



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
**Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών**

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΣΜΕΝΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ
ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΙΩΑΝΝΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ

1114201400067

Επιβλέπων
Εμμανουήλ Βασιλάκης
Επίκουρος Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ
2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου Εμμανουήλ Βασιλάκη, που αρχικά με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος με έκανε να αγαπήσω ακόμα περισσότερο την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και να θέλω να εμβαθύνω σε αυτή περισσότερο. Επίσης, η καθοδήγησή του, τα σχόλια, η ενθάρρυνσή του και η εμπιστοσύνη που μου έδειξε ήταν σημαντικά για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Ακόμα, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για τη στήριξη και την απαραίτητη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και στους φίλους μου και όλους όσους ήταν εκεί σε στις δυσκολίες μου και τις αγωνίες μου, να με ακούνε και να με στηρίζουν έως το τέλος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
2. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	7
2.1 Υδρολογικός κύκλος.....	7
2.2 Οι πλημμύρες ως φυσικές καταστροφές.....	9
2.3 Πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα.....	12
3. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ – PLANET LABS.....	15
3.1 Βασικές έννοιες.....	15
3.1.1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	15
3.1.2 Τηλεπισκόπηση.....	16
3.1.3 Ανακλαστικότητα.....	17
3.1.4 Φασματική απόκριση αντικειμένων ή φασματική υπογραφή.....	18
3.2 Όργανα καταγραφής.....	19
3.2.1 Τροχιές δορυφόρων.....	19
3.2.2 Χαρακτηριστικά οργάνων καταγραφής.....	20
3.3 Επεξεργασία και ανάλυση εικόνων.....	21
3.3.1 Απαραίτητες διορθώσεις - Ατμοσφαιρική διόρθωση.....	22
3.3.2 Φασματικοί δείκτες – Πράξεις μεταξύ καναλιών.....	23
3.4 Planet Labs.....	25
3.4.1 Εικόνες PlanetScope.....	26
4. ΠΗΝΕΙΟΣ.....	28
4.1 Γεωγραφία - Μορφολογία.....	28
4.2 Γεωλογία.....	30
4.3 Εδαφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά.....	32
4.4 Χρήσεις Γης.....	35
5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	37
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο μελέτης της παρούσα διπλωματικής εργασίας είναι η διαχρονική παρακολούθηση πλημμυρισμένων περιοχών με τη χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής ανάλυσης. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν 15 δορυφορικές εικόνες PlanetScope της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού ποταμού (Θεσσαλία) για το χρονικό διάστημα μεταξύ 10/11/2017 έως 19/1/2018. Διαθέσιμα ήταν επίσης και τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής για το ίδιο χρονικό διάστημα. Σε όλες τις εικόνες εφαρμόστηκε ο κανονικοποιημένος δείκτης νερού (NDWI) με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS Pro και τα αποτελέσματα αποτυπώθηκαν στους αντίστοιχους χάρτες. Με την εφαρμογή του δείκτη NDWI αναγνωρίστηκαν οι πλημμυρισμένες περιοχές και στη συνέχεια επιλέχθηκαν δέκα σημεία σε περιοχές που εμφάνισαν νερό με σκοπό την εξέταση της διακύμανσης της τιμής του δείκτη NDWI αλλά και της τιμής της ανακλαστικότητας στο κανάλι NIR για το υπό μελέτη χρονικό διάστημα. Οι τιμές αποτυπώθηκαν σε διαγράμματα συναρτήσεως της ημερομηνίας, όπου παρατηρήθηκε ταύτιση των αναμενόμενων τιμών με τα δεδομένα βροχόπτωσης. Με βάση τα αποτελέσματα κρίθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη αλλά και αναγκαία η πολύ καλή χωρική και χρονική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών συστημάτων στην παρακολούθηση πλημμυρικών φαινομένων, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μελέτη μικρής κλίμακας.

Λέξεις κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, Πηνειός, Πλημμύρες, PlanetScope

ABSTRACT

The aim of this study is the multitemporal monitoring of flooded areas with high resolution satellite images. For this purpose, 15 PlanetScope images of Pinios river deltaic plain (Thessaly) were used, captured between 10/11/2017 and 19/1/2018. For the same period of time, rainfall data of the study region were also available. The normalized difference water index (NDWI) was applied to all images with ArcGIS Pro and the results were demonstrated in the created maps. After NDWI was applied, the flooded areas were highlighted and therefore ten points were chosen in areas covered by water with the aim of evaluating the range of the NDWI values as well as the reflection values of the NIR band for the studied period of time. The resulting values were plotted in graphs, where the correspondence with the expected values and the rainfall data was clearly observed. Based on the current results, very high spatial as well as high temporal resolution of a remote sensing system is undoubtedly useful and necessary, especially when a small scale study is concerned.

Keywords: Remote Sensing, Pinios, Floods, PlanetScope

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανθρώπινη ανάγκη για την παρακολούθηση και μελέτη της Γης οδήγησε, με το πέρασμα του χρόνου, στη δημιουργία της επιστήμης της τηλεπισκόπησης. Η επιστήμη αυτή έκανε την εμφάνισή της το 1858 με τη λήψη των πρώτων φωτογραφιών από αερόστατο. Περιστερία έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για τη λήψη φωτογραφιών, με την τοποθέτηση καμερών σε αυτά, όμως οι πρώτες συστηματικές αεροφωτογραφίες αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου για στρατιωτικούς σκοπούς. Οι φωτογραφίες από το διάστημα εμφανίστηκαν λίγο αργότερα, το 1947, ενώ σήμερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας, γίνεται λόγος για δορυφορικές εικόνες.

Οι δυνατότητες που καλύπτει πλέον η επιστήμη της τηλεπισκόπησης αφορούν ένα ευρύ φάσμα αναγκών όπως παρακολούθηση των φυσικών καταστροφών, παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών, εντοπισμός ορυκτών πρώτων υλών, ανίχνευση των μεταβολών στην αξιοποίηση του περιβάλλοντος, χαρτογράφηση της τοπογραφίας και βαθυμετρίας μιας περιοχής, κ.ά. Ο συνδυασμός, μάλιστα, με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών έχει εισάγει νέες μεθόδους στη διαχείριση των φυσικών οικοσυστημάτων. Με τη διαχρονική παρακολούθηση της Γης σε ελάχιστο χρόνο και με μικρό σχετικά κόστος μπορούν να καταγραφούν όλες οι μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνειά της και να διευκολυνθεί η αντιμετώπιση ή και η πρόληψη πιθανών προβλημάτων που προκύπτουν λόγω των μεταβολών αυτών.

Μια από αυτές τις δυνατότητες που δίνει η τηλεπισκόπηση είναι και το θέμα της παρούσας εργασίας, που εστιάζεται στην παρακολούθηση πλημμυρικών φαινομένων. Πιο συγκεκριμένα, στόχος της εργασίας είναι ο εντοπισμός και παρακολούθηση πλημμυρισμένων περιοχών σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα στη δελταϊκή πεδιάδα του Πηνειού ποταμού (Θεσσαλία), μια περιοχή στην οποία παρατηρούνται συχνά πλημμυρικά γεγονότα λόγω των έντονων βροχοπτώσεων που πλήττουν την περιοχή. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν προϊόντα Τηλεπισκόπησης, όπως είναι οι δορυφορικές εικόνες και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και έγινε αξιολόγηση της ικανότητας αυτού του τρόπου εντοπισμού πλημμυρισμένων περιοχών.

2. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

2.1 Υδρολογικός κύκλος

Το νερό φτάνει στην επιφάνεια της γης με διάφορους τρόπους, όπως είναι η βροχή, το χιόνι και το χαλάζι. Από τη συνολική ποσότητα αυτών των κατακρημνισμάτων, ένα μέρος εξατμίζεται και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα και ένα μέρος - το μεγαλύτερο αυτών - φτάνει στο έδαφος. Από αυτό, ένα σημαντικό ποσοστό εξατμίζεται απευθείας από την έδαφος ή διαμέσου της διαπνοής των φυτών, ενώ ένα μικρότερο ποσοστό διηθείται στο έδαφος. Η μεγαλύτερη ποσότητα όμως απορρέει επιφανειακά προς τις χαμηλότερες περιοχές σχηματίζοντας μικρά ρέματα, ποτάμια, χειμάρρους, που τελικά καταλήγουν σε έναν μεγαλύτερο αποδέκτη, όπως τη θάλασσα ή μια λίμνη. Από εκεί το νερό εξατμίζεται και επιστρέφει πάλι στην ατμόσφαιρα. Όταν όμως η ποσότητα του νερού που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους είναι μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να απορροφήσει ή να αποστραγγίσει το έδαφος ή ένα ποτάμι αντίστοιχα, τότε το νερό απορρέει επιφανειακά και κατακλύζει επιφάνειες που δεν καταλαμβάνονταν προηγουμένως από νερό. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60, η πλημμύρα ορίζεται ως η προσωρινή κάλυψη του εδάφους με νερό το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν είναι καλυμμένο με νερό. Ο ορισμός αυτός καλύπτει ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων, όπως πλημμύρες από υπερχειλίσεις ποτάμιων συστημάτων, ή υπερχειλίσεις λιμνών, από υπόγεια νερά ή τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, αλλά και πλημμύρες από καταστροφές μεγάλων υδραυλικών έργων.

Το φαινόμενο της πλημμύρας, επομένως, είναι μέρος του υδρολογικού κύκλου και συγκεκριμένα του τμήματος της επιφανειακής απορροής. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η επιφανειακή απορροή σχετίζεται άμεσα με την αστικοποίηση, καθώς με την αύξηση των αδιαπέρατων επιφανειών αυξάνεται και ο κίνδυνος εμφάνισης πλημμύρας (Λέκκας 2000). Επιπλέον, καθοριστικό ρόλο έχουν και παράγοντες όπως η βροχόπτωση, η γεωλογία της περιοχής, η βλάστηση, οι χρήσεις γης, τα χαρακτηριστικά του ποταμού κ.ά. Αξίζει να σημειωθεί βέβαια πως μερικές πλημμύρες είναι αποτέλεσμα της τήξης πάγων και χιονιού κατά την άνοιξη, ή ακόμα, σε σπάνιες περιπτώσεις, της καταστροφής ενός φράγματος.

Οι πλημμύρες ταξινομούνται σε διαφορετικούς τύπους ανάλογα με το μηχανισμό δημιουργίας τους και τα χαρακτηριστικά τους, αν και σε πολλές περιπτώσεις παρουσιάζουν μεικτά χαρακτηριστικά. Μια ενδεικτική ταξινόμηση παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Ενδεικτική ταξινόμηση τύπων πλημμυρών (Martini and Loat 2007, Smith and Ward 1998) σε σχέση με τα πιο συνήθη αίτια και επιπτώσεις.

Τύπος πλημμύρας	Ενδεικτικά αίτια	Ενδεικτικές επιπτώσεις
Ποτάμιες πλημμύρες (Riverine floods)	Βροχόπτωση μακράς διάρκειας, λιώσιμο χιονιού, αστοχία αντιπλημμυρικών έργων	Πλημμυρικά ύδατα σε πλημμυρικά πεδία (στάσιμα ή ρέοντα)
Αιφνίδιες πλημμύρες (Flash floods)	Έντονη βροχόπτωση μικρής διάρκειας	Έντονη διάβρωση, ορμητικά ύδατα, εμπλουτισμός με εδαφικό υλικό, λασποροές
Αστικές πλημμύρες (Urban floods)	Αστοχία τεχνικών έργων, έντονη βροχόπτωση	Πλημμυρισμένες κατασκευές
Παράκτιες πλημμύρες (Coastal floods)	Υψηλές παλίρροιες, έντονη βροχόπτωση	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στην ακτή, υφαλμήριση της γης και των υδάτων
Πλημμύρες που συνδέονται με το υπεδαφικό νερό (Groundwater floods)	Υψηλή στάθμη υπεδαφικού νερού	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο
Πλημμύρες από αστοχία τεχνικού έργου (Dam failure floods)	Αστοχία φράγματος, καναλιού, και άλλων τεχνικών έργων	Έντονη διάβρωση, λασποροές, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα
Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων (Mountain torrent floods)	Καταιγίδες, αστάθεια πρανών	Λασποροές, έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα και μεταφερόμενο υλικό, δημιουργία αλλουβιακού ριπιδίου
Πλημμύρες λιμνών (Lake floods)	Ταχεία αύξηση των υδατικών αποθεμάτων	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα πέραν της ακτής

Οι ποτάμιες πλημμύρες αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο και δημιουργούνται όταν ποτάμια με μόνιμη ροή, ξεπερνούν την παροχετευτική τους ικανότητα και υπερχειλίζουν. Παρατεταμένες βροχοπτώσεις, σύντομα μετά την έναρξή τους, έχουν ως αποτέλεσμα να μειωθεί η μεταφορική ικανότητα του υδρογραφικού δικτύου και το επιπλέον νερό να υπερκαλύψει την κοίτη και να πλημμυρίσει γειτονικές περιοχές. Χαρακτηρίζονται από αργό

ρυθμό ανύψωσης και χαμηλή ταχύτητα ροής, ενώ η διάρκειά τους είναι της τάξης των ημερών. Στον Ελλαδικό χώρο παραδείγματα τέτοιου είδους πλημμυρών αποτελούν ο ποταμός Έβρος και Πηνειός Θεσσαλίας.

Από πολύ εντατική τοπική βροχόπτωση προκαλούνται οι στιγμιαίες πλημμύρες, ή αλλιώς flash floods. Συμβαίνουν μετά από έντονη βροχόπτωση σε μικρή περιοχή, μέσα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Η ποτάμια στάθμη αυξάνεται απότομα, ενώ επικρατούν πολύ υψηλές ταχύτητες ροής. Στη λεκάνη απορροής, μεγάλη ποσότητα νερού ρέει επιφανειακά καθώς λόγω της σφοδρότητας της βροχόπτωσης δεν προλαβαίνει να κατεισχύσει στο έδαφος. Το νερό έχει μεγάλη μεταφορική ικανότητα και μπορεί να παρασύρει αυτοκίνητα, κορμούς δέντρων και μεγάλες ποσότητες εδαφικού υλικού, με αποτέλεσμα αυτό το είδος πλημμυρών να αποτελεί μια πολύ σημαντική καταστροφή.

Οι αστικές πλημμύρες οφείλονται στην υπερχειλίση ενός συστήματος απορροής σε μια αστική περιοχή. Κύριο αίτιο πρόκλησής τους είναι το μεγάλο ποσοστό των αδιαπέρατων επιφανειών, το οποίο εμποδίζει την κατείσδυση του νερού στο έδαφος με άμεση συνέπεια να αυξάνεται η επιφανειακή απορροή. Είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται αρκετά συχνά τα τελευταία χρόνια καθώς η ανθρώπινη δραστηριότητα εντείνεται και καταλαμβάνει τις περιοχές φυσικής διοχέτευσης του νερού.

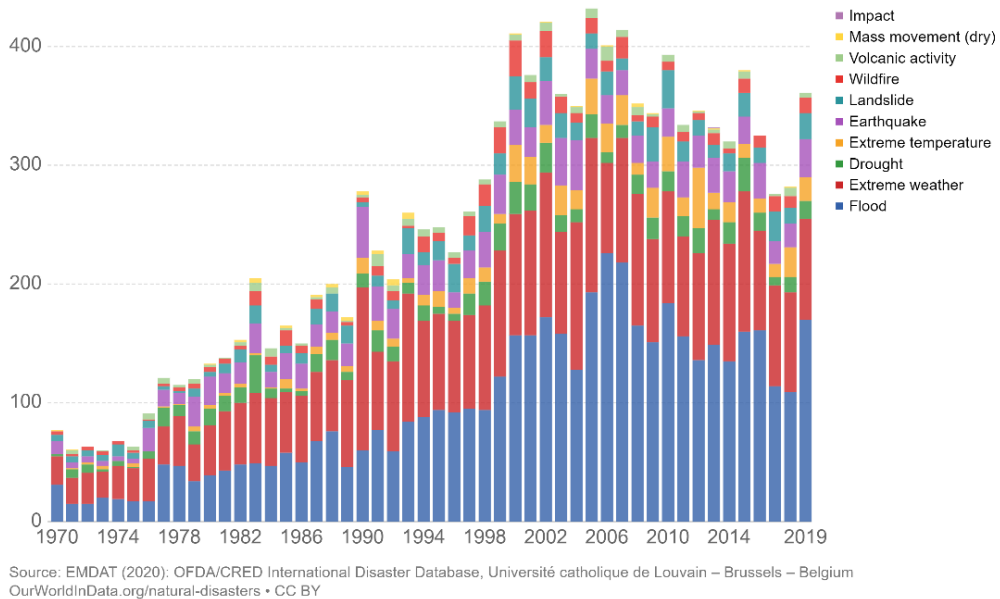
Σε παράκτιες περιοχές, αιτία πλημμυρογένεσης αποτελούν τα ακραία υδρομετεωρολογικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα ο συνδυασμός ισχυρών κυμάτων καταιγίδας και υψηλής παλίρροιας. Η δημιουργία των παράκτιων πλημμυρών οφείλεται σε τρεις μηχανισμούς οι οποίοι είναι τα υψηλά επίπεδα παλίρροιας, η αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας λόγω χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης και τέλος ο θαλάσσιος κυματισμός που εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, την κατεύθυνση και την τοπική τοπογραφία (Local Government Association 2009).

Οι πλημμύρες μπορούν να χαρτογραφηθούν με δεδομένα από δορυφορικές εικόνες, ή αεροφωτογραφίες κατά τη διάρκειά τους, ή με δεδομένα υπαίθρου, από τις αποθέσεις των πλημμυρών με μετρήσεις μετά την υποχώρηση του νερού.

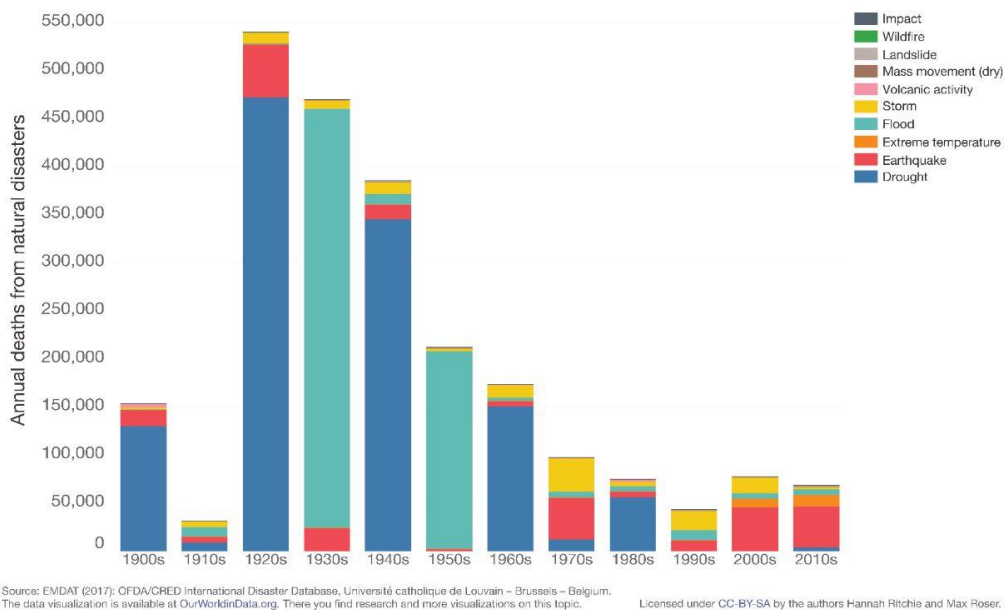
2.2 Οι πλημμύρες ως φυσικές καταστροφές

Οι φυσικές καταστροφές είναι φυσικά φαινόμενα που εξελίσσονται αργά ή και αστραπιαία, προκαλώντας μεγάλο αριθμό θανάτων και σημαντικές υλικές ζημιές. Ο άνθρωπος ήταν πάντα επιρρεπής σε αυτές, όμως με τις ολοένα και πιο γρήγορες αλλαγές στη σύγχρονη κοινωνία, οι επιπτώσεις τους έχουν γίνει πολύ πιο σοβαρές. Η μεγάλη πληθυσμιακή ανάπτυξη επίσης, συμβάλλει σημαντικά στη δημιουργία συνθηκών που είναι όλο και περισσότερο ευαίσθητες σε περιπτώσεις καταστροφικών φαινομένων.

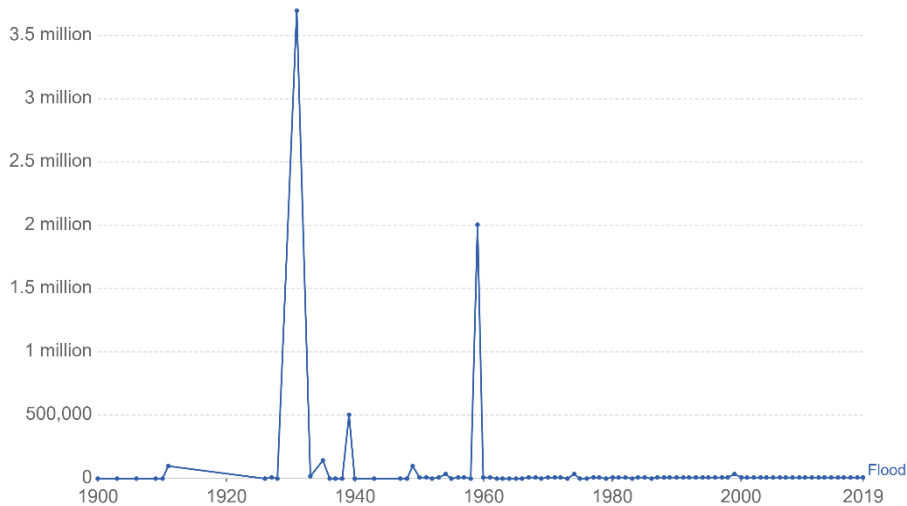
Οι φυσικές καταστροφές στοιχίζουν τη ζωή σε 60 χιλιάδες ανθρώπους περίπου ετησίως, ενώ είναι υπεύθυνες για το 0,1% των θανάτων σε παγκόσμια κλίμακα (Ritchie and Roser 2020). Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 1, οι πλημμύρες είναι από τις σημαντικότερες και πιο συχνές φυσικές καταστροφές που συμβαίνουν. Στο παρελθόν ήταν από τα πιο θανατηφόρα καταστρεπτικά γεγονότα, γεγονός που γίνεται άμεσα αντιληπτό και στο διάγραμμα 3, που φαίνεται ο αριθμός των ανθρώπινων απωλειών από πλημμύρες κατά το διάστημα 1900-2019. Πλέον, παρ' ότι ο αριθμός των πλημμυρικών γεγονότων παρουσιάζει αύξηση, οι ανθρώπινες απώλειες έχουν μειωθεί σημαντικά.



Εικόνα 1. Καταγεγραμμένες φυσικές καταστροφές παγκοσμίως (EMDAT 2020)



Εικόνα 2. Αριθμός ανθρώπινων απωλειών ανά τύπο καταστροφής (EMDAT 2020)



Source: EMDAT: OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain – Brussels – Belgium

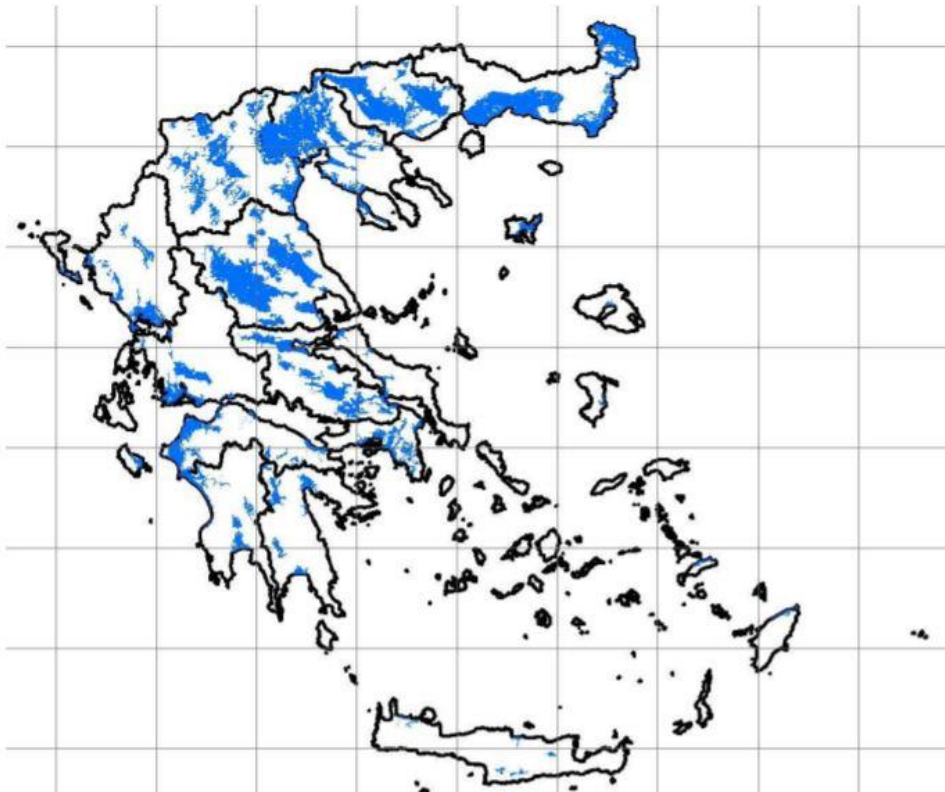
Εικόνα 3. Αριθμός ανθρώπινων απωλειών λόγω πλημμυρικών γεγονότων (EMDAT 2020)

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα που δεν μπορούν να προβλεφθούν ή να αποτραπούν και η ανθρώπινη δραστηριότητα συμβάλλει ενεργά στην αύξηση της πιθανότητας εμφάνισής τους και των δυσμενών επιδράσεών τους. Αυτές μπορεί να είναι άμεσες, που προκαλούνται από την πλημμύρα, ή έμμεσες που προκαλούνται από την επακόλουθη δυσλειτουργία υπηρεσιών και συστημάτων που σχετίζονται με αυτή. Τα άμεσα αποτελέσματα είναι τραυματισμοί και θάνατοι καθώς και καταστροφές που προκαλούνται από την ταχύτητα των ρευμάτων και των ιζημάτων στα κτίρια, στους δρόμους και στα συστήματα επικοινωνίας. Ακόμα, η διάβρωση και η απόθεση των ιζημάτων στις αγροτικές και αστικές περιοχές μπορεί να επιφέρει απώλεια σημαντικού εδάφους και βλάστησης. Οι έμμεσες επιδράσεις περιλαμβάνουν απομάκρυνση κατοίκων, μόλυνση ποταμών ή ακόμα και φωτιές από βραχυκυκλώματα. Παρόλα αυτά, μια θετική επίδραση αυτών των φαινομένων είναι πώς οι αποθέσεις ιζημάτων που μπορεί να συμβούν, μπορούν να αυξήσουν την αποδοτικότητα των εδαφών, εφόσον είναι πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά.

Η αύξηση της συχνότητας των πλημμυρών είναι συνάρτηση του ποσοστού της αδιαπέρατης επιφάνειας, ενώ το μέγεθος των πλημμυρών σχετίζεται άμεσα με τη συνολική ποσότητα, ένταση και κατανομή της βροχοπτώσης (Λέκκας 2000). Ραγδαίες πλημμύρες προκύπτουν έπειτα από επεισόδια έντονων βροχοπτώσεων μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα και συνήθως οι επιπτώσεις τους έχουν μικρή γεωγραφική έκταση, ενώ οι αλλαγές στη γεωμορφολογία είναι ελάχιστες, κυρίως σε περιοχές με καλλιέργειες. Ωστόσο, σε ξηρές και ημίξηρες καλλιεργούμενες ή αστικές περιοχές, τέτοια επεισόδια μπορούν να επιφέρουν σοβαρές περιβαλλοντικές και κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις.

2.3 Πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μια χώρα δυνητικά ευάλωτη σε πλημμύρες. Κλιματολογικοί και γεωμορφολογικοί παράγοντες, αλλά και ανθρωπογενείς επεμβάσεις συμβάλλουν στην αύξηση της επικινδυνότητας της πλημμύρας, με αποτέλεσμα στη χώρα μας να αποτελεί τη δεύτερη πιο συχνή καταστροφή μετά τις δασικές πυρκαγιές. Τα κλιματικά στοιχεία της Ελλάδας που σχετίζονται με τις πλημμύρες παρουσιάζουν σημαντική γεωγραφική μεταβλητότητα, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην ανεπτυγμένη ακτογραμμή και το έντονο ανάγλυφο (Καρανασιπούλου 2010).



Η

Εικόνα 4. Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου στην Ελλάδα (Ειδική Γραμματεία Υδάτων 2012)

οροσειρά της Πίνδου, που διασχίζει τη χώρα από βορειοδυτικά προς νότια, παίζει σημαντικό ρόλο στις διαδικασίες βροχόπτωσης και απορροής στην Ελλάδα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση ξεπερνάει τα 1500mm στις ορεινές περιοχές της δυτικής Ελλάδας, ενώ στα ανατολικά της χώρας η τιμή αυτή μπορεί να πέσει ακόμα και στα 400mm, γεγονός που δικαιολογεί τις συχνές περιόδους ξηρασίας, όπως αυτές στα νησιά του Αιγαίου. Το τελευταίο, όμως, δε σημαίνει πως το σχετικά ξηρό ανατολικό τμήμα της Ελλάδας δεν επηρεάζεται από πλημμυρικά γεγονότα. Η εκδήλωση πλημμυρών, πλην της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, σχετίζεται άμεσα και με την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων, τη γεωμορφολογία της περιοχής και την επιφανειακή βλάστηση. Γι' αυτόν τον λόγο, παρότι το ύψος βροχής στη δυτική χώρα είναι μεγαλύτερο απ' ό,τι στην ανατολική, τα πλημμυρικά γεγονότα στην ανατολική είναι πυκνότερα.

Η πλημμυρική επικινδυνότητα παρουσιάζει γενικά μείωση σε μεγάλες πεδινές περιοχές, όμως σε κατοικημένες περιοχές αυτό δεν ισχύει, με τα πλημμυρικά γεγονότα σε αστικά κέντρα να είναι συχνό φαινόμενο. Οι κυριότεροι λόγοι είναι οι παρακάτω:

- Ο δραστικός σχεδιασμός της κοίτης των ρευμάτων στις οικιστικές περιοχές λόγω της ανεξέλεγκτης δόμησης
- Ο φραγμός των κοιτών από τη δόμηση, την απόρριψη αδρανών υλικών ή και την άστοχη κατασκευή τεχνικών έργων
- Η καταστροφή των δασών από τις πυρκαγιές και την αποψίλωση που βρίσκονται προς τα ανάντι μέσα στη λεκάνη απορροής
- Η μείωση της κατείδυσης και η παράλληλη αύξηση της επιφανειακής απορροής λόγω της κάλυψης της επιφάνειας της λεκάνης απορροής από την αστικοποίηση
- Η άστοχη κατασκευή «αντιπλημμυρικών έργων» που δεν είναι συμβατά με το περιβάλλον και τις εξελισσόμενες γεωδυναμικές διεργασίες στην επιφάνεια (Λέκκας 2000)

Οι συνηθέστεροι τύποι πλημμυρών στον Ελληνικό χώρο είναι οι ποτάμιες, οι αστικές, οι ξαφνικές και οι παράκτιες πλημμύρες. Η Μεσογειακή λεκάνη παρουσιάζει ιδιαιτερότητες σχετικά με τα κλιματικά, τα γεωτεκτονικά, τα πληθυσμιακά και τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής (Διακάκης 2012).

Πίνακας 2. Τα σημαντικότερα πλημμυρικά γεγονότα στην Ελλάδα κατά την περίοδο 2006-2017. (EM-DAT, 2020)

Ημερομηνία	Περιοχή	Αιτία	Ανθρώπινες απώλειες	Άνθρωποι που επηρεάστηκαν
Οκτώβριος 2006	Θεσσαλονίκη, Χαλκιδική Μαγνησία	Έντονη βροχόπτωση	1	3000
Οκτώβριος 2006	Μεσσηνία, Λακωνία	Έντονη βροχόπτωση		90
Νοέμβριος 2007	Έβρος, Κομοτηνή, Καβάλα, Δράμα, Αρκαδία, Ηλεία	Έντονη βροχόπτωση	2	600
Νοέμβριος 2010	Ιωάννινα		1	150
Φεβρουάριος 2012	Αχαΐα, Ηλεία	Καταρρακτώδης βροχόπτωση	1	200

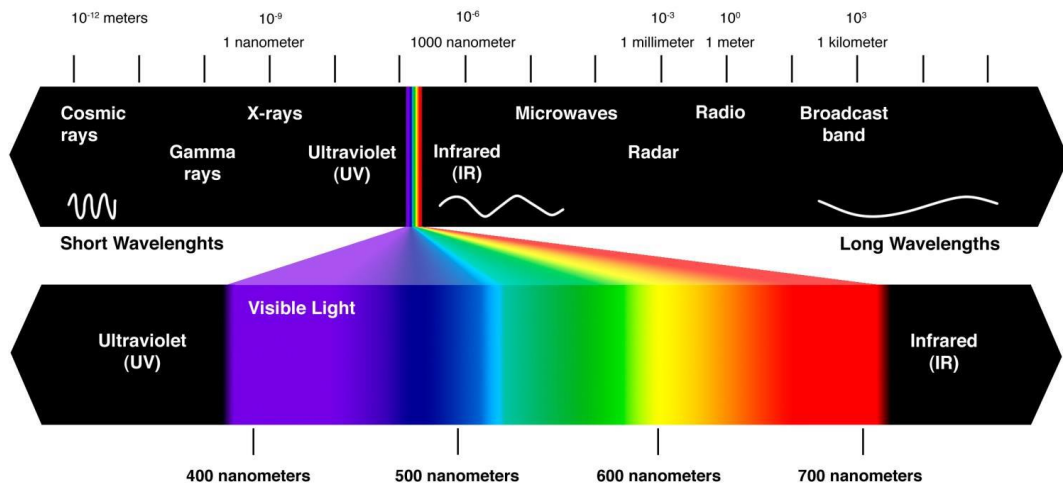
Οκτώβριος 2014	Αθήνα, Πειραιάς			
Ιανουάριος 2015	Ναύπακτος, Θεσσαλία, Ευρυτανία, Μακεδονία, Θράκη			
Φεβρουάριος 2015	Έβρος	Έντονη βροχόπτωση	3	500
Σεπτέμβριος 2016	Καλαμάτα, Θεσσαλονίκη	Καταρρακτώδης βροχόπτωση	4	200
Νοέμβριος 2017	Μάνδρα, Νέα Πέραμος, Μέγαρα (Αττική), Ιωάννινα	Καταρρακτώδης βροχόπτωση	23	6024

3. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ – PLANET LABS

3.1 Βασικές έννοιες

3.1.1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται από τον ήλιο. Περιέχει ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών μηκών κύματος, από τα οποία μόνο ένα μικρό φάσμα καταλαμβάνει το ορατό. Το ορατό φάσμα είναι το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι και μπορεί να καταγραφεί από έναν αισθητήρα. Μαζί με τη φασματική ζώνη του υπέρυθρου και των μικροκυμάτων, αποτελούν τις ζώνες που αξιοποιούνται κυρίως στην τηλεπισκόπηση.



Εικόνα 5. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με τις ζώνες στις οποίες διακρίνεται.

Ορατό φάσμα

Το ορατό φάσμα είναι το τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που μπορεί να γίνει αντιληπτό από τον άνθρωπο μέσω της όρασης. Τα μήκη κύματος αυτού του φάσματος κυμαίνονται από 400 έως 700 nm (ή 0,4 έως 0,7 μm) και κατηγοριοποιούνται σε τρεις επιμέρους ζώνες:

- Ζώνη του μπλε: 0,4-0,5 μm
- Ζώνη του πράσινου: 0,5-0,6 μm
- Ζώνη του κόκκινου: 0,6-0,7 μm

Υπέρυθρο φάσμα

Αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος περιλαμβάνει μήκη κύματος μεγαλύτερα από το κόκκινο του ορατού φάσματος, τα οποία κυμαίνονται από 0,7 έως 1000 μm . Λόγω του μεγάλου εύρους του περιλαμβάνει ακτινοβολία με ποικίλες ιδιότητες που διαμορφώνουν και τις αντίστοιχες κατηγορίες ως εξής:

- Εγγύς υπέρυθρα μήκη κύματος (NIR): 0,7-1,5 μm
- Υπέρυθρα μικρά μήκη κύματος (SWIR): 1,5-3 μm
- Υπέρυθρα μεσαία μήκη κύματος (MID-IR): 3-8 μm
- Υπέρυθρα απομακρυσμένα μήκη κύματος (FAR-IR): 8 μm – 1 mm

Τα φάσματα NIR και SWIR είναι πλησιέστερα στο ορατό και είναι γνωστά ως ανακλώμενα υπέρυθρα (Reflected Infrared) ενώ τα MID-IR και FAR-IR πλησιάζουν τη ζώνη των μικροκυμάτων και είναι γνωστά ως θερμικά υπέρυθρα (Thermal Infrared). Ουσιαστικά, η εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία αποτελεί την ηλιακή ακτινοβολία η οποία ανακλάται από την επιφάνεια της Γης, ενώ η μακρινή υπέρυθρη είναι αυτή που εκπέμπεται από τη Γη.

Μικροκύματα

Αποτελούνται από μήκη κύματος 1mm έως 1m, τα οποία δεν είναι ορατά από το ανθρώπινο μάτι. Τα μικρότερα μήκη κύματος στην περιοχή αυτή έχουν πολλά κοινά με τη θερμική ενέργεια των μακρινών υπέρυθρων ενώ τα μεγαλύτερα συγχωνεύονται με τα ραδιοκύματα που χρησιμοποιούνται για εμπορικές μεταδόσεις. Στην τηλεπισκόπηση τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται κυρίως από αυτή την περιοχή του φάσματος είναι από 1mm έως 1 μm . Σε αυτό το εύρος οι αισθητήρες καταγράφουν χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας όπως τη μορφολογία και την τοπογραφία, την περιεκτικότητα της βλάστησης και του εδάφους σε νερό, καθώς και τη διηλεκτρική σταθερά των υλικών.

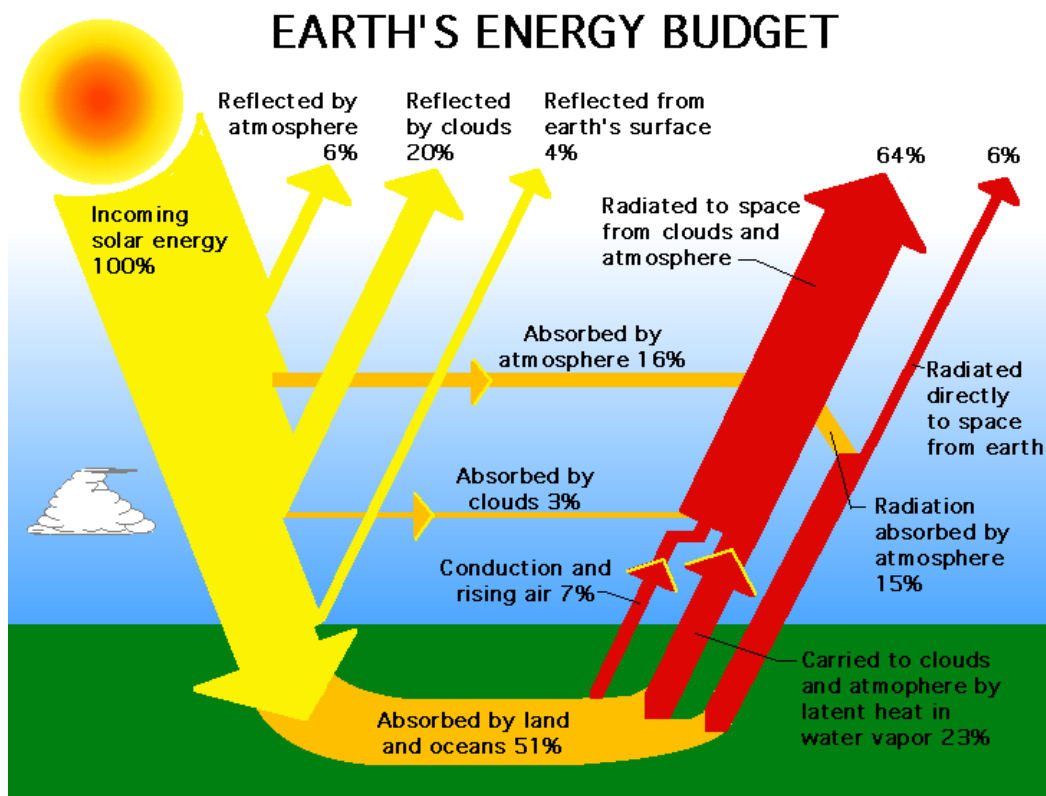
3.1.2 Τηλεπισκόπηση

Με τον όρο τηλεπισκόπηση περιγράφονται οι τεχνικές για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την επιφάνεια της γης και των φαινομένων που συμβαίνουν σε αυτή, με τη χρήση αισθητήρων που δε βρίσκονται σε φυσική επαφή με την επιφάνεια και τα φαινόμενα ενδιαφέροντος. Πιο αναλυτικά, ο όρος περιλαμβάνει τη συλλογή, ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων που καταγράφονται από ένα σύστημα οργάνων (αισθητήρες) μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η χρήση της τηλεπισκόπησης είναι ευρεία και αξιοποιείται σε πληθώρα φαινομένων ή καταστάσεων που αφορούν τη γήινη επιφάνεια, όπως παρακολούθηση της ποιότητας της βλάστησης, μέτρηση της θερμοκρασίας διαφόρων αντικειμένων, χαρτογράφηση χρήσεων γης, ανίχνευση και παρακολούθηση των επιπτώσεων που προκαλούνται από πυρκαγιές, πλημμύρες, σεισμούς, ηφαιστεια, κ.ά. Τα βασικά στάδια του συστήματος της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν:

- Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (κύρια πηγή ο ήλιος)

- Μετάδοση ενέργειας από την πηγή προς την επιφάνεια της γης, καθώς και απορρόφηση και σκέδαση από την ανώτερη ατμόσφαιρα
- Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την επιφάνεια της γης
- Καταγραφή της ανακλώμενης ενέργειας από τον απομακρυσμένο δέκτη
- Δεδομένα εξόδου αισθητήρα
- Μετάδοση δεδομένων, επεξεργασία και ανάλυση

Η απόκτηση δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί από μέσα όπως αεροσκάφη, δορυφόρους, drones, κ.ά. πάνω στα οποία είναι τοποθετημένοι αισθητήρες για την καταγραφή των δεδομένων. Οι αισθητήρες περιλαμβάνουν εναέριες φωτογραφικές μηχανές και μη φωτογραφικά μέσα όπως ραδιόμετρα, συστήματα ραντάρ κ.ά. Μέσο συλλογής των δεδομένων είναι η εικόνα, η οποία ουσιαστικά αποτελεί την καταγραφή της ακτινοβολίας από κάποια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.



Εικόνα 6. Ισοζύγιο ακτινοβολίας της Γης με την ατμόσφαιρα (<https://science-edu.larc.nasa.gov>)

3.1.3 Ανακλαστικότητα

Όλα τα αντικείμενα πάνω στην επιφάνεια της γης που έχουν θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν, ανακλούν, απορροφούν και εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας, η οποία καταγράφεται από τον αισθητήρα. Αυτή η καταγραφόμενη

ακτινοβολία όμως, επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από την ατμόσφαιρα, η οποία αποτελεί ένα περίπλοκο μέσο διάδοσης. Πιο συγκεκριμένα, Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο, σε ένα μεγάλο ποσοστό της απορροφάται από την επιφάνεια του εδάφους αλλά και από την ατμόσφαιρα. Η ακτινοβολία που καταγράφεται από τους δέκτες αποτελεί ένα μικρότερο ποσοστό και είναι το άθροισμα της ενέργειας που ανακλάται και εκπέμπεται κατευθείαν από το έδαφος και της ενέργειας που ανακλάται και εκπέμπεται από τα σύννεφα και την ατμόσφαιρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η απεικόνιση των σχηματισμών της γήινης επιφάνειας να είναι αλλοιωμένη και να πρέπει να διορθωθεί με ψηφιακή επεξεργασία, όπως με την τεχνική της ατμοσφαιρικής διόρθωσης, η οποία θα αναλυθεί παρακάτω.

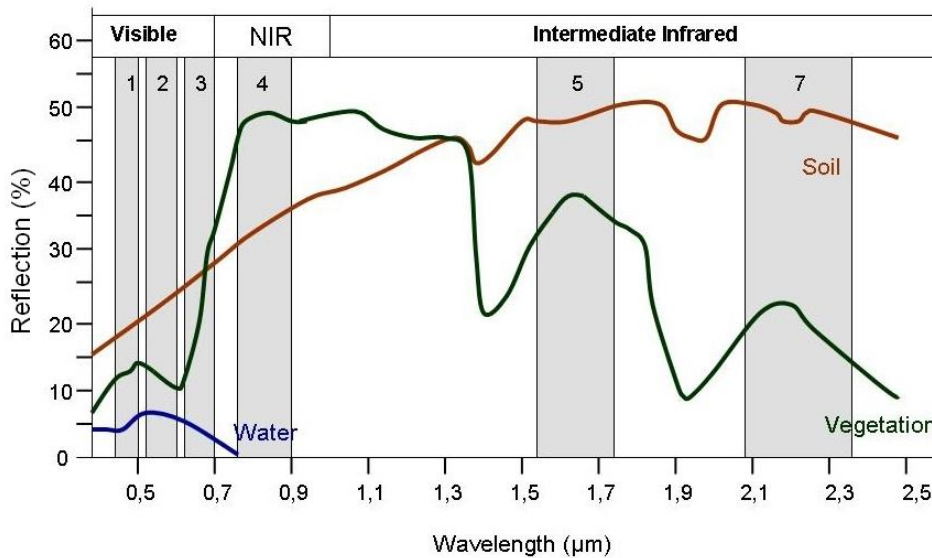
Όταν σε ένα σώμα προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αυτή μεταβάλλεται ως προς την ένταση, τη διεύθυνση διάδοσης και το μήκος κύματος με διάφορους τρόπους.

- *Διάθλαση* συμβαίνει όταν η ακτινοβολία περνά μέσα από ένα σώμα με διαφορετική πυκνότητα, με αποτέλεσμα να γίνεται εκτροπή της κατεύθυνσής της
- *Απορρόφηση* της ακτινοβολίας από ένα σώμα έχει ως αποτέλεσμα να θερμανθεί αυτό
- *Εκπομπή* ακτινοβολίας από ένα σώμα (συνήθως σε μεγαλύτερα μήκη κύματος από την προσπίπτουσα ακτινοβολία) παρατηρείται λόγω θέρμανσης του σώματος
- *Σκέδαση (ή διάχυση)* της ακτινοβολίας συμβαίνει όταν η επιφάνεια πρόσπτωσης έχει κάποια τραχύτητα
- *Ανάκλαση* της ακτινοβολίας συμβαίνει όταν η επιφάνεια είναι επίπεδη (ομαλή)

Ως *ανακλαστικότητα* ορίζεται ο βαθμός ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας από ένα αντικείμενο και εκφράζεται με το επί τοις εκατό ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας σε σχέση με το ποσό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στο αντικείμενο.

3.1.4 Φασματική απόκριση αντικειμένων ή φασματική υπογραφή

Κάθε αντικείμενο της γήινης επιφάνειας ανακλά ή εκπέμπει διαφορετικό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό. Το ποσοστό που ανακλάται στα διάφορα μήκη κύματος καθορίζεται από τα φυσικά χαρακτηριστικά και τη σύσταση του αντικειμένου και χρησιμεύει ως μέσο αναγνώρισης του αντικειμένου αυτού. Αυτή η χαρακτηριστική φασματική κατανομή της ενέργειας αναφέρεται ως η φασματική υπογραφή των αντικειμένων και καταγράφεται από τους διάφορους δέκτες. Γραφικά, η φασματική υπογραφή αναπαριστάνεται ως μια καμπύλη μεταβολής της ανακλαστικότητας ως προς το μήκος κύματος. Για παράδειγμα, στη φασματική υπογραφή της υγιούς βλάστησης, η ανακλαστικότητα παρουσιάζει ένα μέγιστο στα 0,5 με 0,6 μm (ζώνη πράσινου) γεγονός που οφείλεται στη χλωροφύλλη των φυτικών οργανισμών. Στα 0,7 μm (ζώνη του κόκκινου) η ανακλαστικότητα ελαττώνεται, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται απότομα στη ζώνη του εγγύς υπέρυθρου. Αντιθέτως, το νερό παρουσιάζει πολύ μικρότερη ανακλαστικότητα για όλα τα μήκη κύματος, η οποία μηδενίζεται μετά τα 0,8 μm. Επομένως, η γνώση της φασματικής απόκρισης διαφόρων στοιχείων, μπορεί εύκολα να οδηγήσει και στην άμεση αναγνώρισή τους μέσω δεδομένων τηλεπισκόπησης.



Εικόνα 7. Φασματικές υπογραφές διαφόρων φυσικών αντικειμένων (νερό, βλάστηση, έδαφος) και φασματικά κανάλια του δορυφόρου LANDSAT 7 (<https://seos-project.eu/remotesensing/remotesensing-c01-p06.html>)

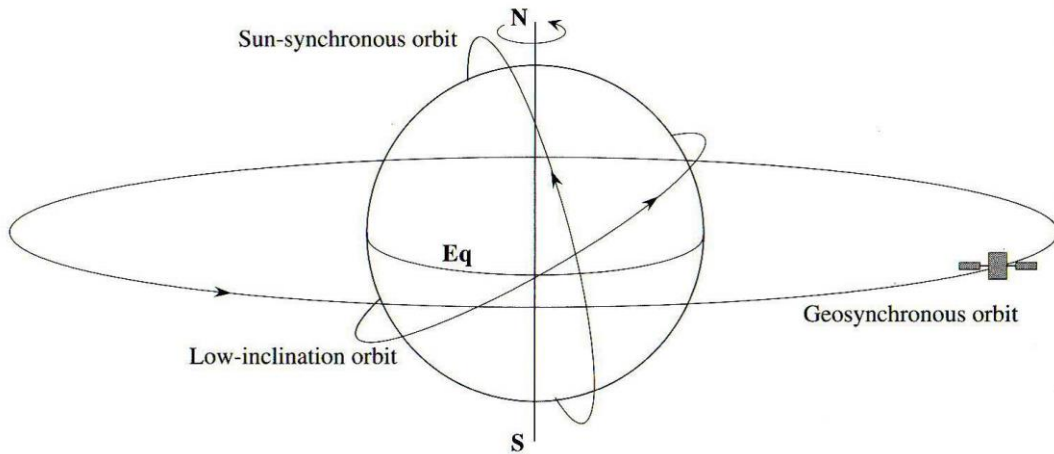
3.2 Όργανα καταγραφής

Τα βασικά συστήματα τηλεπισκόπησης για την παρακολούθηση της γης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα ενεργητικά και τα παθητικά. Τα πρώτα καταγράφουν ακτινοβολία η οποία προέρχεται από μια τεχνητή πηγή που συνήθως είναι το ίδιο το όργανο καταγραφής. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εκπέμπονται προς την επιφάνεια της γης και στη συνέχεια καταγράφεται η ανάκλασή τους από το δέκτη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενεργητικού συστήματος τηλεπισκόπησης αποτελούν τα Radars, που εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυμάτων. Τα παθητικά συστήματα, αντίθετα, είναι αυτά που καταγράφουν τη φυσική ακτινοβολία, δηλαδή αυτή που προέρχεται από τον ήλιο. Οι δορυφόροι αυτής της λειτουργίας περιλαμβάνουν διαφόρων τύπων όργανα, από τα οποία τα κυριότερα καταγράφουν την ανακλώμενη ακτινοβολία στην ορατή και υπέρυθη ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

3.2.1 Τροχιές δορυφόρων

Η διαδρομή που πραγματοποιεί ένας δορυφόρος γύρω από τη γη ονομάζεται τροχιά και εξαρτάται από τους σκοπούς που εξυπηρετεί ο συγκεκριμένος δορυφόρος. Τα είδη τροχιάς που υπάρχουν είναι η γεωστατική ή γεω-σύγχρονη, η πολική ή ηλιο-σύγχρονη και η τροχιά χαμηλής κλίσης. Η γεω-στατική τροχιά είναι περίπου παράλληλη με τον ισημερινό, βρίσκεται σε μεγάλο υψόμετρο και οι δορυφόροι που βρίσκονται σε αυτή βρίσκουν χρήση συνήθως σε μετεωρολογικές εφαρμογές. Η πολική τροχιά βρίσκεται σχεδόν κάθετα στο επίπεδο του

ισημερινού, με υψόμετρο από 300 έως 1000km περίπου και οι δορυφόροι μπορούν να παρέχουν πλήρη κάλυψη της επιφάνειας της γης λόγω της περιστροφής της. Τέλος, η τροχιά χαμηλής κλίσης βρίσκεται πιο κοντά στη γη και σε αυτή βρίσκονται συνήθως δορυφόροι για τηλεπικοινωνιακούς και στρατιωτικούς σκοπούς.



Εικόνα 8. Σχηματική απεικόνιση των διαφορετικών τροχιών των δορυφόρων.

3.2.2 Χαρακτηριστικά οργάνων καταγραφής

Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης που συλλέγονται από τους αισθητήρες των δορυφόρων χαρακτηρίζονται με βάση τέσσερις ιδιότητες, που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Αυτές είναι η χωρική, χρονική, φασματική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα ή ανάλυση.

Χωρική διακριτική ικανότητα

Σε μια ψηφιακή δορυφορική εικόνα, το κάθε εικονοστοιχείο (pixel) αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη στοιχειώδη επιφάνεια του εδάφους που σαρώθηκε από το δέκτη. Η χωρική διακριτική ικανότητα εκφράζει το ελάχιστο μέγεθος της γήινης επιφάνειας που μπορεί να διακρίνει ο αισθητήρας, δηλαδή τη γήινη έκταση που αντιπροσωπεύει ένα εικονοστοιχείο της εικόνας. Έτσι, εάν ένας αισθητήρας έχει χωρική διακριτική ικανότητα 20m, τότε στην αντίστοιχη εικόνα, κάθε εικονοστοιχείο θα αντιστοιχεί σε μια επιφάνεια του εδάφους ίση με 20 x 20m.

Χρονική διακριτική ικανότητα

Ονομάζεται και περίοδος επαναληψιμότητας εικόνας και εκφράζει το χρόνο που απαιτείται από ένα δορυφόρο για να περάσει πάνω από την ίδια περιοχή για να λάβει μια νέα εικόνα. Η συνήθης χρονική διακριτική ικανότητα για ένα δορυφορικό σύστημα είναι της τάξης των μερικών ημερών, όπως για παράδειγμα οι δορυφόροι Landsat 7 και Landsat 8 που συνδυαστικά επιτρέπουν τη λήψη εικόνων κάθε 8 ημέρες. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν και

συστήματα δορυφόρων που δίνουν τη δυνατότητα λήψης εικόνων σε καθημερινή βάση, όπως το σύστημα δορυφόρων Planetscope.

Φασματική διακριτική ικανότητα

Εκφράζει τη δυνατότητα του αισθητήρα να αναγνωρίζει στοιχεία της επιφάνειας της γης με διαφορετικές φασματικές υπογραφές. Με άλλα λόγια, έχει να κάνει με το πλήθος των ζωνών διαφορετικών μηκών κυμάτων που μπορούν να καταγραφούν από τον αισθητήρα. Τα συστήματα που καταγράφουν σε πάνω από δύο φασματικές ζώνες ονομάζονται πολυφασματικά, ενώ αυτά που καταγράφουν σε δεκάδες φασματικές ζώνες υπερφασματικά.

Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα

Αναφέρεται στον αριθμό των διαφορετικών διαβαθμίσεων της έντασης της καταγεγραμμένης ακτινοβολίας που μπορούν να καταγραφούν από τον αισθητήρα. Η αύξηση της ραδιομετρικής ικανότητας προκαλεί ανάλογη αύξηση των διαβαθμίσεων του γκρι στην εικόνα, άρα οι στόχοι έχουν μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα.

3.3 Επεξεργασία και ανάλυση εικόνων

Οι ψηφιακές εικόνες αποτελούνται από ένα σύνολο εικονοστοιχείων, τα οποία είναι τοποθετημένα σε σειρές και στήλες σχηματίζοντας ένα πλέγμα. Κάθε ένα από αυτά περιέχει ενσωματωμένη γεωγραφική πληροφορία (X,Y) και αντιπροσωπεύει την ένταση της ακτινοβολίας (φωτεινότητα) για μια συγκεκριμένη περιοχή με μια αριθμητική τιμή που ονομάζεται ψηφιακός αριθμός (digital number, DN). Δηλαδή, οι ψηφιακοί αριθμοί εκφράζουν την ένταση της ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την απεικονιζόμενη περιοχή τη στιγμή της καταγραφής της εικόνας και που είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τη γήινη επιφάνεια και την ατμόσφαιρα. Η τιμή που μπορεί να πάρουν οι ψηφιακοί αριθμοί είναι από 0 έως 2^n-1 , όπου n είναι φυσικός αριθμός. Όσο μεγαλύτερο είναι το n , τόσο διευρύνεται η κλίμακα φωτεινότητας. Το πλήθος των τιμών φωτεινότητας που εμφανίζονται στα διάφορα εικονοστοιχεία μπορούν να αναπαρασταθούν γραφικά, δημιουργώντας, έτσι το *ιστόγραμμα* της εικόνας.

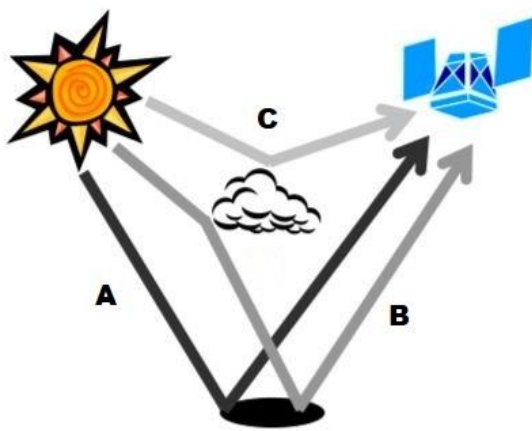
Η ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση των εικόνων είναι ένα σύνολο τεχνικών που χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν το οπτικό αποτέλεσμα, να συμβάλουν στην εξαγωγή νέων πληροφοριών αλλά και να διορθώσουν τις εικόνες. Συνοπτικά, οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται οι τεχνικές αυτές είναι:

1. Αποκατάσταση και αναγωγή εικόνων: γίνεται διόρθωση των αρχικών εικόνων με απομάκρυνση των γεωμετρικών παραμορφώσεων.
2. Ενίσχυση/βελτίωση εικόνων: βελτιώνεται η οπτική ερμηνεία των εικόνων και αυξάνεται η οπτική διάκριση μεταξύ των διαφόρων αντικειμένων.

3. Δημιουργία «δεικτών εικόνων»: χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό χαρακτηριστικών των εικόνων, όπως είναι οι συνθήκες βλάστησης, η κατανομή πετρωμάτων, κ.ά.
4. Ταξινόμηση εικόνων: γίνεται αναγνώριση και ταξινόμηση διαφόρων χαρακτηριστικών των εικόνων με σκοπό τη δημιουργία θεματικών χαρτών (πχ. χάρτες χρήσεων γης).
5. Διεργασίες μοντελοποίησης μιας περιοχής της γης με τη βοήθεια τηλεσκοπικών εικόνων: με τη χρήση γεωχωρικών δεδομένων, είναι δυνατός ο εντοπισμός περιοχών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ο βαθμός ενημέρωσης των χαρτών στις πρόσφατες μεταβολές του αναγλύφου ή και η πρόβλεψη μεταβολών στις συγκεκριμένες περιοχές.

3.3.1 Απαραίτητες διορθώσεις - Ατμοσφαιρική διόρθωση

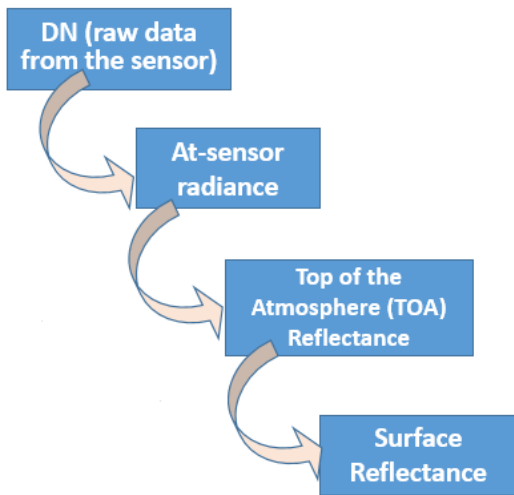
Όπως αναφέρθηκε ήδη, η ακτινοβολία που καταγράφουν οι αισθητήρες των δορυφόρων είναι επηρεασμένη από την ύπαρξη της ατμόσφαιρας, επομένως δεν καταγράφεται μόνο αυτή που ανακλάται-εκπέμπεται από την επιφάνεια του εδάφους, αλλά και ακτινοβολία που ανακλάται-εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα. Ακόμα, οι τιμές των ψηφιακών αριθμών που προκύπτουν είναι επηρεασμένες από τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων αλλά και το ποσό της ακτινοβολίας που προέρχεται από τον ήλιο, το οποίο μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 9. Διάφορες "διαδρομές" της ακτινοβολίας που καταγράφονται από τον αισθητήρα: A - απευθείας από την επιφάνεια ανακλώμενη ακτινοβολία, B - ακτινοβολία που έχει διαχυθεί στην ατμόσφαιρα και έπειτα ανακλαστεί από την επιφάνεια, C - ακτινοβολία που έχει μόνο ανακλαστεί από την ατμόσφαιρα.

Όλα τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα οι ψηφιακοί αριθμοί αρχικά να μην έχουν κάποια φυσική σημασία και η εικόνα να είναι κατάλληλη μόνο για οπτική παρατήρηση. Προκειμένου να γίνει δυνατή η ποσοτική ανάλυση μιας εικόνας και οι τιμές των pixels να αποκτήσουν μια συγκρίσιμη τιμή, είναι απαραίτητη η διόρθωση των DN σε τιμές ακτινοβολίας (radiance) και στη συνέχεια σε τιμές ανακλαστικότητας (reflectance). Η μετατροπή των DN σε τιμές ακτινοβολίας γίνεται με την ραδιομετρική διόρθωση (radiometric calibration) και οι τιμές που προκύπτουν είναι σε μονάδες $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$. Για να προκύψουν οι τιμές της ανακλαστικότητας είναι απαραίτητο ένα επόμενο στάδιο επεξεργασίας, αυτό της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Με

την ατμοσφαιρική διόρθωση ουσιαστικά, αφαιρείται η επίδραση της ατμόσφαιρας από την εικόνα και προκύπτει η ανακλαστικότητα της γήινης επιφάνειας και μόνο.



Εικόνα 10. Σχηματική απεικόνιση των σταδίων για τη μετατροπή των ψηφιακών αριθμών σε τιμές ανακλαστικότητας.



Εικόνα 11. Σύγκριση ατμοσφαιρικά διορθωμένης εικόνας (επάνω) και μη διορθωμένης (κάτω).

3.3.2 Φασματικοί δείκτες – Πράξεις μεταξύ καναλιών

Οι φασματικοί δείκτες είναι εικόνες που προκύπτουν μετά από μαθηματικές πράξεις μεταξύ των φασματικών καναλιών της ίδιας εικόνας ή και διαφορετικών εικόνων. Οι μαθηματικές πράξεις συνήθως περιλαμβάνουν αφαίρεση μεταξύ των καναλιών (Band 1 – Band 2) και διαίρεση (Band 1/Band 2). Η αφαίρεση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την παρατήρηση εποχιακών μεταβολών, καθώς αναδεικνύονται οι διαφορές μεταξύ δύο ή και περισσότερων εικόνων για μια συγκεκριμένη περιοχή. Οι λόγοι καναλιών βασίζονται κυρίως στις φασματικές ιδιότητες

των υλικών του εδάφους, όπως για παράδειγμα απορρόφηση/ανάκλαση στα διαφορετικά μήκη κύματος. Η απορρόφηση εξαρτάται από τη μοριακή δομή της επιφάνειας που προσπίπτει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ως αποτέλεσμα, προκύπτει ότι οι λόγοι των φασματικών καναλιών δίνουν πληροφορίες για τη χημική σύσταση του κάθε στόχου.

Ανάλογα με τη μέθοδο δημιουργίας τους, οι δείκτες χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Απλοί δείκτες, οι οποίοι δημιουργούνται από τους λόγους των φασματικών καναλιών και τονίζουν τις φασματικές ιδιότητες των καλύψεων/χρήσεων γης.
2. Δείκτες που ελαχιστοποιούν τα προβλήματα που δημιουργούνται εξαιτίας του εδάφους σε σχέση με τις καλύψεις.
3. Δείκτες που ελαχιστοποιούν τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις.
4. Εξειδικευμένοι δείκτες εκτίμησης φαινομένων που συμβαίνουν στο χώρο, όπως για παράδειγμα δείκτες πυκνότητας βλάστησης, δείκτες εκτίμησης σφοδρότητας πυρκαγιάς, κ.ά.

Στην τηλεπισκόπηση, οι πιο γνωστοί και περισσότερο αξιοποιήσιμοι δείκτες είναι οι δείκτες βλάστησης (NDVI, SAVI, κ.ά.) και οι δείκτες νερού (NDWI, MNDWI).

Κανονικοποιημένος δείκτης νερού NDWI (Normalized Difference Water Index)

Ο δείκτης NDWI προτάθηκε από τον Gao το 1996 ως ένας δείκτης για τη διάκριση της ποσότητας του νερού που περιέχεται στα φύλλα των φυτών. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούνται δύο κανάλια, το μέσο και το κοντινό υπέρυθρο και ο τύπος για τον υπολογισμό του είναι ο παρακάτω:

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (1)$$

Μια άλλη μορφή του δείκτη προτάθηκε επίσης το 1996 από τον McFeeters και χρησιμοποιείται για τη διάκριση των υδάτινων μαζών. Για τον υπολογισμό του γίνεται χρήση των καναλιών του πράσινου και του κοντινού υπέρυθρου, όπως φαίνεται στον παρακάτω τύπο:

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

Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο δείκτης είναι από -1 έως 1, με τις αρνητικές τιμές να υποδηλώνουν επιφάνειες χωρίς νερό και τις θετικές επιφάνειες που καλύπτονται με νερό. Ωστόσο, τα αριθμητικά όρια που διαχωρίζουν το νερό από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του εδάφους (βλάστηση, γυμνό έδαφος) παρουσιάζουν διακύμανση η οποία εξαρτάται από την

εξίσωση που θα χρησιμοποιηθεί, την ετερογένεια των χαρακτηριστικών του εδάφους (πχ. διαφορά ανακλαστικότητας μεταξύ καθαρού νερού και νερού αναμιγμένο με έδαφος ή βλάστηση), αλλά και την ανάλυση της εικόνας (Lei Ji et al. 2009).

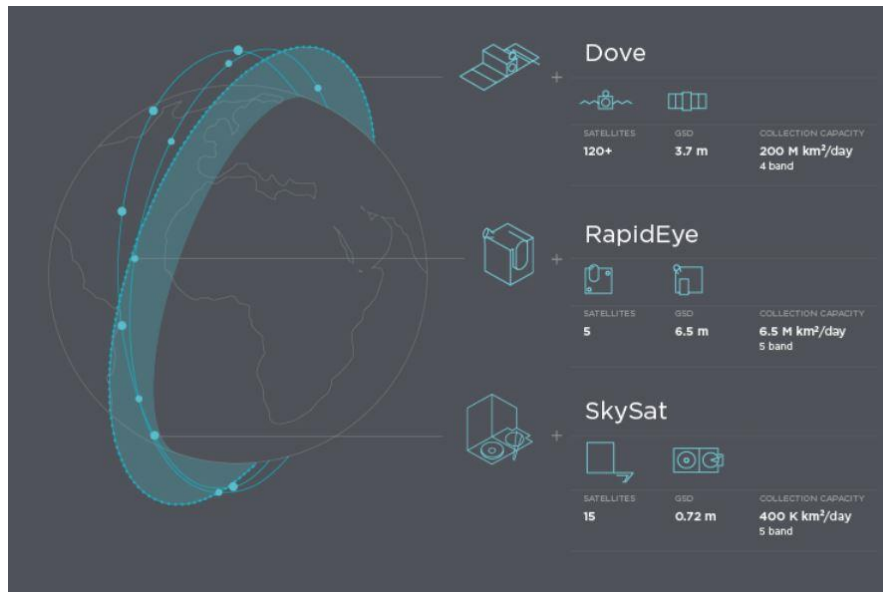
Ο δείκτης NDWI είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στην αναγνώριση υδάτινων μαζών καθώς το νερό απορροφά την ακτινοβολία στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος σε αντίθεση με τη βλάστηση, η οποία εμφανίζει πολύ υψηλή ανακλαστικότητα σε αυτό το τμήμα. Επομένως μπορεί να αξιοποιηθεί ως ένας δείκτης για την εύκολη και αποτελεσματική αναγνώριση αλλά και διαχρονική παρατήρηση πλημμυρισμένων περιοχών.

3.4 Planet Labs

Η Planet είναι μια εταιρία που ειδικεύεται στο σχεδιασμό, την κατασκευή και λειτουργία δορυφόρων με στόχο την απεικόνιση της Γης, των φαινομένων που συμβαίνουν σε αυτή αλλά και την παρακολούθηση των μεταβολών στην επιφάνειά της. Στόχος της εταιρείας είναι η απεικόνιση ολόκληρης της γήινης επιφάνειας σε καθημερινή βάση, τον οποίο και επιτυγχάνει με το σχεδιασμό και κατασκευή δορυφόρων, οι οποίοι τοποθετούνται σε τροχιά γύρω από τη Γη. Σημαντικό πλεονέκτημα της εταιρείας, αλλά και λόγος που καταφέρνει την καθημερινή σάρωση της γήινης επιφάνειας, αποτελεί η πληθώρα των δορυφόρων που έχει θέσει σε τροχιά, όπως επίσης και το πολύ μικρό μέγεθος κάθε δορυφόρου. Κάθε ένας αποτελείται από ένα κυλινδρικό τηλεσκόπιο και έναν αισθητήρα, που είναι προγραμματισμένος να καλύπτει διαφορετικές λωρίδες σάρωσης (swaths) και συλλέγει διαρκώς δεδομένα, τα οποία στέλνει σε επίγειο σταθμό κάθε φορά που διέρχεται πάνω από αυτόν.

Όλοι οι δορυφόροι μαζί σχηματίζουν έναν αστερισμό δορυφόρων (Planetscope constellation), ο οποίος είναι ο μοναδικός και μεγαλύτερος μέχρι στιγμής που καταφέρνει να απεικονίσει ολόκληρη την επιφάνεια της Γης καθημερινά, με εικόνες χωρικής διακριτικής ικανότητας 3-5 μέτρων.

Η εταιρεία διαχειρίζεται επίσης δύο ακόμα αστερισμούς δορυφόρων οι οποίοι είναι οι RapidEye και SkySat. Οι πέντε δορυφόροι RapidEye παράγουν εικόνες μέσης ανάλυσης, ενώ οι δορυφόροι SkySat, 15 στο σύνολό τους, παράγουν εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης όπως και βίντεο υψηλής ανάλυσης. Συγκεκριμένα συνολικά βρίσκονται σε τροχιά πάνω από 140 δορυφόροι PlanetScope, RapidEye και SkySat.

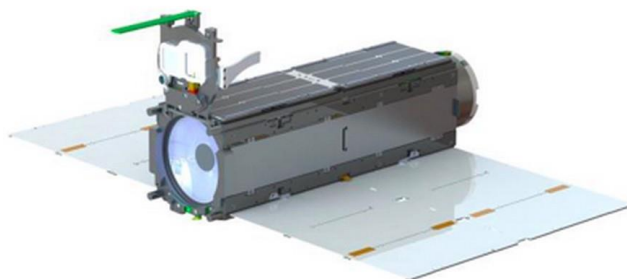


Εικόνα 12. χαρακτηριστικά των δορυφόρων της Planet που βρίσκονται σε τροχιά.

3.4.1 Εικόνες PlanetScope

Οι εικόνες PlanetScope καταγράφονται από τον αστερισμό των ομώνυμων δορυφόρων, κάθε ένας από τους οποίους καλείται "Dove".

Το σύστημα αυτό αποτελείται από περίπου 130 δορυφόρους της μορφής CubeSat και τύπου 3U, δηλαδή με διαστάσεων 10cm x 10cm x 30cm. Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι πολυφασματικά, προερχόμενα από δύο περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το ορατό και το υπέρυθρο και έχουν ραδιομετρική ανάλυση 12 bit.



Εικόνα 13. Δορυφόρος τύπου *CubeSat* 3U της εταιρείας *Planet*. (Planet 2015)

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά των δορυφόρων PlanetScope και των αισθητήρων τους (Planet 2019).

Είδος τροχιάς	Πολική/Ηλιο-σύγχρονη
Υψόμετρο	475 km (98° κλίση)
Μέγιστο/Ελάχιστο γεωγραφικό πλάτος κάλυψης	±81.5°
Φασματικά κανάλια	Μπλε: 455 – 515 nm
	Πράσινο: 500 – 590 nm
	Κόκκινο: 590 – 670 nm
	Κοντινό υπέρυθρο: 780 – 860 nm
Χωρική διακριτική ικανότητα	3.7m
Χρονική διακριτική ικανότητα	Καθημερινά
Ραδιομετρική ικανότητα	12-bit
Έκταση κάλυψης	200 εκ. km ² /ημέρα

Οι εικόνες PlanetScope είναι διαθέσιμες σε τρεις τύπους, ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας που έχουν υποστεί, οι οποίοι είναι: *Basic Scene*, *Ortho Scene* και *Ortho Tile*.

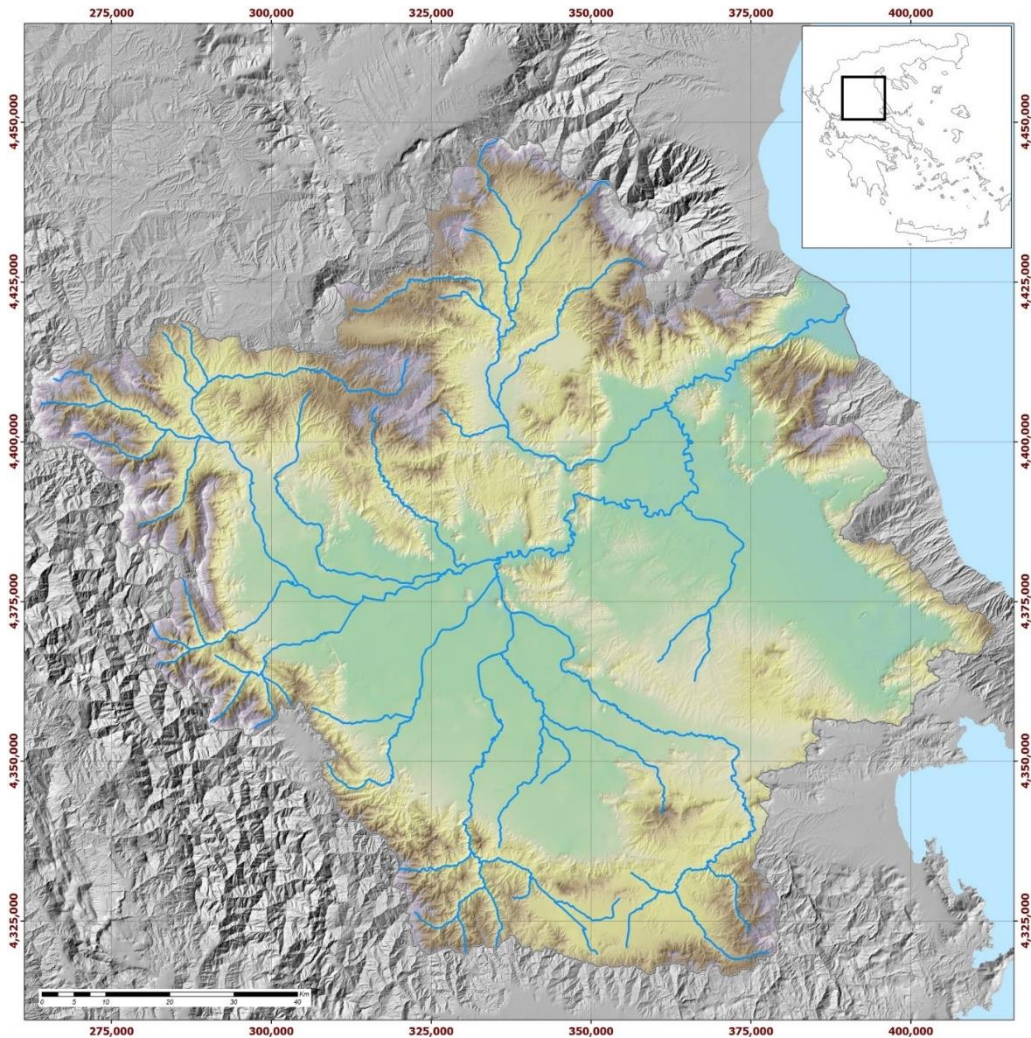
Πίνακας 4. Τύποι διαθέσιμων δορυφορικών εικόνων σύμφωνα με το βαθμό επεξεργασίας τους (Planet 2019).

Τύπος	Επεξεργασία	Level
Basic Scene	Ραδιομετρικές διορθώσεις, διορθώσεις αισθητήρα, ατμοσφαιρική διόρθωση.	1B
Ortho Scene	Ορθοαναγωγή, ατμοσφαιρική διόρθωση (Surface Reflectnce), απόδοση χαρτογραφικής προβολής.	3B
Ortho Tile	Ραδιομετρική διόρθωση, διορθώσεις αισθητήρα, ορθοαναγωγή, απόδοση χαρτογραφικής προβολής UTM.	3A

4. ΠΗΝΕΙΟΣ

4.1 Γεωγραφία - Μορφολογία

Ο Πηνειός ποταμός, με μήκος πάνω από 200 χιλιόμετρα, είναι ο τρίτος μεγαλύτερος ποταμός της Ελλάδας και διατρέχει ένα μεγάλο μέρος της Θεσσαλίας. Πηγάζει από τις ανατολικές πλαγιές της οροσειράς της Πίνδου, από το Λάκμο, διασχίζει τη Θεσσαλική πεδιάδα, κοντά στην Καλαμπάκα και περνά νότια των Τρικάλων. Μέσω του στενού φαραγγιού μεταξύ Ζάρκου και Τιτάρου φθάνει στην πεδιάδα της Λάρισας, την κοιλάδα των Τεμπών και για να εκβάλει στο Θερμαϊκό κόλπο, νοτιοανατολικά του όρους Όλυμπος, μεταξύ των οικισμών Στομίου και Παλαιοπύργου. Στις εκβολές του σχηματίζεται δέλτα με άνοιγμα 13 χιλιόμετρα περίπου στο θαλάσσιο μέτωπο, το οποίο βρίσκεται στις νοτιοδυτικές ακτές του Θερμαϊκού κόλπου, στην βόρειο-δυτική πλευρά του Αιγαίου πελάγους.



Εικόνα 14. Γεωμορφολογικός χάρτης λεκάνης Πηνειού ποταμού.

Το δέλτα του Πηνειού ποταμού καταλαμβάνει μια έκταση περίπου 70 km² και αποτελείται από σύγχρονες δελταϊκές αποθέσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ένα ήπιο γεωμορφολογικά ανάγλυφο με πολύ μικρές κλίσεις. Το νότιο όριο του δέλτα οριοθετείται από τις πλαγιές της Όσσας, που παρουσιάζουν σημαντικές τοπογραφικές κλίσεις που κυμαίνονται από 13% νότια του κοινοτικού διαμερίσματος Ομολίου έως 21% στην περιοχή νότια του Στομίου. Ηπιότερες κλίσεις εμφανίζονται στο βόρειο-βορειοδυτικό όριο της δελταϊκής περιοχής, στις πλαγιές του Κάτω Ολύμπου. Το ορεινό ανάγλυφο που οριοθετεί τον υδροκρίτη της λεκάνης του δέλτα παρουσιάζει υψόμετρα που κυμαίνονται από περίπου 900m έως 1700m (Αλεξόπουλος κ.ά. 2014).

Στο επίπεδο τμήμα του σχηματιζόμενου δέλτα και κατά μήκος της κοίτης του Πηνειού, παρατηρείται έντονη καμπυλότητα στη ροή του ποταμού μέχρι τη συμβολή του με τη θάλασσα (Gaki-Papanastasiou et al. 2010). Οι σύγχρονες δελταϊκές αποθέσεις του ποταμού εμφανίζουν τυπική τοξοειδή διατομή με ακτινωτή ανάπτυξη από την έξοδο της κοιλάδας των Τεμπών προς τη θάλασσα. Εξαιτίας της πρόσφατης γεωλογικά δημιουργίας των αποθέσεων και των πολύ ήπιων τοπογραφικών κλίσεων, ο ποταμός εμφανίζει πολυσχιδή διάταξη της κοίτης του. Έτσι παρουσιάζονται πολλαπλές κοίτες με ακτινωτή διάταξη, έντονος μαιανδρισμός και αποκομμένα τμήματα κοιτών (βρόγχοι) που λειτουργούν μόνο σε περίοδο πλημμυρικών φαινομένων. Οι αποκομμένοι μαιάνδροι παρατηρούνται εκατέρωθεν της σύγχρονης κοίτης, με αυτούς που βρίσκονται βόρεια αυτής να είναι καλύτερα σχηματισμένοι, ενώ νότια λιγότερο εντυπωσιακοί (Βασιλάκης κ.ά. 2014).

Η δημιουργία του δέλτα στο τέλος του Ολοκαίνου ήταν το αποτέλεσμα του συνδυασμού των κατάλληλων συνθηκών για τη δημιουργία ποτάμιων δέλτα. Συγκεκριμένα, οι διεργασίες αποσάθρωσης και διάβρωσης της λεκάνης απορροής του Πηνειού οδήγησαν στην παραγωγή μεγάλου όγκου ιζημάτων, τα οποία μεταφέρθηκαν. Επιπλέον, οι κλιματικές συνθήκες (υψηλή μέση ετήσια βροχόπτωση ειδικά μεταξύ Νοεμβρίου και Φεβρουαρίου) καθώς και οι σχετικά ευνοϊκές θαλάσσιες συνθήκες της λεκάνης υποδοχής είχαν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό του δέλτα (Gaki-Papanastasiou et al. 2010).

Η σημερινή ροή του ποταμού δεν ήταν ίδια και κατά το παρελθόν. Η προηγούμενη της σημερινής πορεία του ήταν μια μαιανδρική κοίτη που εξέβαλε στην περιοχή Αρμύρα, 4 km νότια των σημερινών εκβολών. Η κοίτη αυτή απεικονίζεται σε χάρτες του 1881, 1910, 1924 και 1935 και εγκαταλείφθηκε μερικώς το 1955 οπότε και το ποτάμι μετανάστευσε προς βορρά ακολουθώντας μια αρχαιότερη εγκαταλελειμμένη διαδρομή του. Οι πρόσφατες μετατοπίσεις της κοίτης και η σταδιακή αλλαγή των εκβολών οφείλονται σε φυσικές διεργασίες που σχετίζονται με ακραίες πλημμυρικές παροχές του ποταμού (Καρύμπαλης κ.ά. 2008). Το γεωλογικό καθεστώς της περιοχής κατά τον πρόσφατο γεωλογικό χρόνο, σε συνδυασμό με τις σύγχρονες ποτάμιες διεργασίες (διάβρωση - απόθεση), έχουν επηρεάσει ουσιαστικά τη γεωμορφολογική και την υδρογεωλογική εξέλιξη της περιοχής (Αλεξόπουλος κ.ά. 2014).

4.2 Γεωλογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού περιλαμβάνουν αλλουβιακές αποθέσεις Ολοκαινικής ηλικίας. Όπως όλα τα δέλτα της Ανατολικής Μεσογείου ξεκίνησε να διαμορφώνεται με τη σταθεροποίηση της θαλάσσιας στάθμης περίπου 5000 χρόνια πριν από σήμερα. Αλπικοί και μεταλπικοί γεωλογικοί σχηματισμοί παρατηρούνται πέριξ του δέλτα του Πηνειού και εντάσσονται σε τρεις γεωτεκτονικές ενότητες. Αυτές είναι της Όσσας-Ολύμπου (ομώνυμες παρυφές), των Αμπελακίων (δυτικά) και της Πελαγονικής (νότια) (Μιγκίρος 1983, Κατσικάτσος & Μιγκίρος 1987).

Η ενότητα Ολύμπου - Όσσας θεωρείται αυτόχθονη έως παρααυτόχθονη καθώς εμφανίζεται υποκείμενη όλων των μεταμορφωμένων σχηματισμών των ενοτήτων Αμπελακίων και Πελαγονικής (Godfriaux 1968, Schmitt 1983, Schermer et al. 1990, Schermer 1993). Περιλαμβάνει (α) κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους Ιουρασικού-Μέσου Ηωκαίνου με παρεμβολές φυλλιτών και (β) επιζωνικά μεταμορφωμένο φλύσχη Μέσου Ηωκαίνου με φυλλίτες, σχιστόλιθους και σχιστοψαμμίτες με ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστολίθων και ολισθολίθους της ανθρακικής σειράς της ίδιας ενότητας.

Οι σχηματισμοί της ενότητας Αμπελακίων είναι εξ ολοκλήρου μεταμορφωμένοι σε συνθήκες υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών (ΥΠ-ΧΘ) στη γλαυκοφανιτική φάση και περιλαμβάνουν κυανοσχιστόλιθους, γνευσιοσχιστόλιθους - γνευσίους και πρασινίτες με ενστρώσεις αδρομερών μαρμάρων (Paranikolaou 1984, Schermer 1990). Εμφανίζονται έντονα πτυχωμένοι, τεκτονισμένοι και εξαλλοιωμένοι.

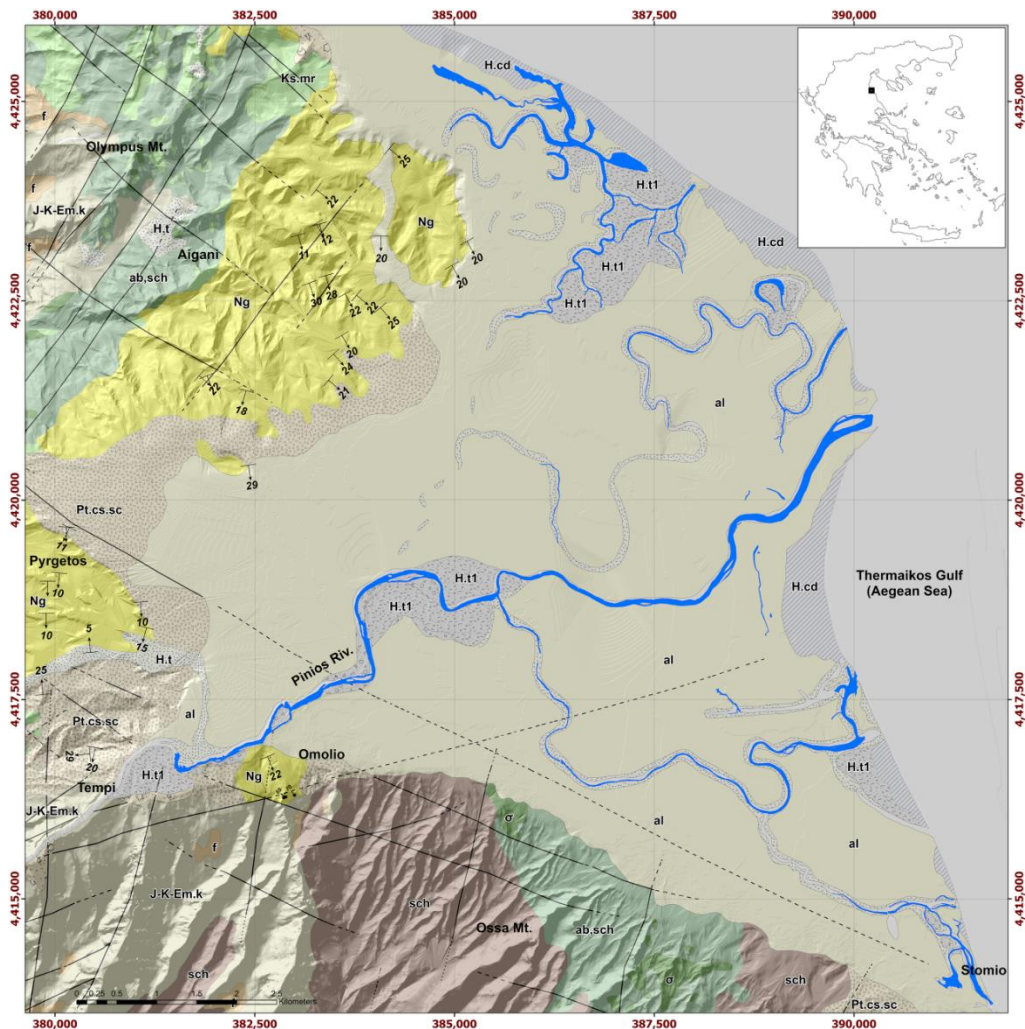
Η ενότητα της Πελαγονικής αποτελείται εξ ολοκλήρου από μεταμορφωμένους και έντονα πτυχωμένους σχηματισμούς που περιλαμβάνουν (i) μεταμορφωμένα βασικά οφιολιθικά πετρώματα του προανωκρητιδικού τεκτονικού καλύμματος και (ii) ανωκρητιδικά μάρμαρα (Κατσικάτσος & Μιγκίρος 1987). Τα έντονα τεκτονισμένα και καρστοποιημένα ανωκρητιδικά μάρμαρα εμφανίζονται στις περιοχές Ραψάνης - Πυργετού και Στομίου υπερκείμενα των μεταμορφωμένων βασικών οφιολιθικών πετρωμάτων, που αποτελούνται από αμφιβολίτες, αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους και πρασινίτες.

Τα μέλη της Πελαγονικής ενότητας βρίσκονται επωθημένα πάνω σε σχηματισμούς της ενότητας Αμπελακίων (Paranikolaou 1984). Η ηλικία της επώθησης είναι μετακρητιδική-προανωηκαινική (Lips et al. 1998), ενώ μεταγενέστερα, κατά το Μέσο Ηώκαινο, οι ενότητες Αμπελακίων και Πελαγονικής επωθήθηκαν πάνω στους σχηματισμούς της ενότητας Ολύμπου - Όσσας (Paranikolaou 1984).

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν Νεογενείς, Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές αποθέσεις (Κατσικάτσος & Μιγκίρος 1987). Οι Νεογενείς σχηματισμοί εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση στη περιοχή Πυργετού-Αιγάνης. Αποτελούνται στη βάση τους από μάργες ενώ προς τα ανώτερα μέλη οι μάργες μεταβαίνουν σε ψαμμίτες και κροκαλοπαγή ποικίλης λιθολογικής σύστασης, με εμφανή στρώση και στη συνέχεια σε ερυθροχώματα.

Οι Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν παλαιούς κώνους κορημάτων, πλευρικά κορήματα και υλικά αναβαθμίδων χειμάρρων. Απαντούν κυρίως στα περιθώρια των ορεινών όγκων και συνίστανται από αδρομερή υλικά, κυρίως κροκαλολατυποπαγή.

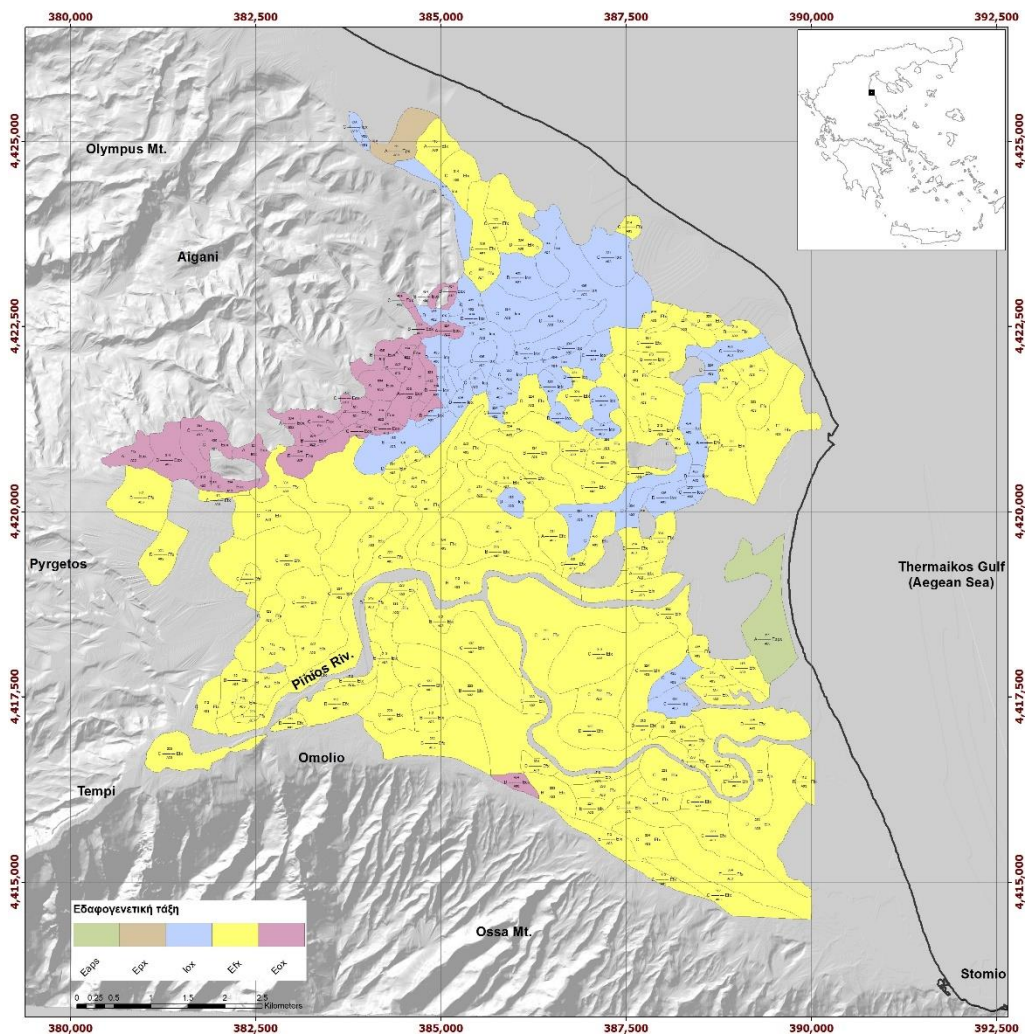
Το Ολόκαινο αντιπροσωπεύεται από τις αλλουβιακές αποθέσεις, που καλύπτουν τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής, από παράκτιους σχηματισμούς, που εκτείνονται σε όλη την παραλιακή ζώνη και από κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα. Οι αλλουβιακές αποθέσεις του δέλτα αποτελούνται από άμμους, κροκαλολατύπες και αργίλους. Η συνεχής αλλαγή ροής του Πηνειού δημιούργησε αναβαθμίδες, των οποίων το ύψος ανέρχεται κατά θέσεις στα 5 m. Οι παράκτιοι σχηματισμοί περιλαμβάνουν άμμους με συμμετοχή κατά θέσεις αργλικού υλικού, ενώ σε ορισμένες θέσεις έχουν μεγάλη έκταση και σχηματίζουν θίνες. Τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων αποτελούνται από αργίλους, κοκκινόχωματα, άμμους και κροκαλολατύπες ποικίλης σύστασης και μεγέθους.



Εικόνα 15. Μορφολογικός, λιθολογικός και τεκτονικός χάρτης του δέλτα του Πηνειού ποταμού και της ευρύτερης περιοχής, στον οποίο διακρίνονται οι εξής σχηματισμοί: Παράκτιες αποθέσεις (H.cd), Ποτάμιες αναβαθμίδες (H.t και H.t1), Αλλουβιακές αποθέσεις (al), Παλαιοί κώνοι κορημάτων (Pt.cs.sc), Νεογενή (Ng), Φλύσχης (f), Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι (J-K-Em.k), Κυανοσχιστόλιθοι (sch), Μάρμαρα (Ks.mr), Αμφιβολίτες (ab.sch), Σερπεντινίτες (σ) (Βασιλάκης κ.ά. 2014).

4.3 Εδαφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Τα εδάφη της περιοχής του Δέλτα του Πηνειού δεν παρουσιάζουν μεγάλη ηλικιακή διαβάθμιση και η ανάπτυξή τους οφείλεται σε αλλουβιακές αποθέσεις της Τεταρτογενούς περιόδου. Η κατηγοριοποίησή τους γίνεται με βάση το τοπογραφικό ανάγλυφο στο οποίο κινήθηκαν τα φερτά υλικά, τη συχνότητα εμφάνισης πλημμυρών, την απόσταση από την κύρια κοίτη καθώς και το χρόνο ηρεμίας. Πρόκειται για εδάφη μετασχηματισμένων αλλουβιακών αποθέσεων που προήλθαν από φερτά υλικά του Πηνειού ποταμού και σε ελάχιστες περιπτώσεις κολλουβιακών, που προήλθαν από χημική και μηχανική αποσάθρωση των πετρωμάτων των ορεινών σχηματισμών της Όσσας και του Κάτω Ολύμπου. Τα παραπάνω υλικά μεταφέρθηκαν και αποτέθηκαν στις χαμηλότερες περιοχές και κάτω από την επίδραση των παραγόντων της εδαφογένεσης, προέκυψαν τα εδάφη της περιοχής.



Εικόνα 16. Εδαφολογικός χάρτης δελταϊκής περιοχής Πηνειού (Βασιλάκης κ.ά. 2014).

Πρόσφατα αλλουβιακά εδάφη (Entisols)

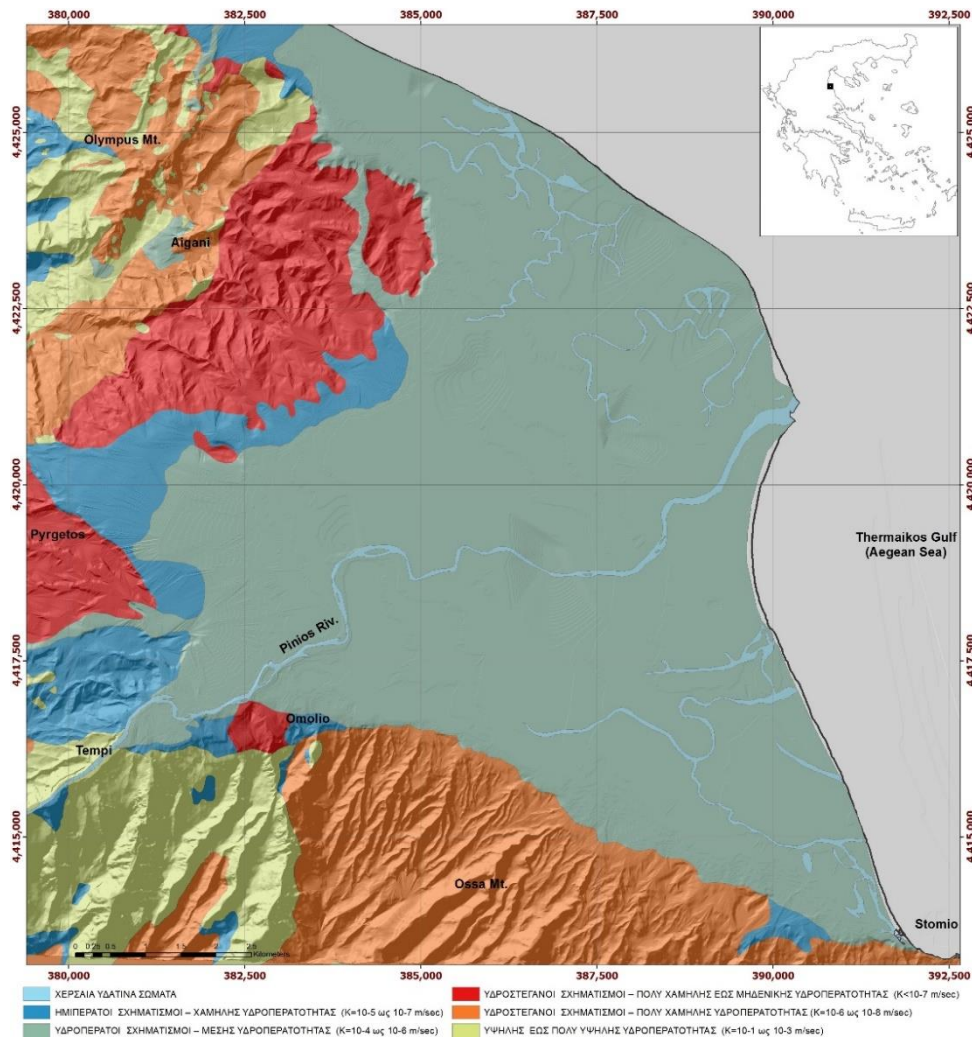
Είναι εδάφη που εμπλουτίζονται συνεχώς με νέα υλικά και είναι πλούσια σε ανθρακικά άλατα και κυρίως του ασβεστίου. Παρουσιάζουν μικρές κλίσεις κατά κύριο λόγο, με ελάχιστες εξαιρέσεις μόνο στα περιθώρια. Με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση χαρακτηρίζονται ως πηλώδη και αργιλλοπηλώδη, γεγονός που τα καθιστά κακώς αποστραγγιζόμενα. ενώ στις περιοχές των χαμηλότερων τμημάτων του σημερινού πεδίου πλημμυρών η στάθμη του υπόγειου νερού είναι μόνιμη. Το pH των εδαφών είναι υψηλό, λόγω της περιεκτικότητάς του σε CaCO_3 , με ιδιαίτερη αύξηση στην περιοχή του Παλαιόπυργου, λόγω της εισχώρησης θαλασσινού νερού. Η διηθητικότητά τους εμφανίζει μεγάλη διακύμανση και χαρακτηρίζεται από μέτρια έως αργή με μέση τιμή 3cm/h, εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις που η τιμή της φτάνει τα 8cm/h.

Αλλουβιακά εδάφη (Inceptisols)

Πρόκειται για εδάφη που καταλαμβάνουν τα υψηλότερα τμήματα του αλλουβιακού πεδίου και απέχουν από τα σημερινά πεδία πλημμυρών. Όπως και τα entisols, εμφανίζουν συγκεντρώσεις ανθρακικού ασβεστίου, οι οποίες αυξάνονται με το βάθος. Είναι λεπτόκοκκα, με επικρατέστερη κοκκομετρική σύσταση την αργιλλώδη και οι συνθήκες αποστράγγισής τους είναι κακές. Το pH τους είναι υψηλό και αυξάνεται ελάχιστα με το βάθος, ενώ στην περιοχή Μεσαγκάλων, η επίδραση του θαλασσινού νερού προκαλεί περεταίρω αύξηση. Η διηθητικότητα των εδαφών αυτών χαρακτηρίζεται από μέτρια έως αργή με μέση τιμή 3cm/h.

Λοφώδη εδάφη Entisols

Χαρακτηριστικό των εδαφών αυτών είναι ο σχετικά μεγάλος και συνεχής βαθμός διάβρωσης. Οι διαγνωστικοί ορίζοντες έχουν απομακρυνθεί με τη συνεχή διάβρωση και γι' αυτό η αρχική εδαφική κατανομή δεν μπορεί να διακριθεί. Η τιμή του pH τους είναι μικρή και δεν παρουσιάζει διακύμανση με το βάθος, και το ανθρακικό ασβέστιο είναι περιορισμένο τόσο στην επιφάνεια όσο και στα βαθύτερα στρώματα.



Εικόνα 17. Υδρολιθολογικός χάρτης δελταϊκής περιοχής (Βασιλάκης κ.ά. 2014).

Από υδρογεωλογικής άποψης, το Δέλτα του Πηνειού χαρακτηρίζεται ως μέτριας δυναμικότητας, πολύπλοκο και πολυφασικό. Η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται μεταξύ 600 mm κοντά στην περιοχή του δέλτα, και 1300 mm στις γύρω ορεινές περιοχές.

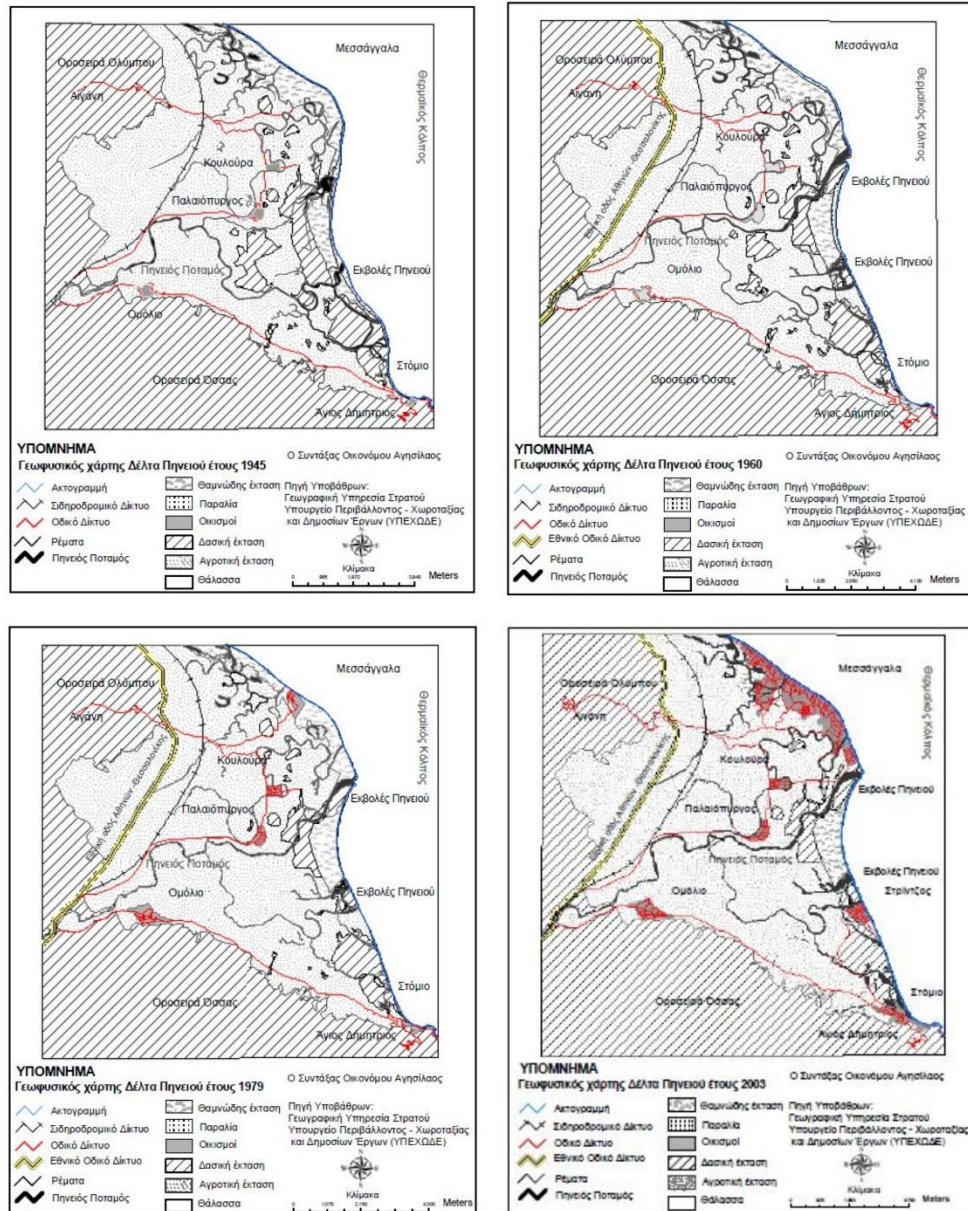
Η υδροφορία στην ευρύτερη περιοχή εξαρτάται άμεσα από τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που την παρουσιάζουν, εμφανίζοντας έντονες διαφοροποιήσεις στο δυναμικό της. Οι σημαντικότερες υδροφορίες εντοπίζονται σε ανθρακικές ακολουθίες εκτός των περιθωρίων της δελταϊκής πεδιάδας, ενώ οι νεογενείς σχηματισμοί, οι κώνοι πλευρικών κορημάτων και οι τεταρτογενείς δελταϊκές αποθέσεις αναπτύσσουν μικρότερης σημασίας υδροφορίες. Εντός των τελευταίων βρίσκονται διαδοχικές υδροφορίες μικρής έκτασης με χαρακτήρα υπό πίεση – μερικώς υπό πίεση έως ελεύθερο. Γενικά, οι υδραυλικές παράμετροι του υδροφόρου συστήματος μεταβάλλονται ως αποτέλεσμα της ανομοιογένειας της κοκκομετρίας των αλλουβιακών αποθέσεων, καθώς εναλλάσσονται τα ποσοστά ιλυωδών και αργιλωδών υλικών (στα κεντρικά και κατάντι τμήματα της λεκάνης) με τα ποσοστά των χονδρόκοκκων υλικών (στα ανάντι τμήματα της λεκάνης).

Στην κατακόρυφη κλίμακα επικρατούν εναλλαγές αδρομερών υλικών με λεπτομερέστερα. Στρώσεις ιλύος και αργίλων εναλλάσσονται με στρώσεις άμμων, σε αρκετά τμήματα της λεκάνης με ανομοιόμορφη κατανομή λόγω των συνθηκών ιζηματογένεσής τους. Εντοπίζονται μέχρι και 40-50m βάθος, όπου διακόπτονται από το υδρογεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης, που αποτελείται από έναν συνεχή και σημαντικού πάχους αργιλικό ορίζοντα.

4.4 Χρήσεις Γης

Τα εδάφη της περιοχής του Δέλτα του Πηνειού, από το παρελθόν αποτελούσαν καλλιεργήσιμες εκτάσεις, με πλούσια χλωρίδα και πανίδα. Σε αυτά καλλιεργούνται είτε εποχιακές είτε δενδρώδεις καλλιέργειες, έως και σήμερα. Συγκριτικά με παλαιότερα έτη, όμως, έχουν προκύψει μεταβολές, στις οποίες έχει συμβάλει και η ανθρώπινη δραστηριότητα, κυρίως με αρνητικό πρόσημο. Με την πάροδο των ετών οι αλλαγές που προκλήθηκαν λόγω της αύξησης των ανθρώπινων αναγκών υποβάθμισαν σταδιακά τα εδάφη. Η αύξηση του πληθυσμού αλλά και της τουριστικής δραστηριότητας έχει επιφέρει επέκταση των οικισμών, επέκταση των γεωργικών εκτάσεων, αμμοληψίες και αύξηση των εκτάσεων για βόσκηση με άμεσο επακόλουθο την υπερβόσκηση. Ακόμα, ο Πηνειός ποταμός αποτελεί τον τελικό αποδέκτη της ρύπανσης στην περιοχή. Οι βασικές πηγές ρύπανσης είναι τα αστικά απόβλητα, τα απόβλητα των κτηνοτροφικών μονάδων και οι επιφανειακές απορροές από την κτηνοτροφία και τη γεωργική εκμετάλλευση όπου περιέχουν σημαντικές ποσότητες φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων (Οικονόμου 2005). Όλα τα παραπάνω, επηρεάζουν εκτός από τις χρήσεις γης και την ποιότητα του Δέλτα ως φυσικό περιβάλλον, το οποίο ανήκει και στο δίκτυο Natura 2000. Έτσι, παρατηρείται συνεχής ρύπανση των υδάτων και υποβάθμιση των φυσικών πόρων αλλά και του υδροβιότοπου των εκβολών του Πηνειού.

Οι παρακάτω εικόνες, που αφορούν τα έτη 1945, 1960, 1979 και 2003, αποτυπώνουν την ανάπτυξη των οικισμών, την επέκταση του οδικού δικτύου, την αλλαγή της ακτογραμμής και την αλλαγή της κοίτης και των εκβολών του Πηνειού. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο, πως η κοίτη του ποταμού στη δελταϊκή πεδιάδα δεν έχει υποστεί τεχνητό περιορισμό ή ευθυγράμμιση και οι μετατοπίσεις της κοίτης και των εκβολών είναι αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών που σχετίζονται με ακραίες πλημμυρικές παροχές του ποταμού (Καρύμπαλης και Γάκη 2008).



Εικόνα 18. Γεωφυσικοί χάρτες της περιοχής του Δέλτα του Πηνειού για τα έτη 1945, 1960, 1975 και 2003 όπου αποτυπώνονται οι μεταβολές των χρήσεων γης (Οικονόμου 2005).

5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν 15 δορυφορικές εικόνες PlanetScope Analytic Ortho Scene (Level 3B) της ευρύτερης περιοχής του Δέλτα του Πηνειού με χωρική διακριτική ικανότητα 3m. Οι εικόνες αποκτήθηκαν μέσω της ιστοσελίδας της Planet και σε όλες τις λήψεις υπήρχε διαθέσιμη ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα (αρχείο AnalyticMS_SR). Συγκεκριμένα, έγινε λήψη των εικόνων με τις παρακάτω ημερομηνίες καταγραφής:

Πίνακας 5. Ημερομηνία και ώρα που λήφθηκαν οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν.

A/A	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	ΏΡΑ ΛΗΨΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ UTC +2
1	10/11/2017	08:35:17
2	22/11/2017	08:37:12
3	28/11/2017	08:38:49
4	29/11/2017	08:39:00
5	03/12/2017	08:37:42
6	06/12/2017	08:38:11
7	09/12/2017	08:37:59
8	10/12/2017	08:37:29
9	15/12/2017	09:11:42
10	24/12/2017	08:38:38
11	30/12/2017	08:38:50
12	01/01/2018	09:09:36
13	05/01/2018	08:38:29
14	17/01/2018	08:39:11
15	19/01/2018	09:04:38

Η επιλογή των συγκεκριμένων εικόνων έγινε έπειτα από αξιολόγηση των βροχομετρικών δεδομένων της περιοχής και τη διαθεσιμότητα σε εικόνες. Εικόνες με υψηλό ποσοστό νεφοκάλυψης απορρίφθηκαν και δόθηκε προτεραιότητα στη λήψη εικόνων της περιοχής πριν και αμέσως μετά την εκδήλωση ενός πλημμυρικού γεγονότος.

Το μεγαλύτερο ύψος βροχής στην περιοχή σημειώθηκε την 17/11/2017, όπου καταγράφηκαν 81 mm βροχής, όμως εικόνα επαρκής για την εξαγωγή συμπερασμάτων βρέθηκε πέντε ημέρες αργότερα από την ημέρα της πλημμύρας (22/11/2017 – 2^η εικόνα). Άλλα σημαντικά πλημμυρικά γεγονότα σημειώθηκαν την 13/1/2018 και την 2/12/2017 όπου το ύψος βροχής έφτασε τα 22,6mm και 15mm αντίστοιχα. Εικόνες που να αποτυπώνουν τα γεγονότα αυτά είναι από τις ημερομηνίες 17/1/2018 και 3/12/2017.

Πίνακας 6. Δεδομένα βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από 10/11/2017 έως 20/1/2018, όπου με πράσινο σημειώνονται οι ημερομηνίες στις οποίες λήφθηκαν δορυφορικές εικόνες, με γκρι οι ημερομηνίες με σημαντικά ύψη βροχής και με κόκκινο οι ημερομηνίες που δεν υπήρχαν διαθέσιμες εικόνες (κενό κόκκινο), ήταν υψηλό το ποσοστό νεφοκάλυψης (%) ή δεν υπήρχε κάλυψη της περιοχής (x).

Date	mm	Date	mm	Date	mm	Date	mm
10-Νοε	0	28-Νοε	0	16-Δεκ	0	3-Ιαν	0
11-Νοε	4,2	29-Νοε	0	17-Δεκ	1	4-Ιαν	1,2
12-Νοε	0,2	30-Νοε	0	18-Δεκ	3	5-Ιαν	0
13-Νοε	0,4	1-Δεκ	0,2	19-Δεκ	0	6-Ιαν	0
81% 14-Νοε	3,2	2-Δεκ	15	20-Δεκ	0	78% 7-Ιαν	0
15-Νοε	13,8	3-Δεκ	0	21-Δεκ	0,4	96% 8-Ιαν	0
16-Νοε	38,6	98% 4-Δεκ	0	22-Δεκ	0	9-Ιαν	0
17-Νοε	81	46% 5-Δεκ	0	23-Δεκ	0	10-Ιαν	6,8
x 18-Νοε	0	6-Δεκ	0	24-Δεκ	0	x 11-Ιαν	0
19-Νοε	0,2	x 7-Δεκ	0	25-Δεκ	0	12-Ιαν	6,8
20-Νοε	0	x 8-Δεκ	0	26-Δεκ	0	13-Ιαν	22,6
21-Νοε	0	9-Δεκ	0	27-Δεκ	0	14-Ιαν	1
22-Νοε	0	10-Δεκ	0	28-Δεκ	0	15-Ιαν	0,2
23-Νοε	0	11-Δεκ	0	29-Δεκ	0	83% 16-Ιαν	0
x 24-Νοε	0	12-Δεκ	0	30-Δεκ	0	17-Ιαν	0
88% 25-Νοε	0	13-Δεκ	0	31-Δεκ	0	18-Ιαν	0
69% 26-Νοε	0	14-Δεκ	0	1-Ιαν	0	19-Ιαν	0
27-Νοε	0,8	15-Δεκ	0	2-Ιαν	0	20-Ιαν	0

Σε κάθε ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα εφαρμόστηκε ο δείκτης NDWI με τη χρήση των καναλιών του πράσινου και του κοντινού υπέρυθρου (εξίσωση 2) στο εργαλείο Band Arithmetic του λογισμικού ArcGIS Pro. Από τις προκύπτουσες τιμές, οι θετικές αντιπροσωπεύουν περιοχές που καλύπτονται από νερό, ενώ οι αρνητικές δείχνουν περιοχές χωρίς νερό. Στους χάρτες που δημιουργήθηκαν, εκτός από το διαχωρισμό των τιμών στο όριο του 0, έγινε περαιτέρω διαχωρισμός στις τιμές 0,3 και 0,5 καθώς σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και αυτές οι τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οριοθέτηση περιοχών καλυπτόμενων από νερό.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε ένα shapefile για δέκα σημεία σε περιοχές οι οποίες εμφάνιζαν υψηλή συγκέντρωση νερού με στόχο την εξέταση της διακύμανσης της τιμής του δείκτη NDWI αλλά και της τιμής της ανακλαστικότητας στο κανάλι του κοντινού υπέρυθρου στο χρονικό διάστημα που καλύπτεται από όλες τις δορυφορικές εικόνες. Η επιλογή των σημείων έγινε με εικόνα αναφοράς τη δεύτερη κατά σειρά (22/11/2017), λόγω της καλύτερης αποτύπωσης των πλημμυρισμένων περιοχών.

Από όλα τα σημεία, τα 1, 2 και 3 επιλέχθηκαν σκοπίμως να βρίσκονται σε υδάτινα σώματα (σημείο 1 – θάλασσα, σημεία 2 και 3 – Πηνειός) ως σημεία αναφοράς, ενώ όλα τα υπόλοιπα ορίστηκαν σε χερσαίες εκτάσεις που παρουσιάζουν συχνή συγκέντρωση νερού, κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης. Εξάιρεση αποτελεί το σημείο 4, το οποίο ενώ βρίσκεται σε

χερσαία έκταση, δεν εμφάνισε την ύπαρξη νερού στην εικόνα αναφοράς (22/11/2017), αλλά ούτε και στις υπόλοιπες εικόνες, όπως φάνηκε στους χάρτες που δημιουργήθηκαν.

Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται όλα τα σημεία με τις συντεταγμένες τους, τα αντίστοιχα υψόμετρα, τη γεωλογία και τις χρήσεις γης.



Εικόνα 19. Χάρτης τμήματος του Δέλτα του Πηνειού, όπου αποτυπώνονται τα σημεία που επιλέχθηκαν.

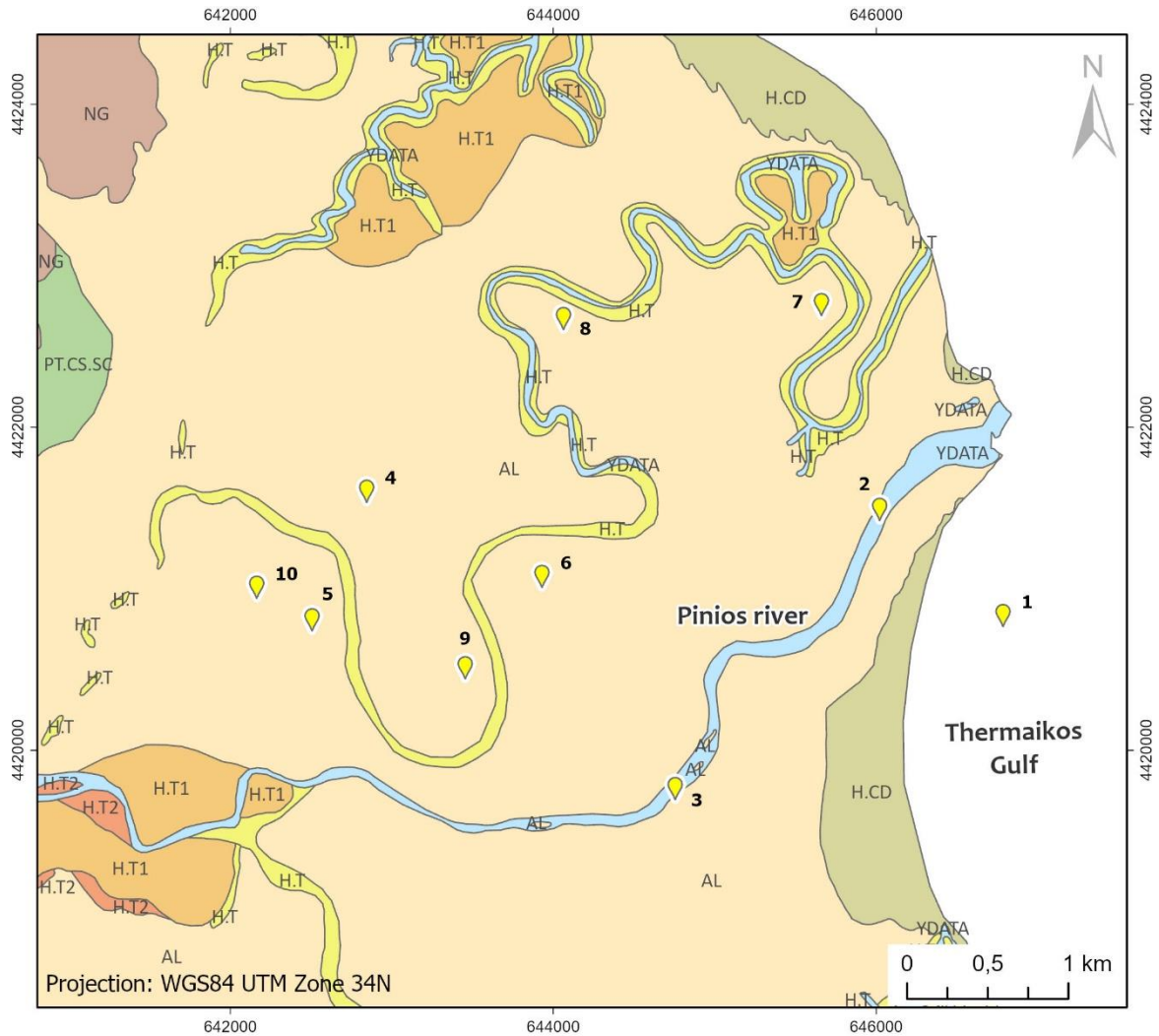
Πίνακας 7. Συντεταγμένες σημείων, αντίστοιχα υψόμετρα, γεωλογία και χρήσεις γης.

ΣΗΜΕΙΟ	X	Y	Z (M)	ΓΕΩΛΟΓΙΑ	ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ
1	646.785	4.420.770	0	Ύδατα	Θάλασσα
2	646.021	4.421.420	1	Ύδατα	Ροές υδάτων
3	644.755	4.419.690	2	Ύδατα	Ροές υδάτων









4	642.845	4.421.530	3	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ετήσιες καλλιέργειες
5	642.507	4.420.740	4	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ετήσιες καλλιέργειες
6	643.930	4.421.010	2	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ετήσιες καλλιέργειες
7	645.661	4.422.690	1	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ετήσιες καλλιέργειες
8	644.063	4.422.600	1	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ετήσιες καλλιέργειες
9	643.455	4.420.440	4	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ετήσιες καλλιέργειες
10	642.164	4.420.940	4	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ετήσιες καλλιέργειες

Παρακάτω παρατίθενται οι χάρτες της περιοχής μελέτης μετά την εφαρμογή του δείκτη NDWI σε όλες τις διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες. Όπως φαίνεται, τα πλημμυρικά γεγονότα που αποτυπώνονται με καλύτερη ευκρίνεια είναι αυτά που συνέβησαν 17/11/2017 και 13/1/2018, δηλαδή στους χάρτες 2 και 14. Οι υπόλοιποι χάρτες αποτυπώνουν μια σχετική ξηρασία στο χερσαίο τμήμα τους, γεγονός που συνάδει με τα βροχομετρικά δεδομένα.

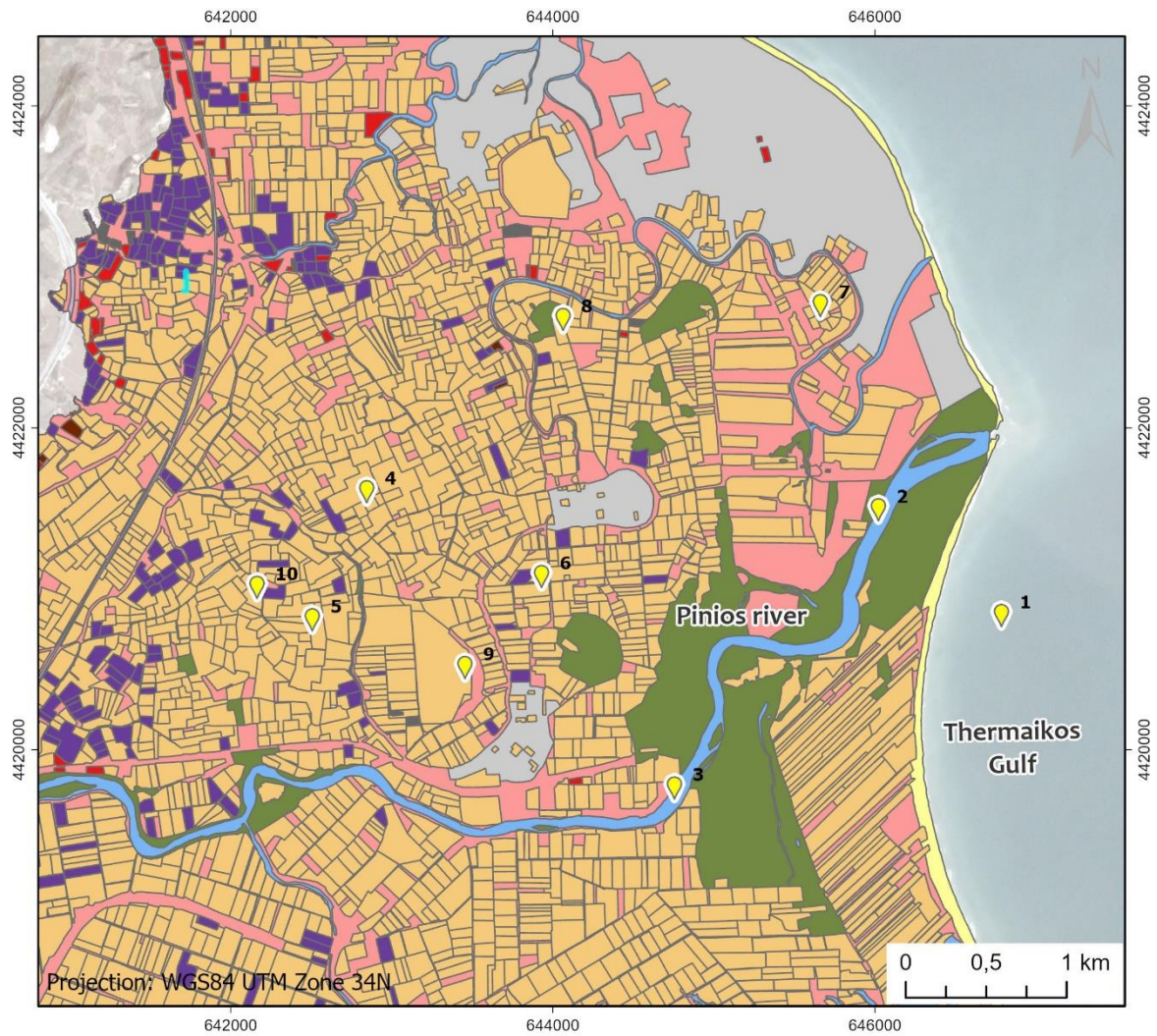
Αξίζει να σημειωθεί πως στους χάρτες όπου δεν διακρίνεται ο Πηνειός ποταμός σε όλη την έκτασή του, αυτό πιθανόν οφείλεται σε αυξημένη ποσότητα ιζημάτων, τα οποία μεταβάλλουν τις ανακλαστικές ιδιότητες του νερού και ως αποτέλεσμα, το νερό δεν μπορεί να αναγνωρισθεί. Ακόμα, στις πλημμυρισμένες περιοχές, το νερό μπορεί να αναγνωρισθεί μόνο επειδή η ποσότητά του είναι τέτοια ώστε να υπερκαλύπτει την υποκείμενη φυτοκάλυψη. Στα σημεία αυτά η αναμενόμενη τιμές των ψηφιακών αριθμών στο κανάλι NIR πρέπει να είναι χαμηλές, δεδομένης της υψηλής απορρόφησης ακτινοβολίας που παρουσιάζει το νερό σε αυτή την περιοχή του ΗΜ φάσματος.



ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ

- | | |
|---|--|
|  Παράκτιοι σχηματισμοί |  Χερσαίοι και λιμναίοι σχηματισμοί |
|  Ασύνδετα υλικά κοίτης και αναβαθμίδων |  Παλαιοί κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων |
|  Αναβαθμίδες |  Αλλουβιακές αποθέσεις |
|  Αναβαθμίδες |  Ύδατα |

Εικόνα 20. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου φαίνονται και οι θέσεις των σημείων που επιλέχθηκαν.

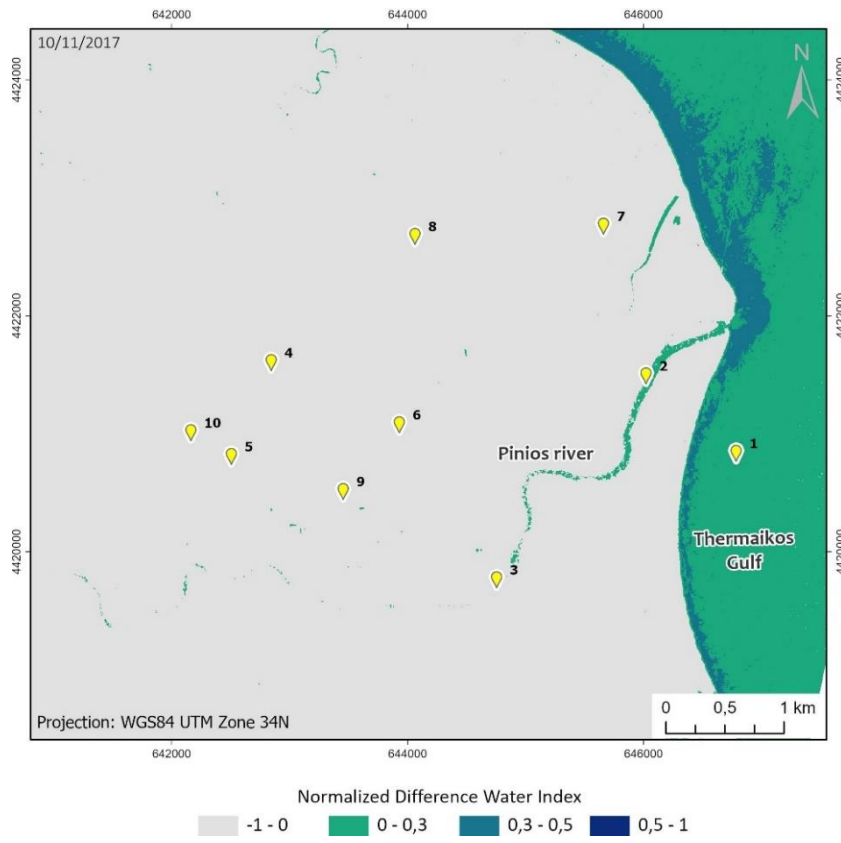


ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ (ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ CORINE)

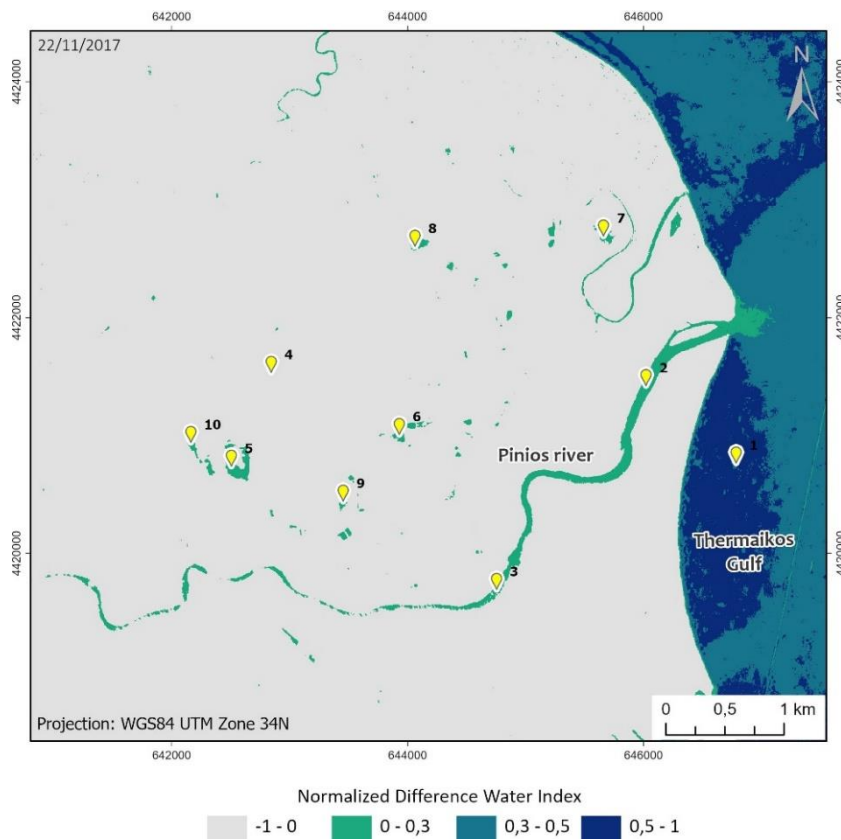
 Αμπελώνες	 Μικτό δάσος
 Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	 Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα
 Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	 Παραλίες αμμόλοφοι αμμουδιές
 Ελαιώνες	 Ροές υδάτων
 Ετήσιες καλλιέργειες	

Εικόνα 21. Χάρτης χρήσεων γης από την ισοϋψή 0m έως την ισοϋψή 10m με βάση την κατηγοριοποίηση CORINE, με τις θέσεις των σημείων που επιλέχθηκαν.

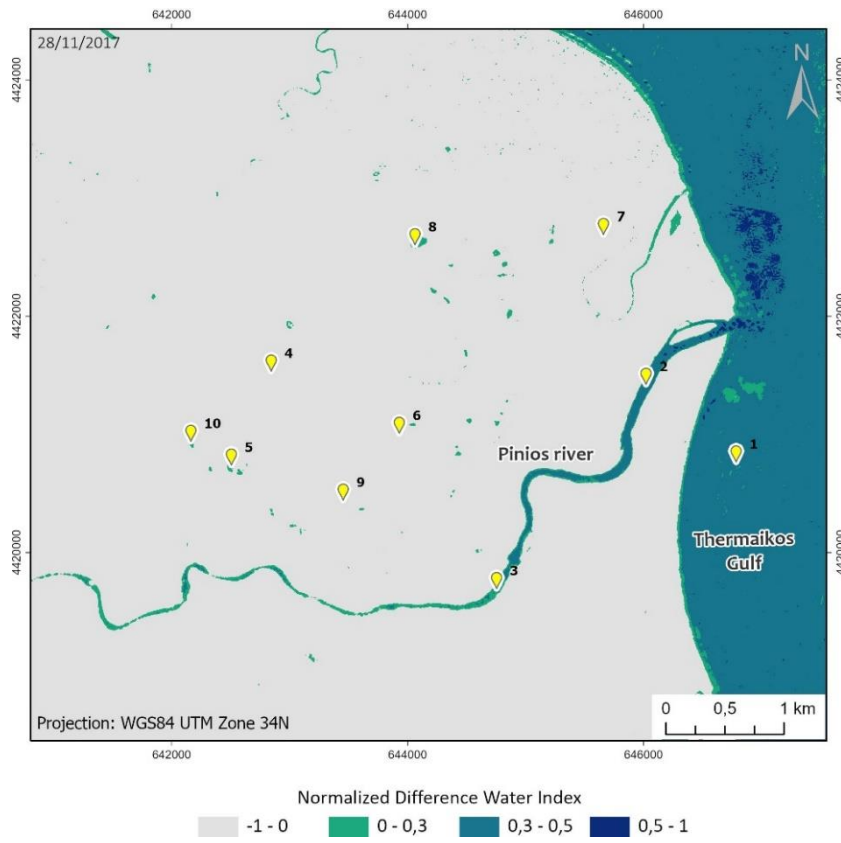
Χάρτης 1



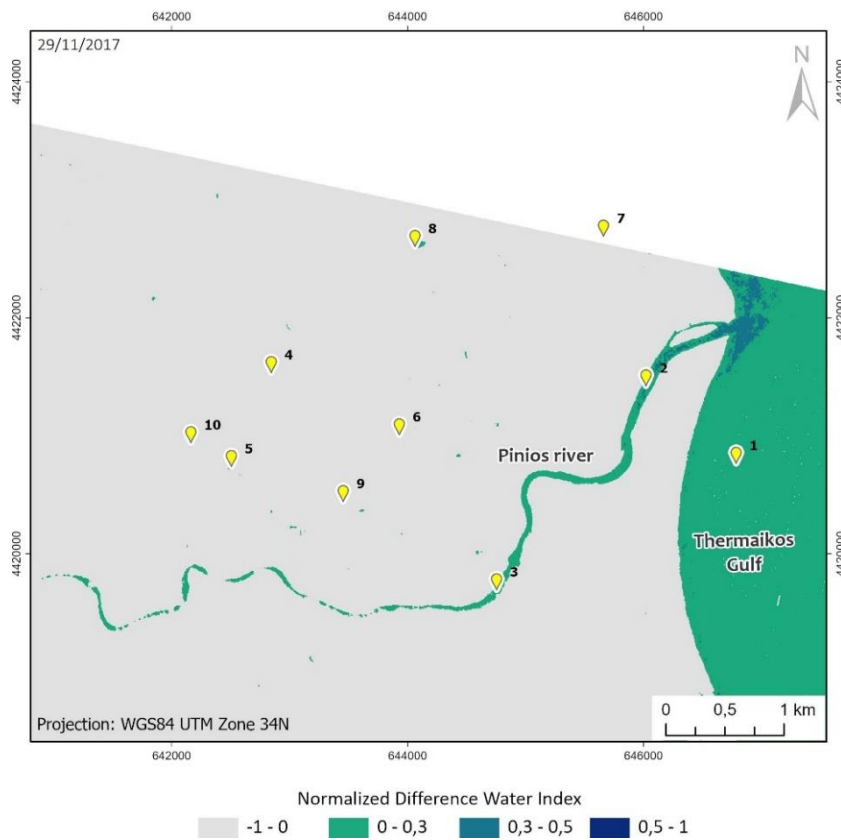
Χάρτης 2



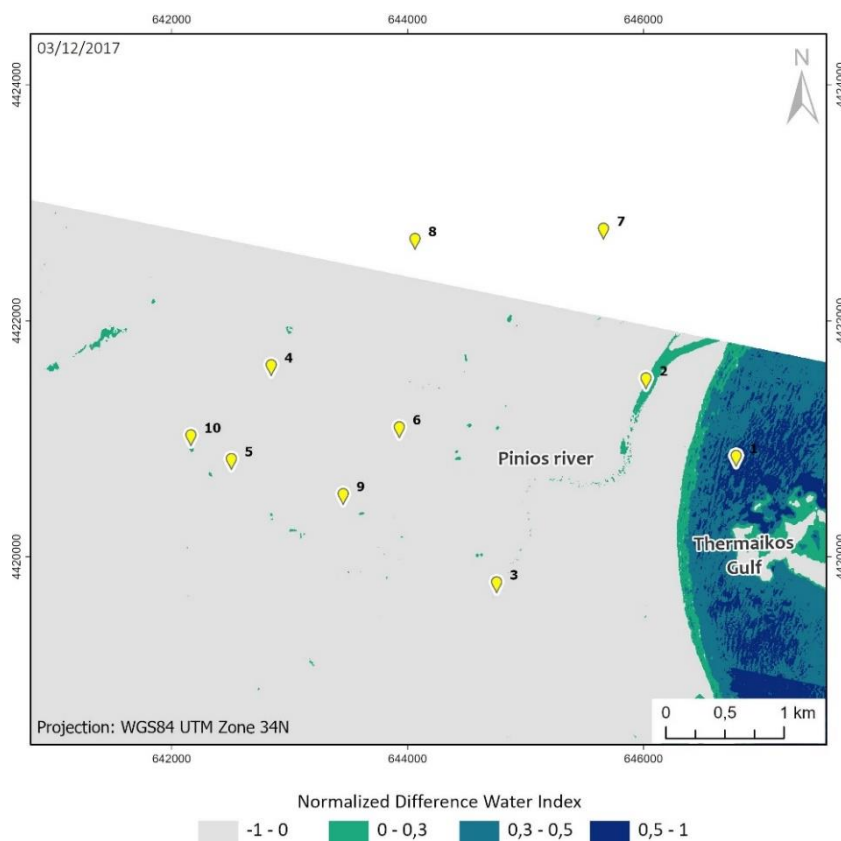
Χάρτης 3



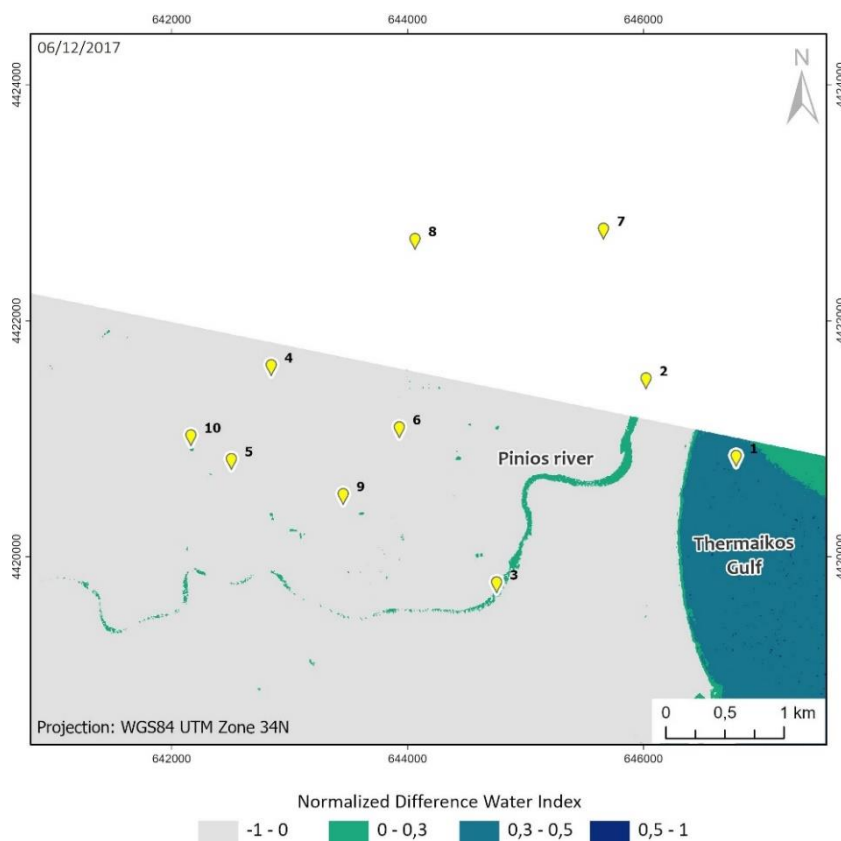
Χάρτης 4



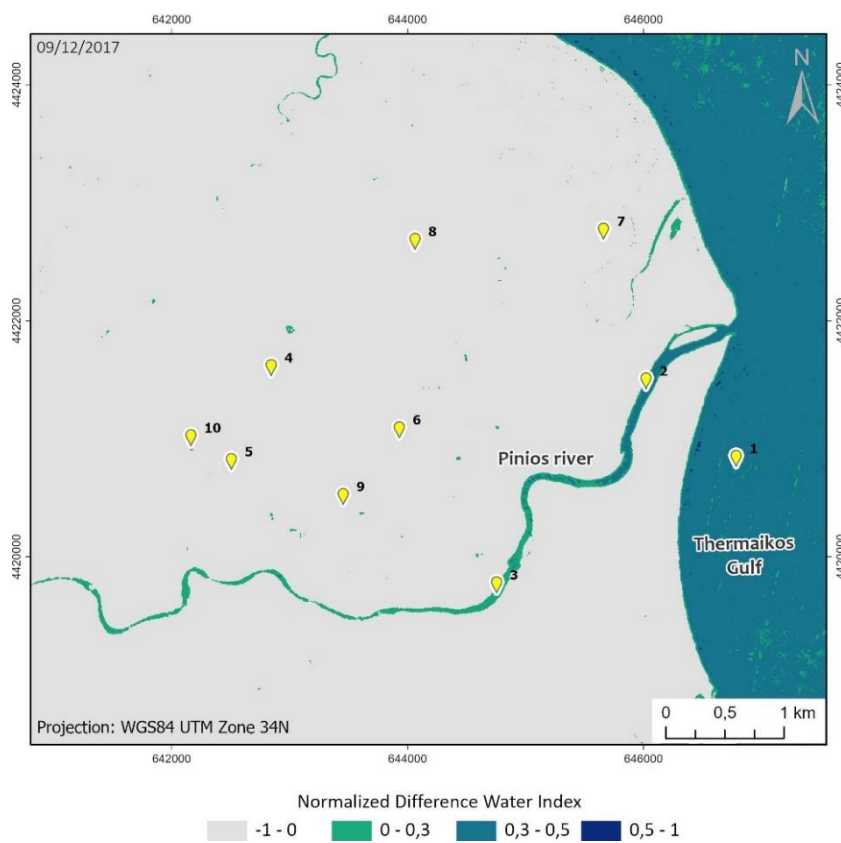
Χάρτης 5



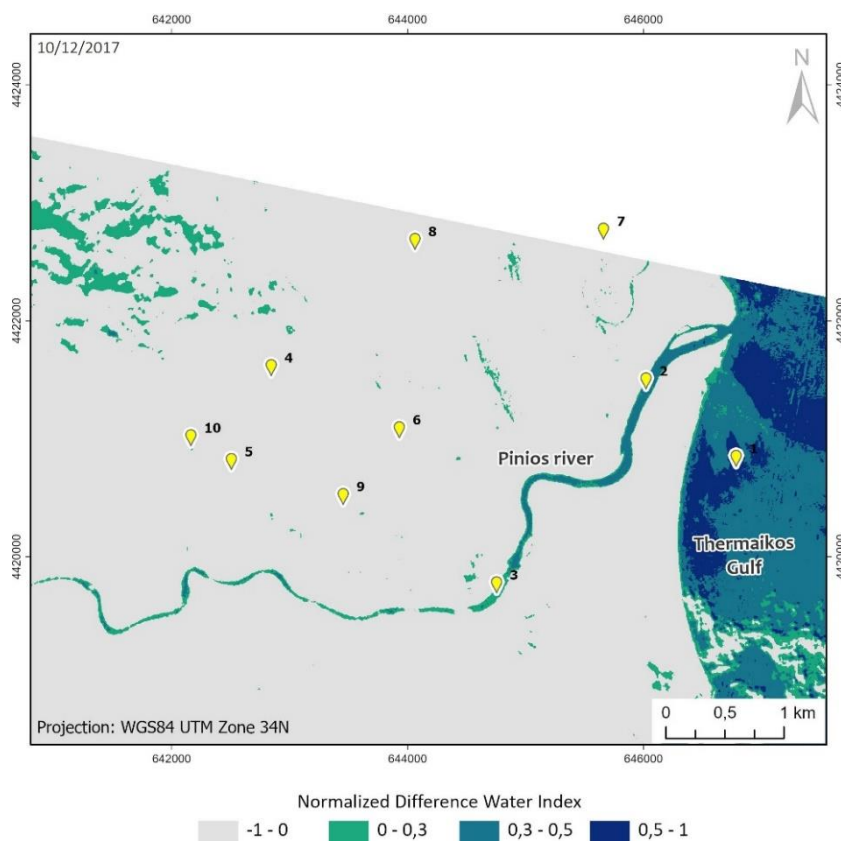
Χάρτης 6



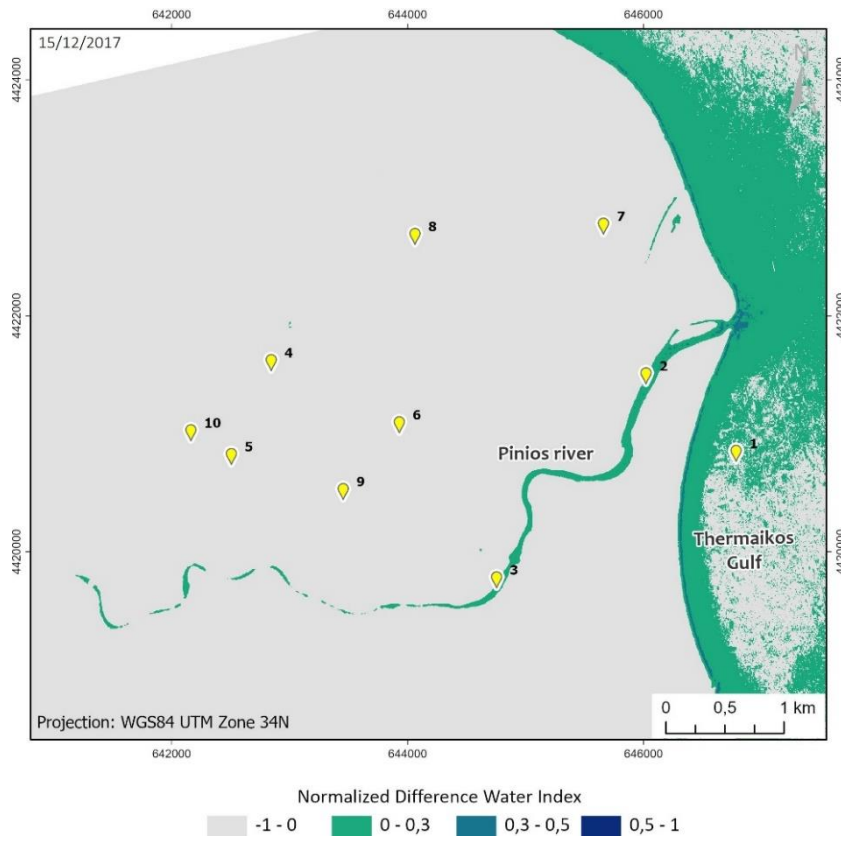
Χάρτης 7



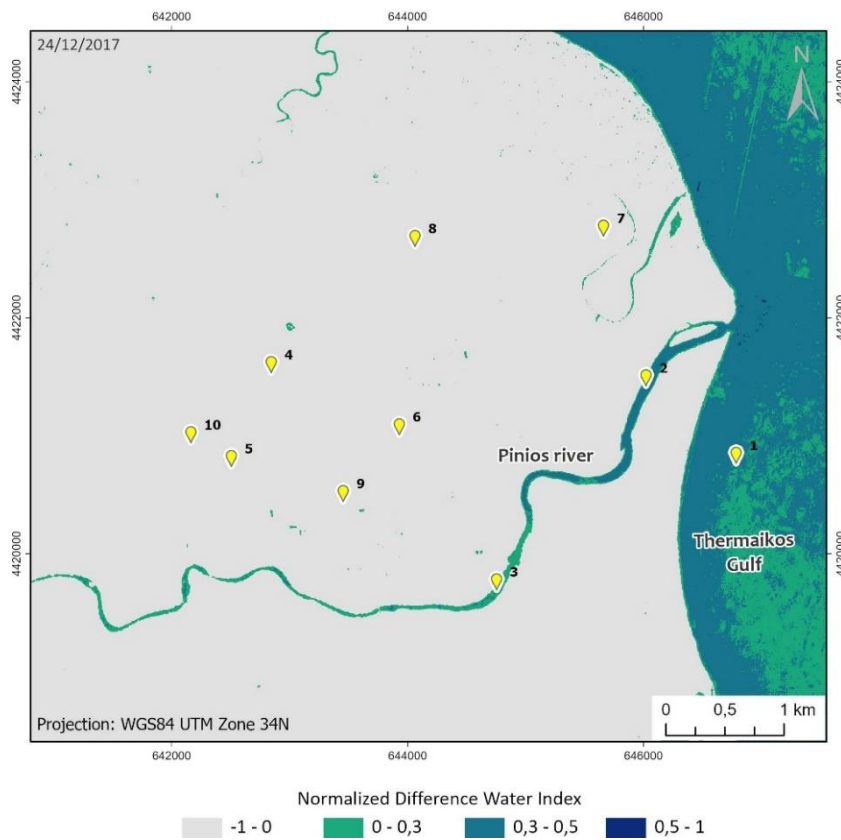
Χάρτης 8



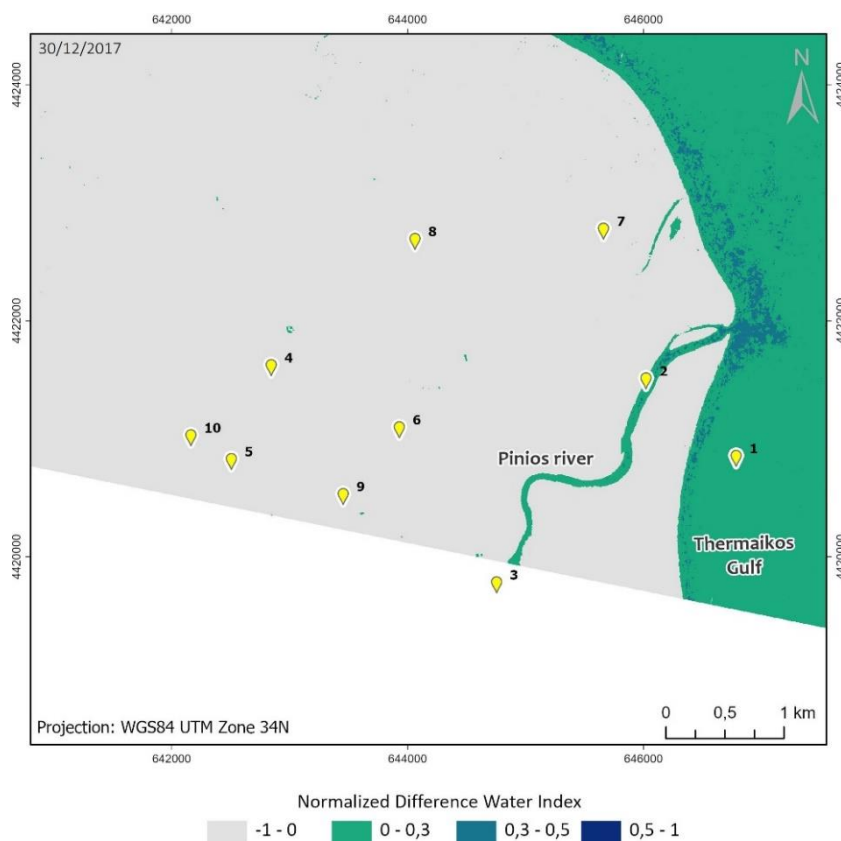
Χάρτης 9



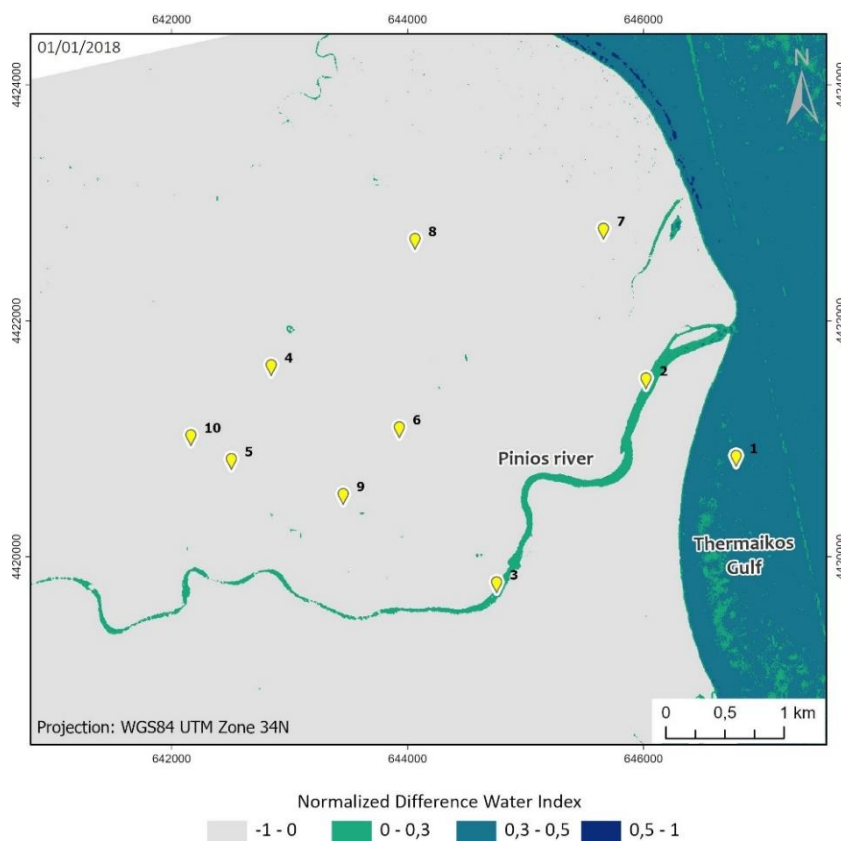
Χάρτης 10



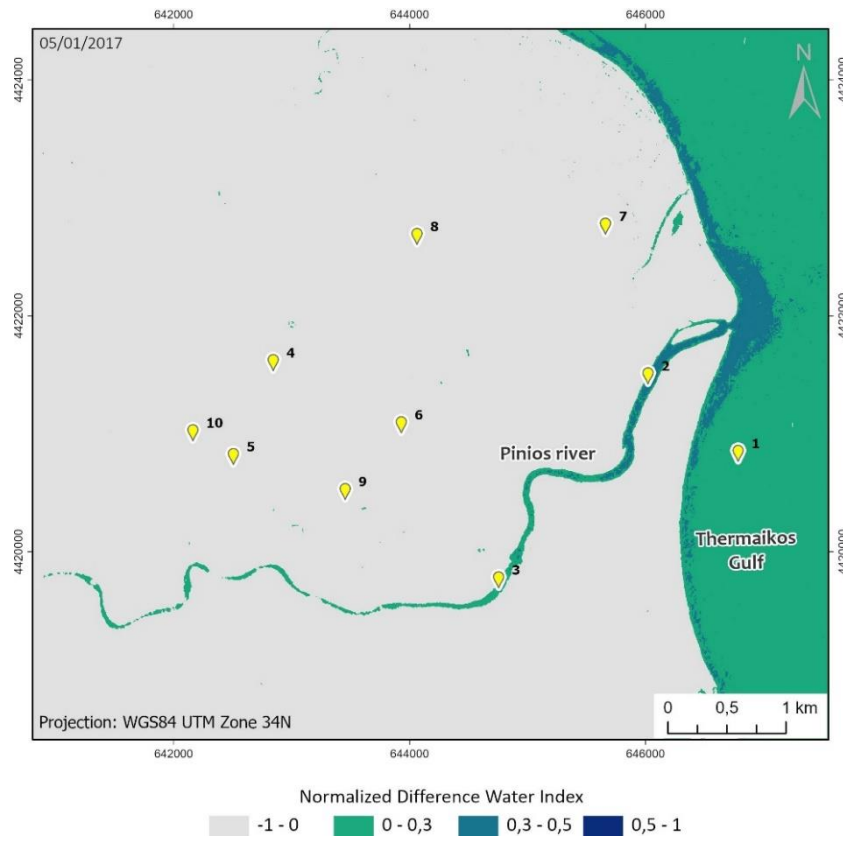
Χάρτης 11



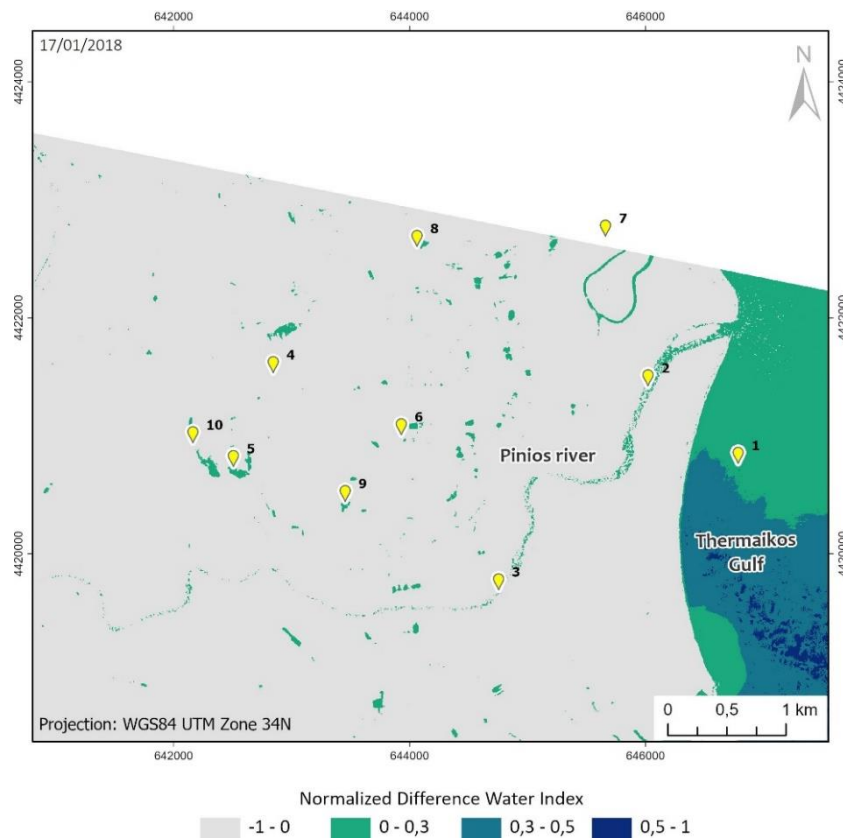
Χάρτης 12



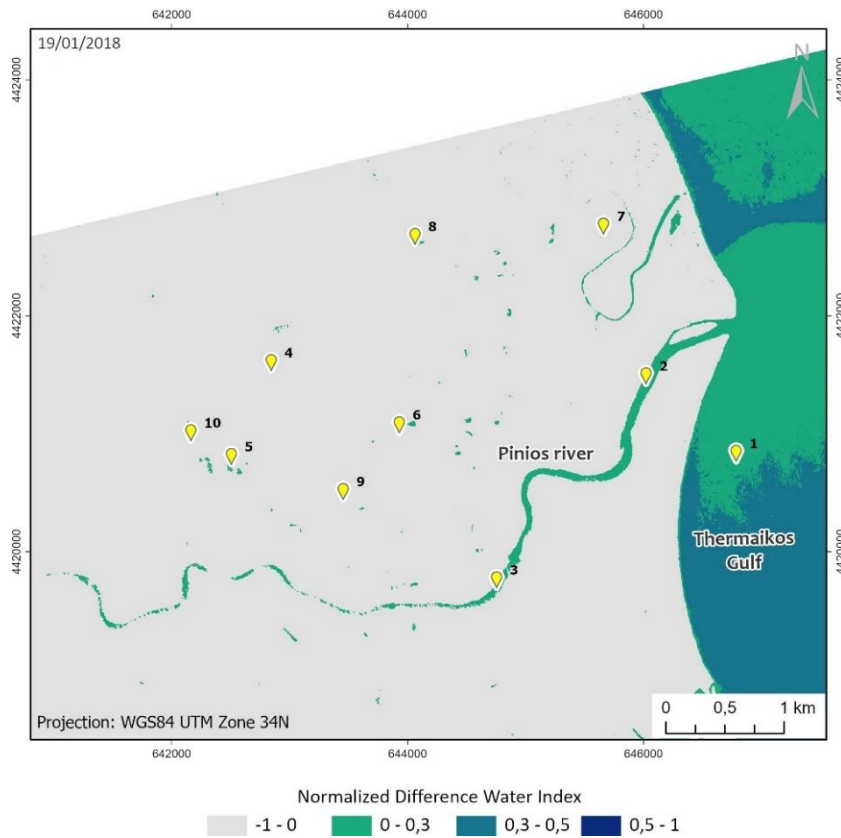
Χάρτης 13



Χάρτης 14



Χάρτης 15



Οι τιμές της ανακλαστικότητα, όπως και του δείκτη NDWI που αντιστοιχούν στα δέκα σημεία εξάχθηκαν με το εργαλείο "Extract multi values to points" της εργαλειοθήκης "Spatial Analyst" του λογισμικού ArcGIS Pro για όλες τις δορυφορικές εικόνες και οι τιμές αποθηκεύτηκαν στη βάση δεδομένων του shapefile των σημείων.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Sea	River Pinios	River Pinios	Field_no fl	Field	Field	Field	Field	Field	Field	Field
b4	10-Noe	344	463	815	2139	1526	1592	1590	1498	2034	1443
b4	22-Noe	219	790	900	1670	794	911	791	1213	606	530
b4	28-Noe	294	415	580	1903	1121	1431	901	714	639	652
b4	29-Noe	371	483	591	1637	1242	1232		946	704	697
b4	3-Δεκ	310	1024	1164	1966	1728	1494			697	945
b4	6-Δεκ	400		1093	1680	1598	1305			862	775
b4	9-Δεκ	263	547	653	1919	1798	1447	1163	1521	1271	960
b4	10-Δεκ	186	341	532	2141	1750	1619		1532	1422	1020
b4	14-Δεκ	433	522	655	2404	1886	2062	1707	1667	1846	1568
b4	25-Δεκ	312	395	490	1785	1834	2041	1590	1591	1820	1321
b4	30-Δεκ	386	514		2641	1996	2029	1547	1570	1045	1325
b4	1-Ιαν	235	694	825	2755	1133	2010	1515	1594	1070	1252
b4	5-Ιαν	336	423	529	1841	953	1424	1556	1352	954	1219
b4	17-Ιαν	914	1516	1578	1859	1285	1698		1609	1715	1739
b4	19-Ιαν	614	965	1072	1692	1216	1539	742	1308	1714	1451
WL_171110	10-Noe	0,217292	0,034411	-0,284476	-0,182748	-0,206801	-0,188947	-0,206373	-0,175824	-0,315228	-0,200999
WL_171122	22-Noe	0,512249	0,216658	0,10045	-0,201439	0,186058	0,116392	0,158958	0,032309	0,162405	0,235761
WL_171128	28-Noe	0,288136	0,452145	0,308701	-0,190119	0,036528	-0,19499	-0,018079	0,161972	0,030349	0,140409
WL_171129	29-Noe	0,063131	0,287611	0,18595	-0,213491	-0,143646	-0,251397		0,069813	-0,120127	0,00924
WL_171203	3-Δεκ	0,517134	0,057524	-0,047705	-0,219981	-0,183562	-0,248642			-0,127832	0,091783
WL_171206	6-Δεκ	0,44675		0,016202	-0,147149	-0,205583	-0,189608			-0,207283	0,065139
WL_171209	9-Δεκ	0,327366	0,351512	0,257533	-0,166565	-0,218157	-0,158527	-0,192821	-0,184579	-0,192867	0,011837
WL_171210	10-Δεκ	0,553957	0,328079	0,323586	-0,18615	-0,216545	-0,228376		-0,202984	-0,273053	-0,043478
WL_171215	15-Δεκ	-0,00464	0,26993	0,159178	-0,219685	-0,267899	-0,232148	-0,274356	-0,237106	-0,271788	-0,249402
WL_171224	24-Δεκ	0,290102	0,393707	0,308886	-0,135496	-0,187055	-0,149535	-0,197289	-0,182021	-0,196188	-0,171099
WL_171230	30-Δεκ	0,155361	0,245228		-0,170397	-0,24711	-0,208457	-0,258747	-0,231856	-0,238886	-0,231985
WL_180101	1-Ιαν	0,326648	0,245242	0,137931	-0,207804	-0,234877	-0,207207	-0,303787	-0,255612	-0,24058	-0,262097
WL_180105	5-Ιαν	0,129534	0,368657	0,233888	-0,233501	-0,214013	-0,268032	-0,277504	-0,256506	-0,226221	-0,292683
WL_180117	17-Ιαν	0,247427	-0,00066	-0,034754	-0,164787	0,122867	-0,168617		0,0195	0,012381	-0,008408
WL_180119	19-Ιαν	0,270351	0,086174	0,032054	-0,212469	0,004095	-0,229724	0,021753	0,004945	-0,061629	-0,042011

Εικόνα 22. Οι τιμές των ψηφιακών αριθμών του καναλιού NIR (πορτοκαλί χρώμα) και του δείκτη NDWI (γαλάζιο χρώμα) που αντιστοιχούν στα σημεία που επιλέχθηκαν. Τα κενά κελιά στις στήλες κάποιων σημείων σημαίνουν πως τα αυτά βρίσκονται εκτός των ορίων της αντίστοιχης εικόνας.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

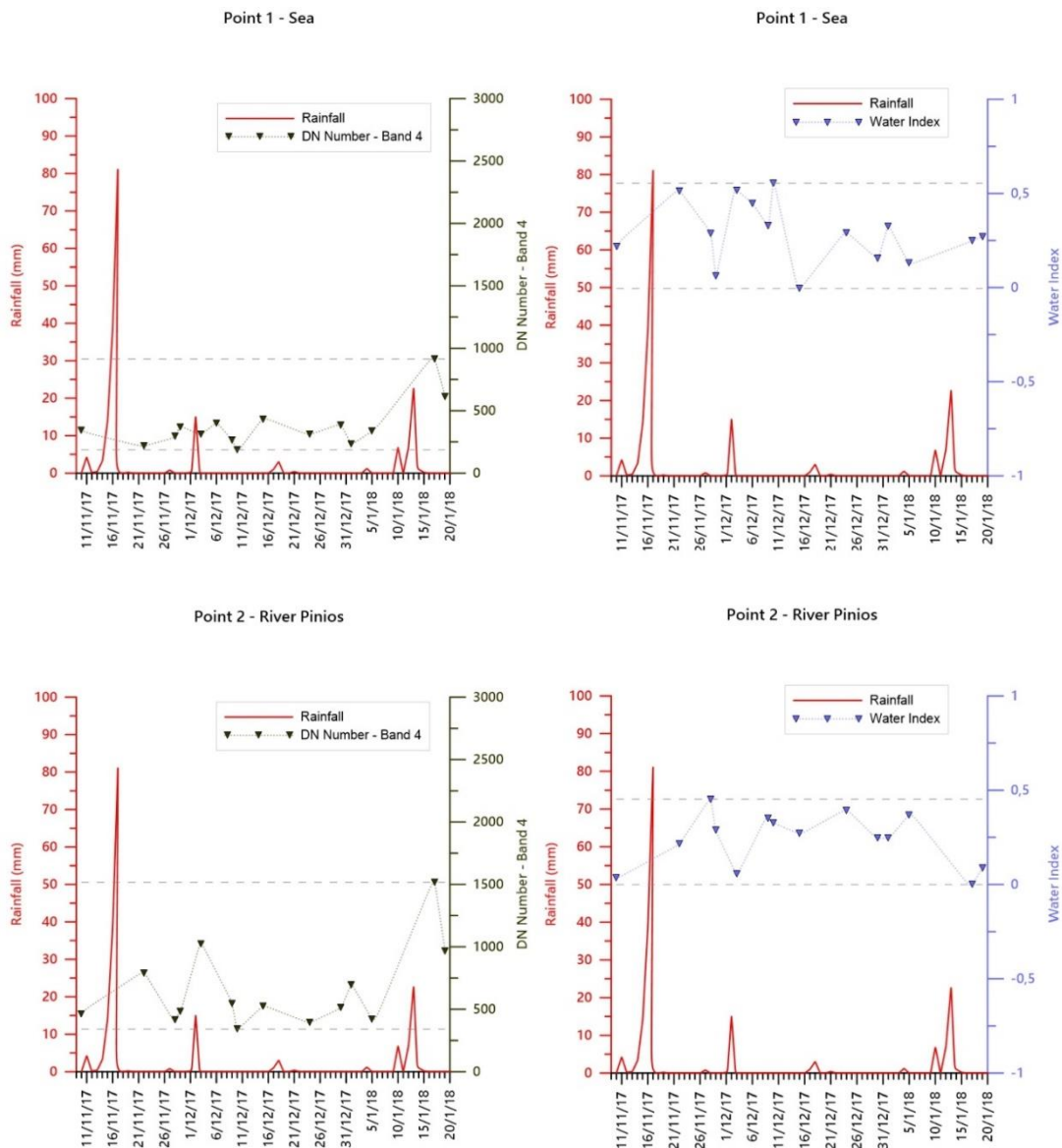
Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, από τις τιμές που προέκυψαν στη βάση δεδομένων των σημείων, κατασκευάστηκαν διαγράμματα διακύμανσης της τιμής των DN του καναλιού NIR και της τιμής του δείκτη NDWI συναρτήσει του χρονικού διαστήματος που καλύπτουν οι δορυφορικές εικόνες. Στα διαγράμματα αποτυπώνεται επίσης και η κατανομή της βροχόπτωσης για το ίδιο χρονικό διάστημα με κόκκινη συνεχή γραμμή, ενώ τα μικρά τρίγωνα αντιστοιχούν στις ημερομηνίες με διαθέσιμη δορυφορική εικόνα.

Στο πρώτο ζεύγος διαγραμμάτων, που αντιστοιχεί στο σημείο 1 που βρίσκεται στη θάλασσα, η ανακλαστικότητα παρουσιάζει αρκετά χαμηλές τιμές, ενώ ο NDWI θετικές τιμές, κάτι που συμφωνεί με αυτό που αναμενόταν για μια υδάτινη επιφάνεια. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τις τιμές των σημείων 2 και 3 που βρίσκονται στον Πηνειό, με κάποιες πολύ μικρές διαφορές που ενδεχομένως οφείλονται στην ύπαρξη ιζημάτων τα οποία σε ένα βαθμό αυξάνουν την ανακλαστικότητα. Αντίστοιχα, αναμενόμενο ήταν επίσης στα διαγράμματα που αντιστοιχούν στο σημείο 4 η ανακλαστικότητα να έχει πιο υψηλές τιμές και ο δείκτης NDWI αρνητικές τιμές. Αιτία είναι η θέση του σημείου που είναι σε καλλιέργειες, δηλαδή έδαφος ή βλάστηση, των οποίων τα χαρακτηριστικά ανακλούν σημαντικά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

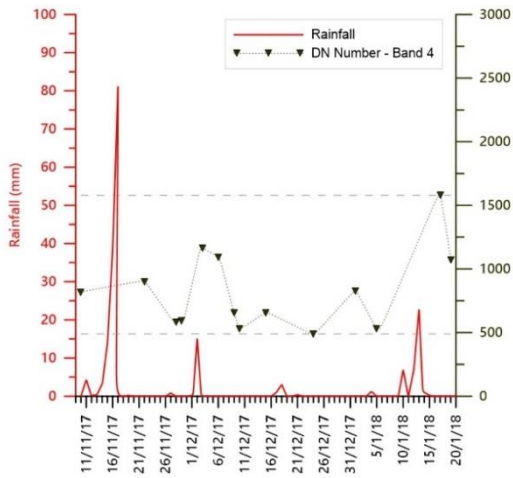
Στα υπόλοιπα σημεία, τα οποία φαίνεται να πλημμυρίζουν μετά την εκδήλωση βροχής, η ανακλαστικότητα μειώνεται αισθητά μετά την έντονη βροχόπτωση που καταγράφηκε 17/11/2017, ενώ με την πάροδο των ημερών καθώς η στάθμη του νερού υποχωρεί και επιφάνεια ανάκλασης γίνεται ξανά το έδαφος και η βλάστηση, η ανακλαστικότητα τείνει να αυξάνεται έως την προηγούμενη, αρχική τιμή της. Ομοίως και η τιμή του δείκτη NDWI αυξάνεται μετά από την έντονη βροχόπτωση και μειώνεται καθώς το νερό εξατμίζεται και κατεισδύει. Το ίδιο παρατηρείται και για τις βροχοπτώσεις που καταγράφηκαν 13/1/2018 και 2/12/2017, με πιο εμφανείς αυξομειώσεις στις τιμές ανακλαστικότητας και του δείκτη NDWI να παρατηρούνται στα διαγράμματα των σημείων 5, 6, 9 και 10. Αυτό, ωστόσο, οφείλεται και στο γεγονός πως στα σημεία 7 και 8 δεν υπάρχουν τιμές για τις ημερομηνίες 3/12/2017 (σημείο 7 και 8) και 17/1/2018 (μόνο σημείο 7).

Επίσης, στα διαγράμματα των σημείων 5, 6, 8, 9 και 10 είναι εμφανής η μείωση της ανακλαστικότητας των DN του καναλιού NIR μεταξύ των ημερομηνιών 1/1/2018 και 5/1/2018, κάτι που δικαιολογείται από το μικρό ύψος βροχής που σημειώθηκε 4/1/2018. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως στα διαγράμματα των σημείων 5-10, φαίνεται μια αύξηση της τιμής των DN από την 5/1/2018 στην 17/1/2018 που δεν δικαιολογείται από το ύψος βροχής που καταγράφηκε 13/1/2018 αλλά ούτε και από τις ίδιες τις εικόνες, οι οποίες δείχνουν καθαρά την ύπαρξη νερού (εικόνες 23-28). Αυτό που θα αναμενόταν ωστόσο, εάν υπήρχε δορυφορική εικόνα ακριβώς πριν την ημερομηνία της βροχόπτωσης, για παράδειγμα 12/1/2018, θα ήταν μια τιμή υψηλότερη από αυτή της 17/1/2018 έτσι ώστε να είναι εμφανής η μείωση στο διάγραμμα.

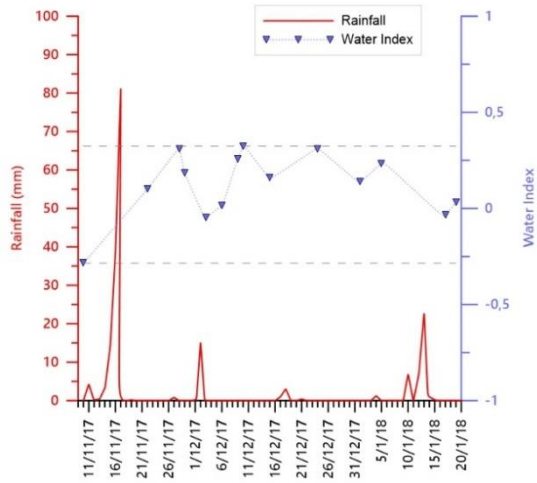
Συμπερασματικά, η παρακολούθηση πλημμυρισμένων περιοχών με τη μέθοδο της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, αποφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για τη συγκεκριμένη εργασία, η χρήση των εικόνων PlanetScore ήταν καθοριστική για την εξαγωγή συμπερασμάτων καθώς η πολύ καλή χωρική ανάλυση που προσφέρεται παρέχει τη δυνατότητα αναγνώρισης πλημμυρισμένων περιοχών μικρής σχετικά έκτασης. Ακόμα, η πολύ καλή χρονική διακριτική ικανότητα που προκύπτει από την πληθώρα των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά, καθιστά πιο εύκολη την παρακολούθηση της εξέλιξης πλημμυρών, κάτι που με τη χρήση εικόνων διαφορετικών δορυφόρων δεν θα ήταν εφικτό (π.χ. Landsat 7 και Landsat 8 περίοδος επαναληψιμότητας 8 ημέρες). Τα παραπάνω μπορούν να φανούν αρκετά χρήσιμα σε περιπτώσεις πλημμύρας καλλιεργήσιμων εκτάσεων και ειδικότερα όταν προκαλούνται καταστροφές στις καλλιέργειες ή προξενούνται ζημιές που δύναται να αποζημιωθούν.



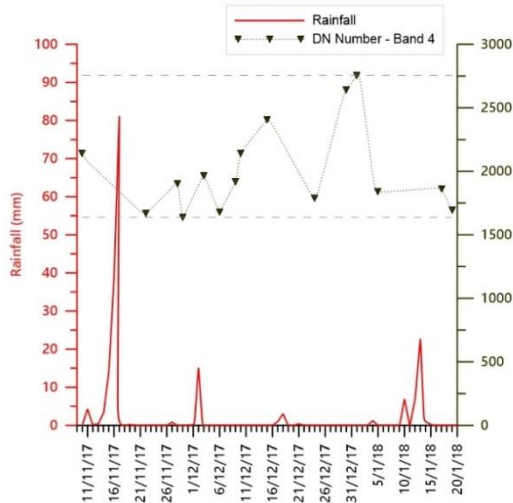
Point 3 - River Pinios



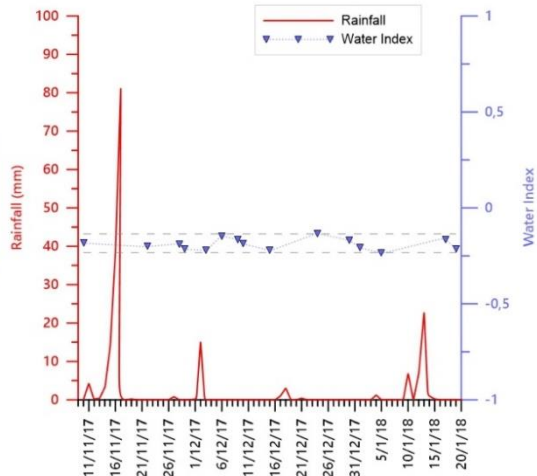
Point 3 - River Pinios



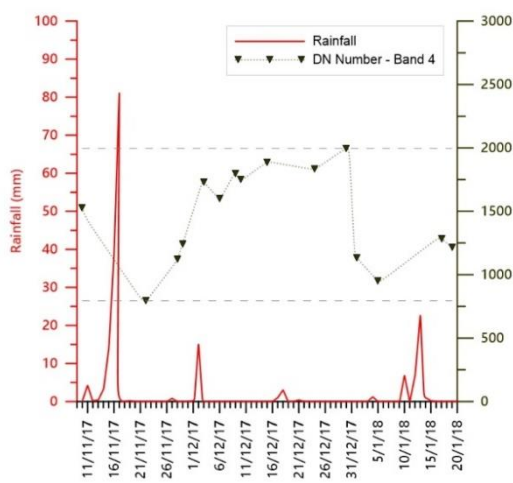
Point 4 - Field (no water)



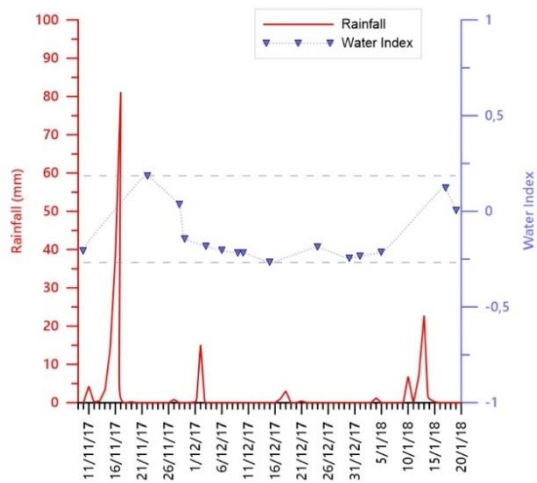
Point 4 - Field (no water)

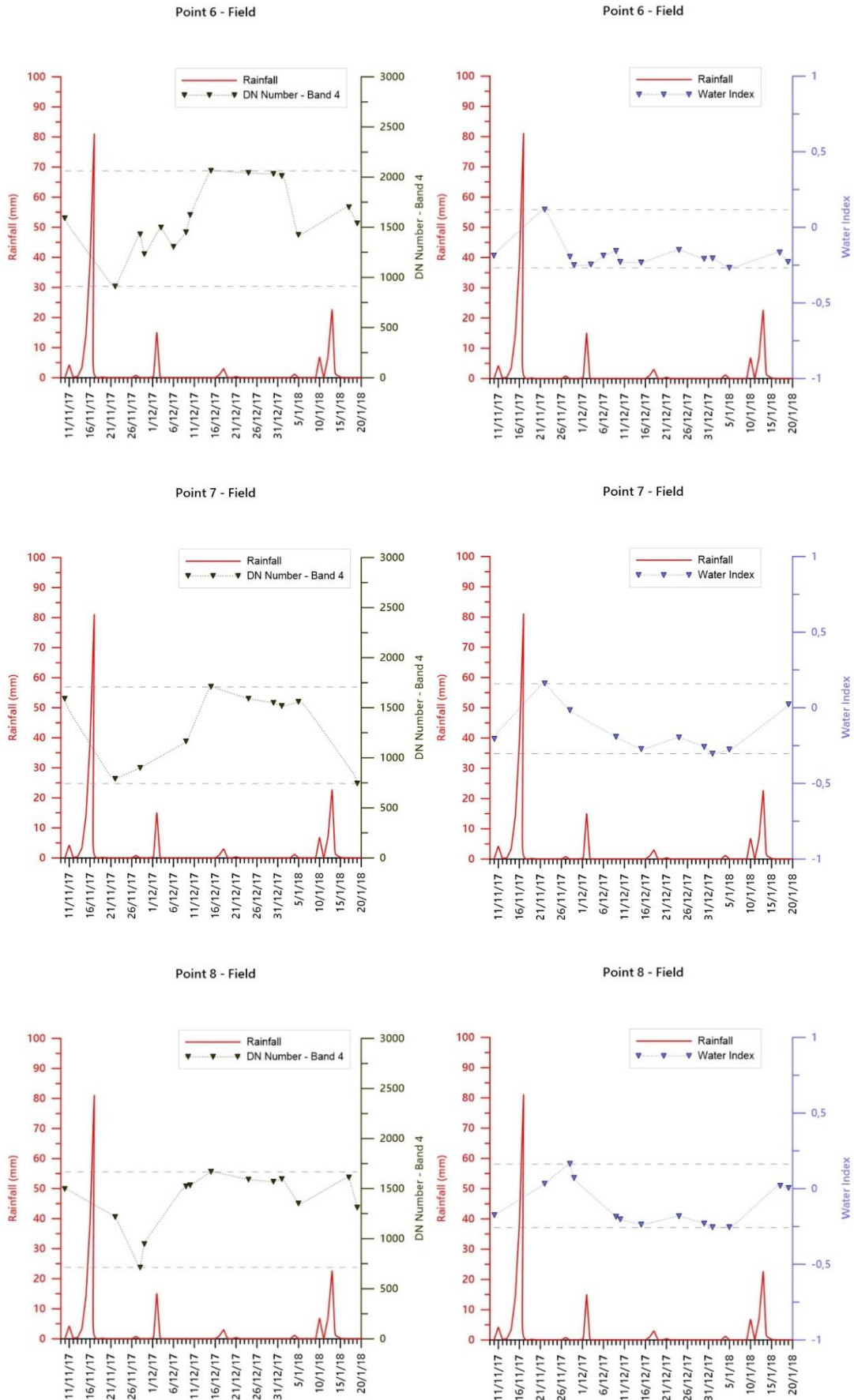


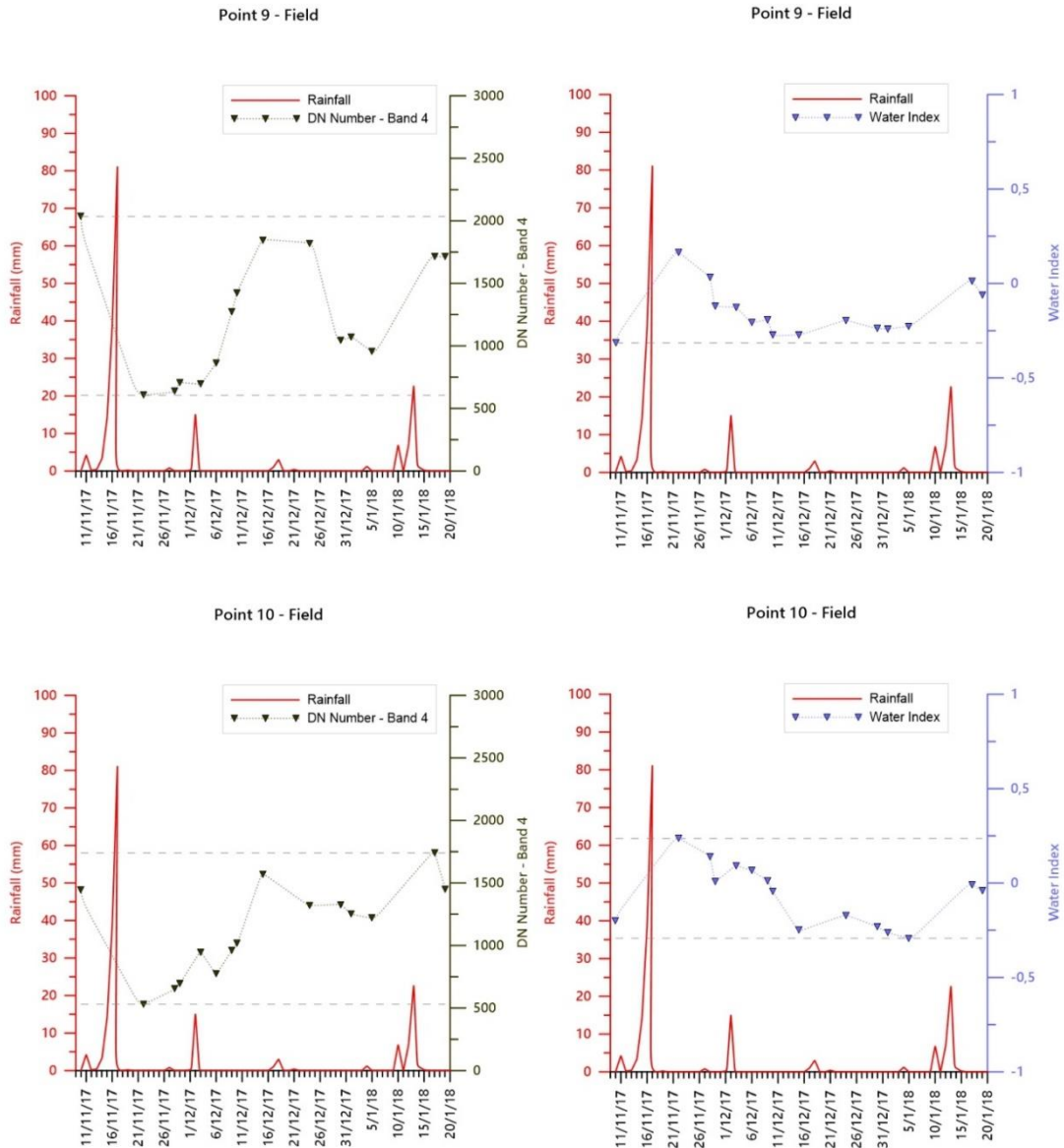
Point 5 - Field

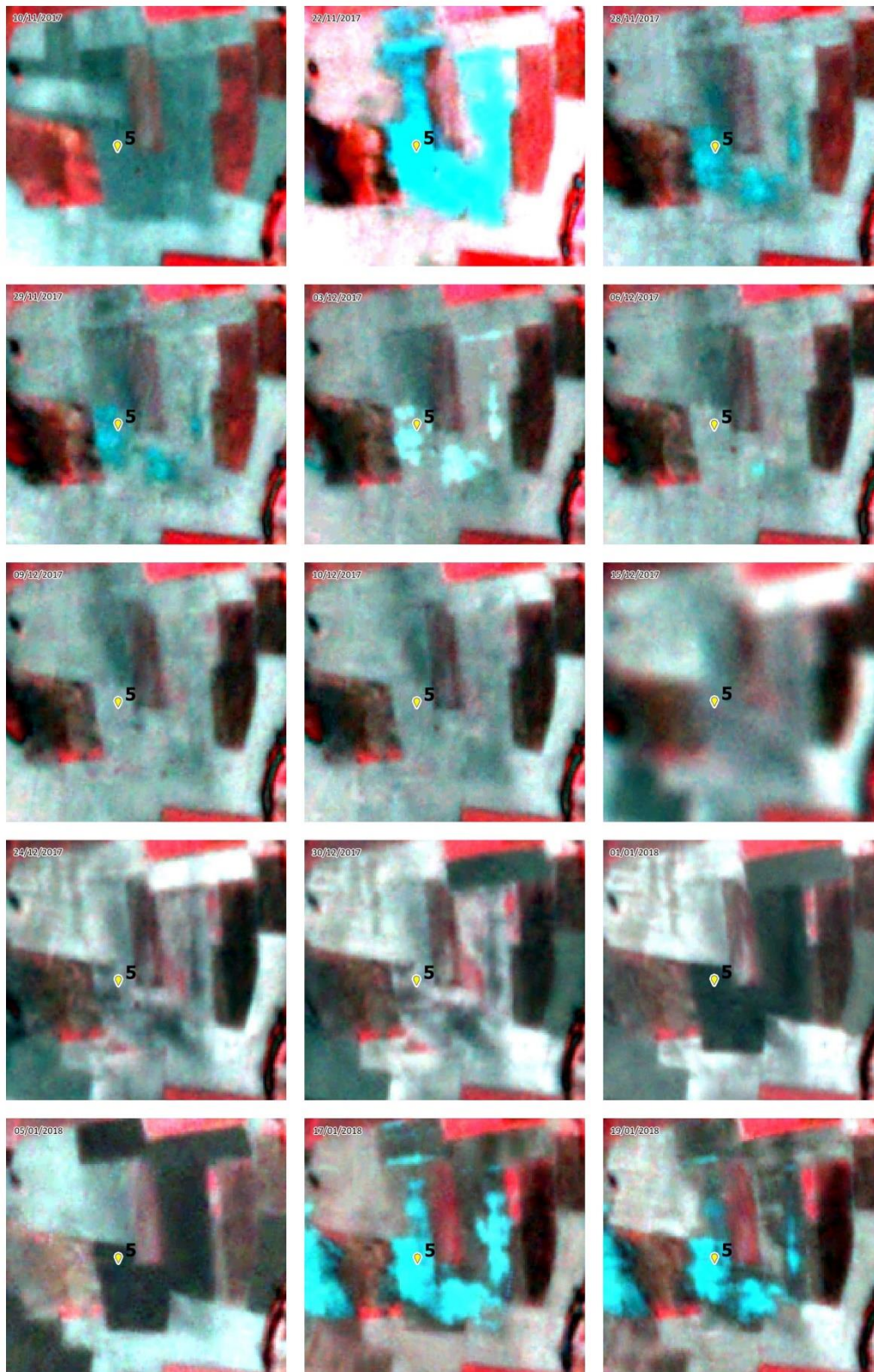


Point 5 - Field

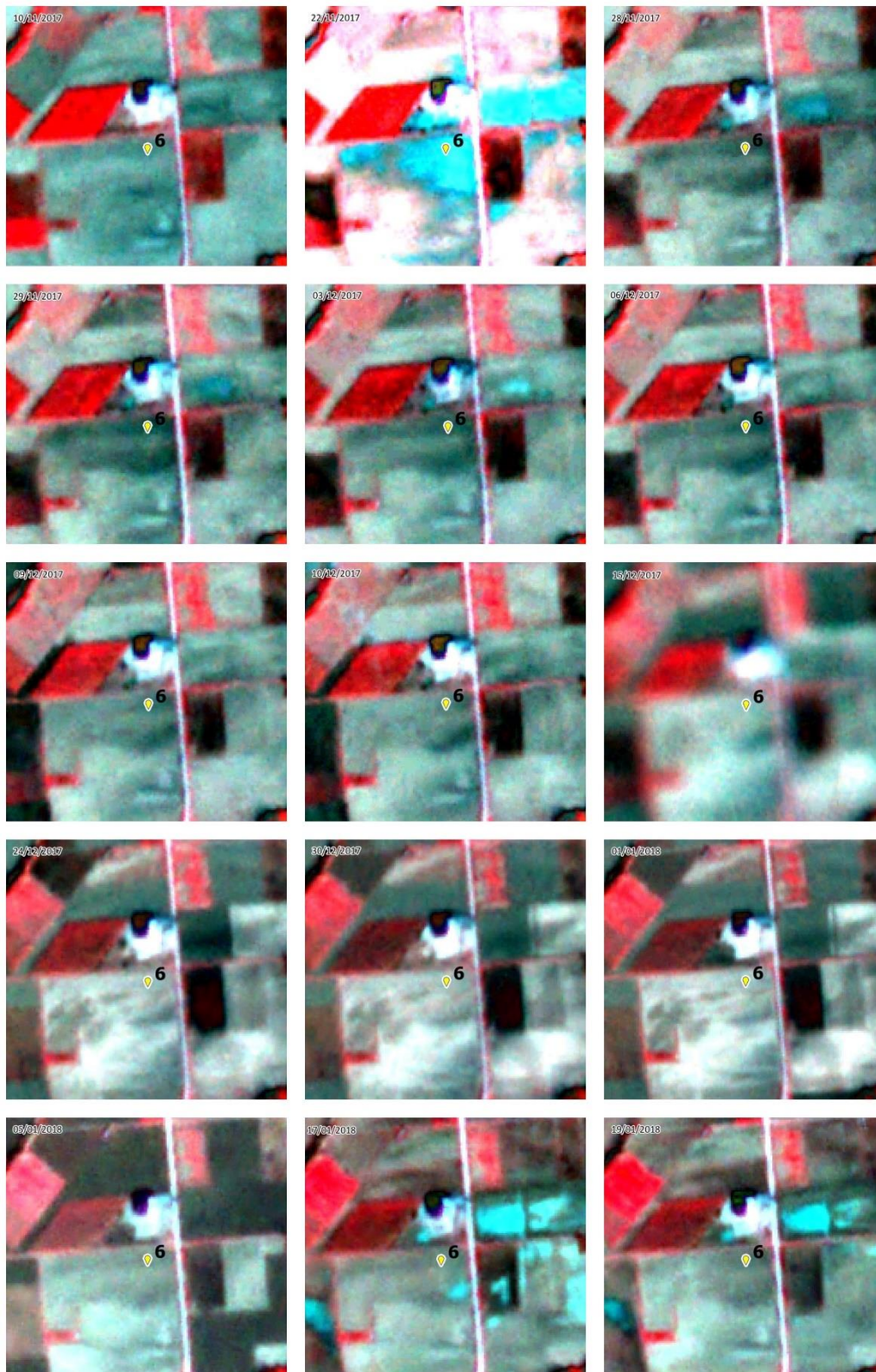




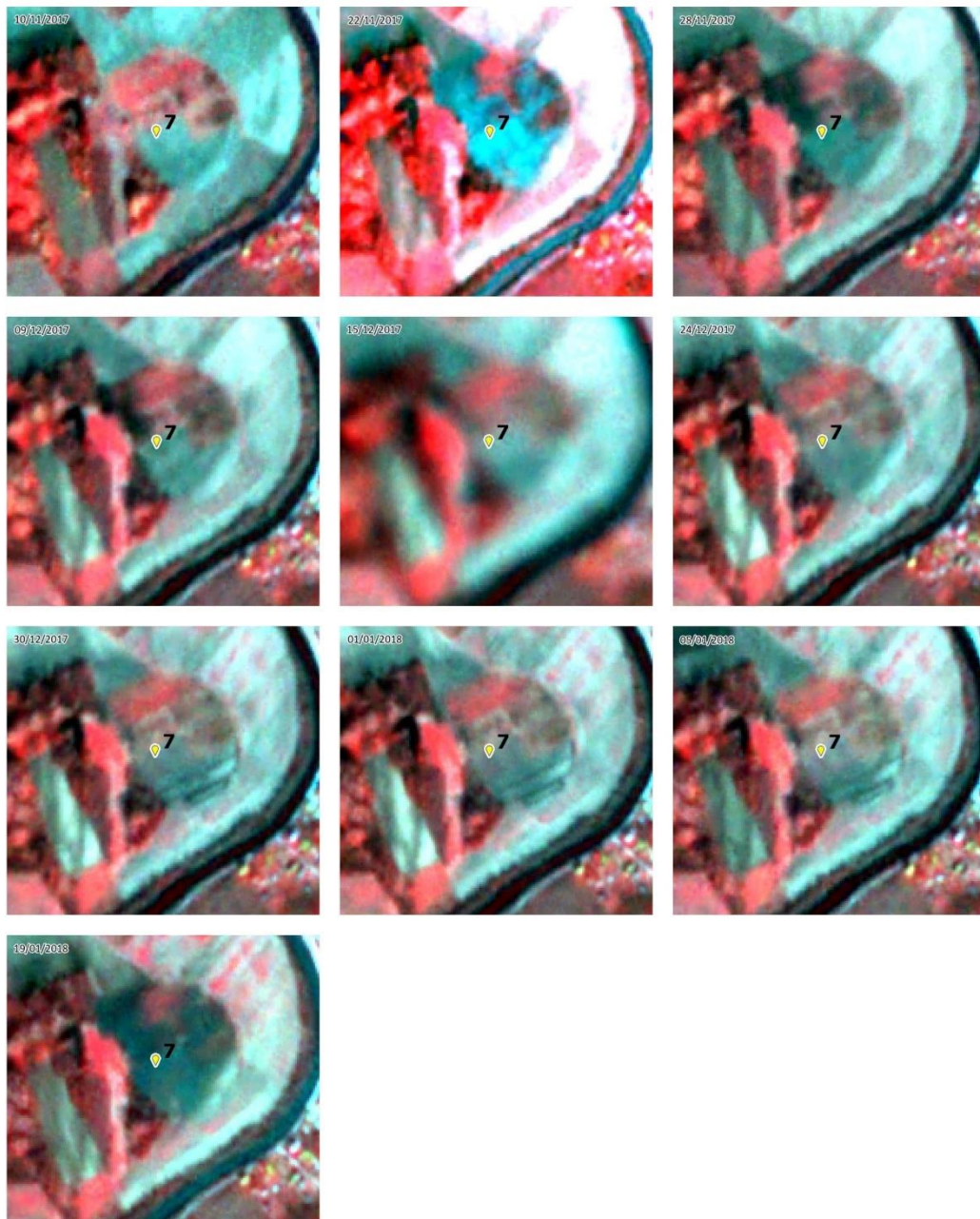




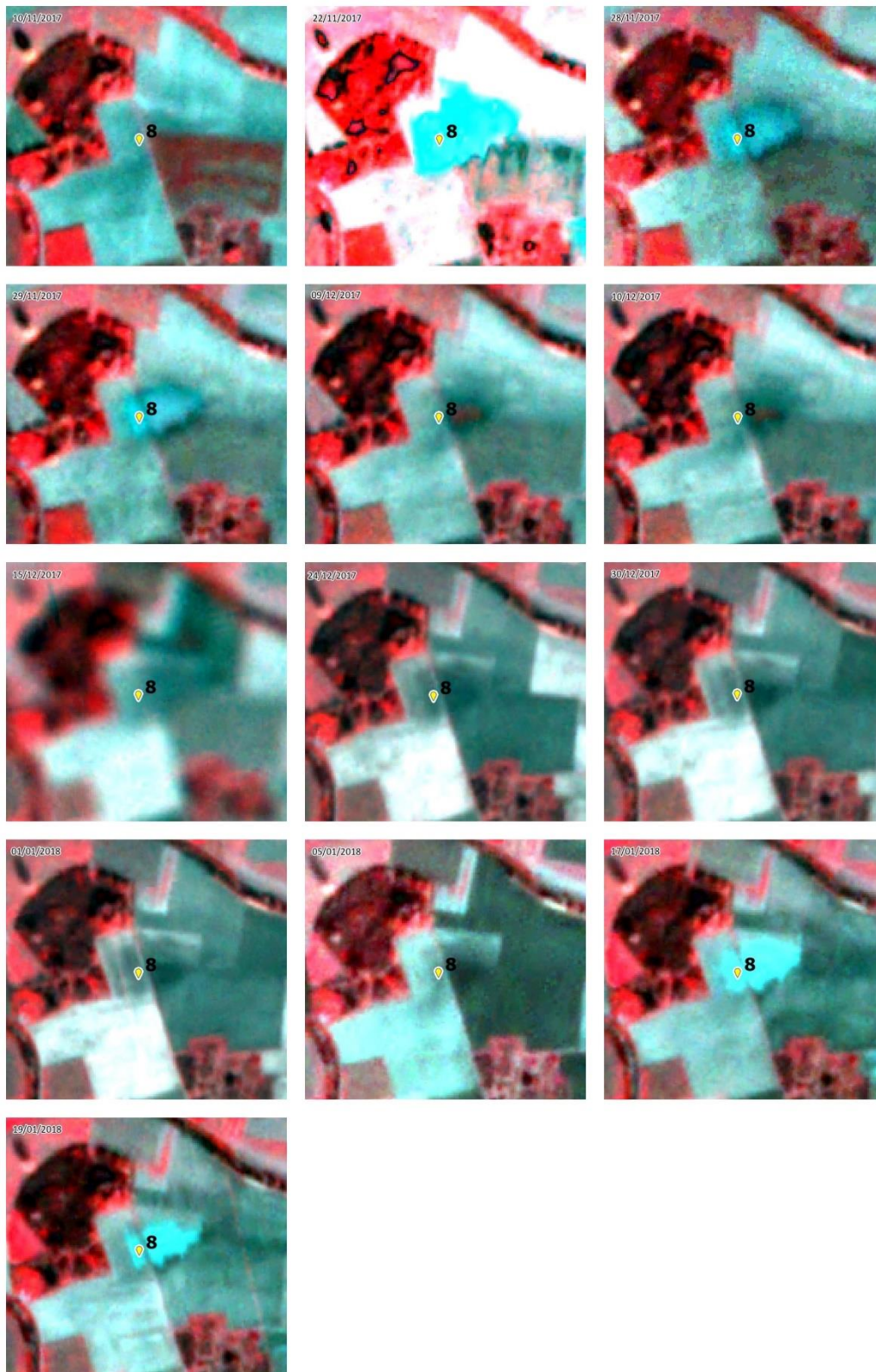
Εικόνα 23. Ψευδέγχρωμες συνθέσεις όλων των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, μεγεθυμένες στο σημείο 5.



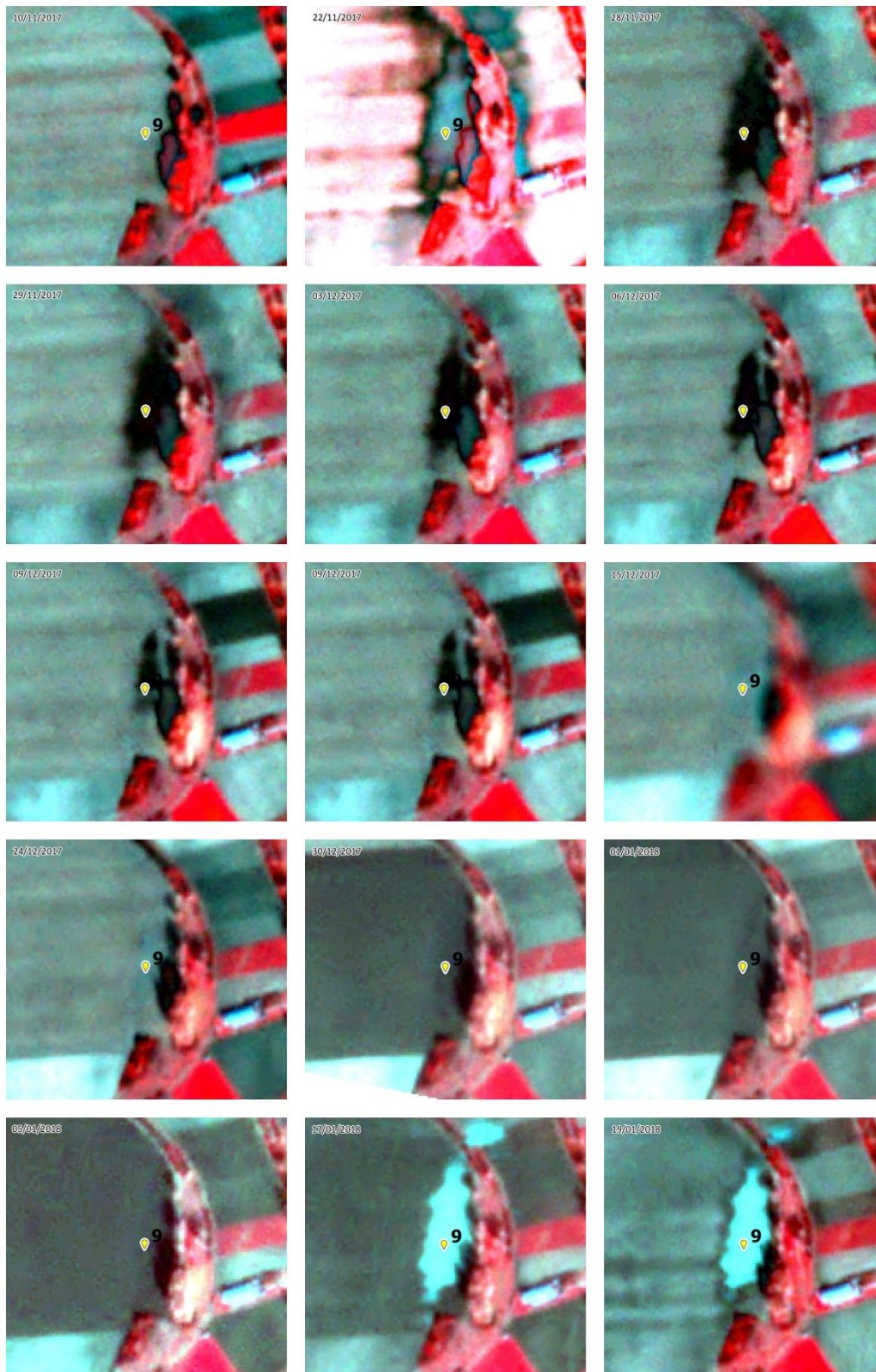
Εικόνα 24. Ψευδέγχρωμες συνθέσεις όλων των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, μεγεθυμένες στο σημείο 6.



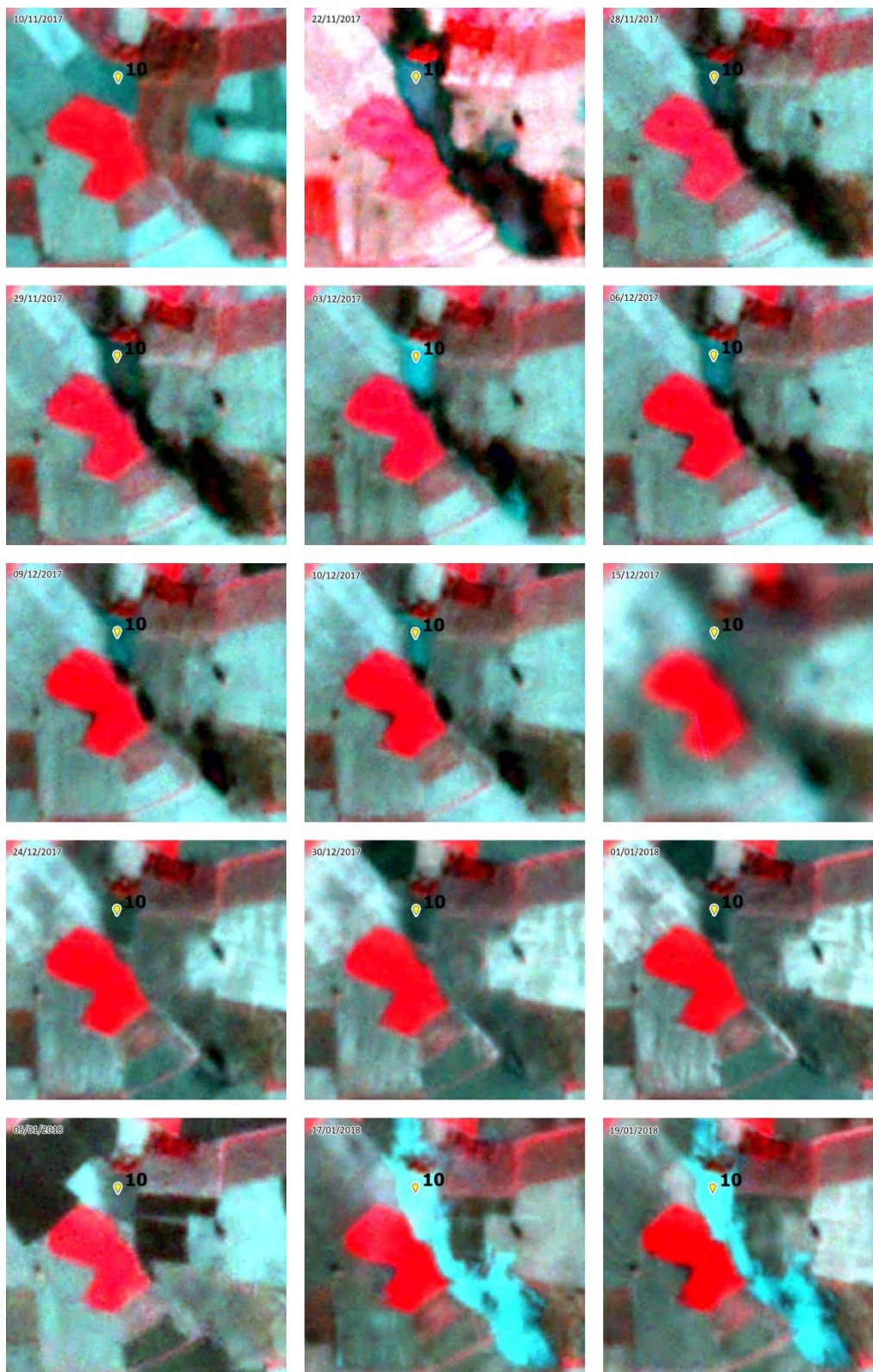
Εικόνα 25. Ψευδέγχρωμες συνθέσεις όλων των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, μεγεθυμένες στο σημείο 7.



Εικόνα 26. Ψευδέγχρωμες συνθέσεις όλων των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, μεγεθυμένες στο σημείο 8.



Εικόνα 27. Ψευδέγχρωμες συνθέσεις όλων των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, μεγεθυμένες στο σημείο 9.



Εικόνα 28. Ψευδέγχρωμες συνθέσεις όλων των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, μεγεθυμένες στο σημείο 10.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Αλεξόπουλος, Ι., Ματιάτος, Ι., Δίλαλος, Σ., Βασιλάκης, Εμμ., Παναγόπουλος, Α., Γκιώνης, Γ., Πούλος, Σ., 2014. Διερεύνηση της ανάπτυξης του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα της λεκάνης του Δέλτα Πηνειού Θεσσαλίας, με το συνδυασμό γεωφυσικών και υδρογεωλογικών στοιχείων.
- Αστάρας, Θ., 2011. Τηλεπισκόπηση – Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες. Εκδόσεις Αϊβάζη, Θεσσαλονίκη
- Βασιλάκης, Εμμ., Μαυρούλης, Σ., Αλεξόπουλος, Ι., Δίλαλος, Σ., 2014. Μορφοτεκτονική εξέλιξη της Δελταϊκής περιοχής του Πηνειού (Θεσσαλία), 10^ο Διεθνές Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη
- Βασιλάκης, Εμμ., Πούλος, Σ., Λαζογιάννης, Κ., 2014. AGROKLIMA – Διαχείριση υδατικών πόρων σε γεωργικά παράκτια περιβάλλοντα – Προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, Παραδοτέο 6 – Γεωλογικά – περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του Δέλτα
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012. Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ
- Καρανασιπούλου, Ε., 2010. Φυσικές Καταστροφές: Η Διεθνής και η Ελληνική Εμπειρία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
- Καραντζιά, Μ., 2017. Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου στο ρέμα Γιαννούλας (Θριάσιο Πεδίο), Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας
- Καρύμπαλης, Ε., Γάκη-Παπαναστασίου, Κ., 2008. Γεωμορφολογική μελέτη των ποταμών Πηνειού, Καλαμά, Εύηνου και Μόρνου. Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Έκδοση Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π.
- Κατσιακάτσος, Γ., Μίγκιρος, Γ., 1987. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας (1:50000), φύλλο «Ραψάνη», ΙΓΜΕ
- Κουργιαλάς, Ν.Ν., 2010. Ολοκληρωμένη διαχείριση – Πρόβλεψη & Αντιμετώπιση Πλημμυρικών Φαινομένων σε Σύνθετες Γεωμορφολογικά Περιοχές με Χρήση Μαθηματικών Μοντέλων και GIS. Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
- Λέκκας, Λ.Ευθ., 2000. Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές
- Μιγκίρος, Γ., 1983. Γεωλογική μελέτη περιοχής Κάτω Ολύμπου, Θεσσαλίας. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Πατρών
- Παρχαρίδης, Ι., 2015. Αρχές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και Εφαρμογές. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Ηλεκτρονικό Σύγγραμμα

Σκιάνης, Γ., Νικολακόπουλος, Κ.Γ., Βαϊόπουλος, Δ.Α., 2012. Τηλεπισκόπηση. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

EM - DAT, The International Disaster Database, <https://www.emdat.be>

Gaki-Papanastasiou, K., Karymbalis, E., Maroukian, H., 2010. Recent Geomorphic Changes and Anthropogenic Activities in the Deltaic Plain of Pinios River in Central Greece, Bulletin of the Geological Society of Greece

Godfriaux, L., 1968. Etude geologique de la region de l' Olympe (Greece). Ann. Geol. Pays Hell.

Ji, L., Zhang, L., Wylie, B., 2009. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75, 11, 1307-1317

Lips, A.L.W., White, S.H., Wijbrans, J.R., 1998. ⁴⁰Ar/³⁹Ar laserprobe direct dating of discrete deformational events: a continuous record of early Alpine tectonics in the Pelagonian Zone, NW Aegean area, Greece. Textonophysics

Local Government Association, Coastal flooding and erosion. Retrieved April 12, 2020, from <https://www.local.gov.uk/topics/severe-weather/flooding/flood-and-coastal-erosion-risk-management/coastal-flooding-and>

Martini, F., Loat, R., 2007. Handbook on good practices for flood mapping in Europe. Paris/Bern: European exchange circle on flood mapping (EXCIMAP)

Papanikolaou, D., 1984. The three metamorphic belts of the Hellenides; a review and a kinematic interpretation. In J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (Editors), The geological evolution of the eastern Mediterranean. Geol. Soc. Spec. Publ. Geological Society of London, Oxford

Planet Labs Inc., 2019. Planet Imagery Product Specifications

Ritchie, H., Roser, M., 2020. Natural Disasters. Published online at OurWorldInData.org Retrieved March 24, 2020, from: <https://ourworldindata.org/natural-disasters> [online source]

Schermer, E.R., 1990. Mechanisms of blueschist creation and preservation in an A-type subduction zone, Mount Olympos region, Greece

Schermer, E.R., 1993. Geometry and kinematics of continental basement deformation during the Alpine orogeny, Mt. Olympos region, Greece. Journal of Structural Geology

Schermer, E.R., Lux, D.R., Burchfiel, B.C., 1990. Temperature-time history of subducted continental crust, Mount Olympos Region, Greece. Tectonics

Schmidt, A., 1983. Nouvelles contributions a l'étude géologique des Pierra, de l'Olympe et de l'Ossa (Grec du Nord). PhD Thesis, Faculte Polytechnique de Mons, Belgium

Smith, K., Ward, R., 1998. Floods: Physical Processes and Human Impacts. London: John Wiley & Sons Ltd