



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών  
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΠΜΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ  
(Κατεύθυνση: Γεωγραφία και Περιβάλλον)

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

*ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ  
ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΔΕΛΤΑΪΚΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ  
(ΘΕΣΣΑΛΙΑ) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΛΕΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ  
(ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ)*



ΜΗΤΣΙΚΑ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΑΘΗΝΑ, 2020

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΠΜΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ  
(Κατεύθυνση: Γεωγραφία και Περιβάλλον)

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**

***ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ  
ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΔΕΛΤΑΪΚΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ  
(ΘΕΣΣΑΛΙΑ) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΛΕΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ  
(ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ)***

ΜΗΤΣΙΚΑ ΓΕΩΡΓΙΑ

Γεωλόγος

### **ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

- **Δρ. Πούλος Σεραφείμ** (Επιβλέπων)  
Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ
- **Δρ. Αλεξόπουλος Ιωάννης**  
Επικ. Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ
- **Δρ. Βασιλάκης Εμμανουήλ**  
Επικ. Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ, 2020

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ειδίκευσης με τίτλο «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΔΕΛΤΑΪΚΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ (ΘΕΣΣΑΛΙΑ) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΛΕΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ (ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ)» μου ανατέθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, στην κατεύθυνση “Γεωγραφία και Περιβάλλον”.

Η ανάθεση και η επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας έγινε από τον Καθηγητή Σεραφείμ Πούλο. Τον ευχαριστώ θερμά που μου έδωσε την ευκαιρία να συμμετέχω επικουρικά στις εργασίες υπαίθρου της εφαρμοσμένης γεωπεριβαλλοντικής έρευνας των έργων ΘΑΛΗΣ/ΕΚΠΑ (MIS 375908, «Διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα ποτάμια Δέλτα. Εφαρμογή στην περίπτωση του Δέλτα του ποταμού Πηνειού (Θεσσαλίας)» και AGROCLIMA (11ΣΥΝ\_3\_1913) ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ – ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ και για τον μεγάλο όγκο βιβλιογραφικού υλικού που μου παρείχε, απαραίτητο για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Τις θερμές ευχαριστίες μου εκφράζω στον Επίκουρο Καθηγητή Ιωάννη Αλεξόπουλο για την εμπιστοσύνη και την υποστήριξη που μου προσέφερε όλα τα χρόνια που τον γνωρίζω. Από προπτυχιακή φοιτήτρια του τμήματος οι επισημάνσεις και οι παροτρύνσεις, η με κάθε τρόπο υποστήριξη και το αδιάλειπτο ενδιαφέρον του υπήρξαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση της προσπάθειας αυτής. Το μεγαλύτερο μέρος της παιδείας μου ως γεωλόγος το οφείλω σε αυτόν και στις ευκαιρίες που μου έδωσε να παραβρεθώ στις εργασίες υπαίθρου δίπλα του.

Ευχαριστώ τον Επίκουρο Καθηγητή Εμμανουήλ Βασιλάκη, για την αρωγή του, τις υποδείξεις του και γενικά για την εξαιρετική συνεργασία μας στο επιστημονικό πεδίο της τηλεπισκόπησης.

Επιπλέον, οφείλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Νικόλαο Βούλγαρη για την επιμονή του να χρησιμοποιήσω το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών ArcGIS Pro της ESRI που πιλοτικά είχε προμηθευτεί το Τμήμα και για την άδεια χρήσης που μου παρείχε.

Ευχαριστώ πολύ τον συνάδελφο και φίλο Δρ. Σπυρίδωνα Δίλαλο, για την επικουρία του στις μετρήσεις πεδίου και τις επισημάνσεις του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Ευχαριστώ τους συναδέλφους Καλαμπόκη Ε., Καπλανίδη Έλ., Μπαζιώνη Ι., Ανδρεάδη Ορ., Φαραγγιτάκη Π. και Μαυρούλη Σ. για τη συμβολή τους στη διαδικασία λήψης των μετρήσεων υπαίθρου και τη γενικότερη συνεργασία μας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την αγάπη τους και όλη την στήριξη που μου προσφέρουν όλα αυτά τα χρόνια.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ειδίκευσης αναφέρεται στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην δελταϊκή περιοχή του Πηνειού ποταμού (Θεσσαλία) στα πλαίσια δύο ερευνητικών προγραμμάτων του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος. Πρώτος στόχος της εργασίας ήταν ο εντοπισμός του κατάλληλου συνδυασμού φασματικών καναλιών/δεικτών για την ανάδειξη διάφορων βιοτικών/αβιοτικών χαρακτηριστικών με δορυφορικές εικόνες πολύ υψηλής χωρικής και φασματικής διακριτικότητας και δεύτερος στόχος ήταν ο υπολογισμός του πάχους των δελταϊκών αποθέσεων με γεωφυσικές διασκοπήσεις.

Για την επιφανειακή διερεύνηση της περιοχής πραγματοποιήθηκε επεξεργασία δορυφορικών εικόνων WorldView-2 με την χρήση του λογισμικού *ERDAS Imagine 2014*. Μετά τα βασικά στάδια επεξεργασίας και την παραγωγή μιας ορθοανηγμένης εικόνας όλης της δελταϊκής πεδιάδας εφαρμόστηκαν 11 διαφορετικοί φασματικοί δείκτες. Παρήχθησαν έξι ψευδέγχρωμες χαρτοσυνθέσεις της περιοχής συνδυάζοντας φασματικά κανάλια και επιπλέον πέντε ψευδέγχρωμες χαρτοσυνθέσεις συνδυάζοντας φασματικούς δείκτες.

Σε ότι αφορά την υπεδαφική διερεύνηση της δελταϊκής πεδιάδας, πραγματοποιήθηκαν συνολικά 127 βαθυσκοπήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Μεθόδου Παροδικών Πεδίων (TEM) με την ηλεκτρομαγνητική συσκευή *WalkTEM*. Για την επεξεργασία των βαθυσκοπήσεων TEM χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *ViewTEM*. Η αξιολόγηση των γεωφυσικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με συνεπικουρία διαθέσιμων γεωτρητικών δεδομένων από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Ακολούθησε η εισαγωγή, διαχείριση των δεδομένων στο λογισμικό *RockWorks15* με σκοπό την παραγωγή «στρωματογραφικού» μοντέλου καθώς και τομών τύπου 'φράχτη' (*fence*).

Η διαχείριση του συνόλου των δεδομένων, η ανάλυση και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων έγινε τόσο σε δισδιάστατο (2D) όσο και σε τρισδιάστατο (3D) περιβάλλον χρησιμοποιώντας το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών *ArcGIS Pro*.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία, σε ότι αφορά τις τεχνικές που ακολουθήθηκαν στο επιστημονικό πεδίο της τηλεπισκόπησης, επισημαίνονται τα εξής:

- Ενδείκνυται η χρήση του συνδυασμού φασματικών καναλιών (7,6,5) για διάκριση των χρήσεων γης και των καλλιεργειών (κωνοφόρα, χλόη και καλλιέργειες, άγονα εδάφη)
- Ενδείκνυται η χρήση του συνδυασμού φασματικών δεικτών (MSR705, R31, WV-II) για σκιαγράφηση σε μεγάλο βαθμό το υδρογραφικού δικτύου της περιοχής λόγω της έντονης αντίθεσης που παρουσιάζει η παρόχθια βλάστηση

Σε ότι αφορά την υπεδαφική διερεύνηση με την γεωφυσική διασκόπηση, επισημαίνονται:

1. Αλλουβιακές αποθέσεις: φιλοξενούν τον φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα, μέσο πάχος 11 m
2. Στρώμα αργίλου: αδιαπέρατος σχηματισμός, μέσο πάχος 32 m, υπέρκειται των ιζημάτων της επίκλυσης
3. Ιζήματα επίκλυσης: υδροφορία (αρτεσιανή κατά θέσεις), υπέρκειται της παλαιοεπιφάνειας που αποτελούν οι Νεογενείς σχηματισμοί

Μετά από στατιστική ανάλυση των παχών των δύο στρωματογραφικών ενοτήτων που αποτελούν τις αποθέσεις του Δέλτα καθώς και του λόγου τους αναφέρουμε τα εξής:

- Μεγάλα πάχη αλλουβιακών αποθέσεων στο κεντρικό τμήμα της δελταϊκής πεδιάδας σε περιοχές με συχνά πλημμυρικά φαινόμενα. Μικρές τιμές πάχους έχουμε στη θέση των παλιών αποκομμένων μαιάνδρων, στις σημερινές εκβολές καθώς και στις παλιές εκβολές βόρεια από τον οικισμό Στόμιο.
- Οι μικρές τιμές πάχους του στρώματος της αργίλου παράλληλα στις παρυφές της Όσσας, στο δυτικό τμήμα στην περιοχή βόρεια του οικισμού Ομολίου και στα βόρεια στον οικισμό Παλιομάννα. Μεγάλα πάχη εμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα του Δέλτα στις σημερινές εκβολές και εσωτερικότερα στον οικισμό Κουλούρα.
- Ο λόγος Πάχος Αργίλου/Πάχος Αλλουβίων παίρνει τις μέγιστες τιμές του στις περιοχές των σημερινών και των παλιών εκβολών (στο Στόμιο) καθώς και πιο βόρεια στην περιοχή Παλιομάννα που έχουμε την εμφάνιση του μεγάλου αριθμού των αποκομμένων μαιάνδρων.

**Λέξεις Κλειδιά:** WorldView-2, πολυφασματική επεξεργασία, λόγοι καναλιών, ηλεκτρομαγνητική, διασκόπηση, TEM

## EXTENDED ABSTRACT

This master's thesis refers to the research carried out in the deltaic area of the Pinios River in the framework of two research programs of the Department of Geology and Geoenvironment. The title of the thesis is: INVESTIGATION OF THE PHYSICAL-GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF THE PINIOS RIVER DELTAIC PLAIN (THESSALY) WITH REMOTE SENSING TECHNIQUES (NEAR SURFACE GEOPHYSICS - SATELLITE IMAGE PROCESSING).

The first objective of the thesis, regarding the surface investigation of the area, was to identify the appropriate combination of spectral bands / spectral indices to highlight various biotic / abiotic characteristics of the deltaic plain. For this purpose, we used a very high resolution WorldView-2 image, acquired on 27/07/2013. The multispectral imagery was at 2 m resolution and the panchromatic imagery was at 50 cm resolution. The processing of WorldView-2 satellite images was performed with the *ERDAS Imagine 2014* software. As a result, six false color composites of the area were produced combining spectral channels and additional five false color composites by combining several spectral indices.

The second objective, regarding the subsurface survey, was to calculate the thickness of deltaic deposits with geophysical survey. A total of 127 Transient Electromagnetic (TEM) soundings were carried out using *ABEM's* electromagnetic device *WalkTEM* and *ViewTEM* software for data processing. The evaluation of the geophysical data was completed with the assistance of available drilling data from Institute of Geology and Mineral Exploration (I.G.M.E.). The next step for data management, better visualization and comprehension was *RockWorks15* software, with popular tools such as logs, solid models, cross sections and fence diagrams.

The presentation of the final results was done in both two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) environment using the ESRI's Geographic Information System, *ArcGIS Pro*. Several maps were constructed regarding the distribution of the lithological units of the area and the thickness of the deltaic deposits. Also, a statistical analysis was performed for each lithological unit and the ratio between them was also calculated.

Regarding the surface investigation of the area we came up with the following conclusions:

- It is advisable to use the combination of spectral channels (7,6,5) to distinguish between land uses and crops (conifers, grass and crops, barren soils)
- It is advisable to use the combination of spectral indices (MSR705, R31, WV-II) to greatly outline the hydrographic network of the area due to the strong contrast of the riparian vegetation.

Regarding the subsurface survey, the following conclusions are reached:

1. Alluvial deposits: The average thickness of the formation is 11 m and is hosting the shallow unconfined aquifer. It was formed during the growth of Pinios Delta that began 4-5.000 years BP
2. Clay layer: Impermeable formation with average thickness 32 m, basically represents the pro-deltaic fine-grained deposits of the emerging delta during the Upper Holocene
3. Transgressive deposits: They are consisted mainly of sands and gravels with small amount of clay. The formation is hosting an aquifer, artesian in places, and overlays the Neogene formations which can be considered as the paleosurface during the last glacial period (sea level was 120-130 meters below present-day sea level).

From the statistical analysis of the thickness of each lithological unit of the Deltaic area as well as their ratio the following conclusions were drawn:

- Alluvial deposits: High values of thickness limited to the central part of the deltaic plain in areas with frequent flooding and small values of thickness in the area north in the deltaic plain where many oxbow lakes are present, in the area of the present estuary as well as in the old estuary area, north of the Stomio settlement
- Small thickness values of clay formation mainly in the southern part of the deltaic area near Ossa mountain's slopes, in the western part in the deltaic area north of the settlement of Omolio and in the north in Paliomana settlement. High values of thickness appear in the eastern part of the Pinios Deltan, at the present estuary area and inland around Kouloura settlement.

The Clay Formation Thickness/Alluvial deposits Thickness ratio gets its maximum values in the areas of the present and the old estuaries (Stomio settlement) as well as further north in the area of Paliomana settlement and the area north with the large number of oxbow lakes.

**Keywords:** WorldView-2, multispectral processing, band ratios, electromagnetic, exploration technique, TEM

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
1.1	Αντικείμενο μελέτης.....	4
1.2	Διάρθρωση περιεχομένου .....	5
<b>2</b>	<b>Θεωρητικό πλαίσιο</b> .....	<b>7</b>
2.1	Υδάτινο οικοσύστημα .....	7
2.2	Τηλεπισκόπηση .....	9
2.2.1	Χαρακτηριστικά δεδομένων τηλεπισκόπησης.....	11
2.2.2	Βασικά στάδια επεξεργασίας.....	11
2.2.3	Worldview-2.....	14
2.2.4	Μετασχηματισμοί πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων .....	17
2.2.5	Φασματικοί Δείκτες .....	18
2.3	Γεωφυσική Διασκόπηση.....	19
2.3.1	Βασικές αρχές και τεχνικές μέτρησης .....	19
2.3.2	Μετρητικές Διατάξεις .....	21
2.3.3	Διάχυση ρεύματος και ευαισθησία σε ομογενές ημιχώρο .....	22
2.3.4	Πυκνότητες ρεύματος σε στρωματοποιημένους ημιχώρους.....	23
2.3.5	Φυσικός θόρυβος και διακριτική ικανότητα.....	24
2.3.6	Ανθρωπογενής θόρυβος .....	25
2.3.7	Βάθος διείσδυσης.....	27
<b>3</b>	<b>Περιοχή μελέτης</b> .....	<b>29</b>
3.1	Γεωλογία .....	31
3.1.1	Λιθολογία.....	31
3.1.2	Τεκτονική .....	34
3.1.3	Γεωμορφολογία .....	36
3.2	Κλιματικές συνθήκες.....	42
3.3	Υδρογεωλογία .....	44
3.3.1	Παροχές .....	44
3.3.2	Υδροφόροι ορίζοντες .....	46



4	<b>Συλλογή δεδομένων – Μεθοδολογία</b> .....	51
4.1	Δεδομένα Τηλεπισκόπησης .....	51
4.1.1	Ατμοσφαιρική Διόρθωση.....	52
4.1.2	Συγχώνευση των δορυφορικών εικόνων .....	55
4.1.3	Γεωμετρική Διόρθωση - Ορθοαναγωγή.....	56
4.1.4	Υπολογισμός φασματικών δεικτών .....	57
4.2	Γεωφυσική διασκόπηση.....	61
4.2.1	Ποσοτική επεξεργασία – Αξιολόγηση δεδομένων .....	64
4.2.2	Διαχείριση – Παρουσίαση γεωφυσικών παραμέτρων.....	67
5	<b>Αποτελέσματα – Συζήτηση</b> .....	72
5.1	Επιφανειακή διερεύνηση.....	72
5.2	Υπεδαφική διερεύνηση.....	76
6	<b>Συμπεράσματα</b> .....	91
	Βιβλιογραφία .....	96
	Παράρτημα.....	111

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα Δέλτα φιλοξενούν μερικά από τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα του κόσμου, καθώς και ποικίλη χλωρίδα και πανίδα, και αποτελούν εξαιρετικά δυναμικές γεωμορφές διαμορφωμένα από τις ποτάμιες και παράκτιες πλημμύρες (Woodroffe *et al.*, 2006; Day *et al.*, 2007; Syvitski and Saito, 2007; VanKoningsveld *et al.*, 2008). Χαρακτηρίζονται ως τα πιο πλουτοπαραγωγικά αλλά και ευαίσθητα οικοσυστήματα και για αυτό τον λόγο παρουσιάζουν μια τεράστια πρόκληση για τους ανθρώπους εν μέσω της παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής. Οι πιθανές απειλές όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η καθίζηση προέρχονται τόσο από τις περιβαλλοντικές αλλαγές όσο και από την ανθρώπινη παρέμβαση (Syvitski *et al.*, 2009; Paola *et al.*, 2011). Η κατανόηση της δυναμικής του καναλιού του Δέλτα είναι απαραίτητη για την απόκτηση γνώσεων σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τα δελτία ανταποκρίνονται στις περιβαλλοντικές αλλαγές, καθώς τα κανάλια ελέγχουν τη διανομή του νερού, των ιζημάτων και των θρεπτικών ουσιών (Liang *et al.*, 2016).

Η εξέλιξη των μεγαλύτερων δελταϊκών και παράκτιων αποθετικών συστημάτων στην Ελλάδα έχει μελετηθεί σχετικά εκτενώς (Ghilardi *et al.*, 2008; Maroukian & Karymbalis, 2004; Papadopoulos, 2009; Piper *et al.*, 1990; Piper & Panagos, 1981; Poulos & Chronis, 1997; Psilovikos *et al.*, 1988; Vott *et al.*, 2007).

Οι δελταϊκοί υδροφόροι ορίζοντες είναι πολύπλοκοι λόγω της σημαντικής ετερογένειας που παρουσιάζουν στην δομή τους και στην υδρογεωλογία τους (Torres-Rondon *et al.*, 2013). Ελέγχονται κυρίως από την εξέλιξη της τεκτονο-ιζηματογενούς λεκάνης, την κατανομή των χονδρόκοκκων-λεπτόκοκκων υλικών (Porebski and Steel, 2006), του κλίματος, των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (Gregory *et al.*, 1995) και την διείσδυση αλμυρού νερού (Reilly and Goodman, 1985). Ο γεωλογικός και υδρογεωλογικός χαρακτηρισμός είναι δύσκολος όταν είναι διαθέσιμες ελάχιστες πληροφορίες, αλλά είναι κρίσιμος για τα προβλήματα υφαλμύρινσης καθώς η κυκλοφορία του θαλασσινού νερού ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από την ετερογένεια των υπεδάφους (Held *et al.*, 2005). Ανά την υφήλιο, οι παράκτιοι υδροφορείς αντιμετωπίζουν σημαντική ποιοτική υποβάθμιση εξαιτίας του φαινομένου της θαλάσσιας διείσδυσης (El-Bihery and Lachmar, 1994; Pulido-Bosch *et al.*, 1999; Don *et al.*, 2006; Song *et al.*, 2007; Kouzana *et al.*, 2009; Lin *et al.*, 2009; Werner, 2010; Sherif *et al.*, 2012; Arslan, 2013; Sefelnasr & Sherif, 2014). Η θαλάσσια διείσδυση αποτελεί μια ειδική περίπτωση ρύπανσης των παράκτιων υπόγειων υδροφόρων συστημάτων καθώς η ανάμειξη έστω και μικρού όγκου, της τάξης του 2-3%, θαλασσινού νερού με το γλυκό το καθιστούν ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση (Abd-Elhamid & Javadi, 2011). Στις περιοχές στις οποίες αναπτύσσονται παράκτιοι υδροφορείς ζουν περίπου τα 2/3 του παγκόσμιου πληθυσμού (Singh, 2013). Η Ελλάδα δεν αποτελεί εξαίρεση, καθώς το φαινόμενο είναι αρκετά εκτεταμένο εξαιτίας της μακράς ακτογραμμής

που γειτνιάζει με σημαντικά και συχνά υδραυλικά ανοικτά (προσχωσιγενή και καρστικά) παράκτια υδροφόρα συστήματα, τα οποία υφίστανται μη ορθολογική εκμετάλλευση (Petalas & Diamantis, 1999; Lambrakis & Kallergis, 2001; Stamatis *et al.*, 2001; Kallioras *et al.*, 2006; Bathrellos *et al.*, 2008; Papatheodorou *et al.*, 2007; Daskalaki & Voudouris, 2008; Duriez *et al.*, 2008; Kopsiaftis *et al.*, 2009; Petalas *et al.*, 2009; Han *et al.*, 2011; Dokou & Karatzas, 2012; Vafidis *et al.*, 2014).

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι υδρογεωλογικές πληροφορίες συμπληρώνονται ολοένα και περισσότερο με γεωφυσικές πληροφορίες που επιτρέπουν μια ακριβέστερη θεώρηση του υδροφόρου συστήματος (Schwinn and Tezkan, 1997; Unsworth *et al.*, 2000; Krivochieva and Chouteau 2003; Meju *et al.*, 2003; Kafri and Goldman 2005; Pedersen *et al.*, 2005; Guerin, 2005; Mota and Monteiro dos Santos, 2006; Falgàs *et al.*, 2011). Αυτού του είδους οι μελέτες έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη του κλάδου της υδρογεωφυσικής (Rubin and Hubbard, 2005), στην οποία χρησιμοποιούνται γεωφυσικές μέθοδοι για τη χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών του υδροφόρου ορίζοντα, την εκτίμηση ιδιοτήτων του και την παρακολούθηση διακριτών δυναμικών διεργασιών, όπως η διαφυγή στη ζώνη vadose, η κατεύθυνση ροής, η διείδυση θαλασσινού νερού και η μεταφορά ρύπων.

Γεωφυσικές διασκοπήσεις έχουν πραγματοποιηθεί σε πολλές δελταϊκές περιοχές ανά τον κόσμο (Louis *et al.*, 2004, Martínez J. *et al.*, 2009, Koutsios *et al.*, 2010; Gkioungkis *et al.*, 2011; Tran *et al.*, 2012; Khalil *et al.*, 2014; Shaaban *et al.*, 2016; Ibraheem *et al.*, 2016). Ειδικά η Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος Παροδικών Πεδίων (Transient Electromagnetic Method - TEM) έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές και για τον εντοπισμό του βάθους και της αγωγιμότητας υφάλμυρων υδάτων σε παράκτιους υδροφόρους (Stewart, 1982; Fitterman and Stewart, 1986; Mills *et al.*, 1988; McNeill, 1990; Spies and Frischknecht, 1991; Goldman and Neubauer, 1994; Auken *et al.*, 2003; Kafri and Goldman, 2005; Nielsen *et al.*, 2007; d'Ozouville *et al.*, 2008; Samsudin *et al.*, 2008; Tran *et al.*, 2012).

Στην ευρύτερη περιοχή του δελταϊκού πεδίου του Πηνειού ποταμού, στη Θεσσαλία και στα πλαίσια της εφαρμοσμένης γεωπεριβαλλοντικής έρευνας των έργων ΘΑΛΗΣ/ΕΚΠΑ (MIS 375908, «Διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα ποτάμια Δέλτα. Εφαρμογή στην περίπτωση του Δέλτα του ποταμού Πηνειού (Θεσσαλίας)» και AGROCLIMA (11ΣΥΝ\_3\_1913) ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ – ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ, αναπτύχθηκε εκτεταμένη γεωφυσική διασκόπηση με την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής μεθόδου κατακόρυφης μεταβολής της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης (VES) και της ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου παροδικών πεδίων (TEM). Η γεωηλεκτρική και η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος που εφαρμόστηκαν, θεωρούνται από τις πλέον κατάλληλες γεωφυσικές τεχνικές στην υδρογεωλογική έρευνα και στην έρευνα υποβάθρου, ιδιαίτερα σε πεδία ιζηματογενών λεκανών με επάλληλες λιθολογίες (Αλεξόπουλος, 1998; Alexoroulos *et al.*, 2007;

Αλεξόπουλος κ.ά., 2008; Papadopoulos *et al.*, 2008; Δίλαλος, 2009; Alexopoulos and Dilalos, 2010; Alexopoulos *et al.*, 2013; Alexopoulos *et al.*, 2019).

Η χρήση και η εφαρμογή τεχνικών και μεθόδων τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με δεδομένα πεδίου και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες ερευνητικές, εμπορικές ή γεωργικές εφαρμογές (Parcharidis *et al.*, 2000; Matthew *et al.*, 2000; Dalezios *et al.*, 2001; Φιλίντας, 2005; 2006α; 2006β; Hatzopoulos, 2008; Filintas *et al.*, 2008a; Φιλίντας και Ντιούδης, 2008; DigitalGlobe, Inc., 2009b; Karnieli *et al.*, 2010; Marchisio *et al.*, 2010; Filintas *et al.*, 2010; Φιλίντας, 2011; Stamatis *et al.*, 2011; DigitalGlobe, Inc., 2013c). Επιπλέον, έχει χρησιμοποιηθεί σε δασικές εφαρμογές καθώς και πολιτικής προστασίας από πυρκαγιές, πλημμύρες, κλπ (Parcharidis *et al.*, 2000; Christakopoulos *et al.*, 2006; Christakopoulos *et al.*, 2007; Χατζόπουλος, 2011; 2012) και για διάφορους άλλους σκοπούς (Φουμέλης και Βασιλάκης, 2004; Poscolieri *et al.*, 2005; Alexopoulos *et al.*, 2007; Stournaras *et al.*, 2007; Stamatis *et al.*, 2011; Φιλίντας, 2011; Χατζόπουλος, 2011; Filintas *et al.*, 2013).

Πληθώρα επιστημονικών μελετών και εφαρμογών έχει πραγματοποιηθεί σε αντικείμενα που σχετίζονται με τη γεωργία, όπως η αναγνώριση καλλιεργειών με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων διαφόρων διακριτικών, φασματικών, χωρικών και ραδιομετρικών χαρακτηριστικών (Clough and Kneizys, 1979; Clough *et al.*, 1981; Berk *et al.*, 1989; Clough *et al.*, 1992; Rothman *et al.*, 1992; Snell *et al.*, 1995; Clough and Iacono, 1995; Berk *et al.*, 1998; Rothman *et al.*, 1998; Berk *et al.*, 2000; Clough *et al.*, 2005; Φιλίντας, 2005; 2006α; 2006β; Christakopoulos *et al.*, 2006; Φιλίντας, 2011; Χατζόπουλος, 2011; Filintas *et al.*, 2013; Filintas, 2013).

Τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης έναντι των άλλων μεθόδων συλλογής δεδομένων και κυρίως αυτών που χρησιμοποιούν μόνο εργασία υπαίθρου (Φιλίντας, 2005; Sabins, 2007; Lillesand *et al.*, 2007; Hatzopoulos, 2008; Φιλίντας, 2011; Lillesand *et al.*, 2015) είναι τα εξής:

- Η ικανότητα χωρικής αντίληψης (spatial comprehensiveness)
- Η γρήγορη κάλυψη διαφόρων περιοχών (fast coverage) και η σύγκριση μεταξύ δεδομένων (comparability of data)
- Η συνοπτική απεικόνιση (synoptic views)
- Η δυνατότητα διαχρονικών λήψεων (multitemporal images)
- Η λήψη των εικόνων σε πολλές ζώνες (κανάλια) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (πολυφασματικές λήψεις - multispectral images).

## 1.1 Αντικείμενο μελέτης

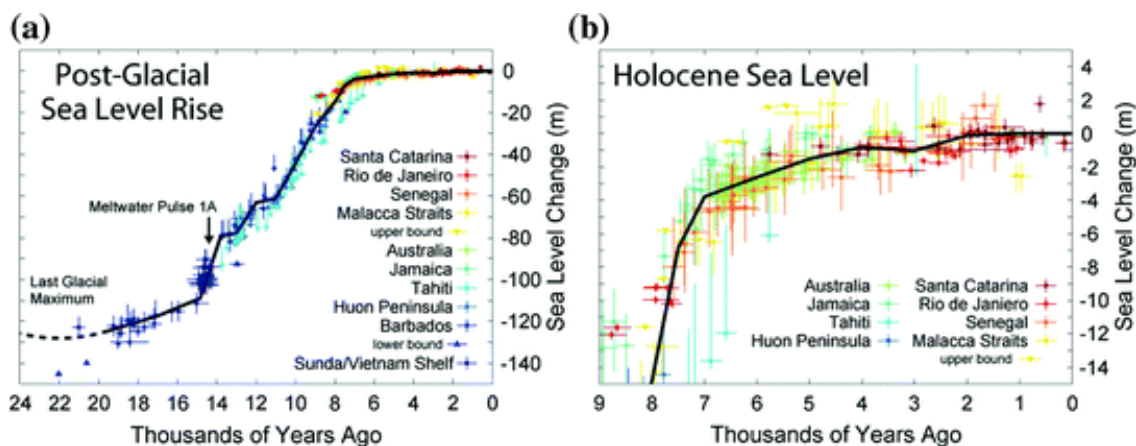
Η στάθμη της θάλασσας καθορίζεται από τη θέση της επιφάνειας της θάλασσας σε σχέση με αυτή της παρακείμενης χέρσου. Η αλλαγή της θαλάσσιας στάθμης είναι το μέτρο της σχετικής μετατόπισης των δύο αυτών επιφανειών και αποτελεί το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα του ευστατισμού, της ισοστασίας και του τεκτονισμού (Lambeck 1995, 2002; Lambeck & Purcell, 2005).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η τελευταία απότομη πτώση της στάθμης της θάλασσας, περίπου -40m σε λιγότερο από 2kyr, έγινε πριν από 30cal kyr BP (calibrated kilo years Before the Present) κατά την έναρξη του μεγίστου της τελευταίας παγετώδους περιόδου (LGM: Last Glacial Maximum). Ακολούθησε μία αργή πτώση (Lambeck *et al.*, 2014) και κατά τη διάρκεια LGM (Last Glacial Maximum), μεταξύ 26.5 και 19cal kyr BP, το παγκόσμιο επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης βρισκόταν περίπου 130 m χαμηλότερα από το σημερινό (Clark *et al.*, 2009) και ο μέγιστος όγκος του ηπειρωτικού πάγου ήταν περίπου  $52 \times 10^6 \text{ km}^3$  μεγαλύτερος από σήμερα (Lambeck *et al.*, 2014). Κατά τη διάρκεια των παγετωδών περιόδων, οι οποίες σχετίζονται με τις ταπεινώσεις της στάθμης της θάλασσας, εκτεταμένες ηπειρωτικές τράπεζες χέρσευσαν και εκτέθηκαν σε διαβρωτικές διαδικασίες, κυρίως ποταμών και ανέμων.

Κατά την εμφάνιση της τελευταίας μεσοπαγετώδους περιόδου, οι κλιματικές αλλαγές σε συνδυασμό με την τήξη των παγετώνων, συντέλεσαν σε μια σταδιακή άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Σύμφωνα με το μοντέλο των Lambeck & Purcell (2005), στο Αιγαίο, κατά τη διάρκεια της LGM, η στάθμη της θάλασσας βρισκόταν περίπου στα 110 έως 130 m χαμηλότερα από τη σημερινή. Πριν από 18 kyr η στάθμη της θάλασσας είχε αυξηθεί μόλις ~10-15 m, στα 10 kyr BP η στάθμη της θάλασσας ποικίλει από -44 έως -60 m, στα 6 kyr BP από -2 έως -8 m και τέλος στα 2 kyr BP από -1 έως -1.7 m. Η περίοδος αυτή είναι γνωστή ως Φλάνδρια Επίκλυση (Flandrian transgression) και οι διάφορες στάθμες παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.1.

Με την αύξηση της σχετικής θαλάσσιας στάθμης και τη μετανάστευση της ακτογραμμής προς την ενδοχώρα γίνεται η απόθεση των ιζημάτων της επίκλυσης (transegressive deposits). Οι αποθέσεις μπορεί να είναι πλήρως θαλάσσιες, εκβολών/λιμνοθάλασσας ή ποτάμιες. Μπορεί να περιλαμβάνουν άλλες φάσεις, όπως αιολικές αποθέσεις, με διαφοροποιήσεις που οφείλονται σε αλλαγές στον ρυθμό αύξησης της στάθμης της θάλασσας, στην παροχή ιζημάτων, στον χαρακτήρα της υφής των ιζημάτων, στην κλίση της υφαλοκρηπίδας ή τη φυσιογραφία λεκάνης (Cattaneo & Steel, 2003).

Όταν ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης αρχίζει να μειώνεται ξεκινάει η προέλαση του Δέλτα και η απόθεση των δελταϊκών αποθέσεων.



Εικόνα 1.1 Διάγραμμα μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης μετά την τελευταία παγετώδη περίοδο (αριστερά) και κατά το Ολόκαινο (δεξιά) (Wright, *et al.*, 2019).

Η παρούσα εργασία έχει δύο στόχους. Ο πρώτος στόχος αφορά την επιφανειακή διερεύνηση της περιοχής με τον εντοπισμό του κατάλληλου συνδυασμού φασματικών καναλιών/δεικτών για ανάδειξη διάφορων βιοτικών/αβιοτικών χαρακτηριστικών με δορυφορικές εικόνες. Ο δεύτερος στόχος αφορά την ανάδειξη της υπεδαφικής λιθολογικής δομής και του πάχους των δελταϊκών αποθέσεων με γεωφυσικές διασκοπήσεις.

## 1.2 Διάρθρωση περιεχομένου

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Εισαγωγή) γίνεται αναφορά στα δελταϊκά συστήματα. Αναφέρονται παραδείγματα εφαρμογής των μεθόδων έρευνας που χρησιμοποιήθηκαν και αναλύονται σε αυτή την εργασία καθώς και τα πλεονεκτήματα χρήσης των μεθόδων τηλεανίχνευσης σε τέτοια γεωπεριβάλλοντα. Καθορίζονται επίσης οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας ειδίκευσης.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Θεωρητικό πλαίσιο) αναφέρονται συνοπτικά οι ορισμοί διάφορων χαρακτηριστικών ενός υδάτινου οικοσυστήματος και ορισμένοι τρόποι ταξινόμησης των ποτάμιων Δέλτα. Ακολουθεί η θεωρητική θεμελίωση της Τηλεπισκόπησης και της Ηλεκτρομαγνητικής Διασκόπησης Παροδικών Πεδίων.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Περιοχή Μελέτης) περιγράφονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής όπως η λιθολογία και η τεκτονική. Αναλυτικά περιγράφονται οι γεωμορφές που απαντώνται στη δελταϊκή περιοχή. Γίνεται επίσης αναφορά στις σύγχρονες κλιματικές συνθήκες που επικρατούν και στην υδρογεωλογία της περιοχής του Δέλτα.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Συλλογή δεδομένων - Μεθοδολογία) περιγράφεται αρχικά η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε στην επεξεργασία και στον τρόπο διαχείρισης των δορυφορικών δεδομένων. Παρατίθεται επίσης η διαδικασία λήψης των γεωφυσικών

μετρήσεων στις εργασίες υπαίθρου καθώς και ποσοτική ερμηνεία και αξιολόγηση των ηλεκτρομαγνητικών βαθοσκοπήσεων.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Αποτελέσματα - Συζήτηση) παρουσιάζονται τα ερευνητικά αποτελέσματα. Αρχικά παρατίθενται εκείνα της επιφανειακής επισκόπησης και στην συνέχεια της υπεδαφικής δομής.

Στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Συμπεράσματα) ακολουθεί η αξιολόγηση και η αποτίμηση των αποτελεσμάτων και παρατίθενται τα συμπεράσματα.

Τέλος, η παρούσα εργασία ολοκληρώνεται στο παράρτημα με τις χαρτογραφικές συνθέσεις δορυφορικών εικόνων που αποτελούν συνδυασμούς είτε φασματικών καναλιών είτε φασματικών δεικτών.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν βασικά στοιχεία των δελταϊκών συστημάτων, της ηλεκτρομαγνητικής διασκόπησης παροδικών πεδίων και της τηλεπισκόπησης με ανάλυση δορυφορικών εικόνων.

### 2.1 Υδάτινο οικοσύστημα

Τα Δέλτα δεν είναι αυτόνομες γεωμορφές αλλά αποτελούν τμήμα ενός ποτάμιου συστήματος και για την αρτιότερη μελέτη του θα πρέπει πέρα από την δελταϊκή πεδιάδα να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση και στην λεκάνη υποδοχής (εν προκειμένω ο Θερμαϊκός κόλπος), αλλά και στην λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο.

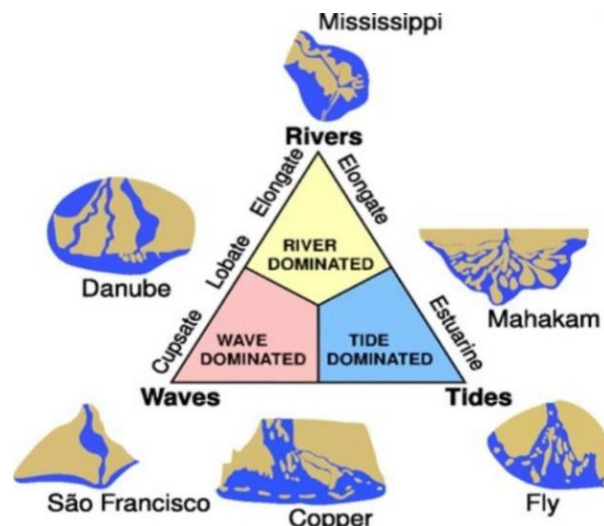
Η Ευρωπαϊκή Ένωση, κατανοώντας τη σημασία της προστασίας και διατήρησης του υδάτινου περιβάλλοντος προχώρησε στη διαμόρφωση μιας Οδηγίας Πλαισίου που θα θεσπίζει τις βασικές αρχές μιας βιώσιμης πολιτικής των υδάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων ή αλλιώς Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά, τέθηκε σε ισχύ στις 22 Δεκεμβρίου 2000. Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ συνδυάζει ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων και θέτει ως κεντρική ιδέα την ολοκληρωμένη διαχείριση τους στη γεωγραφική κλίμακα των Λεκανών Απορροής Ποταμών. Επιπλέον, επαναπροσδιορίζει την έννοια της Λεκάνης Απορροής, η οποία περιλαμβάνει τα εσωτερικά επιφανειακά (ποταμοί, λίμνες), τα υπόγεια ύδατα, τα μεταβατικά (δέλτα, εκβολές ποταμών) και τα παράκτια οικοσυστήματα.

- ✓ Επιφανειακά ύδατα: τα εσωτερικά ύδατα, εκτός των υπόγειων υδάτων· τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα, εκτός εάν πρόκειται για τη χημική τους κατάσταση, οπότε περιλαμβάνουν και τα χωρικά ύδατα.
- ✓ Υπόγεια ύδατα: το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος.
- ✓ Εσωτερικά ύδατα: το σύνολο των στάσιμων ή των ρέοντων επιφανειακών και όλα τα υπόγεια ύδατα που βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς σε σχέση με τη γραμμή βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων.
- ✓ Ποταμός: σύστημα εσωτερικών υδάτων το οποίο ρέει, κατά το πλείστον, στην επιφάνεια του εδάφους αλλά το οποίο μπορεί, για ένα μέρος της διαδρομής του, να ρέει και υπογείως.
- ✓ Μεταβατικά ύδατα: συστήματα επιφανειακών υδάτων πλησίον του στομίου των ποταμών τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γειτνίασης τους με παράκτια ύδατα αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού.



- ✓ Παράκτια ύδατα: τα επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται στην πλευρά της ξηράς μιας γραμμής, κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς την θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων και τα οποία, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών υδάτων.
- ✓ Υδροφόρος ορίζοντας: υπόγειο στρώμα ή στρώματα βράχων ή άλλες γεωλογικές στοιβάδες επαρκώς πορώδεις και διαπερατές ώστε να επιτρέπουν είτε σημαντική ροή υπόγειων υδάτων είτε την άντληση σημαντικών ποσοτήτων υπόγειων υδάτων.
- ✓ Λεκάνη απορροής ποταμού: η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω διαδοχικών ρεμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα ή σε λίμνη με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή Δέλτα.

Σύμφωνα με τον Galloway, 1975 όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 2.1 η ταξινόμηση των Δέλτα γίνεται βάσει των τριών κύριων διεργασιών διαμόρφωσής τους, που είναι η ποτάμια τροφοδοσία, η κυματική ενέργεια και οι παλίρροιες, με την παραδοχή ότι δεν υπάρχουν ανθρωπογενείς επεμβάσεις στο Δέλτα, στον ποταμό και στη λεκάνη απορροής που θα μπορούσαν να διαταράξουν την υπάρχουσα σχέση ανάμεσα στην μεταφορική ικανότητα του ποταμού και στις θαλάσσιες διεργασίες στις εκβολές του. Τα περισσότερα Δέλτα του ελλαδικού χώρου ταξινομούνται μεταξύ αυτών που κυρίαρχη διεργασία είναι η ποτάμια τροφοδοσία και αυτών που κυριαρχεί ο κυματισμός ενώ η επίδραση της παλίρροιας είναι αμελητέα εξαιτίας του μικρού εύρους της γενικά κατά μήκος των ελληνικών ακτών.



Εικόνα 2.1 Σχηματική ταξινόμηση των ποτάμιων Δέλτα κατά Wright & Coleman (1975) με βάση την κύρια διεργασία διαμόρφωσής τους.

Οι Wright & Coleman (1973) συγκρίνοντας 16 μεγάλα Δέλτα κατέληξαν ότι το πιο ποτάμιας κυριαρχίας Δέλτα είναι του Μισισσιπιπή και του Σαν Φρανσίσκο το πιο ελεγχόμενο από

τα κύματα. Το Δέλτα του ποταμού Φλάι στην Νέα Γουινέα διαμορφώνεται κυρίως από τις παλίρροιες.

## 2.2 Τηλεπισκόπηση

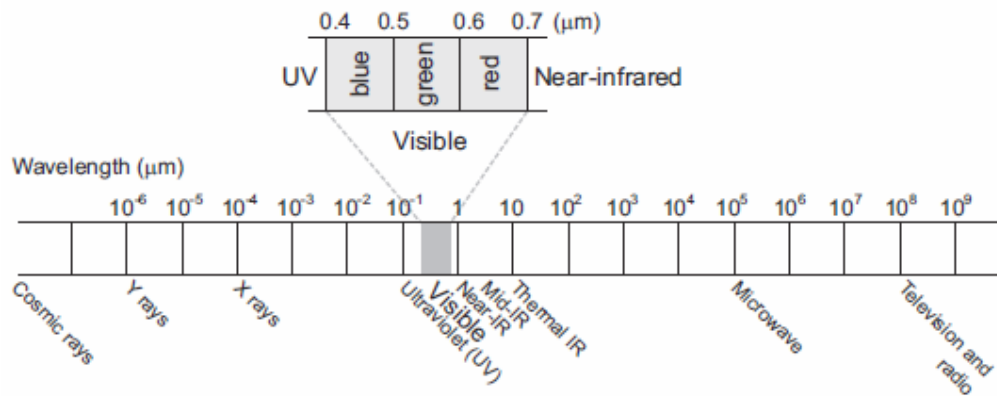
Η *Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing)* είναι η επιστήμη της παρατήρησης και της μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή και της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται από κάθε σώμα, το οποίο έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από  $-273^{\circ}\text{C}$  (ή  $0^{\circ}\text{K}$ ), δηλαδή το απόλυτο μηδέν (Κοpecny, 2003). Η ακτινοβολία αυτή αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος που εξαρτάται από την απόλυτη θερμοκρασία του σώματος (Vassilakis, 2008) που ονομάζεται *φασματική υπογραφή*. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.2. Οι ακτινοβολίες αυτές μπορούν να καταγραφούν από αεροπλάνα ή δορυφόρους, που χρησιμοποιούν ως δέκτες κλασικά όργανα, τη φωτογραφική μηχανή, ή νεότερες τεχνικές όπως είναι ο ηλεκτρομηχανικός σαρωτής.

Για κάθε *εικονοστοιχείο (pixel)* που αντιστοιχεί σε μία ορισμένη έκταση της επιφάνειας της γης, οι μετρήσεις αυτές στην Τηλεπισκόπηση αντιστοιχούν σε διάφορα μήκη κύματος. Όσα *εικονοστοιχεία*, τοποθετημένα με χωρική συνέχεια, αντιστοιχούν στην ευρύτερη περιοχή σάρωσης και καταγράφονται στο ίδιο μήκος κύματος, δημιουργούν μια «*φασματική ζώνη*» (ή *φασματικό κανάλι*) που με τη σειρά του είναι το ένα από τα πολλά *φασματικά κανάλια* που συνθέτουν μία δορυφορική εικόνα. Μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα αποτελείται ουσιαστικά από πολλές εικόνες μιας περιοχής στην επιφάνεια της Γης, οι οποίες έχουν ληφθεί την ίδια χρονική στιγμή, αλλά σε διαφορετικά μήκη κύματος (Περάκης κ.ά, 2015).

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης τα οποία καταγράφουν την ενέργεια που είναι φυσικά διαθέσιμη ονομάζονται *παθητικοί αισθητήρες (passive sensors)*. Οι *παθητικοί αισθητήρες (οπτικά συστήματα)* μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να ανιχνεύσουν μόνο την ενέργεια που είναι φυσικά διαθέσιμη και ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης. Η με φυσικό τρόπο εκπεμπόμενη ενέργεια (θερμικό υπέρυθρο) μπορεί να καταγραφεί ημέρα ή νύχτα και εφόσον το ποσό της ενέργειας είναι τέτοιο ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή (Sabins, 1978; Sabins, 2007; Hatzopoulos, 2008; Lillesand *et al.*, 2007; Φιλίντας, 2011; Χατζόπουλος, 2011; Σπυρόπουλος, 2012; Lillesand *et al.*, 2015).

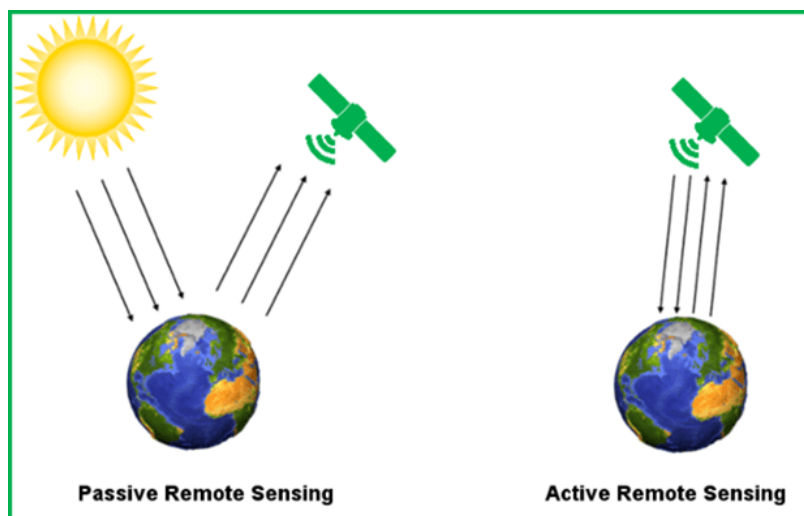
Οι δυνατότητες συλλογής πληροφοριών από τους οπτικούς δορυφόρους, περιορίζονται από τα εξής δεδομένα:

- i. Κατά τη διάρκεια της νύκτας δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία και έτσι δεν υπάρχει δυνατότητα λήψης εικόνων στο ορατό και το ανακλώμενο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
- ii. Η ορατή και η υπέρυθρη ακτινοβολία δεν μπορεί να διαπεράσει τα σύννεφα.



Εικόνα 2.2 Το εύρος τιμών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος σε σχέση με το ορατό τμήμα του (Kerle *et al.*, 2001)

Οι ενεργοί αισθητήρες (*active sensors*), από την άλλη πλευρά, παρέχουν τη δική τους πηγή ενέργειας για φωτισμό. Ο αισθητήρας εκπέμπει ακτινοβολία που κατευθύνεται προς τον στόχο που χρειάζεται να ερευνηθεί (Εικόνα 2.3). Η ακτινοβολία αντανακλάται από το στόχο αυτό, εντοπίζεται και καταγράφεται από τον αισθητήρα. Τα πλεονεκτήματα των ενεργών αισθητήρων περιλαμβάνουν την ικανότητα να αποκτώνται μετρήσεις ανά πάσα στιγμή, ανεξάρτητα από την ώρα της ημέρας ή της καιρικής κατάστασης.



Εικόνα 2.3 Ο διαφορετικός τρόπος συλλογής δεδομένων των παθητικών αισθητήρων (αριστερά) από τους ενεργητικούς αισθητήρες (δεξιά).

Η μη σφαιρικότητα της Γης δημιουργεί μια μετάπτωση στο επίπεδο της τροχιάς του δορυφόρου, κατά μια ορισμένη γωνία κλίσης, ως προς τον άξονα περιστροφής της Γης. Γι' αυτό απαιτείται ο *ηλιοσυγχρονισμός του δορυφόρου*, δηλαδή, κατά τη διάρκεια των διαφόρων εποχών του χρόνου όπου ο ήλιος φωτίζει τα ίδια αντικείμενα αλλά υπό διαφορετική γωνία, τοποθετείται ο δορυφόρος κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι συνθήκες φωτισμού στα διάφορα περάσματά του να είναι οι ίδιες και να μην εξαρτώνται από τη σχετική θέση του ήλιου. Ως αποτέλεσμα οι δορυφόροι αυτοί ουσιαστικά περνάνε από μία περιοχή της Γης μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και πάντα σε συγκεκριμένη τοπική ώρα.

Αυτού του είδους οι δορυφόροι είναι σχεδόν πολικής τροχιάς και η κάλυψή τους είναι σχεδόν καθολική (όλη η επιφάνεια της Γης) (Περάκης κ.ά, 2015).

### 2.2.1 Χαρακτηριστικά δεδομένων τηλεπισκόπησης

Ένα σύστημα παρατήρησης της γης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η περίοδος επαναφοράς πάνω από το ίδιο μέρος, το εύρος κάλυψης, η ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας στη γη, κλπ. Το χαρακτηριστικό όμως, από το οποίο κυρίως κρίνεται ένα αναγνωριστικό σύστημα, είναι η *διακριτική ικανότητά του (resolution)*. Στην συνέχεια αναφέρονται οι τέσσερις μορφές της διακριτικής ικανότητας:

- *Χωρική Διακριτική Ικανότητα (Spatial Resolution)*: Η χωρική διακριτική ικανότητα, αποτελεί ένα σύνθετο όρο. Στην απλούστερη περίπτωση, ορίζεται ως η μικρότερη απόσταση δύο αντικειμένων στο έδαφος που μπορεί να διακριθούν το ένα από το άλλο. Όσο η διακριτική ικανότητα αυξάνει, τόσο μπορούν να εξαχθούν ακριβέστερες πληροφορίες.
- *Φασματική Διακριτική Ικανότητα (Spectral Resolution)*: Η φασματική διακριτική ικανότητα καθορίζεται από τον αριθμό των ξεχωριστών περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στα οποία μπορεί ο δέκτης να καταγράψει μια εικόνα, επομένως αντιστοιχεί στον αριθμό των φασματικών καναλιών.
- *Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα (Radiometric Resolution)*: Αυτή καθορίζεται από τον αριθμό των διαφορετικών αποχρώσεων του γκριζου (στην περίπτωση ασπρόμαυρης εικόνας) που μπορεί να απεικονίσει ο δορυφόρος.
- *Χρονική Διακριτική Ικανότητα (Temporal Resolution)*: Αυτή δεν έχει σχέση με τον τρόπο παραγωγής της εικόνας, αλλά με τη συχνότητα λήψης εικόνων σε μια περιοχή, για την παρακολούθηση κάποιου φαινομένου το οποίο εξελίσσεται.

### 2.2.2 Βασικά στάδια επεξεργασίας

Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα των δεδομένων τηλεπισκόπησης είναι το γεγονός ότι η πληροφορία βρίσκεται κωδικοποιημένη και αποθηκευμένη σε ψηφιακή μορφή. Με την ψηφιακή επεξεργασία είναι δυνατή η μετατροπή των δεδομένων και η βελτίωσή τους σε κάποιους τομείς, ανάλογα με τον τρόπο που ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που τα δεδομένα, συνήθως, διατίθενται σε σχετικά πρωτογενή μορφή, ώστε να μην αλλοιωθούν οι αρχικές τιμές που έχουν καταγραφεί από τον δορυφορικό δέκτη. Έτσι, την απόκτηση των ψηφιακών εικόνων ακολουθεί μια σειρά από διαδικασίες βασικής επεξεργασίας ή προεπεξεργασίας με σκοπό τη φασματική και χωρική διόρθωση.

#### ❖ Ατμοσφαιρική Διόρθωση

Μεταξύ δορυφορικού δέκτη και γης παρεμβάλλεται ένας αριθμός από ατμοσφαιρικά στρώματα, τα οποία αλλοιώνουν το ηλεκτρομαγνητικό σήμα. Κάθε δορυφορικός δέκτης που καταγράφει την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας και ιδιαίτερα στην ορατή και

κοντινή υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ουσιαστικά καταγράφει δύο είδη τιμών. Η πρώτη αφορά στην ανάκλαση από την επιφάνεια της γης και είναι αυτή που χρησιμεύει στην παρατήρησή της και η δεύτερη τιμή αφορά στην ανάκλαση ή διάθλαση που προκαλείται από τα στρώματα της ατμόσφαιρας. Έτσι, η τελική τιμή που καταγράφεται περιέχει το σύνολο των δύο παραπάνω τιμών (Campbell, 1996). Αν και η τεχνολογία σήμερα έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό και οι δέκτες καταγράφουν με τον καλύτερο τρόπο την ανακλώμενη ακτινοβολία, αρκετές φορές η επίδραση της ατμόσφαιρας είναι μεγάλη και ειδικότερα στα μήκη κύματος του ορατού φάσματος. Στο φάσμα του ορατού, η ατμοσφαιρική μετάδοση οφείλεται κυρίως στην απορρόφηση του όζοντος και στη μοριακή διασπορά. Για παράδειγμα, η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια στο επίπεδο θάλασσας μειώνεται κατά περίπου 14% για ξηρή και καθαρή ατμόσφαιρα, και περίπου 40% για υγρή και σκονισμένη ατμόσφαιρα (Kirk, 2010).

Η προσέγγιση της πραγματικής τιμής ανάκλασης της ακτινοβολίας έχει γίνει αντικείμενο ανάπτυξης πολλών αλγορίθμων με σκοπό την ακριβή εφαρμογή των ατμοσφαιρικών διορθώσεων στις δορυφορικές εικόνες, τα τελευταία χρόνια. Αυτή η προσέγγιση, πολλές φορές δεν είναι εφικτή, λόγω της έλλειψης των απαραίτητων στοιχείων, που απαιτούνται για την εφαρμογή του αλγόριθμου και τα οποία αφορούν την ατμόσφαιρα και τη δορυφορική λήψη για τη συγκεκριμένη ημερομηνία (Μιγκίρος κ.ά., 2003).

#### ❖ Γεωμετρική Διόρθωση

Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης περιέχουν συνήθως συστηματικά και μη συστηματικά γεωμετρικά λάθη. Τα σφάλματα αυτά μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: α) εκείνα που μπορούν να διορθωθούν χρησιμοποιώντας τα στοιχεία τροχιάς και τη γνώση της εσωτερικής διαστρέβλωσης του αισθητήρα και β) εκείνα που δεν μπορούν να διορθωθούν με την αποδεκτή ακρίβεια χωρίς έναν ικανοποιητικό αριθμό *σημείων επίγειου ελέγχου* (*Ground Control Points-GCP*) (Jensen, 1986a). Η γεωμετρική διόρθωση μιας δορυφορικής εικόνας γίνεται αναγκαστικά με βάση κάποιο σύστημα αναφοράς που επιθυμεί ο ερευνητής. Το σύστημα αναφοράς αυτό (Περάκης κ.ά., 2015):

- ή υπάρχει σε κάποιο άλλο υπόβαθρο (αναφοράς) που απεικονίζει τμήμα ή όλη την περιοχή της δορυφορικής εικόνας
- ή δημιουργείται με την πρόσβαση του χρήστη στο πεδίο (περιοχών της δορυφορικής εικόνας) και τον γεωγραφικό εντοπισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων (στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς με την χρήση GNSS) χαρακτηριστικών σημείων της περιοχής που εντοπίζονται οπτικά και στην δορυφορική εικόνα (φωτοσταθερά).

Ένα *σημείο επίγειου ελέγχου* (*GCP*) είναι ένα σημείο στην επιφάνεια της γης, το οποίο μπορεί να αναγνωρισθεί στην ψηφιακή εικόνα ως συγκεκριμένο κελί με συντεταγμένες εικόνας, που μετριοούνται σε σειρές και στήλες και σε κάποιο υπόβαθρο αναφοράς με σύστημα συντεταγμένων. Για παράδειγμα μπορεί να αναφερθούν οι διατομές σημαντικών

δρόμων, οι ακμές τεχνικών έργων, και παρόμοιες θέσεις με κοινά χαρακτηριστικά τη μη εύκολη μεταβολή τους στο χρόνο αλλά και την εύκολη διάκρισή τους στα δεδομένα τηλεπισκόπησης. Η επίτευξη ενός καλού αποτελέσματος δεν μπορεί να γίνει εάν μεγάλος αριθμός σημείων είναι συγκεντρωμένος σε λίγες περιοχές της εικόνας. Με βάση βιβλιογραφικές αναφορές λέγεται ότι για τη δημιουργία εικόνων με κλίμακα 1:250,000 ή 1:200,000 χρησιμοποιούνται 40 σημεία ελέγχου ανά σκηνή και επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται κοινά σημεία για την προετοιμασία των μωσαϊκών (Scanvic, 1997).

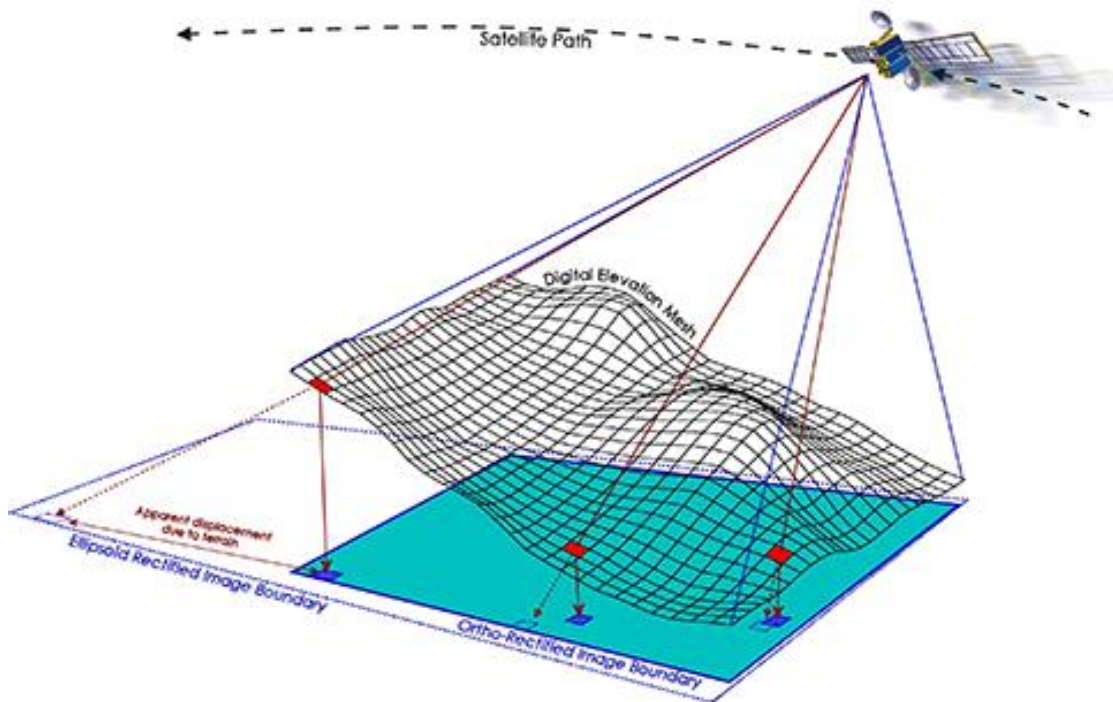
Όσον αφορά τις γεωμετρικές στρεβλώσεις που μπορούν να διορθωθούν μέσω της ανάλυσης των στοιχείων τροχιάς, των χαρακτηριστικών του αισθητήρα και μέσω της χρήσης επίγειων σημείων ελέγχου, περιλαμβάνουν την προοπτική απεικόνιση του συστήματος καταγραφής, την κίνηση του συστήματος του αισθητήρα, την κίνηση ή/και σταθερότητα της εξέδρας, την ταχύτητα και το ύψος της εξέδρας, το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας καθώς και την καμπυλότητα και την περιστροφή της Γης (Mather, 1994; Bernstein *et al.*, 1983).

Η διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης δεδομένων τηλεπισκόπησης, απαιτεί υπολογισμούς, οι οποίοι γίνονται μέσω αλγορίθμων, που συνήθως είναι ενσωματωμένοι σε λογισμικά επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων ή λογισμικά συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών. Η γεωμετρική διόρθωση γίνεται ψηφιακά και αποτελεί σύνολο από πολλές ξεχωριστές διαδικασίες, μερικές από τις οποίες είναι πολύ σύνθετες και αφορούν την τελική αναδόμηση της εικόνας με τις νέες συντεταγμένες (resampling).

#### ❖ Ορθοαναγωγή

Στις περιπτώσεις εικόνων με πολύ μεγάλη διακριτική ικανότητα, περιοχών με έντονη τοπογραφία αλλά και σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται αεροφωτογραφίες για την παραγωγή μωσαϊκών σε ενιαίες ψηφιακές εικόνες, είναι απαραίτητη η συμμετοχή του παράγοντα «επιφανειακό ανάγλυφο», στην διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης.

Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ορθοαναγωγή και μέσω αυτής, στις νέες συντεταγμένες του κελιού, λαμβάνεται υπ' όψη και το υψόμετρο της νέας θέσης. Δεν διαφέρει πολύ από τη γεωμετρική διόρθωση, εκτός του γεγονότος ότι χρησιμοποιείται ένα ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου με ανάλυση αντίστοιχη της χωρικής διακριτικής ικανότητας της εικόνας. Σε σχετικά επίπεδες περιοχές, τα αποτελέσματα της *Ορθοαναγωγής* δεν είναι πολύ διαφορετικά, όμως σε περιοχές με έντονη αυξομείωση του αναγλύφου, είναι απαραίτητη ώστε να επιτευχθεί μεγάλη ακρίβεια (Εικόνα 2-4).



Εικόνα 2.4 Επίδραση του ανάγλυφου κατά τη διαδικασία λήψης δορυφορικής εικόνας.

### 2.2.3 Worldview-2

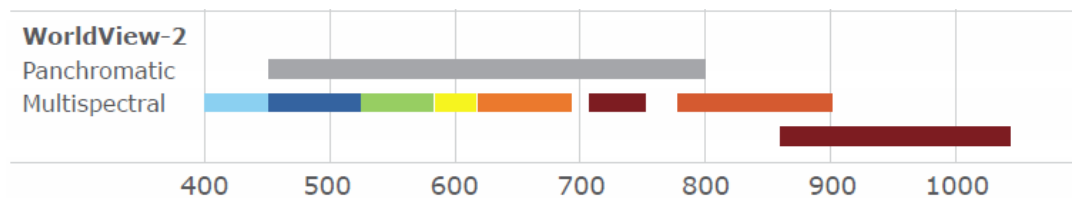
Ο δορυφόρος Worldview-2 μεταφέρει καταγραφέα υψηλής ανάλυσης απεικόνισης, ο οποίος εκτοξεύθηκε στις 8 Οκτωβρίου του 2009 και ξεκίνησε να λειτουργεί σε πλήρη ισχύ, από τις 6 Ιανουαρίου 2010. Ο δορυφόρος αυτός βρίσκεται σε σχεδόν ηλιοσύγχρονη τροχιά με περίοδο 100.2 λεπτά, σε απόσταση από την γη περίπου 770 km (Ghosh & Joshi, 2013).

Χρησιμοποιώντας γυροσκόπια ελέγχου ακριβείας για έλεγχο υψομέτρου, ο WV-2 μπορεί να περιστραφεί 300 χιλιόμετρα σε 9 δευτερόλεπτα (DigitalGlobe, Inc., 2013a), μια δυνατότητα που επιτρέπει τη σύλληψη πολλαπλών εικόνων μέσα στο πέρασμα από τον ίδιο στόχο.

Ο Worldview-2 καταγράφει δεδομένα με ραδιομετρική ικανότητα 11-bit σε εννέα φασματικές ζώνες (Εικόνα 2.5) που καλύπτουν τις εξής φασματικές περιοχές:

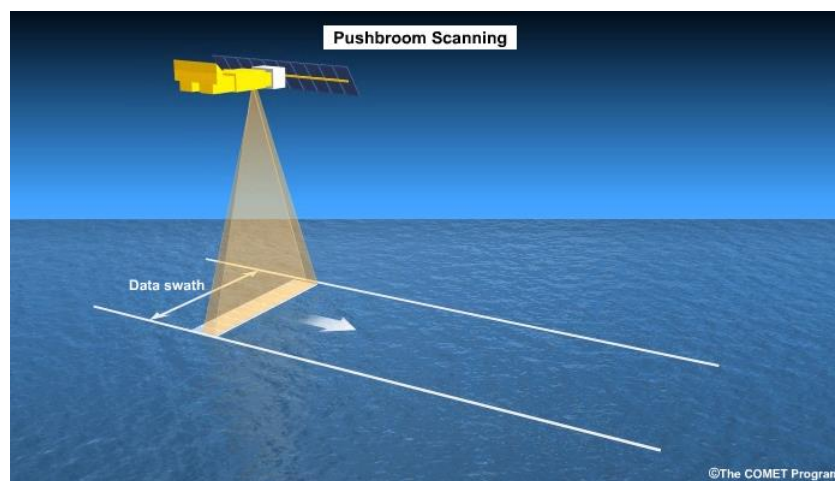
- το παράκτιο (Coastal),
- το μπλε (Blue),
- το πράσινο (Green),
- το κίτρινο (Yellow),
- το κόκκινο (Red),
- το όριο κόκκινου (Red Edge),
- το εγγύς υπέρυθρο 1 (NIR1) και
- το εγγύς υπέρυθρο 2 (NIR2).

Επίσης, διαθέτει και παγχρωματικό κανάλι υψηλότερης χωρικής διακριτικής ικανότητας. Ειδικότερα με άξονα λήψης στο ναδίρ το ονομαστικό μέγεθος κελιού/φατνίου είναι 0.46 m για το παγχρωματικό και 1.84 m για τα πολυφασματικά δεδομένα. Τα εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα με νέα δειγματοληψία (resampling) συλλέγονται στα 0.5 m για το παγχρωματικό και στα 2 m για τα πολυφασματικά.



Εικόνα 2.5 Τα 8 φασματικά κανάλια του WV-2.

Το ονομαστικό πλάτος σάρωσης είναι 16.4 km, αφού ο Worldview-2 είναι ένα σύστημα απεικόνισης με διάταξη σκούπα “pushbroom” (Εικόνα 2.6), το οποίο κατασκευάζει μια εικόνα κατά μήκος μίας γραμμής την φορά και κινείται κατά μήκος των συστοιχιών γραμμικής ανίχνευσης, τα οποία βρίσκονται στο εστιακό επίπεδο (Urdike & Comp, 2010).



Εικόνα 2.6 Σύστημα απεικόνισης “pushbroom”.

Αν και μερικά από τα νέα επιμέρους κανάλια έχουν ειδικές εφαρμογές, ίσως η μεγαλύτερη χρησιμότητα υπάγεται στο γεγονός ότι μας δίνουν την δυνατότητα να διαχωρίσουμε τις χρήσεις γης και την βλάστηση σε εικόνες υψηλής ανάλυσης. Άλλα ενδεικτικά παραδείγματα είναι η δυνατότητα να εντοπίσουμε την βλάστηση μιας περιοχής, τα κτίρια που τυχόν υπάρχουν, σημεία που το έδαφος είναι άγονο, περιοχές με στάσιμα ή τρεχούμενα νερά και τυχόν σκιάσεις.

- Κανάλι 1: Coastal Blue: 400-450 nm

Αυτό το κανάλι υποστηρίζει βαθυμετρικές μελέτες που βασίζονται στα χαρακτηριστικά του διεισδύοντος νερού. Επίσης αυτή η ζώνη υπόκειται σε



ατμοσφαιρική σκέδαση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διερεύνηση τεχνικών ατμοσφαιρικής διόρθωσης.

- Κανάλι 2: Blue: 450-510 nm

Το κανάλι αυτό έχει σχεδιαστεί για την διείσδυση στο νερό, καθιστώντας το χρήσιμο για την χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών. Ακόμα είναι χρήσιμο για την διάκριση εδάφους/βλάστησης, για την χαρτογράφηση δασών.

- Κανάλι 3: Green: 510-580 nm

Το πράσινο είναι χρήσιμο για την μέτρηση της ανάκλασης της πράσινης βλάστησης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και προσφέρει υψηλή δυνατότητα για βαθυμετρική χαρτογράφηση.

- Κανάλι 4: Yellow: 585-625 nm

Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό κίτρινων χαρακτηριστικών των στόχων και είναι σημαντικό για εφαρμογές στην χλωρίδα. Αυτό το κανάλι βοηθάει στην ανάπτυξη της διόρθωσης της απόχρωσης του "αληθινού- χρώματος" για την ανθρώπινη όραση και προσφέρει βελτιωμένη διάκριση στην θαλάσσια και χερσαία χαρτογράφηση της βλάστησης και κάποιων ορυκτών.

- Κανάλι 5: Red: 630-690 nm

Το κόκκινο είναι ευαίσθητο στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης. Είναι χρήσιμο για την ανάλυση της βλάστησης και μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί και για την διαφοροποίηση κάποιων φυτικών ειδών.

- Κανάλι 6: Red Edge Band: 705-745 nm

Ενισχύει την ανάλυση της κατάστασης της βλάστησης. Η άμεση σύνδεση με την υγεία των φυτών αποκαλύπτεται μέσω της παραγωγής χλωροφύλλης.

- Κανάλι 7: Near Infra-Red (NIR1): 770-895 nm

Αυτό το κανάλι είναι χρήσιμο για τον προσδιορισμό του τύπου βλάστησης, το σφρίγος και την έρευνα της βιομάζας, την οριοθέτηση των σωμάτων νερού, καθώς και για διακρίσεις της υγρασίας του εδάφους.

- Κανάλι 8: Near Infra-Red (NIR2): 860-1040 nm

Αυτό το κανάλι επικαλύπτει την ζώνη NIR1, αλλά επηρεάζεται λιγότερο από την ατμοσφαιρική επίδραση.

Ευρεία είναι η δημιουργία ψευδέγχρωμων εικόνων, που προέρχονται από τον συνδυασμό τριών διαφορετικών φασματικών καναλιών, τα οποία απεικονίζονται με ένα από τα τρία βασικά χρώματα (κόκκινο, πράσινο, μπλε - R,G,B ). Η ψευδέγχρωμη εικόνα είναι μία εικόνα, της οποίας τα χρώματα δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, αλλά

χρησιμοποιείται με σκοπό να ερμηνευθεί καλύτερα μία δορυφορική εικόνα. Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα, ανάλογα με τον κάθε συνδυασμό τριών από όλα τα φασματικά κανάλια ενός τύπου δορυφορικής εικόνας, για την καλύτερη ανάδειξη και συνεπώς ανάλυση και ερμηνεία διαφορετικών χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας, σε σχέση με το αντικείμενο της εργασίας (Βασιλάκης, 2014).

Κάποιοι τομείς εφαρμογής όπου ο νέος συνδυασμός καναλιών του Worldview-2 αναμένεται να είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι (Digital Globe, 2010):

1. Τα Coastal - Blue κανάλια για βαθυμετρία, χαρτογράφηση βενθονικών, παράκτιων υγροτόπων και την μοντελοποίηση της ατμόσφαιρας.
2. Τα Red - Red Edge - NIR1 για να προσδιορίσουν καλύτερα την υγεία και την ηλικία των φυτών.
3. Το Yellow σε συνδυασμό με το Red Edge για τον ακριβέστερο προσδιορισμό γεωργικών εφαρμογών.
4. Το Yellow, Red και Red Edge για την δυνητική χαρτογράφηση οξειδίων του σιδήρου.

Επιπλέον ο αισθητήρας WorldView-2 μπορεί να χρησιμεύσει στην εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών αξιοποιώντας ταυτόχρονα τις παρακάτω περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος:

- 510-580 nm (ανάκλαση υγιούς βλάστησης, ευρωστία καλλιεργειών)
- 630-690 nm (απορρόφηση φωτός από τη χλωροφύλλη στα υγιή μέρη του φυτού)
- 585-625nm (ανίχνευση της ωρίμανσης της βλάστησης)
- 705-745nm (ανίχνευση ευρωστίας καλλιεργειών και ανίχνευση καρπών)
- 770-895nm (ανίχνευση υδατικού περιεχομένου στους φυτικούς ιστούς, εκτίμηση βιομάζας)
- 860-1040 nm (ανίχνευση υδατικού περιεχομένου στους φυτικούς ιστούς χωρίς την επίδραση της ατμόσφαιρας)

#### **2.2.4 Μετασηματισμοί πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων**

Αρκετές φορές οι διαφορές στις τιμές των κελιών, μεταξύ παρόμοιων επιφανειακών αντικειμένων, προέρχονται από τοπογραφικές συνθήκες (έντονη σκίαση) ή εποχιακές μεταβολές που επηρεάζουν την ηλιακή ακτινοβολία (Jensen, 1986b). Ειδικότερα η μείωση της επίδρασης αυτών των περιβαλλοντικών συνθηκών, βρέθηκε ότι μπορεί να γίνει με την εφαρμογή λόγων καναλιών με τις ίδιες φασματικές ιδιότητες, αλλά σε διαφορετικές περιόδους (Friedman, 1980). Οι διαιρέσεις ή λόγοι καναλιών όπως είναι γνωστοί, αποτελούν τις πλέον χρησιμοποιούμενες πράξεις μεταξύ των δεδομένων της τηλεπισκόπησης. Από την εφαρμογή της διαίρεσης στις ψηφιακές εικόνες προκύπτουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως: (α) η μείωση των σκιάσεων και των επιδράσεων του ανάγλυφου γενικότερα, και (β) ο περιορισμός των επιπτώσεων από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Πριν την εφαρμογή της διαίρεσης στα φασματικά κανάλια θα πρέπει: (α) να

αφαιρεθεί ο τυχαίος θόρυβος, και (β) να γίνει ατμοσφαιρική διόρθωση (Μηλιαρέσης, 2003). Οι πιο δημοφιλείς εφαρμογές του λόγου των φασματικών καναλιών είναι ο εντοπισμός χαρακτηριστικών καλύψεων γης και η δημιουργία σημαντικών δεικτών όπως οι δείκτες βλάστησης.

Η χρωματική κλίμακα μιας εικόνας που έχει προκύψει από την διαίρεση των τιμών των κελιών, δύο καναλιών, έχει 256 διαβαθμίσεις του γκρι και το ιστόγραμμα της μπορεί να μετασχηματιστεί, ώστε να βελτιωθεί η οπτική της παρουσίαση (Vassilakis, 2008). Οι πιο σκούρες περιοχές αντιστοιχούν στα κελιά, τα οποία έχουν προκύψει από αυτά, όπου ο παρονομαστής είναι μεγαλύτερος από τον αριθμητή. Κατά συνέπεια, όταν για το ίδιο κελί ο αριθμητής έχει μεγαλύτερη τιμή αυτό παρουσιάζεται πιο φωτεινό (Sabins, 1997).

Επιπρόσθετα είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οποιοδήποτε τρεις λόγοι καναλιών μπορούν να συνδυαστούν και να παραχθεί μια ψευδέγχρωμη εικόνα. Το αποτέλεσμα είναι οι νέες εικόνες που προκύπτουν, πολλές φορές να περιέχουν επιπρόσθετη πληροφορία, αφού δημιουργείται μεγαλύτερη αντίθεση μεταξύ των περισσότερων στοιχείων και ευκρινέστερο διαχωρισμό μεταξύ των διαφόρων οντοτήτων, καθότι λαμβάνονται υπόψη περισσότερες φασματικές περιοχές.

### 2.2.5 Φασματικοί Δείκτες

Στην κατηγορία των τεχνικών φασματικής ενίσχυσης (*spectral enhancement*) των εικόνων ανήκουν και οι δείκτες (*index*).

Ένας δείκτης για να είναι λειτουργικός πρέπει να ακολουθεί μια σειρά από κριτήρια όπως (Jensen, 2000):

- Να μεγιστοποιεί την ευαισθησία σε επιφάνειες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (π.χ. στη χλωροφύλλη της βλάστησης). Παράλληλα πρέπει να μεταβάλλεται γραμμικά στις αλλαγές που συντελούνται και να έχει εφαρμογή σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος περιοχών.
- Να εξομαλύνει και να ελαττώνει τις επιπτώσεις εξαιτίας της γωνίας του ήλιου, της τοπογραφίας, των ατμοσφαιρικών συνθηκών, των σφαλμάτων των αισθητήρων, επιτρέποντας διαχρονικές συγκρίσεις στην περιοχή μελέτης.
- Να συνδέεται με διαδικασίες υπολογισμού ποσοτικών παραμέτρων όπως: ο υπολογισμός της βιομάζας, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας κ.ά.

Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι μεγάλο μέρος του φυλλώματος των πράσινων φυτών απορροφά διαφορετικά και αντανάκλα την ενέργεια στην φασματική περιοχή του ορατού (0.5 - 0.7) και του εγγύς υπέρυθρου (0.7 - 1.1) (Rousse, 1974). Αναλυτικότερα στην κόκκινη περιοχή του Η/Μ φάσματος η ενέργεια απορροφάται έντονα και στο εγγύς υπέρυθρο ανακλάται περισσότερη ενέργεια από την πυκνή πράσινη βλάστηση. Η αναλογία του κόκκινου προς το εγγύς υπέρυθρο αντιστοιχεί σε δείκτη βλάστησης των πράσινων φυτών

μίας εικόνας. Επομένως από αυτόν τον ζωτικό συσχετισμό προκύπτει μία χρήσιμη αντίληψη για την παρακολούθηση των φυσικών μεταβολών της βλάστησης.

## 2.3 Γεωφυσική Διασκόπηση

Η Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος Παροδικών Πεδίων (Transient Electromagnetic - TEM) αποτελεί ένα είδος γεωφυσικής βαθυσκόπησης. Ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο προσδιορίζεται από πέντε διανυσματικές συναρτήσεις:  $e$  (ένταση ηλεκτρικού πεδίου),  $b$  (μαγνητική επαγωγή),  $d$  (διηλεκτρική απόκλιση),  $h$  (ένταση μαγνητικού πεδίου) και  $j$  (πυκνότητα ηλεκτρικού ρεύματος). Η αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων αυτών ελέγχεται από τις εξισώσεις του Maxwell που περιγράφουν οποιοδήποτε ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο.

Οι ηλεκτρομαγνητικές γεωφυσικές μέθοδοι χωρίζονται σε αυτές του *πεδίου χρόνου* (*time domain*) και του *πεδίου συχνότητας* (*frequency domain*). Η μέθοδος TEM είναι μέθοδος *πεδίου χρόνου* και λειτουργεί με έναν πομπό που εκπέμπει έναν παλμό - συνήθως με απότομη διακοπή του ρεύματος - και οι μετρήσεις γίνονται αφού εξαφανιστεί το πρωτογενές πεδίο.

Δομές που περιλαμβάνουν στρώματα με πολύ υψηλές αντιστάσεις είναι δύσκολο να ερμηνευθούν με την μέθοδο TEM. Ως γενικός κανόνας αναφέρεται (Christiansen *et al.*, 2009) ότι η μέθοδος TEM δεν μπορεί να διακρίνει ευχερώς στρώματα με αντιστάσεις μεγαλύτερες των 80-100 Ωm.

### 2.3.1 Βασικές αρχές και τεχνικές μέτρησης

Οι μέθοδοι TEM χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα, το οποίο διοχετεύεται σε μη γειωμένο βρόχο. Το ρεύμα διακόπτεται απότομα και ο ρυθμός μεταβολής του δευτερεύοντος πεδίου λόγω των *επαγόμενων δινορευμάτων* (*eddy currents*) μετράται με ένα επαγωγικό πηνίο. Το πρωτεύον πεδίο απουσιάζει κατά την μέτρηση. Η Εικόνα 2.7 συνοψίζει τις βασικές αρχές και την ονοματολογία.

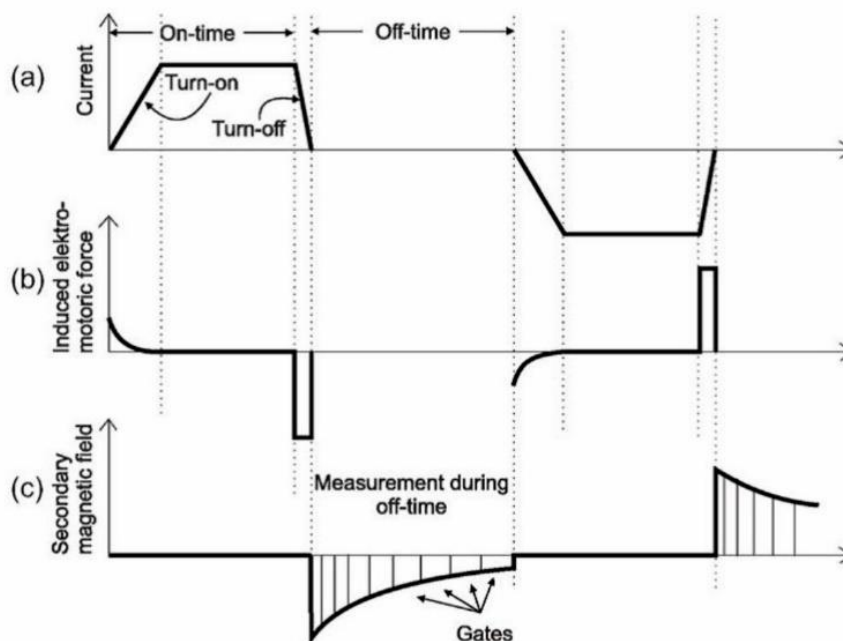
Η καταγραφή των δεδομένων γίνεται σε *χρόνο-παράθυρα*, συχνά αποκαλούνται και ως *πύλες* (*gates*). Οι *πύλες* είναι διατεταγμένες με λογαριθμικά αυξανόμενο μήκος σε σχέση με το χρόνο για να βελτιωθεί η αναλογία σήματος/θόρυβο (S/N) στους *ύστερους χρόνους* (*late times*). Η αρχή αυτή καλείται *log-gating* και συνήθως χρησιμοποιούνται 8-10 *πύλες* ανά δεκάδα.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.7 η πολικότητα του ρεύματος εναλλάσσεται για κάθε παλμό. Μία τυπική μέτρηση αποτελείται από 1,000-10,000 ξεχωριστούς *παλμούς* (*transients*). Η αλλαγή της πολικότητας χρησιμεύει για να καταστείλει

- 1) Τα ανεπιθύμητα σήματα από το δίκτυο διανομής ενέργειας, αν η συχνότητα επανάληψης έχει επιλεγεί να είναι υποαρμονική της συχνότητας του δικτύου
- 2) Την στατική μετατόπιση στους ενισχυτές της ηλεκτρομαγνητικής συσκευής.

Αυτό καλείται *συγχρονισμένη ανίχνευση*. Τυπικές συχνότητες επανάληψης για δίκτυα 50 Hz, είναι γύρω στα 25 Hz. Όταν χρησιμοποιούνται υψηλότερες συχνότητες επανάληψης, η συχνότητα εκπεμπόμενων παροδικών πρέπει να ρυθμίζεται έτσι ώστε να αντισταθμίζει τα 50 Hz της συχνότητας του δικτύου.

Οι μετρήσεις γίνονται διοχετεύοντας ρεύμα μέσω ενός βρόχου (Tx). Το ρεύμα διακόπτεται απότομα και σύμφωνα με τον νόμο του Faraday δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο στον περιβάλλοντα χώρο. Στο έδαφος, αυτό το ηλεκτρικό πεδίο επάγει ρεύμα, το οποίο με την σειρά του θα επάγει το δευτερεύον μαγνητικό πεδίο. Το επαγόμενο ρεύμα θα συμπεριφερθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε αμέσως μετά την άρση του πομπού, το μέγεθος του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου να είναι ίσο με το μέγεθος του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου (που δεν υπάρχει πλέον). Κατά την διάρκεια αυτής της πρώτης φάσης, το επαγόμενο ρεύμα είναι ανεξάρτητο από την αγωγιμότητα του εδάφους.



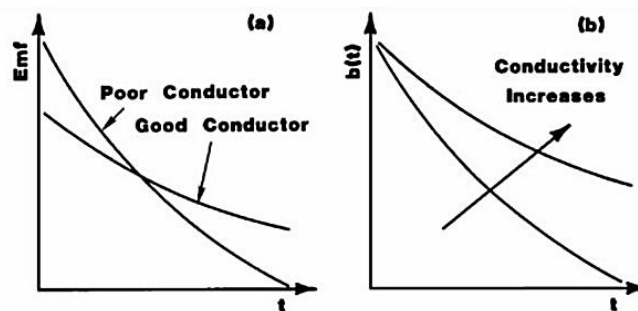
Εικόνα 2.7 Βασική ονοματολογία και αρχές της μεθόδου TEM (α) το ρεύμα στον βρόχο Tx (β) η επαγόμενη ΗΕΔ στο έδαφος (γ) το δευτερεύον μαγνητικό πεδίο που μετράται από τον δέκτη. Για τα (β) και (γ) θεωρούμε ότι ο δέκτης βρίσκεται στο κέντρο του βρόχου του Tx (Christiansen *et al.*, 2009).

Το μαγνητικό πεδίο δεν χάνεται απότομα όταν διακόπτουμε το ρεύμα, αλλά αντίθετα μεταβάλλεται συνεχώς. Καθώς περνάει ο χρόνος, η αντίσταση του εδάφους θα εξασθενίσει το ρεύμα (το οποίο μετατρέπεται σε θερμότητα) και το μέγιστο της πυκνότητας του θα κινηθεί προς τα έξω και προς τα κάτω αφήνοντας την πυκνότητα του ρεύματος ακόμα πιο εξασθενημένη. Μετά την πρώτη αυτή φάση η διάχυση εξαρτάται από

την αγωγιμότητα του υπεδάφους. Σε αγώγιμο μέσο το ρεύμα διαχέεται πιο αργά σε σύγκριση με ένα αντιστατικό μέσο όπου το ρεύμα διαχέεται και εξασθενεί ταχύτερα.

Το δευτερεύον μαγνητικό πεδίο που αποσβένεται είναι κατακόρυφο στο κέντρο του Tx (αν το υπέδαφος αποτελείται από επίπεδα και παράλληλα στρώματα) και επάγει στον Rx ηλεκτρεγερτική δύναμη (HEΔ ή *emf*) (Serway, 1983) και αυτό είναι το σήμα που μετράται σαν συνάρτηση του χρόνου στον δέκτη (Εικόνα 2.8).

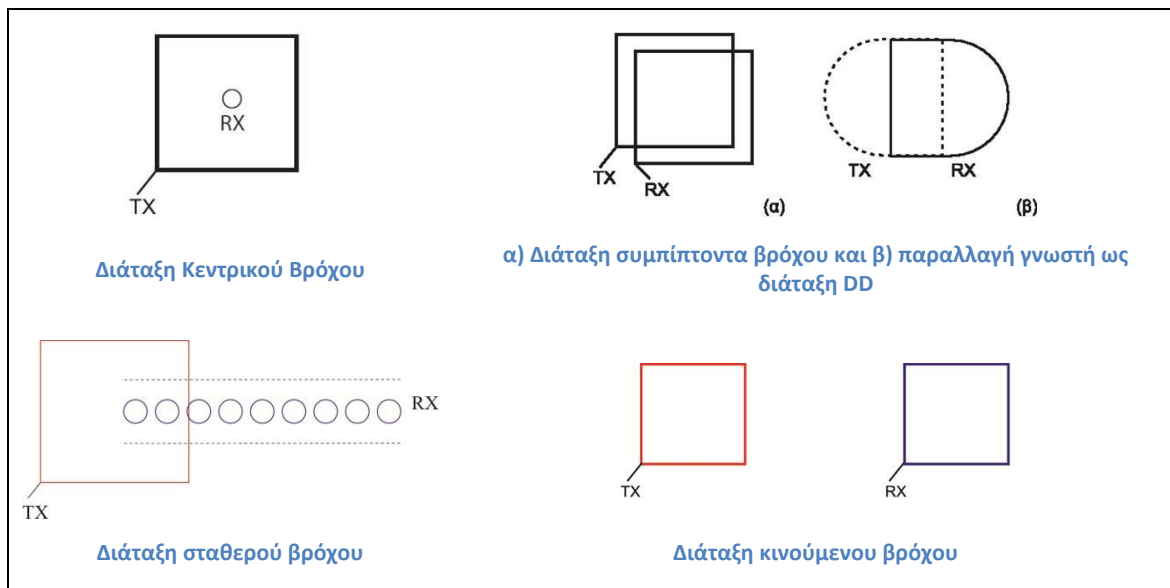
Αμέσως μετά την άρση του πομπού το ρεύμα στο έδαφος θα είναι κοντά στην επιφάνεια και το σήμα που μετράται αντικατοπτρίζει κυρίως την αγωγιμότητα των επιφανειακών στρωμάτων. Στους ύστερους χρόνους το ρεύμα θα φτάσει βαθύτερα στο έδαφος και το μετρούμενο σήμα θα περιέχει πληροφορίες για την αγωγιμότητα των βαθύτερων στρωμάτων. Μετρώντας το ρεύμα στο δέκτη θα δώσει λοιπόν πληροφορίες για την αγωγιμότητα σε σχέση με το βάθος-αυτό καλείται βαθσοσκόπηση.



Εικόνα 2.8 α) Μεταβολή της HEΔ για καλούς (good) και κακούς (poor) αγωγούς β) το αντίστοιχο δευτερεύον μαγνητικό πεδίο (Nabighian and Macnae, 1993).

### 2.3.2 Μετρητικές Διατάξεις

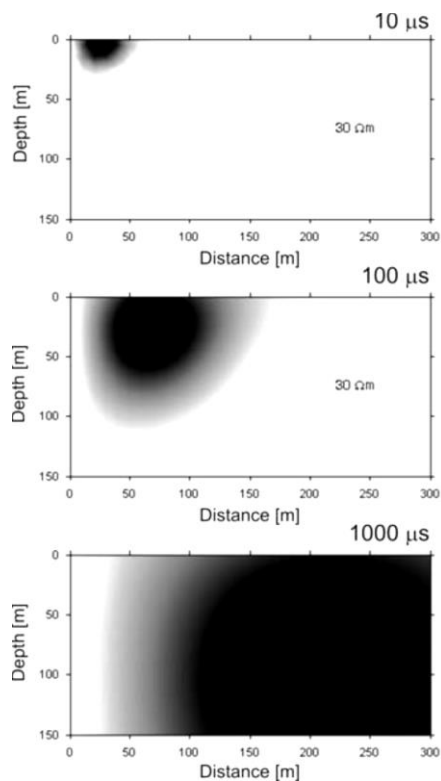
- Διάταξη Κεντρικού Βρόχου (*Central loop, in-loop*): ο βρόχος εκπομπής περιέχει τον βρόχο λήψης που έχει σταθερή θέση.
- Διάταξη Συμπίπτοντα Βρόχου (*Coincident loop*): δύο μερικώς επικαλυπτόμενοι βρόχοι. Η παραλλαγή DD χρησιμοποιείται συχνά.
- Διάταξη Σταθερού Βρόχου (*Fixed loop*): πομπός-βρόχος σε σταθερή θέση και ένας μετακινούμενος βρόχος ως δέκτης.
- Διάταξη Κινούμενου Βρόχου (*Moving loop, Offset-loop*): αποτελείται από βρόχους πομπούς και δέκτες που βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους.



Εικόνα 2.9 Μετρητικές Διατάξεις (Τσελέντης & Παρασκευόπουλος, 2013)

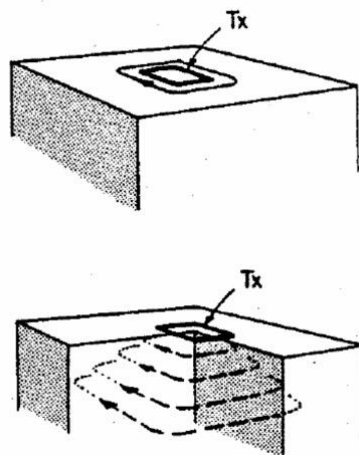
### 2.3.3 Διάχυση ρεύματος και ευαισθησία σε ομογενές ημχώρο

Η Εικόνα 2.10 δείχνει την πυκνότητα ρεύματος σε ομογενή ημχώρο σε διάφορους χρόνους. Οι πυκνότητες των ρευμάτων έχουν κανονικοποιηθεί με τη μέγιστη τιμή για τη δεδομένη χρονική στιγμή δίνοντας το ίδιο μέγιστο πλάτος σε όλα τα στιγμιότυπα. Στην πραγματικότητα το μέγιστο πλάτος είναι 1,000,000 φορές μεγαλύτερο στα 10μs απ' ότι στα 1,000μs. Μεγαλύτερες πυκνότητες ρεύματος έχουμε στις σκουρόχρωμες περιοχές.



Εικόνα 2.10 Κατανομή της πυκνότητας ρεύματος σε ομογενή ημχώρο από Christiansen *et al.*, 2009

Το μέγιστο της πυκνότητας ρεύματος μετατίθεται ασυμπτωτικά κατά μήκος ενός κώνου που σχηματίζει πάντα γωνία  $30^\circ$  με τον οριζόντιο άξονα, ώστε να διαχέεται προς τα έξω με ρυθμό περίπου διπλάσιο από όσο διαχέεται προς τα κάτω. Η διεργασία διάχυσης συχνά παρομοιάζεται με δακτυλίους καπνού ή με δίνη για αυτό το λόγο τα επαγόμενα ρεύματα ονομάζονται *δινορεύματα* (eddy currents) (Serway, 1983) (Εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.11 Τα δινορεύματα (eddy currents) αμέσως μετά την άρση του πομπού. Τα δινορεύματα (eddy currents) στους ύστερους χρόνους (McNeill, 1990)

#### 2.3.4 Πυκνότητες ρεύματος σε στρωματοποιημένους ημιχώρους

Η γη σπάνια μπορεί να προσεγγιστεί ως ομογενής ημιχώρος και γι' αυτό τον λόγο θα μελετήσουμε τις κατανομές της πυκνότητας του ρεύματος σε πιο σύνθετα μοντέλα.

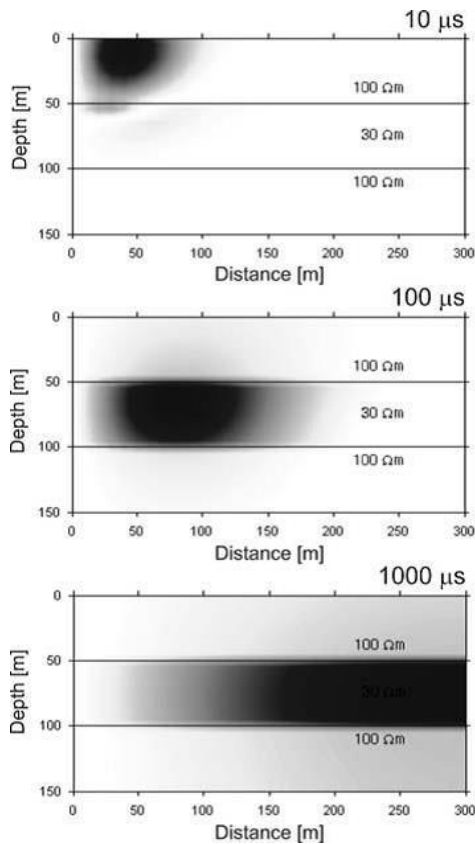
Το πρώτο μοντέλο αποτελείται από 3 στρώματα με το μεσαίο στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης να περικλείεται από δύο στρώματα σχετικά υψηλής ειδικής αντίστασης.

Η Εικόνα 2.12 δείχνει ότι ήδη  $10\mu\text{s}$  μετά την άρση του πομπού το μέγιστο της πυκνότητας του ρεύματος βρίσκεται στο στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης. Στους ύστερους χρόνους το μέγιστο παραμένει στο στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης. Σε σύγκριση με τον ομογενή ημιχώρο της Εικόνας 2.10, το στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης διακόπτει την εξέλιξη της κανονικής διάχυσης και δρα σαν ασπίδα για το στρώμα υψηλής ειδικής αντίστασης που βρίσκεται από κάτω αποκρύπτοντας το. Το ανοιχτό γκρι στο δεύτερο στρώμα στα  $10\mu\text{s}$  είναι απόδειξη ρευμάτων που ρέουν προς την αντίθετη κατεύθυνση.

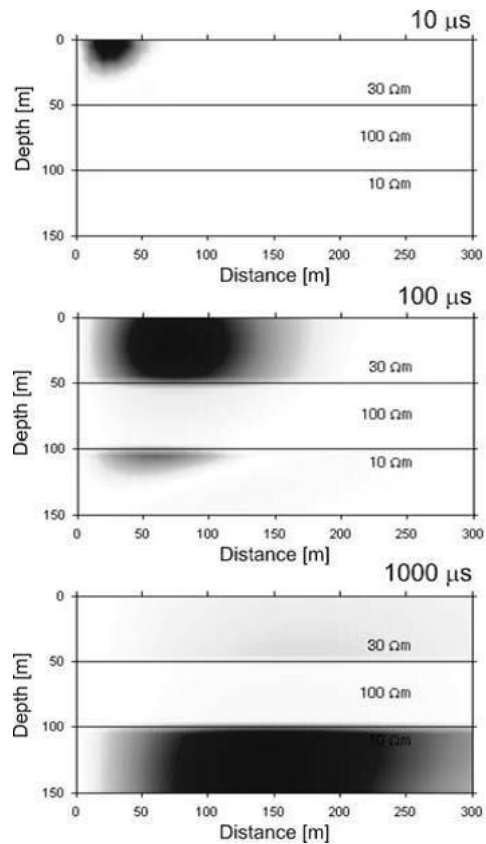
Το μοντέλο της Εικόνας 2.13 είναι το αντίθετο από αυτό της Εικόνας 2.12 δηλαδή τώρα έχουμε ένα στρώμα υψηλής ειδικής αντίστασης μεταξύ δύο στρωμάτων χαμηλής ειδικής αντίστασης. Στους αρχικούς χρόνους η πυκνότητα ρεύματος εντοπίζεται στο πρώτο και το τρίτο στρώμα. Η πυκνότητα του ρεύματος στο στρώμα υψηλής ειδικής αντίστασης είναι πολύ μικρή. Στους ύστερους χρόνους η πυκνότητα ρεύματος υπερπηδάει στο κατώτερο στρώμα, προσπερνώντας το μεσαίο αντιστατικό στρώμα. Αυτό αντίστοιχα σημαίνει ότι η



πληροφορία στην καμπύλη της βαθσοκόπησης TEM για το δεύτερο στρώμα θα είναι σχετικά περιορισμένη.



Εικόνα 2.12 Κατανομή της πυκνότητας ρεύματος σε μοντέλο 3 στρωμάτων με ένα στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης ανάμεσα σε δύο υψηλής ειδικής αντίστασης (Christiansen *et al.*, 2009).



Εικόνα 2.13 Κατανομή πυκνότητας ρεύματος σε μοντέλο 3 στρωμάτων με ένα στρώμα υψηλής ειδικής αντίστασης ανάμεσα σε δύο χαμηλής ειδικής αντίστασης στρώματα (Christiansen *et al.*, 2009).

Και στα δύο μοντέλα οι πυκνότητες των ρευμάτων έχουν κανονικοποιηθεί με τη μέγιστη τιμή για τη δεδομένη χρονική στιγμή δίνοντας το ίδιο μέγιστο πλάτος σε όλα τα στιγμιότυπα. Μεγαλύτερες πυκνότητες ρεύματος συναντάμε στις σκουρόχρωμες περιοχές.

Από τα παραδείγματα αυτά συμπεραίνουμε ότι η μέθοδος TEM είναι πολύ ευαίσθητη στα στρώματα χαμηλής ειδικής αντίστασης (αγωγικά στρώματα) απλά επειδή μεγαλύτερη ποσότητα ρεύματος ρέει σε αυτά τα στρώματα. Η ταχύτητα διάχυσης είναι υψηλή για στρώματα ειδικής υψηλής αντίστασης και χαμηλή για στρώματα χαμηλής ειδικής αντίστασης.

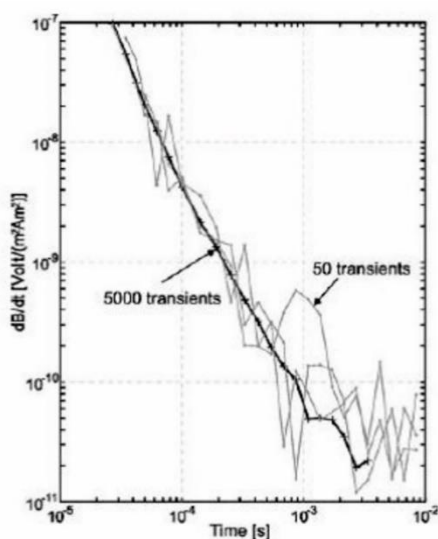
### 2.3.5 Φυσικός θόρυβος και διακριτική ικανότητα

Ο φυσικός ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος προέρχεται από διάφορες πηγές. Κάποιες είναι κοντά αλλά οι περισσότερες πηγές, όπως οι αστραπές, είναι πολύ μακριά. Τα πεδία αυτών των πηγών ταξιδεύουν ανάμεσα στην επιφάνεια της Γης και την ιονόσφαιρα. Περίπου 100 αστραπές χτυπούν την Γη ανά δευτερόλεπτο. Αυτός ο θόρυβος έχει σποραδικό χαρακτήρα

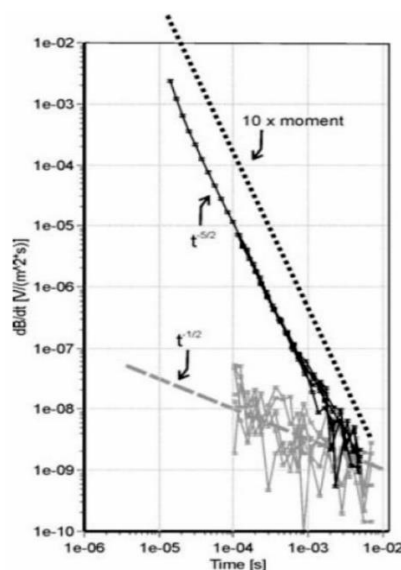
και είναι ισχυρότερος κατά την διάρκεια της μέρας απ' ότι τη νύχτα και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού συγκριτικά με τον χειμώνα.

Χρησιμοποιώντας την τεχνική log-gating, ο σποραδικός θόρυβος θα μειωθεί αναλογικά με  $t^{-1/2}$ . Στους αρχικούς χρόνους, οι μετρήσεις είναι αρκετές φορές ισχυρότερες από το επίπεδο του θορύβου άρα ο λόγος S/N είναι υψηλός. Ο χρόνος κατά τον οποίο το πλάτος του μετρούμενου σήματος περνάει στο επίπεδο του θορύβου συνήθως είναι ανάλογος του  $t^{5/2}$ . Αυτό σημαίνει ότι η μετάβαση από ένα καλό λόγο S/N σε ένα πολύ χαμηλό λόγο S/N συμβαίνει σχετικά ξαφνικά.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να μετρηθούν αξιόπιστα δεδομένα σε ύστερους χρόνους δηλαδή να έχουμε πληροφορία για μεγαλύτερα βάθη: 1) να ελαττωθεί ο θόρυβος με σώρευση ή 2) να αυξηθεί η ροπή του πομπού. Με τη σώρευση μειώνεται ο θόρυβος αναλογικά σε  $\sqrt{N}$  όπου N ο αριθμός των μετρήσεων που έχουν σωρευτεί (Εικόνα 2.14). Η επίδραση της αύξησης της ροπής φαίνεται στην Εικόνα 2.15 με μαύρη εστιγμένη γραμμή: Η καμπύλη αυτή δείχνει το επίπεδο των μετρήσεων στην ίδια θέση, αλλά με δεκαπλάσια ροπή πομπού και είναι φανερό ότι ο λόγος S/N είναι πολύ μεγαλύτερος στους ύστερους χρόνους.



Εικόνα 2.14 Καμπύλη βαθσοσκόπησης TEM με 50 παροδικά (γκρι) και 5.000 παροδικά (μαύρα) (Christiansen *et al.*, 2009).



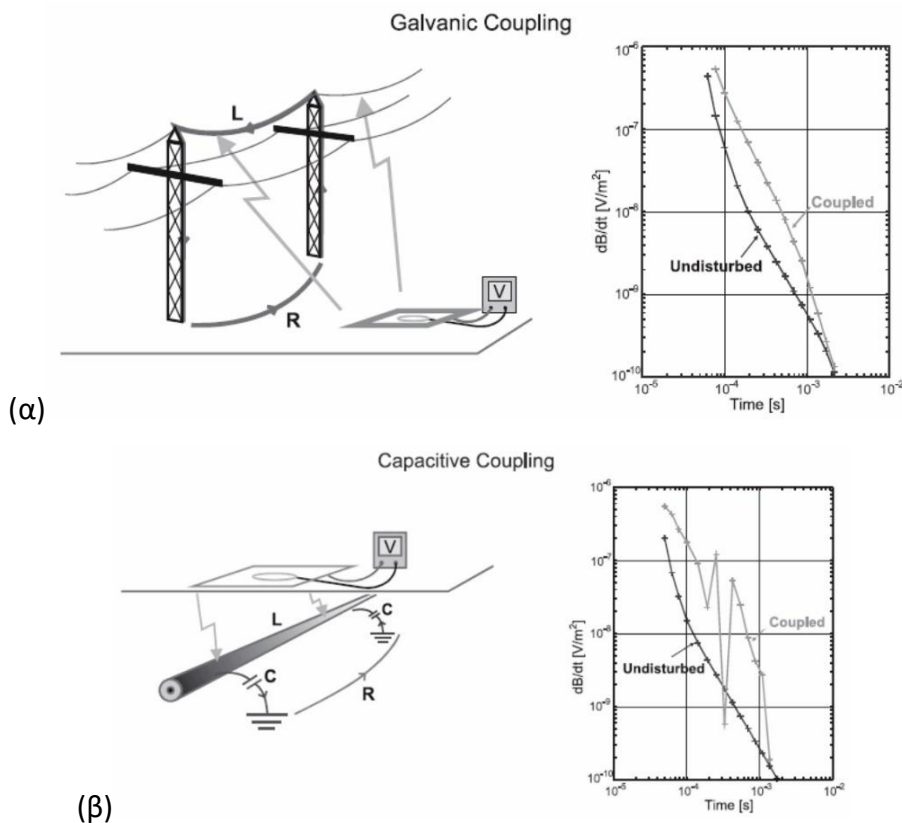
Εικόνα 2.15 Βαθοσκόπηση TEM και θόρυβος. Οι γκρι καμπύλες είναι θόρυβος με την τάση τους  $t^{-1/2}$  να σημειώνεται με γκρι εστιγμένη γραμμή. Η απόκριση της γης είναι οι μαύρες καμπύλες (Christiansen *et al.*, 2009).

### 2.3.6 Ανθρωπογενής θόρυβος

Μία διαφορετική μορφή θορύβου (ζεύξη) εμφανίζεται λόγω επαγόμενων ρευμάτων σε όλους τους ανθρωπογενείς ηλεκτρικούς αγωγούς που βρίσκονται μέσα στον χώρο όπου διαδίδεται το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που εκπέμπεται. Η διαταραχή εμφανίζεται σε μία δεδομένη θέση σε όλες τις αποσβέσεις που αθροίστηκαν κατά την διαδικασία της

σώρευσης. Τα φαινόμενα ζεύξης στα δεδομένα δεν μπορούν να αφαιρεθούν με ακρίβεια, γι' αυτό το λόγο μετρήσεις που βρίσκονται κοντά σε σωλήνες, καλώδια, σιδηροδρομικές γραμμές και μεταλλικούς φράκτες, πρέπει να απομακρύνονται. Η ασφαλής απόσταση, η οποία ορίζεται ως η ελάχιστη απόσταση όπου μπορούν να μετρηθούν καλά δεδομένα, ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ οποιουδήποτε σημείου της διάταξης πομπού-δέκτη και του τεχνητού αγωγού. Η ασφαλής απόσταση από οποιοδήποτε τεχνητό αγωγό είναι τουλάχιστον 100m για έδαφος με μέση ειδική αντίσταση 40-60 Ωm. Η ασφαλής απόσταση αυξάνεται με την αντίσταση του εδάφους.

Ένα γενικό μοντέλο για την ανάλυση διαταραχών από τεχνητούς αγωγούς, είναι αυτό του ταλαντούμενου κυκλώματος και συνήθως χωρίζεται σε δύο τύπους, τον γαλβανικό και τον χωρητικό. Και οι δύο παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.16.



Εικόνα 2.16 (α) Γαλβανικός τύπος ζεύξης (β) χωρητικός τύπος ζεύξης με τις αντίστοιχες παραμορφώσεις στα δεδομένα (undisturbed = καμπύλη χωρίς θόρυβο) (Danielsen *et al.*, 2003).

Στον γαλβανικό τύπο ζεύξης το ρεύμα έχει γαλβανική διαδρομή επιστροφής όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.16α. Αντιστοιχεί σε κύκλωμα L-R με εκθετική απόσβεση και η διαταραχή εξαρτάται από την σταθερά χρόνου του κυκλώματος, αλλά μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να αναγνωριστεί σε τυχαία κατανεμημένες μετρήσεις (όχι προφίλ μετρήσεων). Η ζεύξη γαλβανικού τύπου μπορεί να προκύψει από ηλεκτροφόρα καλώδια υψηλής τάσης γειωμένα σε κάθε πυλώνα. Είναι πολύ δύσκολο να αναγνωριστεί σε σποραδικές κατανεμημένες ή μεμονωμένες θέσεις μέτρησης, επειδή όλη η καμπύλη της

διασκόπησης παρουσιάζει παραμόρφωση και εύκολα μπορεί να ερμηνευτεί ως παρουσία χαμηλής ειδικής αντίστασης στρώματος σε μικρό βάθος.

Η ζεύξη χωρητικού τύπου αντιστοιχεί σε κύκλωμα L-C-R επαγωγική διαδρομή επιστροφής στο έδαφος (Εικόνα 2.16β). Προκαλείται από την ύπαρξη θαμμένων καλωδίων με μόνωση πολυουραιθάνης. Είναι εύκολο να αναγνωρισθεί αυτός ο τύπος της ζεύξης λόγω του ταλαντωτικού χαρακτήρα που παρουσιάζει (Εικόνα 2.16β, δεξιά).

### 2.3.7 Βάθος διείσδυσης

Στις βαθσκοπήσεις TEM, όπως και για όλες τις γεωφυσικές μεθόδους, είναι δύσκολο να αποφανθούμε ποσοτικά και χωρίς αμφιβολία για το βάθος διείσδυσης.

Το βάθος μέχρι το οποίο στο σύστημα ρευμάτων διαχέεται ονομάζεται βάθος διάχυσης:

$$z_d = \sqrt{\frac{2t}{\mu\sigma}} \approx 1.26\sqrt{\rho t}, \quad \rho[\Omega m], t[\mu s] \quad (2.20)$$

Αυτή η εξίσωση είναι ακριβής μόνο για επίπεδα πεδία. Για πηγές κυκλικού ή τετραγωνικού βρόχου, το βάθος διάχυσης είναι περίπου 1.8 φορές μικρότερο από αυτό που υπολογίζεται με την εξίσωση αυτή.

Ο χρόνος διάχυσης, δηλαδή ο χρόνος στον οποίο το ρεύμα έχει διαχυθεί μέχρι ένα συγκεκριμένο βάθος δίνεται από την σχέση :

$$t_d = \frac{\mu\sigma z_d^2}{2} \approx 0.628 \times \frac{z_d^2}{2} [\mu s], \quad \rho[\Omega m], z_d [m] \quad (2.21)$$

Όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 2.15, το σήμα αποσβένεται σε ομογενή ημιχώρο με ρυθμό  $t^{-5/2}$  και όταν περνάει στο επίπεδο του φυσικού θορύβου, δεν μπορούμε πλέον να χρησιμοποιήσουμε τις μετρήσεις. Συνεπώς το επίπεδο του φυσικού θορύβου ορίζει τα όρια του πόσο ύστερα μπορούμε να κάνουμε μετρήσεις και επιπλέον πόσο βαθιά το ρεύμα μπορεί να διαχυθεί μέσα στο υπέδαφος.

$$V_{\text{noise}} = \frac{dB}{dt} = \left(\frac{M}{20}\right) \left(\frac{\sigma}{\pi}\right)^{3/2} \left(\frac{\mu}{t_L}\right)^{5/2} \quad (2.22)$$

$$t_L = \mu \left(\frac{M}{20V_{\text{noise}}}\right)^{2/5} \left(\frac{\sigma}{\pi}\right)^{3/5}$$

Όταν ο χρόνος  $t_L$  είναι ίσος με τον χρόνο διάχυσης  $t_d$

$$t_L = \mu \left(\frac{M}{20V_{\text{noise}}}\right)^{2/5} \left(\frac{\sigma}{\pi}\right)^{3/5} = t_d = \frac{\mu\sigma z_d^2}{2} \quad (2.23)$$

$$z_d = \left(\frac{2}{25\pi^3}\right)^{1/10} \left(\frac{M}{\sigma V_{\text{noise}}}\right)^{1/5} = 0.551 \left(\frac{M}{\sigma V_{\text{noise}}}\right)^{1/5}$$

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το μέγιστο βάθος διάχυσης το οποίο είναι ένα μέτρο του βάθους διείσδυσης, είναι ανάλογο της 5<sup>ης</sup> ρίζας του λόγου μεταξύ της ροπής της πηγής και του γινομένου της αγωγιμότητας επί το επιπέδου του θορύβου. Ο μοναδικός τρόπος για να αυξηθεί το βάθος διείσδυσης είναι να αυξηθεί η ροπή του πομπού ή να ελαττωθεί το δραστικό επίπεδο θορύβου. Ο θόρυβος που προέρχεται από το περιβάλλον έχει σχετικά σταθερό μέγεθος, αλλά ο τρόπος με τον οποίο συλλέγουμε και επεξεργαζόμαστε τα δεδομένα, με σύρση πολλών μετρήσεων, μειώνει το δραστικό επίπεδο θορύβου, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Από την εξίσωση (2.23) προκύπτει επίσης ότι για να διπλασιασθεί το βάθος διείσδυσης, ο ενεργός θόρυβος πρέπει να ελαττωθεί ή να αυξηθεί η ροπή του πομπού κατά ένα παράγοντα 32.

### 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο Πηνειός ποταμός διατρέχει την Θεσσαλική πεδιάδα και σε αυτόν ανήκει η μεγαλύτερη λεκάνη απορροής από όλα τα ελληνικά ποτάμια που ρέουν εξολοκλήρου σε ελληνικό έδαφος με έκταση 10,850 km<sup>2</sup>. Σε αυτόν καταλήγουν αρκετοί παραπόταμοι και οι κυριότεροι είναι ο Ενιπέας, ο Φαρσαλιώτης, ο Σοφαδίτης, ο Καλέντζης, ο Πάμισος, ο Πορταϊκός, ο Ληθαίος, ο Νεοχωρίτης και ο Τιταρήσιος. Το μήκος του Πηνειού είναι περίπου 257 km με το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης να έχει υψόμετρα μικρότερα από 300 m. Οι περιοχές με τα μεγαλύτερα υψόμετρα περιορίζονται στο βορειότερο τμήμα της όπου τα ύψη φτάνουν τα 2,900 m. Τοπογραφικός χάρτης της λεκάνης απορροής παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.1. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι ότι αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα ελληνικά ποτάμια χωρίς σημαντικά μεγάλα φράγματα στη ροή του. Βέβαια από το καλοκαίρι του 2014 τέθηκε σε λειτουργία ρουφράχτης λίγο πριν την είσοδο του ποταμού στα Τέμπη, στο χωριό της Γυρτώνης.



Εικόνα 3.1 Τοπογραφικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμού (Efthimios Karymbalis et al., 2016).

Ο Πηνειός, ρέοντας μέσα από τη Θεσσαλική πεδιάδα από δυτικά προς ανατολικά και εξερχόμενος από την Κοιλάδα των Τεμπών, εκβάλλει στην νοτιοδυτική ακτογραμμή του

Θερμαϊκού κόλπου, σε μια ανοιχτή λεκάνη υποδοχής, της οποίας το υποθαλάσσιο ανάγλυφο είναι ιδιαίτερα απότομο με κλίσεις της τάξης του 10% και βάθος λεκάνης υποδοχής που ξεπερνάει τα 100 m (Ρουλος *et al.*, 1996).

Ο δελταϊκός σχηματισμός του Πηνειού εμφανίζει μια ελαφρότατη κλίση από τους πρόποδες των ορέων που τον περιβάλλουν προς τη θάλασσα. Σε απόσταση 6-8 km η υψομετρική διαφορά της δελταϊκής πεδιάδας είναι περίπου 10 m. Οι ορεινοί όγκοι του Κάτω Ολύμπου και της Όσσας αποτελούν τα φυσικά γεωμορφολογικά όρια του Δέλτα προς δυτικά, βορειοδυτικά και νότια-νοτιοδυτικά αντίστοιχα. Οι πλαγιές της Όσσας στα νότια της περιοχής παρουσιάζουν σημαντικές τοπογραφικές κλίσεις που κυμαίνονται από 13% νότια του Ομολίου έως 21% στην περιοχή νότια του Στομίου. Αντίστοιχα, σημαντικό είναι το ορεινό ανάγλυφο που οριοθετεί προς την περιοχή αυτή τον υδροκρίτη της λεκάνης του Δέλτα, με υψόμετρα που κυμαίνονται από περίπου 900 m έως 1,700 m. Οι πλαγιές του Κάτω Ολύμπου που οριοθετούν τη δελταϊκή περιοχή παρουσιάζουν ηπιότερες κλίσεις που φτάνουν ωστόσο το 10%, ενώ τα μεγαλύτερα υψόμετρα που οριοθετούν τη λεκάνη φτάνουν τα 1,450 m περίπου. Η δελταϊκή του πεδιάδα είναι καλλιεργήσιμη στο μεγαλύτερο ποσοστό της και βασίζεται στην επαρκή διαθεσιμότητα αρδεύσιμου νερού. Οι γεωργικές εκτάσεις είναι της τάξεως περίπου των 53000 στρεμμάτων με κύριες καλλιέργειες τα σιτηρά, τον αραβόσιτο, τον ηλιάνθο, την ακτινιδιά, το βαμβάκι, την μηδική (για ζωοτροφές), τους ελαιώνες, λιγότερους αμπελώνες καθώς και βοσκότοπους. Κατατάσσεται ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας – ΖΕΠ στο δίκτυο NATURA 2000 (GR1420015) και βιότοπος στο CORINE (A00020006) (Matiatos *et al.*, 2018)

Συγκρίνοντας τον λόγο μεταξύ της έκτασης της δελταϊκής περιοχής και της λεκάνης απορροής (0.7) με την μέση τιμή του λόγου για τα μεγαλύτερα ελληνικά Δέλτα (7.3), συμπεραίνουμε ότι η έκταση του Δέλτα είναι περιορισμένη σε σχέση με την έκταση της λεκάνης του (Ρουλος & Chronis, 1997). Μεγάλη ποσότητα ποτάμιων ιζημάτων έχει εγκλωβιστεί στα ανάντη στην μεγάλη αλλουβιακή πεδιάδα του ποταμού λόγω του στενού και ανθεκτικού φαραγγιού των Τεμπών που βρίσκεται ανάμεσα στο Δέλτα και την αλλουβιακή πεδιάδα, δρώντας σαν προσωρινό βασικό επίπεδο για όλη τη λεκάνη απορροής του ποταμού Πηνειού.

Η διάνοιξη της εξόδου του ποταμού Πηνειού προς το Θερμαϊκό κόλπο χρονολογείται περί το τέλος του Τεταρτογενούς. Η πρόσφατη δημιουργία του δικαιολογεί τη μικρή σχετικά έκταση που καταλαμβάνει το Δέλτα σήμερα, δεδομένου ότι η δελταϊκή του απόθεση θα έπρεπε να ήταν πολύ μεγαλύτερη από τη σημερινή στην περίπτωση που η περιοχή εκφόρτισής του ήταν σταθερή για μεγαλύτερο γεωλογικό χρόνο.

Η περιοχή του Δέλτα είναι εκτεθειμένη σε σχετικά υψηλή κυματική ενέργεια, λόγω των μεγάλων μηκών ανάπτυξης των κυμάτων (fetch), περίπου 58 km από βόρεια, 60 km από βορειοανατολικά, ~ 125 km από ανατολικά και ~80 km από νοτιοανατολικά.

### 3.1 Γεωλογία

Το νότιο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού παρουσιάζει σχετική γραμμικότητα φέρνοντας σε επαφή τους σχηματισμούς της Όσσας (κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι Ολύμπου-Όσσας, κυανοσχιστόλιθοι Αμπελακίων, μεταμορφωμένα οφιολιθικά πετρώματα Πελαγονικής) με τους μεταλπικούς σχηματισμούς της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού.

Στη βορειοδυτική προέκταση του βορείου περιθωρίου της Όσσας, στα ανατολικά του Πυργετού αναπτύσσεται μια γραμμική μορφολογική ασυνέχεια διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ με ύψος που ανέρχεται στα 20 m. Η μορφολογική αυτή ασυνέχεια, η οποία θα μπορούσε να έχει προκύψει από τη δραστηριοποίηση ρήγματος, αναπτύσσεται κατά μήκος της επαφής των σχηματισμών του αλλουβιακού ριπιδίου Πλειστοκαινικής ηλικίας στον Πυργετό και των ασύμφωνα υποκείμενων Νεογενών σχηματισμών. Στη βορειοδυτική προέκταση της μορφολογικής αυτής ασυνέχειας αναπτύσσεται ένα σαφές ρήγμα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης το οποίο διαρρηγνύει αλπικούς σχηματισμούς.

Η σημαντικότερη τεκμηριωμένη τεκτονική δομή που διέρχεται από την περιοχή μελέτης είναι μια ρηξιγενής ζώνη κανονικού χαρακτήρα, που διέρχεται νότια από το Ομόλιο με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ και μέση κλίση προς ΒΔ. Η δραστηριοποίηση της συγκεκριμένης δομής φαίνεται να διαδραμάτισε κυρίαρχο ρόλο όχι μόνο στη διάνοιξη του φαραγγιού των Τεμπών αλλά και στη διαμόρφωση της σημερινής θέσης των ρηξιτεμαχών που καλύπτονται από Νεογενή ιζήματα και βρίσκονται στην κατερχόμενη περιοχή. Τα ρηξιτεμάχη αυτά τοποθετούνται ανατολικά της Αιγάνης και βόρεια του Πυργετού και έχουν υποστεί έντονη τεκτονική παραμόρφωση με αποτέλεσμα τη γενική περιστροφή τους προς νότο κατά 10° έως 20°. Πρέπει να σημειωθεί ότι η πιθανή προέκταση της ρηξιγενούς αυτής ζώνης προς τα ανατολικά καλύπτεται από πρόσφατες ποτάμιες αποθέσεις.

Ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης παρατηρούνται, επίσης, στην περιοχή Πυργετού - Αιγάνης, στο βόρειο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και κλίση προς ΝΑ. Διαρρηγνύουν τόσο τους αλπικούς σχηματισμούς των ενοτήτων Ολύμπου-Όσσας, Αμπελακίων και Πελαγονικής ζώνης, όσο και τους Νεογενείς σχηματισμούς (Βασιλάκης κ.ά, 2014).

#### 3.1.1 Λιθολογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης διακρίνονται σε αλπικούς και μεταλπικούς.

Οι αλπικοί σχηματισμοί εντάσσονται στις γεωτεκτονικές ενότητες

- (i) Όσσας – Ολύμπου,
- (ii) (ii) Αμπελακίων,



(iii) (iii) Πελαγονικής

και εμφανίζονται στις παρυφές των ορεινών όγκων του Ολύμπου και της Όσσας, στο δυτικό και νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης αντίστοιχα (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.

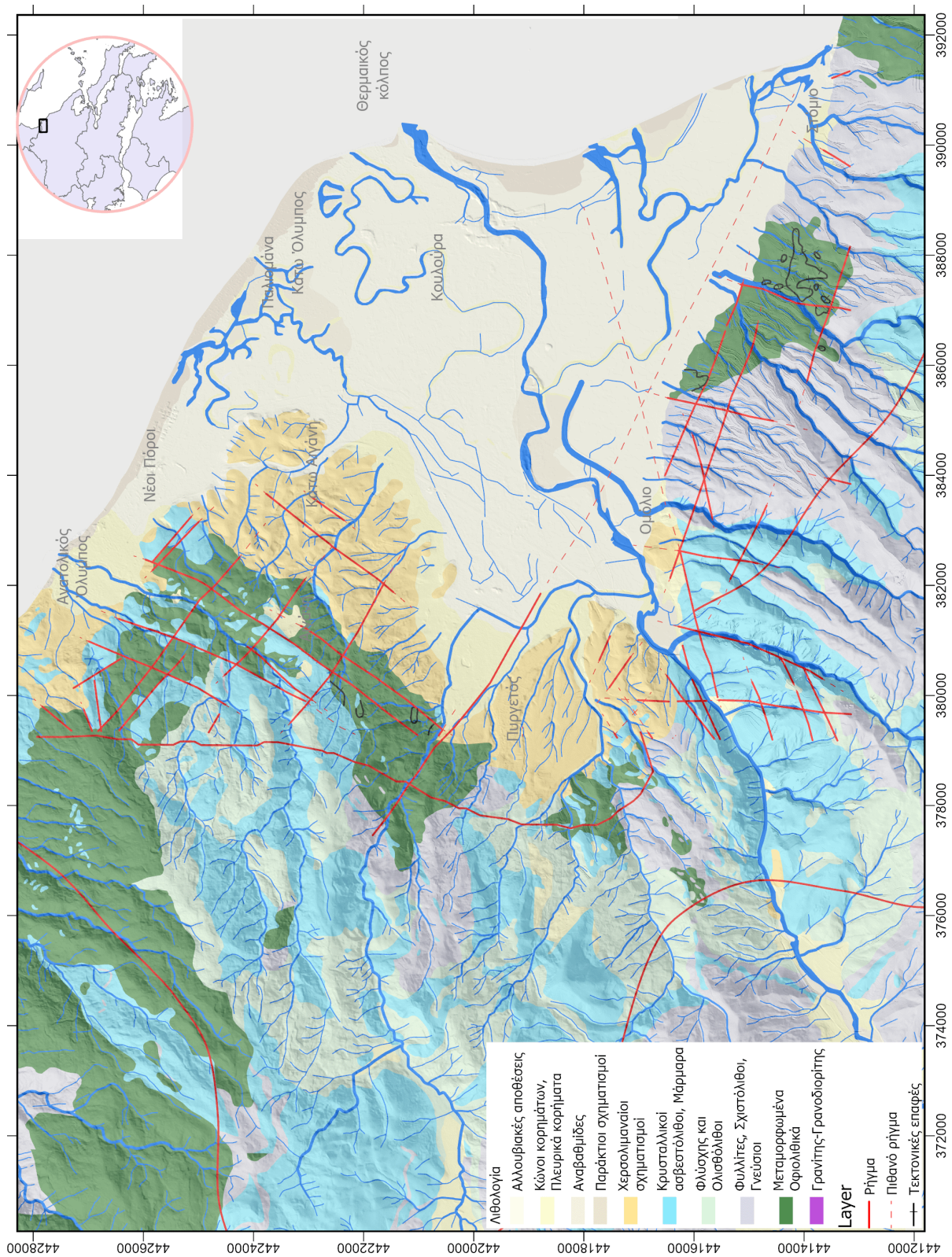
Οι σχηματισμοί της ενότητας Αμπελακίων είναι εξ ολοκλήρου μεταμορφωμένοι σε συνθήκες υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών στη γλαυκοφανιτική φάση και περιλαμβάνουν κυανοσχιστόλιθους, γνευσιοσχιστόλιθους - γνευσίους και πρασινίτες με ενστρώσεις αδρομερών μαρμάρων (Ραρανικόλαου, 1984; Schermer, 1990).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

Η ενότητα της Πελαγονικής περιλαμβάνει εξ ολοκλήρου μεταμορφωμένους και έντονα πτυχωμένους σχηματισμούς και συγκεκριμένα (i) μεταμορφωμένα βασικά οφιολιθικά πετρώματα του προανωκρητιδικού τεκτονικού καλύμματος και (ii) ανωκρητιδικά μάρμαρα (Κατσικάτσος & Μιγκίρος, 1987). Τα έντονα τεκτονισμένα και καρστικοποιημένα 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 (Ραρανικόλαου, 1984). Η ηλικία της επώθησης είναι μετακρητιδική - προανωηωκαινική (Lips *et al.*, 1998), ενώ μεταγενέστερα, κατά το Μέσο Ηώκαινο, οι ενότητες Αμπελακίων και Πελαγονικής επωθήθηκαν πάνω στους σχηματισμούς της ενότητας Ολύμπου - Όσσας (Ραρανικόλαου, 1984).

Οι μεταλλικοί 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.



Εικόνα 3.2 Τροποποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης δελταϊκής πεδιάδας του Πηνειού ποταμού. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν οι γεωλογικοί χάρτες του ΙΠΜΕ με κλίμακα 1:50.000 (Φύλλο Χάρτη Ραψάνης, Γόννων, Καρίτσας, Κονταριώτισσας-Λιτόωρου)

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. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελούν τα υπολείμματα αλλουβιακού ριπιδίου Πλειστοκαινικής ηλικίας που αναπτύσσεται στην περιοχή του Πυργετού και καλύπτει ασύμφωνα την ακολουθία των Νεογενών ψαμμιτών και κροκαλοπαγών.

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. Κοντά στα περιθώρια των ορεινών όγκων η συμμετοχή των κροκαλολατυπών είναι μεγαλύτερη. 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 αργιλικού υλικού, ενώ σε ορισμένες θέσεις έχουν μεγάλη έκταση και σχηματίζουν θίνες. Τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων αποτελούνται από αργίλους, κοκκινοχώματα, άμμους και κροκαλολατύπες ποικίλης σύστασης και μεγέθους.

### **3.1.2 Τεκτονική**

Η περιοχή της Ανατολικής Θεσσαλίας περιλαμβάνει ορεινούς όγκους, η δημιουργία των οποίων είναι αποτέλεσμα συμπιεστικών τεκτονικών γεγονότων, το τελευταίο από τα οποία έλαβε χώρα από το Ηώκαινο έως το Μέσο Μειόκαινο (Brunn, 1956). Μεταγενέστερα και ειδικότερα από το Πλειόκαινο έως το Κατώτερο Πλειστόκαινο, η περιοχή βρέθηκε υπό τεκτονικό καθεστώς εφελκυστικών τάσεων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, σχετιζόμενο πιθανώς με την μεταορογενετική φάση κατάρρευσης του ορογενούς (Caruto, 1990; Caruto *et al.*, 1994). Κατά τη διάρκεια της παραπάνω εφελκυστικής φάσης, στη λεκάνη της Λάρισας δυτικά της ορεινής αλυσίδας Ολύμπου - Όσσας - Μαυροβουνίου δημιουργείται η εκτεταμένη Πλειοκαινική λίμνη της Λάρισας με μέγιστο βάθος αρκετών δεκάδων μέτρων με αποτέλεσμα την απόθεση σχηματισμών λιμναίας φάσης (Caruto *et al.*, 1994). Την ίδια περίοδο ξεκινάει η απόθεση των Νεογενών σχηματισμών που εμφανίζονται σήμερα κατά μήκος του νοητού άξονα Αιγάνης - Πυργετού - Ομολίου.

Η επικράτηση των ελωδών και λιμναίων συνθηκών στη λεκάνη της Λάρισας τουλάχιστον μέχρι το Βιλαφράγκιο (Caruto *et al.*, 1994) υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει σαφώς διαμορφωμένο ή μόνιμα αναπτυσσόμενο υδρογραφικό δίκτυο που να διατρέχει τη λεκάνη και να αποστραγγίζει τη λίμνη. Επί πλέον στο τέλος του Βιλαφράγκιου έχει δημιουργηθεί το υδρογραφικό δίκτυο του Παλαιο-Πηνειού καθώς αναπτύσσεται ήδη το Δέλτα του κατά μήκος των ακτών του Αιγαίου πελάγους (Faugères, 1977). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μέχρι την περίοδο εκείνη αλλά μέχρι και το Πλειστόκαινο, ο Παλαιο-Πηνειός δεν διερχόταν από τα Τέμπη, αλλά το Δέλτα του και οι εκβολές του αναπτύσσονταν νότια της Όσσας.

Κάτω από την επίδραση του ίδιου εφελκυστικού εντατικού πεδίου λαμβάνει χώρα η δραστηριοποίηση της κανονικού χαρακτήρα ρηξιγενούς ζώνης Πυργετού ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης στο νότιο περιθώριο της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού και έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση του κατερχόμενου τεμάχους, που περιστρέφεται προς ΝΝΑ. Η περιστροφή αυτή είχε ως αποτέλεσμα τα στρώματα των Νεογενών σχηματισμών να αποκτήσουν κλίση περίπου  $10^\circ$ . Ακολουθεί η ασύμφωνη απόθεση των ερυθροχρωμάτων χερσαίας προέλευσης.

Μετά την ολοκλήρωση της απόθεσης του συνόλου των Νεογενών σχηματισμών, η περιοχή μελέτης υπέστη την επίδραση ενός καθεστώτος εφελκυστικών τάσεων με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση με αποτέλεσμα τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης με κυριαρχούσα δομή τη ρηξιγενή ζώνη νότια του Ομολίου. Το εφελκυστικό αυτό εντατικό πεδίο εξακολουθεί να είναι ενεργό και μετά από αυτήν τη χρονική περίοδο με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων τεκτονικών ασυνεχειών εφελκυστικού χαρακτήρα που δημιούργησαν τις γεωμορφές των φαραγγιών. Αυτές με τη σειρά τους θα προκαλέσουν την κατάτμηση του ανερχόμενου ρηξιτεμάχους και σε συνδυασμό με τις ανυψωτικές κινήσεις της Όσσας (Stiros *et al.*, 2004) θα οδηγήσουν σε ανατροπές μικρότερων τεμαχών προς τα ΒΔ. Η δυτικότερη από αυτές ταυτίζεται με το σύγχρονο φαράγγι των Τεμπών, μέσω του οποίου βρέθηκε η νέα διέξοδος του Πηνειού προς το Αιγαίο Πέλαγος, αφού η συνολική ανύψωση της οροσειράς Ολύμπου-Όσσας-Πηλίου (Stiros *et al.*, 1994) απέκλεισε τη λειτουργία των εκβολών του Παλαιο-Πηνειού (Faugères, 1977).

Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα στοιχεία των υπαίθριων μετρήσεων σε επίπεδα γεωλογικών επιφανειών (στρώσης) στους Νεογενείς σχηματισμούς της περιοχής Αιγάνης - Πυργετού - Ομολίου, διακρίνονται τρεις περιοχές, όπου τα στρώματα παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η βορειότερη περιοχή εντοπίζεται ΝΑ της Αιγάνης. Στο τέμαχος αυτό τα Νεογενή στρώματα παρουσιάζουν μέση κλίση  $21^\circ$  προς ΝΑ. Η δεύτερη περιοχή εντοπίζεται νότια του Πυργετού, όπου τα Νεογενή στρώματα παρουσιάζουν μέση κλίση  $14^\circ$  προς Ν. Η τρίτη περιοχή αναπτύσσεται νότια του Ομολίου και βρίσκεται σε άμεση επαφή με τη ρηξιγενή επιφάνεια που περιγράφηκε παραπάνω. Στο τέμαχος αυτό, τα Νεογενή στρώματα παρουσιάζουν μέση κλίση  $22^\circ$  προς ΝΝΑ, ενώ το ρήγμα του Ομολίου αποτελεί το νοτιότερο περιθώριο της Νεογενούς λεκάνης. Δεν παρατηρούνται εμφανίσεις Νεογενών ιζημάτων σε άλλες θέσεις (ανατολικότερα του Ομολίου), διότι κατά πάσα πιθανότητα βρίσκονται θαμμένες κάτω από τις σύγχρονες δελταϊκές αποθέσεις.

Κατά το Πλειστόκαινο, ήταν ενεργό ένα άλλο ποτάμιο σύστημα στην ευρύτερη περιοχή βόρεια του Πυργετού, το οποίο αποστράγγιζε μέρος του ορεινού όγκου του Ολύμπου και οι εκβολές του τοποθετούνται βόρεια της σύγχρονης κοίτης του Πηνειού. Αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας ήταν ο σχηματισμός του αλλουβιακού ριπιδίου του Πυργετού (Πλειστοκαινικής ηλικίας) που καλύπτει ασύμφωνα την ακολουθία των Νεογενών ψαμμιτών και κροκαλοπαγών και ερυθροχρωμάτων.

### 3.1.3 Γεωμορφολογία

Όσο αφορά τη διαμόρφωση του Δέλτα του Πηνειού ποταμού, μεγαλύτερη επίδραση έχει ο κυματισμός που αναδιανέμει το προσφερόμενο χερσαίο ίζημα, που μεταφέρεται από το ποτάμι και καταλήγει στην ακτή, και λιγότερη επίδραση η ποτάμια τροφοδοσία. Το γεγονός της σημαντικότητας της κυματικής δράσης και του επιμήκους ρεύματος σημειώνεται και από Bhattacharya & Giosan, 2003. Σαν αποτέλεσμα, σχηματικά στο τρίγωνο των Wright & Coleman, 1973 τοποθετείται στην κάτω αριστερή γωνία (Εικόνα 2.1). Έτσι το σχήμα του διαμορφώνεται τοξοειδές (cusate) όπως συμβαίνει και στα Δέλτα των ποταμών Ροδανού, Νείλου και Τίβερη.

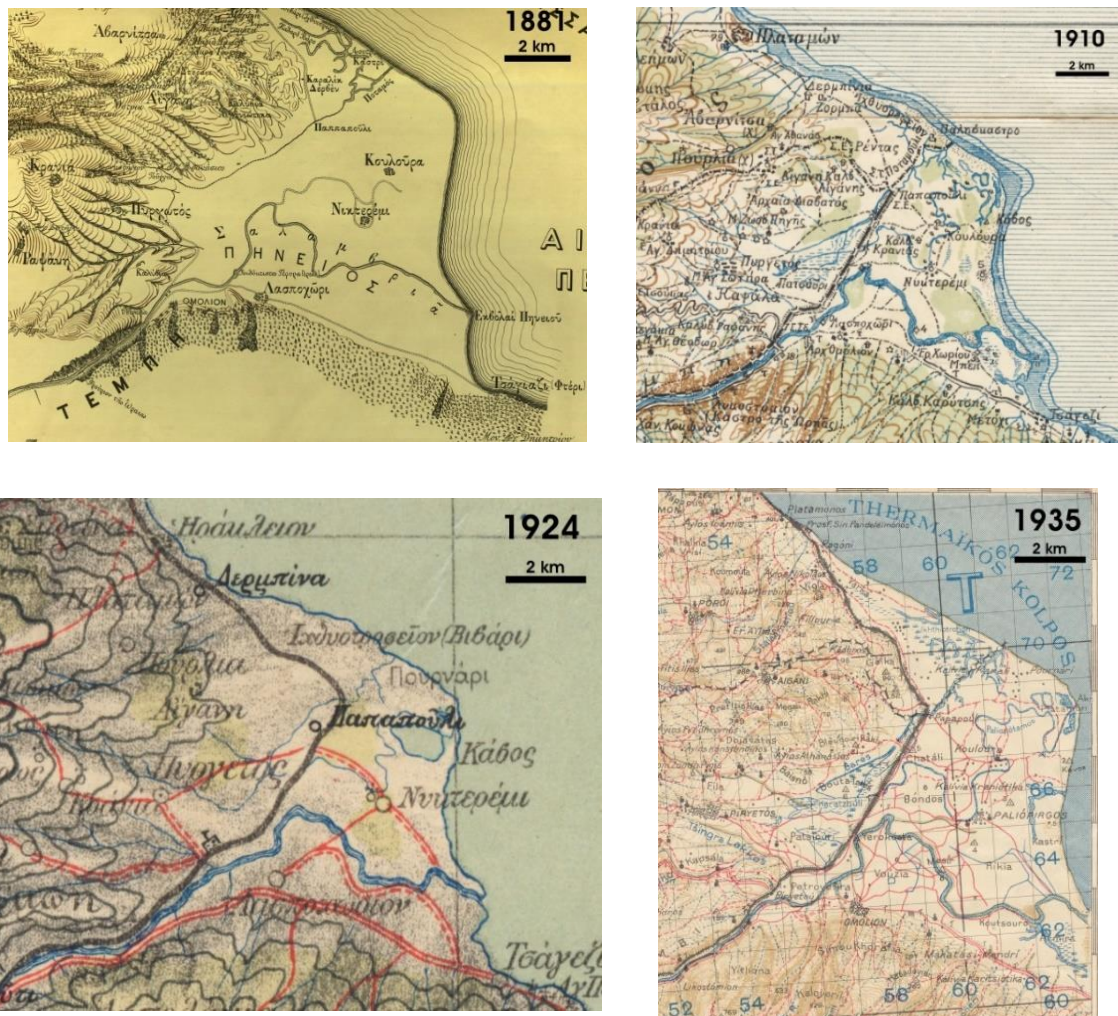
Οι σύγχρονες δελταϊκές αποθέσεις του ποταμού εμφανίζουν τυπική τοξοειδή διατομή με ακτινωτή ανάπτυξη από την έξοδο της κοιλάδας των Τεμπών προς τη θάλασσα. Εξαιτίας της πρόσφατης γεωλογικά δημιουργίας των αποθέσεων και των πολύ ήπιων τοπογραφικών κλίσεων, ο ποταμός εμφανίζει πολυσχιδή διάταξη της κοίτης του. Έτσι παρουσιάζονται πολλαπλές κοίτες με ακτινωτή διάταξη, έντονος μαιανδρισμός και αποκομμένα τμήματα κοιτών που λειτουργούν μόνο σε περίοδο πλημμυρικών φαινομένων (π.χ. Οκτώβριος 2000). Ενδεικτικό γεγονός της ασταθούς κοίτης του ποταμού αποτελεί η παρουσία πρόσφατων ποτάμιων αναβαθμίδων πάχους έως 5 m εντός της περιοχής των δελταϊκών αποθέσεων.

Η δελταϊκή ακτογραμμή χαρακτηρίζεται σε όλο το μήκος της από την άφθονη παρουσία μέσο- έως χονδρόκοκκης άμμου και την ανάπτυξη πολλών παράκτιων αμμωδών ράχων που φθάνουν μέχρι 1.3 km στο εσωτερικό του Δέλτα. Το νότιο τμήμα έχει γενικά μεγαλύτερο πλάτος παραλίας σε σχέση με το βόρειο τμήμα κάτι που μπορεί να σημαίνει είτε ότι το πρώτο τροφοδοτείται (από Β) με ίζημα, είτε ότι το δεύτερο βρίσκεται σε καθεστώς απώλειας ιζήματος (διάβρωσης), είτε ότι συμβαίνουν ταυτόχρονα και οι δύο διεργασίες. Η ανθρώπινη παρέμβαση είναι έντονη στο βόρειο τμήμα με αποτέλεσμα την σχεδόν ολοκληρωτική εξαφάνιση του χαμηλού πεδίου θινών που παρατηρείται στο νότιο τμήμα.

Η περιοχή των σημερινών εκβολών προελαύνει με μέσο ρυθμό 3 m/έτος μεταξύ των ετών 1945 και σήμερα, όπως αυτό διαπιστώθηκε μετά από επεξεργασία ιστορικών αεροφωτογραφιών με φωτογραμμετρικές μεθόδους και σύγκρισή τους με πρόσφατη δορυφορική εικόνα υψηλής ευκρίνειας. Αντίθετα η περιοχή των εγκαταλελειμμένων εκβολών (βόρεια του Στόμιου) έχει υποστεί διάβρωση με μέσο ρυθμό 3.5 m/έτος για το ίδιο διάστημα (Vassilakis *et al*, 2014).

Σημαντικό στοιχείο που χαρακτηρίζει τη γεωμορφολογία της περιοχής είναι η κατάληξη σε αυτήν σειράς μεγάλων υδατορευμάτων χειμαρρώδους απορροής, τόσο στα νότια όσο και στα δυτικά κράσπεδα της περιοχής, που έχουν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη σημαντικών κώνων κορημάτων. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι το ρέμα Πυργετού και

το Αρχοντόρρεμα στα δυτικά και νότια κράσπεδα της περιοχής αντίστοιχα (Παναγόπουλος κ.ά, 2001).



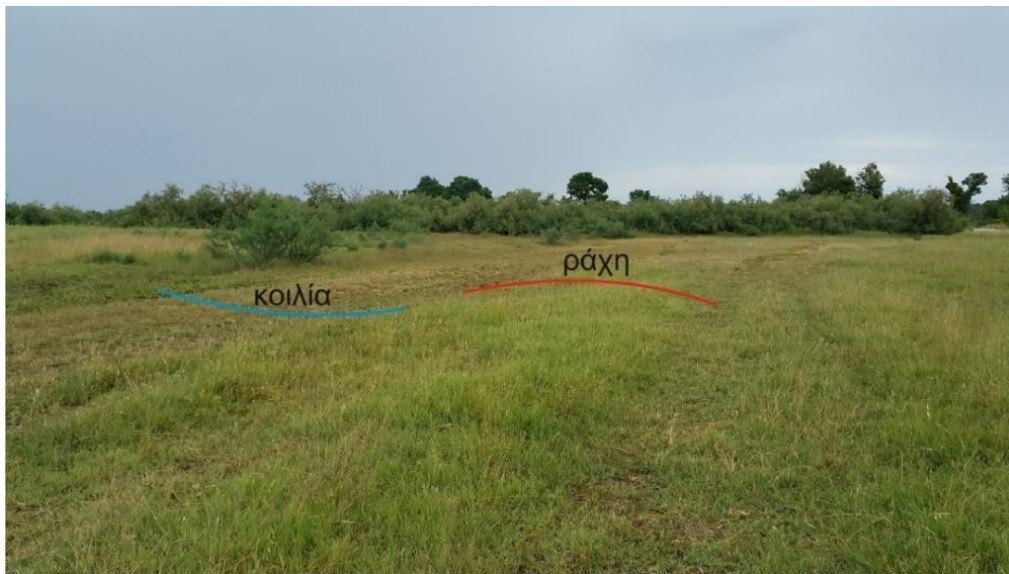
Εικόνα 3.3 Ιστορικοί χάρτες της δελταϊκής περιοχής του Πηνειού, όπου είναι εμφανής η τοποθέτηση των εκβολών στο ΝΑ άκρο της.

Σε όλους τους ιστορικούς χάρτες απεικονίζεται η παρουσία ενός υδρογραφικού συστήματος ανεξάρτητου του Πηνειού (Εικόνα 3.3), το οποίο διέρχεται παράλληλα και ιδιαίτερα κοντά στα βόρεια περιθώρια του σημερινού Δέλτα. Πρόκειται για ένα δίκτυο το οποίο αποστραγγίζει τμήμα του κάτω Ολύμπου (μέχρι τον Πυργετό) και φαίνεται να εκβάλλει στην παράκτια περιοχή των σημερινών Νέων Πόρων διερχόμενο βόρεια από το Παπαπούλι. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι μεγάλος αριθμός των αποκομμένων μαιάνδρων που εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή και ιδιαίτερα αυτοί που βρίσκονται βόρεια της Κουλούρας, δεν ανήκαν ποτέ στο υδρογραφικό δίκτυο του Πηνειού αλλά στο εξαφανισμένο πλέον δίκτυο που περιγράφηκε παραπάνω.

Χαρακτηριστικές γεωμορφές στο Δέλτα του Πηνειού ποταμού:

- i. Παράκτιες Ράχες: Πρόκειται για επιμήκειες παράκτιες μορφές απόθεσης, οι οποίες όταν είναι ενεργές αναπτύσσονται σχεδόν παράλληλα προς την ακτογραμμή

(Εικόνα 3.4). Εντοπίζονται ουσιαστικά στο όριο μεταξύ της χαμηλής και υψηλής στάθμης της παλίρροιας. Τα παλαιότερα συμπλέγματα παράκτιων ραχών τα οποία είναι πλέον ανενεργά αναπτύσσονται υπό γωνία ως προς την σημερινή ακτογραμμή και υποδηλώνουν διαφορετικό προσανατολισμό των παλαιών ακτογραμμών. Έχουν αναγνωρισθεί 7 διαφορετικής διεύθυνσης παράκτιες ράχες, οι οποίες αντιστοιχούν σε 7 διαφορετικά ποτάμια στόμια, τα οποία όμως δεν είναι απαραίτητο να ανήκουν στον Πηνειό, αλλά πιθανότατα και στον ποταμό που ενδεχομένως διερχόταν από το βόρειο τμήμα της πεδιάδας. Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ραχών δεν υπερβαίνει τα 5 m.



Εικόνα 3.4 Εναλλαγή ράχης και κοιλίας στις παράκτιες ράχες ανατολικά του Παλαιόπυργου.

- ii. Μαιανδρικές κοίτες - Αποκομμένοι μαιάνδροι: Η ανάπτυξη του δικτύου τόσο την ενεργούς κοίτης όσο και των παλαιότερων εγκαταλελειμμένων κοιτών του Πηνειού εντός της δελταϊκής του πεδιάδας γίνεται με την μορφή αρκετά εκτεταμένων και καλοσηματισμένων μαιάνδρων. Κατά την συνεχή εξέλιξη του σχηματισμού των μαιάνδρων με την συνεχιζόμενη διάβρωση των εξωτερικών τμημάτων τους είναι φυσικό επακόλουθο η αποκοπή τμήματος αυτών και η δημιουργία μιας νέας πορείας της ροής του νερού αφήνοντας μεγάλο τμήμα του μαιάνδρου αποκομμένου από το υπόλοιπο δίκτυο και πλέον ανενεργό. Οι αποκομμένοι μαιάνδροι αποτελούν εν γένει ενδείξεις μετανάστευσης του κύριου ποταμού και εγκατάλειψής τους, εντός των οποίων σχηματίζονται αρκετά συχνά λίμνες ημισελινοειδούς μορφής (oxbow lakes). Παράλληλα η ύπαρξη τόσο μαιανδρικών ουλών όσο και λιμνών ημισελινοειδούς μορφής στο βόρειο τμήμα του Δέλτα και μακριά από σημερινή ενεργή κοίτη του ποταμού, αποτελεί απόδειξη για προγενέστερη ύπαρξη ενεργούς κοίτης στην περιοχή αυτή.
- iii. Ποτάμιας Ράχες (Αμμώδη Φράγματα): τα οποία τοποθετούνται στις κοίλες περιοχές εντός των αποκομμένων μαιάνδρων και είναι σχηματισμοί από άμμους και ιλύες

τοποθετημένες πλευρικά στις όχθες τους και οφείλουν τη γένεσή τους στην χαμηλής ταχύτητας – ροής στο εσωτερικό τμήμα των μαιάνδρων. Αποτελούν ένδειξη ώριμης ως προς το στάδιο εξέλιξης μαιανδρικής κοίτης και κατ' επέκταση ενός όχι πρόσφατου σε ηλικία γεωμορφολογικού περιβάλλοντος.

- iv. Ποτάμιες αναβαθμίδες: Είναι οι επίπεδες επιφάνειες που απομένουν εκτεθειμένες όταν τα ποτάμια τα οποία τις δημιούργησαν, διαβρώνουν πλέον κατά βάθος εντός των κοιτών (Εικόνα 3.5). Αποτελούν ουσιαστικά εγκαταλελειμμένα πλημμυρικά επίπεδα (floodplains) ενώ ο σχηματισμός τους υποδεικνύει μεταβολές συν τω χρόνω στο καθεστώς της προσφοράς ιζήματος από τον ποταμό και κατ' επέκταση και κλιματικές μεταβολές. Εντοπίζονται σε δύο θέσεις κατά μήκος της κεντρικής κοίτης του Πηνειού η πρώτη σε υψόμετρο 10 m στην έξοδο του ποταμού από την κοιλάδα των Τεμπών και η δεύτερη σε υψόμετρο 4-5 m στο κεντρικό τμήμα του Δέλτα.



Εικόνα 3.5 Άποψη τμήματος της επιφάνειας της κατώτατης αναβαθμίδας δυτικά του οικισμού του Παλαιόπυργου.

- Παράκτιες αμμώδεις θίνες: Μορφές αιολικής προέλευσης που εμφανίζουν διακεκομμένη αλλά μεγάλη ανάπτυξη. Το ύψος τους ποικίλει από 2 έως 5 m και η προέλευσή τους είναι τα στεγνά τμήματα της ακτής απ' όπου μεταφέρονται με τη δράση του ανέμου και αποτίθενται σε 1 έως 3 σειρές παράλληλες προς την ακτογραμμή. Συχνά αλλάζουν θέση ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις αναπτύσσεται σε αυτές υποτυπώδης ποώδης βλάστηση. Το υπόβαθρο τους είναι σκληρό και μπορεί να συντελέσει στο σχηματισμό λιμνοθάλασσας. Οι παρατηρήσεις πεδίου οδηγούν στο συμπέρασμα ότι κατά το πρόσφατο παρελθόν η εμφάνιση των θινών θα πρέπει να ήταν πολύ μεγαλύτερη. Η

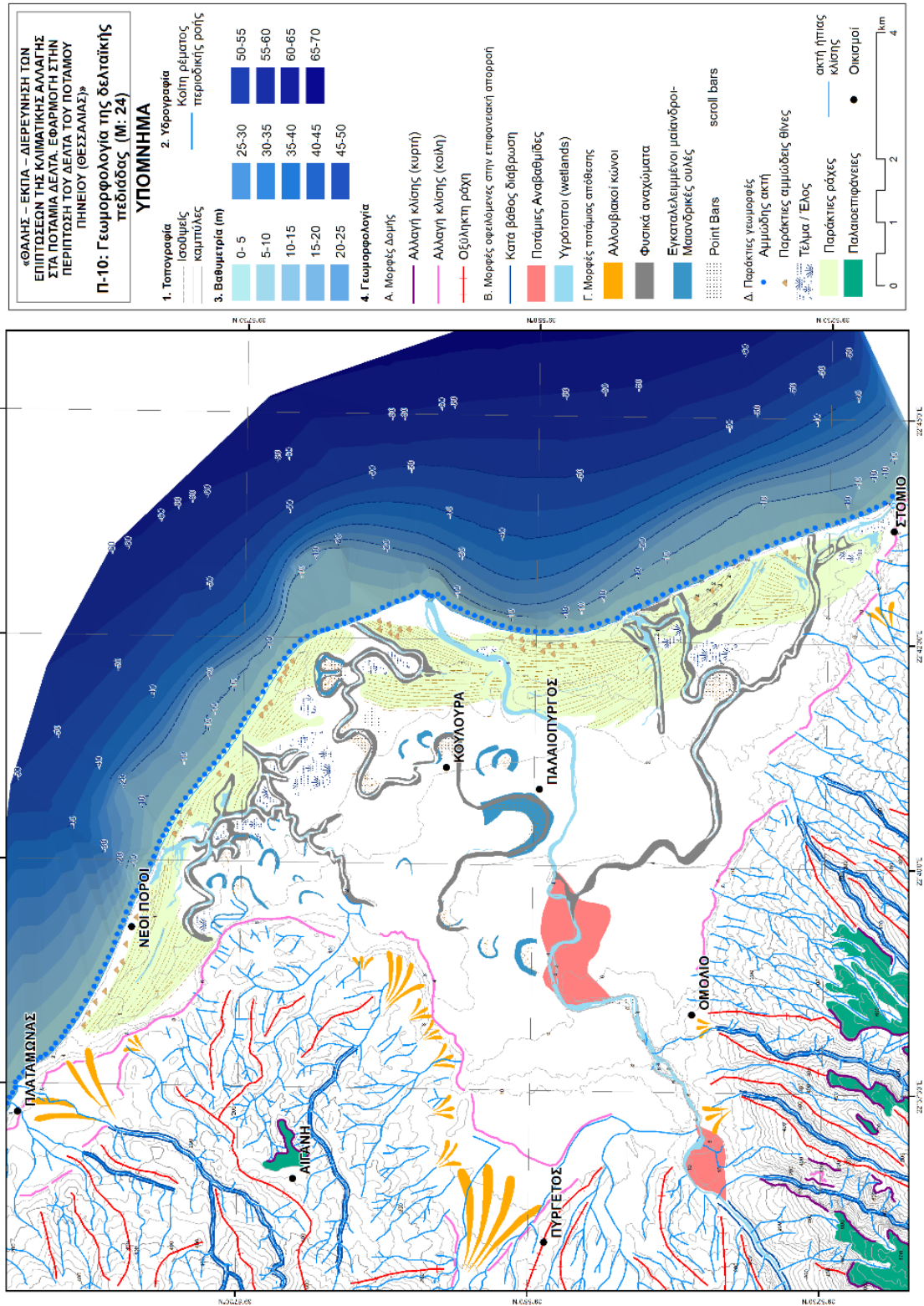


ελάττωση τους οφείλεται στην επέμβαση του ανθρώπου κυρίως για λόγους αμμοληψίας (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6 Πρόσφατες αμμοθίνες στην περιοχή του οικισμού Μεσάγγαλα αναπτυγμένες πέριξ των στυλωμάτων της περιφραξης ενός οικοπέδου.

- ν. Έλη και Λιμνοθάλασσες (υδάτινα χερσαία σώματα): καταλαμβάνουν έντονα μεταβαλλόμενη έκταση ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες. Έχουν γλωσσοειδή μορφή και παρατηρούνται σε διάφορες αποστάσεις από τη θάλασσα. Σχηματίζονται σαν αποτέλεσμα της αδυναμίας αποστράγγισης των εδαφών εξαιτίας των πολύ μικρών τοπογραφικών κλίσεων, της στεγανοποίησης που προκαλεί η απόθεση λεπτόκοκκων υλικών και των φυσικών εμποδίων εκροής προς τη θάλασσα.



Εικόνα 3.7 Γεωμορφολογικός χάρτης της Δελταϊκής πεδιάδας του Πηνειού ποταμού.

## 3.2 Κλιματικές συνθήκες

Εντός του Δέλτα δεν υπάρχουν εγκατεστημένοι μετεωρολογικοί σταθμοί της Ε.Μ.Υ. ή από άλλους δημόσιους φορείς. Για το λόγο αυτό τα δεδομένα προέρχονται από τους δυο (2) μετεωρολογικούς σταθμούς που εγκαταστάθηκαν στα Μεσάγκαλα και στο Παλαιόπυργο στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου ΘΑΛΗΣ/ΕΚΠΑ (MIS 375908), ενώ ελήφθησαν υπόψη και τα κλιματικά δεδομένα των σταθμών της ΕΜΥ Λάρισας, Πυργετού και Καρίτσας.

Ο μετεωρολογικός σταθμός της Καρίτσας λαμβάνει μετρήσεις θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, σε υψόμετρο 380 m από την επιφάνεια της θάλασσας και σε απόσταση περίπου 11 km από το κέντρο της πεδινής περιοχής. Ο σταθμός του Πυργετού λαμβάνει μετρήσεις βροχόπτωσης, σε υψόμετρο 31 m από την επιφάνεια της θάλασσας και σε απόσταση περίπου 6 km από το κέντρο της περιοχής.

Τα στοιχεία του σταθμού της Καρίτσας καλύπτουν περίοδο 24 ετών (1979-2003) και προέρχονται από το Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων του ΕΘΙΑΓΕ, ενώ του σταθμού του Πυργετού περίοδο 39 ετών (1960-1999) και προέρχονται από το ΥΠΕΧΩΔΕ.

Με βάση τα στοιχεία βροχόπτωσης και θερμοκρασίας του σταθμού της Καρίτσας, το κλίμα μπορεί να χαρακτηριστεί ως χερσαίο μεσογειακό με ξηρό και θερμό θέρος και ήπιο χειμώνα.

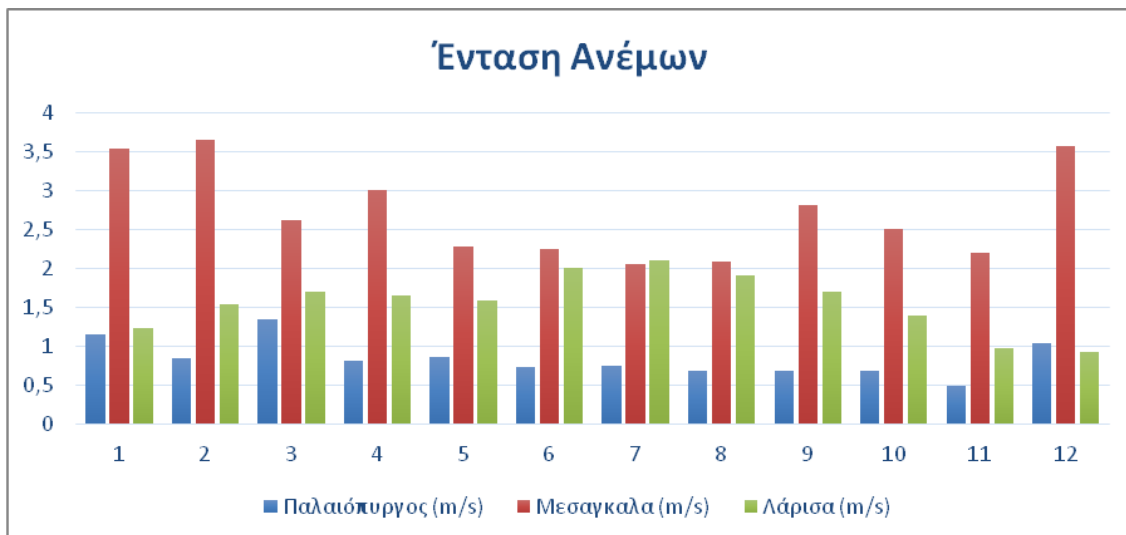
- Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 13.8 °C με μέγιστη 23.5 °C τον Ιούλιο και ελάχιστη 4.9 °C τον Ιανουάριο (προφανώς τα στοιχεία αυτά δεν είναι αντιπροσωπευτικά των συνθηκών στη δελταϊκή πεδιάδα)
- Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 1313.4 mm με υγρότερο μήνα το Δεκέμβριο (200.9 mm) και ξηρότερο τον Ιούλιο (19.9 mm)

Τέλος, βάσει των στοιχείων του σταθμού Πυργετού:

- Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 795.6 mm με υγρότερο μήνα τον Ιανουάριο (105.3 mm) και ξηρότερο τον Ιούλιο (19.4 mm)

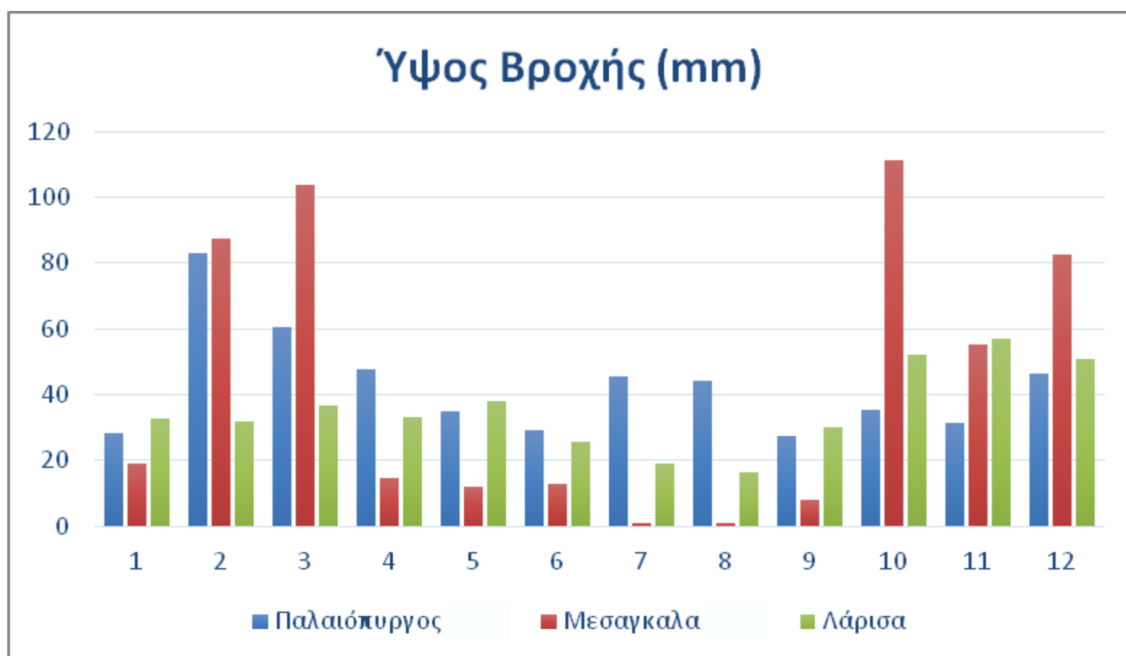
Οι μέσες μηνιαίες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων που μετρήθηκαν τα τελευταία χρόνια από τους μετεωρολογικούς σταθμούς Παλαιόπυργου και Μεσαγκάλων διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες μέσες τιμές των παλαιότερων μακροχρόνιων χρονοσειρών από τους σταθμούς Καρίτσας και Πυργετού. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία στη δελταϊκή πεδιάδα κατά τους θερινούς μήνες (Μ/Σ Παλαιόπυργος) είναι 7-14 °C υψηλότερη απ' ότι στην Καρίτσα

Οι μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου στον Μ/Σ στα Μεσάγκαλα, που βρίσκεται επί της παραλιακής ζώνης, είναι σημαντικά μεγαλύτερες απ' ότι στο σταθμό του Παλαιόπυργου, που ευρίσκεται μερικά χιλιόμετρα απόσταση από τη θάλασσα, πιθανότατα λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας ξηράς-θάλασσας που ελαχιστοποιεί τα διαστήματα άπνοιας (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8 Ένταση ανέμων σε Παλαιόπυργο (01/2013-12/2014), Μεσαγκαλα (09/2014-08/2015) και Λάρισσα (1954-1997).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η σύγκριση μεταξύ των τιμών βροχόπτωσης που μετρήθηκε εντός της δελταϊκής πεδιάδας (σταθμός Παλαιόπυργου) με τις αντίστοιχες μέσες μηνιαίες τιμές του σταθμού της Λάρισσας, όπου παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις στη μέση ετήσια πορεία της βροχής, με εξαίρεση τους μήνες Φεβρουάριο - Μάρτιο όπου τα ύψη βροχής στον Παλαιόπυργο είναι σημαντικά μεγαλύτερα από αυτά της Λάρισσας, σε αντίθεση με τους προηγούμενους μήνες Οκτώβριο - Νοέμβριο - Δεκέμβριο όταν τα ύψη βροχής στη Λάρισσα είναι μεγαλύτερα από αυτά του Παλαιόπυργου (Εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9 Μηνιαία ύψη βροχής σε Παλαιόπυργο (01/2013-12/2014), Μεσαγκαλα (09/2014-08/2015) και Λάρισσα (1954-1997).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι προαναφερόμενες διαφορές μπορούν μεν να αποδοθούν στο ότι μεταξύ του Θεσσαλικού κάμπου και της δελταϊκής πεδιάδας μεσολαβεί ο ορεινός όγκος που διασχίζεται από τη κοιλάδα των Τεμπών αλλά και από την άμεση επίδραση της θάλασσας, όμως σαφώς δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα, λόγω της πολύ μεγάλης διαφοράς στις συγκρινόμενες χρονοσειρές.

### 3.3 Υδρογεωλογία

Το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις, τις απώλειες εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής, την επιφανειακή απορροή, τη διήθηση και την υπόγεια κίνηση του νερού (τροφοδοσία υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων από τα διηθούμενα κατακρημνίσματα κυρίως στην περιοχή του Κάτω Ολύμπου). Οι ποσότητες νερού που καταλήγουν στην περιοχή μελέτης, επιφανειακά και υπόγεια (λόγω πλευρικών εισροών διηθούμενων υδάτων) εκτιμώνται ως η διαφορά μεταξύ των κατακρημνισμάτων (βροχοπτώσεων κτλ) και των απωλειών (εξατμισοδιαπνοής) από τη φυτική βλάστηση (δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις).

Το σύνολο της ποσότητας νερού που απορρέει ή κατεισδύει εντός των σχηματισμών των ορεινών περιοχών που περιβάλλουν το Δέλτα του Πηνειού και εντάσσονται στη υδρολογική του λεκάνη, ανέρχεται σε 192,600,000 m<sup>3</sup>/έτος. Βιβλιογραφικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι η ποτάμια παροχή εμφανίζει μέγιστο την περίοδο Νοεμβρίου - Απριλίου και ελάχιστο την περίοδο Μαΐου - Σεπτεμβρίου (Lazogiannis *et al.*, 2014).

Η κάλυψη των υδατικών αναγκών της περιοχής στηρίζεται στην άντληση επιφανειακών υδάτων από τις κοίτες του ποταμού Πηνειού και από πηγάδια και γεωτρήσεις που υδρομαστεύουν την υπόγεια υδροφορία που αναπτύσσεται εντός των αλλουβιακών προσχώσεων και δευτερευόντως εντός των πλευρικών κορημάτων και της νεογενούς ακολουθίας. Οι τελευταίες επιτελούν σημαντικό ρόλο στην κάλυψη τμήματος των υδρευτικών αναγκών των παράκτιων οικισμών. Επισημαίνεται ότι στην περιοχή έχουν κατά το παρελθόν απογραφεί 141 σημεία εμφάνισης ύδατος, εκ των οποίων λιθολογικές τομές υφίστανται μόνο για ελάχιστα εξ αυτών.

#### 3.3.1 Ποτάμιες παροχές

Με βάση τη λιθολογική σύσταση των σχηματισμών που δομούν την περιοχή αυτή και την τοπογραφική κλίση που παρουσιάζει το ανάγλυφο, μπορεί να εκτιμηθεί συντελεστής κατείσδυσης  $i=1.5\%$ . Θεωρώντας ότι τα υδρολογικά όρια της λεκάνης ταυτίζονται με τα υδρογεωλογικά, ο συνολικός όγκος που εισέρχεται μέσω πλευρικών εισροών ανέρχεται σε 2,889,000 m<sup>3</sup>/έτος. Ωστόσο, κάτι τέτοιο εκτιμάται ότι δε συμβαίνει και επομένως τμήμα του παραπάνω όγκου τροφοδοτεί με υπόγεια ροή περιοχές και εκτός του υπό μελέτη αλλουβιακού πεδίου. Από την ποσότητα αυτή εκτιμάται ότι τελικά εισρέει όγκος αρκετά μικρότερος των 1,000,000 m<sup>3</sup>/έτος. Η μεγαλύτερη ποσότητα ρέει επιφανειακά και, λόγω

των έντονων κλίσεων των υδατορρευμάτων, καταλήγει άμεσα μέσω των δελταϊκών σχηματισμών του Πηνειού ποταμού στο Θερμαϊκό κόλπο.

Την περιοχή μελέτης ρέει ο Πηνειός ποταμός με το σύστημα των δελτοειδών σχηματισμών του που διαπλέκονται με τις απολήξεις των χειμάρρων Όσσας και Κάτω Ολύμπου. Κύριος τροφοδότης της περιοχής σε επιφανειακό νερό είναι ο Πηνειός με μεταβαλλόμενη ροή μεταξύ χειμώνα και θέρους. Κατά τη θερινή, κρίσιμη, περίοδο η παροχή του Πηνειού κατά την είσοδό του στην δελταϊκή πεδιάδα κατά βάση προέρχεται από το νερό των πηγών κατά μήκος της Κοιλιάδας των Τεμπών που ανέρχεται σε  $\sim 8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Στο υδατικό ισοζύγιο της περιοχής συμβάλλουν οι απορροές και διηθήσεις από τις πλευρικές λεκάνες απορροής των χειμάρρων της Όσσας και του Κάτω Ολύμπου στοιχεία για τις οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί.

**Πίνακας 3.1** Περιοχές λεκανών απορροής χειμάρρων περιοχών Όσσας και Κάτω Ολύμπου.

Υψόμετρική ζώνη (m)	Μέσο υψόμετρο ζώνης (m)	Περιοχή χειμάρρων Όσσας (km <sup>2</sup> )	Περιοχή χειμάρρων Κάτω Ολύμπου (km <sup>2</sup> )
10-100	55	12.85	33.77
100-200	150	4.90	10.26
200-400	300	10.63	14.47
400-600	500	10.93	10.61
600-800	700	17.25	10.45
800-1000	900	22.11	12.27
1000-1200	1100	8.97	12.8
1200-1400	1300	4.10	3.75
1400-1600	1500	3.14	0.98
1600-1800	1700	0.92	-
1800-2000	1900	0.01	-
Συνολικό εμβαδό (km <sup>2</sup> )		95.81	109.36
Μέσο υψόμετρο περιοχής (m)		663.4	473.9

Η νότια και νοτιοδυτική δελταϊκή περιοχή δέχεται σημαντικές απορροές από τις **ορεινές λεκάνες απορροής της Όσσας** συνολικού εμβαδού  $\sim 89 \text{ km}^2$ . Όλοι οι χείμαρροι αυτοί, αρκετοί τον αριθμό, τελικά εκβάλλουν στην παλαιά κοίτη του Πηνειού, κυρίως στον δεξιό της κλάδο που εκβάλλει κοντά στο Στόμιο. Από τους σημαντικότερους χείμαρρους της περιοχής είναι ο Μέγας Λάκκος, Κουλιαλή Ρ., Σύνορο Ρ., Αλήαγα Ρ., Αμπελικής Ρ., Περιστεράς-Οξυάς Ρ. και Πάτρας Ρ. Ο σημαντικότερος χείμαρρος (Αλί Αγα Ρέμα) παροχετεύει τα νερά λεκάνης απορροής  $\sim 21 \text{ km}^2$  ενώ και άλλοι χείμαρροι (Σύνορο,

Περιστεράς-Οξυάς και Πάτρας) έχουν λεκάνες απορροής 9-12 km<sup>2</sup>. Οι θερινές παροχές των ρεμάτων είναι ασήμαντες ή μηδενικές λόγω ανυπαρξίας αξιόλογων πηγαίων υδάτων.

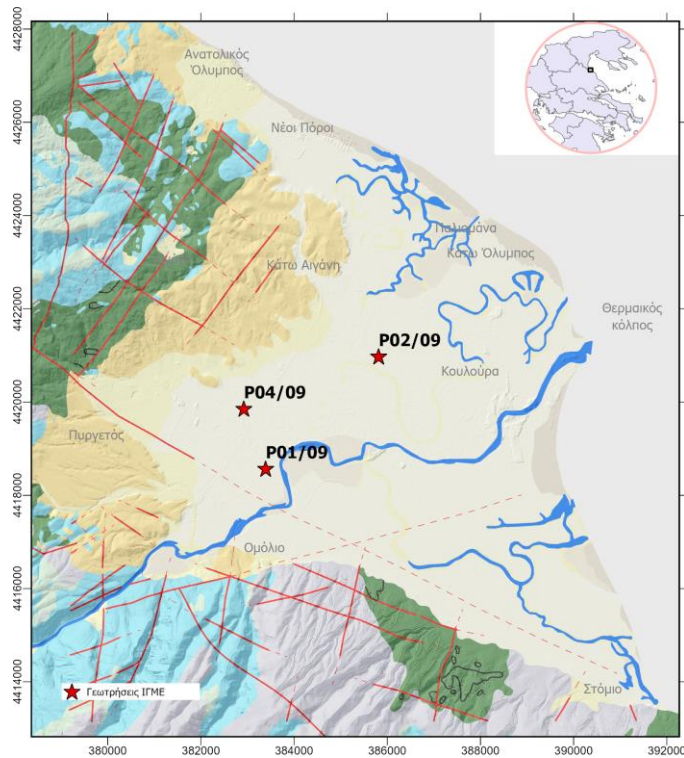
Κύριοι αποδέκτες της περιοχής βόρεια του ποταμού Πηνειού είναι οι χείμαρροι Ρουμάνι-Παπαπούλι (ή Ποταμούλι) και Καρατζούνι - Παλιοπόταμο. Τροφοδοτούνται από τις ορεινές λεκάνες απορροής του Κάτω Ολύμπου συνολικής έκτασης 94 km<sup>2</sup> που εκτείνονται στις ανατολικές υπώρειες του.

Η λεκάνη απορροής που καταλήγει στο Παπαπούλι εκτιμάται να δίνει σημαντικές πλημμυρικές παροχές. Γι' αυτό το λόγο ο χείμαρρος έχει διαμορφωθεί σε αντιπλημμυρική τάφρο με πρόχειρη διευθέτηση. Η θερινή του παροχή είναι αμελητέα γιατί δεν υπάρχουν αξιόλογες πηγές νερού μέσα στην λεκάνη απορροής του.

Ο χείμαρρος Παλιοπόταμος διασχίζει με έντονους μαιανδρισμούς το κέντρο της δελταϊκής περιοχής και παροχέτευε στο παρελθόν τα νερά σημαντικής λεκάνης απορροής τα οποία όμως αποκόπηκαν με το ανάχωμα της τάφρου Σμίξη και οδηγούνται το χειμώνα στην κοίτη του Πηνειού. Έτσι τόσο η θερινή όσο και η χειμερινή άμεση παροχή του είναι αμελητέες.

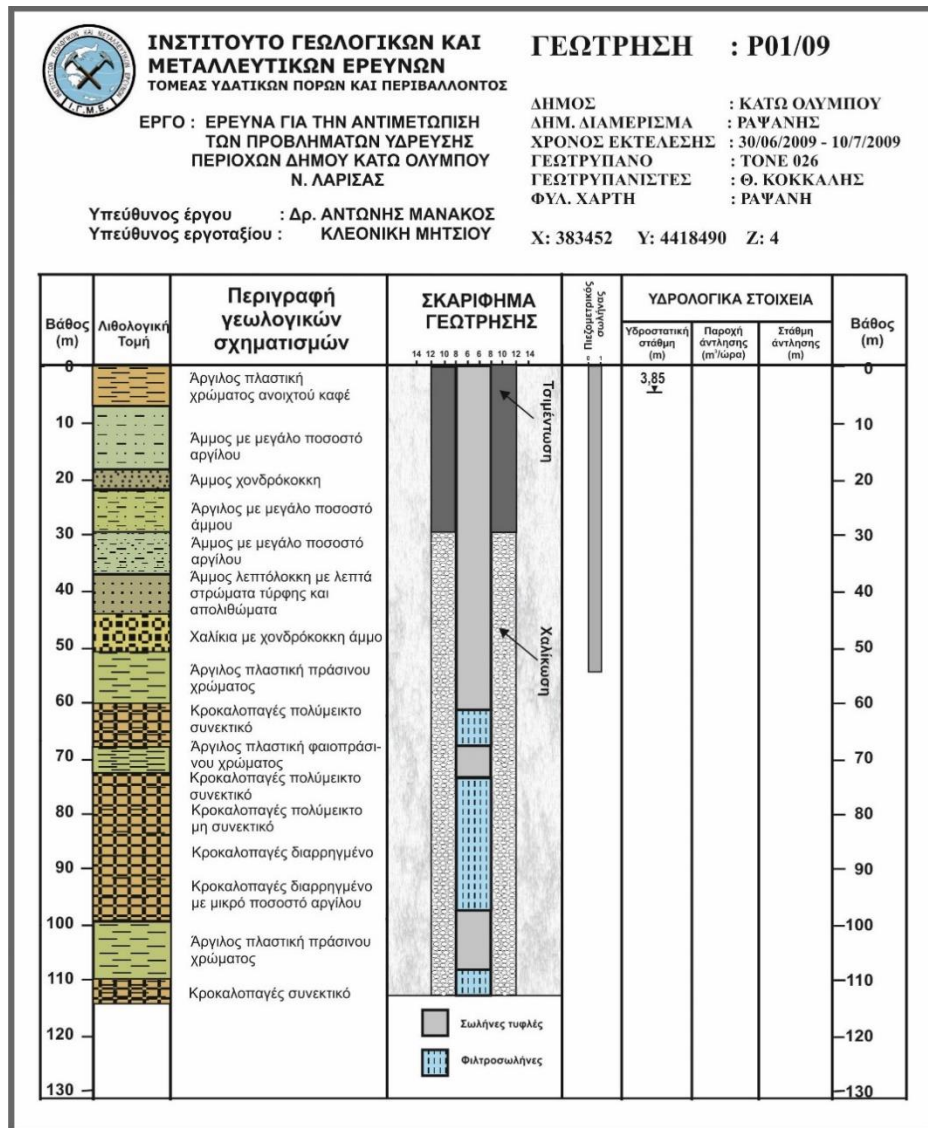
### 3.3.2 Υδροφόροι ορίζοντες

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στην περιοχή από 141 σημεία εμφάνισης ύδατος που έχουν απογραφεί, οι λιθολογικές τομές και τα αποτελέσματα δοκιμαστικών αντλήσεων υφίστανται μόνο για ελάχιστα εξ αυτών.



Εικόνα 3.10 Χάρτης της δελταϊκής πεδιάδας όπου σημειώνεται η θέση των τριών γεωτρήσεων του ΙΓΜΕ.

Στην Εικόνα 3.10 παρουσιάζονται οι γεωτρήσεις που πραγματοποίησε ο Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) το 2009 (Μανάκος & Τσιούμας, 2010). Στις Εικόνες 3.11, 3.12 και 3.13 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα φύλλα αυτών των γεωτρήσεων.

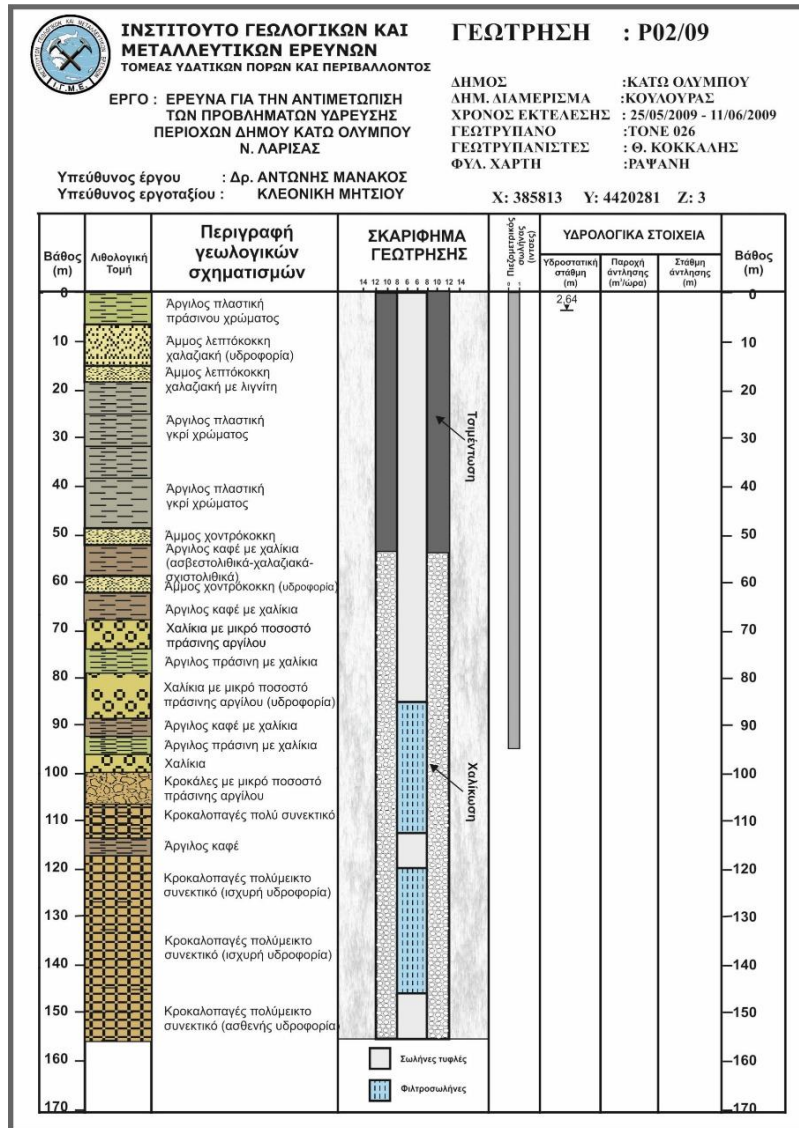


Εικόνα 3.11 Φύλλο γεώτρησης P01/09.

Κατά την κατακόρυφη έννοια και με βάση τα γεωμορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της δελταϊκής πεδιάδας, στις αλλουβιακές αποθέσεις της δελταϊκής πεδιάδας του ποταμού Πηνειού διακρίνονται τρεις κατακόρυφες υδρογεωλογικές ενότητες. Η πρώτη ενότητα αφορά στις **αλλουβιακές αποθέσεις** εντός των οποίων φιλοξενείται ο επιφανειακός, φρεάτιος υδροφόρος. Ο επιφανειακός υδροφόρος τροφοδοτείται μέσω: (i) των κώνων κορημάτων του Πλειστοκαίνου που οριοθετούν το εσωτερικό όριο του Δέλτα όπου ο Πηνειός εξέρχεται από τα Τέμπελη (ii) της βροχόπτωσης και (iii) πλευρικά μέσω λιγότερο περατών σχηματισμών όπως τα Νεογενή. Παλαιές μελέτες (e.g. Matiatos *et al.*,



2014b; Παναγόπουλος κ.ά., 2001) δείχνουν την υδραυλική επικοινωνία μεταξύ του ποταμού και του υδροφόρου ειδικά στο κεντρικό τμήμα της πεδιάδας, ανάλογα την εποχή και την διακύμανση της υπόγειας στάθμης του νερού.

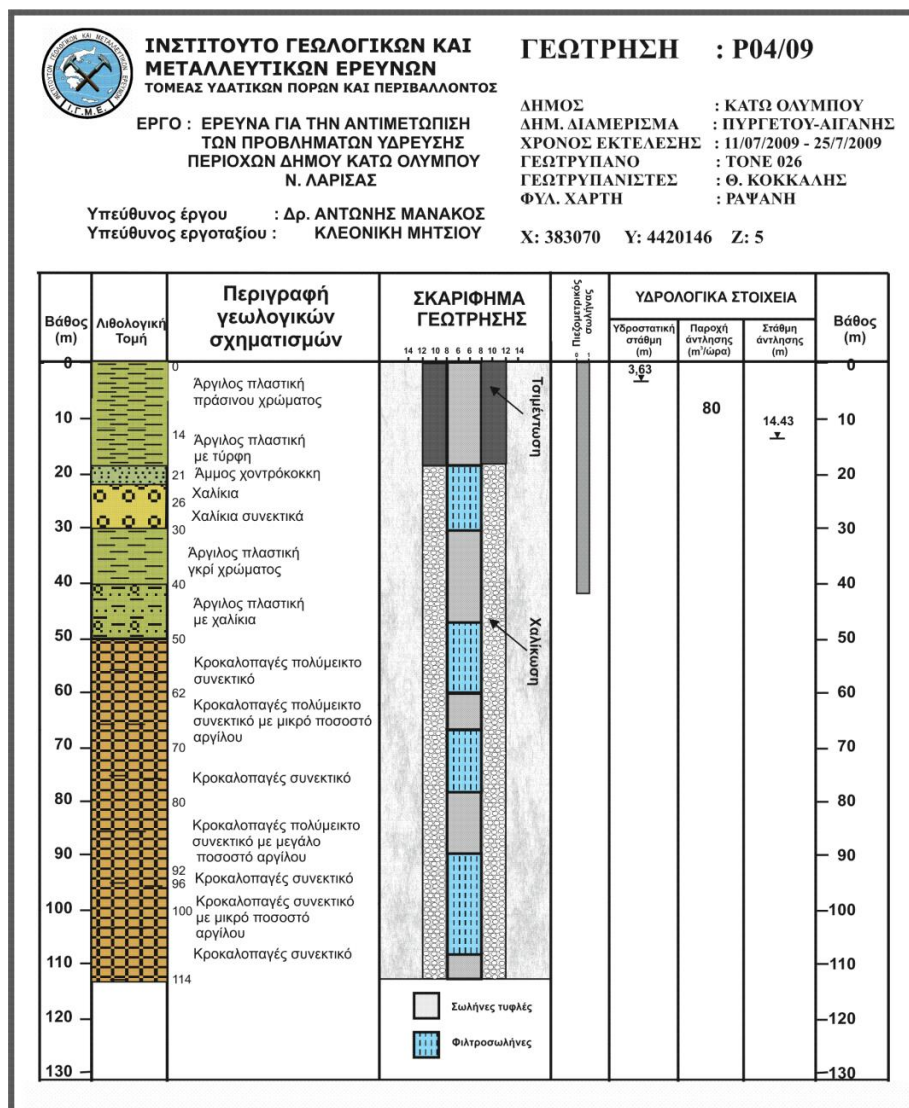


Εικόνα 3.12 Φύλλο γεώτρησης P02/09.

Η κοκκομετρία των αλλουβιακών αποθέσεων μεταβάλλεται από χονδρόκοκκη σε λεπτόκοκκη με φορά από τα ανάντη όρια της λεκάνης προς την ακτογραμμή. Έτσι προς τα κεντρικά και κατάντη τμήματα της λεκάνης, προοδευτικά αυξάνει το ποσοστό ιλυωδών και αργιλωδών υλικών με αποτέλεσμα να μειώνονται αντίστοιχα και οι υδραυλικές παράμετροι του υδροφόρου συστήματος. Η κατανομή αυτή διαταράσσεται κατά μήκος των κοιτών του ποταμού (παλαιών και σύγχρονων), όπου αναμένεται η ύπαρξη αδρομερών υλικών σαν αποτέλεσμα της αποθετικής ικανότητας του ποταμού.

Κάτω από την ενότητα που φιλοξενεί τη φρεάτια υδροφορία, σχεδόν στο σύνολο της έκτασης της λεκάνης, αναπτύσσεται μία ενότητα λεπτομερούς υλικού **αργιλομαργαϊκής σύστασης**, της οποίας τα υδραυλικά χαρακτηριστικά υποδηλώνουν ότι λειτουργεί ως αδιαπέρατο ή ημι-περατό στρώμα μεταξύ της φρεάτιας υδροφορίας και της βαθύτερης γεωλογικής ενότητας.

Του στρώματος αυτού υπόκειται μία σημαντικού πάχους ενότητα, ψαμμιτικής ή **ψαμμιτο-κροκαλοπαγούς** σύνθεσης η οποία ενδεχομένως αποτελεί μέλος της νεογενούς ακολουθίας που έχει επιφανειακή εξάπλωση στα δυτικά κράσπεδα της λεκάνης.



Εικόνα 3.13 Φύλλο γεώτρησης P04/09.

Σε όλο το ανατολικό όριο, το υδροφόρο σύστημα της δελταϊκής πεδιάδας συνορεύει με τη θάλασσα. Η ανάλυση της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης των υπογείων υδάτων της δελταϊκής πεδιάδας υποδεικνύει περιορισμένο, αλλά επαρκές επηρεασμό της ποιότητας

των υδάτων από τη θάλασσα. Ως εκ τούτου το υδροφόρο σύστημα της περιοχής έρευνας θεωρείται ανοικτό προς τη θάλασσα.

Από προκαταρκτικά αποτελέσματα επεξεργασίας των γεωηλεκτρικών γεωφυσικών δεδομένων προκύπτει ότι το φρεάτιο υδροφόρο σύστημα δεν εντοπίζεται σε όλη την έκταση της δελταϊκής πεδιάδας και εκτείνεται κυρίως στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της περιοχής (Αλεξόπουλος κ.ά., 2014). Αυτό συμφωνεί με προηγούμενους ερευνητές (Παναγόπουλος κ.ά., 2001), οι οποίοι αναφέρουν ότι το βάθος του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα είναι γενικά περιορισμένο με το βάθος της στάθμης να μην ξεπερνά τα 4 μέτρα για όλο το διάστημα Οκτώβριος 2012 - Σεπτέμβριος 2013 στα σημεία στα οποία έγιναν μετρήσεις (Matiatos *et al.*, 2014). Επίσης, γεωφυσική έρευνα ανέδειξε την ύπαρξη γλυκού νερού στη μεγαλύτερη έκταση του υδροφορέα και περιορισμένη θαλάσσια διείσδυση στην παράκτια ζώνη, η οποία φαίνεται να ελέγχεται από το υδραυλικό φορτίο εντός του υδροφόρου συστήματος και από την ιζηματολογική σύσταση του αμμοθινικού συστήματος. Η διαπίστωση αυτή συμφωνεί με τα προηγούμενα υδροχημικά δεδομένα (Matiatos *et al.*, 2014) τα οποία καταδεικνύουν ότι οι υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου καταγράφηκαν στη ζώνη αυτή. Τέλος οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων (> 1000 mg/l) που παρατηρούνται στο βόρειο τμήμα της πεδιάδας οφείλονται σε αλληλεπίδραση με τον βαθύ υφάλμυρο υδροφόρο (Matiatos *et al.*, 2018).

## 4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η συλλογή του συνόλου των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εφαρμοσμένης γεωπεριβαλλοντικής έρευνας των έργων ΘΑΛΗΣ/ΕΚΠΑ (MIS 375908, «Διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα ποτάμια Δέλτα. Εφαρμογή στην περίπτωση του Δέλτα του ποταμού Πηνειού (Θεσσαλίας)» και AGROCLIMA (11ΣΥΝ\_3\_1913) ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ – ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ.

### 4.1 Δεδομένα Τηλεπισκόπησης

Τα δεδομένα Τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία ειδίκευσης είναι τα εξής:

- 1) Πολυφασματικά δεδομένα του δορυφορικού αισθητήρα WorldView-2 με 2 m μέγεθος εικονοστοιχείου, ημερομηνία λήψης 27/07/2013, από την εταιρία δορυφορικών δεδομένων DigitalGlobe (Digitalglobe Inc., Longmont, Colorado, United States).
- 2) Δορυφορικά παγχρωματικά δεδομένα του δορυφορικού αισθητήρα WorldView-2 με 0.5 m μέγεθος εικονοστοιχείου, ημερομηνία λήψης 27/07/2013 (DigitalGlobe Inc.).
- 3) Ορθοφωτοχάρτης του 1996 με χωρική διακριτική ικανότητα 1 m
- 4) Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) με χωρική διακριτική ικανότητα 5 m από το Εθνικό Κτηματολόγιο.

Το προβολικό σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκε, για τη διαχείριση και απεικόνιση όλων των δεδομένων, είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ'87).

Ο δορυφόρος WorldView-2 είναι ο πρώτος δορυφόρος Πολύ Υψηλής Ανάλυσης (ΠΥΑ) που διαθέτει οχτώ φασματικά κανάλια και ένα παγχρωματικό (DigitalGlobe, Inc., 2009b; 2013a; 2013b; 2013c). Είναι σημαντικό να είναι διαθέσιμα δεδομένα με πολυφασματικές ιδιότητες αλλά και παγχρωματικά δεδομένα με υψηλή διακριτική ικανότητα. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους σε αρκετά μεγάλο εύρος κλιμάκων εργασίας, ανάλογα με τις ανάγκες που παρουσιάζονται.

Πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των δεδομένων με τα εξής κύρια βήματα:

- Συγχώνευση των δορυφορικών εικόνων (παγχρωματικής και πολυφασματικής) σε ενιαία πολυκάνναλη εικόνα
- Ατμοσφαιρική Διόρθωση
- Γεωμετρική διόρθωση
- Ορθοαναγωγή

#### 4.1.1 Ατμοσφαιρική Διόρθωση

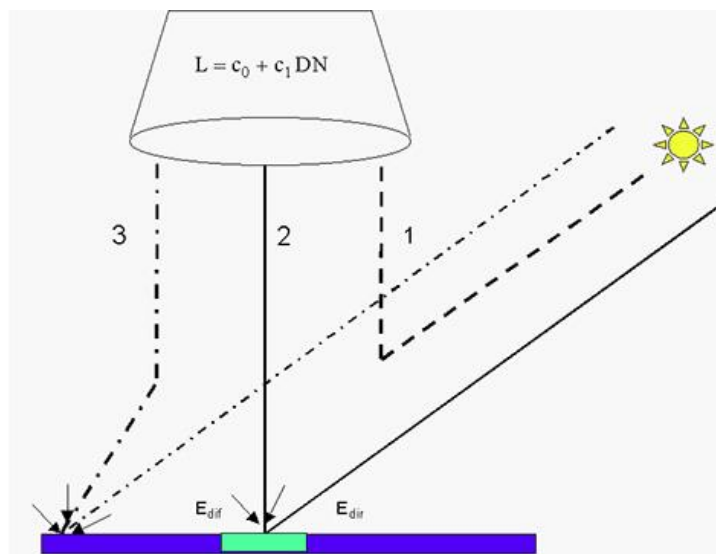
Η ατμοσφαιρική διόρθωση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ATCOR 2 που κυρίως χρησιμοποιείται για διόρθωση σε ήπιο ανάγλυφο.

Το ATCOR χρησιμοποιεί ένα Project το οποίο αποθηκεύει όλες τις πληροφορίες που συλλέγονται κατά της διάρκεια της διαδικασίας διόρθωσης.

Το WorldView-2 παρέχει οπτικά δεδομένα με 8 πολυφασματικά κανάλια στην περιοχή VNIR (428 - 923 nm) σε χωρική ανάλυση 1.8 m (nadir) με δυναμική περιοχή 11 bit ανά εικονοστοιχείο. Το όργανο έχει επιλέξιμους radiometric gain factors ("absCalFactor") που καθορίζονται στο metafile (\*.IMD). Το  $c_0$  είναι μηδέν για όλα τα κανάλια (Εικόνα 4.1) και το gain  $c_1$  για το ATCOR πρέπει να υπολογιστεί σύμφωνα με τον τύπο:

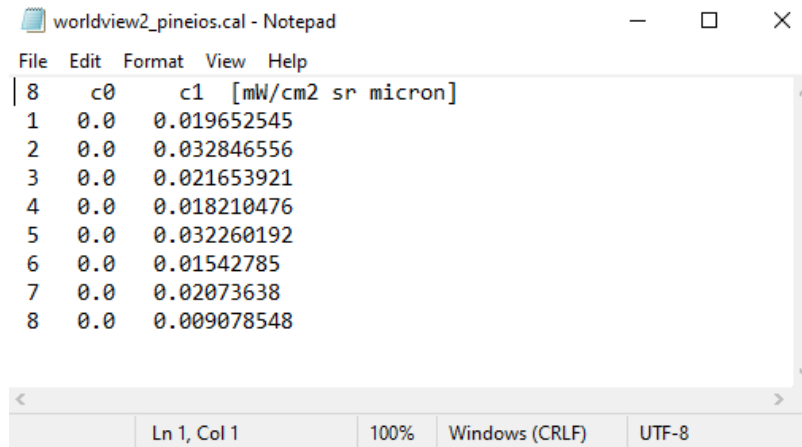
$$c_1 = 0.1 \text{ AbsCalFactor} / \text{FWHM} \quad (4-1)$$

όπου το FWHM είναι το ενεργό εύρος ζώνης ("effectiveBandwidth" σε  $\mu\text{m}$ ), όπως ορίζεται στο metafile. Αν και το εύρος ζώνης είναι σταθερό ανά κανάλι, το  $c_1$  ίσως χρειαστεί να ενημερώνεται, επειδή ο absCalFactor μπορεί να ποικίλει από περιοχή σε περιοχή.



Εικόνα 4.1 Σχηματική σκιαγράφιση των συνιστωσών της ακτινοβολίας για επίπεδη περιοχή 1. συνολικό σήμα στον αισθητήρα από την διαδρομή της ακτινοβολίας, 2. η ανακλώμενη ακτινοβολία από το pixel μας 3. η ακτινοβολία από την γειτονική περιοχή.

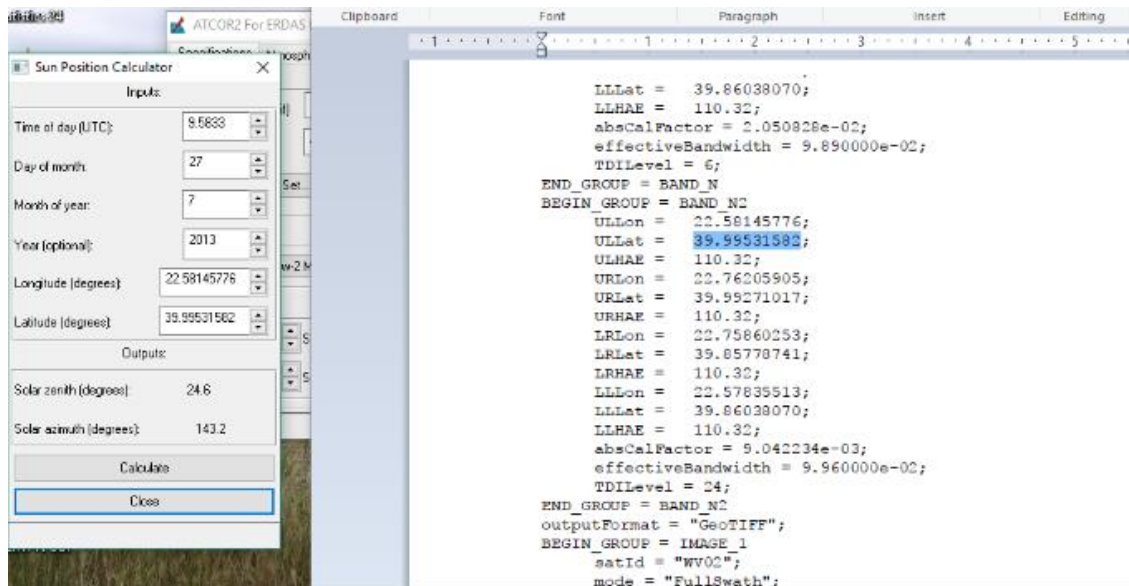
Από το ίδιο αρχείο (\*.IMD) παίρνουμε και τις υπόλοιπες πληροφορίες που χρειαζόμαστε για την διαδικασία της ατμοσφαιρική διόρθωσης, όπως την ακριβή ημερομηνία και ώρα λήψης της δορυφορικής εικόνας, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, το ηλιακό αζιμούθιο και την συμπληρωματική γωνία του υψομέτρου του ηλίου, το αζιμούθιο του δορυφόρου και την γωνία στρέψης του κατόπτρου του από το ναδίρ (Εικόνες 4.3 & 4.4).



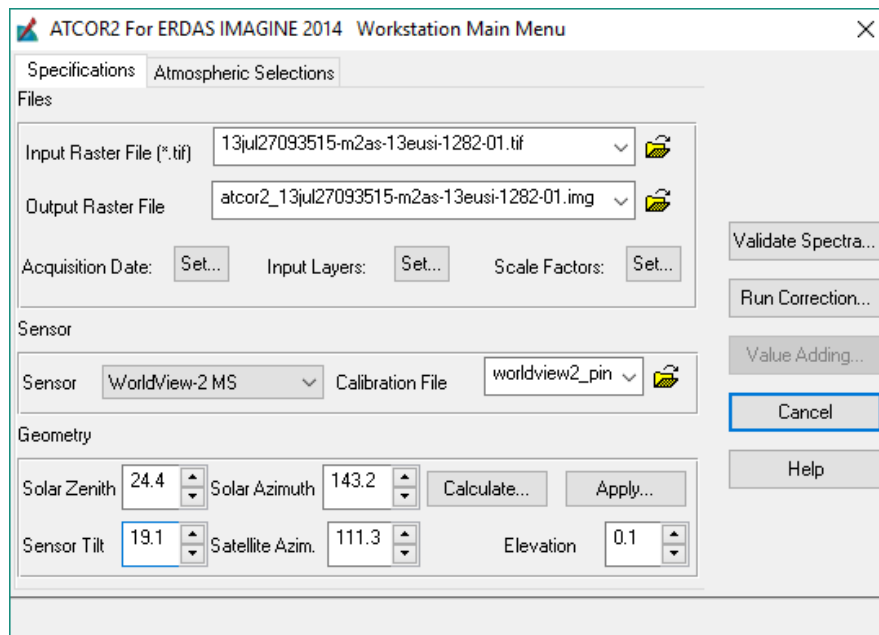
Εικόνα 4.2 Εισαγωγή των ενημερωμένων τιμών του  $C_1$  μετά τον υπολογισμό τους σε ένα αρχείο Excel σύμφωνα με τον τύπο (4-1).

Στην Εικόνα 4.5 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα του υπολογισμού της ορατότητας που ισούται με 29 km και καθορίζεται ο τύπος της περιοχής που απεικονίζεται στην δορυφορική εικόνα (αγροτική, αστική, ερημική) και η εποχή λήψης.

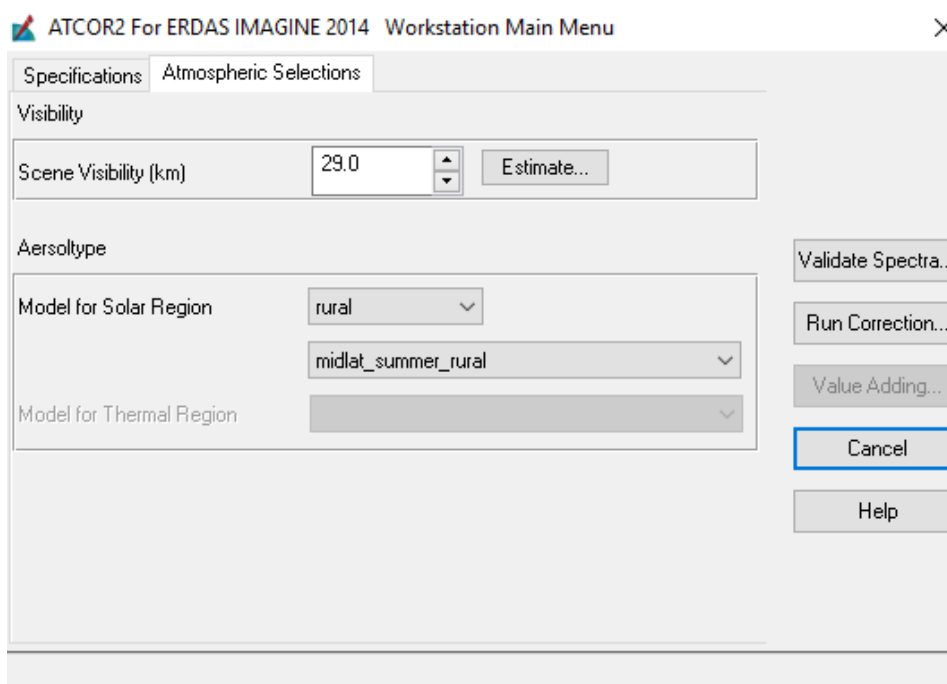
Όταν έχουμε εισάγει όλες αυτές τις πληροφορίες είμαστε έτοιμοι να τρέξουμε την διόρθωση (*Run Correction*). Για κάθε κανάλι υπολογίζεται η μέση, μέγιστη, ελάχιστη τιμή και τυπική απόκλιση στις διαφορές των τιμών των ρixel. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.3 Εισαγωγή των δεδομένων του metafile στο ATCOR για υπολογισμό της ηλιακής θέσης την ώρα της λήψης της δορυφορικής εικόνας.

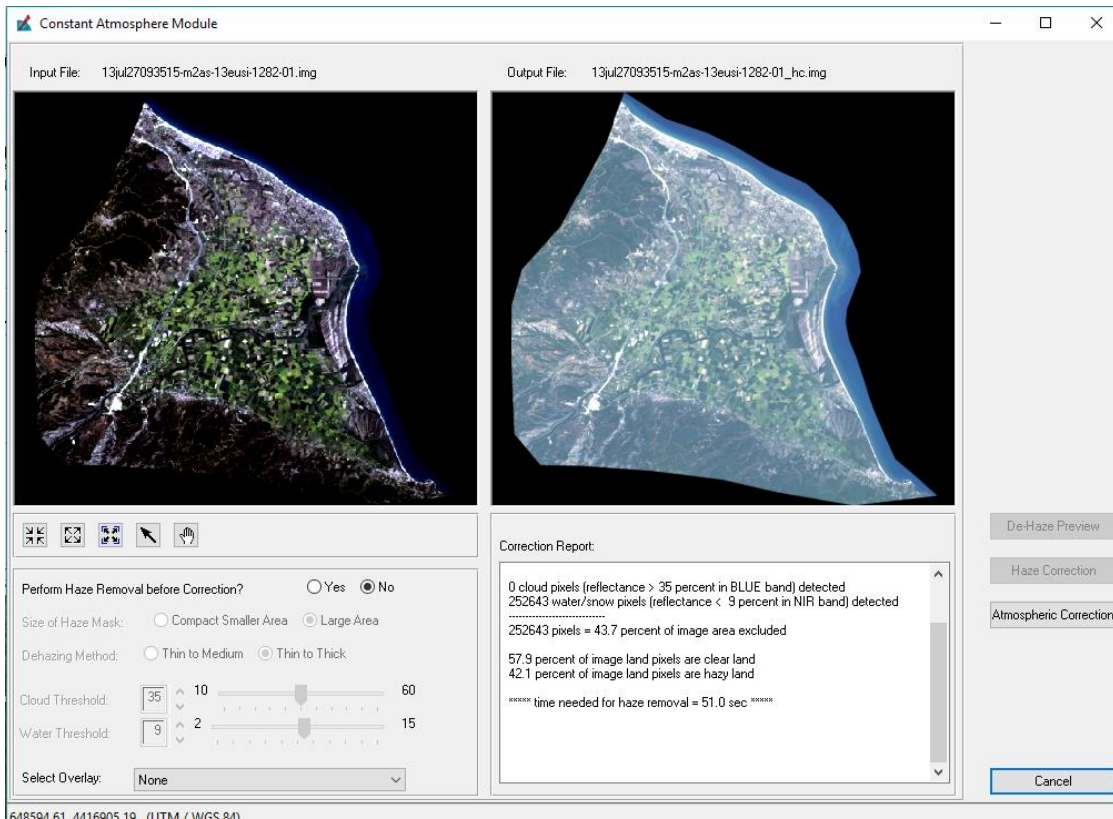


Εικόνα 4.4 Εισαγωγή του ενημερωμένου αρχείου .cal για να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια η διαδικασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης.

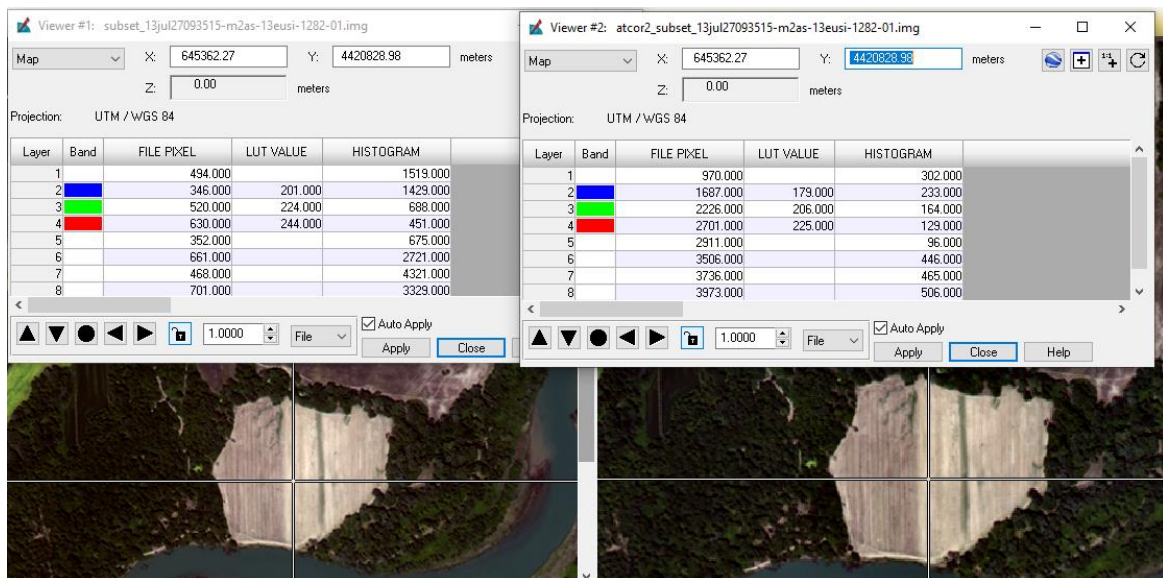


Εικόνα 4.5 Η βέλτιστη επιλογή για την περιοχή μας ήταν ο καθορισμός της ως αγροτικής.

Στην Εικόνα 4.7 δίνεται ένα παράδειγμα της διαφοροποίησης που παρουσιάζει στις τιμές του ένα pixel πριν και μετά τη διαδικασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης.



Εικόνα 4.6 Αριστερά παρουσιάζεται η δορυφορική εικόνα πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση ενώ δεξιά το οπτικό αποτέλεσμα της διαδικασίας.



Εικόνα 4.7 Οι τιμές του ίδιου pixel πριν την ατμοσφαιρική διόρθωση (αριστερά) και μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας (δεξιά).

#### 4.1.2 Συγχώνευση των δορυφορικών εικόνων

Η συγχώνευση μιας δορυφορικής εικόνας μπορεί να συνδυάζει, με την χρήση κατάλληλων αλγόριθμων, δεδομένα από τον ίδιο ή από διαφορετικούς αισθητήρες με διαφορετικές

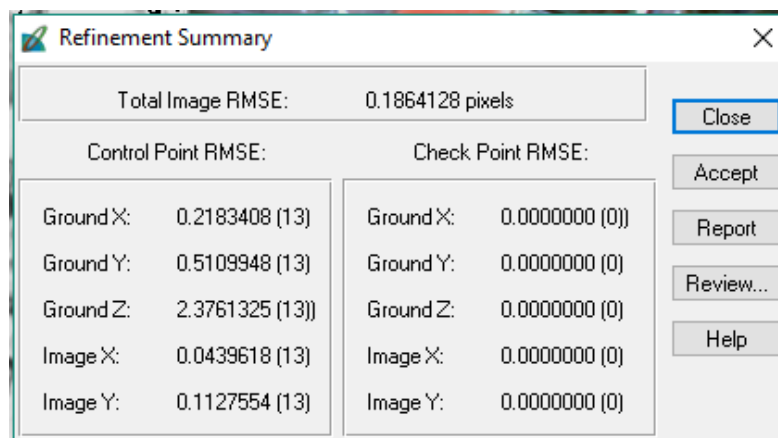


χωρικές αναλύσεις για τη βελτίωση της αναγνωσιμότητας των εικόνων της χαμηλότερης ανάλυσης. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται συγχώνευση, merging ή fusion πολυδιάστατων εικόνων ή όξυνση, sharpening, της εικόνας με τη μικρότερη χωρική ανάλυση (Wald *et al.*, 1997). Στη συγχώνευση το προϊόν έχει τη χωρική ανάλυση της εικόνας με τη μεγαλύτερη χωρική ανάλυση, η οποία συνήθως είναι μια παγχρωματική εικόνα, και τα φασματικά χαρακτηριστικά της πολυφασματικής. Η μέθοδος των Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis ή PCA) (Chavez *et al.*, 1991) που χρησιμοποιήθηκε είναι από τις πιο διαδεδομένες.

#### 4.1.3 Γεωμετρική Διόρθωση - Ορθοαναγωγή

Στην γεωμετρική διόρθωση και ορθοαναγωγή της δορυφορικής εικόνας χρησιμοποιήθηκαν ο ορθοφωτοχάρτης καθώς και το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο αναγλύφου (DEM) της περιοχής μελέτης ως αρχεία αναφοράς για την συλλογή των GCPs points.

Για την διαδικασία της ορθοαναγωγής της δορυφορικής εικόνας WV-2 χρησιμοποιήθηκε η εργαλειοθήκη Imagine Photogrammetry του λογισμικού ERDAS Imagine 2014 της Integratph. Στα αρχικά στάδια της διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε το αρχείο με κατάληξη RPB, το οποίο διατίθεται μαζί με τα αρχεία προμήθειας της εικόνας και περιλαμβάνει πληροφορίες του εσωτερικού προσανατολισμού του δορυφόρου κατά τη λήψη της εικόνας.



Total Image RMSE:		0.1864128 pixels	
Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	0.2183408 (13)	Ground X:	0.0000000 (0)
Ground Y:	0.5109948 (13)	Ground Y:	0.0000000 (0)
Ground Z:	2.3761325 (13)	Ground Z:	0.0000000 (0)
Image X:	0.0439618 (13)	Image X:	0.0000000 (0)
Image Y:	0.1127554 (13)	Image Y:	0.0000000 (0)

Εικόνα 4.8 Τελικός αριθμός σφάλματος κατά την διαδικασία επιλογής των επίγειων σημείων ελέγχου (Total RMSE) με την χρήση λογισμικού Erdas Imagine 2013.

Στην συγκεκριμένη μελέτη αναγνωρίστηκαν αρκετά σημεία επίγειου ελέγχου και διατηρήθηκαν αυτά με τον χαμηλότερο συντελεστή σφάλματος για την ορθότερη διαδικασία της ορθοαναγωγής. Το τελικό συνολικό RMSE ισούται με 0.186 pixels (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.9. Η δορυφορική εικόνα της δελταϊκής περιοχής σε φυσικό χρώμα (5,3,2 – R,G,B).

Το τελικό προϊόν (Εικόνα 4.9) αποτελεί πολύ σημαντικό σετ δεδομένων αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπόβαθρο για όλες τις ενότητες εργασίας, ενώ είναι δυνατή η σύγκριση της τρέχουσας κατάστασης που συμβαίνει στη δελταϊκή περιοχή με παλαιότερα καθεστώτα. Στη διαδικασία της σύγκρισης είναι δυνατή η συμμετοχή όλων των φασματικών καναλιών, αλλά και αριθμητικών πράξεων μεταξύ τους.

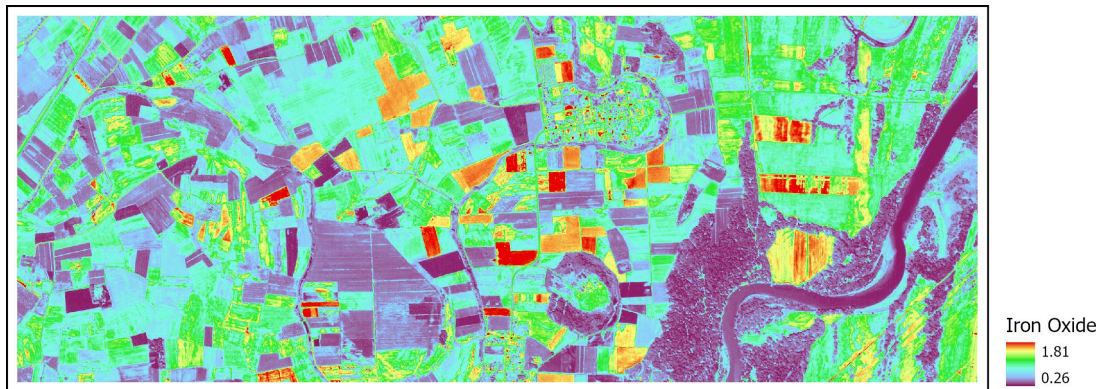
#### 4.1.4 Υπολογισμός φασματικών δεικτών

- Υπολογισμός κι εξαγωγή του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Rouse *et al.*, 1973) στην Εικόνα 4.10 σύμφωνα με τον τύπο  $NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)$



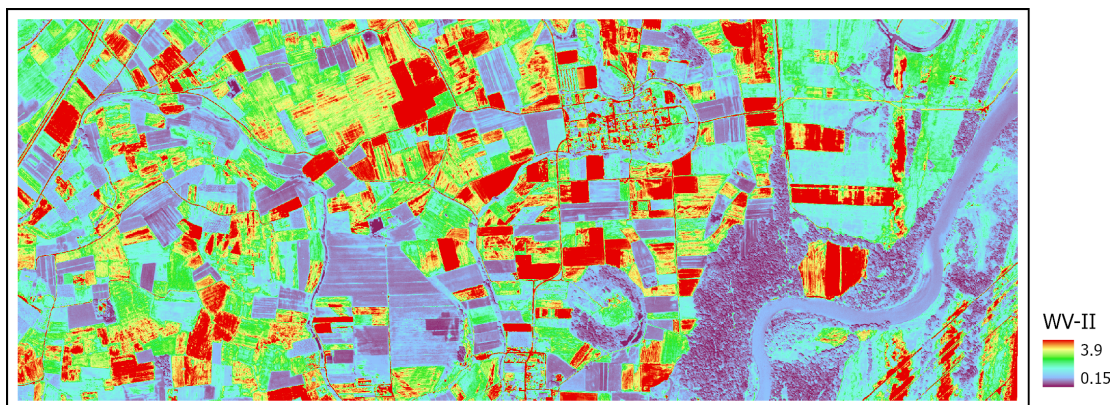
Εικόνα 4.10 Normalized Difference Vegetation Index

- ο Δείκτης Iron Oxide (Segal, 1982), στην Εικόνα 4.11, τονίζει τις περιοχές που παρουσιάζονται ορυκτά με οξείδια του σιδήρου σύμφωνα με τον τύπο **IRON OXIDE=R660/R485**



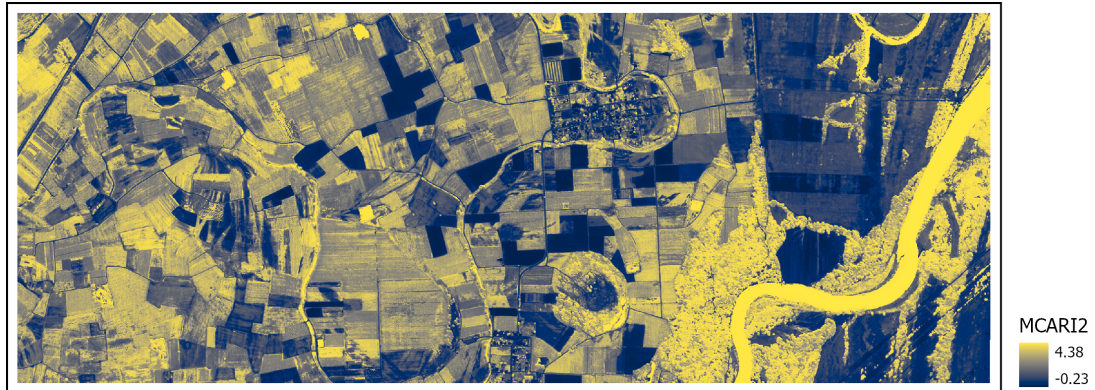
Εικόνα 4.11 Iron Oxide Index

- ο WV-II (WorldView New Iron Index) (Wolf, 2010) στην Εικόνα 4.12 σύμφωνα με τον τύπο **WV-II=(G\*Y0)/(B\*1000)**



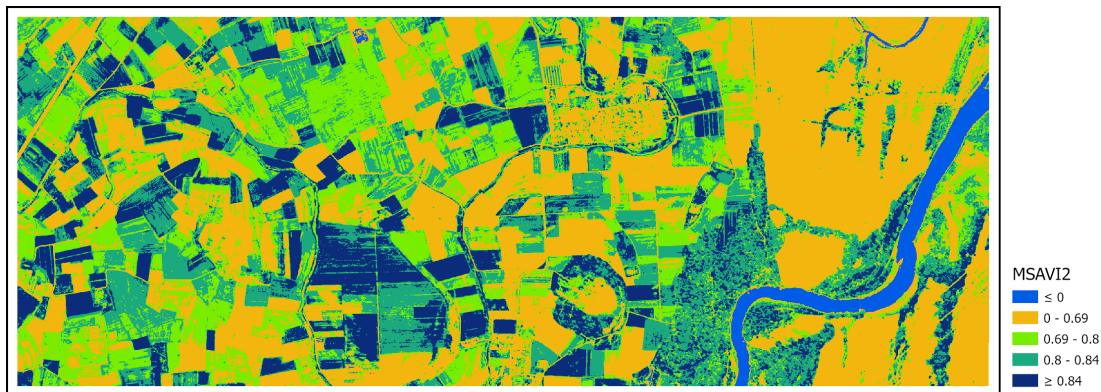
Εικόνα 4.12 WorldView New Iron Index

- Δείκτης MCARI2 (Improved Modified Chlorophyll Absorption Rate Index) (Haboudane *et al.*, 2004). Επηρεάζεται εύκολα από διαφοροποιήσεις στην χλωροφύλλη (Εικόνα 4.13) και είναι ανθεκτικός σε διαφοροποιήσεις στην εδαφική κάλυψη από καλλιέργειες, έτσι προβλέπει με επιτυχία το άζωτο στις καλλιέργειες σύμφωνα με τον τύπο  $MCARI2 = \frac{1.5 * (2.5 * (R800 - R670) - 1.3 * (R800 - R550))}{\sqrt{(2 * R800 + 1)^2 - (6 * R800 - 5 * \sqrt{R670})}}$



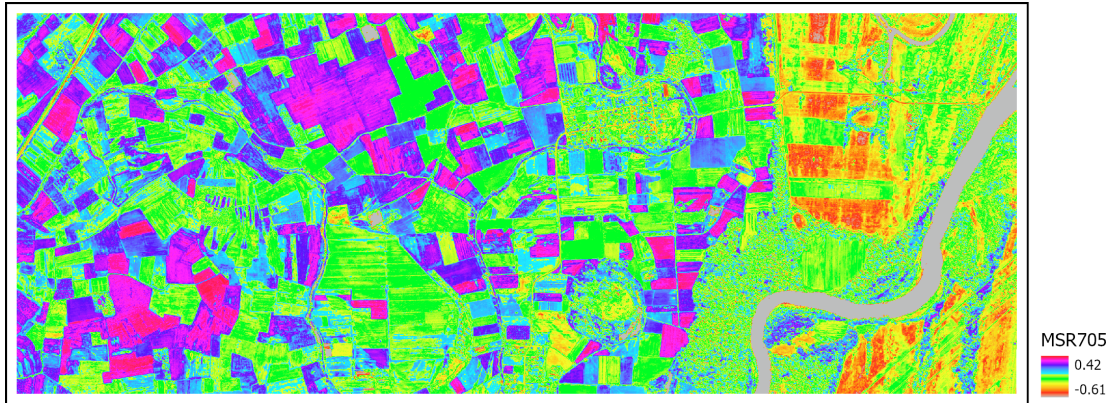
Εικόνα 4.13 Improved Modified Chlorophyll Absorption Rate Index

- MSAVI2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2) (Qi, 1994), στην Εικόνα 4.14, χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί επαρκώς και εύκολα ένας διορθωτικός συντελεστής εδαφικής φωτεινότητας σύμφωνα με τον τύπο  $MSAVI2 = \frac{2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)}}{2}$



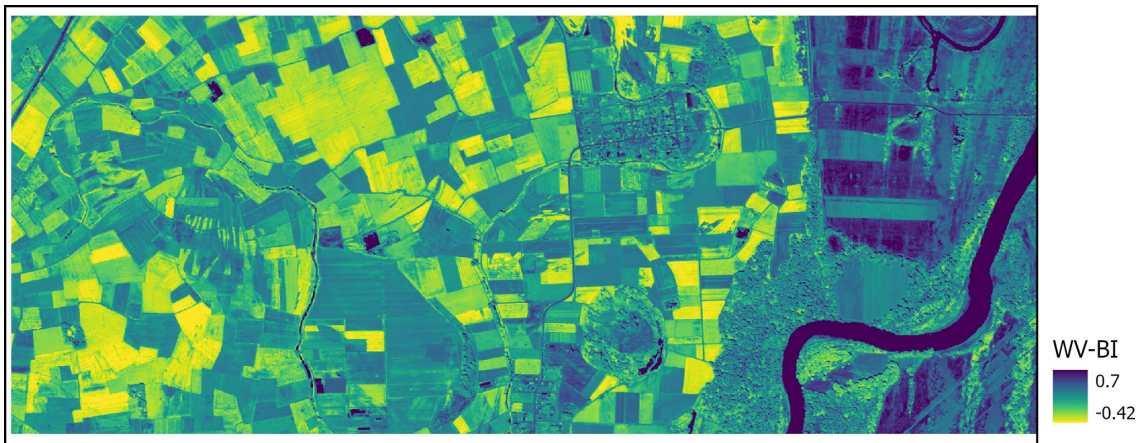
Εικόνα 4.14 Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2

- MSR705 (Modified Red Edge Simple Ratio Index) (Datt, 1999) στην Εικόνα 4.15 σύμφωνα με τον τύπο  $MSR705 = \frac{R750 - R445}{R705 - R445}$



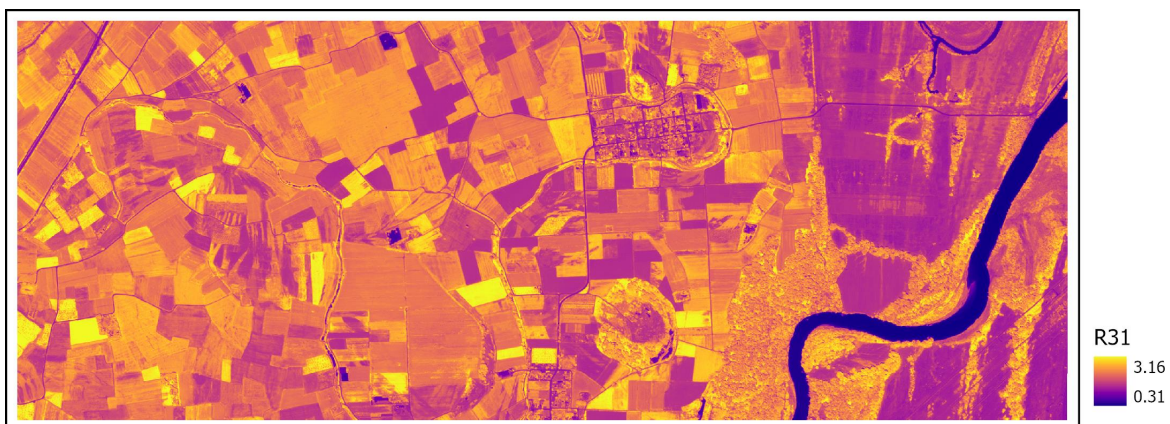
Εικόνα 4.15 Modified Red Edge Simple Ratio Index

- WV-BI (WorldView Built-Up Index) (Wolf, 2010). Ο δείκτης αυτός ανιχνεύει ανθρωπογενείς κατασκευές όπως κτίρια και οδικό δίκτυο (Εικόνα 4.16) σύμφωνα με τον τύπο  $WV-BI = (CB-RE)/(CB+RE)$



Εικόνα 4.16 WorldView Built-Up Index

- Δείκτης R31, στην Εικόνα 4.17, σύμφωνα με τον τύπο  $R31 = R750/R550$



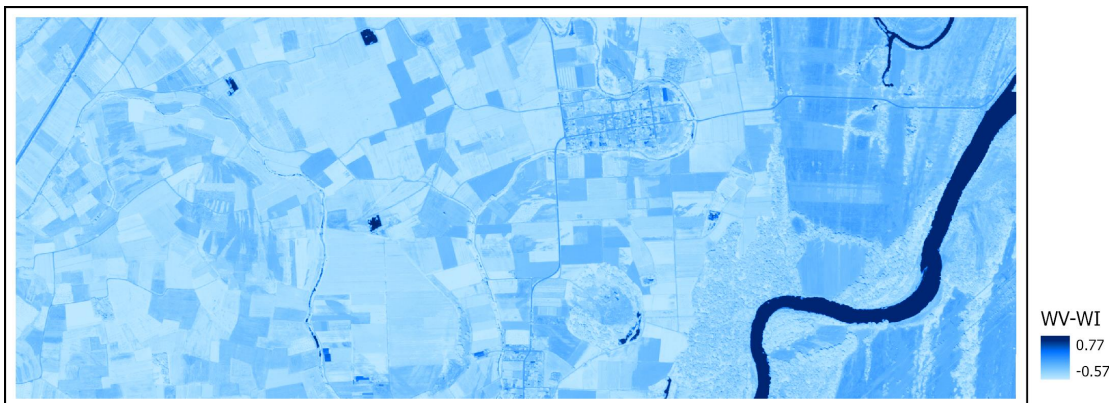
Εικόνα 4.17 R31 Index

- WV-SI (WorldView Soil Index) (Wolf, 2010), Εικόνα 4.18, διαφοροποιεί καλά τους διάφορους εδαφικούς τύπους και ανιχνεύει το αναμοχλευμένο έδαφος σύμφωνα με τον τύπο  $WV-SI=(Y-G)/(Y+G)$



Εικόνα 4.18 WorldView Soil Index

- WV-WI (WorldView Water Index) (Wolf, 2010), αναδεικνύει στάσιμα νερά και σκιές στην Εικόνα 4.19 σύμφωνα με τον τύπο  $WV-WI=(CB-NIR2)/(CB+NIR2)$



Εικόνα 4.19 WorldView Water Index

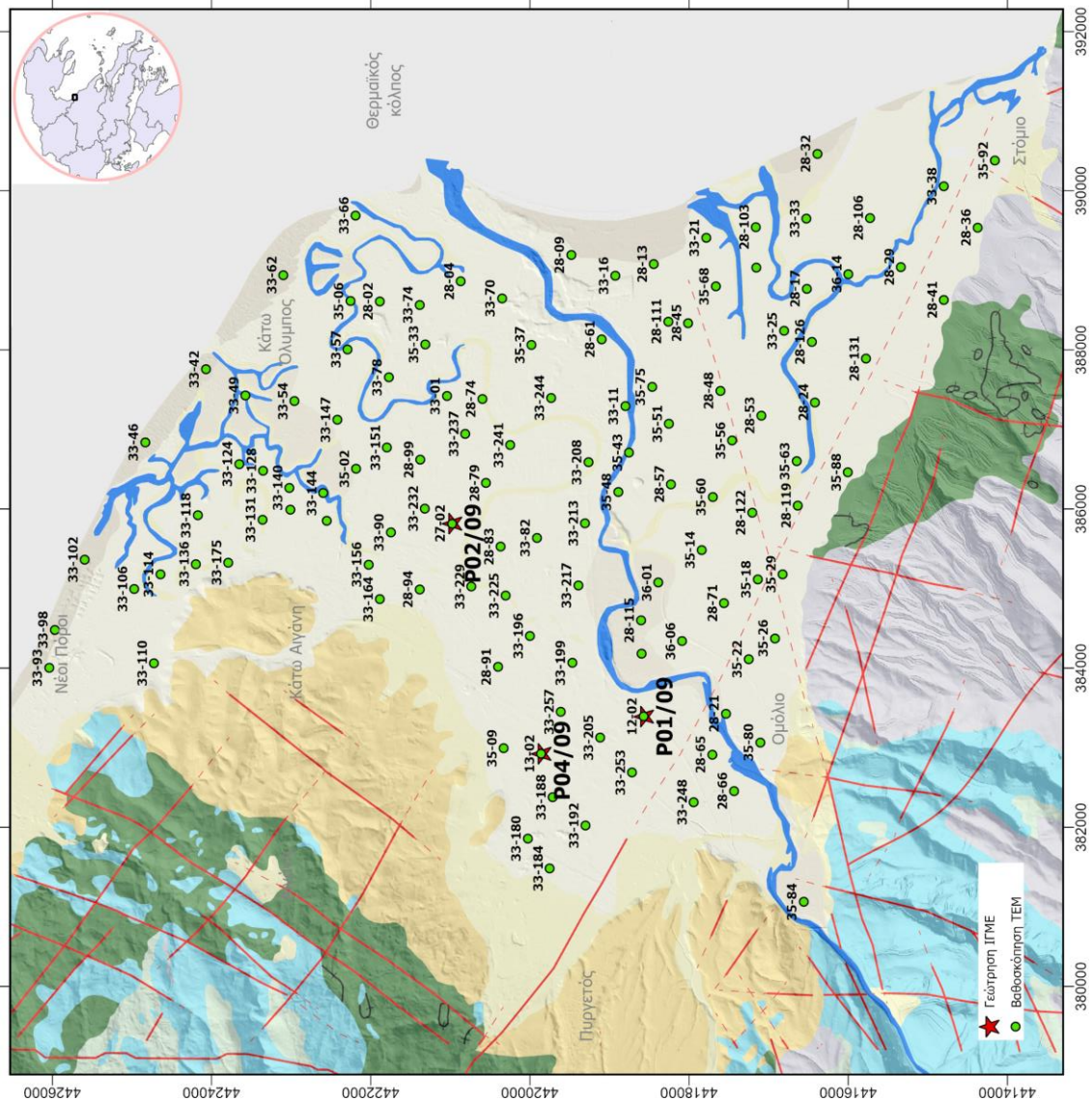
## 4.2 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ

Για τον καθορισμό της υπεδαφικής γεωλογικής δομής και τη διερεύνηση του υδρογεωλογικού καθεστώτος εφαρμόστηκε, όπως έχουμε αναφέρει, η τεχνική TEM. Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις εργασιών πεδίου.

1. Μάιος 2015,
2. Ιούνιος 2015 και
3. Οκτώβριος 2015

Καταβλήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια να κατανεμηθούν οι θέσεις των βαθοσκοπήσεων TEM ισοχωρικά, καλύπτοντας ολόκληρο το δελταϊκό πεδίο όπως απεικονίζεται στον χάρτη της

Εικόνας 4.20. Έτσι, προέκυψε ένας κάναβος συνολικά 127 ηλεκτρομαγνητικών βαθοσκοπήσεων, ικανός να καλύψει το σύνολο του πεδίου έτσι ώστε να αναδειχθεί μια εικόνα που θα συμβάλλει στην αποτύπωση της υπεδαφικής δομής. Σε κάθε θέση βαθοσκόπησης TEM γινόταν λήψη συντεταγμένων με GPS χειρός, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.21.



Εικόνα 4.20 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου αποτυπώνονται οι θέσεις ηλεκτρομαγνητικής βαθοσκόπησης.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι πολύ υψηλής πιστότητας και αξιοπιστίας. Η ηλεκτρομαγνητική συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της γεωφυσικής διασκόπησης είναι το WalkTEM της εταιρείας ABEM. Το WalkTEM είναι ένα αυτόνομο σύστημα που αποτελείται από έναν υψηλού ρεύματος πομπό, ένα διπλό ή προαιρετικά τεσσάρων καναλιών δέκτη καθώς και ένα ολοκληρωμένο PC υπαίθρου με λειτουργικό σύστημα Windows και ενσωματωμένο σκληρό υψηλής χωρητικότητας. Η ηλεκτρομαγνητική συσκευή έχει ένα δέκτη GPS 20 καναλιών, συνδέεται στο δίκτυο

ενσύρματα και ασύρματα και έχει ενσωματωμένο ηλεκτρολόγιο. Βέβαια μπορεί να συνδεθεί και με εξωτερικές συσκευές. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο για απαιτητικές εργασίες πεδίου κάτω από δύσκολες συνθήκες και τροφοδοτείται από τις εσωτερικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (διαφορετική για πομπό και δέκτη) ή με εξωτερική τροφοδοσία για λειτουργία μεγάλου χρονικού διαστήματος και βελτιωμένη απόδοση του πομπού.

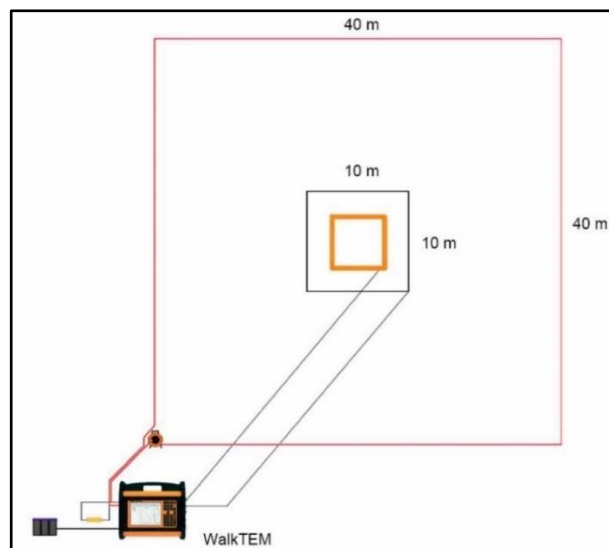
Βασικό στοιχείο για τον δέκτη είναι η ικανότητά του WalkTEM να συλλέγει ταυτόχρονα και να συσχετίζει τα δεδομένα από την υψηλής συχνότητας RC-5 κεραία και την χαμηλής συχνότητας RC-200 κεραία. Με το συνδυασμό των μετρήσεων από το RC-5, το οποίο έχει βελτιστοποιηθεί για την υψηλής ανάλυσης πρόωμη απόκριση της γης (ρηχές βαθυσκοπήσεις TEM), με εκείνες από το RC-200, βελτιστοποιημένο για τις χαμηλής ανάλυσης ύστερες αποκρίσεις γης (βαθείς βαθυσκοπήσεις TEM), το WalkTEM παράγει μια σημαντικά ενισχυμένη απόκριση γης.



Εικόνα 4.21 Λήψη συντεταγμένων, με GPS χειρός, του κέντρου διάταξης σε κάθε βαθυσκόπηση TEM.

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις υπαίθρου είναι η διάταξη κεντρικού βρόχου με δύο δέκτες (Εικόνα 4.22). Σημαντικό είναι η κεραία RC-5 να τοποθετηθεί ακριβώς στο κέντρο του βρόχου 10 m x 10 m (RC-200), ώστε να μην υπάρχει απόκλιση στα δεδομένα (οι δύο κεραίες βρίσκονται στο κέντρο του βρόχου του πομπού). Τέλος τα καλώδια σύνδεσης των 2 κεραιών στην ηλεκτρομαγνητική συσκευή πρέπει να τέμνουν όσο το δυνατό πιο κάθετα γίνεται τον βρόχο του πομπού.

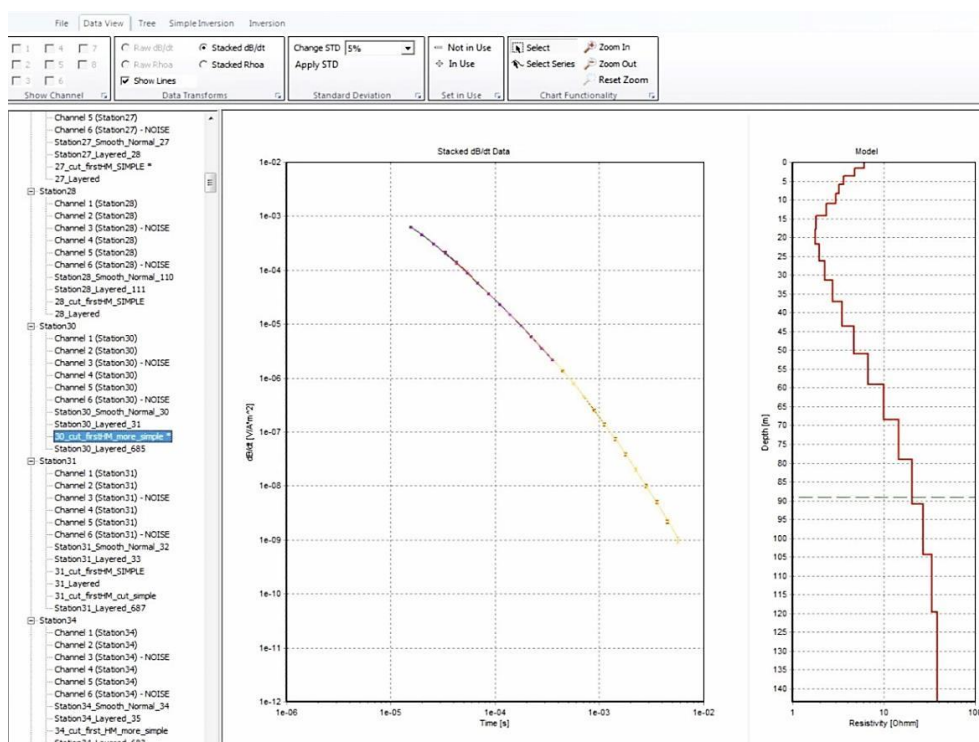




Εικόνα 4.22 Τυπική διάταξη υπαίθρου με το WalkTEM περιλαμβάνει τετραγωνικό βρόχο  $T_x$  40 x 40 m με δύο κεντρικές κεραίες (δέκτες) την RC-200 (10 x 10 m) και την RC-5 (1 x 1 m).

#### 4.2.1 Ποσοτική επεξεργασία – Αξιολόγηση δεδομένων

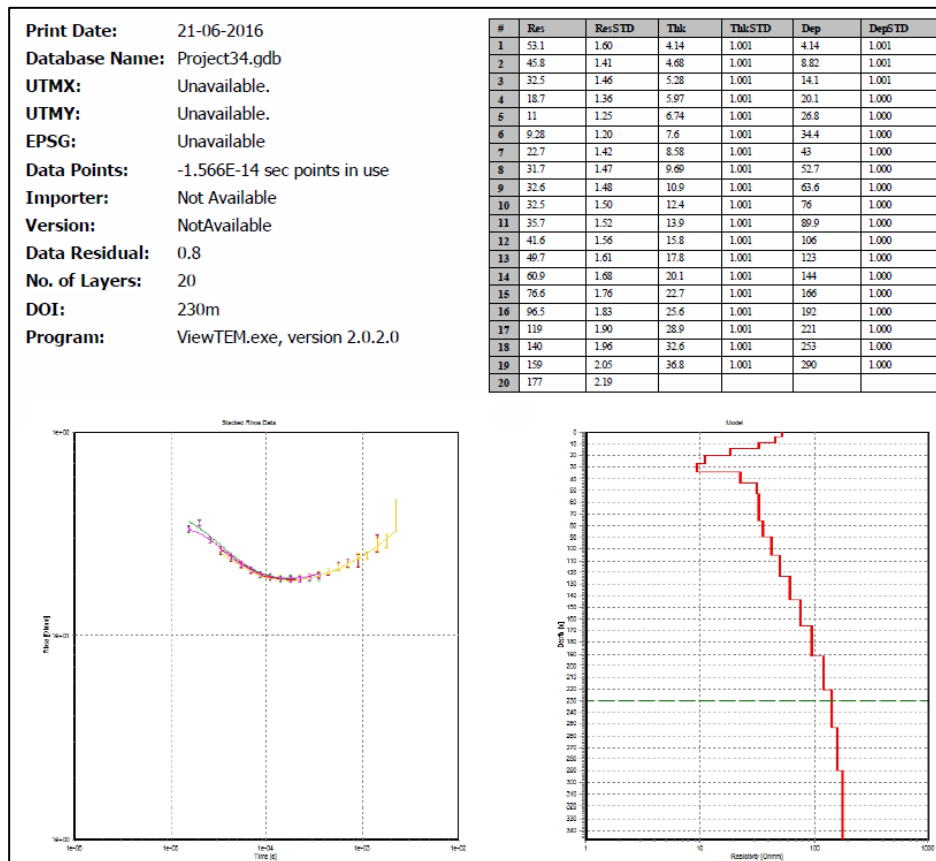
Για την επεξεργασία των βαθυσκοπήσεων TEM χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *ViewTEM* που αναπτύχθηκε από επιστημονική ομάδα του Πανεπιστημίου Aarhus της Δανίας. Το λογισμικό αυτό έχει ένα παραστατικό γραφικό περιβάλλον χρήστη και πλούσιες δυνατότητες για να επεξεργασία των δεδομένων και των μοντέλων απευθείας στα διαγράμματα (Εικόνα 4.23).



Εικόνα 4.23 Το περιβάλλον χρήστη του λογισμικού *ViewTEM* όπου παρουσιάζονται οι επιλογές για την επεξεργασία της καμπύλης απόκρισης και το αποτέλεσμα του μονοδιάστατου μοντέλου.

Τα δεδομένα μπορούν να απεικονισθούν με διάφορα διαγράμματα, π.χ. πρωτογενής dB/dt, σωρευμένες dB/dt και φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Φιλτράρισμα του θορύβου γίνεται αυτόματα όταν ανοίγει η βάση δεδομένων του λογισμικού *ViewTEM* με τα δεδομένα από το *WalkTEM*. Η αβεβαιότητα για τα δεδομένα εκφράζεται ως τυπική απόκλιση και μπορούμε να την αλλάξουμε για κάθε πύλη και a priori πληροφορία μπορεί να προστεθεί στο μοντέλο (π.χ. πληροφορίες από γεωτρήσεις).

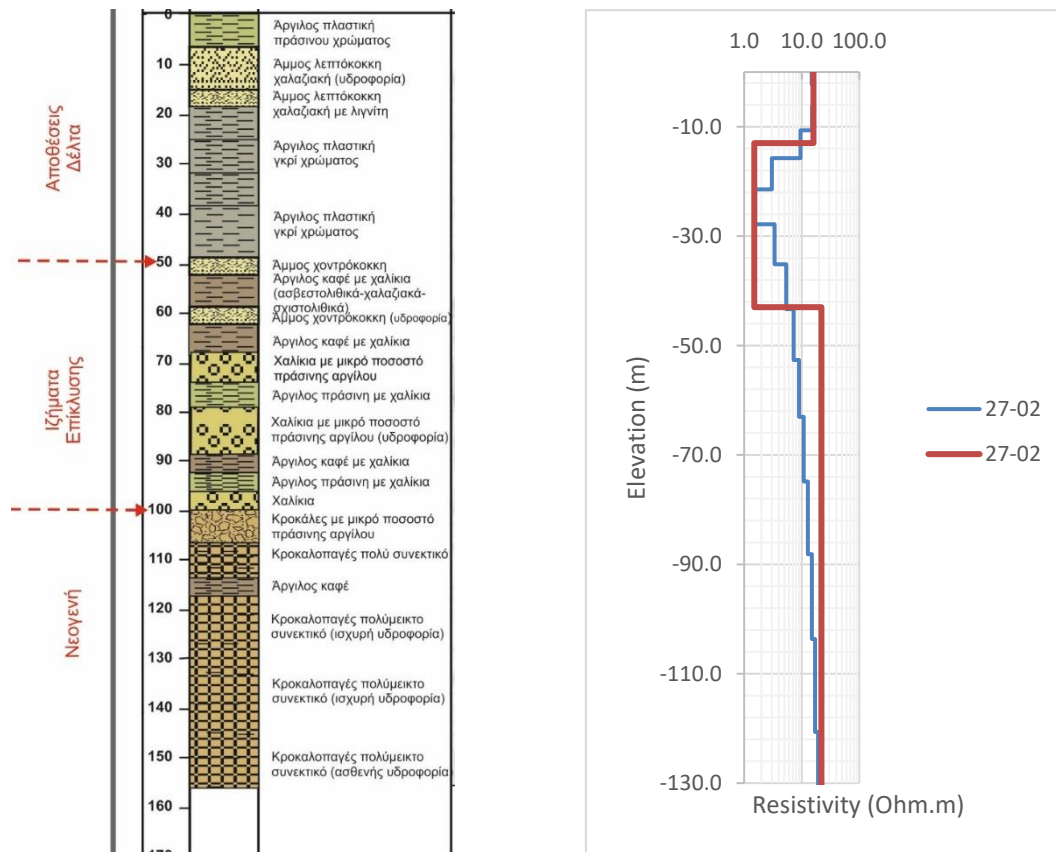
Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας μπορούν να εξαχθούν σε αρχεία της μορφής .xyz ή PDF. Στην Εικόνα 4.24 παρουσιάζεται αρχείο επεξεργασίας (σε αρχείο PDF) όπου πάνω αριστερά αναγράφονται κάποια χαρακτηριστικά της βαθσοκόπησης TEM όπως το αξιόπιστο βάθος διερεύνησης (DOI - Depth Of Investigation) και ο αριθμός των στρωμάτων στο μοντέλο που προέκυψε από την αντιστροφή των δεδομένων. Στον πίνακα δεξιά αναγράφεται η τιμή της ειδικής αντίστασης και το βάθος για κάθε στρώμα καθώς και οι τυπικές τους αποκλίσεις. Στο διάγραμμα κάτω αριστερά είναι η καμπύλη φαινόμενης ειδικής αντίστασης της βαθσοκόπησης TEM και δεξιά το μοντέλο της αντιστροφής.



Εικόνα 4.24 Παρουσίαση αποτελεσμάτων επεξεργασίας βαθσοκόπησης TEM.

Το πολυστρωματικό μοντέλο ειδικών αντιστάσεων για κάθε βαθσοκόπηση TEM μετατράπηκε στις περισσότερες περιπτώσεις σε μοντέλο πέντε γεωφυσικών στρωμάτων, μετά από ομαδοποίηση των τιμών ειδικής αντίστασης που παρουσιάζονταν. Με τη συνεπικουρία των γεωτρητικών δεδομένων που συλλέχθηκαν, τα γεωφυσικά στρώματα

αξιολογήθηκαν, δηλαδή αντιστοιχήθηκαν με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης. Καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση των γεωφυσικών δεδομένων είχε η γεώτρηση P02/09. Η γεώτρηση συμπίπτει με τη θέση της βαθσοκόπησης TEM 27-02.



Εικόνα 4.25 Λιθολογική στήλη της γεώτρησης P02/09 με σημειωμένα τα όρια εμφάνισης των σχηματισμών (αριστερά) και η καμπύλη της βαθσοκόπησης 27-02 (δεξιά)

Στην λιθολογική στήλη της γεώτρησης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.25 παρατηρείται ένα επιφανειακό στρώμα κυρίως λεπτόκοκκης άμμου που υδροφορεί, ακολουθεί ένα παχύ στρώμα πλαστικής αργίλου γκρι χρώματος στα -16 m έως -46 m απόλυτου υψόμετρου, στην συνέχεια ακολουθούν άμμοι και χαλίκια που υδροφορούν μέχρι τα -96 m απόλυτου υψόμετρου και τέλος εμφανίζεται ένας σχηματισμός συνεκτικού κροκαλοπαγούςπου υδροφορεί.

Προκειμένου, στη συνέχεια, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των βαθσοκοπήσεων να εισαχθούν με το λογισμικό rockworks, καθορίστηκαν και κωδικοποιήθηκαν οι «στρωματογραφικοί τύποι», σύμφωνα με τις απαιτήσεις του λογισμικού. Έτσι:

- Οι επιφανειακές λιθολογικές εμφανίσεις στην περιοχή του Δέλτα είτε αποτελούν αλλουβιακές αποθέσεις, είτε αιολικές θίνες, ταξινομήθηκαν στον στρωματογραφικό τύπο 0.
- Το αργιλικό στρώμα που ακολουθεί στη συνέχεια και εμφανίζεται σε όλη της περιοχής μελέτης ταξινομήθηκε στον στρωματογραφικό τύπο 1.

Οι δύο αυτοί σχηματισμοί συνολικά αποτελούν τις δελταϊκές αποθέσεις.

- Ο στρωματογραφικός τύπος 2 εμφανίζεται σχεδόν σε όλες τις θέσεις έρευνας και αντιστοιχεί στα ιζήματα της επίκλυσης που κάλυψαν το παλαιοπεριβάλλον κατά την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με την εμφάνιση της τελευταίας μεσοπαγετώδους περιόδου. Η λιθολογική σύσταση του σχηματισμού είναι άμμοι και χαλίκια που υδροφορούν.
- Το συνεκτικό κροκαλοπαγές που είναι μέρος της ακολουθίας του Νεογενούς που παρουσιάζεται στα όρια της δελταϊκής πεδιάδας, αντιστοιχεί στον στρωματογραφικό τύπο 3 και αποτελεί μέρος της παλαιοεπιφάνειας.

Συνοψίζοντας, αυτοί οι τέσσερις στρωματογραφικοί τύποι θα χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου στο λογισμικό RockWorks15.

- [1] Στρωματογραφικός τύπος 0 : θίνες/αλλούβια
- [2] Στρωματογραφικός τύπος 1: αποθέσεις του Δέλτα (άργιλοι)
- [3] Στρωματογραφικός τύπος 2: ιζήματα της επίκλυσης
- [4] Στρωματογραφικός τύπος 3: νεογενείς αποθέσεις

Από τις 127 ηλεκτρομαγνητικές βαθοσκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης, στις 114 διερευνήθηκε εξ' ολοκλήρου ο στρωματογραφικός τύπος 1 και μόνο αυτές θα χρησιμοποιηθούν για τους υπολογισμούς του στρωματογραφικού μοντέλου και την κατασκευή τομών τύπου *φράχτη*, που καλύπτουν το σύνολο της δελταϊκής πεδιάδας.

#### **4.2.2 Διαχείριση – Παρουσίαση γεωφυσικών παραμέτρων**

Με τη διαδικασία αξιολόγησης των γεωφυσικών αποτελεσμάτων και της ομαδοποίησης που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή και διαχείριση των δεδομένων αλλά και η καλύτερη αποτύπωση των αποτελεσμάτων στο λογισμικό RockWorks15 της εταιρείας RockWare Incorporated. Το RockWorks15 είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό για τη διαχείριση γεωλογικών δεδομένων, την ανάλυση και την παρουσίαση τους τόσο σε δισδιάστατο (2D) όσο και σε τρισδιάστατο (3D) περιβάλλον.

Το λογισμικό αποτελείται από τρεις (3) τύπους διαχείρισης δεδομένων κα εμφανίζονται με την μορφή καρτέλας στην αρχική οθόνη εργασίας.

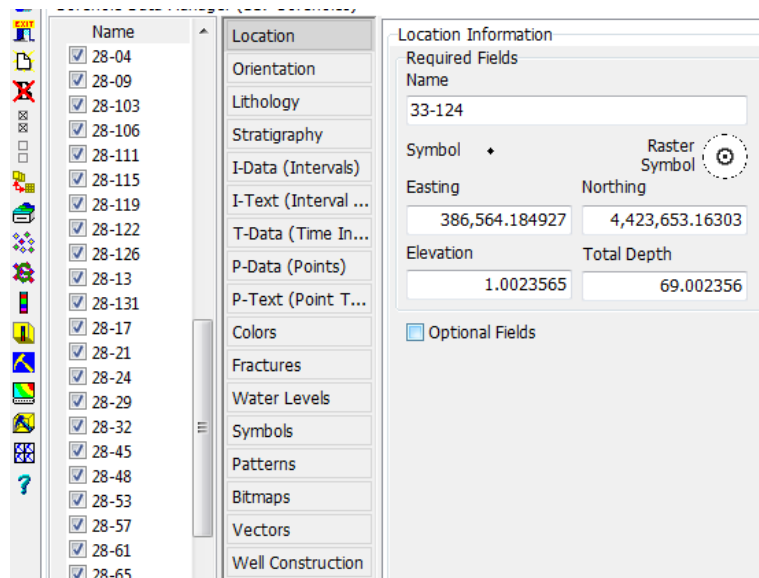
1. Borehole Manager Tab: Πραγματοποιείται εύκολη είσοδος γεωφυσικών, γεωτεχνικών ή γεωχημικών μετρήσεων καθώς και άλλων παραμέτρων. Από αυτόν τον τύπο διαχείρισης μπορεί κάποιος να δημιουργήσει λιθολογικό ή στρωματογραφικό χάρτη επιφανείας, κολώνες, τομές, διαγράμματα, προφίλ, κλπ.
2. Utilities Tab: Η καρτέλα αυτή εμπεριέχει ένα πιο απλό φύλλο εργασίας τύπου Excel που επιτρέπει την εισαγωγή των δεδομένων με έναν πιο γρήγορο τρόπο από αυτήν στο Borehole Manager.
3. Project Manager Tab: Περιλαμβάνει όλα τα αρχεία του RockWorks15 που βρίσκονται στον κύριο φάκελο του προγράμματος, για γρήγορη και εύκολη πρόσβαση του χρήστη.

Η εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει γραφικά με τρεις τρόπους:

- i. RockPlot2D: δισδιάστατους χάρτες, τομές, κολώνες γεωτρήσεων κλπ
- ii. RockPlot 3D: τρισδιάστατους χάρτες, τομές, μοντέλα, διαγράμματα κλπ
- iii. RockWorks15: χρησιμοποιείται για τη διάταξη σελίδων για προβολή και εκτύπωση, εισαγωγή άλλων δεδομένων, κλίμακας, κειμένου, κλπ.

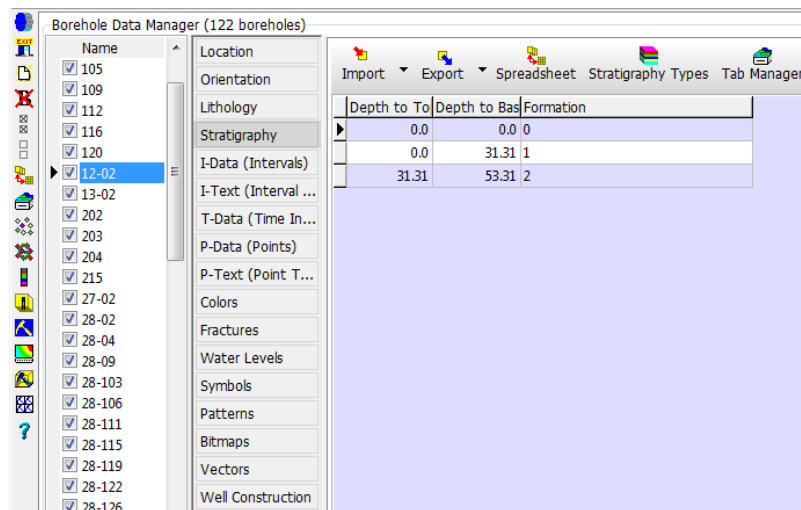
Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, η εισαγωγή των δεδομένων θα πραγματοποιηθεί μόνο από την καρτέλα Borehole Manager. Θα χειριστούμε τα δεδομένα των βαθοσκοπήσεων ως πραγματικές γεωτρήσεις και τα βασικά φύλλα δεδομένων που πρέπει να συμπληρωθούν είναι τα εξής:

- α. **Location datasheet:** εισάγουμε τις πληροφορίες της γεώτρησης όπου τα υποχρεωτικά πεδία περιλαμβάνεται η ονομασία της γεώτρησης (borehole name), το γεωγραφικό μήκος (easting) και πλάτος (northing), το υψόμετρο (elevation) και το βάθος (total depth) της γεώτρησης (Εικόνα 4.26).



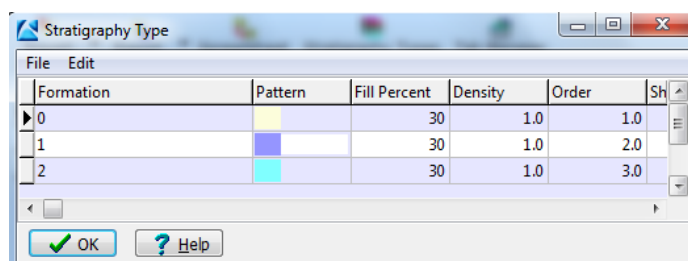
Εικόνα 4.26 Η καρτέλα Location με τις πληροφορίες για την γεωγραφική θέση της γεώτρησης - βαθοσκόπησης, το υψόμετρο της και το μέγιστο βάθος διερεύνησης των στρωματογραφικών τύπων.

- β. **Stratigraphy datasheet:** κανονικά χρησιμοποιείται για να εισάγουμε τα στρωματογραφικά δεδομένα των γεωτρήσεων όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.27. Συνήθως είναι ευδιάκριτα στρώματα με συγκεκριμένη σειρά από την επιφάνεια και κάτω που δεν επαναλαμβάνονται στην κολώνα της γεώτρησης. Στα πεδία συμπεριλαμβάνεται το μετρούμενο βάθος από την επιφάνεια μέχρι την οροφή του εκάστοτε στρώματος (depth to top), το βάθος από την επιφάνεια μέχρι την βάση του εκάστοτε στρώματος (depth to base) και την ονομασία του στρώματος (formation).



Εικόνα 4.27 Η καρτέλα Stratigraphy για εισαγωγή των ορίων των στρωματογραφικών τύπων.

Στο πεδίο Stratigraphy types ο χρήστης μπορεί να ορίσει το χρώμα και την υφή (pattern) του σχηματισμού, την πυκνότητα (density) του και να προσθέσει μια μοναδική αυξανόμενη τιμή G (order) για κάθε σχηματισμό όπως στην Εικόνα 4.28. Η G-Value είναι ακέραιος αριθμός μοναδικός και αυξανόμενος και είναι πολύ σημαντική στην αποτύπωση του στρωματογραφικού μοντέλου μιας και οποιοδήποτε λάθος καθιστά βέβαιη τη μη σωστή αποτύπωσή του. Εδώ θα γίνει χρήση των στρωματογραφικών τύπων 0, 1 και 2 που αναφέραμε παραπάνω.

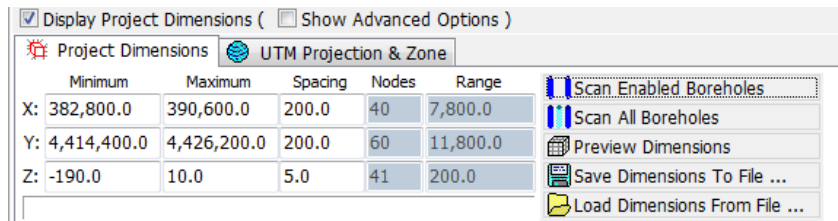


Εικόνα 4.28 Ορισμός των στρωματογραφικών τύπων και της σειράς που τα συναντάμε από την επιφάνεια.

Βασική προϋπόθεση για τη σωστή επεξεργασία αλλά και παρουσίαση των αποτελεσμάτων είναι η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης στον φάκελο project που θα αποθηκεύονται τα αρχεία μας. Όλα τα αρχεία που θα χρησιμοποιούνται από το λογισμικό αλλά και θα δημιουργούνται από αυτό πρέπει να έχουν τις ίδιες διαστάσεις. Για αυτό το λόγο μετά την εισαγωγή των δεδομένων μας με τη μορφή γεωτρητικών δεδομένων μέσω της καρτέλας Borehole Manager θα χρησιμοποιηθεί η εντολή Scan all Boreholes για να καθοριστούν τα όρια του έργου στους άξονες x, y, z τα οποία αναφέρονται στην Εικόνα 4.29.

- X (Easting), με τις μικρότερες (minimum) και μεγαλύτερες (maximum) τιμές. Υπολογίζεται η μικρότερη και μεγαλύτερη τιμή του γεωγραφικού μήκους της εξεταζόμενης περιοχής.

- Y (Northing), με τις μικρότερες (minimum) και μεγαλύτερες (maximum) τιμές. Υπολογίζεται η μικρότερη και μεγαλύτερη τιμή του γεωγραφικού πλάτους της εξεταζόμενης περιοχής.
- Z (Elevation), με τις μικρότερες (minimum) και μεγαλύτερες (maximum) τιμές. Υπολογίζεται σύμφωνα με το βάθος της πιο βαθιάς γεώτρησης και την τιμή του απόλυτου υψομέτρου της γεώτρησης στο πιο ψηλό τοπογραφικά σημείο στην εξεταζόμενη περιοχή.



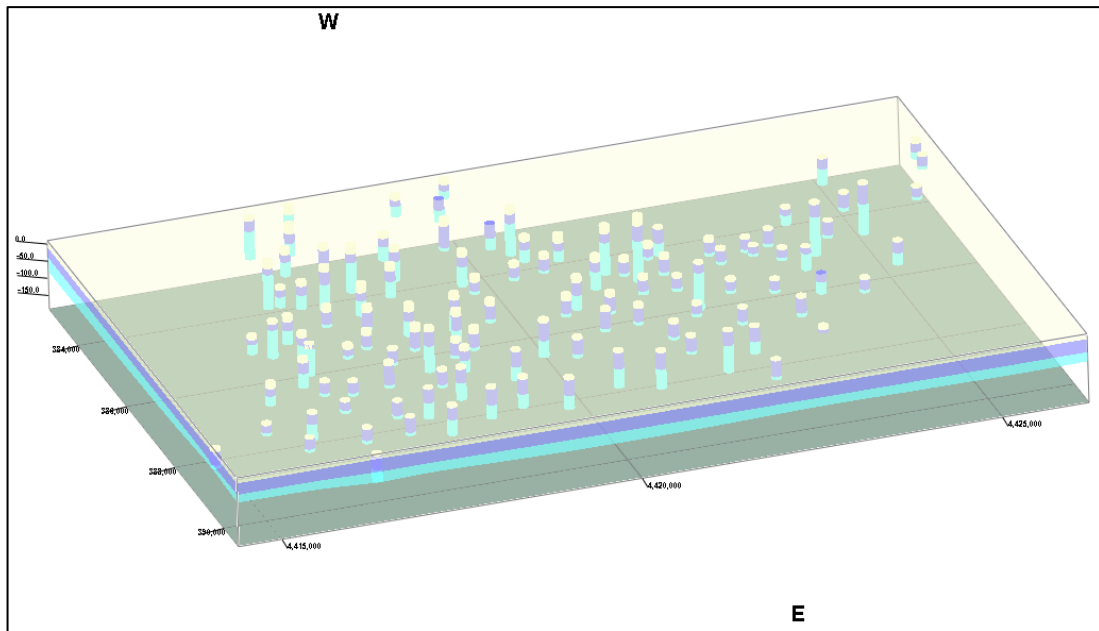
Εικόνα 4.29 Καθορισμός των χωρικών διαστάσεων του έργου που θα έχουν όλα τα αρχεία.

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς το πλέγμα για την κατασκευή του συμπαγούς μοντέλου (solid model) ορίστηκε με spacing 200, 200, 5 και αντιστοιχεί δηλαδή σε δειγματοληψία κάθε 200 μέτρα στους άξονες x και y και 5 μέτρα στον άξονα z.

Με την εκτέλεση των παραπάνω ενεργειών είναι δυνατή η κατασκευή ενός **Στρωματογραφικού Μοντέλου (Stratigraphy Model)** για την περιοχή του Δέλτα. Με βάση αυτό το μοντέλο που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.30 μπορούν να κατασκευαστούν μεμονωμένες τομές ή πολλαπλές τομές σε μορφή πλέγματος (profiles, sections, fences). Οι δυνατότητες του λογισμικού είναι πολύ μεγάλες και φυσικά δεν μπορούν να αποτυπωθούν στα πλαίσια αυτής διπλωματικής εργασίας ειδίκευσης.

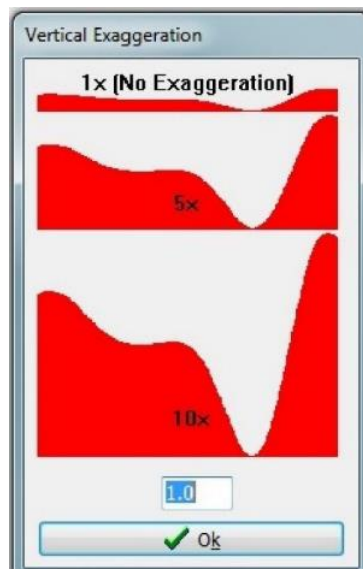
Ακολουθούν οι κυριότερες επιλογές του λογισμικού κατά τη δημιουργία στρωματογραφικού μοντέλου:

- *Interpolate surfaces*: δημιουργούνται κανάβοι (grids) για κάθε στρωματογραφικό σχηματισμό
- *Gridding options*: επιλέγουμε τον αλγόριθμο που θα χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία των κανάβων
- *Constrain model based on ground surface*: μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιο φίλτρο για να περιορίσουμε χωρικά το μοντέλο όπως είναι η επιφάνεια του εδάφους
- *Polygon filter*: επιλέγουμε την παράμετρο αυτή εφόσον θέλουμε να αφαιρέσουμε κομμάτια από την στρωματογραφία τα οποία βρίσκονται εσωτερικά ή εξωτερικά ενός καθορισμένου από τον χρήστη πολύγωνου.
- *Baseplate*: χρησιμοποιείται για να επεκτείνουμε την βάση του βαθύτερου σχηματισμού μέχρι ένα ορισμένο υψόμετρο/βάθος
- *Plot Logs*: το επιλέγουμε εφόσον θέλουμε να απεικονιστούν οι γεωτρήσεις στο τελικό διάγραμμα



Εικόνα 4.30 Το στρωματογραφικό μοντέλο της περιοχής (μέχρι τον στρωματογραφικό τύπο 2) με τις βαθοσκοπήσεις TEM να παρουσιάζονται με τη μορφή γεωτρήσεων.

Λόγω του μικρού βάθους των βαθοσκοπήσεων-γεωτρήσεων σε σχέση με τον άξονα x, για την Κάθετη Μεγέθυνση (Vertical Exaggeration) στην απεικόνιση των τομών, πλεγμάτων, μοντέλων, επιλέχθηκε το νούμερο πέντε (5x). Στο σχήμα της Εικόνας 4.31 παρουσιάζεται η διαφοροποίηση στην παρουσίαση ενός σχήματος χωρίς κάθετη μεγέθυνση (1x), με (5x) και τέλος με (10x).



Εικόνα 4.31 Η σχηματική διαφοροποίηση της Κάθετης Μεγέθυνσης (Vertical Exaggeration) για τον άξονα z.



## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν σε δύο ενότητες. Η πρώτη θα αφορά τα στοιχεία επιφανείας από την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων και η δεύτερη τα στοιχεία υπεδαφικής δομής από την γεωφυσική έρευνα.

### 5.1 Επιφανειακή διερεύνηση

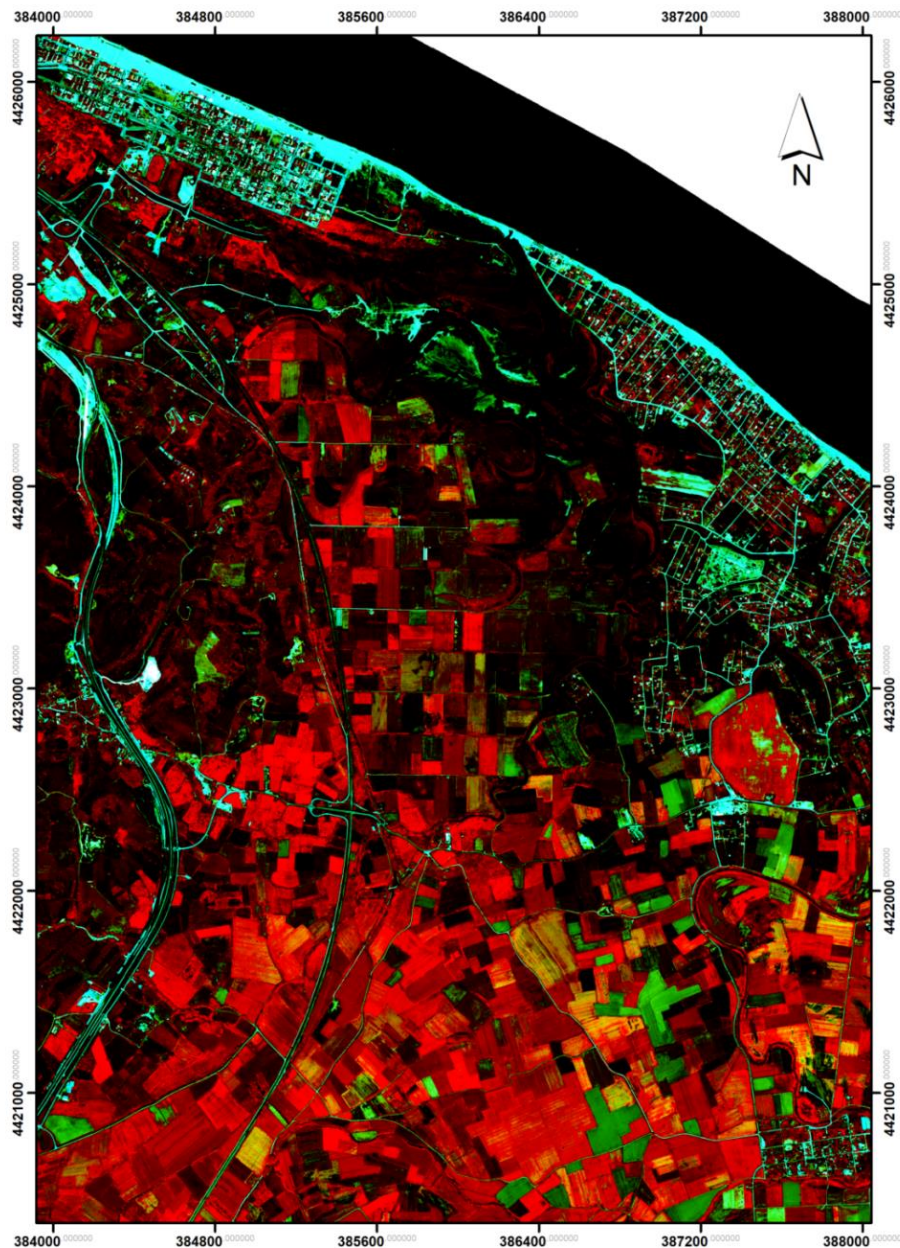
Για την ανάδειξη διάφορων χαρακτηριστικών στην δελταϊκή πεδιάδα παρήχθησαν 6 ψευδέγχρωμες χαρτοσυνθέσεις συνδυάζοντας τα φασματικά κανάλια του δορυφόρου. Οι συνδυασμοί αυτοί καθώς και τα πλεονεκτήματα τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.1 Συνδυασμοί φασματικών καναλιών που εφαρμόστηκαν στην δελταϊκή περιοχή.

Συνδυασμός φασματικών καναλιών	Πλεονεκτήματα
(7, 6, 5)	<ul style="list-style-type: none"><li>κωνοφόρα καφέ-πράσινες αποχρώσεις</li><li>χλόη και καλλιέργειες κίτρινες και πορτοκαλί αποχρώσεις</li><li>άγονα εδάφη γκριζες αποχρώσεις</li></ul>
(8, 4, 1)	<ul style="list-style-type: none"><li>ταχεία αναγνώριση αλλαγών στις χρήσεις γης</li><li>δομημένες περιοχές με μπλε χρώμα</li></ul>
(3, 2, 1)	<ul style="list-style-type: none"><li>μεγάλη διείσδυση στο νερό</li></ul>
(4, 8, 7)	<ul style="list-style-type: none"><li>ανάδειξη της παρουσίας ιζήματος μέσα στο νερό</li></ul>
(8, 7, 6)	<ul style="list-style-type: none"><li>βλάστηση με ανοιχτόχρωμο κίτρινο χρώμα</li><li>υψηλός βαθμός αντίθεσης μεταξύ βλάστησης και ύδατος</li></ul>
(7, 3, 2)	<ul style="list-style-type: none"><li>ανάδειξη αστικού ιστού και οδικού δικτύου</li><li>πολύ καλή σκιαγράφιση της παραλιακής ζώνης λόγω της μεγάλης αντίθεσης που παρουσιάζει με το νερό</li></ul>

Στην Εικόνα 5.1 παρουσιάζεται το παράδειγμα συνδυασμού των φασματικών καναλιών (7, 3, 2).

### RGB composition of WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image (7-3-2)



Εικόνα 5.1 Ο συνδυασμός αυτός των φασματικών καναλιών χρησιμοποιήθηκε εδώ για την ανάδειξη του αστικού ιστού και του οδικού δικτύου. Αναδεικνύεται τέλεια και η παραλιακή ζώνη λόγω της μεγάλης αντίθεσης που παρουσιάζει με το νερό.

Επιπλέον αξιοποιώντας την εφαρμογή των φασματικών δεικτών στην περιοχή, παρήχθησαν 6 ψευδέγχρωμες χαρτοσυνθέσεις συνδυάζοντας τους. Οι συνδυασμοί αυτοί καθώς και τα πλεονεκτήματά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.2 Συνδυασμοί φασματικών δεικτών που εφαρμόστηκαν στην δελταϊκή περιοχή.

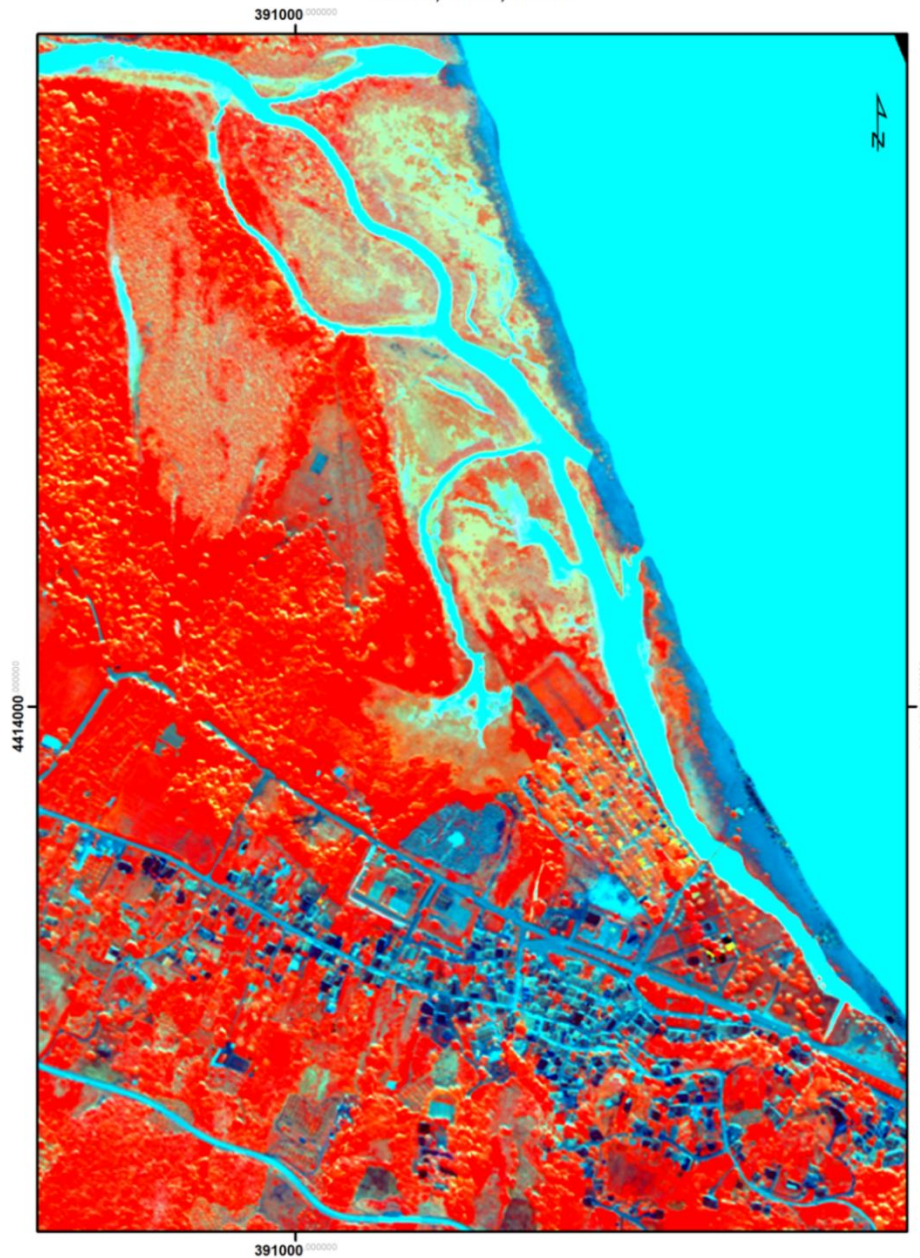
Συνδυασμός φασματικών δεικτών R,G,B	Πλεονεκτήματα
(MSAVI2, WV-BI, WV-WI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>διαφοροποιείται το τμήμα της παραλίας από τις υπόλοιπες άγονες περιοχές</li> </ul>
(MSR705, R31, WV-II)	<ul style="list-style-type: none"> <li>σκιαγράφηση σε μεγάλο βαθμό του υδρογραφικού δικτύου λόγω της παρόχθιας βλάστησης</li> </ul>
(WV-SI, IRON INDEX, MSR705)	<ul style="list-style-type: none"> <li>μεγάλη διείσδυση στο νερό</li> </ul>
(WV-II, WV-BI, WV-WI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>μεγάλη διαφοροποίηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων από τις άγονες, βραχώδεις και αμμώδεις περιοχές</li> </ul>
(WV-VI, NDVI, MACARI2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ανάδειξη ύδατος και μεγάλου ποσοστού υγρασίας</li> </ul>

Στην Εικόνα 5.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται χαρτοσύνθεση που προέκυψε από τον συνδυασμό των φασματικών δεικτών (MSAVI2, WV-BI, WV-WI). Με ερυθρές αποχρώσεις παρατηρούμε τις περιοχές με βλάστηση και τις διαφοροποιήσεις της, με μπλε τις δομημένες περιοχές και το οδικό δίκτυο καθώς και το τμήμα της παραλίας το οποίο διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες άγονες περιοχές που αναπτύσσονται προς τα ενδότερα.

Το σύνολο των υπόλοιπων χαρτοσυνθέσεων που δημιουργήθηκαν τόσο για τους συνδυασμούς φασματικών καναλιών όσο και φασματικών δεικτών παρατίθενται στο Παράρτημα.

RGB composition with Spectral Indices derived from  
WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image

MSAVI2, WV-BI, WV-WI

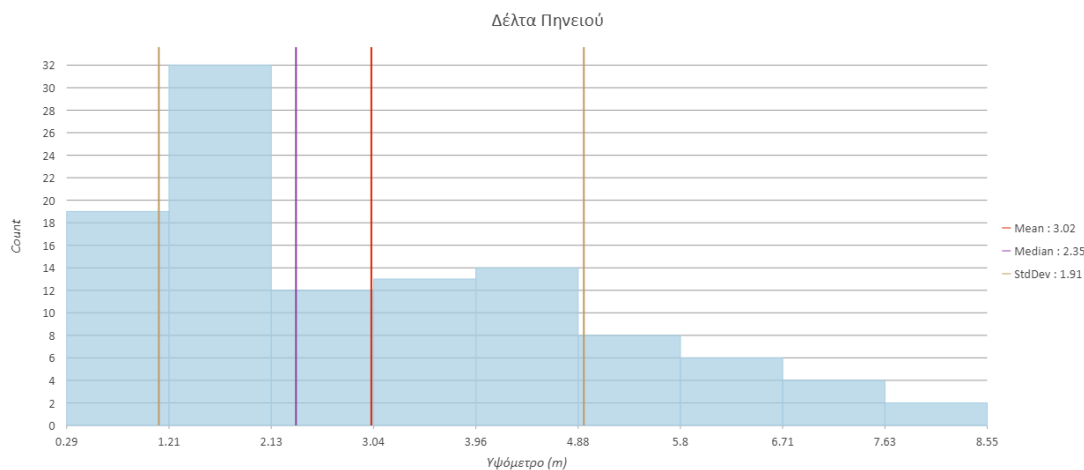


Εικόνα 5.2 Συνδυασμός φασματικών δεικτών που αναδεικνύεται ο αστικός ιστός και το οδικό δίκτυο και διαχωρίζεται το τμήμα της παραλίας από τις υπόλοιπες άγονες περιοχές.

## 5.2 Υπεδαφική διερεύνηση

Για κάθε θέση μέτρησης υπολογίστηκε το απόλυτο υψόμετρο της οροφής και της βάσης των αλλουβιακών αποθέσεων (στρωματογραφικού τύπου 0) και του στρώματος της αργίλου (στρωματογραφικού τύπου 1) καθώς επίσης και το σημειακό πάχος των αποθέσεων αυτών. Τα δεδομένα αυτά εισάχθηκαν σε περιβάλλον GIS και παρουσιάζονται χωρικά πλέον στις εικόνες που ακολουθούν. Για την κατασκευή των εικονοκυτταρικών (raster) δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος χωρικής παρεμβολής Natural Neighbor (Sibson, 1981).

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε μία στατιστική ανάλυση των δεδομένων για γρήγορο υπολογισμό σημαντικών χαρακτηριστικών αλλά και σύντομη και σαφή παρουσίαση που θα ενισχύσει την απλή χωρική παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

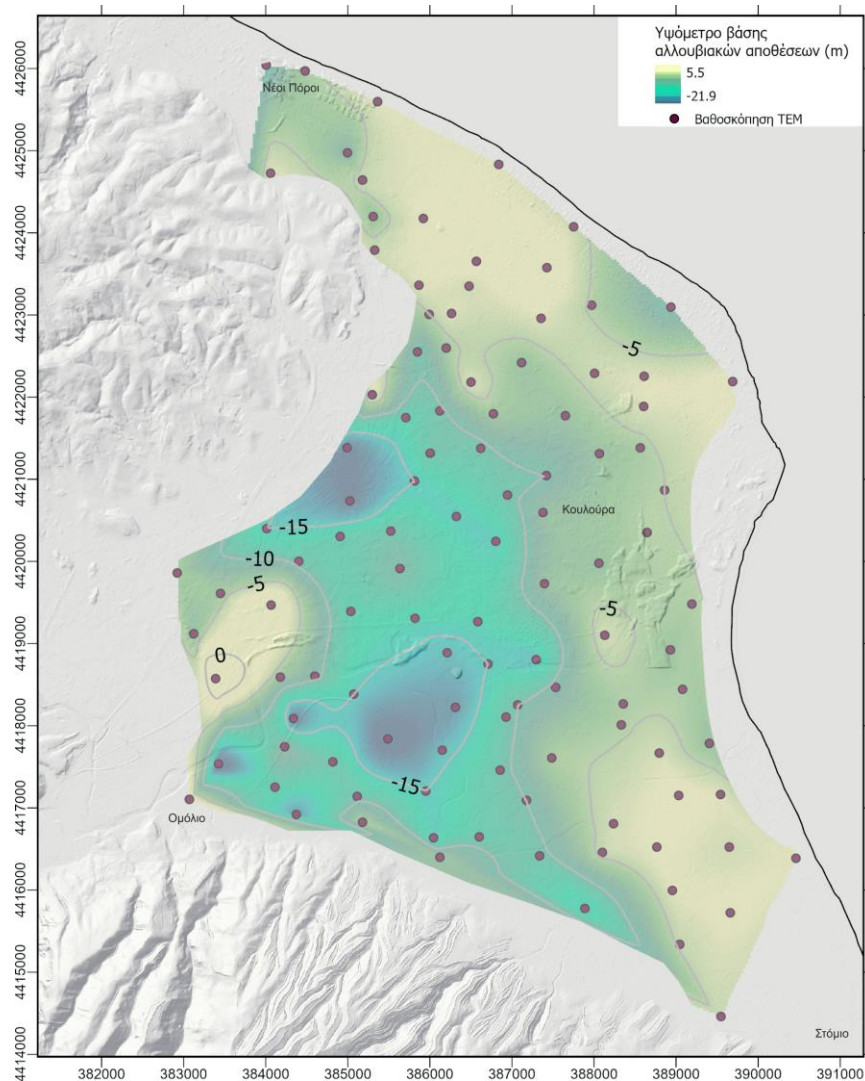


Εικόνα 5.3 Κατανομή υψομέτρων Δέλτα Πηνειού (μέση τιμή 3.02, διάμεσος 2.35, τυπική απόκλιση 1.91)

Με βάση το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου της περιοχής υπολογίσαμε την κατανομή των υψομέτρων που συναντάμε στο Δέλτα και παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.3 με μορφή διαγράμματος. Όριο για αυτούς τους υπολογισμούς αποτέλεσε επαφή των αλλουβιακών αποθέσεων στα πρανή με τα αλπικούς ή μεταλπικούς σχηματισμούς. Συνεπώς οι τιμές αυτές συμπίπτουν και με την οροφή των αλλουβιακών αποθέσεων σε όλη την δελταϊκή πεδιάδα. Παρατηρούμε πως το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο ισούται με 8.5 m και η μέση υψομετρική τιμή είναι τα 3.02 m με τυπική απόκλιση 1.91.

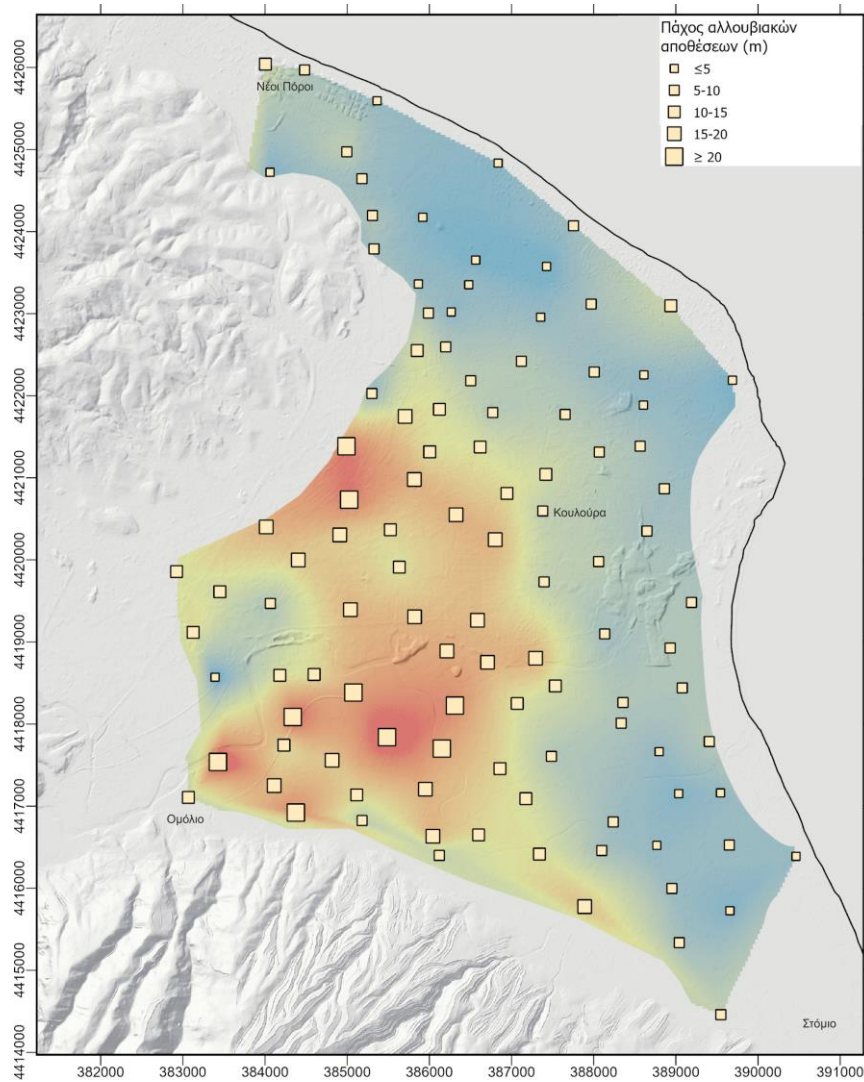
Στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών υψόμετρου της βάσης των αλλουβιακών αποθέσεων χωρικά. Παρατηρούμε πως τα μικρότερα απόλυτα υψόμετρα που συναντάμε την βάση του σχηματισμού είναι δυτικά και νοτιοδυτικά του οικισμού Κουλούρα με τιμές μικρότερες από τα -15 m . Εξάιρεση αποτελεί μια μικρή περιοχή που έχουμε και την εμφάνιση της ισότιμης μηδέν καθώς και το υψόμετρο σε εκείνη την περιοχή είναι

μεγαλύτερο από την απόλυτη δελταϊκή πεδιάδα. Βόρεια και νοτιοανατολικά παρουσιάζονται τιμές μεγαλύτερες από -5 m.



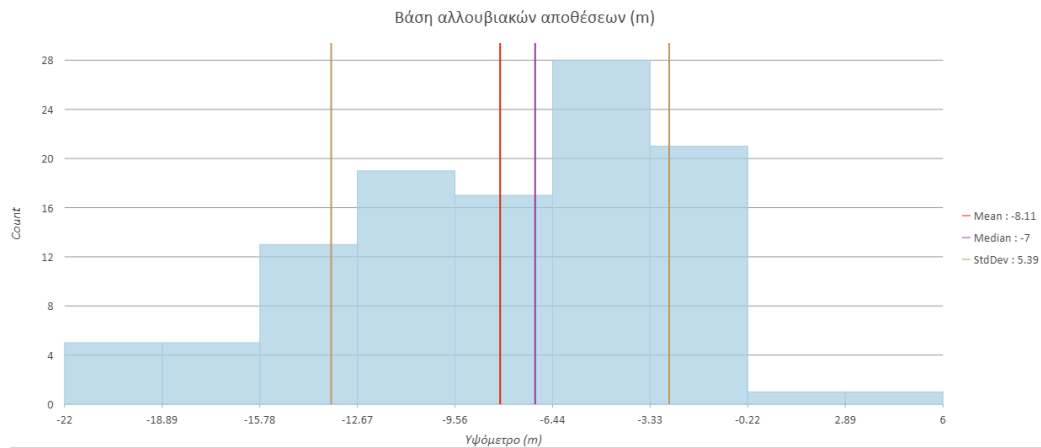
Εικόνα 5.4 Χάρτης κατανομής του υψόμετρου της βάσης των αλλουβιακών αποθέσεων στην δελταϊκή πεδιάδα.

Στον χάρτη της Εικόνας 5.5 παρουσιάζεται η κατανομή του πάχους των αποθέσεων αυτών. Τα μεγαλύτερα πάχη των αλλουβιακών αποθέσεων (μεγαλύτερα από 15 m) συναντώνται στις περιοχές δυτικά και νοτιοδυτικά του οικισμού Κουλούρα που συναντήσαμε και τα μικρότερα απόλυτα υψόμετρα για την βάση του σχηματισμού. Αντίστοιχα, ο σχηματισμός παρουσιάζει τα μικρότερα πάχη (μικρότερα από 5 m) βόρεια και νοτιοανατολικά. Η περιοχή ανατολικά από την Κουλούρα που συμπίπτει με τις σημερινές εκβολές του Πηνειού ποταμού εμφανίζει ένα πάχος της τάξης των 5-10 m.



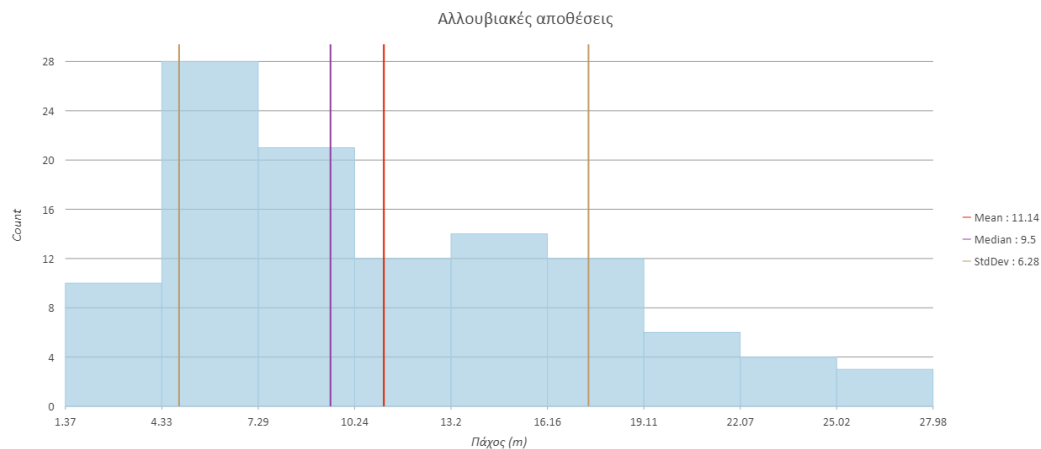
Εικόνα 5.5 Χάρτης κατανομής πάχους των αλλουβιακών αποθέσεων στην δελταϊκή πεδιάδα. Οι θέσεις των βαθυσκοπήσεων έχουν κατηγοριοποιηθεί με την σημειακή τιμή πάχους που υπολογίστηκε από την επεξεργασία των γεωφυσικών δεδομένων.

Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 5.6 η μέγιστη τιμή υψόμετρου μέχρι το οποίο εμφανίζονται οι αλλουβιακές αποθέσεις ισούται με 6 m, το ελάχιστο υψόμετρο ισούται με -22 m και η μέση τιμή στα -8.1 m.



**Εικόνα 5.6 Κατανομή υψόμετρων βάσης αλλουβιακών αποθέσεων (μέση τιμή -8.11, διάμεσος 7, τυπική απόκλιση 5.93)**

Το διάγραμμα της Εικόνας 5.7 αφορά τις τιμές που υπολογίστηκαν για το πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων στην περιοχή μελέτης. Παρατηρούμε πως ο σχηματισμός έχει μέσο πάχος 11.14 m, η διάμεσος υπολογίστηκε 9.5 και η τυπική απόκλιση ίση με 9. Η ελάχιστη τιμή είναι τα 1.3 m και μέγιστη τα 27.98 m



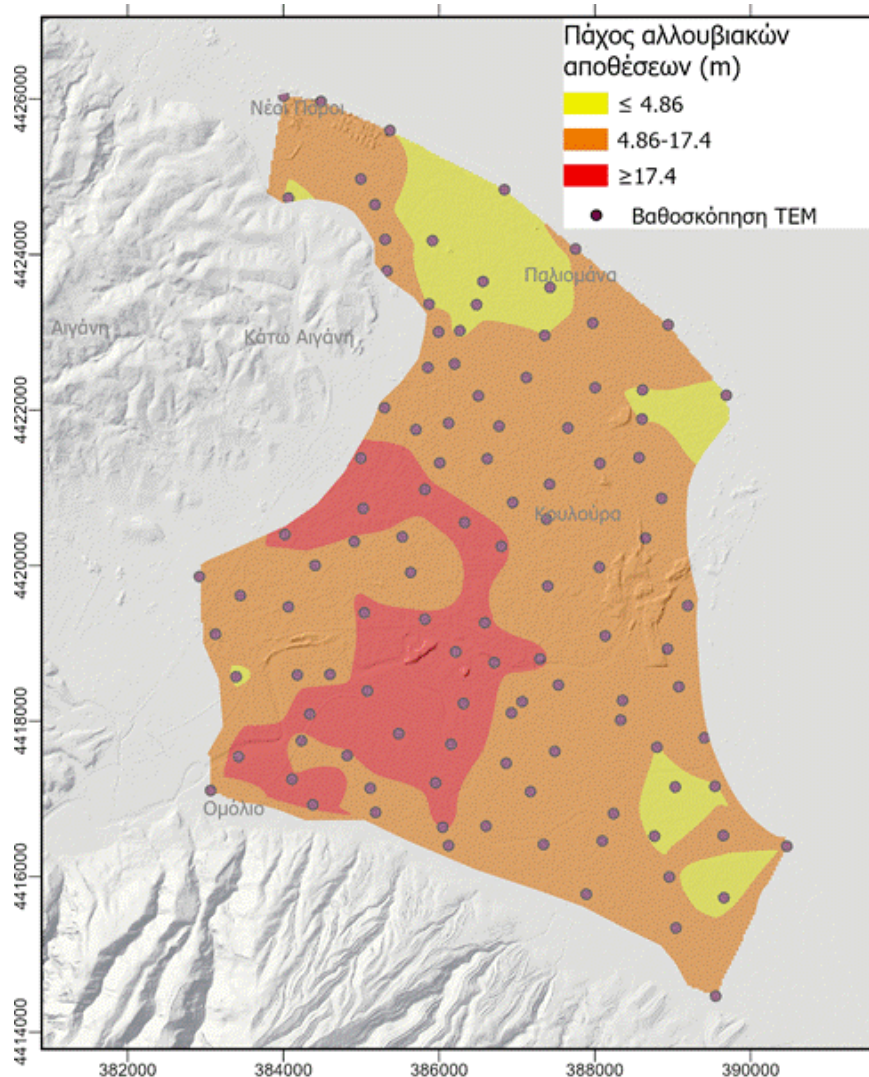
**Εικόνα 5.7 Κατανομή τιμών του πάχους των αλλουβιακών αποθέσεων (μέση τιμή 11.14, διάμεσος 9.5, τυπική απόκλιση 6.28)**

Χρησιμοποιώντας τις τιμές της τυπικής απόκλισης (6.28) και της μέσης τιμής (11.1) πραγματοποιήθηκε μια ακόμα κατηγοριοποίηση των θέσεων βαθσοκόπησης στις 3 ακόλουθες κλάσεις:

1.  $\leq 4.86$
2.  $4.86 - 17.4$
3.  $\geq 17.4$

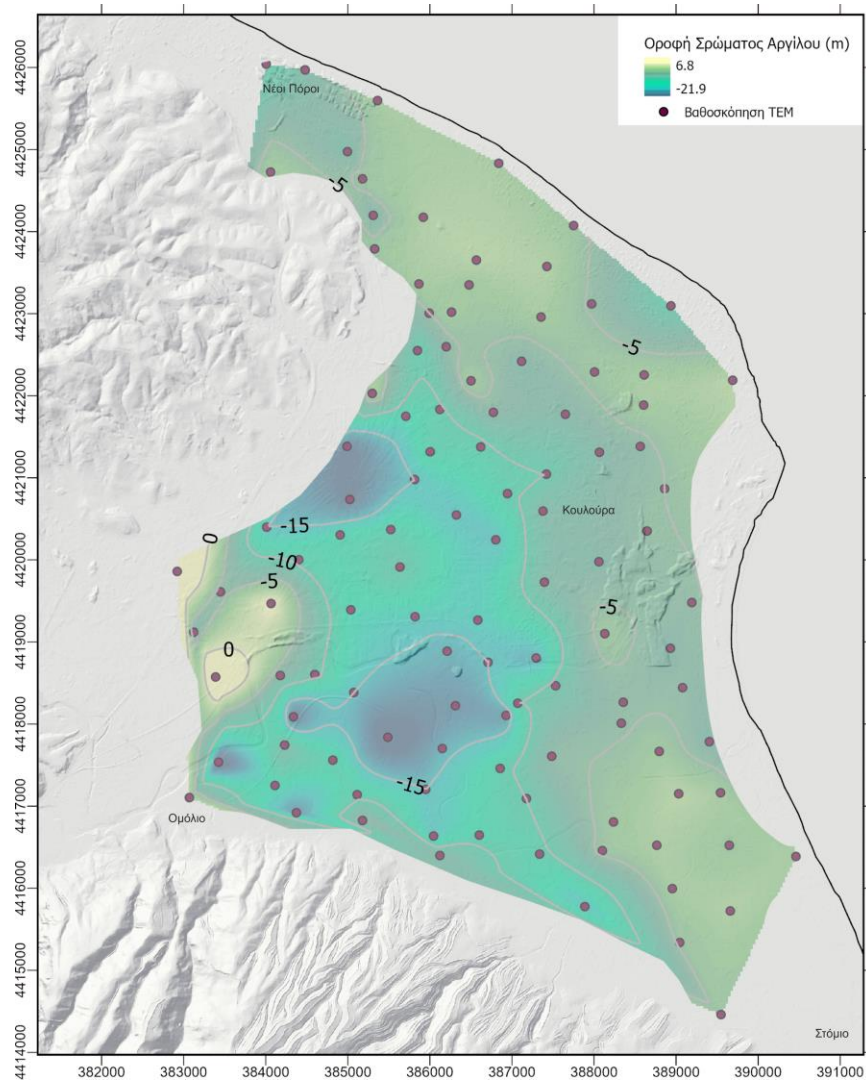


Στον χάρτη της Εικόνας 5.8 που ακολουθεί παρουσιάζεται το αποτέλεσμα αυτής της κατηγοριοποίησης χωρικά στην δελταϊκή πεδιάδα. Η 1<sup>η</sup> κλάση και 3<sup>η</sup> είναι οι τιμές πέρα από μία τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή και αντιπροσωπεύονται από τις περιοχές με κίτρινο (μικρές τιμές) και κόκκινο χρώμα (μεγάλες τιμές) αντίστοιχα. Οι μεγάλες τιμές περιορίζονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της δελταϊκής πεδιάδας σε περιοχές με συχνά πλημμυρικά φαινόμενα. Η 3<sup>η</sup> εμφανίζεται στη θέση των παλιών αποκομμένων μαιάνδρων, στις σημερινές εκβολές καθώς και στις παλιές εκβολές βόρεια από τον οικισμό Στόμιο.



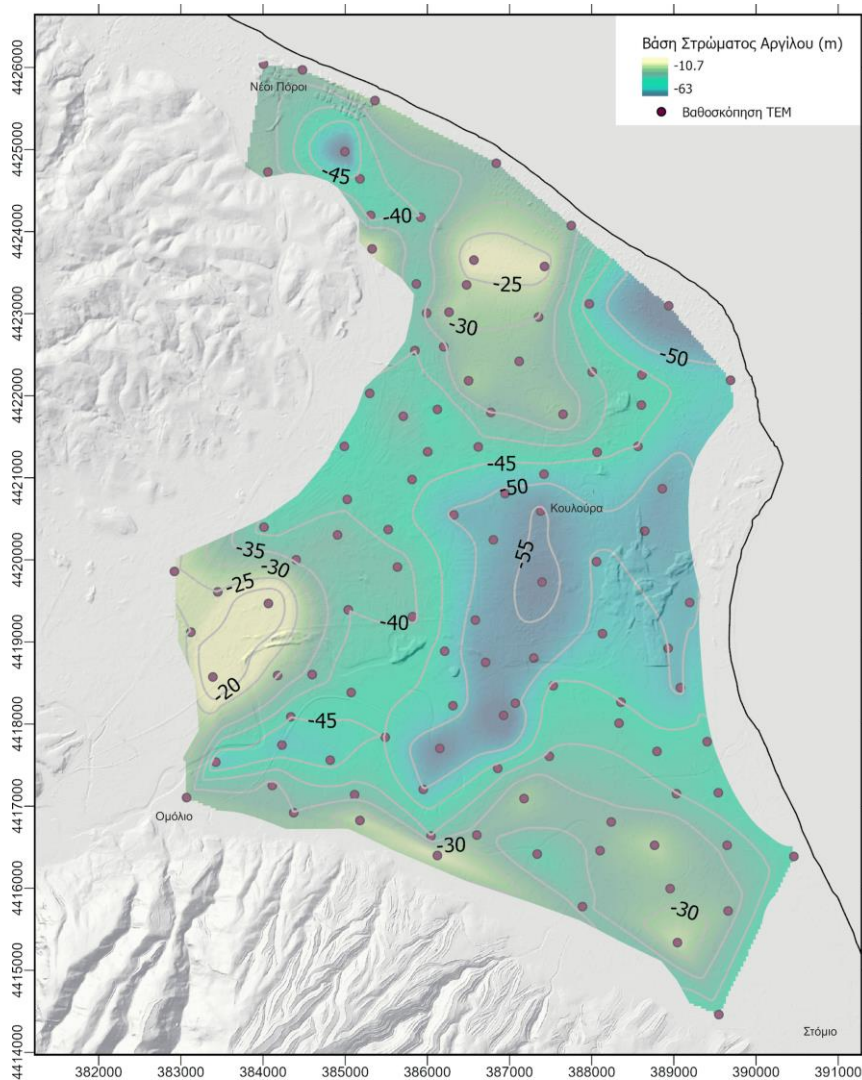
Εικόνα 5.8 Χάρτης κατανομής του πάχους των αλλουβιακών αποθέσεων στην περιοχή διερεύνησης. Τα όρια των κλάσεων υπολογίστηκαν με βάση τις τιμές τυπικής απόκλισης και μέσης τιμής που υπολογίστηκαν.

Στην Εικόνα 5.9 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών υψομέτρου της οροφής του στρώματος αργίλου χωρικά. Καθώς συμπίπτει με την βάση των αλλουβίων δεν επαναλαμβάνονται οι ίδιες παρατηρήσεις.



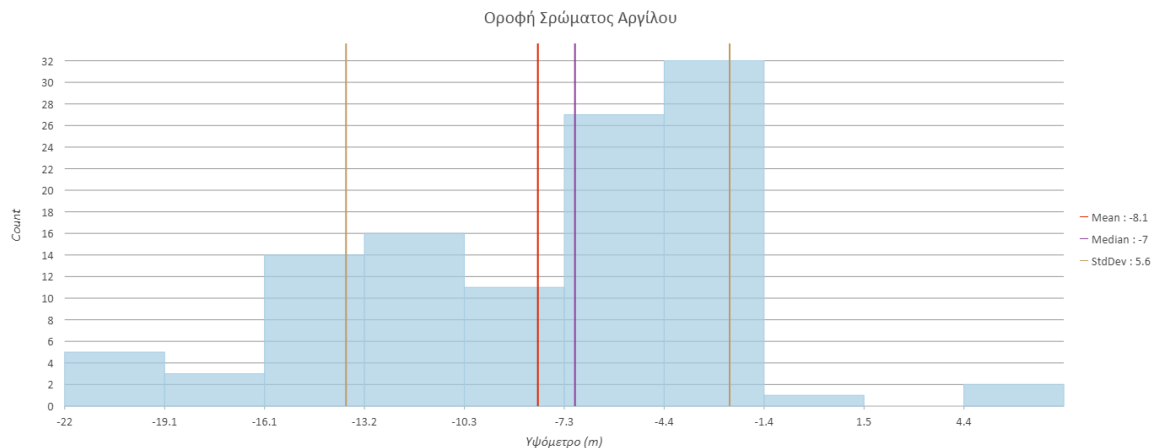
Εικόνα 5.9 Χάρτης κατανομής του υψομέτρου της οροφής του στρώματος της αργίλου

Στην Εικόνα 5.10 παρουσιάζεται η κατανομή του υψομέτρου που συναντάμε την βάση του στρώματος αργίλου. Στις περιοχές βορειοανατολικά, ανατολικά και νότια του οικισμού Κουλούρα η άργιλος φτάνει μέχρι τα -50 m απόλυτο υψόμετρο. Σε τόσο μικρά απόλυτα υψόμετρα συναντάμε την βάση της αργίλου και σε μικρή περιοχή νότια του οικισμού Νέων Πόρων. Βόρεια από τον οικισμό Ομόλιο και δυτικά από τον οικισμό Παλιομάνια παρουσιάζονται τα μεγαλύτερα υψόμετρα με τιμές -25 με -20 m.



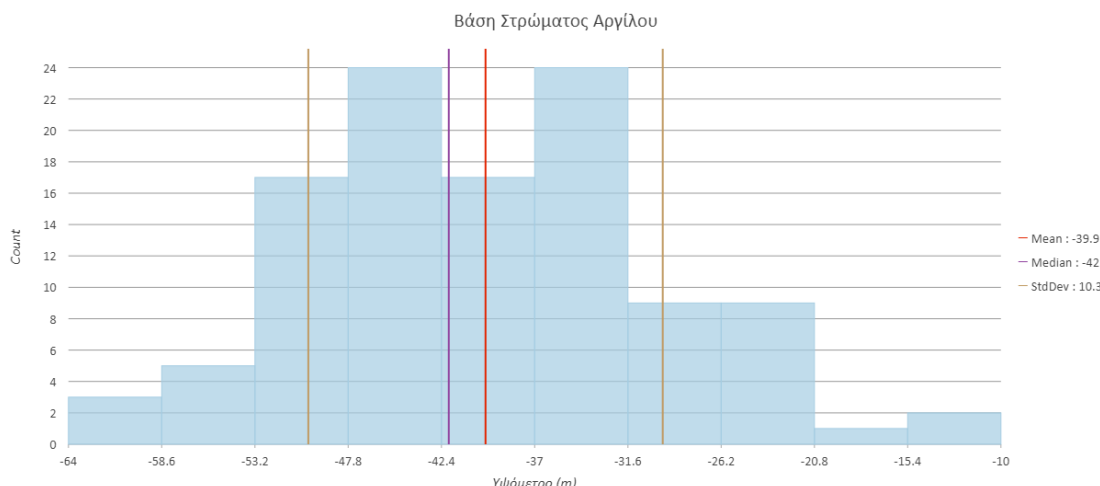
Εικόνα 5.10 Χάρτης κατανομής του υψομέτρου της βάσης της αργίλου στην δελταϊκή πεδιάδα.

Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 5.11 η μέγιστη τιμή υψομέτρου στο οποίο εμφανίζεται το στρώμα αργίλου ισούται με 7.37 m, το ελάχιστο υψόμετρο ισούται με -22 m και η μέση τιμή στα -8.1 m. Η διάμεσος υπολογίστηκε ίση με 7 και η τυπική απόκλιση 5.6.



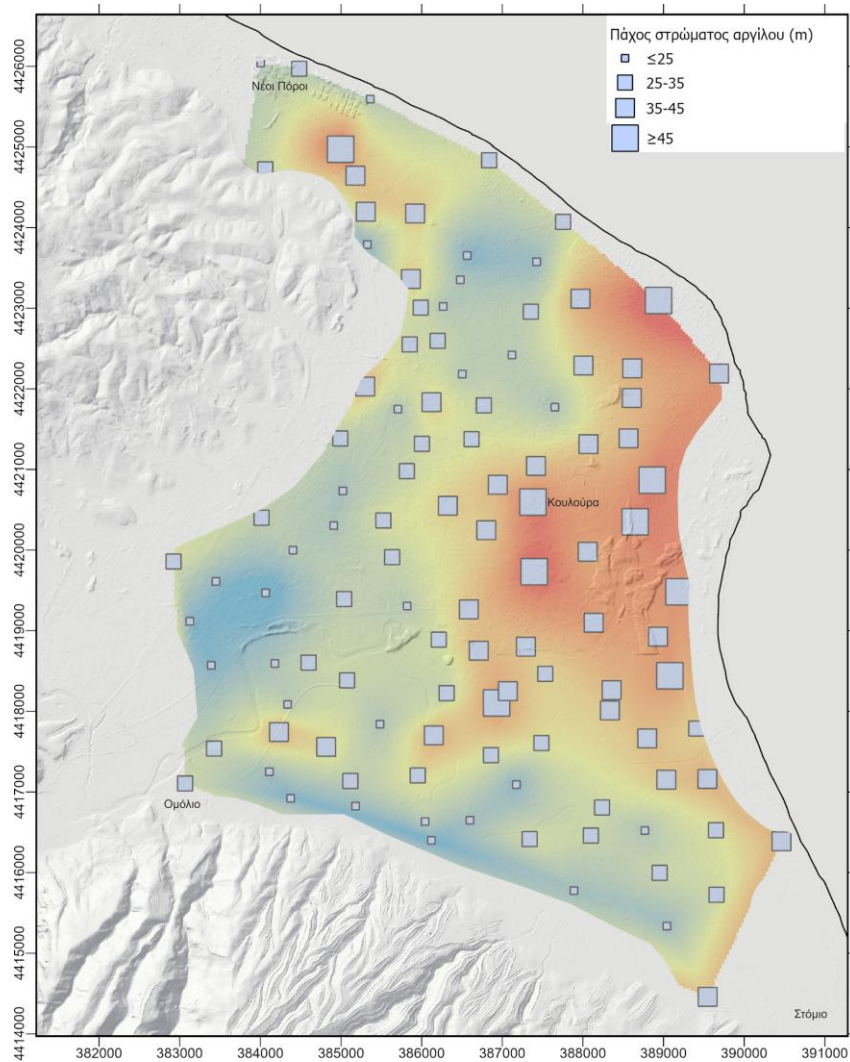
**Εικόνα 5.11 Κατανομή τιμών απόλυτου υψομέτρου για την οροφή του στρώματος αργίλου.**

Στο διάγραμμα της Εικόνας 5.12 παρουσιάζεται η κατανομή υψομέτρων για την βάση του στρώματος αργίλου. Η μέγιστη υψομετρική τιμή μέχρι το οποίο εμφανίζεται το στρώμα αργίλου ισούται με -10 m, το ελάχιστο υψόμετρο ισούται με -64 m και η μέση τιμή είναι -39.9 m.



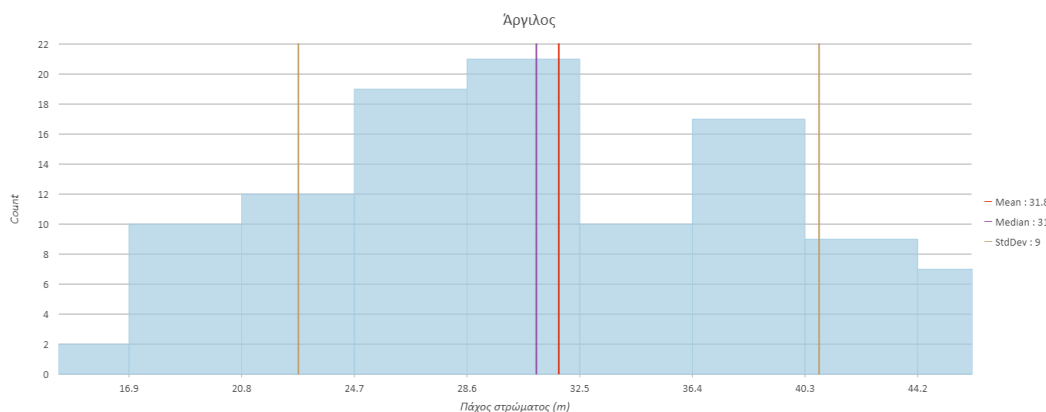
**Εικόνα 5.12 Κατανομή τιμών υψομέτρου για τη βάση του στρώματος.**

Στον χάρτη της Εικόνας 5.13 παρουσιάζεται χωρικά η κατανομή του πάχους του στρώματος αργίλου στην δελταϊκή πεδιάδα. Τα μεγαλύτερα πάχη παρατηρούνται σε όλη την κεντρική και ανατολική περιοχή του Δέλτα και ξεπερνούν τα 45 m στην περιοχή νότια και ανατολικά του οικισμού Κουλούρα. Πάχη μικρότερα από 25 m εμφανίζονται βόρειο-βορειοδυτικά της Κουλούρας και περιμετρικά στα πρανά, με εξαίρεση την περιοχή νότια του οικισμού των Νέων Πόρων.



Εικόνα 5.13 Χάρτης κατανομής του πάχους στρώματος αργίλου στην περιοχή διερεύνησης. Οι θέσεις των βαθυσκοπήσεων έχουν κατηγοριοποιηθεί με την σημειακή τιμή πάχους που υπολογίστηκε από την επεξεργασία του γεωφυσικών δεδομένων.

Το διάγραμμα της Εικόνας 5.14 αφορά τις τιμές που υπολογίστηκαν για το πάχος του στρώματος αργίλου στην περιοχή μελέτης. Παρατηρούμε πως ο σχηματισμός έχει μέσο πάχος 31.8 m, η διάμεσος υπολογίστηκε 31 και η τυπική απόκλιση ίση με 9. Η ελάχιστη τιμή είναι τα 13 m και μέγιστη τα 52 m. Η διάμεσος υπολογίστηκε 42 και η τυπική απόκλιση 10.3.



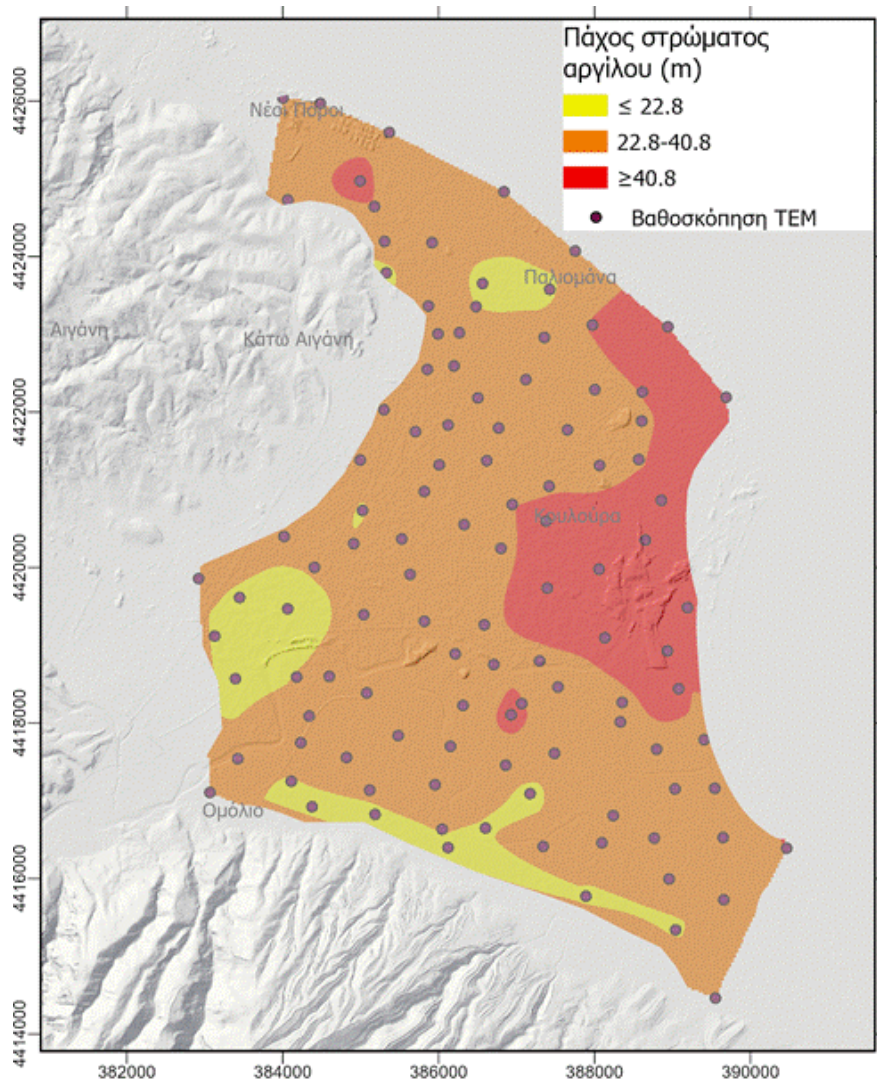
Εικόνα 5.14 Κατανομή τιμών του πάχους του στρώματος αργίλου.

Χρησιμοποιώντας τις τιμές της τυπικής απόκλισης (9) και της μέσης τιμής (31.8) πραγματοποιήθηκε μια ακόμα κατηγοριοποίηση των θέσεων βαθσοκόπησης στις 3 ακόλουθες κλάσεις:

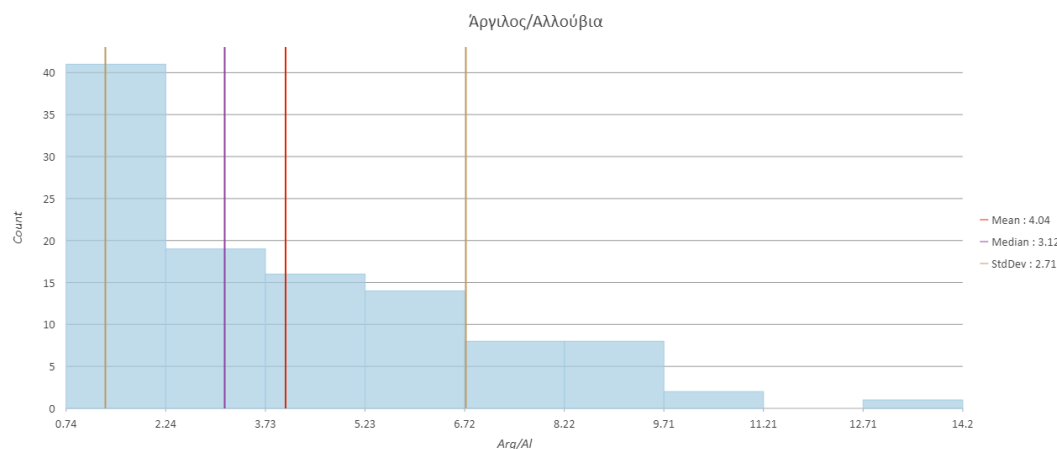
4.  $\leq 22.8$
5.  $22.8 - 40.8$
6.  $\geq 40.8$

Στον χάρτη της Εικόνας 5.15 που ακολουθεί παρουσιάζεται το αποτέλεσμα αυτής της κατηγοριοποίησης χωρικά στην δελταϊκή πεδιάδα. Η 1<sup>η</sup> κλάση και 3<sup>η</sup> είναι οι τιμές πέρα από μία τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή και αντιπροσωπεύονται από τις περιοχές με κίτρινο (μικρές τιμές) και κόκκινο χρώμα (μεγάλες τιμές) αντίστοιχα. Οι μικρές τιμές περιορίζονται κυρίως στο νότιο τμήμα της δελταϊκής πεδιάδας παράλληλα στις παρυφές της Όσσας και στο δυτικό τμήμα στην περιοχή βόρεια του οικισμού Ομολίου. Μικρή εμφάνιση της 1<sup>ης</sup> κλάσης έχουμε και στα βόρεια στον οικισμό Παλιομάνα. Η 3<sup>η</sup> κλάση καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα του Δέλτα στις σημερινές εκβολές και εσωτερικότερα στον οικισμό Κουλούρα.

Θέλοντας να συγκρίνουμε το πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων με το πάχος του στρώματος της αργίλου σε κάθε θέση υπολογίστηκε ο λόγος Πάχος Αργίλου/Πάχος Αλλουβίων. Στο διάγραμμα της Εικόνας 5.16 παρατηρούμε πως η ελάχιστη τιμή του λόγου είναι 0.74 και η μέγιστη 14.2. Η μέση τιμή του λόγου είναι 4.04, η διάμεσος 3.12 και η τυπική απόκλιση 2.71.

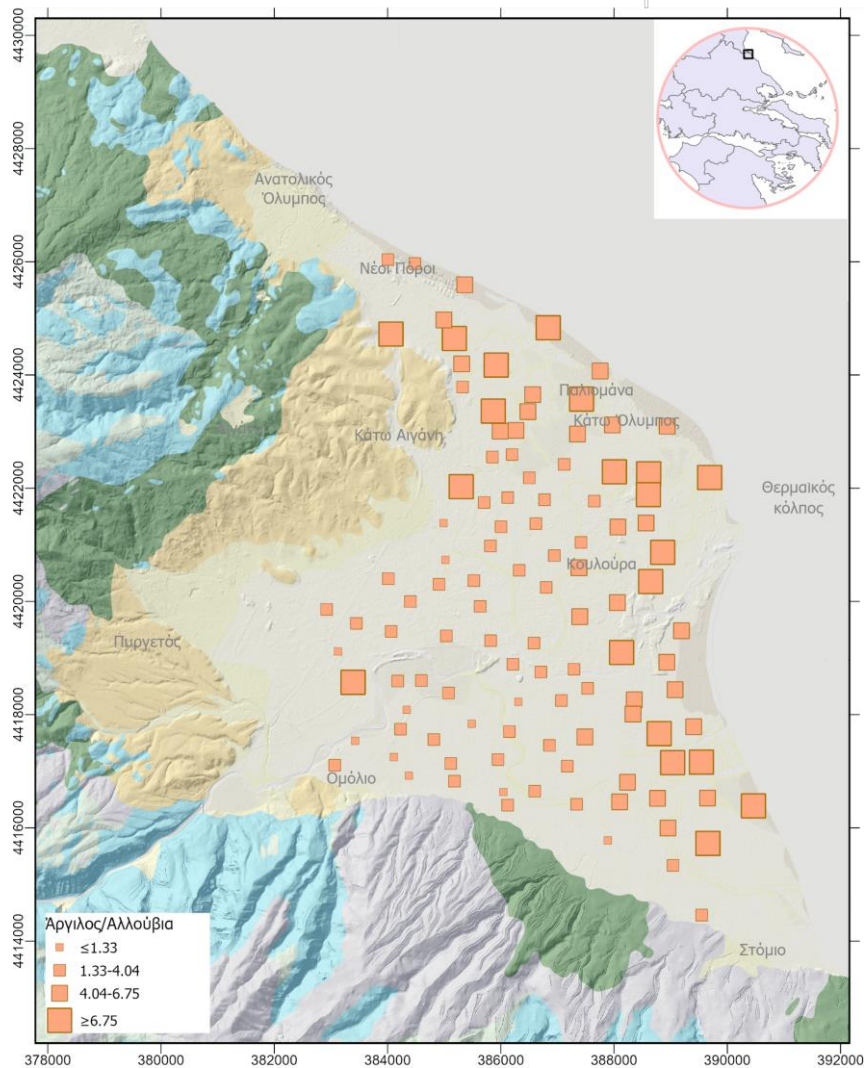


Εικόνα 5.15 Χάρτης κατανομής του πάχους στρώματος αργίλου στην περιοχή διερεύνησης. Τα όρια των κλάσεων υπολογίστηκαν με βάση τις τιμές τυπικής απόκλισης και μέσης τιμής που υπολογίστηκαν.



Εικόνα 5.16 Κατανομή των τιμών του λόγου Πάχος Αργίλου/Πάχος Αλλουβίων.

Στον χάρτη της Εικόνας 5.17 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή του λόγου Άργιλος/Αλλούβια χωρικά στην δελταϊκή πεδιάδα. Παρατηρούμε πως ο λόγος παίρνει τις μέγιστες τιμές του στις περιοχές των σημερινών και των παλιών εκβολών (στο Στόμιο) καθώς και πιο βόρεια στην περιοχή Παλιομάνα που έχουμε την εμφάνιση του μεγάλου αριθμού των αποκομμένων μαιάνδρων.

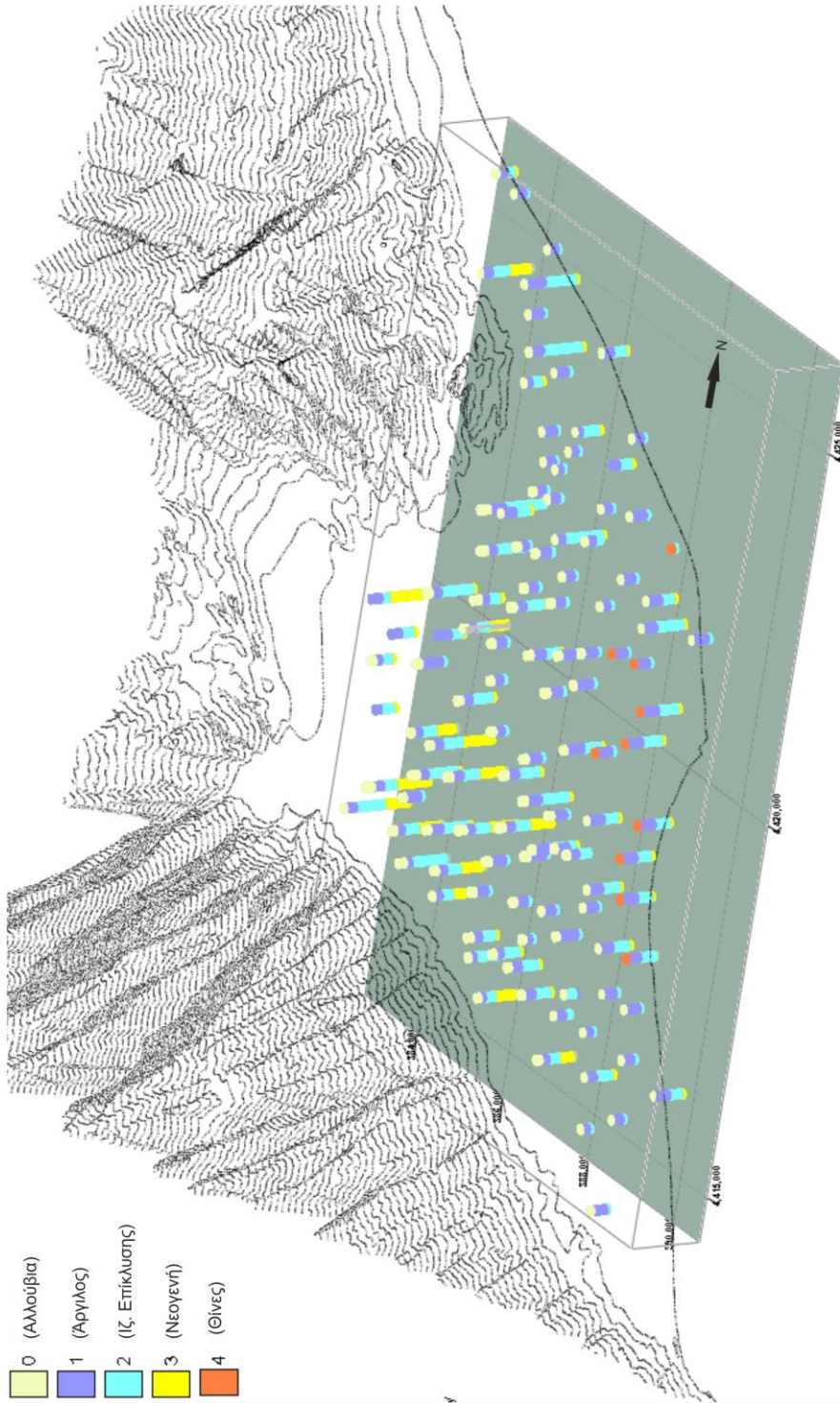


Εικόνα 5.17 Χάρτης κατανομής του λόγου Άργιλος/Αλλούβια στην δελταϊκή πεδιάδα.

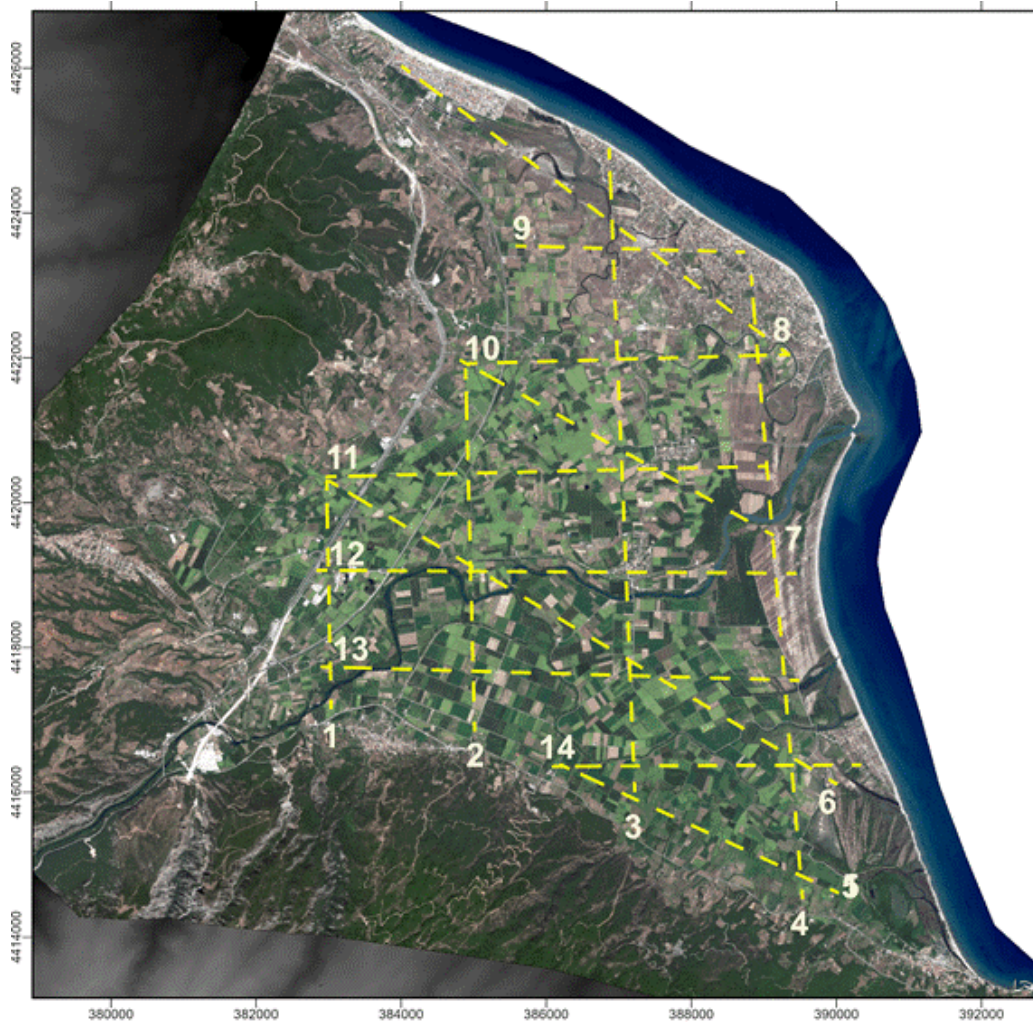
Στην Εικόνα 5.18 απεικονίζεται σε τρισδιάστατη μορφή το Δέλτα με τις βαθυσκοπήσεις να έχουν την μορφή striplogs. Σε αυτήν την απεικόνιση γίνεται διαχωρισμός του επιφανειακού στρώματος σε αλλουβιακές αποθέσεις (στρωματογραφικός τύπος 0) και θίνες (στρωματογραφικός τύπος 5). Το ανάγλυφο με μορφή ισοψών καμπύλων μέχρι τα 15 m έχει εισαχθεί με μορφή .DXF αρχείου. Με βάση το στρωματογραφικό μοντέλο που κατασκευάστηκε για την δελταϊκή πεδιάδα μέσω του λογισμικού RockWorks παρήχθησαν



στρωματογραφικές τομές τύπου φράχτη που καλύπτουν το σύνολο του Δέλτα και η θέση τους παρουσιάζεται στον χάρτη της Εικόνας 5.19.

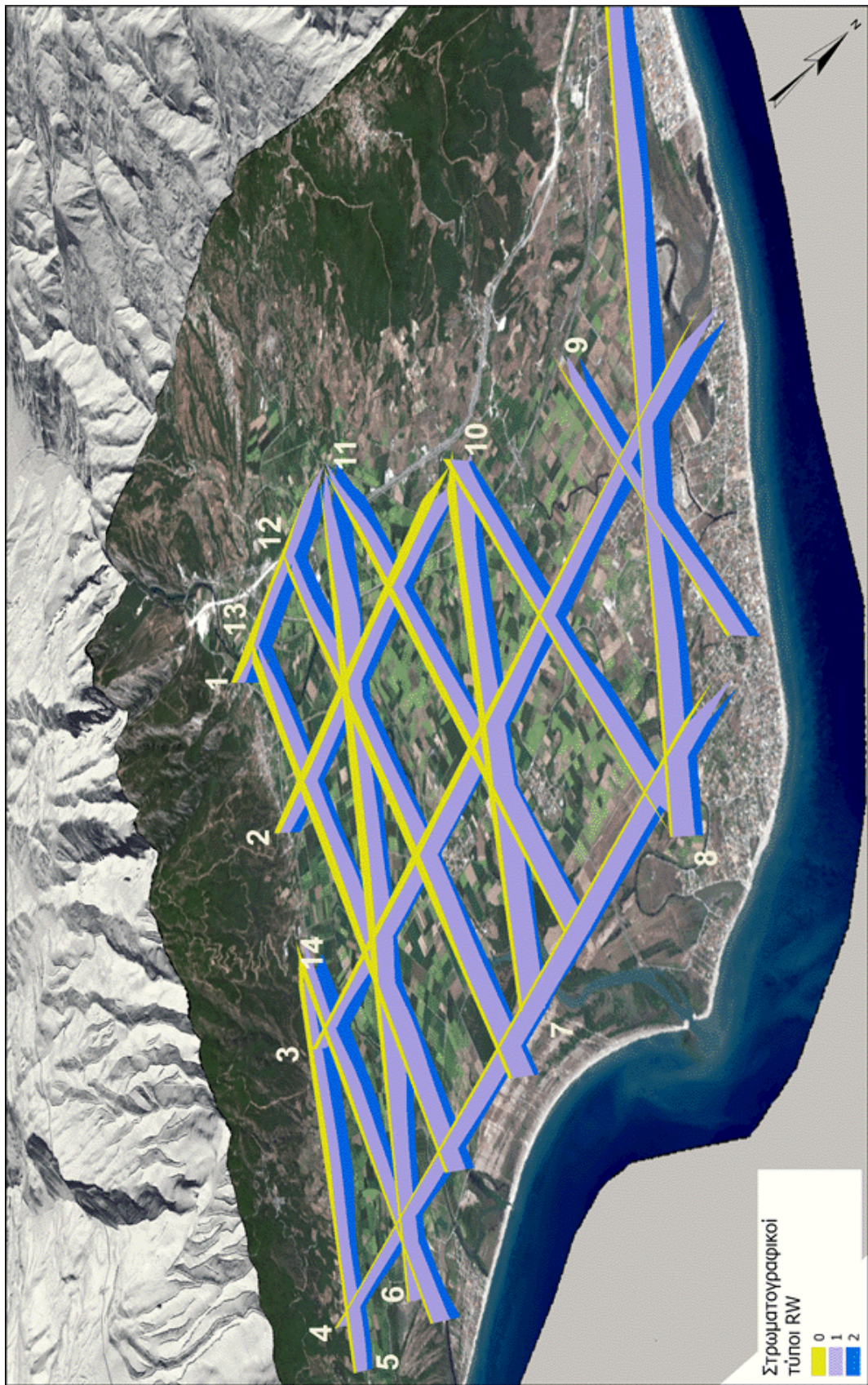


Εικόνα 5.18 Το σύνολο των 114 βαθασκοπήσεων με μορφή striplogs στον τρισδιάστατο χώρο της περιοχής μελέτης. Ο στρωματογραφικός τύπος 5 που αναφέρεται για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε για να σημειωθούν οι θέσεις υπαρχής θινών. Η κάθετη μεγέθυνση είναι επί πέντε (x5).



Εικόνα 5.19 Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης όπου παρουσιάζονται με εστιγμένη κίτρινη γραμμή οι θέσεις των στρωματογραφικών τομών που εξήχθησαν από το λογισμικό Rockworks με μορφή διανυσματικού επιπέδου πληροφορίας (shapefile).

Στην Εικόνα 5.20 παρουσιάζονται οι στρωματογραφικές τομές με μορφή τρισδιάστατου χάρτη αξιοποιώντας τις δυνατότητες που παρέχει το ArcGIS Pro. Ως επίπεδο πληροφορίας υψομέτρου χρησιμοποιήθηκε το DEM της περιοχής με ανάλυση 5 m με το οποίο κατασκευάσαμε και το σκιασμένο ανάγλυφο. Για καλύτερη απεικόνιση των τομών ορίστηκε η κάθετη μεγέθυνση ίση με τρία.



Εικόνα 5.20 Τρισδιάστατη απεικόνιση των στρωματογραφικών τομών τύπου «φράκτη» σε περιβάλλον GIS. Η κάθετη μεγέθυνση των τομών επλήχθηκε να είναι επί τρία (x3) και χαρτογραφική μετατόπιση (cartographic offset) 300 m.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία ειδίκευσης, σε ότι αφορά τις τεχνικές που ακολουθήθηκαν στο επιστημονικό πεδίο της τηλεπισκόπησης, επισημαίνονται τα εξής:

- Ενδείκνυται η χρήση του συνδυασμού φασματικών καναλιών (7,6,5) για διάκριση των χρήσεων γης και των καλλιεργειών (κωνοφόρα, χλόη και καλλιέργειες, άγρονα εδάφη)
- Ενδείκνυται η χρήση του συνδυασμού φασματικών δεικτών (MSR705, R31, WV-II) για σκιαγράφιση σε μεγάλο βαθμό το υδρογραφικού δικτύου της περιοχής λόγω της έντονης αντίθεσης που παρουσιάζει η παρόχθια βλάστηση

Σε ότι αφορά την υπεδαφική διερεύνηση με την γεωφυσική διασκόπηση, διαπιστώθηκε η ύπαρξη τριών (3) στρωματογραφικών ενοτήτων:

1. Οι επιφανειακές δελταϊκές (κλαστικές) αποθέσεις που δημιουργήθηκαν κατά τη προέλαση του Δέλτα του Πηνειού μετά την ολοκλήρωση της γρήγορης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (δηλαδή τα τελευταία 4,000 - 5,000 χρόνια, φιλοξενούν τον φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα, με μέσο πάχος τα 11 m, ο οποίος τροφοδοτείται πλευρικά από τον Πηνειό ποταμό αλλά και από τους γύρω ορεινούς όγκους, όπως και από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.
2. Ένα ενδιάμεσο στρώμα πηλού – αργίλου κάτω από τις επιφανειακές δελταϊκές αποθέσεις, που ουσιαστικά είναι οι προδελταϊκές λεπτόκοκκες αποθέσεις του προελαύνοντα δέλτα κατά το ανώτερο Ολόκαινο και οι οποίες έχουν ένα μέσο πάχος περί τα 32 μέτρα. Η στρωματογραφική ενότητα αυτή ως αδιαπέρατος σχηματισμός ευνοεί στην ανάπτυξη του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα.
3. Η 3<sup>η</sup> ενότητα είναι οι αποθέσεις επίκλυσης, που συνίστανται από άμμους και χαλίκια με μικρό ποσοστό αργίλου και οι οποίες κατά θέσεις υδροφορούν αρτεσιανά. Ο σχηματισμός αυτός φαίνεται να υπέρκειται των Νεογενών σχηματισμών που μπορεί να θεωρηθούν η παλαιοεπιφάνεια που χέρσευε κατά τη τελευταία παγετώδη περίοδο, όταν δηλαδή η στάθμη ήταν 120-130 μέτρα χαμηλότερα από σήμερα.

Μετά από στατιστική ανάλυση των παχών των δύο στρωματογραφικών ενοτήτων που αποτελούν τις αποθέσεις του Δέλτα καθώς και του λόγου τους αναφέrouμε τα εξής:

- Οι μεγάλες τιμές πάχους αλλουβιακών αποθέσεων περιορίζονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της δελταϊκής πεδιάδας σε περιοχές με συχνά πλημμυρικά φαινόμενα. Μικρές τιμές πάχους έχουμε στη θέση των παλιών αποκομμένων μαιάνδρων, στις σημερινές εκβολές καθώς και στις παλιές εκβολές βόρεια από τον οικισμό Στόμιο.

- Οι μικρές τιμές πάχους του στρώματος της αργίλου περιορίζονται κυρίως στο νότιο τμήμα της δελταϊκής πεδιάδας παράλληλα στις παρυφές της Όσσας και στο δυτικό τμήμα στην περιοχή βόρεια του οικισμού Ομολίου. Μικρά πάχη έχουμε και στα βόρεια στον οικισμό Παλιομάνα. Μεγάλα πάχη εμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα του Δέλτα στις σημερινές εκβολές και εσωτερικότερα στον οικισμό Κουλούρα.
- Ο λόγος Πάχος Αργίλου/Πάχος Αλλουβίων παίρνει τις μέγιστες τιμές του στις περιοχές των σημερινών και των παλιών εκβολών (στο Στόμιο) καθώς και πιο βόρεια στην περιοχή Παλιομάνα που έχουμε την εμφάνιση του μεγάλου αριθμού των αποκομμένων μαιάνδρων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνόγλωσση

- Αλεξόπουλος Ι. (1998). Συμβολή των γεωφυσικών μεθόδων στη διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών του οροπεδίου της Τρίπολης. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Αθήνα, σ. 283.
- Αλεξόπουλος Δ.Ι., Βασιλάκης ΕΜΜ., Δίλαλος Σ., Παπαδόπουλος Δ.Τ. (2008). Συμβολή της γεωφυσικής έρευνας στην οριοθέτηση υπόγειας υδάτινης ροής σε λιμνοθαλάσσιο περιβάλλον. 8th International Hydrogeological Congress of Greece & 3rd MEM Workshop on fissured rocks Hydrology, I, 421-430.
- Αλεξόπουλος Δ. Ι., Ματιάτος Ι., Δίλαλος Σ., Βασιλάκης Εμμ., Παναγόπουλος Α., Γκιώνης Γ. και Πούλος Σ. (2014). Διερεύνηση της ανάπτυξης του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα της λεκάνης του Δέλτα Πηνειού Θεσσαλίας, με το συνδυασμό γεωφυσικών και υδρογεωλογικών στοιχείων, Πρακτικά του 10ου Διεθνούς Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρίας 22-24 Οκτωβρίου, Θεσσαλονίκη.
- Βασιλάκης Εμμ., Μαυρούλης Σ., Αλεξόπουλος Ι., Δίλαλος Σ. (2014). Μορφοτεκτονική εξέλιξη της Δελταϊκής περιοχής του Πηνειού (Θεσσαλία). Πρακτικά του 10ου Διεθνούς Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρίας 22-24 Οκτωβρίου, Θεσσαλονίκη, 1671-1684.
- Βασιλάκης Εμμανουήλ, (2014). ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΕ ΓΕΩ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ, ΑΘΗΝΑ
- Δίλαλος Σ. (2009). Διερεύνηση υδρογεωλογικών και περιβαλλοντικών συνθηκών με γεωφυσικές μεθόδους, σε επιλεγμένες θέσεις της νήσου Χίου. Μεταπτυχιακή διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Αθήνα, σ. 188.
- Καρύμπαλης Ε. & Γάκη-Παπαναστασίου Κ. (2008). Γεωμορφολογική μελέτη των ποταμών Πηνειού, Καλαμά, Εύηνου και Μόρνου. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Έκδοση Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π., 86-94.
- Κατσικάτσος, Γ., Μιγκίρος, Γ. (1987). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας (1:50000), φύλλο «Ραψάνη», ΙΓΜΕ.
- Μανάκος Α. και Τσιούμας Β. (2010) ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ, ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ (08), ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ.
- Μηλιαρέσης, Χ.Γ. (2003). Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση. Αθήνα: ΙΩΝ.

- Μιγκίρος, Γ. (1983). Γεωλογική μελέτη περιοχής Κάτω Ολύμπου, Θεσσαλίας. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Πατρών, 224 σελ.
- Μιγκίρος, Γ., Παυλόπουλος, Α., Παρχαρίδης, Ι., Γατσής, Ι., Ψωμάδης, Ε.(2003). Τηλεπισκόπηση: Εφαρμογές στις γεωεπιστήμες , 231 pp., Γ.Π.Α. Αθήνα.
- Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 60/2000/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=F1AF2ARLHmo%3d&tabid=248&language=el-GR>
- Παναγόπουλος Α., Κωτσόπουλος Σ., Καλφούντζος Δ., Αλεξίου Ι., Ευαγγελόπουλος Αθ., Μπέλεσης Αλ. (2001). «Διερεύνηση υφιστάμενης κατάστασης υδατικών πόρων λεκάνης δέλτα ποταμού Πηνειού Θεσσαλίας». Τεχνική έκθεση στο πλαίσιο του έργου «Συμπληρωματικές περιβαλλοντικές δράσεις του Κανονισμού 2078/92 ΕΟΚ - Μελέτη φυσικών πόρων και παραγόντων που επιδρούν στην απόδοση και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καλλιεργειών της Θεσσαλίας». ΕΘΙΑΓΕ (ΙΧΤΕΛ-ΙΕΒ), 84 σ., Θεσσαλονίκη.
- Περάκης, Κ., Μωυσιάδης, Α., Φαρασλής, Ι. (2015). Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες, [ηλεκτρ. βιβλ.] Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/1846>
- Σπυρόπουλος, Ν. (2012). Τηλεπισκόπηση και δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης στη γεωργία ακριβείας. HYDROSENSE, LIFE+ Environment Policy and Governance Programme.
- Τσάπανου, Α. (2019). Διερεύνηση της Προέλευσης και Διασποράς του Αιωρούμενου Υλικού στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα του Βορείου Αιγαίου Πελάγους, μέσω αξιοποίησης Σύγχρονων Μεθόδων Τηλεπισκόπησης, Διδακτορική Διατριβή.
- Τσελέντης Α., Παρασκευόπουλος Π. (2013). Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Liberal Books.
- Φιλίντας, Α. (2005). «Συστήματα Χρήσης Γης με έμφαση στα Γεωργικά Μηχανήματα, στις Αρδεύσεις και στη Νιτρορύπανση με Χρήση Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και Μοντέλων, σε επίπεδο Λεκάνης Απορροής στην Κεντρική Ελλάδα». Μεταπτυχιακή Διατριβή (MSc Thesis), Τμήμα Περιβάλλοντος, Σχολή Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
- Φιλίντας, Α. (2006α). «Κεφάλαιο 11: Πολυκριτηριακή ανάλυση-Περιγραφή-Μοντέλο Πολυκριτηριακής Ανάλυσης, Προσδιορισμός του προβλήματος-Περιοχές Έρευνας και Ανάλυση για τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και την Τηλεπισκόπηση», στην «Μελέτη-Εμπειρογνωμοσύνη για την αντιμετώπιση του αρδευτικού προβλήματος στους Νομούς Αργολίδας και Λακωνίας με την αξιοποίηση

των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων, Α' Φάση». Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Σχολή Διαχείρισης Φυσικών Πόρων & Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Αγρίνιο, σελ. 132-187. Επιστημονικός Υπεύθυνος: Δρ. Καλαβρουζιώτης Ι.

Φιλίντας, Α. (2006β). «Κεφάλαιο 12: Πολυκριτηριακή ανάλυση - Εφαρμογή του Μοντέλου Πολυκριτηριακής Ανάλυσης-Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Αποτελέσματα και Συζήτηση – Συμπεράσματα», στην «Μελέτη-Εμπειρογνωμοσύνη για την αντιμετώπιση του αρδευτικού προβλήματος στους Νομούς Αργολίδας και Λακωνίας με την αξιοποίηση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων, Α' Φάση». Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Σχολή Διαχείρισης Φυσικών Πόρων & Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Αγρίνιο, σελ. 188-296. Επιστημονικός Υπεύθυνος: Δρ. Καλαβρουζιώτης Ι.

Φιλίντας, Α. (2011). «Αξιολόγηση χρήσεων γης και περιβαλλοντική διαχείριση βιοαποβλήτων, για άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και εφαρμογή βιολάσπης με γεωργικά μηχανήματα, για βελτίωση-λίπανση εδαφών και καλλιεργειών, με χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών-Τηλεπισκόπησης, Γεωργίας Ακριβείας και Πολυκριτηριακής Ανάλυσης». Διδακτορική Διατριβή (Ph.D Thesis), Τμήμα Περιβάλλοντος, Σχολή Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Φιλίντας, Α. και Ντιούδης, Π. (2008). «Περιβαλλοντική αποτίμηση νιτρικής ρύπανσης υπόγειων υδάτων με χρήση GIS και Τηλεπισκόπησης», Κεφάλαιο 26 στο «Φυσικοί πόροι, Περιβάλλον και Ανάπτυξη», επιμέλεια: Γ. Αραμπατζής και Σ. Πολύζος, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 635-666.

Φιλίντας, Α. (2011). Περιβαλλοντική μελέτη ρύπανσης και ποιότητας υδάτινων πόρων, υδρογεωλογίας και υδροχημείας, του ποτάμιου υδροσυστήματος Πηνειού Θεσσαλίας της Ελλάδας, με χρήση έρευνας πεδίου, εργαστηριακών αναλύσεων, Βάσεων Δεδομένων, ΓΣΠ, Τηλεπισκόπησης, GPS και στατιστικής ανάλυσης. Πρόγραμμα FreeMed-Fleuves et Rivières Espaces d'Equilibre pour la Méditerranée (Rivers Spaces of Balance for the Mediterranean), Περιφέρεια Θεσσαλίας, Λάρισα, σελ.122. (Περιλαμβάνει περιλήψεις στα Ελληνικά, Γαλλικά και Αγγλικά).

Φουμέλης, Μ. και Βασιλάκης, Ε. (2004). Αποκλίσεις μεταξύ μεθόδων εκτίμησης των κλίσεων και ο ρόλος της ανάλυσης των ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου. Συγκριτική μελέτη σε περιβάλλον GIS. Bull. of Geol. Soc. of Greece, XXXV I (2): 894-903.

Χατζόπουλος, Ι.Ν. (2011). "Η Γεωχωροπληροφορική στην Πολιτική Προστασίας του Περιβάλλοντος", σελ. 267 – 314, Επιμέλεια: Ευάγγελος Μανωλάς, "Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων 3ος Τόμος: Πολιτικές Προστασίας του Περιβάλλοντος", Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.



Χατζόπουλος, Ι.Ν. (2012). Γεωχωροπληροφορική Τοπογραφία, Εκδόσεις Α. ΤΖΙΟΛΑ & ΥΙΟΙ Ο.Ε., ISBN: 978-960-418-353-1, 970 σελίδες.

### Ξενογλώσση

Abd-Elhamid, H.F., & Javadi, A.A. (2011). A cost-effective method to control seawater intrusion in coastal aquifers. *Water resources management*, 25(11), 2755-2780.

Alexopoulos J.D., Tomara V., Vassilakis EM., Papadopoulos T.D., Dassenakis M., Poulos S., Voulgaris N., Dilalos S., Ghionis G., Goumas G., Pirlis E. (2007). Environmental research of the Korissia coastal wetland (Corfu Isl., Greece), with the application of combined geological and geophysical methods supported by Geographic Information Systems. 11th International Congress of the Geological Society of Greece, *Bulletin of Geological Society of Greece*, XXXX (4), 1892-1903.

Alexopoulos J.D., Dilalos S. (2010). Geophysical research for geological structure determination in the region of South Mesogheia (Attica). 12th International Congress of the Geological Society of Greece, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Patras, XLVIII (4), 1898-1906.

Alexopoulos J., Vassilakis Em., Dilalos S., Pantelis Ch., Papadopoulos T. (2013). Identification of buried active structures with preliminary geophysical and morphotectonic analysis, at eastern Thessaly basin, Greece. 4th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA), 4p., Aachen, Germany.

Alexopoulos J.D., Dilalos S., Mitsika G.S., Poulos S.E. (2019) Mapping of deltaic aquifers with the combined application of DC and TEM soundings. In: *Near Surface Geoscience 2019*, 25<sup>th</sup> European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. We\_25\_P13. 5 p. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902468>

Arslan, H. (2013). Application of multivariate statistical techniques in the assessment of groundwater quality in seawater intrusion area in Bafra Plain, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 185(3), 2439-2452.

Auken E., Jørgensen F., Sørensen K. (2003). Large-scale TEM investigation for groundwater. *Explor Geophys* 34:188–194

Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Kelepertsis, A., Alexakis, D., Chrisanthaki, I., Archonti, D. (2008). Environmental research of groundwater in the urban and suburban areas of Attica region, Greece. *Environmental Geology*, 56(1), 11-18.

- Berk, A., Bernstein, L.S. and Robertson, D.C. (1989). MODTRAN®: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN 7, GL-TR-89-0122, Geophysics Directorate, Phillips Laboratory, Hanscom AFB, MA 01731 (April 1989) ADA214337.
- Berk, A., Bernstein, L.S., Anderson, G.P., Acharya, P.K., Robertson, D.C., Chetwynd, J.H. and Adler-Golden, S.M. (1998). MODTRAN® Cloud and Multiple Scattering Upgrades with Application to AVIRIS, *Remote Sens. Environ.*, 65, 367-375.
- Berk, A., Acharya, P.K., Bernstein, L.S., Anderson, G.P., Chetwynd, J.H., Hoke, Jr., M.L. (2000). "Reformulation of the MODTRAN® band model for finer spectral resolution," proceedings of SPIE Vol. 4049, Orlando, Florida.
- Bernstein, R. (1983). Image geometry and rectification, in *Manual of remote sensing*, edited by R. Colwell, American Society of Photogrammetry.
- Bhattacharya, J.P., & Giosan, L. (2003). Wave-influenced deltas: Geomorphological implications for facies reconstruction. *Sedimentology*, 50, 187–210. doi: 10.1046/j.1365-3091.2003.00545.x
- Bruckner, H., Vott, A., Schriever, A., Handl, M. (2005). Holocene delta progradation in the eastern Mediterranean – case studies in their historical context. *Mediterranee*, 104, 95–106. Retrieved from <http://mediterranee.revues.org/2342>
- Brunn J.H. (1956). Contribution à l' étude géologique du Pinde septentrional et d' une partie de la Macédoine occidentale. *Annales géol. pays hellén.*, 1re série, t. 7, 358 p., 20 pl.
- Campbell, B. (1996). *Introduction to Remote Sensing*, 352 pp., The Guilford Publications Press, New Yor.
- Caputo, R. (1990). Geological and structural study of the recent and active brittle deformation of the Neogene-Quaternary basins of Thessaly (Central Greece). *Scientific Annals, Aristotle University of Thessaloniki*, 12, pp. 252.
- Caputo, R., Bravard, JP, Helly, B. (1994). The Pliocene-Quaternary tecto-sedimentary evolution of the Larissa Plain (Eastern Thessaly, Greece). *Geodinamica Acta (Paris)*, 219-231.
- Cattaneo A. & Steel R.J., *Transgressive deposits: a review of their variability*, *Earth-Science Reviews*, Volume 62, Issues 3–4, 2003, Pages 187-228, ISSN 0012-8252, [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00134-4](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00134-4).
- Chavez, P.S.J., Sides, S.C., Anderson, J.A. (1991). Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57 (3), 295-303
- Christiansen A.V., Auken E., Sørensen K. (2009). *The transient electromagnetic method, Groundwater Geophysics. A Tool for Hydrogeology*, Reinhard Kirsch (Ed.), 2nd Edition

- Christakopoulos P., Paronis D., Filintas A. (2006). Post-fire restoration of the Mediterranean type forest ecosystems in Greece. Proc. of 21st European Conference EUC2006 for ESRI users, Athens, Greece, 6-8 November 2006, pp.10.
- Christakopoulos, P., Hatzopoulos, J., Kalabokidis, K., Paronis, D., Filintas, A. (2007). Assessment of the response of a Mediterranean-type forest ecosystem to recurrent wildfires and to different restoration practices using Remote Sensing and GIS techniques. Proc. of 6th International Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Forest Fires-Towards an Operational Use of Remote Sensing in Forest Fire Management, September 27-29, Thessaloniki, Greece, pp.213-216.
- Clark P.U., Dyke A.S., Shakun J.D., Carlson A.E., Clark J., Wohlfarth B., Mitrovica J.X., Hostetler S.W., McCabe A.M. (2009). The last Glacial Maximum. *Science* 325,710-714.
- Clough, S.A. and Kneizys, F.X. (1979). Convolution algorithm for the Lorentz function. *Applied Optics*, 18, 2329.
- Clough, S.A., Kneizys, F.X., Rothman, L.S. and Gallery, W.O. (1981). Atmospheric spectral transmittance and radiance: FASCOD1B. *Proceedings of the SPIE* 277, 152.
- Clough, S.A., Iacono, M.J. and Moncet, J.L. (1992). Line-by-line calculation of atmospheric fluxes and cooling rates: Application to water vapor. *J. Geophys. Res.*, 97, 15761-15785.
- Clough, S.A., and Iacono, M.J. (1995). Line-by-line calculations of atmospheric fluxes and cooling rates II: Application to carbon dioxide, ozone, methane, nitrous oxide, and the halocarbons. *J. Geophys. Res.*, 100, 16,519-16,535.
- Clough, S.A., Shephard, M.W., Mlawer, E.J., Delamere, J.S., Iacono, M.J., Cady-Pereira, K., Boukabara S. and Brown, P.D. (2005). Atmospheric radiative transfer modeling: a summary of the AER codes, *J. Quant. Spectrosc. Radiative Trans.*, 91, 233-244.
- Dalezios, N.R., Domenikiotis, C., Loukas, A., Tzortzios S.T. and Kalaitzidis, C. (2001). Cotton yield estimation based on NOAA/AVHRR produced NDVI. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, Volume 26, Issue 3, Pages 247–251, doi:10.1016/S1464-1909(00)00247-1.
- Danielsen J.E., Auken E., Jørgensen F., Søndergaard, V., Sørensen K.I. (2003). The application of the Transient Electromagnetic method in hydrogeological surveys.
- Daskalaki, P., & Voudouris, K. (2008). Groundwater quality of porous aquifers in Greece: a synoptic review. *Environmental Geology*, 54(3), 505-513.
- Datt, B. (1999). "A New Reflectance Index for Remote Sensing of Chlorophyll Content in Higher Plants: Tests Using Eucalyptus Leaves." *Journal of Plant Physiology* 154:30-36.

- Day Jr. J.W. , Boesch D.F., Clairain E.J., Kemp G.P, Laska S.B., Mitsch W.J., Orth K., Mashriqui H., Reed D.J., Shabman L., Simenstad C.A., Streever B.J., Twilley R.R., Watson C.C., Wells J.T., Whigham D.F. (2007). Restoration of the Mississippi Delta: Lessons from Hurricanes Katrina and Rita, *Science* Vol. 315, Issue 5819, pp. 1679-1684, DOI: 10.1126/science.1137030
- DigitalGlobe, Inc. (2009a). WorldView-2.png. Retrieved August 9, 2013, from <http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/styles/satellite/public/WorldView-2.png>.
- DigitalGlobe, Inc. (2009b). World's Largest Sub-Meter High Resolution Satellite Constellation. Longmont, CO 80503, USA.
- DigitalGlobe, Inc. (2013a). DigitalGlobe's core imagery product guide. Retrieved from [http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DigitalGlobe\\_Core\\_Imagery\\_Products\\_Guide.pdf](http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DigitalGlobe_Core_Imagery_Products_Guide.pdf)
- DigitalGlobe, Inc. (2013b). WorldView-2 datasheet. Retrieved from [http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG\\_WorldView2\\_DS\\_PROD.pdf](http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_WorldView2_DS_PROD.pdf)
- DigitalGlobe, Inc. (2013c). Whitepaper - The benefits of eight spectral bands of WorldView-2. Retrieved from [http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG-8SPECTRAL-WP\\_0.pdf](http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG-8SPECTRAL-WP_0.pdf).
- Dokou, Z., & Karatzas, G. P. (2012). Saltwater intrusion estimation in a karstified coastal system using density-dependent modelling and comparison with the sharp-interface approach. *Hydrological Sciences Journal*, 57(5), 985-999.
- Don, N.C., Hang, N.T.M., Araki, H., Yamanishi, H., & Koga, K. (2006). Groundwater resources management under environmental constraints in Shiroishi of Saga plain, Japan. *Environmental geology*, 49(4), 601-609.
- d'Ozouville N., Auken E., Sørensen K.I., Violette S., Marsily G.D., Deffontaines B., Merlen G. (2008). Extensive perched aquifer and structural implications revealed by 3D resistivity mapping in a Galapagos volcano: *Earth Planet Sci Lett* 269:518–522
- Duriez, A., Marlin, C., Dotsika, E., Massault, M., Noret, A., Morel, J.L. (2008). Geochemical evidence of seawater intrusion into a coastal geothermal field of central Greece: example of the Thermopylae system. *Environmental geology*, 54(3), 551-564.
- Faugères, C. (1977). Naissance et développement du relief de l' Olympe (Grèce): une manifestation éclatante de la tectonique récente. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, XIX, 1, p. 7-26.
- Fitterman, D.V., Stewart, M.T. (1986). Transient electromagnetic sounding for groundwater. *Geophysics* 51:995–1005

- El-Bihery, M.A., Lachmar, T.E. (1994). Groundwater quality degradation as a result of overpumping in the Delta Wadi El-Arish Area, Sinai Peninsula Egypt. *Environ. Geol.* 244, 293–305
- Falgàs, E., Ledo, J., Benjumea, B., Queralt, P., Marcuello, A., Teixidó, T.M., Martí, A. (2011). Integrating Hydrogeological and Geophysical Methods for the Characterization of a Deltaic Aquifer System. *Surveys in Geophysics.* 32. 857-873. 10.1007/s10712-011-9126-2.
- Filintas, A., Dioudis, P., Stamatis, G., Hatzopoulos, J. and Karyotis, T. (2008). Environmental assessment of groundwater nitrate pollution from agricultural wastes and fertilizers in central Greece watersheds using remote sensing and GIS, Proc. of 3rd International Conference AQUA 2008 on: Water Science and Technology with emphasis on water & climate, 16-19 October, Athens, Greece, ID-02, pp.10.
- Filintas, A., Dioudis, P. and Prochaska, C. (2010). GIS modeling of the impact of drip irrigation, of water quality and of soil's available water capacity on Zea mays L. biomass yield and its biofuel potential, *Desalination and Water Treatment J.*, vol. 13, (1-3): 303-319.
- Filintas, A. (2013). New dimensions of the telematic society with emphasis on IST, GIS, GPS, Remote Sensing, Electronic Sensors, Software and Telecommunications-Telemanagment. Proc. of the International Conference FaBE2013 – on Food and Biosystems Engineering, TEI of Larissa, 30 May to 02 June 2013-Skiathos Island, Greece.
- Filintas, A., Karantounias, G., Petrotos, K., Dioudis, P., Kalfountzos, D., Kalavrouziotis, I., Hatzopoulos, J. and Koutseris, E. (2013). Yield Variability of Corn Biomass Silage for Fodder and Drip Irrigation Effects, using field measurements and GIS-Remote Sensing Methods. Proc. of the International Conference FaBE2013 – on Food and Biosystems Engineering, TEI of Larissa, 30 May to 02 June 2013-Skiathos Island, Greece.
- Friedman, S.Z. (1980). Mapping urbanized area expansion through digital image processing of Landsat and conventional data. NASA contractor rep.; CR-155271. JPL publ./California Inst. of technology. Jet propulsion lab.
- Gaki-Papanastassiou, K., Cundy, A.-B., & Maroukian, H. (2011). Fluvial versus tectonic controls on the late Holocene geomorphic and sedimentary evolution of a small Mediterranean fan delta system. *The Journal of Geology*, 119(2), 221–234. doi:10.1086/658144
- Galloway, W. (1975). Framework for Describing the Morphologic and Stratigraphic Evolution of Deltaic Depositional Systems, ed Broussard M (Houston Geol Soc, Houston, TX), pp 87–98.

- Ghilardi M., Fouache E., Queyrel F., Syrides G., Vouvalidis K., Kunesch, S., Stiros, S. (2008). Human occupation and geomorphological evolution of the Thessaliniki Plain (Greece) since Mid-Holocene. *Journal of Archaeological Science*, 35, 111–125. doi: 10.1016/j.jas. 2007.02.017
- Gkiougkis I., Tzeveleki T, Pliakas F., Diamantis I., Pechtelidis A. (2011). Geophysical research of groundwater degradation at the eastern Nestos River Delta, NE Greece, *Advances in the Research of Aquatic Environment*, Vol. 1, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, DOI 10.1007/978-3-642-19902-8,
- Godfriaux, I. (1968). Etude geologique de la region de l' Olympe (Greece). *Ann. Geol. Pays Hell.*, 19: 1-271.
- Ghosh, A., & Joshi, P.K. (2013). Assessment of pan-sharpened very high-resolution WorldView-2 images. *International Journal of Remote Sensing*, 34(23), 8336-8359.
- Goldman M., Neubauer F.M. (1994). Groundwater exploration using integrated geophysical technique. *Surv Geophys*, 15:331–361. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands
- Gregory K.J., Starkel L., Barker V.R. (1995). *Global continental palaeohydrology*. Wiley, Chichester
- Guerin, R. (2005). Borehole and surface-based hydrogeophysics. *Hydrogeol. J.* 13, 251–254.
- Haboudane, D., et al. (2004) "Hyperspectral Vegetation Indices and Novel Algorithms for Predicting Green LAI of Crop Canopies: Modeling and Validation in the Context of Precision Agriculture." *Remote Sensing of Environment* 90: 337-352.
- Han, D., Kohfahl, C., Song, X., Xiao, G., & Yang, J. (2011). Geochemical and isotopic evidence for palaeo-seawater intrusion into the south coast aquifer of Laizhou Bay, China. *Applied Geochemistry*, 26(5), 863-883.
- Hapke, B.W. (1981). Bidirectional reflectance spectroscopy – 1. Theory, *J. Geophys. Res.*, 86, 3039-3054.
- Hapke, B.W. (1986). Bidirectional reflectance spectroscopy – 1. The extinction coefficient and opposition effect, *Icarus*, 67, 264-280
- Hatzopoulos, J.N. (2008). *Topographic Mapping, Covering the Wider Field of Geospatial Information Science & Technology (GIS&T)*, ISBN-10: 1581129866, ISBN-13: 9781581129861, Universal Publishers, 740 pages.
- Held, R., Attinger, S., Kinzelbach W. (2005). Homogenization and effective parameters for the Henry problem in heterogeneous formations. *Water Resources Res* 41: W11420. doi:10.1029/2004WR003674

- Hughes, M.L., McDowell, P.F., Marcus, W.A. (2006). Accuracy assessment of georectified aerial photographs: implications for measuring lateral channel movement in a GIS. *Geomorphology*, 74(1), 1-16.
- Ibraheem I.M., El-Qady G.M., ElGalladi A. (2016). Hydrogeophysical and structural investigation using VES and TDEM data: A case study at El-Nubariya–Wadi El-Natrun area, west Nile Delta, Egypt, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, Volume 5, Issue 1, Pages 198-215, ISSN 2090-9977, <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2016.04.004>.
- Jensen, J. (1986a). *Introductory Digital Image Processing*, 317 pp., Simon & Schuster Inc, USA.
- Jensen, J. (1986b). *Introductory Digital Image Processing. A remote sensing perspective*, 379 pp., Prentice-Hall, New Jersey.
- Jensen, J. (2000). *Remote Sensing of the Environment: An Erath Resource Perspective*. Prentice-Hall.
- Kafri, U. and Goldman, M. (2005). The use of the time domain electromagnetic method to delineate saline groundwater in granular and carbonate aquifers and to evaluate their porosity. *J Appl Geophys* 57:167–178
- Kallioras, A., Pliakas, F., Diamantis, I. (2006). Conceptual model of a coastal aquifer system in northern Greece and assessment of saline vulnerability due to seawater intrusion conditions. *Environmental geology*, 51(3), 349-361
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R.T., Anderson, M., Imhoff, M.L., Gutman, G.G., Panov, N., Goldberg, A. (2010). Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations. *J. Climate*, 23, 618–633. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2009JCLI2900.1>.
- Karymbalis E., Gaki-Papanastassiou K., Tsanakas K., Ferentinou M. (2016). Geomorphology of the Pinios River delta, Central Greece, *Journal of Maps*, 12:sup1, 12-21, DOI: 10.1080/17445647.2016.1153356
- Kerle N., Janssen L.L.F., Huurneman G.C. (2001). *Principles of Remote Sensing*, (ITC Educational Textbook Series; 2) Third edition, ISBN 90–6164–227–2 ITC, Enschede, The Netherlands, ISSN 1567–5777 ITC Educational Textbook Series
- Kirk, J.T.O. (2010). *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*, Third edit.
- Khalil, A., Mansour, K., Rabeh, T., Basheer, A., Zaher, M.A., Ali, K. (2014). Geophysical Evaluation for Evidence of Recharging the Pleistocene Aquifer at El-Nubariya Area, West Nile Delta, Egypt. *International Journal of Geosciences*, 5, 324-340. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2014.53032>

- Konecny G. (2003). *Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems.*, Taylor and Francis Publications, London and New York.
- Kopsiaftis, G., Mantoglou, A., Giannouloupoulos, P. (2009). Variable density coastal aquifer models with application to an aquifer on Thira Island. *Desalination*, 237(1), 65-80.
- Koutsios, A., Kontopoulos, N., Kalisperi, D., Soupios, P., Avramidis, P. (2010). *Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 12th International Congress, Patras.*
- Kouzana, L., Mammou, A.B., & Felfoul, M.S. (2009). Seawater intrusion and associated processes: case of the Korba aquifer (Cap-Bon, Tunisia). *Comptes Rendus Geoscience*, 341(1), 21-35.
- Krivochieva, S., Chouteau, M. (2003). Integrating TDEM and MT methods for characterization and delineation of the Santa Catarina aquifer (Chalco Sub-Basin, Mexico). *J Appl Geophys* 52(1):23–43
- Lazogiannis, K., Paraskevopoulou, V., Poulos, S., Teou, X., Kotsopoulos, S., Farsirotou, E., Ghionis, G., Matiatos, I., Panagopoulos, A., Sifnioti, D.E., Giannouli, D.I., Tsanakas, K., Dassenakis, E., Drakopoulos, P.G., Botsou, F., Alexiou, I., Alexopoulos, J.D. (2014). Seasonal variation of water discharge and suspended sediment concentration of the Pinios River (Thessaly) during the hydrological year 2012/13. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Protection and Restoration of the Environment*, pp. 325–331.
- Lambeck, K. (1995). Late Pleistocene and Holocene sea-level change in Greece and south-western Turkey: a separation of eustatic, isostatic and tectonic contributions. *Geophysics Journal* 122, 1022-1044.
- Lambeck, K. (2002). Sea level change from mid Holocene to Recent time: an Australian example with global implications. In: *Ice Sheets, Sea Level and the Dynamic Earth, Geodynamics Series*, vol. 29. American Geophysical Union, Washington, DC, 33-50.
- Lambeck, K., Purcell, A. (2005). Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: Model predictions for tectonically stable areas. *Quaternary Science Reviews* 24, 1969-1988.
- Lambeck, K., Rouby, H., Purcell, A., Sun, Y., Sambridge, M. (2014). Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, 15296-15303.
- Lambrakis, N., & Kallergis, G. (2001). Reaction of subsurface coastal aquifers to climate and land use changes in Greece: modelling of groundwater refreshing patterns under natural recharge conditions. *Journal of Hydrology*, 245(1), 19-31.



- Liang, M., C. Van Dyk, Passalacqua P. (2016). Quantifying the patterns and dynamics of river deltas under conditions of steady forcing and relative sea level rise, *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 121, 465–496, doi:10.1002/2015JF003653.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W., Chipman J. (2007). *Remote Sensing and Image Interpretation*, ISBN: 978-0-470-46555-4, Wiley, 6th edition, pp. 804.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W., Chipman J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*, ISBN-10: 111834328X, ISBN-13: 978-1118343289, Wiley, 7 edition, pp. 768.
- Lin, J., Snodsmith, J.B., Zheng, C., Wu, J. (2009). A modeling study of seawater intrusion in Alabama Gulf Coast, USA. *Environmental geology*, 57(1), 119-130.
- Lips, A.L.W., White, S.H., Wijbrans, J.R. (1998).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  laserprobe direct dating of discrete deformational events: a continuous record of early Alpine tectonics in the Pelagonian Zone, NW Aegean area, Greece. *Tectonophysics*, 298(1-3): 133-153.
- Louis F.I., Karantonis, A.G., Voulgaris N., Louis F. (2004). The contribution of geophysical methods in the determination of aquifer parameters: the case of Mornos River delta, Greece.
- Mather, P., (1994). *Computer processing of remotely-sensed images: An introduction*, 352 pp., Wiley & Sons, G. Britain.
- Matiatos, I., Paraskevopoulou, V., Dassenakis, M., Alexopoulos, J.D., Panagopoulos, A., Lazogiannis, K., Poulos, S., Arampatzis, G., Ghionis, G., Kotsopoulos, S., Botsou, F., Teou, X., Sakellari, A., Diamantis V., (2014). Groundwater flow regime and quality assessment of the alluvial aquifer in the deltaic environment of river Pinios (Thessaly). In: *Proceedings of the 10th International Hydrogeological Congress of Greece*, pp. 437–446.
- Matiatos, I., Paraskevopoulou, V., Lazogiannis, K., Botsou F., Dassenakis, M., Ghionis, G., Alexopoulos, J.D., Poulos, S. (2018). Surface–ground water interactions and hydrogeochemical evolution in a fluvio-deltaic setting: The case study of the Pinios River delta, *Journal of Hydrology*, Volume 561, 2018, Pages 236-249, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.067>.
- Marchisio, G., Pacifici, F., Padwick, C. (2010). On the relative predictive value of the new spectral bands in the WorldView-2 sensor. In *IGARSS* (pp. 2723-2726).
- Maroukian, H., & Karymbalis, E. (2004). Geomorphic evolution of the fan delta of the Evinos river in western Greece and human impacts in the last 150 years. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 48(2), 201–217. doi:0372-8854/04/ 0201
- Martínez J., Benavente J., García-Aróstegui J.L., Hidalgo M.C., Rey J. (2009). Contribution of electrical resistivity tomography to the study of detrital aquifers affected by seawater

intrusion–extrusion effects: The river Vélez delta (Vélez-Málaga, southern Spain). *Engineering Geology - ENG GEOL.* 108. 161-168. 10.1016/j.enggeo.2009.07.004

- Matthew M.W., Adler-Golden S.M., Berk A., Richtsmeier S.C., Levine R.Y., Bernstein L.S., Acharya P.K., Anderson G.P., Felde G.W., Hoke M.L., Ratkowski A.J., K. Burke H.K., Kaiser R.D., Miller D.P. (2000). "Status of atmospheric correction using a MODTRAN4-based algorithm", *Proc. SPIE 4049, Algorithms for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VI*, <https://doi.org/10.1117/12.410341>
- McNeill, J.D. (1990). Use of electromagnetic methods for groundwater studies. In: Ward SH (ed) *Geotechnical and environmental geophysics*, vol 2. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, pp 191–218
- Meju M.A., Gallardo L., Mohamed A.K. (2003). Evidence for correlation of electrical resistivity and seismic velocity in heterogeneous near-surface materials. *Geophys Res Lett* 30(7):1373. doi:10.1029/2002 GL016048
- Mills T., Hoekstra P., Blohm M., Evans L. (1988). Time-domain electromagnetic soundings for mapping sea-water intrusion in Monterey County, California. *Groundwater* 26:771–782
- Mota R., Monteiro dos Santos F. (2006). 2D sections of porosity and water saturation percent from combined resistivity and seismic surveys for hydrogeologic studies. *Lead Edge* 25:735–737
- Nabighian M. and Macnae J., (1993). *Time Domain Electromagnetic Prospecting Methods*, (*Electromagnetic Methods in Applied Geophysics* 427-479
- Paola, C., Twilley R., Edmonds D., Kim W., Mohrig D., Parker G., Viparelli E., Voller V. (2011). Natural processes in delta restoration: Application to the Mississippi Delta, *Ann. Rev. Mar. Sci.*, 3, 67–91, doi:10.1146/annurev-marine-120709-142856.
- Papadopoulos T.D., Alexopoulos J.D., Dilalos S., Pippidis M.J (2008). Resistivity and VLF measurements for spring mechanism determination at NE Chios Isl. 8th International Hydrogeological Congress of Greece & 3rd MEM Workshop on fissured rocks *Hydrology*, I, 421-430.
- Papadopoulos, C. (2009). Comprehensive assessment of coastal erosion in the regions of north Amvrakikos Gulf, Acheloos delta, Nestos delta, Kos, Limnos, and Kitros (Diploma Thesis). Technical University of Crete, Chania, Greece.
- 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, pp. 551-561.

- Papatheodorou, G., Lambrakis, N., Panagopoulos, G. (2007). Application of multivariate statistical procedures to the hydrochemical study of a coastal aquifer: an example from Crete, Greece. *Hydrological Processes*, 21(11), 1482-1495.
- Parcharidis, I., Lekkas, E., Vassilakis, E. (2000). SIR-C/X Space Shuttle Images Contribution in Assessment of Flood Risk: The Case of Athens Basin. *IEEE IGARSS*, Vol. I, 328-330, Hawaii.
- Pedersen L.B., Engels M. (2005). Routine 2D inversion of magnetotelluric data using the determinant of the impedance tensor. *Geophysics*. doi:10.1190/1.1897032
- Pedersen L.B., Bastani M., Dynesius L. (2005). Groundwater exploration using combined controlled-source and radiomagnetotelluric techniques. *Geophysics* 70: G8–G15. doi:10.1190/1.1852774
- Petalas, C.P., & Diamantis, I.B. (1999). Origin and distribution of saline groundwaters in the upper Miocene aquifer system, coastal Rhodope area, northeastern Greece. *Hydrogeology Journal*, 7(3), 305-316.
- Petalas, C., Pisinaras, V., Gemitzi, A., Tsihrintzis, V. A., & Ouzounis, K. (2009). Current conditions of saltwater intrusion in the coastal Rhodope aquifer system, northeastern Greece. *Desalination*, 237(1), 22-41.
- Piper, D.J.W., & Panagos, A.G. (1981). Growth patterns of the Acheloos and Evinos deltas, Greece. *Sedimentary Geology*, 28, 111–132. doi:10.1016/0037-0738(81)90060-9
- Piper, D.J.W., Kontopoulos, N., Anagnostou, C., Chronis, G., Panagos, A.G. (1990). Modern fan deltas in the western Gulf of Corinth, Greece. *Geo-Marine Letters*, 10 (1), 5–12. doi:10.1007/BF02431016
- Pisinaras, V., Ilias, A., Paraskevas, C., Poulos, S., Matiatos, I., Alexopoulos, J.D., Kotsopoulos, S., Alexiou, I., Lazogiannis, K., Arampatzis, G., Kalogianni, H., Tsekoura, D., Panagopoulos, A. (2014). Temporal evolution and assessment of groundwater quality in coastal agricultural areas. The case of Pinios River delta. In: *Proceedings of the 10th International Hydrogeological Congress of Greece*, pp. 643–652.
- Poscolieri, M., Soukis, K., Parcharidis, I., Vassilakis, E. (2005). Correlating geomorphometric units derived by isodata classification of a multi-gradient relief data set with geology: Cephalonia island application. *Proc. 14 th MAEG*, Torino.
- Porebski S.J., Steel R.L. (2006). Deltas and sea-level change. *J Sediment Res* 76(3):390–403
- Poulos, S.E., Collins, M.B., Evans, G. (1996). Water-sediment fluxes of Greek rivers, southeastern Alpine Europe: annual yields, seasonal variability, delta formation and human impact: *Z.Gomorph* 40, p.243-261

- Poulos, S., & Chronis, G.T. (1997). The importance of the river systems in the evolution of the Greek coastline. *Bulletin de l'Institut Oceanographique*, 18, 75–96.
- Poulos, S., Chronis, G., Collins, M., & Lykousis, V. (2000). Thermaikos Gulf coastal system, NW Aegean Sea: An overview of water/sediment fluxes in relation to airland-ocean interactions and human activities. *Journal of Marine Systems*, 25, 47–76.
- Psilovikos, A., Vavliakis, E., & Laggalis, T. (1988). Natural and anthropogenic processes of the recent evolution of the delta of R. Nestos. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 20, 313–324. (Greek).
- Pulido-Bosch, A., Tahiri, A., Vallejos, A. (1999). Hydrogeochemical characteristics of processes in the Temara aquifer in northwestern Morocco. *Water, air, and soil pollution*, 114(3-4), 323-337.
- Qi, J., A. Chehbouni, A. Huete, Y. Kerr, and S. Sorooshian (1994). "A Modified Soil Adjusted Vegetation Index." *Remote Sensing of Environment* 48: 119-126.
- Reilly, T.E., Goodman, A.S. (1985). Quantitative analysis of saltwater—freshwater relationships in groundwater systems—a historical perspective. *J Hydrol* 80:125–160
- Rothman, L.S., Gamache, R.R., Tipping, R.H., Rinsland, C.P., Smith, M.A.H., Chris Benner, D., Malathy Devi, V., Flaud, J.-M., Camy-Peyret, C., Perrin, A., Goldman, A., Massie, S.T., Brown, L.R. and Toth, R.A. (1992). The HITRAN molecular database: editions of 1991 and 1992, *JQSRT*, 48, 469-507.
- Rothman, L.S., Rinsland, C.P., Goldman, A., Massie, S.T., Edwards, D.P., Flaud, J.-M., Perrin, A., Dana, V., Mandin, J.-Y., Schroeder, J., McCann, A., Gamache, R.R., Wattson, R.B., Yoshino, K., Chance, K., Jucks, K.W., Brown, L.R., Nemtchinov, V., Varanasi, P. (1998). The HITRAN Molecular Spectroscopic Database and HAWKS (HITRAN Atmospheric Workstation): 1996 Edition, *JQSRT* 60, 665-710.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA: 309-317.
- (1974). Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA, 1-137.
- Rubin, Y., Hubbard, S. (2005). *Hydrogeophysics*. *Water Sci Technol*, vol 50, 521 p (Springer)
- Sabins, F.F. (1978). *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, pp 426 (San Francisco: W. H. Freeman)
- Sabins, F. (1997). *Remote sensing: Principles and Interpretation*, 494 pp., Freeman & Co, New York.
- Sabins, F. (2007). *Remote Sensing: Principles and Interpretation*. ISBN-13: 978-1577665076 ISBN-10: 1577665074, Waveland Pr Inc, 3 edition (April 5, 2007), pp. 512.

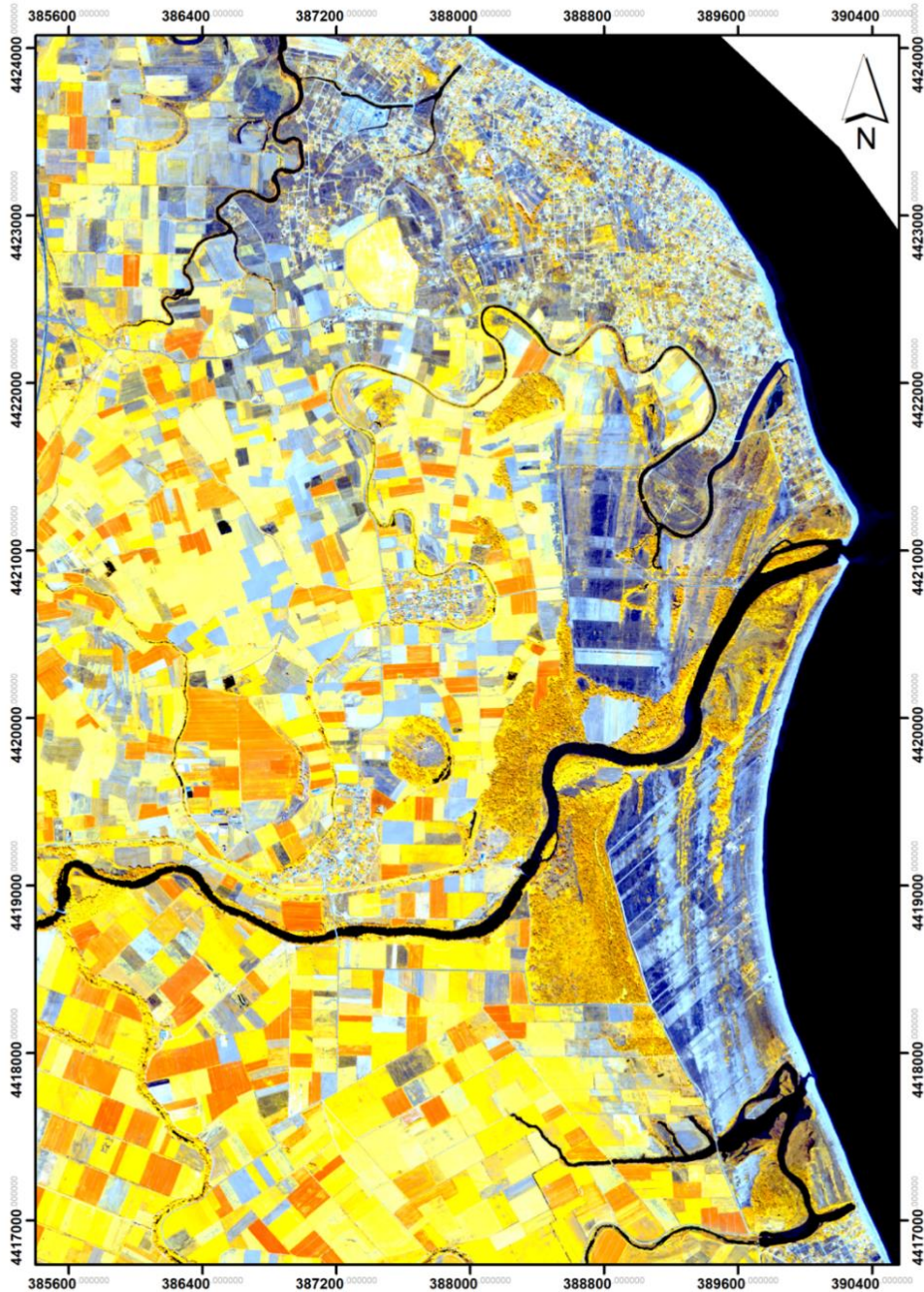
- Samsudin A.R., Haryono A., Hamzah U., Rafek A.G. (2008). Salinity mapping of coastal groundwater aquifers using hydrogeochemical and geophysical methods: a case study from north Kelantan, Malaysia. *Environ Geol* (2008) 55:1737–1743 DOI 10.1007/s00254-007-1124-9
- Scanvic, J. Y. (1997). *Aerospatial remote sensing in geology*. CRC Press.
- Schermer, E.R. (1990). Mechanisms of blueschist creation and preservation in an A-type subduction zone, Mount Olympos region, Greece. *Geology*, 18(11): 1130-1133.
- Schermer, E.R. (1993). Geometry and kinematics of continental basement deformation during the Alpine orogeny, Mt. Olympos region, Greece. *Journal of Structural Geology*, 15(3-5): 571-591.
- Schermer, E.R., Lux, D.R., Burchfiel, B.C. (1990). Temperature-time history of subducted continental crust, Mount Olympos Region, Greece. *Tectonics*, 9(5): 1165-1195.
- Schwinn, W., Tezkan, B. (1997). 1D joint inversion of radiomagnetotelluric (RMT) and transient electromagnetic (TEM) data; an application for groundwater prospection in Denmark. 3rd EEGS, Aarhus
- Sefelnasr, A., & Sherif, M. (2014). Impacts of seawater rise on seawater intrusion in the Nile delta aquifer, Egypt. *Groundwater*, 52(2), 264-276.
- Segal, D. (1982). "Theoretical Basis for Differentiation of Ferric-Iron Bearing Minerals, Using Landsat MSS Data." *Proceedings of Symposium for Remote Sensing of Environment, 2nd Thematic Conference on Remote Sensing for Exploratory Geology, Fort Worth, TX: pp. 949-951*
- Serway R.A. (1983). *PHYSICS For Scientists & Engineers, 3rd Edition*
- Shaaban H., El-Qady G., Al-Sayed E., Ghazala H., Taha A.I. (2016). Shallow groundwater investigation using time-domain electromagnetic (TEM) method at Itay El-Baroud, Nile Delta, Egypt, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, Volume 5, Issue 2, Pages 323-333, ISSN 2090-9977, <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2016.05.004>.
- Sherif, M., Kacimov, A., Javadi, A., Ebraheem, A.A. (2012). Modeling groundwater flow and seawater intrusion in the coastal aquifer of Wadi Ham, UAE. *Water resources management*, 26(3), 751-774.
- Sibson, R. (1981). A brief description of natural neighbor interpolation, in V. Barnett, ed., *Interpreting Multivariate Data: John Wiley & Sons: 21–36*
- Singh, A. (2013). Simulation and optimization modeling for the management of groundwater resources. I: Distinct applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(4).

- Song, S. H., Lee, J. Y., Park, N. (2007). Use of vertical electrical soundings to delineate seawater intrusion in a coastal area of Byunsan, Korea. *Environmental Geology*, 52(6), 1207-1219.
- Spies B.R. and Frischknecht F.C. (1991). Electromagnetic sounding. In: Nabighian MN (ed) *Electromagnetic methods in applied geophysics*, vol. 2. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, pp 398–402
- Stamatis, G., Voudouris, K., Karefilakis, F. (2001). Groundwater pollution by heavy metals in historical mining area of Lavrio, Attica, Greece. *Water, Air, and Soil Pollution*, 128(1-2), 61-83.
- Stamatis G., Parpodis K., Filintas A., Zagana E. (2011). Groundwater quality, nitrate pollution and irrigation environmental management in the Neogene sediments of an agricultural region in central Thessaly (Greece). *Environmental Earth Sciences J., Environ Earth Sci* (64): 1081–1105.
- Stewart, M.T. (1982). Evaluation of electromagnetic methods for rapid mapping of saltwater interfaces in coastal aquifers. *Ground Water* 20:583–545
- Stiros S.C., Pirazzoli P.A., Pomoni-Papaioannou F., Laborel J., Laborel F., Arnold M. (1994). Late quaternary uplift of the Olympus – Pelion range coasts (Macedonia- Thessaly, Greece). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, XXX/1, 325-330.
- Stiros, S., Triantafillides, P., Chasapis, A. (2004). Geodetic evidence for active uplift of the Olympus Mt, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, XXXVI, 1697-1705.
- Stournaras, G., Migiros, G., Stamatis, G., Evelpidou, N., Botsialas, K., Antoniou B. and Vassilakis, E. (2007). The fractured rocks in Hellas. In *GROUNDWATER IN FRACTURED ROCKS*, Eds. J. Krasny and J. Sharp, 133-149: Taylor & Francis.
- Syvitski, J., Kettner, A., Overeem, I. et al. (2009). Sinking deltas due to human activities. *Nature Geosci* 2, 681–686, <https://doi.org/10.1038/ngeo629>
- Syvitski, J.P.M. and Saito Y. (2007). Morphodynamics of deltas under the influence of humans, *Global Planet. Change*, 57, 261–282.
- Torres-Rondon L., Carrière S.D., Chalikakis K., Valles V. (2013). An integrative geological and geophysical approach to characterize a superficial deltaic aquifer in the Camargue plain, France, *Comptes Rendus Geoscience*, Volume 345, Issues 5–6, Pages 241-250, ISSN 1631-0713, <https://doi.org/10.1016/j.crte.2013.07.002>.
- Tran, L.T., Larsen, F., Pham, N.Q., Christiansen, A.V., Tran, N., Vu, H.V., Tran, L.V., Hoang, H.V., Hinsby, K. (2012). Origin and extent of fresh groundwater, salty paleowaters and recent saltwater intrusions in Red River flood plain aquifers, Vietnam. *Hydrogeology Journal*. 20. 1295-1313. [10.1007/s10040-012-0874-y](https://doi.org/10.1007/s10040-012-0874-y).

- Unsworth MJ, Lu X, Watts M.D. (2000). AMT exploration at Sellafield: characterization of a potential radioactive waste disposal site. *Geophysics* 65:1070–1079
- Updike, T., & Comp, C. (2010). Radiometric use of WorldView-2 imagery. Technical Note, 1-17.
- Vafidis, A., Soupios, P., Economou, N., Hamdan, H., Andronikidis, N., Kritikakis, G., ..., Schafmeister, M. (2014). Seawater intrusion imaging at Tybaki, Crete, using geophysical data and joint inversion of electrical and seismic data. *first break*, 32.
- VanKoningsveld M., Mulder J.P.M., Stive M.J.F., VanDerValk L., VanDerWeck A.W. (2008). *J. Coast. Res.* 242, 367–379.
- Vassilakis E. (2008). *Technics on Remote Sensing in Geo-applications*, National Kapodistrian University of Athens.
- Vott, A., Schriever, A., Handl, M., & Brückner, H. (2007). Holocene palaeogeographies of the central Acheloos River delta (NW Greece) in the vicinity of the ancient seaport Oiniadai. *Geodinamica Acta*, 20(4), 241–256. doi:10.3166/ga.20.241-256
- Wald, L., Ranchin, T., Mangolini, M. (1997) Fusion of Satellite Images of Different Spatial Resolutions: Assessing the Quality of Resulting Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63(6):691–699.
- Werner, A.D. (2010). A review of seawater intrusion and its management in Australia. *Hydrogeology journal*, 18(1), 281-285.
- Wolf, A. (2010). Using WorldView 2 Vis-NIR MSI Imagery to Support Land Mapping and Feature Extraction Using Normalized Difference Index Ratios. Unpublished report, Longmont, CO: DigitalGlobe.
- Woodroffe C.D., Nicholls R.J., Saito Y., Chen Z., Goodbred S.L. (2006). in *Global Change and Integrated Coastal Management*, N. Harvey, Ed. (Springer Science and Business Media, Dordrecht, Netherlands), pp. 277–314.
- Wright L.D, Coleman J.M. (1973). Variations in morphology of major river deltas as functions of ocean wave and river discharge regimes, *AAPG Bull* 57:370–398.
- Wright L.D., Syvitski J.P.M., Nichols C.R. (2019) Sea Level Rise: Recent Trends and Future Projections. In: Wright L., Nichols C. (eds) *Tomorrow's Coasts: Complex and Impermanent*. Coastal Research Library, vol 27. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75453-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75453-6_3)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

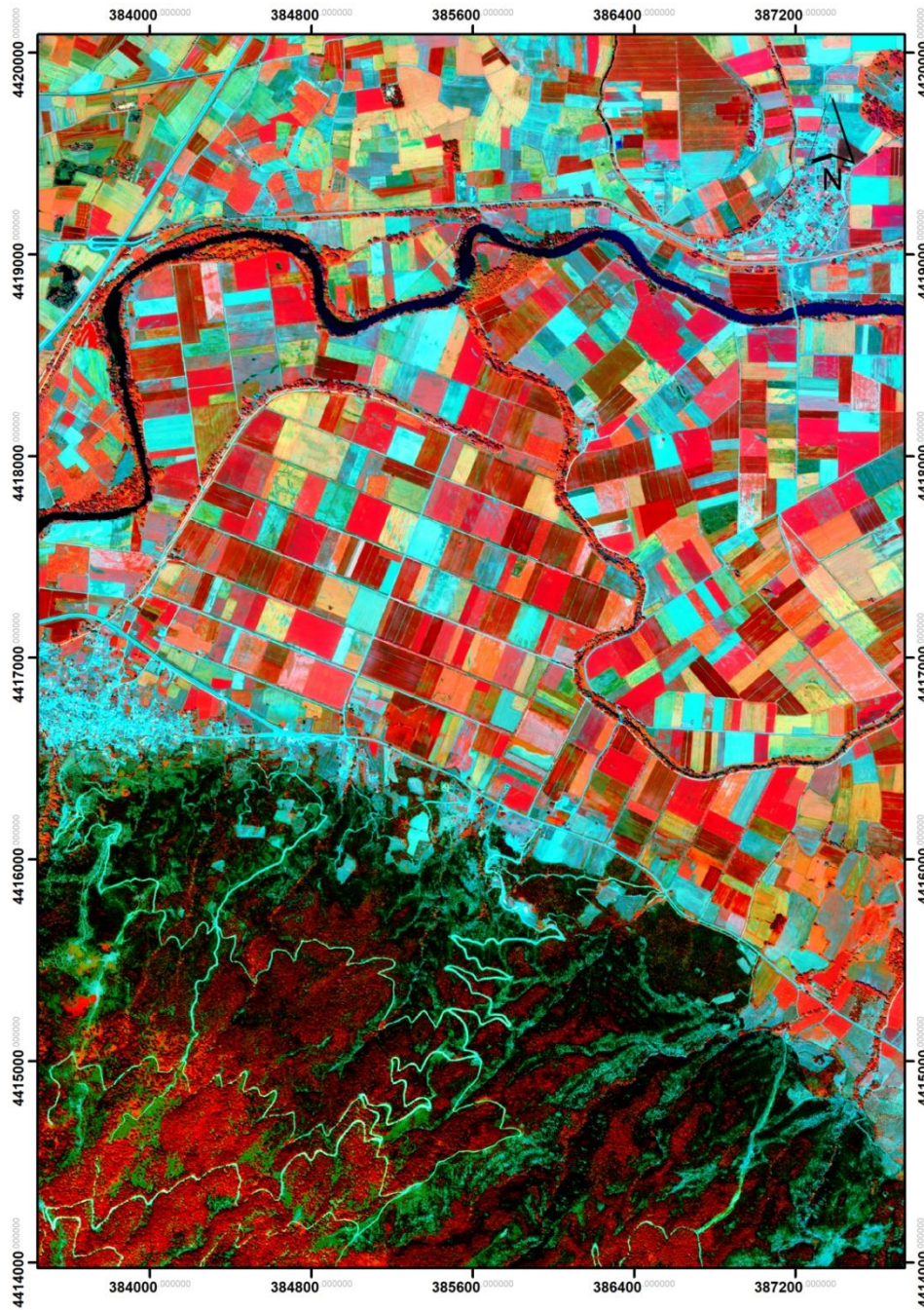
RGB composition of WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image (7-6-5)



Συνδυασμός φασματικών καναλιών που καλύπτει την περιοχή του φάσματος όπου η χλωροφύλλη δεν απορροφάται αλλά ανακλάται. Απεικονίζει μερικά από τα χαρακτηριστικά που εκπροσωπούνται στους δείκτες βλάστησης. Τα κωνοφόρα εμφανίζονται σε καφέ-πράσινες αποχρώσεις, ενώ η χλόη και οι καλλιέργειες εμφανίζονται σε κίτρινες και πορτοκαλί αποχρώσεις. Τα άγονη εδάφη εμφανίζονται σε γκριζωπές αποχρώσεις.

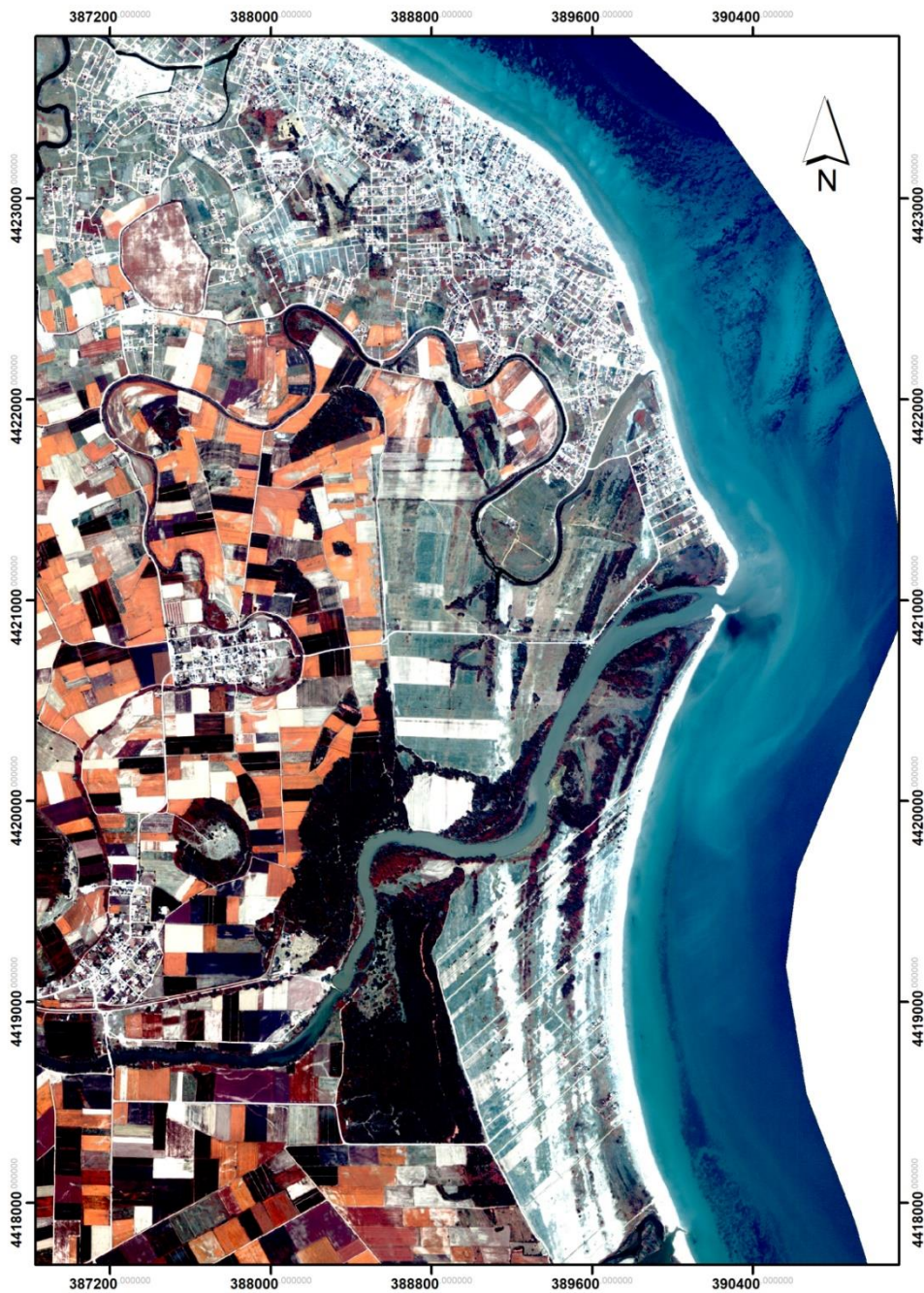


## RGB composition of WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image (8-4-1)



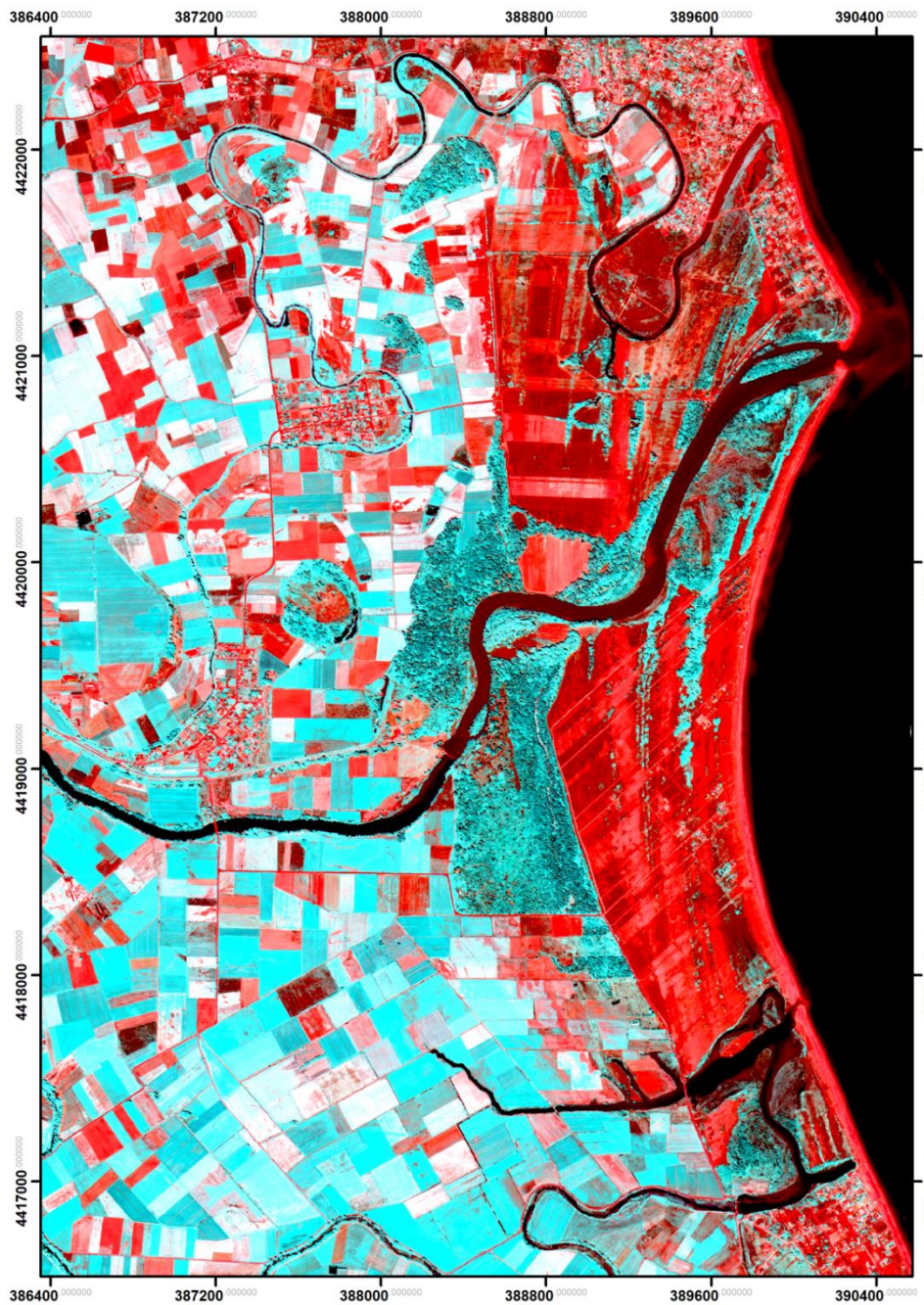
Συνδυασμός φασματικών καναλιών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ταχεία αναγνώριση αλλαγών στην κάλυψη και τις χρήσεις γης. Η βλάστηση εμφανίζεται κόκκινη, οι δομημένες περιοχές εμφανίζονται μπλε, με πολλές διάφορες αποχρώσεις χρωμάτων να αντιπροσωπεύουν μεταβολές στην βλάστηση και τις δομές.

## RGB composition of WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image (3-2-1)



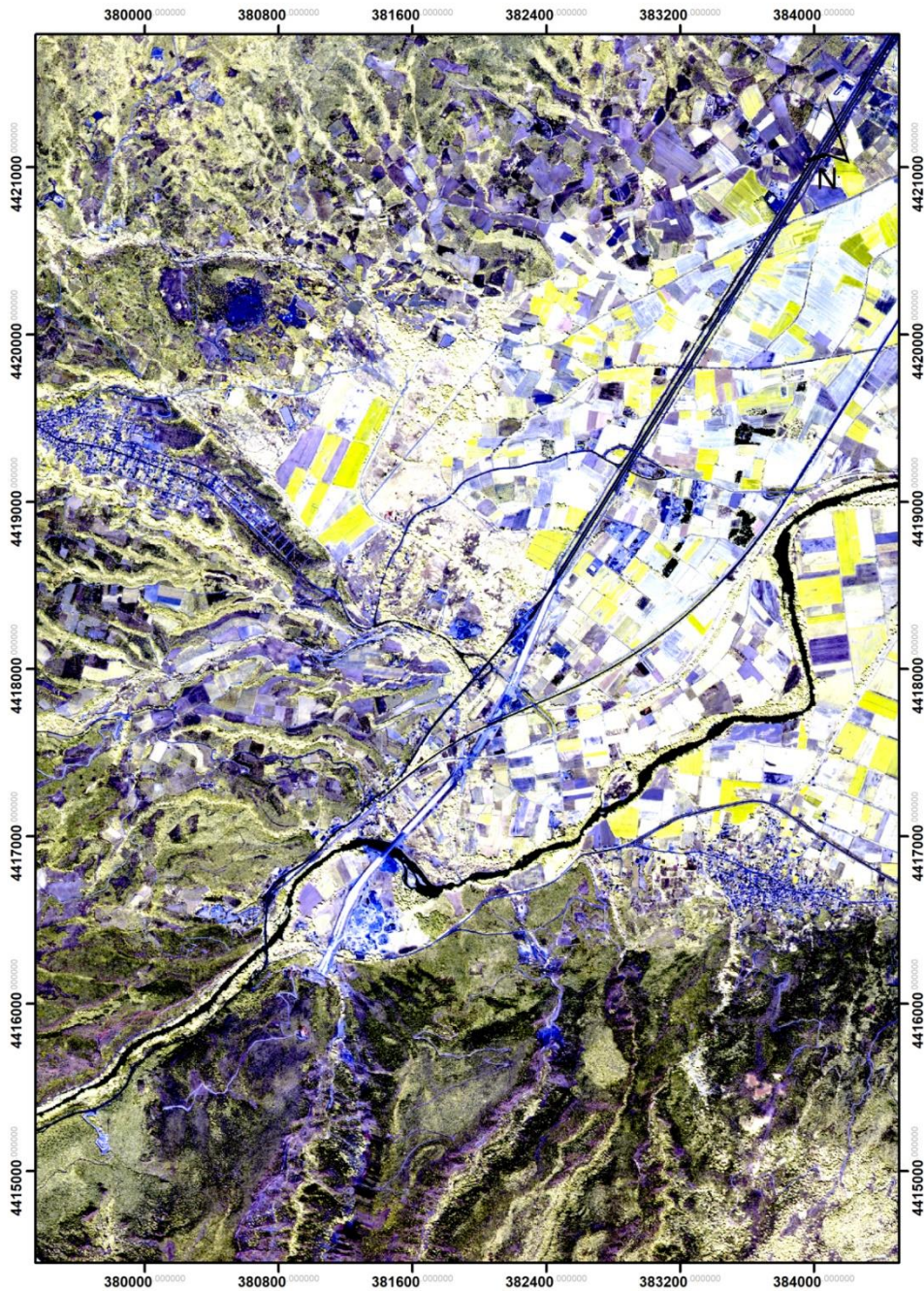
Αυτός ο συνδυασμός φασματικών καναλιών παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διείσδυση στο νερό και φαίνεται να παρέχει πολύ καλές βαθυμετρικές πληροφορίες.

## RGB composition of WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image (4-8-7)



Συνδυασμός φασματικών καναλιών με τον οποίο αναδεικνύεται η παρουσία ιζήματος μέσα στο θαλασσινό όσο και στο γλυκό νερό. Παρατηρείται αλλαγή της απόχρωσης του Πηνειού ποταμού περίπου το κέντρο της εικόνας.

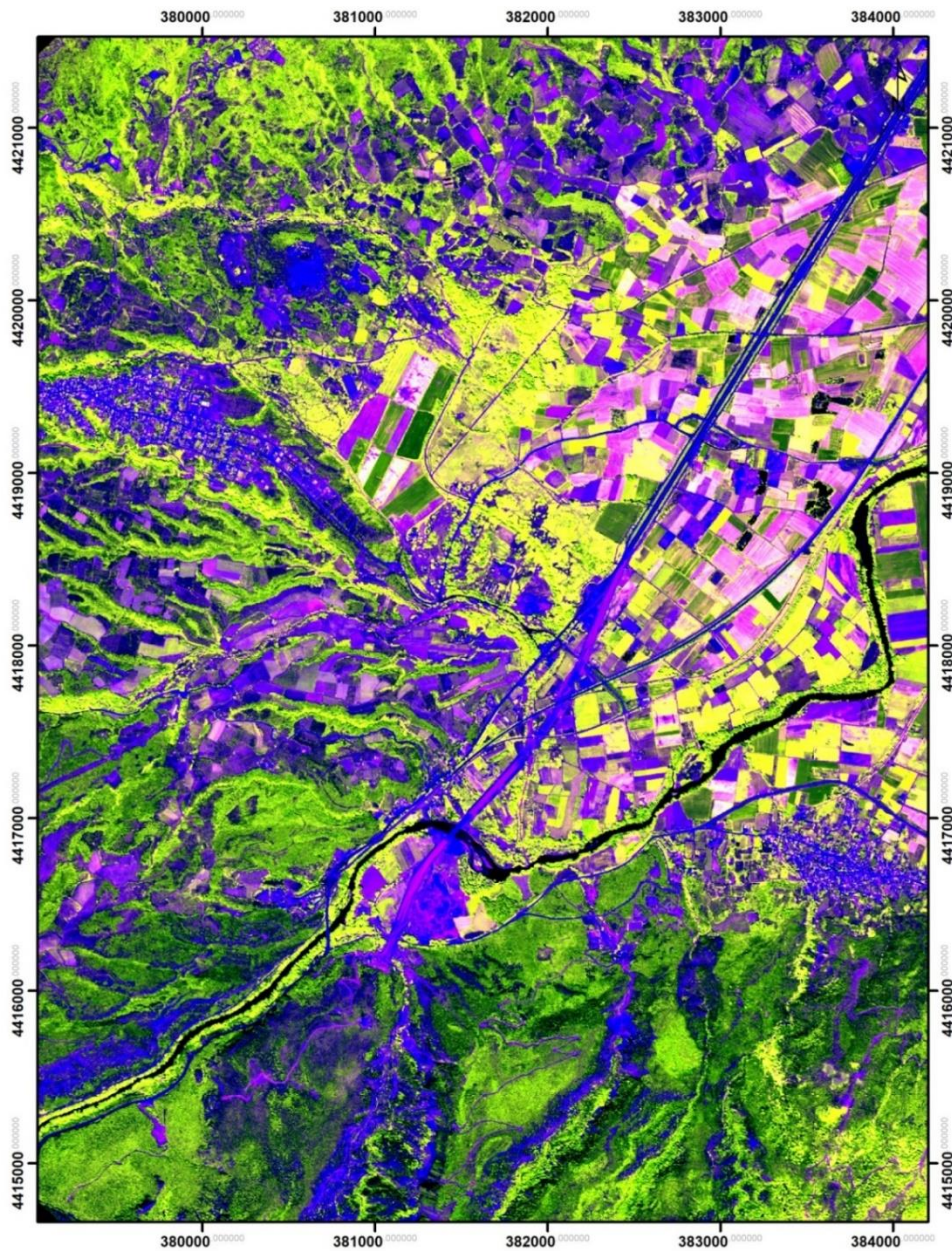
## RGB composition of WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image (8-7-6)



Αυτός ο συνδυασμός φασματικών καναλιών επικεντρώνεται στο κοντινό υπέρυθρο και τονίζει τη βλάστηση σε ανοιχτόχρωμο κίτρινο. Υψηλός βαθμός αντίθεσης μεταξύ βλάστησης και ύδατος. Έχει σκιαγραφηθεί σε μεγάλο βαθμό το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής.

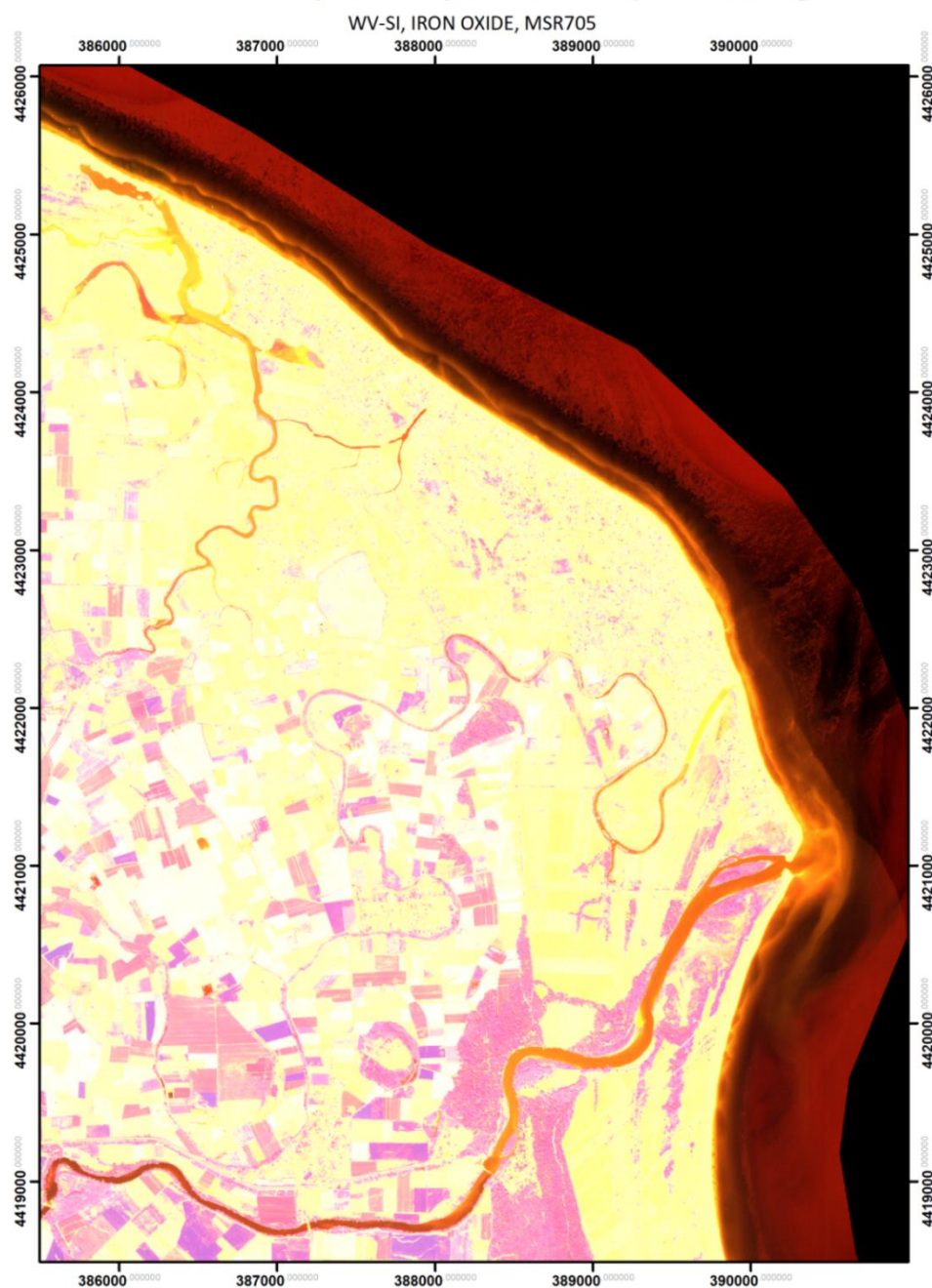
## RGB composition with Spectral Indices derived from WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image

MSR705, R31,WV-II



Με αυτόν τον συνδυασμό φασματικών δεικτών έχει σκιαγραφηθεί σε μεγάλο βαθμό το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής λόγω του διαφορετικού είδους βλάστησης που αναπτύσσεται στις παρόχθιες περιοχές. Επίσης παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά στις αποχρώσεις που εμφανίζονται στις καλλιεργημένες εκτάσεις.

## RGB composition with Spectral Indices derived from WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image



Αυτός ο συνδυασμός φασματικών δεικτών παρουσιάζει μεγάλη διείσδυση στο νερό και φαίνεται να παρέχει πολύ καλές βαθυμετρικές πληροφορίες.

## RGB composition with Spectral Indices derived from WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image

WV-II, WV-BI, WV-WI



Με αυτόν τον συνδυασμό φασματικών δεικτών επιτυγχάνεται μεγάλη διαφοροποίηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων από τις άγονες, βραχώδεις και αμμώδεις περιοχές.

## RGB composition with Spectral Indices derived from WV-2 Ortho-pan-sharpened multispectral image



Συνδυασμός φασματικών δεικτών που συνεισφέρει στην γρήγορη αναγνώριση αλλαγών στο είδος της βλάστησης λόγω του μεγάλου πλήθους των αποχρώσεων και στην ανάδειξη ύδατος και μεγάλου ποσοστού υγρασίας.