιρία Elias



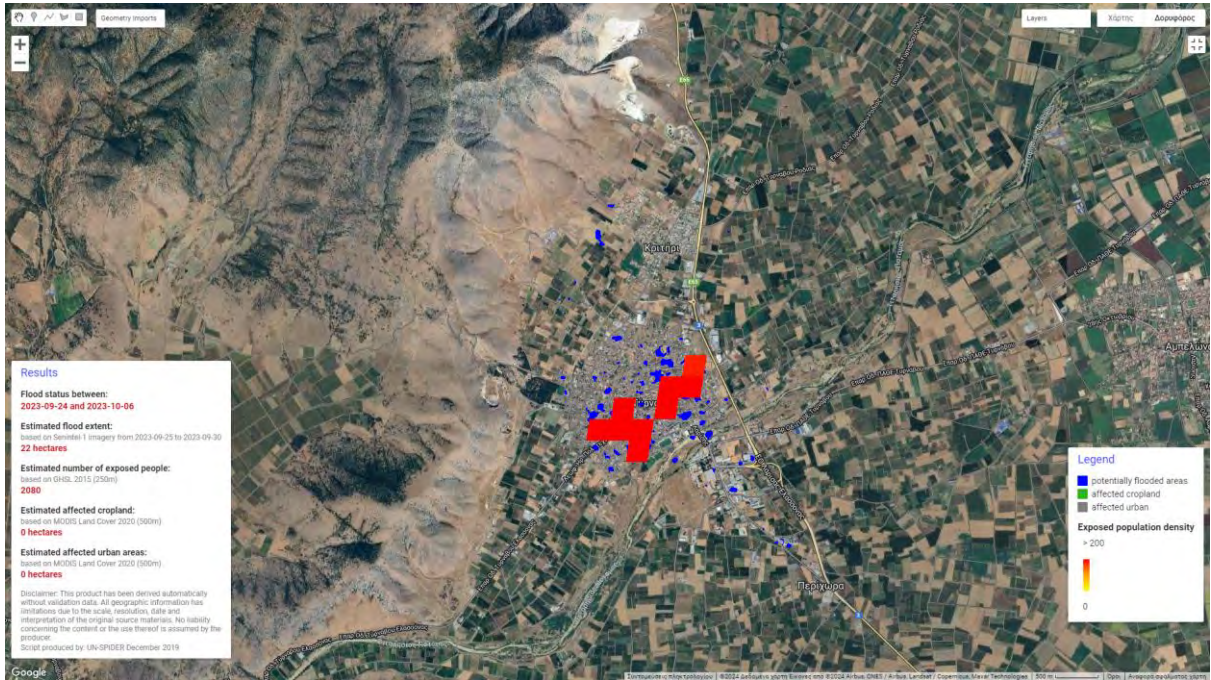
Εικόνα 63

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στον Τύρναβο λόγω της κακοκαιρίας Elias ήταν 220 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 0 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 2080 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.



Εικόνα 64

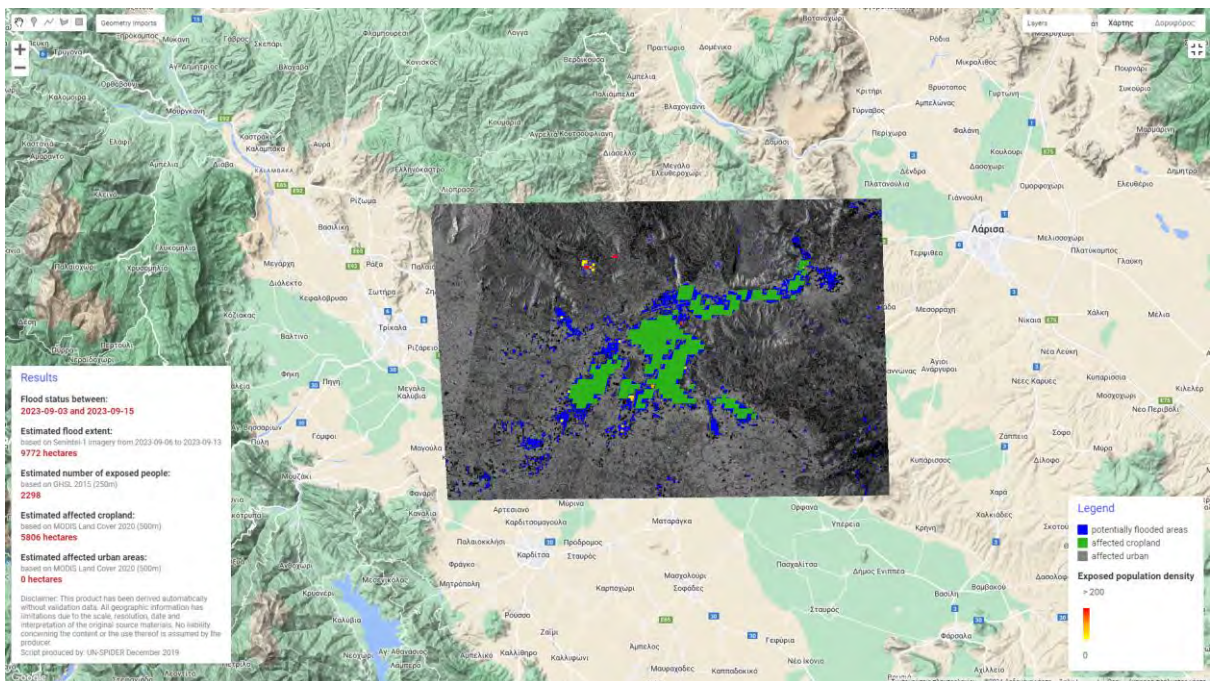


Εικόνα 65

### 6.7 Περιοχή στην κεντρική Θεσσαλία

Αυτή η περιοχή βρίσκεται ανάμεσα στα Τρίκαλα, τη Λάρισα και την Καρδίτσα. Περιλαμβάνει κάποια χωριά όπως Οιχαλία, Κρήνη, Κεραμίδι, Βλόχος, Πέτρινο, Μεταμόρφωση, Κοσκινάς, Μαραθέα και Πηνειάδα, και καλλιεργήσιμες περιοχές.

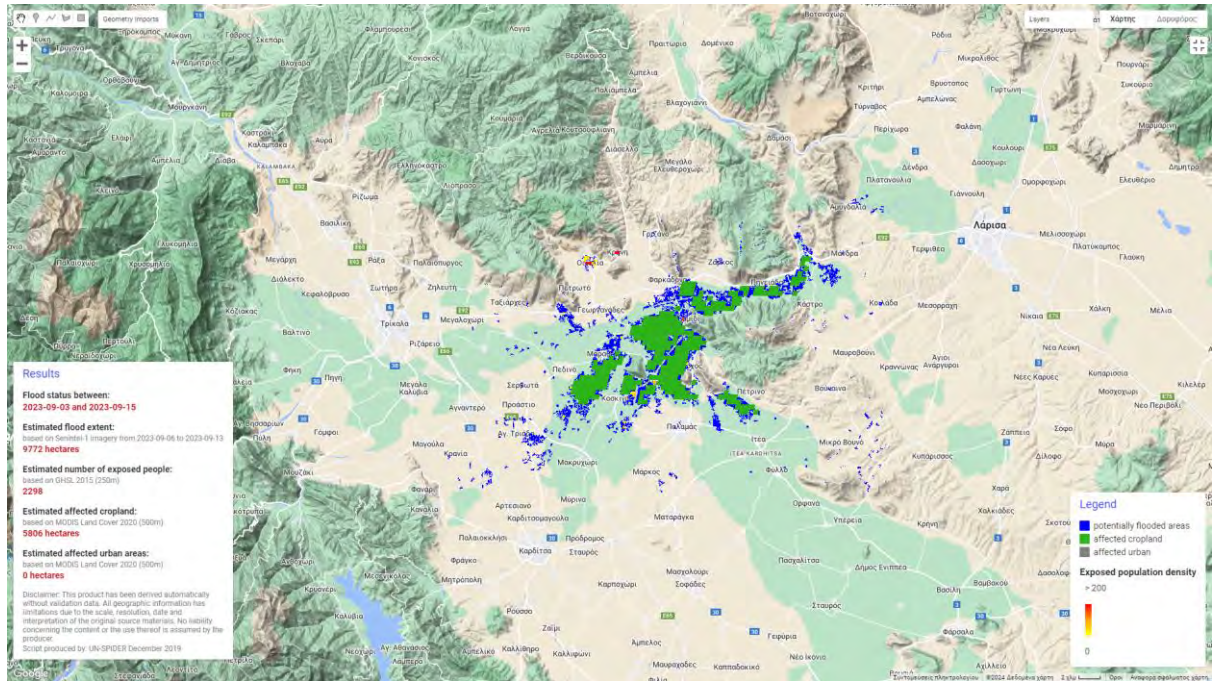
#### α) Κακοκαιρία Daniel



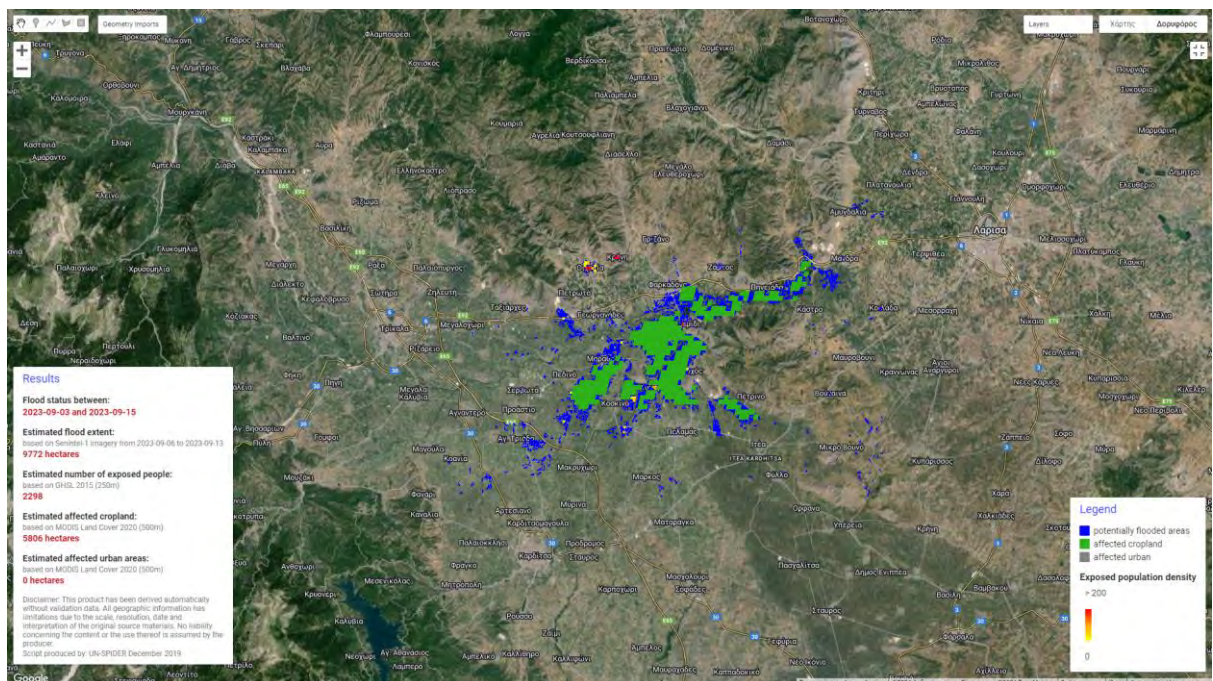
Εικόνα 66

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στη συγκεκριμένη περιοχή λόγω της κακοκαιρίας Daniel ήταν 97720 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 58060 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 2298 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.

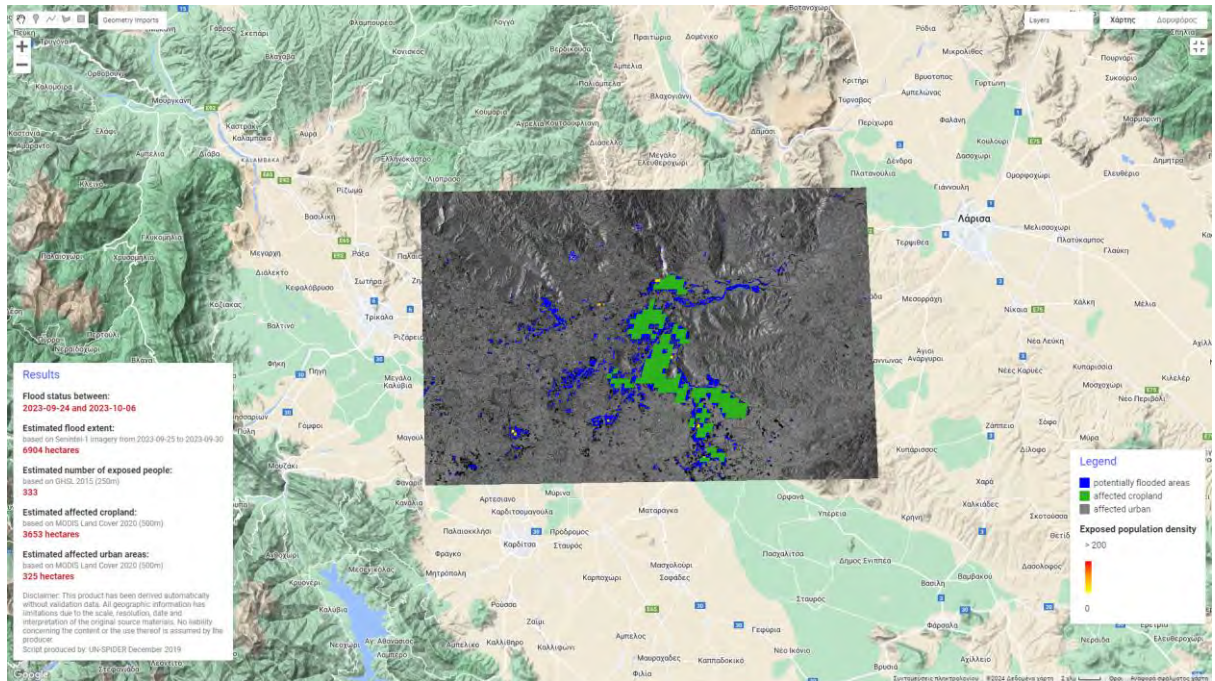


Εικόνα 69



Εικόνα 70

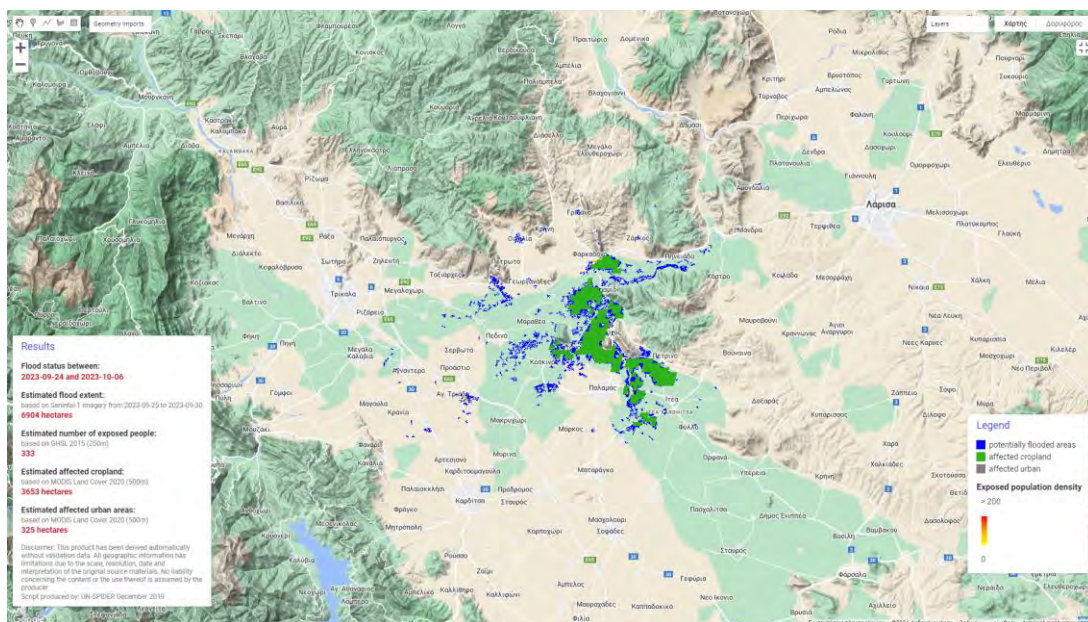
β) Κακοκαιρία Elias



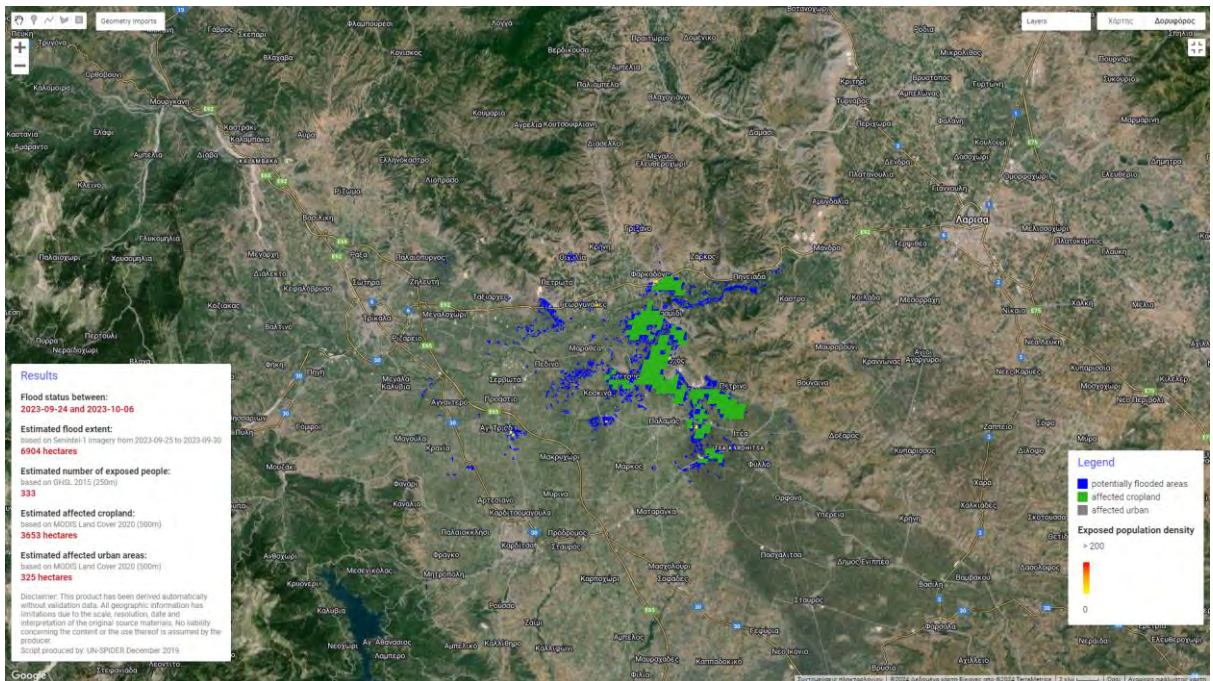
Εικόνα 71

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στη συγκεκριμένη περιοχή λόγω της κακοκαιρίας Elias ήταν 6904 στρέμματα. Από αυτά, τα 3250 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 36590 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 333 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.



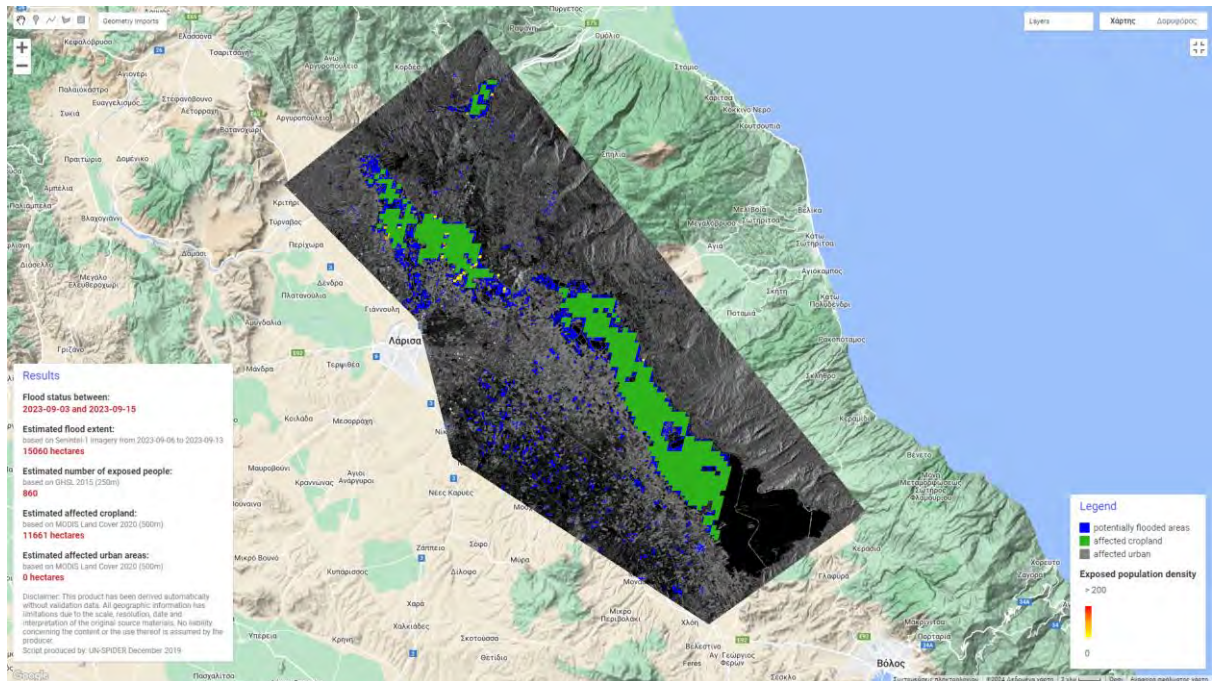
Εικόνα 72



Εικόνα 73

## 6.8 Λίμνη Κάρλα και κοντινές καλλιεργήσιμες περιοχές

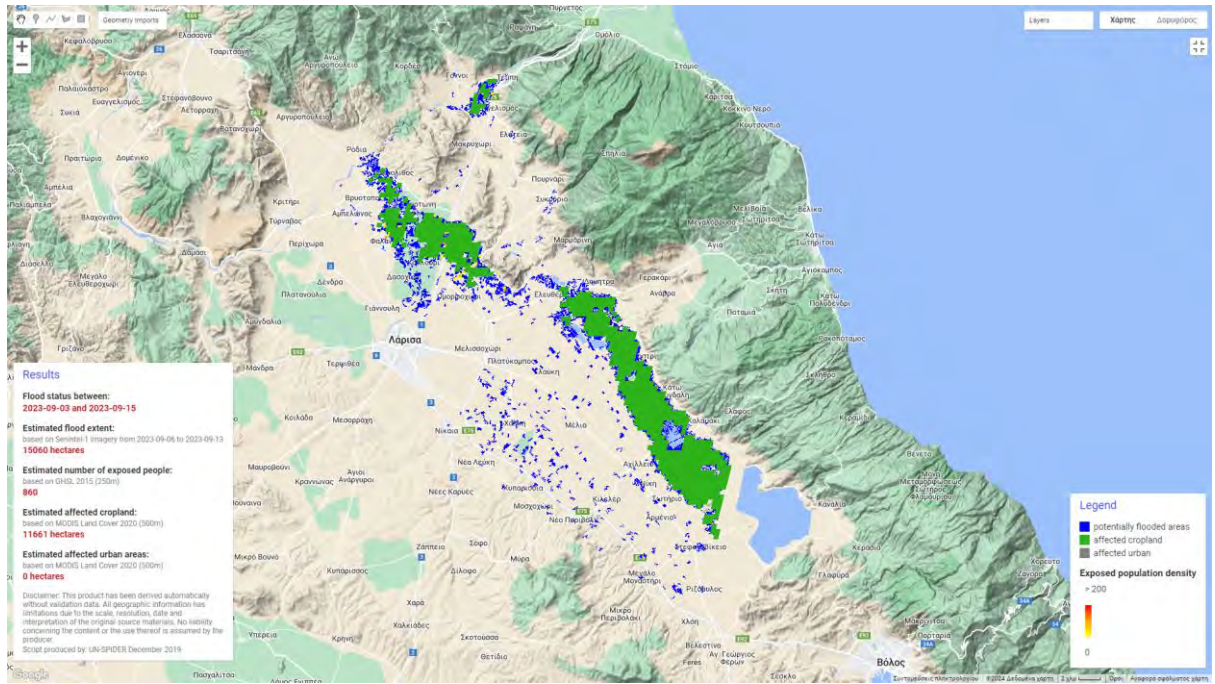
### α) Κακοκαιρία Daniel



Εικόνα 74

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στη συγκεκριμένη περιοχή λόγω της κακοκαιρίας Daniel ήταν 15060 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 116610 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 860 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.

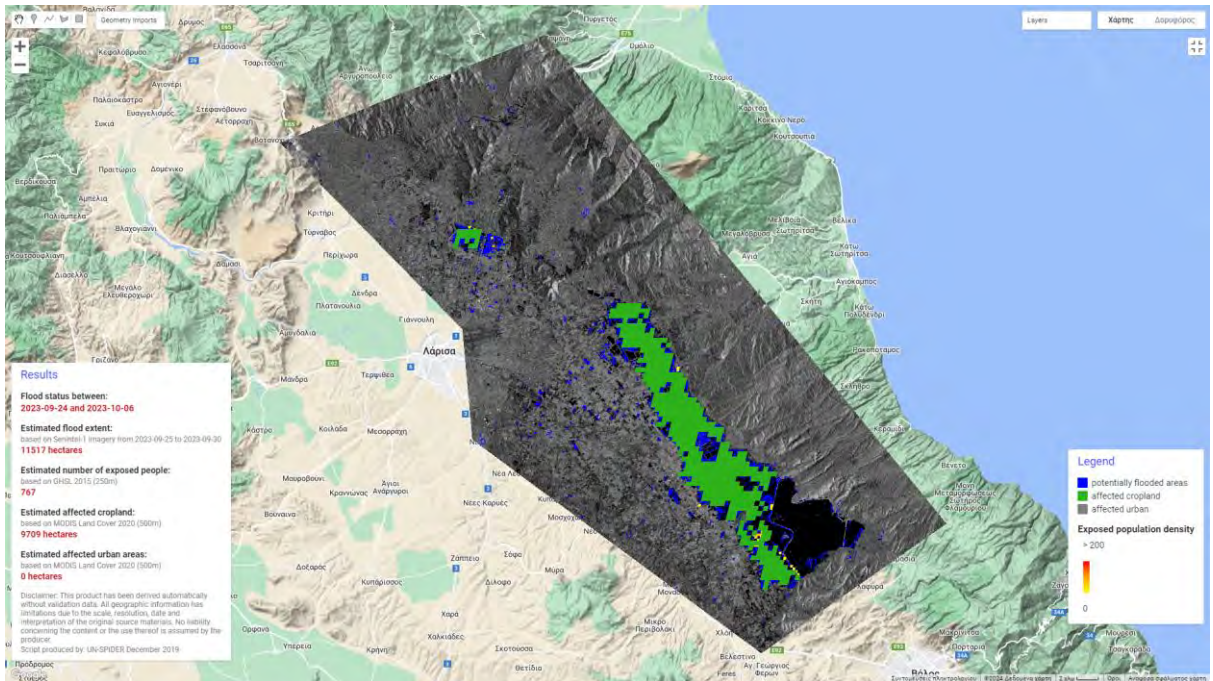


Εικόνα 75



Εικόνα 76

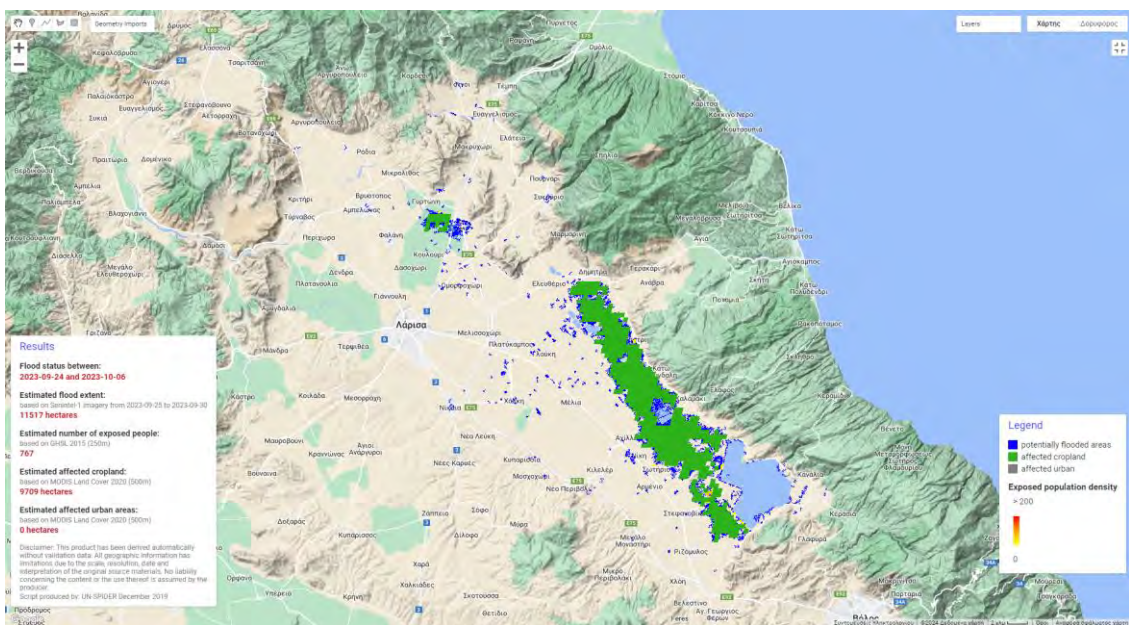
β) Κακοκαιρία Elias



Εικόνα 77

Η συνολική έκταση που πλημμύρισε στη συγκεκριμένη περιοχή λόγω της κακοκαιρίας Elias ήταν 115170 στρέμματα. Από αυτά, τα 0 στρέμματα ήταν σε αστικές περιοχές και τα 97090 στρέμματα ήταν σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Επηρεάστηκαν 767 άνθρωποι.

Ακολουθούν ο χάρτης εδάφους και ο δορυφορικός χάρτης.



Εικόνα 78

- δυσκολία στη σύλληψη αιχμής πλημμύρας λόγω της συχνότητας απόκτησης του Sentinel-1
- εσφαλμένα θετικά αποτελέσματα από αλλαγές στην επιφάνεια της γης, που δεν προκαλούνται από πλημμύρες
- σφάλματα θορύβου στα σύνορα (κατά την επεξεργασία μεγάλων περιοχών)

Έτσι, λόγω των τεσσάρων πρώτων περιορισμών που αναφέρθηκαν, εξηγείται γιατί σε πολλές πόλεις της Θεσσαλίας τα αποτελέσματα εμφάνισαν μικρές έως και μηδενικές τιμές στις αστικές περιοχές και στους ανθρώπους που επηρεάστηκαν.



Εικόνα 79

## 7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε μια μεθοδολογία 13 βημάτων για την καταγραφή των συνεπειών των πλημμυρών (εκτάσεις και πληθυσμός που επηρεάστηκαν), με χρήση της πλατφόρμας Google Earth Engine. Τα βήματα αυτά περιλαμβάνουν την ανάλυση δεδομένων και εικόνων από δορυφόρους και τη σύγκρισή τους με υπάρχουσες βάσεις δεδομένων (π.χ. πυκνότητα πληθυσμού, χρήση γης). Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε για την καταγραφή των επιπτώσεων των πρόσφατων πλημμυρών του Σεπτεμβρίου 2023 στη Θεσσαλία.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι 315670 στρέμματα και 183380 στρέμματα καλύφθηκαν από τα νερά των πλημμυρών Daniel και Elias αντίστοιχα, και περίπου 7330 και 3354 άνθρωποι εκτέθηκαν στις δύο κακοκαιρίες. Οι περιοχές που επηρεάστηκαν περισσότερο είναι η περιοχή της κεντρικής Θεσσαλίας, ο Τύρναβος, η Λάρισα και η περιοχή της λίμνης Κάρλα. Η μεθοδολογία έχει το πλεονέκτημα ότι διαθέτει δεδομένα χωρίς να γίνουν μετρήσεις και άμεσα και χωρίς κόστος.

Μερικά ακόμα πλεονεκτήματα είναι:

- η ροή εργασίας μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα σε διαφορετικές περιοχές και περιόδους
- πρόσθετες πληροφορίες για τον εκτεθειμένο πληθυσμό, τις πληγείσες καλλιέργειες και τις αστικές περιοχές
- παρακολούθηση σχεδόν σε πραγματικό χρόνο των πλημμυρών παγκοσμίως
- μικρός χρόνος επεξεργασίας, μικρός αποθηκευτικός χώρος και γενικά δεν απαιτείται ισχυρός υπολογιστής λόγω της χρήσης cloud

Παρόλα αυτά, έχει και μερικούς περιορισμούς, όπως είναι οι παρακάτω:

- δυσκολίες ανίχνευσης πλημμύρας σε αστικές περιοχές ή περιοχές με πυκνή βλάστηση
- προορίζεται κυρίως για μεγάλες περιοχές
- η χωρική ανάλυση του MODIS Land Cover (500 m) και του JRC GHSL Πληθυσμού (250 m) προκαλεί αβεβαιότητα για την εκτίμηση των ζημιών

## Αναφορές

- [1] <https://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-google-earth-engine-flood-mapping/step-by-step>
- [2] <https://earthengine.google.com/>
- [3] Διπλωματική εργασία Μανουδάκης Στυλιανός "Διαχείριση δορυφορικών δεδομένων Sentinel στην πλατφόρμα του Google Earth Engine" 2018
- [4] <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>
- [5] <https://dataspace.copernicus.eu/>
- [6] Ερευνητική εργασία: "Οι δορυφόροι Sentinel του ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus", Πετρίδου Δήμητρα
- [7] <https://modis.gsfc.nasa.gov/>
- [8] <https://scienceparkstudygroup.github.io/GoogleEarthEngine/02-code-editor/>
- [9] <https://earthlab.colorado.edu/introduction-google-earth-engine-code-editor>
- [10] <https://disasterscharter.org/web/guest/disaster-types/-/article/floods>
- [11] <https://education.nationalgeographic.org/resource/flood/>
- [12] [https://www.who.int/health-topics/floods#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/floods#tab=tab_1)
- [13] <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/floods/>
- [14] <https://www.hellenicweather.com/giati-i-kakokairia-daniel-itan-toso-isxyri-sti-thessalia-analysi-apologismos>
- [15] [https://www.meteo.gr/article\\_view\\_scientific.cfm?entryID=191](https://www.meteo.gr/article_view_scientific.cfm?entryID=191)
- [16] Βιβλίο "Τεχνική Υδρολογία" Μ.Α. Μιμίκου, Ε.Α. Μπαλτάς 2012
- [17] <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=4dc46bb21cde02a58213f2adba2d1216216a7529>
- [18] Doocy, S., Daniels, A., Murray, S., & Kirsch, T. D. (2013). The human impact of floods: a historical review of events 1980-2009 and systematic literature review. PLoS currents, 5.
- [19] <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/sentinel-1>
- [20] Hammond, M. J., Chen, A. S., Djordjević, S., Butler, D., & Mark, O. (2013). Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. Urban Water Journal, 12(1), 14–29. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.857421>