



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ



ΙΣΜΗΝΗ Τ. ΛΥΠΗΡΙΔΟΥ

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL-2

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





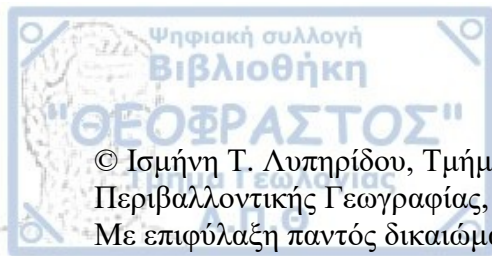
ΙΣΜΗΝΗ Τ. ΛΥΠΗΡΙΔΟΥ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5445

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
SENTINEL-2

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας,
Εργαστήριο Φυσικής Γεωγραφίας

Επιβλέπων

ΑΛΜΠΑΝΑΚΗΣ Σ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



© Ισμήνη Τ. Λυπηρίδου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

METABOLH TOY ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
SENTINEL-2 – Διπλωματική Εργασία

© Ismini T. Lypiridou, School of Geology, Dept. of Physical and Environmental Geography, 2020

All rights reserved.

EVOLUTION OF THE AXIOS RIVER DELTA USING SENTINEL-2 IMAGES –
Bachelor Thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 Σκοπός της εργασίας	7
1.2 Γεωγραφική τοποθέτηση περιοχής και οικολογική σημασία	7
1.3 Γεωλογικά στοιχεία	9
1.4 Ιστορικά στοιχεία	10
1.5 Κλιματικά στοιχεία	12
1.6 Δέλτα	12
1.6.1 Ορισμός	12
1.6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό τους	13
1.6.3 Μέρη ενός δέλτα	14
1.6.4 Τύποι δέλτα	15
1.7 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών	20
1.8 Δείκτης NDWI	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ	22
2.1 Sentinel-2	22
2.2 Sentinel Application Platform	24
2.3 ArcGIS	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	33
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	35
5.1 Ιστότοποι	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	37



Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κ. Αλμπανάκη Κωνσταντίνο για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Κολιαδήμου Καλλιόπη που με βοήθησε στην μορφοποίηση και στο τεχνικό κομμάτι της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του Φορέα Διαχείρισης Προστατευόμενων Περιοχών Θερμαϊκού Κόλπου για τη συνεργασία τους κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης σε αυτόν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

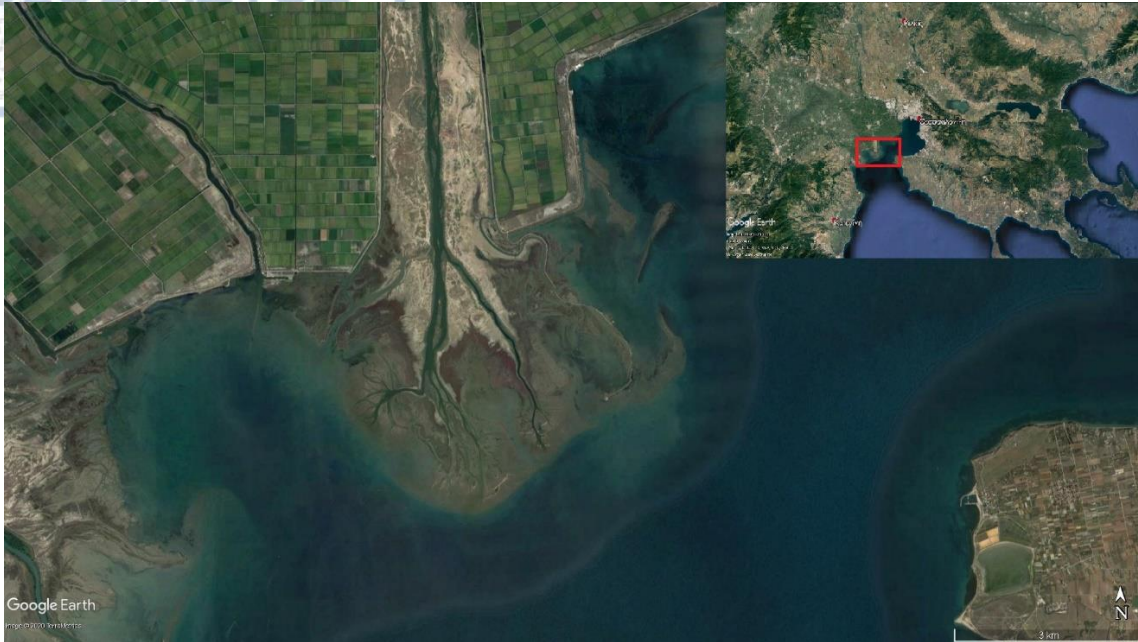
1.1 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η αποτύπωση της ακτογραμμής του δέλτα του Αξιού ποταμού, μέσω δορυφορικών εικόνων Sentinel-2, ο υπολογισμός της μεταβολής της κατά την περίοδο 2016-2019, με τη χρήση δύο μεθόδων και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με παλαιότερες εργασίες, για να διαπιστωθεί εάν και σε ποιες περιοχές υπάρχει απόθεση ή διάβρωση και πως ο ρυθμός έχει μεταβληθεί.

1.2 Γεωγραφική τοποθέτηση περιοχής και οικολογική σημασία

Περιοχή μελέτης της εργασίας αποτελεί το φυσικό δέλτα του Αξιού ποταμού που οριοθετείται στα βόρεια από τα αναχώματα που κατασκευάστηκαν τον 20^ο αιώνα, στα νότια από τον Θερμαϊκό Κόλπο, ενώ στα δυτικά του δέλτα εκβάλει ο ποταμός Λουδίας.

Ο Αξιός ή Βαρδάρης ποταμός έχει συνολικό μήκος 389km, από τα οποία τα 88km βρίσκονται επί Ελληνικού εδάφους και η λεκάνη απορροής του είναι 22.385km². Ο κύριος κλάδος του ξεκινάει από το όρος Σκάρδος και πηγάζει κυρίως από την Δημοκρατία της Βόρειας Μακεδονίας. Η διεύθυνσή του είναι αρχικά BBA-NNΔ και στη συνέχεια γίνεται NA-BΔ μετά την πόλη των Σκοπίων. Εκβάλει στον Θερμαϊκό Κόλπο, στο Αιγαίο Πέλαγος και είναι σημαντική πηγή γλυκού νερού και ιζημάτων για την περιοχή. Η πεδιάδα οριοθετείται από τέσσερις ορεινούς όγκους, στα ανατολικά από τον Χορτιάτη και τον Βερτίσκο, στα δυτικά από το Βέρμιο και στα βόρεια από το Πάικο. Το υψόμετρο στη περιοχή του δέλτα είναι χαμηλό ενώ, σε μερικές περιοχές του, βόρεια των αναχωμάτων, είναι μέχρι και 1 μέτρο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (URL 1, URL 2).



Εικόνα 1.1 Χάρτης περιοχής μελέτης (πηγή: Google Earth)

Το δέλτα του Αξιού ανήκει σε έναν από τους πιο σημαντικούς υγροτόπους της Ελλάδας και μαζί με τον Αλιάκμονα και τον Λουδία σχηματίζουν το Εθνικό Πάρκο Δέλτα Αξιού-Λουδία-Αλιάκμονα, το οποίο φιλοξενεί εκατοντάδες είδη χλωρίδας και πανίδας, με πολλά από αυτά να είναι προστατευόμενα. Επιπρόσθετα, αποτελεί σημαντικό αγαθό για την τοπική κοινωνία και οικονομία, καθώς οι μεγάλες ποσότητες ιζημάτων που έχουν αποθεθεί όλα αυτά τα χρόνια, έχουν μετατρέψει την περιοχή σε σημαντικό παραγωγικό κέντρο αγροτικών και αλιευτικών προϊόντων (URL 2).



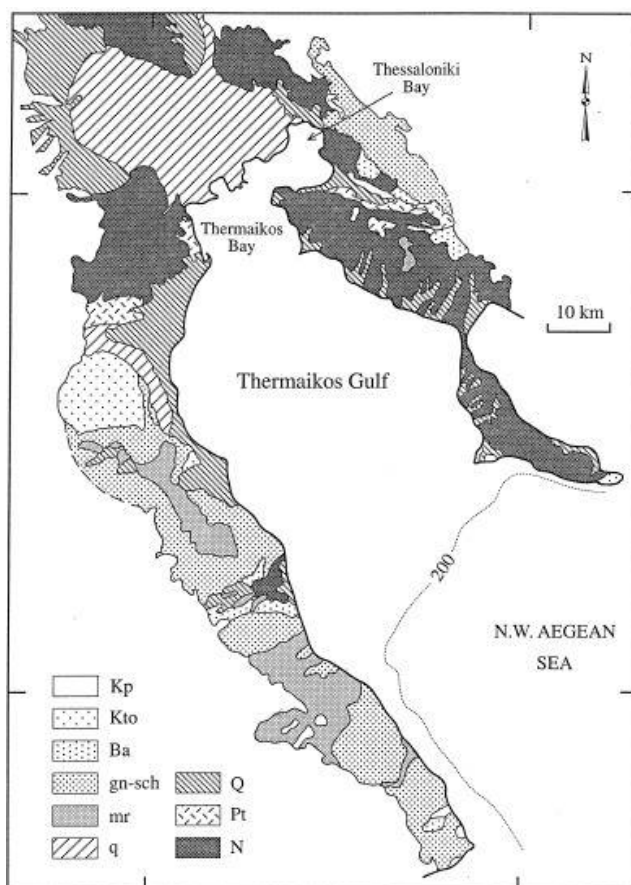
Εικόνα 1.2 Εκβολές Λουδία, καλύβες και βάρκες ψαράδων (πηγή: URL 3)



Εικόνα 1.3 Φοινικόπτερα (πηγή: URL 3)

1.3 Γεωλογικά στοιχεία

Η λεκάνη του Αξιού βρίσκεται γεωλογικά εντός της ομώνυμης ζώνης Αξιού, ανάμεσα στην Περιοδοπική ζώνη στα Ανατολικά και στη Πελαγονική ζώνη στα Δυτικά και έχει ωκεάνιο χαρακτήρα. Χωρίζεται σε τρεις υποζώνες: την υποζώνη Παιονίας, την υποζώνη Πάικου και υποζώνη Αλμωπίας. Η υποζώνη Παιονίας αποτελείται ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μάρμαρα, ιζήματα βαθιάς θάλασσα, οφειόλιθους, σχιστόλιθους, καθώς και από τη πλουτωνική διείσδυση του γρανίτη του Φανού. Η υποζώνη Πάικου θεωρείται ως ένα ύβωμα ανάμεσα στις υποζώνες της Παιονίας και της Αλμωπίας, αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μάρμαρα, σχιστόλιθους και τα μεταμορφωμένα πετρώματα της έχουν νηριτική προέλευση. Η υποζώνη Αλμωπίας συνίσταται κυρίως από οφειολιθικά συμπλέγματα με τα αντίστοιχα ιζήματα βαθιάς θάλασσας, κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθους που αποτέθηκαν μετά την επίκλυση του Μέσου-Άνω Κρητιδικού. (Μουντράκης, 2010). Η περιοχή του δέλτα αποτελείται από ολοκαινικές αλλουβιακές, ποτάμιες και λιμναίες αποθέσεις.



Εικόνα 1.2 Λιθολογία της παράκτιας περιοχής του Θερμαϊκού Κόλπου με βάση ένα γεωτεκτονικό χάρτη του ΙΓΜΕ, 1989 (πηγή: S.E. Poulos et al., 2000)

Υπόμνημα

Q: ολοκαινικοί σχηματισμοί, κυρίως αλλουβιακές, ποτάμιες αποθέσεις, ριπίδια, θίνες

q: δελταϊκές, ποτάμιες και παράκτιες αποθέσεις

Pt: αλλουβιακές αποθέσεις, κορήματα και κώνοι κορημάτων, Πλειστοκαινικής ηλικίας

N: μάργες, κυρίως ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, Νεογενούς και Πλειστοκαίνου

Kp: ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Πελαγονικής

Kto: ασβεστόλιθοι της ζώνης Ωλονού-Πίνδου

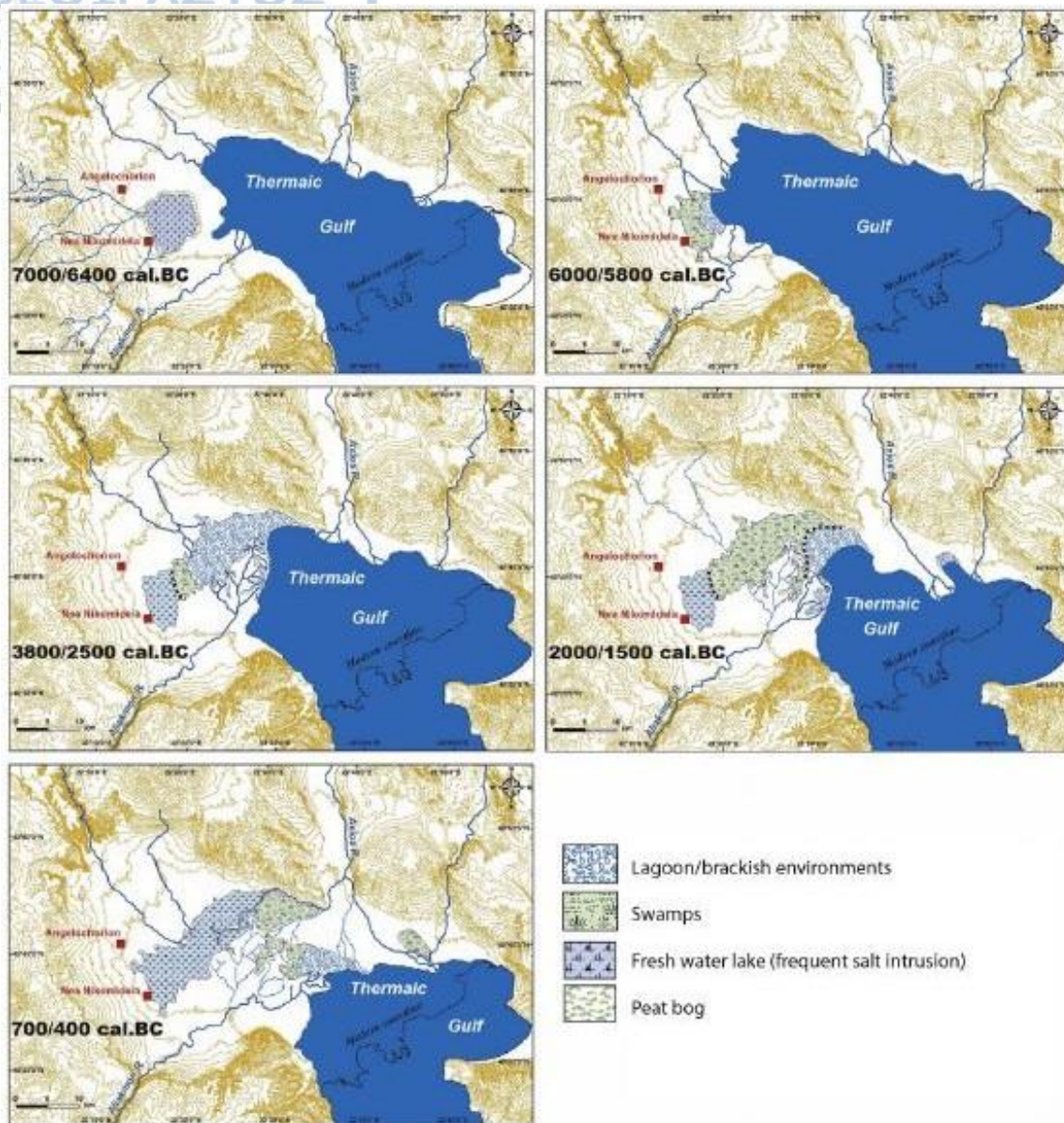
Ba: βασικά, υπερβασικά πετρώματα

Gn: γνεύσιοι, αμφιβολίτες και σχιστόλιθοι

mr: μάρμαρα, ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι

1.4 Ιστορικά στοιχεία

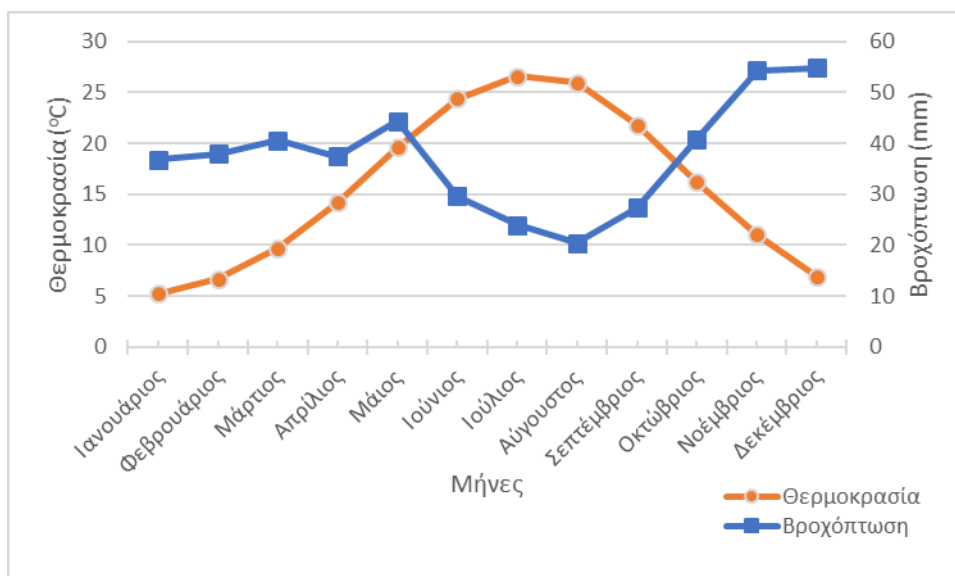
Η περιοχή του δέλτα του Αξιού και γενικότερα της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης έχει υποστεί μεγάλες μεταβολές λόγω της απόθεσης ιζημάτων από τους ποταμούς που την διασχίζουν. Πριν από 12.000 χρόνια περίπου, η στάθμη της θάλασσας άρχισε να ανεβαίνει, λόγω της τήξης των παγετώνων που κάλυπταν ένα μεγάλο μέρος του Βόρειου και Νότιου ημισφαιρίου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα περιοχές που είχαν χαμηλό υψόμετρο, να κατακλιστούν από νερό. Το βασικό επίπεδο άλλαξε και τα ποτάμια συστήματα της περιοχής αναγκάστηκαν να «συμμορφωθούν» στη νέα κατάσταση ισορροπίας. Είναι γνωστό ότι πόλεις όπως η Σκύδρα και η Πέλλα ήταν παραθαλάσσιες κατά τον 5^ο αι. π.χ., ενώ σιγά σιγά ο κόλπος άρχισε να κλείνει από την απόθεση ιζημάτων και στη συνέχεια δημιουργήθηκε η λίμνη των Γιαννιτσών ή λίμνη Λουδία. Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, υπήρξε η ανάγκη για αύξηση της καλλιεργήσιμης έκτασης στην περιοχή. Έτσι, το 1925 ξεκίνησαν τα έργα από την New York Foundation Company για την αποξήρανση της λίμνης των Γιαννιτσών, η οποία τους καλοκαιρινούς μήνες μετατρεπόταν σε μέρος αναπαραγωγής κουνουπιών που μετέφεραν μολυσματικές ασθένειες και δημιουργούσαν σοβαρά προβλήματα υγείας στους κατοίκους της περιοχής. Τα έργα που πραγματοποιήθηκαν ήταν κανάλια παροχέτευσης και αποστράγγισης, εγγειοβελτιωτικά έργα, κατασκευή αναχωμάτων για την προστασία των παράκτιων περιοχών. Επίσης έγινε η εκτροπή και εγκιβωτισμός της πεδινής κοίτης του Αξιού, έτσι ώστε να προστατευτεί το λιμάνι της Θεσσαλονίκης από τις προσχώσεις. Έτσι, η νέα κοίτη μετατοπίστηκε 15km ΝΔ από την παλαιά μακριά από τον κόλπο της Θεσσαλονίκης (URL 4).



Εικόνα 1.3 Παλαιογεωγραφική ανακατασκευή της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης από το 7000 π.Χ. μέχρι το 400 π.Χ. (Ghilardi et al. , 2010)

1.5 Κλιματικά στοιχεία

Το κλίμα κοντά στις πηγές του Αξιού χαρακτηρίζεται ως Ηπειρωτικό και μεταβαίνει σε Μεσογειακό προς το δέλτα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι από 9°C μέχρι 18°C και η διαφορά της θερμοκρασίας ανάμεσα στους θερινούς και χειμερινούς μήνες είναι αισθητή, ειδικά στις περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι από 400mm μέχρι 1300mm. Στη περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι περίπου 460mm ετησίως. Η ξηρή περίοδος ξεκινάει από τα μέσα Μαΐου μέχρι τα τέλη Σεπτεμβρίου, αυτό σημαίνει ότι οι βροχοπτώσεις αυτήν την περίοδο είναι συνήθως λίγες. Επομένως είναι η ιδανική περίοδος για τη μελέτη μεταβολής της ακτογραμμής, καθώς μειώνεται σημαντικά η επίδραση των βροχοπτώσεων και συνεπώς του όγκου νερού που εκβάλλει στο δέλτα.



Εικόνα 1.4 Ομβροθερμικό διάγραμμα για τη περιοχή της Θεσσαλονίκης (πηγή: URL 5)

1.6 Δέλτα

1.6.1 Ορισμός

Σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο (2017), τα δέλτα είναι γλωσσοειδείς ή ριπιδιοειδείς αποθέσεις υλικού που μεταφέρθηκε από τα ποτάμια και αποτέθηκε μπροστά στους χώρους των εκβολών, στα ρηχά υδάτινων λεκανών (λιμνών, θαλασσών). Η πρώτη αναφορά αυτού του όρου έρχεται από τον Ηρόδοτο, ο οποίος τον χρησιμοποίησε για να περιγράψει το Δέλτα του Νείλου.

1.6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό τους

Οι αποθέσεις των δέλτα γίνονται σε μεταβατικά περιβάλλοντα, είτε σε χερσαίες συνθήκες είτε σε υδάτινες, επομένως οι παράγοντες που επηρεάζουν τον τρόπο απόθεσης είναι πολύπλοκοι.

Οι κλιματικές συνθήκες που υφίστανται στην λεκάνη του ποταμού παίζουν σημαντικό ρόλο στη διάβρωση, στην αποσάθρωση λόγω των καιρικών συνθηκών των υλικών της εκάστοτε περιοχής και επομένως στο μέγεθος των κόκκων των υλικών και στην ποσότητά τους. Για παράδειγμα σε περιοχές που η βλάστηση είναι εκτεταμένη, η διάβρωση και συνεπώς η μετέπειτα μεταφορά των υλικών είναι μειωμένη. Αντίθετα σε περιοχές με λίγη ή εποχιακή βλάστηση, η διάβρωση των υλικών είναι πιο εύκολη. Επίσης, το κλίμα μιας περιοχής και συγκεκριμένα οι βροχοπτώσεις, καθορίζουν τη ποσότητα του νερού που θα μεταφέρει τα ιζήματα και επομένως τη μεταφορική ικανότητα του ποταμού. Έτσι, περιοχές με θερμό-υγρό κλίμα σπάνια σχηματίζουν δέλτα, ενώ περιοχές με υγρό-ψυχρό και ξηρό με πλημμυρικά φαινόμενα κλίμα σχηματίζουν συχνά δέλτα.

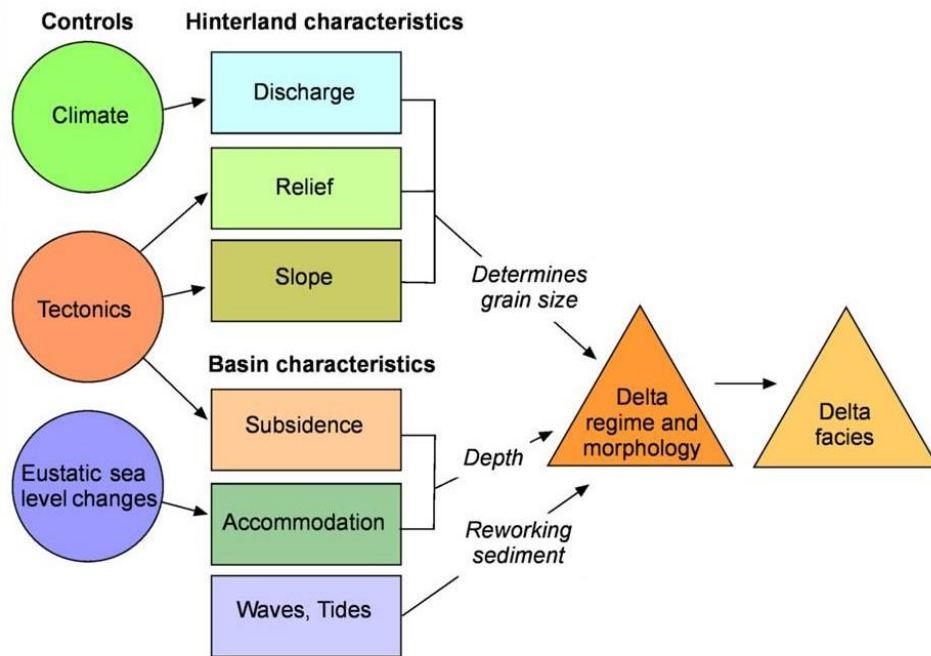
Οι τεκτονικές συνθήκες παίζουν ρόλο τόσο στο μέγεθος των κόκκων των υλικών όσο και στο βάθος της λεκάνης απόθεσης. Το ανάγλυφο, η κλίση και τα πρηνή που σχηματίζονται λόγω της τεκτονικής κατάστασης στην οποία βρίσκεται η λεκάνη, μεταβάλουν το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων. Όσο πιο τεκτονικά καταπονημένο είναι ένα πέτρωμα τόσο πιο εύκολα διαβρώνεται. Επίσης όταν το ανάγλυφο είναι ομαλό, τα υλικά δεν επεξεργάζονται αρκετά και είναι πιο δύσκολο να μεταφερθούν στα κατάντη, αντίθετα σε ένα ανώμαλο ανάγλυφο, οι κόκκοι συγκρούονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να γίνονται πιο στρογγυλοί και μικροί, διευκολύνοντας έτσι την μεταφορά τους. Επιπλέον, η τεκτονική υποβύθιση της περιοχής, επηρεάζει το βάθος της λεκάνης απόθεσης και επομένως την ανάπτυξη του δέλτα. Η εμφάνιση προωθητικής ανάπτυξης του δέλτα δείχνει ότι η περιοχή είναι τεκτονικά σταθερή. Αντίθετα, όταν η περιοχή βρίσκεται υπό καθεστώς αργής βύθισης, η ανάπτυξη του δέλτα γίνεται κάθετα και οριζόντια δε παρατηρείται σημαντική μεταβολή. Όταν η περιοχή ανυψώνεται τότε παρατηρείται αλλαγή του βασικού επιπέδου, μείωση της μεταφορικής ικανότητας του ποταμού που αποθέτει το μεγαλύτερο μέρος των ιζημάτων στα ανάντη με συνέπεια την καταστροφή του παλαιού δέλτα και την περαιτέρω διάβρωση της περιοχής.

Οι ευστατικές αλλαγές της στάθμης της θάλασσας επίσης μεταβάλουν το βασικό επίπεδο και συνεπώς το βάθος της λεκάνης απόθεσης, αυξάνοντας ή μειώνοντας τον διαθέσιμο χώρο απόθεσης (accommodation space).

Η κυματική δράση και η παλίρροια επηρεάζουν τον τρόπο απόθεσης των υλικών. Η ύπαρξη ισχυρών θαλάσσιων ρευμάτων και κυμάτων αποτρέπει την απόθεση ιζημάτων, διότι απομακρύνονται και διασκορπίζονται στο θαλάσσιο-ωκεάνιο χώρο. Επίσης το εύρος της παλίρροιας πρέπει να μην είναι μεγάλο, γιατί εντείνει τη δράση των κυμάτων

και βοηθάει στην απομάκρυνση των υλικών (Nichols, 2009).-(Ψιλοβίκος & Ψιλοβίκος, 2017).

Controls on delta environments and facies



Εικόνα 1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη ανάπτυξη ενός δέλτα (πηγή: Nichols, 2009)

Συνεπώς, για τη δημιουργία ενός δέλτα πρέπει να υπάρχει ικανοποιητική τροφοδοσία ιζημάτων από τα ποτάμια συστήματα, να μην πραγματοποιούνται έντονες τεκτονικές μεταβολές και η παραθαλάσσια περιοχή να έχει μικρό βάθος και σχετικά χαμηλή δυναμική ενέργεια (Ψιλοβίκος, 2017).

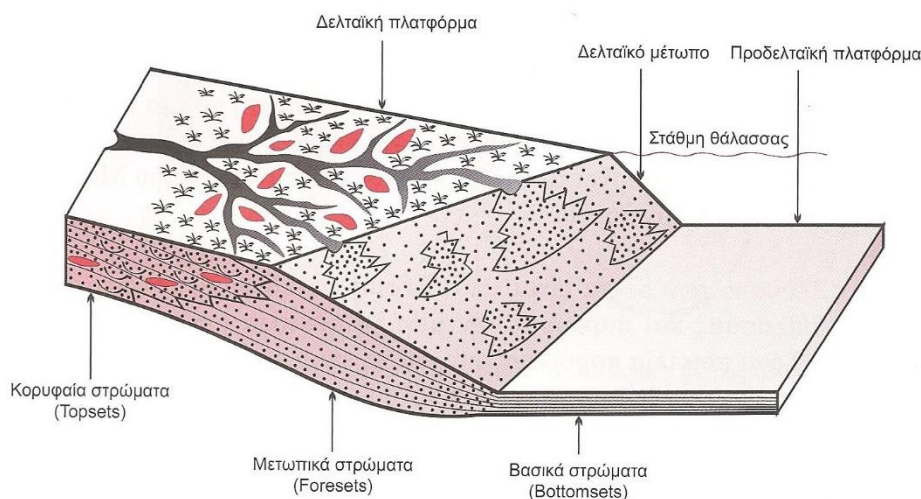
1.6.3 Μέρη ενός δέλτα

Ένα δέλτα αποτελείται από 3 βασικά μέρη: α) τη Δελταϊκή Πλατφόρμα ή Δελταϊκό πεδίο, β) το Δελταϊκό Μέτωπο ή Δελταϊκή Κατωφέρεια και γ) την Προδελταϊκή Πλατφόρμα.

α) Αποτελεί το μέρος του δέλτα που βρίσκεται επάνω από την στάθμη της θάλασσας. Περιλαμβάνει τα έλη, λίμνες ή λιμνοθάλασσες που δημιουργούνται ανάμεσα από τις κοίτες καθώς και τα φυσικά φράγματα, φράγματα κοίτης και φράγματα όχθης που σχηματίζονται.

β) Βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού κυρίως. Αποτελείται από τα φράγματα, που δημιουργούνται κάθετα ή παράλληλα προς την διεύθυνση της ροής του νερού και μερικές φορές ξεπερνούν την επιφάνειά του, αλλά και από τα ιζήματα που αποτίθενται με κλίση προς τις βαθύτερες περιοχές.

γ) Βρίσκεται μπροστά από την δελταϊκή κατωφέρεια και αποτελείται από λεπτόκοκκα επίπεδα στρώματα, επομένως το ανάγλυφό της είναι ήπιο και η απόθεση πραγματοποιήθηκε κάτω από ήρεμες συνθήκες (Ψιλοβίκος, 2017, σελ.147-148).



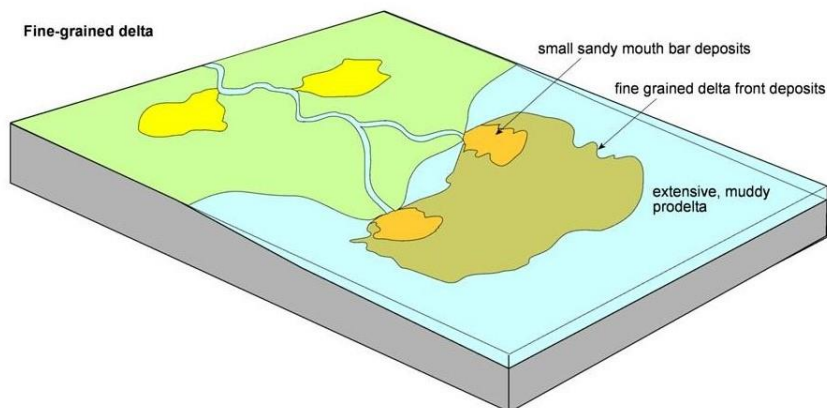
Εικόνα 1.6 Μέρη ενός δέλτα (πηγή: Ψιλοβίκος & Ψιλοβίκος, 2017)

1.6.4 Τύποι δέλτα

Η τελική μορφολογία των δέλτα είναι αποτέλεσμα συνδυασμού τριών παραγόντων, του μεγέθους των κόκκων, του βάθους της περιοχής απόθεσης και της κυρίαρχης επίδρασης από το υδάτινο στοιχείο.

Το μέγεθος των κόκκων, που μεταφέρονται από το ποτάμι, καθορίζει την έκταση της διασποράς τους στη θάλασσα ή λίμνη. Στην περίπτωση που το μεγαλύτερο ποσοστό κόκκων είναι σε μέγεθος ιλύος ή αργίλου, μεταφέρονται με αιώρηση και η διασπορά τους γίνεται σε μεγαλύτερο εύρος. Έτσι παρατηρείται ένα μικρό κομμάτι κοντά στην έξοδο του ποταμού που αποτελείται κυρίως από κόκκους άμμου και στη συνέχεια οι λεπτόκοκκοι κόκκοι καθιζάνουν και δημιουργούν μία εκτεταμένη, ασταθή προδελταϊκή πλατφόρμα.

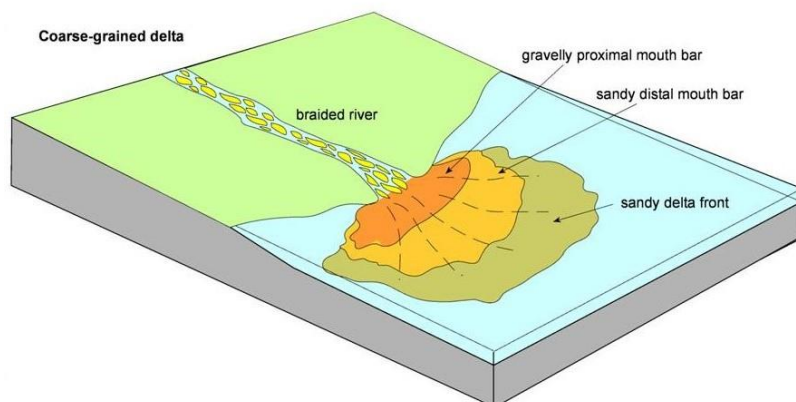
Grain size control on the form of a delta: fine-grained



Εικόνα 1.7 Η διασπορά των ιζημάτων όταν το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελείται από αιωρούμενα λεπτόκοκκα υλικά (πηγή: Nichols, 2009)

Όταν υπάρχουν διαφορετικά μεγέθη κόκκων, οι βαρύτεροι κόκκοι παραμένουν κοντά στην εκβολή του ποταμού και οι ελαφρύτεροι μεταφέρονται στα βαθύτερα σημεία, με αυτόν τον τρόπο υπάρχει μία διαβάθμιση από τα αδρόκοκκα στα λεπτόκοκκα μέρη. Σε αυτή τη περίπτωση, η προδελταϊκή πλατφόρμα είναι περιορισμένη και έχουμε ανάπτυξη δελταϊκού μετώπου (Nichols, 2009).

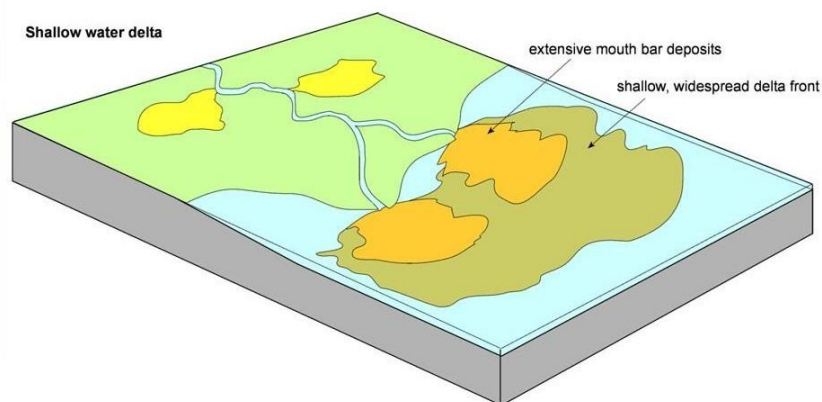
Grain size control on the form of a delta: coarse-grained



Εικόνα 1.8 Η διασπορά των ιζημάτων όταν υπάρχουν διάφορα μεγέθη κόκκων (πηγή: Nichols, 2009)

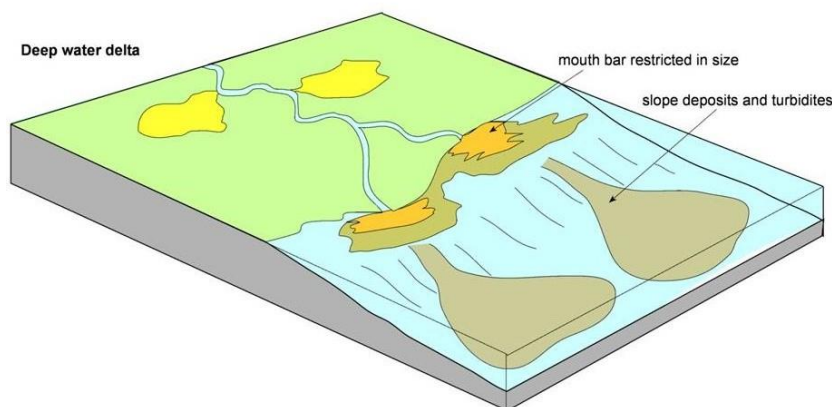
Το βάθος του χώρου απόθεσης παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην έκταση της διασποράς και συνεπώς στο μέγεθος του δέλτα. Σε ρηχά νερά, η δελταϊκή πλατφόρμα και το δελταϊκό μέτωπο θα έχουν μεγάλη έκταση καθώς ο ρυθμός επέκτασης τους είναι μεγάλος. Όταν η ανάπτυξη του δέλτα γίνεται σε βαθιά νερά, τότε η δελταϊκή πλατφόρμα δεν προλαβαίνει να αναπτυχθεί πλήρως και το μεγαλύτερο ποσοστό των υλικών καταλήγουν στη προδελταϊκή πλατφόρμα και στο δελταϊκό μέτωπο, στο οποίο συχνά παρατηρούνται καθοδικές κινήσεις των ιζημάτων λόγω της βαρύτητας (gravity flows) (Nichols, 2009).

Delta prograding into shallow water



Εικόνα 1.9 Η επέκταση ενός δέλτα σε ρηχά νερά (πηγή: Nichols, 2009)

Deltas prograding into deep water

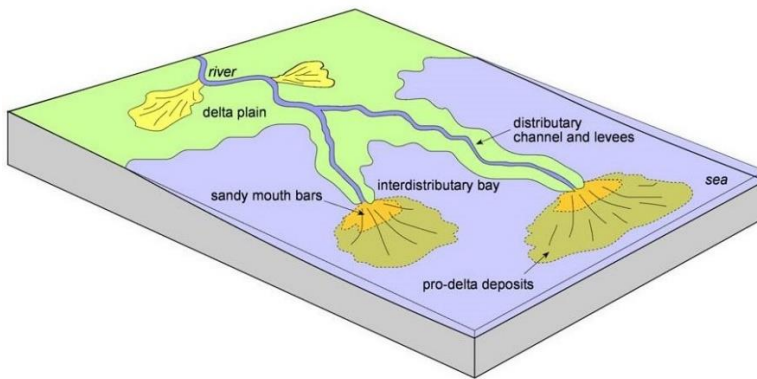


Εικόνα 1.10 Η επέκταση ενός δέλτα σε βαθιά νερά (πηγή: Nichols, 2009)

Η μορφή του δέλτα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το αν κυριαρχεί ο ποταμός, η κυματική δράση ή η παλίρροια σε σχέση με τα άλλα δύο.

Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή αυτή του ποταμού, οι επιδράσεις της παλίρροιας και των κυμάτων είναι ελάχιστες. Επομένως το παλιρροιακό εύρος είναι μικρό και η κυματική ενέργεια έχει εξασθενήσει πριν τα κύματα φτάσουν κοντά στην ακτή. Έτσι, τα κανάλια του ποταμού προχωράνε προς τη θάλασσα αποθέτοντας τα υλικά τους δεξιά και αριστερά της ροής, σχηματίζοντας το χαρακτηριστικό «πέλμα πτηνού», σε αυτήν την κατηγορία ανήκει και το δέλτα του Αξιού ποταμού. Συχνά, οι κοίτες μετατοπίζονται και ανοίγονται νέοι δρόμοι απόθεσης, ενώ πολλές φορές παρατηρείται κάλυψη παλαιότερων αποθέσεων από καινούργιες (Nichols, 2009).

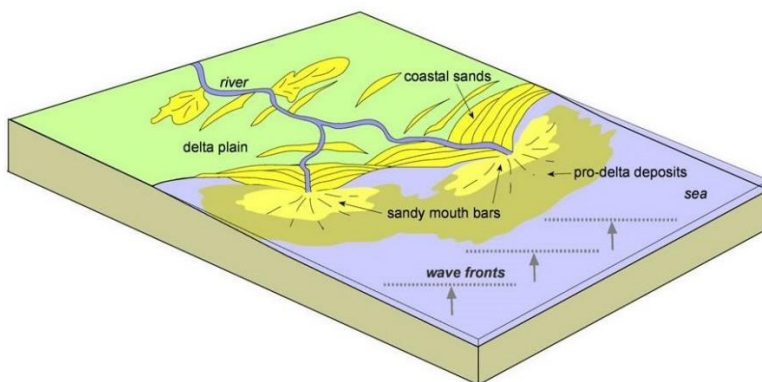
A river dominated delta



Εικόνα 1.11 Η ανάπτυξη ενός δέλτα στο οποίο κυρίαρχος παράγοντας είναι το ποτάμι (πηγή: Nichols, 2009)

Όταν η κυματική ενέργεια είναι η κυρίαρχη δύναμη, η ανάπτυξη του δέλτα προς τη θάλασσα είναι περιορισμένη. Τα υλικά που μεταφέρονται δεν προλαβαίνουν να αποτεθούν, με αποτέλεσμα να μεταφέρονται στα πλάγια της εκβολής σχηματίζοντας πλευρικούς λοβούς και μετωπικά εγκάρσια φράγματα άμμου, που ονομάζονται λουρνησίδες (Ψιλοβίκος & Ψιλοβίκος, 2017)(Nichols, 2009).

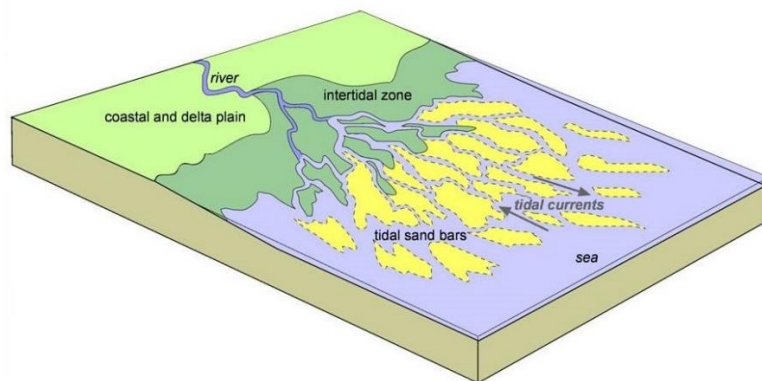
A wave-dominated delta



Εικόνα 1.12 Η ανάπτυξη ενός δέλτα όταν ο κυρίαρχος παράγοντας είναι η κυματική δράση (πηγή: Nichols, 2009)

Σε περιοχές με μεγάλο εύρος παλίρροιας, η αλλαγή κατεύθυνσης της ροής μέσα στα κανάλια του δέλτα είναι συνεχής. Ως αποτέλεσμα, δημιουργούνται στην εκβολή του ποταμού επιμήκη φράγματα κάθετα στην ακτή, τα οποία βυθίζονται κάτω από την επιφάνεια του νερού όταν υπάρχει πλημμυρίδα ή και μεγάλη τροφοδοσία από το ποτάμι (Nichols, 2009).

A tide-dominated delta



Εικόνα 1.13 Η ανάπτυξη ενός δέλτα όταν ο κυρίαρχος παράγοντας είναι το εύρος της παλίρροιας (πηγή: Nichols, 2009)

1.7 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Geographical Information Systems-G.I.S) αποτελούν ένα εργαλείο που βοηθάει στην απόκτηση, αποθήκευση, διαχείριση, μετατροπή και απεικόνιση των χωρικών δεδομένων που συλλέχτηκαν και αποσκοπούν στην συσχέτιση γεγονότων που ήταν ξεχωριστά (Αστάρας κ.α., 2011). Για παράδειγμα μπορούν να συνδυαστούν δεδομένα από τη τοπογραφία, τη γεωλογία, τα υδάτινα συστήματα κ.α. και να δημιουργηθεί μια 3D απεικόνιση της πραγματικής περιοχής, εφόσον έχει προσδιορισθεί το κατάλληλο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς.

Τα δεδομένα αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα χωρικά και τα μη χωρικά. Τα χωρικά δεδομένα εξαρτώνται από τη θέση τους στον χώρο και μπορεί να είναι σημεία (π.χ. θέσεις γεωτρήσεων κλπ.), γραμμικά στοιχεία (π.χ. ισοϋψείς κ.α.), επιφανειακά επίπεδα (π.χ. λιθοστρωματογραφικές ενότητες κ.α.) και δεδομένα ανάγλυφου (όπως τα DEM). Τα μη χωρικά δεδομένα αποτελούν πληροφορίες που σχετίζονται με μια ιδιότητα ή μια τιμή της συγκεκριμένης χωρικής θέσης, όπως ο χαρακτηρισμός μιας ενότητας ως γρανίτη ή η τιμή μιας ισοϋψούς (Αστάρας κ.α., 2011).

Τα δεδομένα μπορούν να καταχωρηθούν σε μορφή κανάβου (raster) ή σε μορφή διανύσματος ή πολυγώνου (vector). Η βασική μονάδα του κανάβου είναι η ψηφίδα (pixel), η οποία μπορεί να είναι σε διάφορα σχήματα (συνήθως τετράγωνη) και φέρει μία συγκεκριμένη τιμή. Τα διανύσματα χρησιμοποιούνται όταν τα δεδομένα μπορούν να οριοθετηθούν με χρήση γραμμών, όπως για παράδειγμα η ακτογραμμή μίας περιοχής (Αστάρας κ.α., 2011).

Πλεονεκτήματα: Τα δεδομένα βρίσκονται σε ψηφιακή μορφή και επομένως χρησιμοποιούν λίγο χώρο και είναι εύκολα προς τη χρήση τους. Τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα μπορούν να δημιουργήσουν μία βάση δεδομένων, η οποία μπορεί να επεξεργαστεί στο μέλλον. Οι αναλύσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν έχουν μικρό κόστος, όπως η δημιουργία ενός σύνθετου χάρτη με διαφορετικές πληροφορίες.

Μειονεκτήματα: Το αρχικό κόστος αγοράς και η μετέπειτα συντήρησή του συστήματος είναι υψηλά. Πρέπει να προηγηθεί η κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού για να μπορέσει να χειριστεί τα συστήματα. Μπορεί να υπάρξουν προβλήματα με τα παλαιότερα δεδομένα που χρειάζονται μετατροπή και καταχώρηση (Αστάρας κ.α., 2011).

1.8 Δείκτης NDWI

Ο δείκτης NDWI (Normalized Difference Water Index) χρησιμοποιείται στην τηλεπισκόπηση, προτάθηκε για διαφορετικές χρήσεις από τον Gao (1996) και τον McFeeters (1996) και με ελαφρώς διαφορετικές μορφές, αλλά και οι δύο τύποι έχουν ως βάση τους τον δείκτη NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Ο πρώτος τον χρησιμοποίησε για την ανίχνευση υγρού νερού στη βλάστηση και εκμεταλλεύεται τη διαφορά ανάμεσα στο σχεδόν υπέρυθρο φάσμα (NIR) και στο βραχύ υπέρυθρο φάσμα (SWIR). Ο δεύτερος, McFeeters, τον χρησιμοποίησε για τον καθορισμό των ορίων μεταξύ των υδάτινων σωμάτων και της ξηράς. Προτείνει τη χρήση του σχεδόν υπέρυθρου φάσματος (NIR) ακτινοβολίας σε συνδυασμό με τη πράσινη στο ορατό φάσμα ακτινοβολία, σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

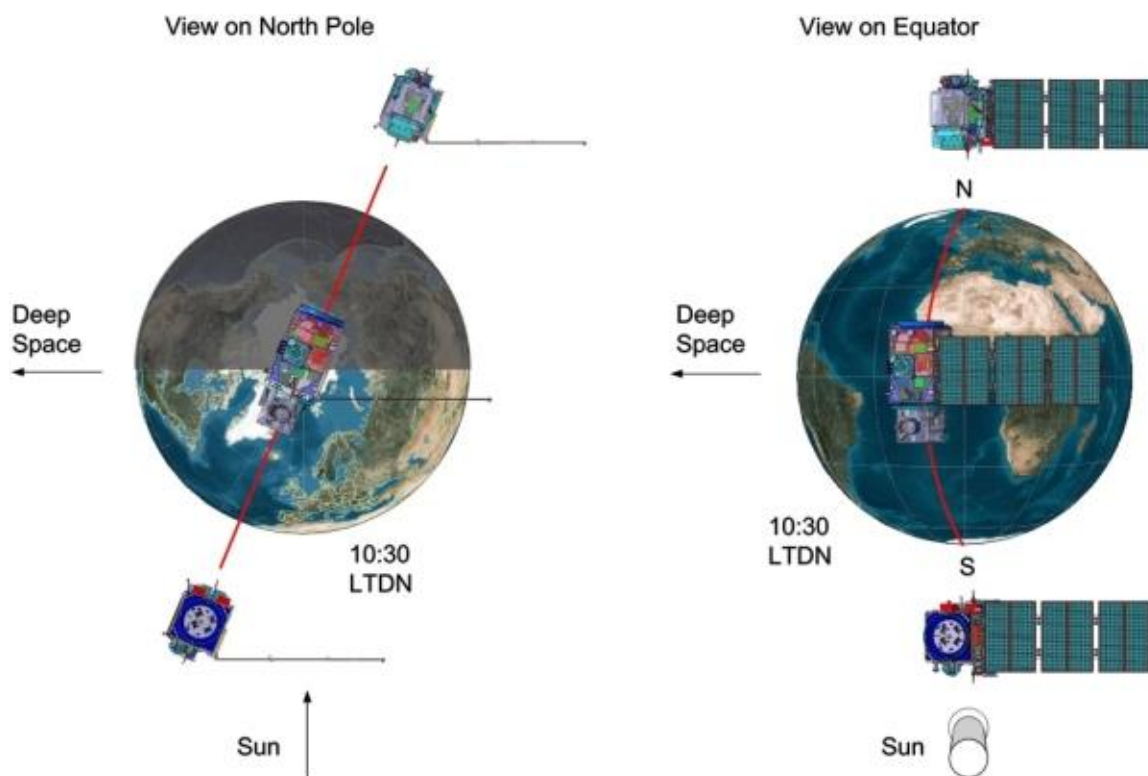
όπου Green είναι η φασματική ζώνη που ανακλά το πράσινο χρώμα και NIR είναι ανακλώμενη εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία. Η επιλογή των συγκεκριμένων μηκών κύματος έγινε για: i) να μεγιστοποιηθεί η τυπική ανάκλαση των υδάτινων σωμάτων με τη χρήση του πράσινου μήκους κύματος, ii) να ελαχιστοποιηθούν οι χαμηλές τιμές ανάκλασης που επιδεικνύει η NIR στα υδάτινα σώματα και iii) να εκμεταλλευτεί την υψηλή ανάκλαση της NIR από τη βλάστηση και το έδαφος. Έτσι, τα υδάτινα σώματα θα έχουν θετικές τιμές, ενώ το έδαφος και η βλάστηση θα έχουν αρνητικές ή μηδενικές τιμές. Εφαρμόζοντας αυτή την απλή εξίσωση σε μία δορυφορική εικόνα μπορεί να διαπιστωθεί σε ποια σημεία υπάρχει ικανή συγκέντρωση νερού και σε ποια απουσία του (McFeeters, 1996).

Αυτή η εξίσωση εφαρμόστηκε σε αυτή τη διπλωματική εργασία κατά την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Sentinel-2

Οι δορυφόροι Sentinel-2 είναι οπτικοί δορυφόροι πολικής τροχιάς, οι οποίοι εκτοξεύθηκαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (European Space Agency), στα πλαίσια του προγράμματος Copernicus. Ο Sentinel-2A εκτοξεύθηκε το 2015, ενώ ο Sentinel-2B το 2017. Η τροχιά των δύο δορυφόρων έχει διαφορά 180° , έτσι υπάρχει συχνή απεικόνιση της περιοχής (στον Ισημερινό ανά 5 μέρες), το μέσο ύψος τροχιάς είναι στα 786km, η μέση διάρκεια ζωής είναι 7,25 χρόνια και το οπτικό πεδίο είναι 290km.



Εικόνα 2.1 Τροχιά του Sentinel-2A και Sentinel 2B (πηγή: URL 6)

Τα προϊόντα της αποστολής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη γεωργία και τη διαχείριση φυσικών πόρων, την παρακολούθηση της ξηράς (land-monitoring), την διαχείριση έκτακτων καταστάσεων (πυρκαγιές, πλημμύρες κλπ.) και για την ασφάλεια, όπως την επίβλεψη των συνόρων. Οι δορυφόροι διαθέτουν 13 φασματικές ζώνες, από τις οποίες οι τέσσερις έχουν χωρική ανάλυση 10m, οι έξι 20m και οι τρεις 60m.

Spatial Resolution (m)	Band Number	S2A		S2B	
		Central Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Central Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)
10	2	492.4	66	492.1	66
	3	559.8	36	559.0	36
	4	664.6	31	664.9	31
	8	832.8	106	832.9	106
20	5	704.1	15	703.8	16
	6	740.5	15	739.1	15
	7	782.8	20	779.7	20
	8a	864.7	21	864.0	22
	11	1613.7	91	1610.4	94
	12	2202.4	175	2185.7	185
60	1	442.7	21	442.2	21
	9	945.1	20	943.2	21
	10	1373.5	31	1376.9	30

Εικόνα 2.2 Φασματικές ζώνες Sentinel-2 (πηγή: URL 7)

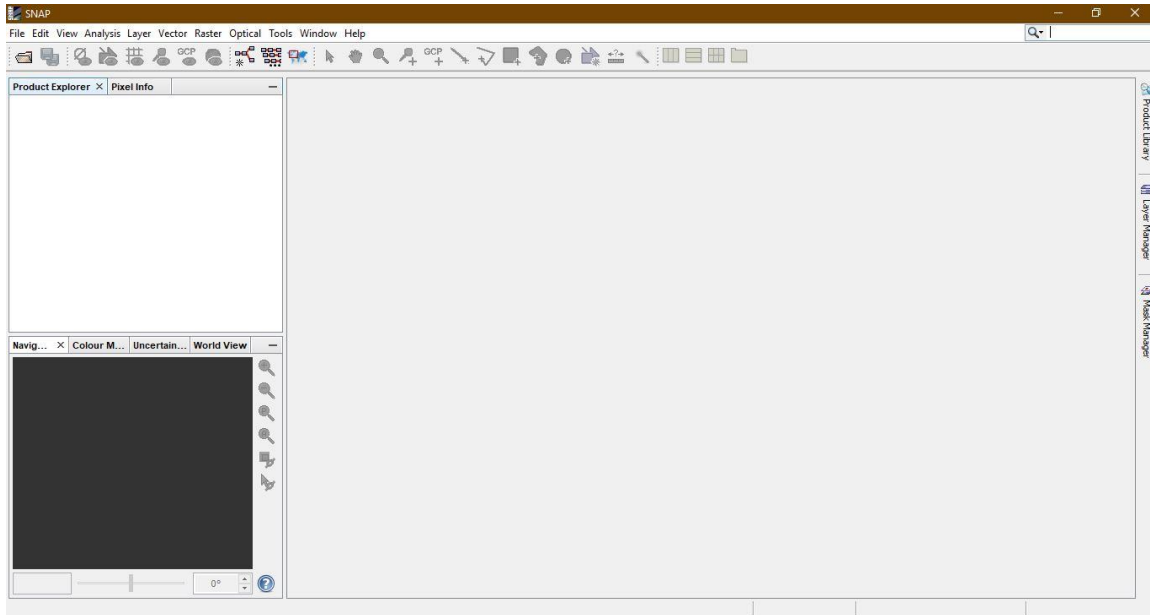
Το επίπεδο επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την διπλωματική ήταν το L1C και οι φασματικές ζώνες ήταν η B3 και B8.

Name	High-Level Description	Production & Distribution	Data Volume
Level-1C	Top-Of-Atmosphere reflectances in cartographic geometry	Systematic generation and online distribution	~600 MB (each 100km x 100km ²)
Level-2A	Bottom-Of-Atmosphere reflectances in cartographic geometry	Systematic and on-User side (using Sentinel-2 Toolbox)	~800 MB (each 100km x 100km ²)

Εικόνα 2.3 Επίπεδα επεξεργασίας δεδομένων Sentinel-2 (πηγή: URL 8)

2.2 Sentinel Application Platform

Το Sentinel Application Platform (SNAP) είναι μία δωρεάν ανοιχτού κώδικα πλατφόρμα που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων και είναι συμβατή με τους περισσότερους δορυφόρους. Δημιουργήθηκε από τη Brockmann Consult, Array Systems Computing και C-S (URL 9).

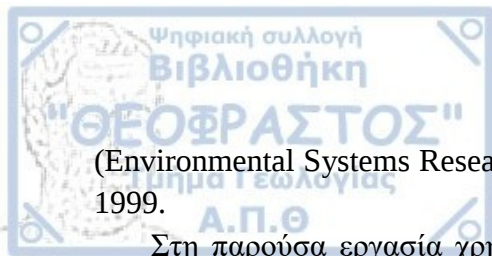


Εικόνα 2.4 Η επιφάνεια εργασίας του SNAP

Στο πρόγραμμα SNAP, επεξεργάστηκαν οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την διπλωματική εργασία. Συγκεκριμένα, έγινε subset στην περιοχή ενδιαφέροντος και ύστερα ένα δεύτερο subset για να απομονωθούν οι φασματικές ζώνες που χρειάζονται. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται σημαντικά το μέγεθος των αρχείων και είναι πιο εύχρηστες. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η μαθηματική πράξη για τον υπολογισμό του NDWI και δημιουργήθηκε μία καινούργια φασματική ζώνη με το αποτέλεσμα. Τέλος, η φασματική ζώνη B8 και NDWI αποθηκεύτηκαν με τη μορφή GeoTiff και χρησιμοποιήθηκαν στον ArcGIS.

2.3 ArcGIS

Το ArcGIS είναι ένα λογισμικό που ανήκει στη κατηγορία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και επιτρέπει την επεξεργασία δεδομένων μέσω διάφορων λειτουργιών και εφαρμογών. Δημιουργήθηκε από την εταιρεία Esri



(Environmental Systems Research Institute) και η πρώτη έκδοση του λογισμικού ήταν το 1999.

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το ArcGIS 10.7 και περιλαμβάνει πολλές εφαρμογές όπως το ArcMap, ArcCatalog, ArcToolBox κ.α. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το ArcMap, στο οποίο κάποιος μπορεί να επεξεργαστεί και να προβάλει γεωχωρικά δεδομένα και το ArcCatalog, που βοηθάει στην αναζήτηση και αποθήκευση των δεδομένων.

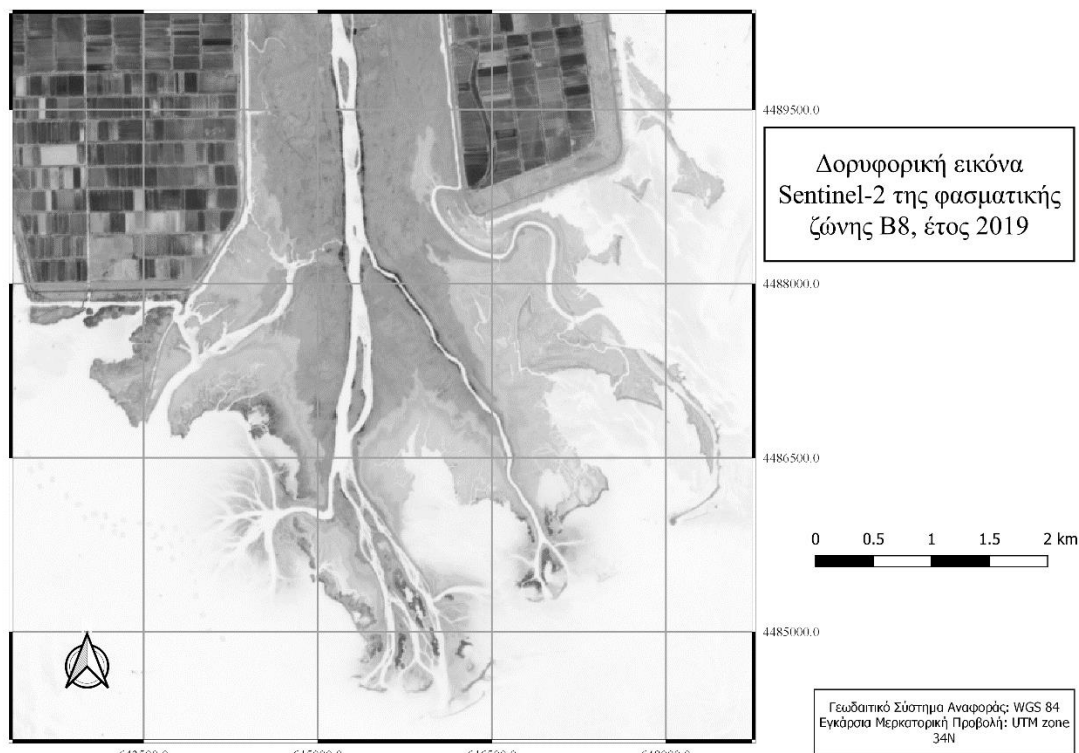
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε ψηφιοποίηση της ακτογραμμής του δέλτα του Αξιού με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος αφορά τη χρήση μόνο της φασματικής ζώνης B8 (NIR) για τον διαχωρισμό ξηράς-υδάτων με τη βοήθεια του ιστογράμματος και στη συνέχεια ψηφιοποίηση της ακτογραμμής. Στον δεύτερο τρόπο χρησιμοποιήθηκαν δύο φασματικές ζώνες, με την μορφή του δείκτη NDWI και ακολούθως έγινε η ψηφιοποίηση της ακτογραμμής. Έπειτα, υπολογίστηκε η διαφορά ανάμεσα στην ακτογραμμή του 2016 και του 2019 για κάθε ένα από τους τρόπους ξεχωριστά. Στους χάρτες 3.1 και 3.2 παρουσιάζονται δύο από τις αρχικές δορυφορικές εικόνες, του 2019, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, η πρώτη αφορά στην φασματική ζώνη B8 και η δεύτερη στο δείκτη NDWI. Οι ακριβείς ημερομηνίες των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν είναι 03/07/2016 και 03/07/2019. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 και στους χάρτες 3.3 και 3.4 (βλέπε μεγάλους στο παράρτημα).

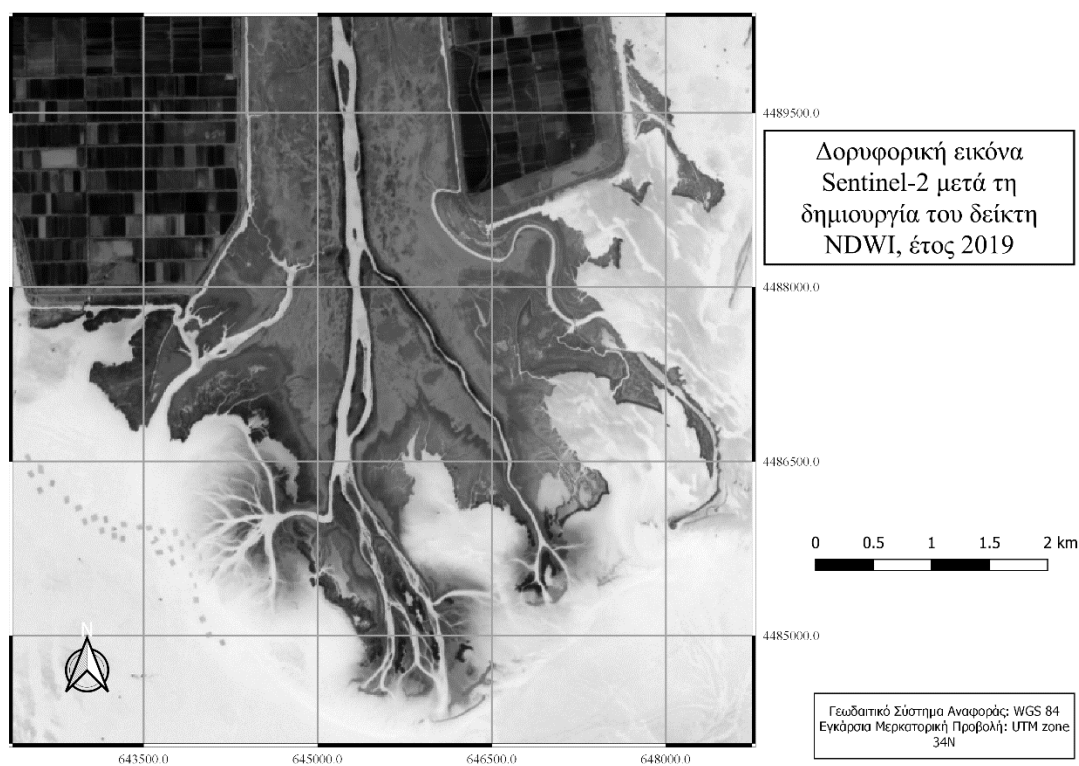
Πίνακας 3.1. Αποτελέσματα μεθόδων

Μέθοδος		Επιφάνεια (m ²)	Ρυθμός (km ² /yr)
B8	Απόθεση	1034680	0,345
	Διάβρωση	151601	0,051
NDWI	Απόθεση	1077350	0,359
	Διάβρωση	126310	0,042

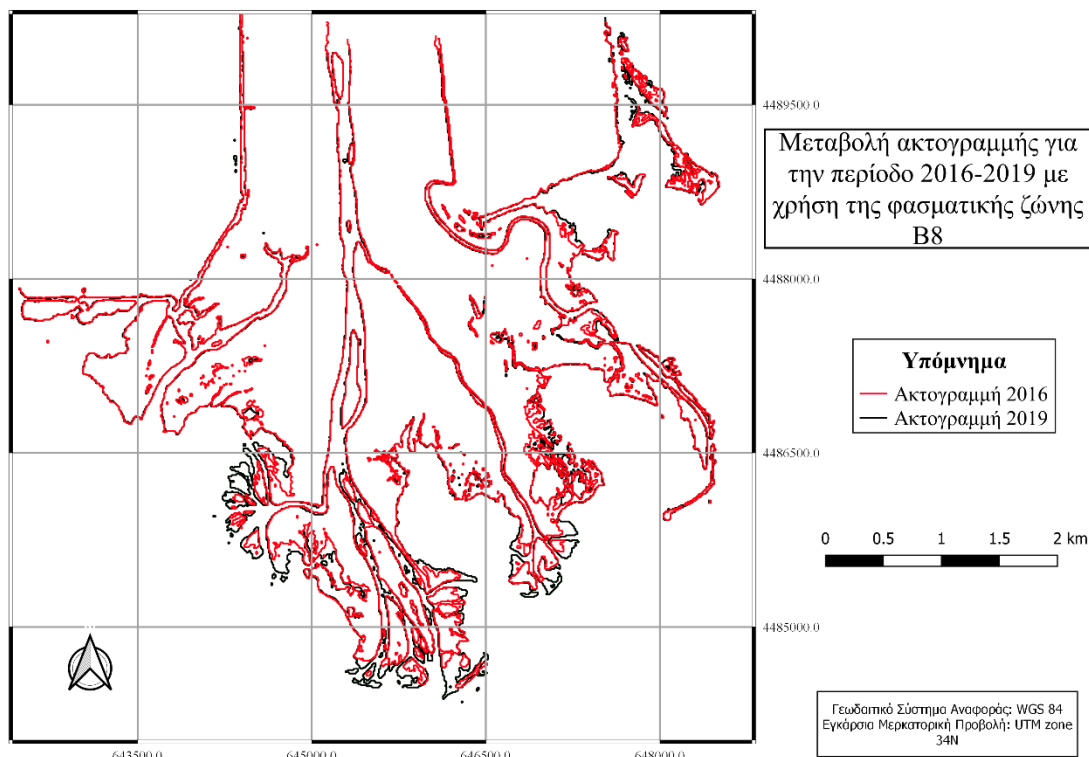
Με τη πρώτη μέθοδο (B8) παρατηρείται συνολική απόθεση 1034680 m² και διάβρωση 151601 m², ενώ με τη δεύτερη μέθοδο (NDWI) συνολική απόθεση 1077350 m² και διάβρωση 126310 m². Η διαφορά τους στην απόθεση είναι 42670 m² και στη διάβρωση 25291 m². Η επιφάνεια υλικών που αποτέθηκε αυτά τα 3 χρόνια είναι σχεδόν 7 φορές μεγαλύτερη από τον όγκο που διαβρώθηκε σύμφωνα με τη πρώτη μέθοδο και 8,5 φορές μεγαλύτερη σύμφωνα με τη δεύτερη.



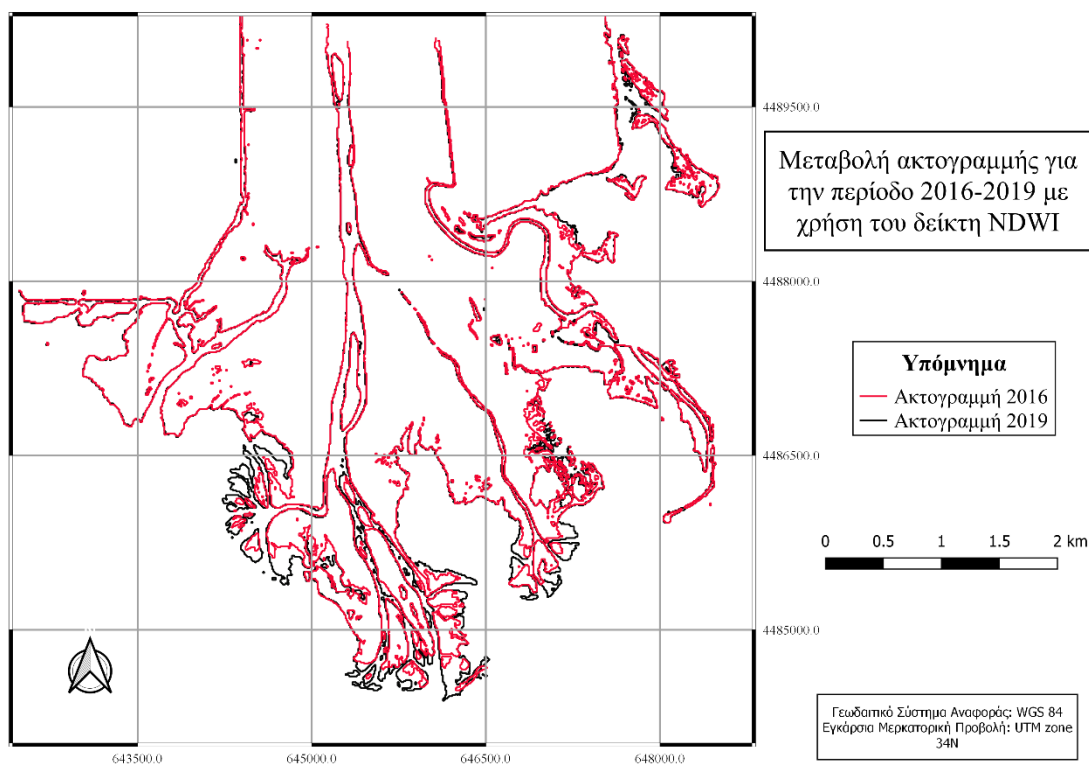
Χάρτης 3.1 Η φασματική ζώνη B8 του δορυφόρου Sentinel-2 για το έτος 2019



Χάρτης 3.2 Η δορυφορική εικόνα του Sentinel-2 μετά τη δημιουργία του δείκτη NDWI για το έτος 2019



Χάρτης 3.3 Μεταβολή της ακτογραμμής με χρήση της φασματικής ζώνης B8 για την περίοδο 2016-2019

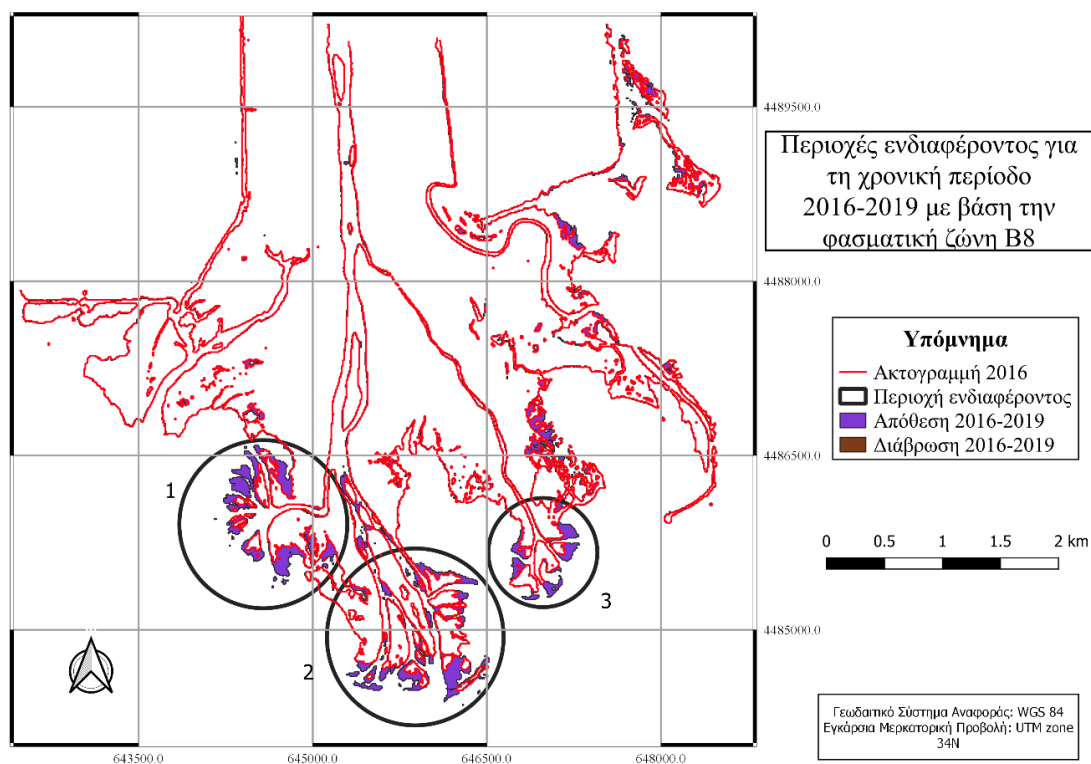


Χάρτης 3.4 Μεταβολή της ακτογραμμής με χρήση του δείκτη NDWI για την περίοδο 2016-2019

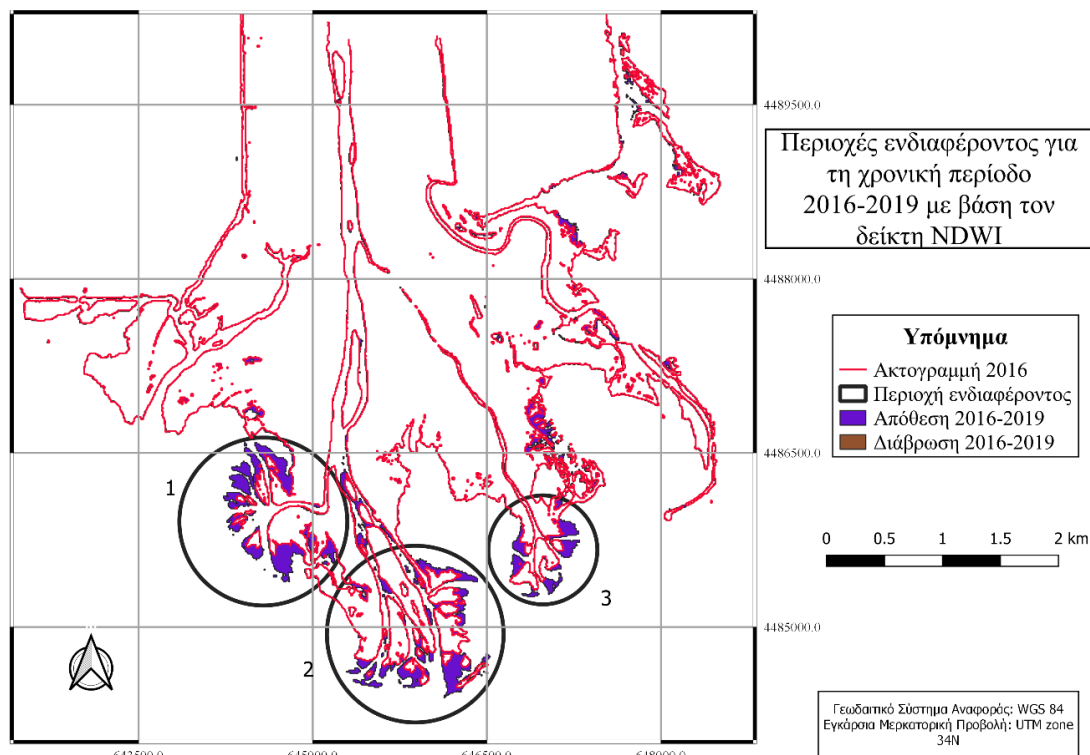
Παρατηρούνται κυρίως 3 περιοχές που φαίνεται να υπάρχει αποθετική δράση και αυτές παρουσιάζονται στους χάρτες 3.5 και 3.6 (βλ. παράρτημα) και οι επιφάνειες που καλύπτουν παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2. Υπάρχουν και άλλες μικρότερες περιοχές στο ανατολικό και βορειοανατολικό κομμάτι του δέλτα, οι οποίες όμως έχουν πολύ χαμηλό υψόμετρο και επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την παλίρροια και την κυματική δράση.

Πίνακας 3.2 Αποτελέσματα περιοχών ενδιαφέροντος

Μέθοδος		Περιοχή 1	Περιοχή 2	Περιοχή 3
B8	Απόθεση (m^2)	228965	238972	95487
	Ρυθμός (km^2/yr)	0,076	0,080	0,032
	Διάβρωση (m^2)	8027	13177	4009
	Ρυθμός (km^2/yr)	0,003	0,005	0,001
NDWI	Απόθεση (m^2)	254734	235727	86260
	Ρυθμός (km^2/yr)	0,085	0,079	0,029
	Διάβρωση (m^2)	7530	11253	3448
	Ρυθμός (km^2/yr)	0.003	0,004	0,001



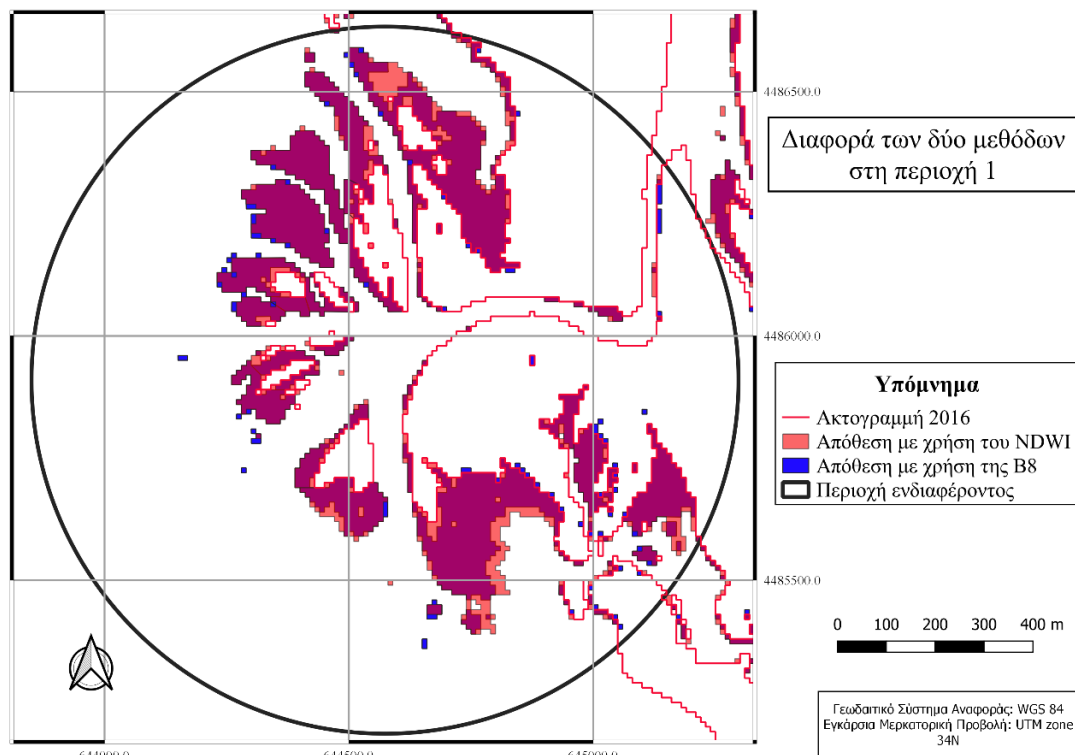
Χάρτης 3.5 Περιοχές ενδιαφέροντος με βάση τη B8 φασματική ζώνη για τη περίοδο 2016-2019



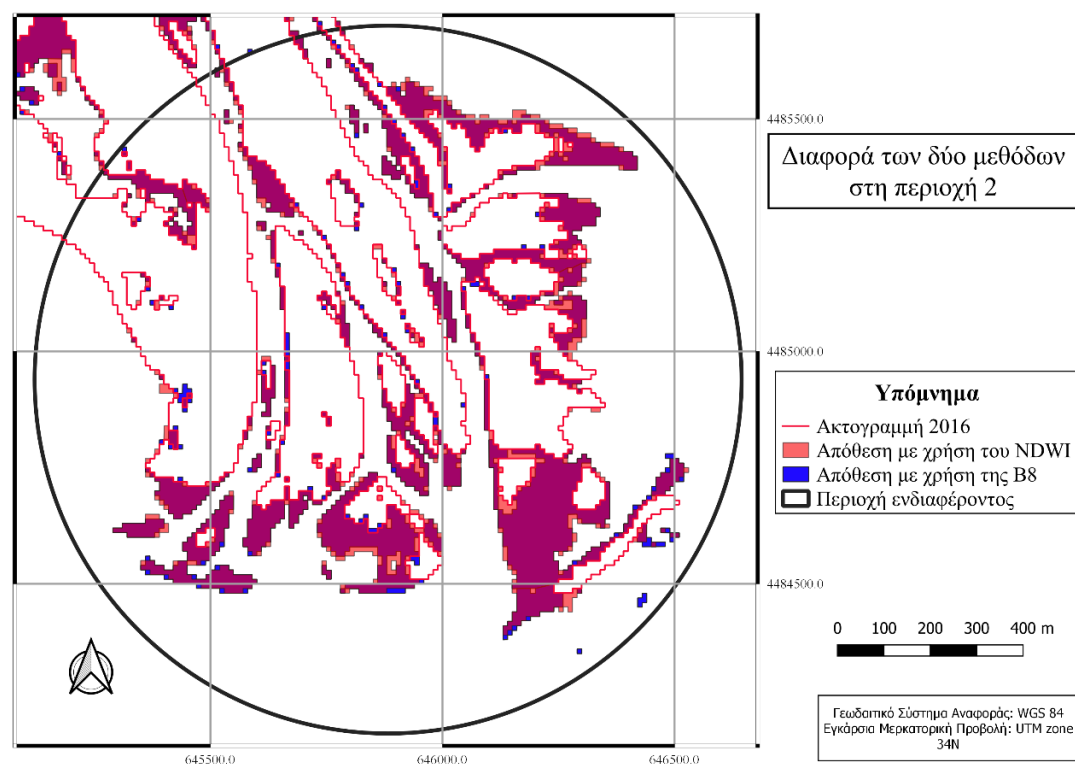
Χάρτης 3.6 Περιοχές ενδιαφέροντος με βάση τον δείκτη NDWI για τη χρονική περίοδο 2016-2019

Η αύξηση της επιφάνειας μέσα σε 3 χρόνια, κυρίως στις συγκεκριμένες περιοχές, είναι αρκετά μεγάλη με πάνω από 225000 m² στις περιοχές 1 και 2 και πάνω από 85000 m² στην 3. Συνολικά σε αυτές τις 3 περιοχές έχει αποτεθεί πάνω από το 50% των ιζημάτων τα τελευταία 3 χρόνια.

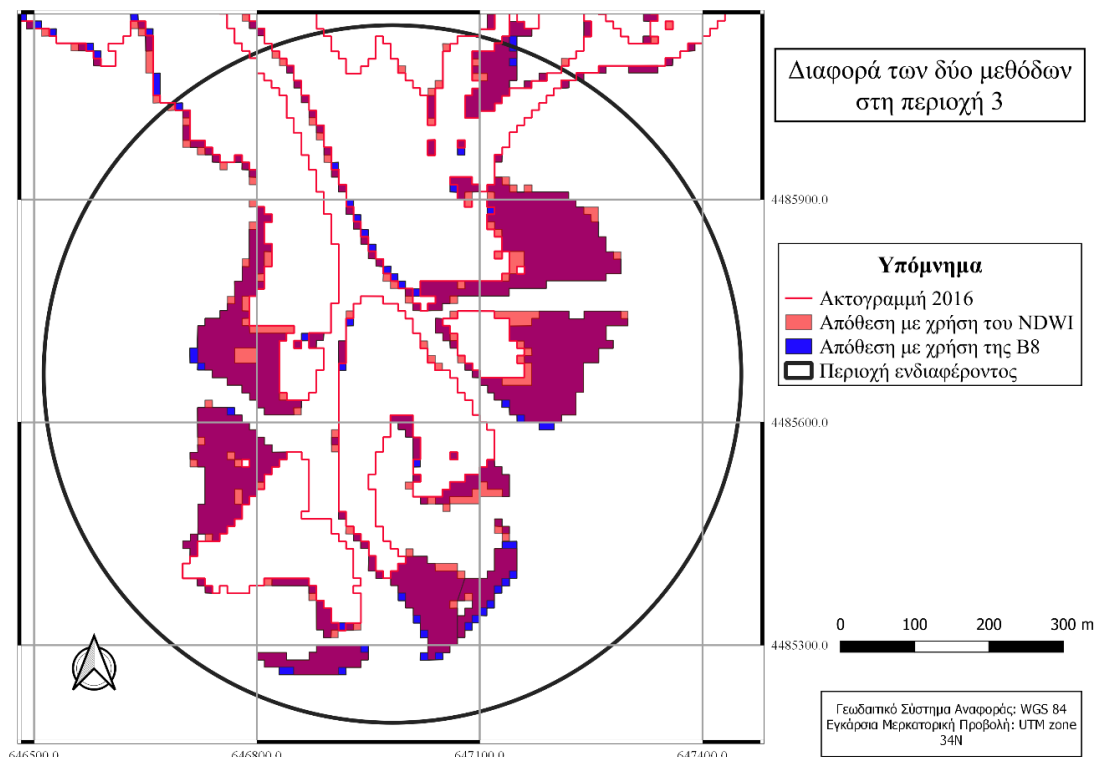
Οι διαφορές που εμφανίζονται ανάμεσα στις δύο μεθόδους στις 3 αυτές περιοχές απεικονίζεται στους χάρτες 3.7, 3.8 και 3.9. Στους συγκεκριμένους χάρτες, το χρώμα που αντιπροσωπεύει την απόθεση με τη χρήση του NDWI (κόκκινο) έχει υποστεί αύξηση της διαφάνειάς του, έτσι ώστε οι περιοχές που αλληλοκαλύπτονται να εμφανίζονται με μωβ χρώμα και οι περιοχές στις οποίες υπάρχει διαφορά να εμφανίζονται με το κανονικό τους χρώμα, κόκκινο και μπλε αντιστοίχως. Η μεγαλύτερη διαφορά υπάρχει στην περιοχή 1, κάτι που φαίνεται και από τα αποτελέσματα του πίνακα 3.2, καθώς το αποτέλεσμα του δείκτη NDWI είναι περίπου 25000 m² παραπάνω από της φασματικής ζώνης B8.



Χάρτης 3.7 Διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων στην περιοχή 1



Χάρτης 3.8 Διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων στην περιοχή 2



Χάρτης 3.9 Διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων στη περιοχή 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα των Αλμπανάκης κα. (1993) και Petropoulos et al. (2013) για την περιοχή μελέτης. Οι Αλμπανάκης κα. (1993) μελέτησαν την εξέλιξη του δέλτα του Αξιού για την περίοδο 1935-1989. Οι τελικοί χάρτες και οι αεροφωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν ανάλυση 1:100000. Στα αποτελέσματα της μελέτης τεκμηριώνεται μια πτώση του ρυθμού απόθεσης που είναι σημαντική από το 1970 και μετά. Οι Petropoulos et al. μελέτησαν την περιοχή του δέλτα του Αξιού για την περίοδο 1984-2009. Σε αυτήν την εργασία χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat TM και η εξαγωγή της ακτογραμμής έγινε με δύο μεθόδους, με φωτοερμηνεία και ψηφιοποίηση και με SVMs (Support Vector Machines). Τα αποτελέσματα και αυτής της εργασίας κατέδειξαν μειωμένη απόθεση και πτώση στους ρυθμούς απόθεσης στη περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη ελέγχονται και εξαρτώνται από την χωρική ανάλυση, στα 10 μέτρα, των δορυφορικών εικόνων που προσφέρονται, στη συγκεκριμένη περίπτωση από τον Sentinel-2. Επίσης, αυτή η εργασία δεν έχει λάβει υπόψη της τις αυξομειώσεις της στάθμης της θάλασσας που οφείλονται στην παλίρροια, η οποία πιθανά να επηρεάζει τις περιοχές του δέλτα με πολύ χαμηλό υψόμετρο.

Στον Πίνακα 4.1. συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης και των Αλμπανάκης κα. 1993, Petropoulos et al. 2013.

Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα συγκριτικά με παλαιότερες εργασίες

Περίοδοι	Επιφάνεια απόθεσης (m ²)	Ρυθμός απόθεσης (km ² /yr)	
1935-1945 (Αλμπανάκης κα. 1993)	3720000	0,372	
1945-1970 (Αλμπανάκης κα. 1993)	4500000	0,180	
1970-1989 (Αλμπανάκης κα. 1993)	920000	0,051	
1984-1990 (Petropoulos et al. 2013)	Photo interpretation SVMs	475000 327000	0,079 0,055
1990-2003 (Petropoulos et al. 2013)	Photo interpretation SVMs	126000 276000	0,010 0,021
2003-2009 (Petropoulos et al. 2013)	Photo interpretation	374000	0,029

et al. 2013)	SVMs	333000	0,056
2016-2019	B8	1034680	0,345
(παρούσα εργασία)	NDWI	1077350	0,359

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων των μελετών, των Αλμπανάκης κα. (1993) & Petropoulos et al. (2013) (Πίνακας 4.1.) προκύπτει ότι ο ρυθμός απόθεσης στην περιοχή του δέλτα του Αξιού ήταν αρχικά υψηλός την περίοδο 1935-1945 ενώ μετά άρχισε να μειώνεται. Ειδικά από το 1970 και μετά, και μέχρι το 2009 ο ρυθμός απόθεσης παρέμεινε σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα παίρνοντας την ελάχιστη τιμή $0,010 \text{ km}^2/\text{yr}$ την περίοδο 1990-2003. Η παρούσα έρευνα έδειξε ότι ανάμεσα στο 2009 και στο 2016, ο ρυθμός απόθεσης σημείωσε αύξηση αφού αντίστοιχα αυξήθηκε η απόθεση ιζημάτων. Ο ρυθμός απόθεσης για την περίοδο 2016-2019 υπολογίστηκε σε $0,359 \text{ km}^2/\text{yr}$, τιμή υψηλή η οποία μπορεί να συγκριθεί μόνο με την τιμή $0,372 \text{ km}^2/\text{yr}$ που υπολογίστηκε από τους Αλμπανάκης κα. (1993) για την περίοδο 1935-1945. Φαίνεται λοιπόν ότι ο ρυθμός απόθεσης στο δέλτα του Αξιού την περίοδο 2016-2019 τείνει ξανά σε αυτόν της περιόδου 1935-1945. Και οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα μελέτη έδειξαν παρόμοιους ρυθμούς απόθεσης που επιβεβαιώνουν την παραπάνω διαπίστωση. Η διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στις δύο μεθόδους πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι, ο δείκτης NDWI λαμβάνει υπόψιν του και τη φασματική ζώνη B3, δηλαδή τη ζώνη του πράσινου χρώματος. Έτσι, στον δείκτη NDWI, οι περιοχές που εμφανίζουν κάποιο είδος βλάστησης συμβάλλουν επιπλέον στον διαχωρισμό της θάλασσας από την ξηρά.

Η αύξηση του ρυθμού απόθεσης δείχνει ότι οι ισορροπίες στον Αξιό ποταμό έχουν μετατοπιστεί προς τα κατάντη και η επέκταση του δέλτα του Αξιού άρχισε ξανά να υλοποιείται με γρήγορους ρυθμούς. Υπολογίστηκε ότι στο διάστημα των τριών χρόνων από το 2016 έως το 2019, που κάλυψε αυτή η μελέτη, έχουν αποτεθεί ιζήματα που επέκτειναν το δέλτα σε μια έκταση ενός τετραγωνικού χιλιομέτρου. Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας δεν φαίνεται να επηρεάζει προς το παρόν την εξέλιξη του δέλτα, ούτε και η παρέμβαση στη ροή του Αξιού ποταμού με τη δημιουργία φραγμάτων δείχνει να επηρεάζει ιδιαίτερα τη μεταφορά του υλικού. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η προέλαση του δέλτα του Αξιού σημειώνεται κυρίως προς νότο και προς τα δυτικά επεκτείνοντας τους τρεις κύριους λοβούς του. Η ανατολική περιοχή του δέλτα παραμένει ανενεργή χωρίς ενδείξεις ιζηματοπόθεσης.

Poulos, S.E, Chronis, G.Th., Collins, M.B., Lykousis, V., 1999, Thermaikos Gulf Coastal System, NW Aegean Sea: an overview of water/sediment fluxes in relation to air-land-ocean interactions and human activities, *Journal of Marine Systems* 25, p.56

Ghilardi, M., Psomiadis, D., Cordier, S., Delanghe-Sabatier, D., Demory, F., Hamidi, F., Paraschou, T., Dotsika, E., Fouache, E., 2010, The impact of rapid early-to mid-Holocene paleoenvironmental changes on Neolithic settlement at Nea Nikomideia, Thessaloniki Plain, Greece, *Quaternary International* 266, p. 57

Ψιλοβίκος, Α. & Ψιλοβίκος, Α., 2017, *Ιζηματολογία*, σελ.145-148

Nichols, G., 2009, *Sedimentology and Stratigraphy*, Second Edition, Wiley-Blackwell, p.179-196

Αστάρας, Θ., Οικονομίδης, Δ., Μουρατίδης, Α., 2011, Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Εκδόσεις Δίσιγμα, σελ. 25-27, 31-42, 46-47

McFeeters, S.K., 1996, The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis Group

Αλμπανάκης, Κ., Βαβλιάκης, Ε., Ψιλοβίκος, Α., Σωτηριάδης, Α., 1993, Μηχανισμοί και εξέλιξη του δέλτα του Αξιού ποταμού κατά τον 20^ο αιώνα, 3^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο 1993

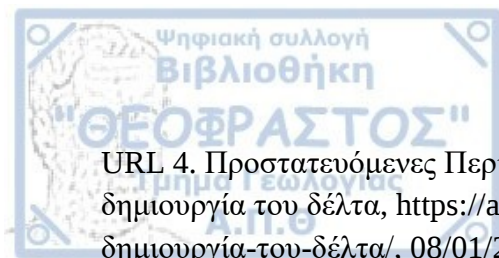
Petropoulos, G.P., Kalivas, D.P., Griffiths H.M., Dimou, P.P., 2013, Remote sensing and GIS analysis for mapping spatio-temporal changes of erosion and deposition of two Mediterranean river deltas: The case of the Axios and Aliakmonas rivers, Greece, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Elsevier

5.1 Ιστότοποι

URL 1. Encyclopedia Britannica, 20/07/1998, Vardar River, <https://www.britannica.com/place/Vardar-River>, 07/01/2020

URL 2. Προστατευόμενες Περιοχές Θερμαϊκού Κόλπου Φορέας Διαχείρισης, Οι ποταμοί, <https://axiosdelta.gr/εθνικό-πάрко/προστατευόμενη-περιοχή/οι-ποταμοί/>, 07/01/2020

URL 3. Προστατευόμενες Περιοχές Θερμαϊκού Κόλπου Φορέας Διαχείρισης, Φωτογραφικό Αρχείο, <https://axiosdelta.gr/εθνικό-πάрко/φωτογραφικό-αρχείο/>, 07/01/2020



URL 4. Προστατευόμενες Περιοχές Θερμαϊκού Κόλπου Φορέας Διαχείρισης, Η δημιουργία του δέλτα, <https://axiosdelta.gr/εθνικό-πάрко/προστατευόμενη-περιοχή/η-δημιουργία-του-δέλτα/>, 08/01/2020

URL 5. Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology_city?perifereia=Central%20Macedonia&poli=Thessaloniki_Mikra, 05/02/2020

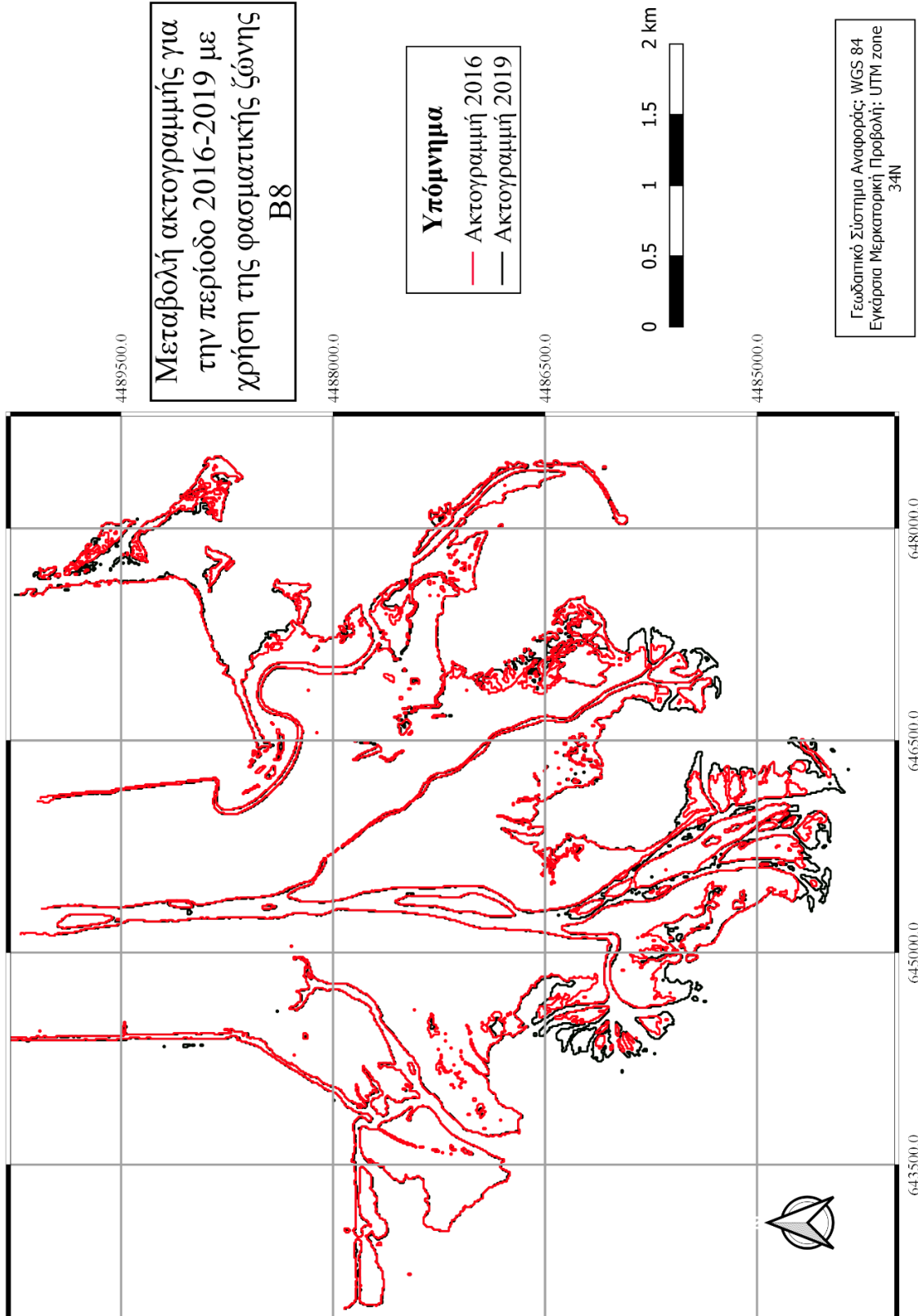
URL 6. ESA Sentinel Online, Overview, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/overview>, 09/01/2020

URL 7. ESA Sentinel Online, Resolution and Swath, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath>, 09/01/2020

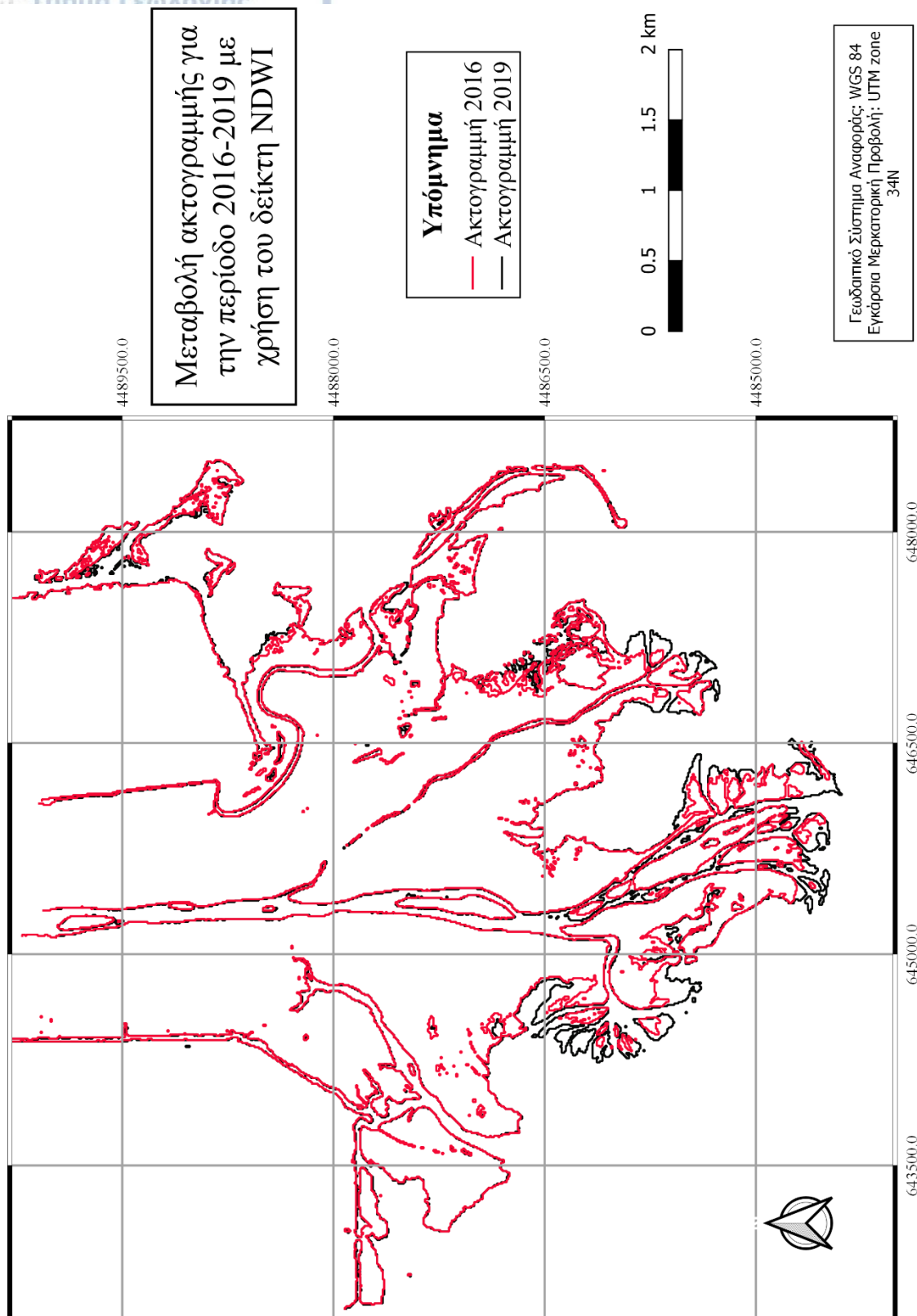
URL 8. ESA Sentinel Online, Data Products, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/data-products>, 09/01/2020

URL 9. ESA step science toolbox exploitation platform, <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>, 09/01/2020

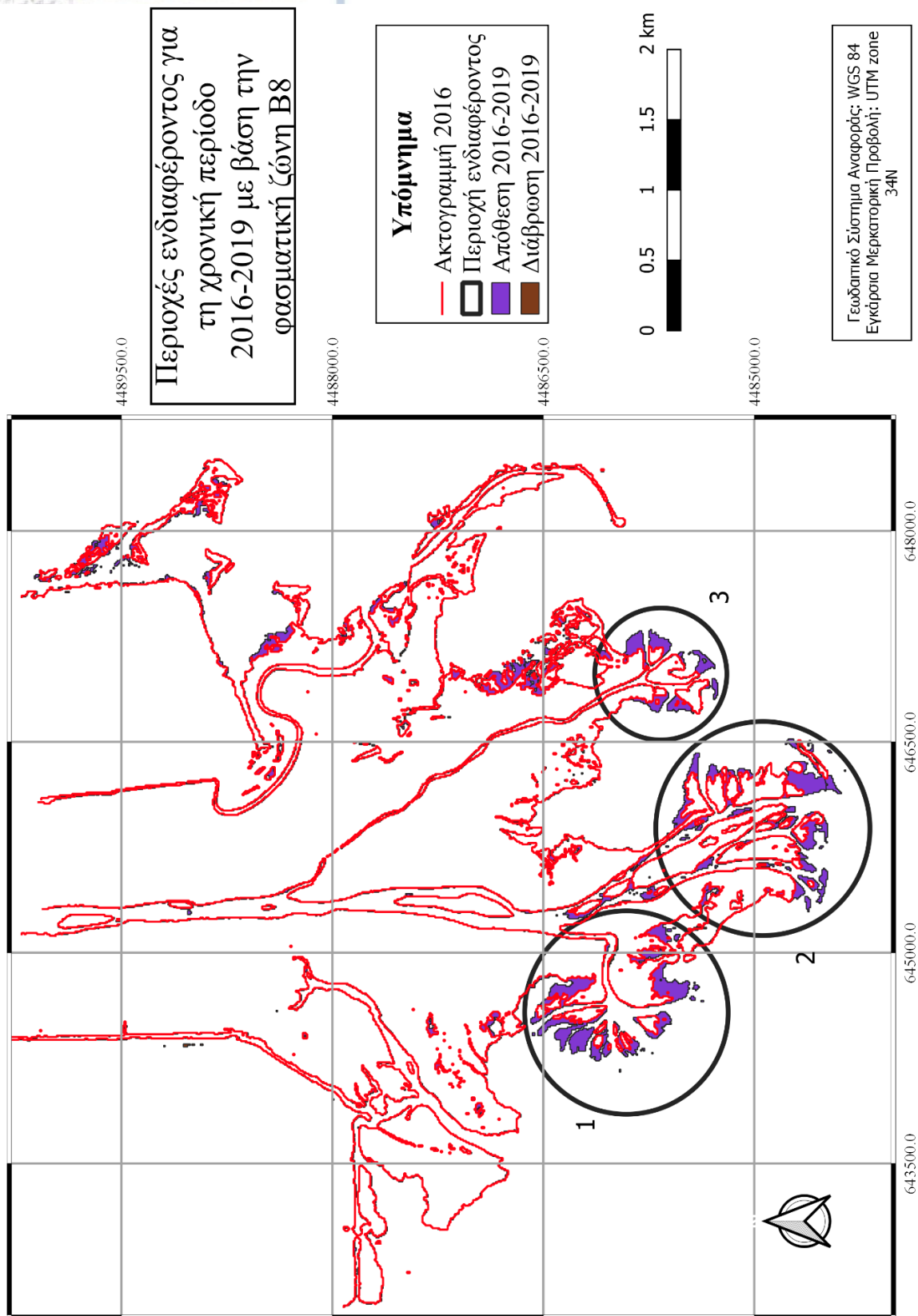
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



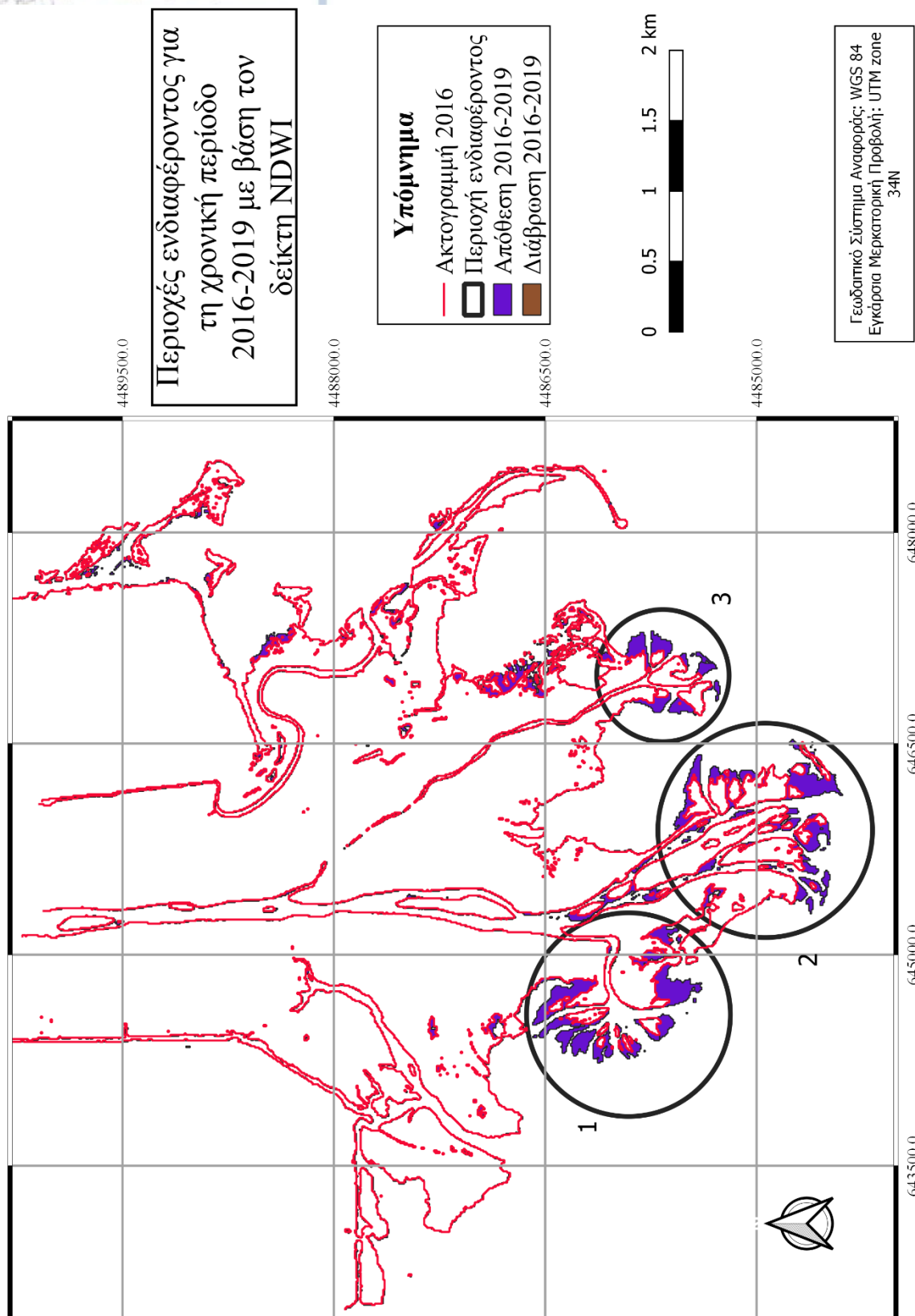
Χάρτης 1. Μεταβολή της ακτογραμμής για την περίοδο 2016-2019 με βάση τη φασματική ζώνη B8



Χάρτης 2. Μεταβολή της ακτογραμμής για την περίοδο 2016-2019 με βάση τον δείκτη NDWI



Χάρτης 3. Περιοχές ενδιαφέροντος για τη χρονική περίοδο 2016-2019 με βάση τη φασματική ζώνη B8



Χάρτης 4. Περιοχές ενδιαφέροντος για τη χρονική περίοδο 2016-2019 με βάση τον δείκτη NDWI