



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

**Παρακολούθηση Μεταβολών Ακτογραμμής με τη χρήση Διαστημικών
δεδομένων παρατήρησης της Γης : Η περίπτωση της Χαλκιδικής**

Πτυχιακή Εργασία

Καλεντέρογλου Στέφανος

Αθήνα, 2021



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Παρχαρίδης Ισαάκ (Επιβλέπων)

Καθηγητής, Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Καρύμπαλης Ευθύμιος

Καθηγητής, Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Νικολακόπουλος Κωνσταντίνος

Καθηγητής, Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

Ο/Η Καλεντέρογλου Στέφανος,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή κ. Παρχαρίδη Ι. για την ευκαιρία ανάθεσης της παρούσας πτυχιακής εργασίας και την βοήθεια του στην εκπόνηση της. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στο κ. Γκουγκουστάμο Ι. για την καθοδήγηση, τη βοήθεια και τις γνώσεις που μου μετέδωσε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη, την συμπαράσταση και την υπομονή που επέδειξε τον καιρό που χρειάστηκα για να ολοκληρώσω τη συγγραφή της πτυχιακής μου εργασίας αλλά και τον κύκλο σπουδών μου.

Περίληψη

Αυτή η διατριβή στοχεύει στη μελέτη των κινήσεων των ακτογραμμών στις χερσονήσους της Χαλκιδικής χρησιμοποιώντας Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) και τεχνικές Τηλεπισκόπησης. Η παρακολούθηση των αλλαγών των ακτογραμμών με την πάροδο του χρόνου είναι ιδιαίτερα σημαντική, τόσο για τον προσδιορισμό των επιπτώσεών τους στην ακτή και τους κοντινούς οικισμούς, όσο και για την αξιολόγηση μελλοντικών αλλαγών και κινδύνων. Ειδικά η διάβρωση των ακτών, η οποία είναι η μη αναστρέψιμη υποχώρηση της ακτογραμμής, μπορεί να έχει πολλές αρνητικές επιπτώσεις, τόσο κοινωνικοοικονομικές όσο και περιβαλλοντικές. Η απόθεση από την άλλη πλευρά, η μείωση του εδάφους, είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη καθώς παρέχει στην ακτογραμμή νέο υλικό που μπορεί να διαβρωθεί. Η τηλεπισκόπηση, δηλαδή η επιστήμη της παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση, είναι ένας σύγχρονος τρόπος μελέτης με ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και τεχνικών που προσφέρουν αξιόπιστα, ακριβή και χαμηλού κόστους αποτελέσματα. Η μελέτη χωρίζεται σε δύο κομμάτια για τις δύο ακτογραμμές μελέτης και το χρονικό διάστημα λήψης εικόνων είναι από το 2014 έως το 2020. Οι εικόνες οι οποίες πάρθηκαν για τις αναλύσεις προέρχονται από τους δορυφόρους Landsat της NASA και πιο συγκεκριμένα τον Landsat 8. Η σύγκριση των εικόνων μεταξύ τους ετησίως από τους χάρτες καθιστά τον εντοπισμό των διαφορών ιδιαίτερα δύσκολο, γι' αυτό το λόγο για την ανάλυση των εικόνων χρησιμοποιείται το εργαλείο ανάλυσης του ArcGIS Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.0. Με τη βοήθεια αυτού του εργαλείου καταφέρνουμε να παράξουμε χάρτες και στατιστικά αποτελέσματα τα οποία μας παρουσιάζουν με ακρίβεια τη διαχρονική κίνηση των ακτογραμμών. Εξετάζοντας αυτά τα προϊόντα θα προσδιορίσουμε ποια τμήματα της ακτογραμμής υπέστησαν διάβρωση και ποια απόθεση επηρεάζοντας έτσι τις ακτές και τον πληθυσμό που ζει κοντά τους.

Abstract

This dissertation aims at the study of coastline movements in the Halkidiki peninsulas using Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing technique. Monitoring coastline changes over time is particularly important, both to determine their impact on the coast and nearby settlements, and to assess future changes and risks. Especially coastal erosion, which is the irreversible decline of the coastline, can have many negative parameters, both socio-economic and environmental. Deposition on the other hand, soil reduction, is another important factor to consider as it provides new material that can erode on the shoreline. Remote sensing, that is, the science of observing phenomena and features from a distance, is a modern way of studying with a wide range of applications and techniques that offer reliable, accurate and low-cost results. The study is divided into two parts for the two coastlines and the image capture period is from 2014 to 2020. The images were taken for analyzing from NASA's Landsat satellites and more specifically the Landsat 8. The comparison of the images between them annually from the maps makes the detection of the different ones particularly difficult, for this reason for the analysis of the images the tool of analysis of the ArcGIS Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.0 is used. With the help of this tool we manage to deliver maps and statistical results that accurately present the movement of the coastlines over time. Examining these products we will determine which parts of the coastline have been eroded and which deposited thus affecting the coasts and the population living near them.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο 2: Παράκτιες Ζώνες.....	12
2.1. Διεργασίες παράκτιων ζωνών	12
2.2. Δυνάμεις Μεταβολής Ακτογραμμών.....	13
Κεφάλαιο 3: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	15
Κεφάλαιο 4: Περιοχή Μελέτης	19
4.1. Ανθρωπογεωγραφία της περιοχής μελέτης	21
4.1.1. Κάλυψη Γης Περιοχής Μελέτης.....	21
4.2. Φυσική Γεωγραφία της περιοχής	22
4.2.1. Γεωμορφολογία Περιοχής Νόμου Χαλκιδικής	22
4.2.2. Γεωλογία Περιοχής Μελέτης.....	23
4.2.3. Περιοχές NATURA 2000	25
4.3. Ακτογραμμές Περιοχής μελέτης	26
Κεφάλαιο 5: Η χρήση των διαστημικών δεδομένων παρατήρησης της Γης στην διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών της.	29
5.1 Εισαγωγή.....	29
5.2. Διαθέσιμοι δορυφόροι.....	30
5.2.1. Landsat 7.....	30
5.2.2. Landsat 8.....	32
5.3. Αρχείο δεδομένων Landsat	34
5.4. Ηλεκτρονικά διαθέσιμα Landsat δεδομένα	35
5.5. Το μέλλον του προγράμματος Landsat	35
Κεφάλαιο 6: Δεδομένα και Μεθοδολογία.....	37
6.1. Δεδομένα	37
6.1.1. Δορυφορικές Εικόνες.....	37
6.1.2. Δορυφόρος Landsat 8 και Επίπεδα προϊόντων.....	37

6.2. Μεθοδολογία.....	40
6.2.1. Εξαγωγή ακτογραμμών από τις δορυφορικές εικόνες.....	40
6.2.2. Αξιολόγηση των μετακινήσεων των ακτογραμμών	41
6.2.3. Digital Shoreline Analysis System (DSAS v. 5.0).....	42
Κεφάλαιο 7: Αποτελέσματα	47
7.1. Αποτελέσματα Ακτογραμμής στο Δήμο Κασσάνδρας.....	47
7.2. Αποτελέσματα Ακτογραμμής στο Δήμο Σιθωνίας	56
Κεφάλαιο 8: Συζήτηση και Συμπεράσματα	64
Βιβλιογραφικές Αναφορές	67

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Τομείς Παράκτιας Ζώνης (Πηγή: Μουτζούρης, 1985)	13
Εικόνα 2: Απεικόνιση Νομού Χαλκιδικής.....	20
Εικόνα 3: Απεικόνιση Δήμων στο Νομό Χαλκιδικής	20
Εικόνα 4: Χάρτης απεικόνισης των Χρήσεων Γης (Corine) για το 2018.....	21
Εικόνα 5: Γεωμορφολογικός Χάρτης Νομού Χαλκιδικής	22
Εικόνα 6: Γεωλογικός Χάρτης Χαλκιδικής (πηγή Κλαράκης Α., 2015)	23
Εικόνα 7: Εδαφολογικός Χάρτης Περιοχής Μελέτης (πηγή: Υπουργείο Ενέργειας 2019)	24
Εικόνα 8: Απεικόνιση Περιοχών NATURA 2000 στις χερσονήσους της Χαλκιδικής (Πηγή: Υπουργείο Ενέργειας 2019)	25
Εικόνα 9: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στο Δήμο Κασσάνδρας.....	26
Εικόνα 10: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στον Δήμο Σιθωνίας	28
Εικόνα 11: Αποστολές Landsat σε σειρά και ιστορία διαχείρισης. Οι διακεκομμένες ράβδοι αφορούν αναμενόμενα μελλοντικά σχέδια διαχείρισης. (Πηγή: NASA/Landsat Legacy Project Team)	30
Εικόνα 12: Απεικόνιση του Landsat 7 σε τροχιά. (Πηγή: USGS)	32
Εικόνα 13: Απεικόνιση Landsat 8 πάνω από τη Γη (Πηγή: USGS).....	34
Εικόνα 14: Παράδειγμα εικόνων με χρήση του δείκτη NDWI στην περιοχή μελέτης.....	40
Εικόνα 15: Παράδειγμα επαναταξινομημένων εικόνων στην περιοχή μελέτης	41
Εικόνα 16: Επεξήγηση στατιστικού μεγέθους End Point Rate (EPR) Πηγή: Himmelson E.A., 2009	43
Εικόνα 17: Γραφική επεξήγηση στατιστικού μεγέθους Linear Regression Rate (LRR) Πηγή: Himmelson E.A., 2009.....	44
Εικόνα 18: Γραφική επεξήγηση στατιστικού μεγέθους Weighted Linear Regression (WLR) Πηγή: Himmelson E.A., 2009	45
Εικόνα 19: Διαχρονική Απεικόνιση Ακτογραμμών στο Δήμο Κασσάνδρας.....	48
Εικόνα 20: Διαχρονική Απεικόνιση Ακτογραμμών στο Δήμο Κασσάνδρας (μικρότερη κλίμακα).....	49
Εικόνα 21: Ρυθμός Μεταβολής Ακτογραμμής (LRR) Δήμου Κασσάνδρας 2014-2020	50
Εικόνα 22: Μέγιστη Διαχρονική Μεταβολή Ακτογραμμής μεταξύ των ετών 2014-2020	52
Εικόνα 23: Διαχρονική Απεικόνιση Ακτογραμμών στο Δήμο Σιθωνίας.....	56
Εικόνα 24: Διαχρονική Απεικόνιση Ακτογραμμών στο Δήμο Σιθωνίας (μικρότερη κλίμακα).....	57
Εικόνα 25: Ρυθμός Μεταβολής Ακτογραμμής (LRR) Δήμου Σιθωνίας 2014-2020	58
Εικόνα 26: Μέγιστη Διαχρονική Μεταβολή Ακτογραμμής μεταξύ των ετών 2014-2020	60

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Χρονική κλίμακα μεταβολών ακτογραμμών από φυσικά αίτια (Πηγή: Δουκάκης Ε., 2007) ..	14
Πίνακας 2: Χρονική κλίμακα μεταβολών ακτογραμμών από ανθρωπογενή αίτια (Πηγή: Δουκάκης Ε., 2007).....	14
Πίνακας 3: Προϊόντα Δεδομένων και οι προδιαγραφές τους.....	37
Πίνακας 4: Στατιστικά μεγέθη που υπολογίζει το εργαλείο DSAS (πηγή: Himmelstoss E.A. et all 2009)...	42
Πίνακας 5: Ποσοστία μετακίνηση ακτογραμμών ανά έτος.....	51
Πίνακας 6: Πίνακας στατιστικών Διάβρωσης/Απόθεσης/Μετακίνησης ακτογραμμής Δήμου Κασσάνδρας σε μέτρα (2014-2020)	53
Πίνακας 7: Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Διάβρωσης/Απόθεσης	54
Πίνακας 8: Μέγιστη Μετακίνηση των Ακτογραμμών.....	55
Πίνακας 9: Ποσοστία μετακίνηση ακτογραμμών ανά έτος.....	59
Πίνακας 10: Πίνακας στατιστικών Διάβρωσης/Απόθεσης/Μετακίνησης ακτογραμμής Δήμου Κασσάνδρας σε μέτρα (2014-2020)	61
Πίνακας 11: Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Διάβρωσης/Απόθεσης	62
Πίνακας 12: Μέγιστη Μετακίνηση των Ακτογραμμών.....	63

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Το παράκτιο περιβάλλον είναι ένα ιδιαίτερα δυναμικό σύστημα το οποίο επηρεάζεται ακόμα και από τις μικρότερες περιβαλλοντικές μεταβολές και ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα παράκτια συστήματα φιλοξενούν πληθώρα διεργασιών οι οποίες εξαρτώνταν μέχρι πρόσφατα από κλιματικές αλλαγές. Επιπλέον οι παράκτιες περιοχές ελκύουν ευκολότερα την εγκατάσταση πληθυσμού δημιουργώντας έτσι επιπρόσθετα περιβαλλοντικά προβλήματα λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και της εκμετάλλευσης του φυσικού πλούτου αυτών των περιοχών.

Οι ραγδαίες αλλαγές που συμβαίνουν τις τελευταίες δεκαετίες στο κλίμα του πλανήτη και η γενικότερη αύξηση της θερμοκρασίας της Γης έχει καταστήσει αναγκαία την περαιτέρω διερεύνηση και κατανόηση των παράκτιων συστημάτων και των διαχρονικών μεταβολών τους. Για τη σωστή διαχείριση των παράκτιων περιοχών είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε πλήρως τα φαινόμενα και τις διεργασίες που συμβάλουν στις μεταβολές τις ακτογραμμής.

Η Χαλκιδική είναι μια περιοχή με ιδιαίτερη φυσική ομορφιά η οποία χαρακτηρίζεται από τις τρεις χερσονήσους που βρίσκονται σε αυτή. Βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος και οι τρεις αυτοί χερσόνησοι δημιουργούν 2 κόλπους, τον κόλπο του Αγίου Όρους και τον Τορωνέο Κόλπο. Η περιοχή είναι ιδιαίτερης σημασίας με αρκετές ακτές τις οποίες εκμεταλλεύονται οι ντόπιοι κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων οι παράκτιες περιοχές της Χαλκιδικής έχουν γίνει ιδιαίτερα ευάλωτες και ακόμα υποφέρουν από σοβαρούς παράκτιους κινδύνους όπως η αύξηση της στάθμης της θάλασσας αλλά ακόμα και από μεταβολές οι οποίες είναι μέρος της παράκτιας υποχώρησης η οποία παρατηρείται σε ακτές παγκοσμίως και οφείλεται σε βραχυπρόθεσμες ανθρώπινες δραστηριότητες.

Οι επιπτώσεις της καταστροφής ή ακόμα και απλά διάβρωσης των ακτών είναι πολλές, γι' αυτό το λόγω είναι αναγκαίο να παρατηρήσουμε το ρυθμό με τον οποίο διαβρώνονται και να βγάλουμε συμπεράσματα για το πως θα προστατεύσουμε τις ευάλωτες αυτές ακτές αλλά και να ερευνήσουμε τεχνικές για την παρατήρηση του φαινομένου αυτού με υψηλή ακρίβεια.

Με τη χρήση Διαστημικών δεδομένων παρατήρησης από τους δορυφόρους Landsat 8 θα χαρτογραφηθεί με ακρίβεια η περιοχή μελέτης καθώς και η διαχρονικές μεταβολές της ακτογραμμής με δεδομένα από το 2014 και μετά. Για τη μελέτη παράκτιων περιοχών διαθέτουμε αρκετά εργαλεία για την άντληση πληροφοριών.

Κεφάλαιο 2: Παράκτιες Ζώνες

Η παράκτια ζώνη είναι ένα πολύ δυναμικό γεωμορφολογικό σύστημα όπου οι αλλαγές συμβαίνουν σε διαφορετικές χρονικές και χωρικές κλίμακες, κυρίως λόγω της διάβρωσης, φυσικής ή ανθρωπογενούς. Οι παράκτιες ζώνες αποτελούν περιοχές υψηλής σημασίας και η διαχείριση και προστασία τους είναι σημαντική διότι είναι περιοχές που είναι συνήθως ιδιαίτερα κατοικημένες και αποφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη στην οικονομία μίας χώρας. Επιπλέον, οι παραλίες αποτελούν από μόνες τους μεγάλα οικοσυστήματα, τα οποία περιέχουν ποικίλα είδη χλωρίδας και πανίδας. Αυτή η ελκυστικότητα των παράκτιων ζωνών δημιουργεί αντίστοιχα πιέσεις από τους ντόπιους για την ανάπτυξη τους, με τρόπο που θα διασφαλίσει την αειφορία τους και θα αποφύγει καταστροφικές επιπτώσεις σε αυτές. (Karymbalis, 2010)

2.1. Διεργασίες παράκτιων ζωνών

Οι παράκτιες ζώνες είναι περιοχές στις οποίες λαμβάνουν χώρα αρκετές φυσικές διεργασίες οι οποίες επηρεάζουν το ανάγλυφο τους. Κάποιες από αυτές είναι οι εξής:

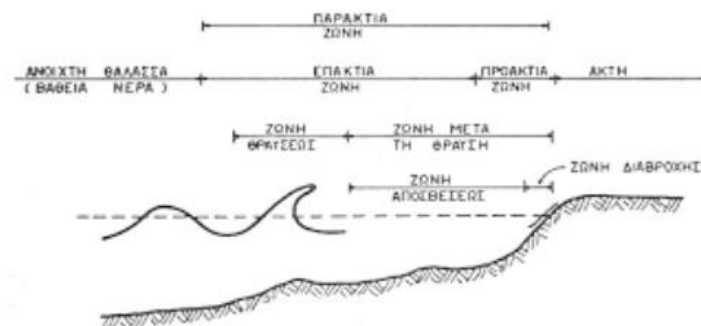
- Μεταφορά και απόθεση ιζημάτων
- Μεταφορά ενέργειας και κίνηση υδάτινων μαζών
- Μεταβολή της μορφής της παράκτιας ζώνης

Η διάβρωση ορίζεται σαν τη μη αναστρέψιμη υποχώρηση της ακτογραμμής προς την ηπειρωτική πλευρά της ακτογραμμής. Είναι μία φυσική διαδικασία η οποία ιδιαίτερα όταν επιταχύνεται μπορεί να έχει ιδιαίτερες περιβαλλοντικές αλλά και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Η προμήθεια και εναπόθεση ιζημάτων αναφέρεται στον εφοδιασμό της παράκτιας ζώνης με ιζήματα από την ευρύτερη περιοχή και τον τρόπο εναπόθεσης τους στην παράκτια ζώνη. Ανάλογα με την ποσότητα του ιζήματος που παρέχεται, συμβάλλει είτε στην απόθεση ή στη διάβρωση. (Karymbalis, 2010)

Επιπλέον θα μπορούσαμε να διακρίνουμε τις παράκτιες ζώνες σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες:

- Την ζώνη πριν τη θραύση: Πεδίο όπου οι παραμορφώσεις των κυμάτων είναι εμφανείς
- Την ζώνη θραύσης: Χαρακτηρίζεται σαν το δυναμικό τμήμα της παράκτιας ζώνης όπου λαμβάνει χώρα η θραύση των κυμάτων
- Την ζώνη μετά τη θραύση: η οποία υποδιαιρείται σε ζώνη διαβροχής και σε ζώνη απόσβεσης

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας άρα και της διαβρωτικής ικανότητας των κυμάτων αποσβένεται στη ζώνη θραύσης. (εικόνα 1) (Karymbalis, 2010)



Εικόνα 1: Τομείς Παράκτιας Ζώνης (Πηγή: Μουτζούρης, 1985)

2.2. Δυνάμεις Μεταβολής Ακτογραμμών

Στη συγκεκριμένη μελέτη οι ακτογραμμές παρουσιάζονται απλά σαν ένα απλό γεωγραφικό χαρακτηριστικό, όμως οι ακτογραμμές είναι ένα πολύ πιο δυναμικό φαινόμενο στο οποίο αλληλοεπιδρά η ακτή με την θάλασσα προκαλώντας διάβρωση ή απόθεση ανάλογα με κάποιους παράγοντες οι οποίοι μπορεί να είναι φυσικοί ή ανθρωπογενείς.

Φυσικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις μεταβολές στις ακτογραμμές είναι η παλίρροια, η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, οι κυματισμοί, το κλίμα, το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, η τροφοδοσία ιζημάτων, η επιφανειακή απορροή και τα ακραία καιρικά φαινόμενα.

Πέρα από τα φυσικά αίτια τα οποία προκαλούν μεταβολές στις ακτογραμμές, οι ανθρωπίνες επεμβάσεις είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας και επηρεάζουν ιδιαίτερα τη δυναμικότητα του φαινομένου της μεταβολής. Αυτές οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις θα μπορούσαν να είναι κατασκευές όπως προβλήτες, κυματοθραύστες, μικρά τοπικά λιμάνια, προκυμαίες ή και ακόμα φράγματα σε ποταμούς τα οποία μειώνουν τη ροή του νερού προς τη θάλασσα. Επιπλέον, ένα

λιγότερο γνωστό φαινόμενο είναι η παράνομη λάξευση και η αμμοληψία, που είναι ιδιαίτερα καταστροφικές για τις ακτές αν γίνεται σε μεγάλη κλίμακα. (Δουκάκης Ε., 2007)

Πίνακας 1: Χρονική κλίμακα μεταβολών ακτογραμμών από φυσικά αίτια (Πηγή: Δουκάκης Ε., 2007)

Κλίμακα (χρονική – χωρική)	Φυσικά αίτια
Αιώνες ή χιλιετηρίδες – περισσότερο των 100km	☛ Διαθεσιμότητα σε ιζήματα ☛ Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης ☛ Κατακόρυφες κινήσεις του πυθμένα ☛ Γεωλογικό υπόβαθρο ☛ Γεωλογικής κλίμακας κλιματικές αλλαγές ☛ Παλαιομορφολογία
Δεκάδες χρόνια έως μερικούς αιώνες – 10 έως 100km	☛ Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης ☛ «Κύματα άμμου» ☛ Τοπικές κλιματικές μεταβολές ☛ Ακραία καιρικά φαινόμενα
1 έως 10 χρόνια – 1 έως 5km	☛ Κλιματικές μεταβολές κυμάτων ☛ Μεταβολή του αναβαθμού της ζώνης κυματαγωγής ☛ Ακραία καιρικά φαινόμενα
Ωρες έως 1 έτος – 10m έως 1km	☛ Κύματα, παλίρροιες και καταγίδες ☛ Εποχιακές κλιματικές αλλαγές

Πίνακας 2: Χρονική κλίμακα μεταβολών ακτογραμμών από ανθρωπογενή αίτια (Πηγή: Δουκάκης Ε., 2007)

Κλίμακα (χρονική – χωρική)	Ανθρωπογενή αίτια
Αιώνες ή χιλιετηρίδες – περισσότερο των 100km	☛ Κλιματικές αλλαγές προκαλούμενες από ανθρώπινες δραστηριότητες ☛ Μεταβολή στην απορροή μεγάλων ποταμών (φράγματα κλπ) ☛ Μεγάλες παράκτιες κατασκευές ☛ Αναμορφώσεις της παράκτιας ζώνης σε μεγάλη κλίμακα ☛ (Μη)Διαχείριση παρακτίων ζωνών με σειρά από τεχνικά έργα
Δεκάδες χρόνια έως μερικούς αιώνες – 10 έως 100km	☛ Μεταβολή στην απορροή ποταμών (φράγματα κλπ) ☛ Παράκτια τεχνικά έργα ☛ Αναμορφώσεις της παράκτιας ζώνης ☛ Παράκτια (μη) διαχείριση ☛ Υπερεκμετάλλευση φυσικών πόρων
1 έως 10 χρόνια – 1 έως 5km	☛ Κατασκευές στη ζώνη κυματαγωγής ☛ Ανατροφοδότηση παραλίων με άμμο
Ωρες έως 1 έτος – 10m έως 1km	☛ Κατασκευές στη ζώνη κυματαγωγής ☛ Ανατροφοδότηση παραλίων με άμμο

Κεφάλαιο 3: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στη συγκεκριμένη μελέτη ο Vassilakis E. και η Papadopoulou-Vrynioti K. (2014) αναλύουν τις κινήσεις της ακτογραμμής σε μία δελταϊκή περιοχή του Ξηροπόταμου στο βόρειο τμήμα την Εύβοιας. Για την έρευνά τους χρησιμοποίησαν δεδομένα από εναέριες φωτογραφίες, κατέγραψαν κατά μήκος την ακτογραμμή με υψηλής ακρίβειας GPS. Στη συνέχεια δημιούργησαν χάρτες στους οποίους με τη βοήθεια του προγράμματος DSAS (Digital Shoreline Analysis System) του ArcGIS μέτρησαν τις διαχρονικές διαφορές στην ακτογραμμή της περιοχής. Τέλος, τα αποτελέσματά τους περιέχουν χάρτες στους οποίους διακρίνουμε τις διαχρονικές διαφορές των ακτογραμμών από το 1945 έως το 2011 και κάποια διαγράμματα από το DSAS τα οποία μας δείχνουν την κίνηση της ακτογραμμής στα διαφορετικά κομμάτια της.

Ο Ζορμπάς Ε. (2016) στην μελέτη του, τονίζει, ότι η χρήση μεθόδων γεωπληροφορικής έχει αρκετά πλεονεκτήματα στον τομέα της μελέτης των παράκτιων ζωνών. Αναλύει τη διάβρωση σε δύο περιοχές μελέτης στην Κύπρο, στις οποίες υπάρχουν έντονες ανθρώπινες επεμβάσεις. Για την ανάλυση των δύο ακτογραμμών, ο συγγραφέας, κάνει χρήση του λογισμικού DSAS του ArcGIS πάνω σε διανυσματικά δεδομένα που προέρχονται από ορθοφωτοχάρτες και δορυφορικές εικόνες για το χρονικό διάστημα από το 1963 έως και το 2008 καταλήγοντας στην εξαγωγή ποιοτικών αποτελεσμάτων με ελάχιστη αβεβαιότητα.

Η παρούσα εργασία από τον Demir N. και άλλοι (2016) αναλύει και αυτή, τη διάβρωση των ακτογραμμών για μία περιοχή στο Πουέρτο Ρίκο αλλά χρησιμοποιεί μία διαφορετική τεχνική. Η συγκεκριμένη εργασία αναλύει δεδομένα SAR από το C band του Sentinel-1. Με τον τρόπο αυτό γίνεται η διάκριση ανάμεσα στα pixel της εικόνας τα οποία θεωρούνται κομμάτια της χέρσου και στο κομμάτι του νερού χρησιμοποιώντας δείκτες για την ευκολότερη διάκριση των τιμών των pixel. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εμφανιστούν εικόνες που διαχωρίζουν τη θάλασσα με τη χέρσο από εικόνες SAR χαμηλής ανάλυσης η οποίες μετά από επεξεργασία θα μπορούσαν να συγκριθούν με την ακρίβεια που έχουν οι LIDAR εικόνες υψηλής ανάλυσης.

Στην παρούσα μελέτη οι Manno G. και άλλοι (2017) διερευνούν την περίπτωση την διάβρωσης των ακτογραμμών της νότιας Ιταλίας όπου υπάρχει έντονη οικονομική και τουριστική πίεση από τις ανθρώπινες δραστηριότητες για το χρονικό διάστημα από το 1994 έως το 2007. Στη συγκεκριμένη μελέτη οι συγγραφείς προσπαθούν να κατανοήσουν περισσότερο τη δυναμική της διάβρωσης της ακτογραμμής χρησιμοποιώντας το plug-in DSAS του ArcGIS σε συνδυασμό με μετρήσεις του μεγέθους των κυμάτων και της αστρονομικής και μετεωρολογικής παλίρροιας. Τα δεδομένα αυτά ταξινομούνται ανάλογα με την ένταση τους και στο τέλος παρουσιάζουν διαγράμματα τα οποία δείχνουν το ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής για κάθε κομμάτι της διαχρονικά.

Ο Zachoroulos και άλλοι (2018) στην έρευνα τους τονίζουν την ανάγκη για προστασία κατά της διάβρωσης των ακτογραμμών και στοχεύουν στην παρατήρηση του ρυθμού διάβρωσης ώστε να παρθούν μέτρα προστασίας των ακτογραμμών. Χρησιμοποιούν δεδομένα Landsat, RapidEye και Planetscope στην παραλιακή περιοχή του Παγγαίου για να μετρήσουν την διάβρωση των ακτών και την κίνηση των κυμάτων ώστε να καταλήξουν σε μία συσχέτιση μεταξύ των κυμάτων, παλίρροιών και άλλων παρατηρήσιμων γεγονότων με την διαφορά της ακτογραμμής διαχρονικά για τα έτη 1986-2018. Οι συγγραφείς εισήγαγαν τις εικόνες σε πρόγραμμα κατηγοριοποίησης 2 κλάσεων και σε φιλτράρισμα του αποτελέσματος Vector μορφής ώστε να γίνει πιο λεία και ευδιάκριτη η ακτογραμμή. Η έρευνα συμπεραίνει ότι λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων η διάβρωση των συγκεκριμένων ακτών έχει αυξηθεί ραγδαία με μικρές διακυμάνσεις οι οποίες οφείλονται στην διεύθυνση και στην ομαλή επιφάνεια περιοχών της ακτογραμμής.

Οι Bera R. και Maiti R. (2019) στην έρευνα τους, προσπαθούν να αναλύσουν τα ποσοστά διάβρωσης και απόθεσης των ακτογραμμών σε μία δελταϊκή περιοχή της Ινδίας. Αυτό το καταφέρνουν χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat από το 1975 έως και το 2017. Αρχικά χρησιμοποιούν τους αλγορίθμους Land Surface Water Index (LSWI) και Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) για να διαχωρίσουν τις τιμές του νερού και της στεριάς/δάσους. Έπειτα με την βοήθεια του plug-in Digital Shoreline Analysis System (DSAS) του ArcGIS διαίρεσαν την περιοχή μελέτης τους σε 8.578 μικρότερα κομμάτια των 100 μέτρων για τα οποία εμφάνισαν δεδομένα για την μετακίνηση της ακτογραμμής διαχρονικά.

Στη συγκεκριμένη εργασία, ο Taufik και άλλοι (2019) ερευνούν την διάβρωση των ακτογραμμών με τη χρήση Sentinel-2A δεδομένων με χωρική διακριτική ικανότητα 10 μέτρων με απώτερο σκοπό την ακριβή μέτρηση των μετακινήσεων της ακτογραμμής διαχρονικά. Με τη χρήση Sentinel δεδομένων τους δίνεται η δυνατότητα να έχουν πιο ακριβείς μετρήσεις και να καταλήξουν σε αποτελέσματα με μεγάλη λεπτομέρεια και ακρίβεια για την υποχώρηση που υπέστη η ακτογραμμή σε μία περίοδο 4 χρόνων. Για την εύρεση αποτελεσμάτων η ερευνητές συνδύασαν το κοντινό υπέρυθρο, το κόκκινο του ορατού και το πράσινο του ορατού για να δημιουργήσουν μία ψευδέχρωμη εικόνα στην οποία φαίνεται πιο λεπτομερώς η διαφορά στεριάς και θάλασσας, διαχωρίζοντας τα με βάση τις χρωματικές διαφορές. Η συγκεκριμένη εργασία κατέληξε στο ότι η κίνηση της ακτογραμμής τα χρόνια 2015-2018 ήταν -1,099 μέτρα.

Ο Yulianto F. και άλλοι (2019) πραγματεύονται τη σημασία που έχει η χρήση των δορυφορικών δεδομένων για την ανάλυση των παράκτιων περιοχών και των φυσικών ή ανθρωπογενών μεταβολών σε αυτές. Τονίζουν ότι τα Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών διευκολύνουν την ακριβή καταγραφή των διαχρονικών μεταβολών της ακτογραμμής στην παράκτια περιοχή Pekalongan στην Ινδονησία. Αυτό το καταφέρνουν χρησιμοποιώντας Landsat δεδομένα από το 1978 έως και το 2017 αναλύοντας φασματικά δεδομένα διαχωρίζοντας την ακτή από την Java Sea με τη χρήση του δείκτη NDWI(Normalized Difference Water Index) για το NIR band και για το SWIR band των Landsat δορυφορων αλλά και με τη χρήση του plug-in DSAS του ArcGIS το οποίο μετράει το ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής σε ένα χρονικό διάστημα.

Στην παρούσα μελέτη, η Constantino D. και άλλοι (2020) πραγματεύονται τη χρησιμότητα των δεδομένων Sentinel-2 για τη χαρτογράφηση των παράκτιων περιοχών της Ιταλίας με στόχο την χαρτογράφηση των ακτογραμμών με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Τα δεδομένα του Sentinel-2 επεξεργάστηκαν με τη χρήση δύο δεικτών (NDWI & MNDWI) ώστε να χαρτογραφηθούν οι ακτογραμμές και στη συνέχεια επιβεβαιώθηκε η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μέσω σύγκρισης με εικόνες υψηλής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα φανερώνουν ότι με την κατάλληλη ανάλυση μπορούμε να αποτυπώσουμε γρήγορα αλλά κυρίως με ακρίβεια την ακτογραμμή χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα (Sentinel 2).

Ο Trinh Hung L. και άλλοι(2020) χρησιμοποιούν δορυφορικά δεδομένα για να ανιχνεύσουν τυχόν διαφορές σε ακτογραμμές του Βιετνάμ την περίοδο 1988 έως 2018. Διάλεξαν τις χρονιές μετά το 1988 διότι υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούν, που προέρχονται από τους δορυφόρους Landsat 5 και Landsat 8. Οι συγγραφείς για να διαχωρίσουν οπτικά την στεριά με τη θάλασσα πέρα από τους ήδη προαναφερμένους τρόπους επεξεργασίας των εικόνων όπως το Normalized Difference Water Index (NDWI) χρησιμοποιούν και τους δείκτες Automated Extraction Water Index (AWEI) αλλά και τον Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) ο οποίος αντικαθιστά το κοντινό υπέρυθρο στον τύπο του NDWI με το πράσινο του ορατού. Με αυτούς τους τρόπους, οι συγγραφείς καταφέρνουν να εντοπίσουν τις αλλαγές στην ακτογραμμή με αρκετή ακρίβεια.

Ο Arjasakusuma S. και άλλοι (2021) αναλύουν την δυναμική των ακτών στην Ανατολική πολιτεία Java της Ινδονησίας, αναλύοντας δεδομένα από τους δορυφόρους Landsat 7 και Landsat 8 αλλά και Radar δεδομένα από τους ALOS Palsar και Sentinel-1. Οι συγγραφείς μετά από ανάλυση, χρησιμοποίησαν το plug-in του ArcGIS DSAS για να βγάλουν στατιστικά δεδομένα για μικρότερα κομμάτια της προαναφερθείσας ακτογραμμής. Στα αποτελέσματά τους παρατήρησαν μία μικρή απόθεση, αλλά η ακτογραμμή δέχτηκε αρκετές μεταβολές οι οποίες έλαβαν χώρα στο χρονικό διάστημα των 20 ετών.

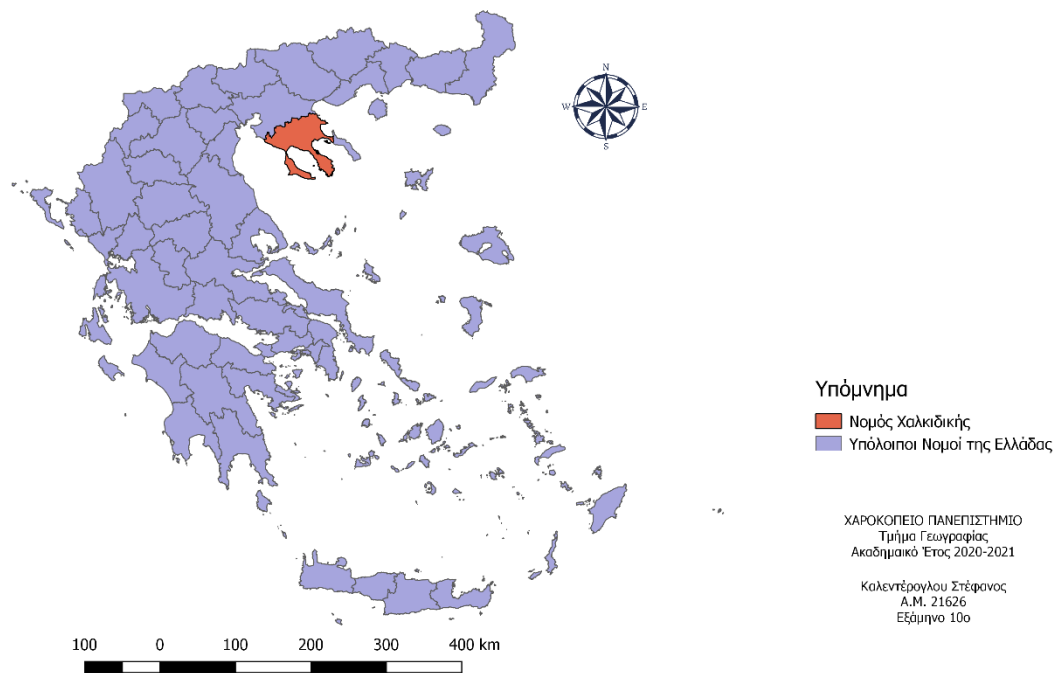
Κεφάλαιο 4: Περιοχή Μελέτης

Η Χαλκιδική αποτελείται από τη μεγάλη χερσόνησος της Μακεδονίας μεταξύ δύο κόλπων, του Θερμαϊκού και του Στρυμονικού, προεκτείνει τρεις μικρότερες χερσονήσους: την Κασσάνδρα (Φλέγρα ή Παλλήνη) στα νότια, τη Σιθωνία (Λογγός ή Λογκού) κεντρικά, μεταξύ του Τορωναίου και Σιγγιτικού κόλπου και το Άγιο Όρος (Ακτή ή Άθως) στα ανατολικά. Τα τρία αυτά "πόδια" συντελούν στο να έχει η Χαλκιδική μοναδική σχηματικά ιδιορρυθμία, αλλά και το μεγαλύτερο μήκος ακτών (550 χιλ. περίπου) από όλους τους χερσαίους νομούς της Ελλάδας.

Η Χαλκιδική είναι μια ημιορεινή περιοχή στην οποία τα πεδινά εδάφη καταλαμβάνουν το 25%, τα ορεινά το 24% και τα ημιορεινά το 51%. Τα κυριότερα όρη της είναι: ο Χολομώντας (1.165 υψ.), το Στρατονικό Όρος (823 υψ.), ο Ίταμος (753 υψ.) και ο Άθως (2033 υψ.). Ποτάμια δεν υπάρχουν, όμως οι μεγαλύτεροι χείμαρροι (όπως ο Χαβρίας, ο Ολύνθιος, ο Ανθεμούς κ.λ.π.) και οι διάσπαρτοι υδροβιότοποι συντηρούν τη χλωρίδα και πανίδα της περιοχής. Το μεγαλύτερο μέρος της χερσονήσου το καταλαμβάνει ο νομός Χαλκιδικής. Το βορειοδυτικό τμήμα της ανήκει στο νομό Θεσσαλονίκης, ενώ η χερσόνησος του Αγίου Όρους αποτελεί ξεχωριστή διοικητική περιφέρεια. Ο νομός Χαλκιδικής έχει έκταση 2.886 τετραγωνικά χιλιόμετρα και πληθυσμό 108.714 κατοίκους σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011, ο οποίος κατανέμεται σε 14 δήμους. Πρωτεύουσα του νομού Χαλκιδικής είναι ο Πολύγυρος με πληθυσμό περίπου 6.000 κατοίκους.

Η Χαλκιδική θεωρείται σαν μία μεγάλη χερσόνησος η οποία αποτελεί απόληξη της Κεντρικής Μακεδονίας προς το Αιγαίο Πέλαγος. Στα νότια της βρίσκονται τρεις μικρότεροι χερσόνησοι, η χερσόνησος Κασσανδρεία, ή χερσόνησος Σιθωνία και η χερσόνησος Άθως, οι οποίες βρέχονται από το Αιγαίο Πέλαγος και είναι πόλος έλξης τουριστών τους καλοκαιρινούς μήνες και συμβάλουν ιδιαίτερα στην τοπική οικονομική ανάπτυξη. Η συγκεκριμένη μελέτη αφορά τις δύο πρώτες χερσονήσους διότι η χερσόνησος Άθως είναι μία περιοχή η οποία έχει κυρίως Θρησκευτικό ενδιαφέρον. (Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, 2020)

Χάρτης 1: Απεικόνιση Νομού Χαλκιδικής



Εικόνα 2: Απεικόνιση Νομού Χαλκιδικής

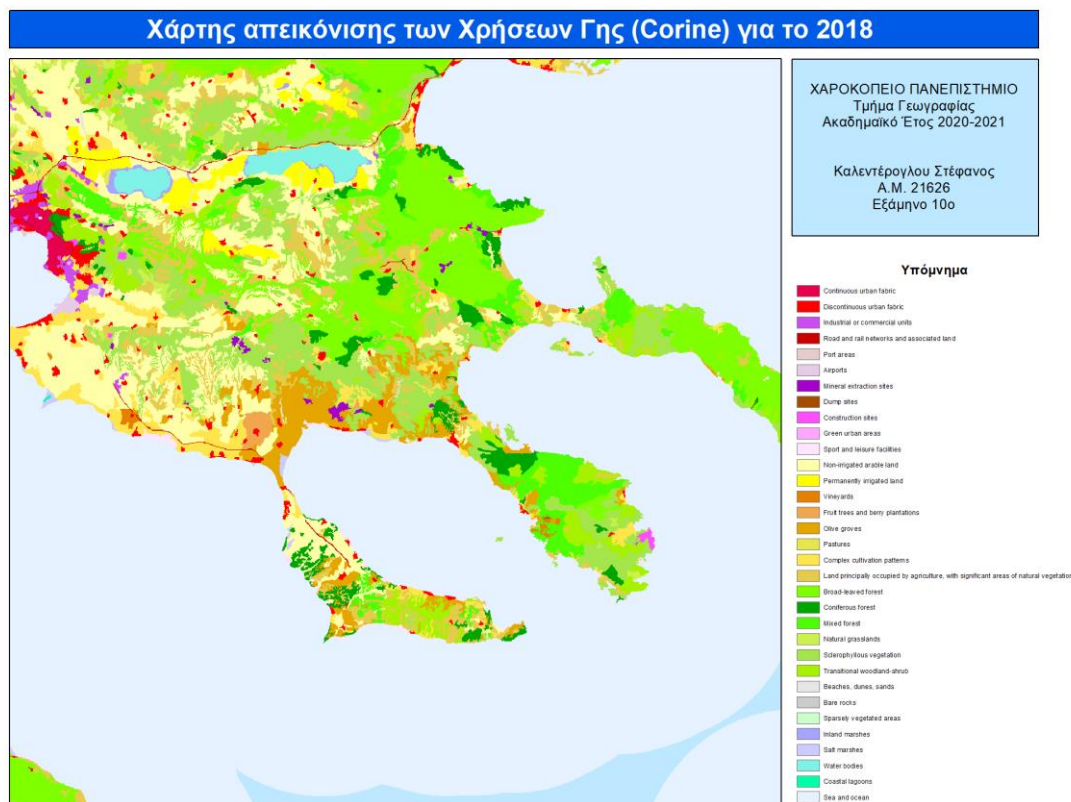
Χάρτης 2: Απεικόνιση Δήμων στο Νομό Χαλκιδικής



Εικόνα 3: Απεικόνιση Δήμων στο Νομό Χαλκιδικής

4.1. Ανθρωπογεωγραφία της περιοχής μελέτης

4.1.1. Κάλυψη Γης Περιοχής Μελέτης



Εικόνα 4: Χάρτης απεικόνισης των Χρήσεων Γης (Corine) για το 2018

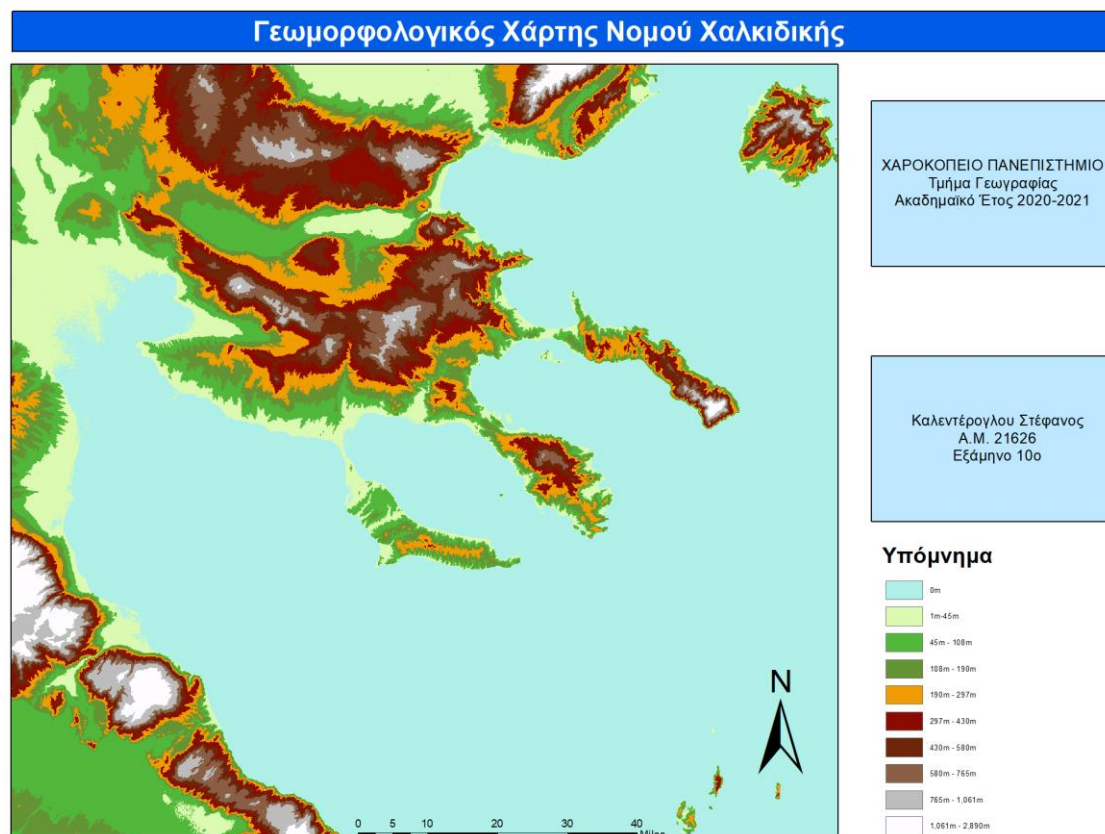
Οι περιοχές του Δήμου Κασσάνδρας, με βάση των παραπάνω χάρτη, έχουν έντονη παρουσία αγροτικών εκμεταλλεύσεων, αρκετές περιοχές με ελαιόδεντρα. Επιπλέον στο δυτικό κομμάτι του υπάρχει έντονη παρουσία κωνοφόρου δάσους ενώ στο πιο ανατολικό κομμάτι το δάσος είναι ανάμεικτο. Στη νότια πλευρά της χερσονήσου επίσης παρατηρούμε ότι βρίσκονται τρεις περιοχές με αστικό ιστό, αρκετά λιγότερες από τη βόρεια πλευρά που έχει ιδιαίτερα πυκνότερο αστικό ιστό.

Αντίθετα με το Δήμο Κασσάνδρας, ο Δήμος Σιθωνίας δεν έχει σχεδόν καθόλου αστικό ιστό με τρία μικρά χωριά να βρίσκονται σε αυτόν, ένα στη νότια πλευρά, ένα στη βόρεια και ένα κεντρικά. Σε αυτή τη χερσόνησο κυριαρχεί το πλατύφυλλο δάσος μαζί με κάποια μικρότερα

σημεία δάσους κωνοφόρων και φυσικών θάμνων, ενώ ακόμα παρατηρείται και μία περιοχή στην ανατολική πλευρά του νησιού στην οποία βρίσκεται ένα εργοτάξιο.

4.2. Φυσική Γεωγραφία της περιοχής

4.2.1. Γεωμορφολογία Περιοχής Νομού Χαλκιδικής



Εικόνα 5: Γεωμορφολογικός Χάρτης Νομού Χαλκιδικής

Η Χαλκιδική όπως παρατηρούμε από τον παραπάνω χάρτη στο κεντρικό της κομμάτι έχει μία ψηλή οροσειρά με τα μεγαλύτερα βουνά και τις κορυφές τους να είναι ο Χορτιάτης με ύψος 1.009μ. και ο Χολωμόντας με ύψος 1.165μ. ενώ το ανάγλυφο είναι κυρίως ημιορεινό. Όσον αφορά τις χερσονήσους, παρατηρούμε ότι οι δύο βορειοανατολικές έχουν ιδιαίτερα έντονο ανάγλυφο με υψηλές κλήσεις, ενώ η νοτιοδυτική χερσόνησος χαρακτηρίζεται από ένα πιο επίπεδο ανάγλυφο, χωρίς κάποιο σημαντικό βουνό και με χαμηλές κλήσεις.

23



Αντίστοιχα για την ακτογραμμή της περιοχής μελέτης που βρίσκεται στη χερσόνησο της Σιθωνίας συγκεντρώνονται αλλουβιακές αποθέσεις, λιμναίοι ασβεστόλιθοι, σχιστόλιθοι, χαλαζίας και αργιλικοί σχιστόλιθοι.

4.2.3. Περιοχές NATURA 2000

Χάρτης 5: Απεικόνιση Περιοχών NATURA 2000 στις χερσονήσους της Χαλκιδικής



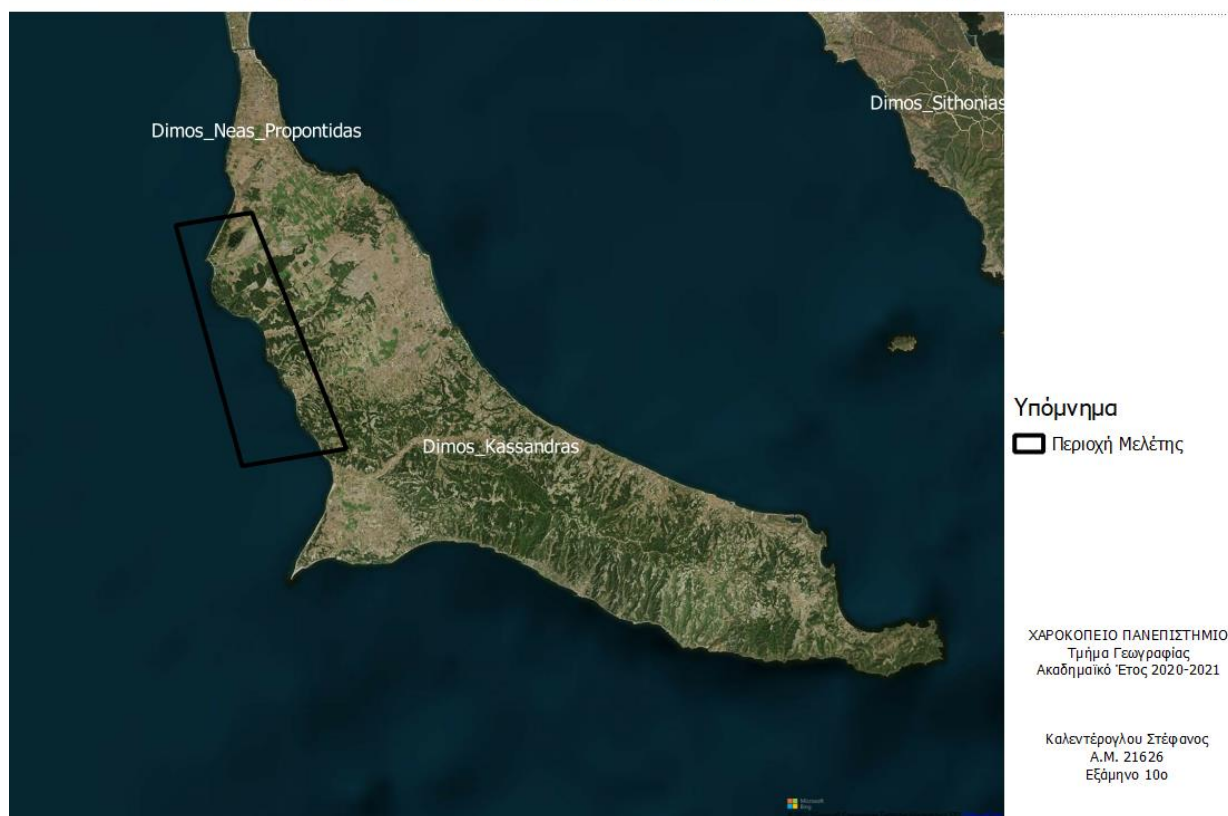
Εικόνα 8: Απεικόνιση Περιοχών NATURA 2000 στις χερσονήσους της Χαλκιδικής (Πηγή: Υπουργείο Ενέργειας 2019)

Ο παραπάνω χάρτης απεικονίζει τις περιοχές NATURA 2000 οι οποίες χωροθετούνται στις χερσονήσους όπου βρίσκονται και οι 2 ακτογραμμές που βασίζεται η μελέτη. Παρατηρούμε επίσης, ότι ένα τμήμα της ακτογραμμής στην χερσόνησο της Κασσάνδρας είναι μέρος προστατευόμενης περιοχής NATURA 2000, γεγονός που περιορίζει τις πιθανότητες να έχει υποστεί ανθρώπινες παρεμβάσεις.

4.3. Ακτογραμμές Περιοχής μελέτης

Η Κασσάνδρα είναι η δυτική χερσόνησος της Χαλκιδικής. Στην αρχαιότητα, ονομάζονταν και Παλλήνη. Η χερσόνησος της Κασσάνδρας περιβάλλεται από των Τορωναίο κόλπο στα βορειοανατολικά και από τον Θερμαϊκό Κόλπο στα νότια και νοτιοδυτικά. Είναι ένα από τα πιο φημισμένα μέρη στην Χαλκιδική με ιδιαίτερη τουριστική ανάπτυξη, έχοντας να επιδείξει πάρα πολλά, όσον αφορά τον πολιτιστικό και τον τουριστικό τομέα. Παρακάτω, παρουσιάζεται η χερσόνησος της Κασσάνδρας και η περιοχή μελέτης στην συγκεκριμένη χερσόνησο. (Halkidiki Project)

Χάρτης 3: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στον Δήμο Κασσάνδρας



Εικόνα 9: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στο Δήμο Κασσάνδρας

Η Σιθωνία είναι χερσόνησος του νομού Χαλκιδικής και αποτελεί την λεγόμενη μεσαία χερσόνησο από τις τρεις του νομού. Η χερσόνησος της Σιθωνίας χαρακτηρίζεται από γραφικές περιοχές με έντονο ανάγλυφο και τις οργανωμένες ή απομονωμένες παραλίες της, καθώς και δάση πεύκου που χαρακτηρίζουν το τοπίο της. Η χερσόνησος περιβάλλεται από τον Σιγγιτικό κόλπο στα ανατολικά και τον Τορωναίο κόλπο στα δυτικά (γνωστός και ως κόλπος της Κασσάνδρας). Στο κέντρο της χερσονήσου βρίσκεται το Όρος Ίταμος. Η Νικήτη αποτελεί και την έδρα του δήμου Σιθωνίας. Μεγαλύτερος οικισμός είναι ο Νέος Μαρμαράς, που βρίσκεται στην μέση της χερσονήσου και είναι το κυριότερο εμπορικό κέντρο της περιοχής. Στον μυχό της χερσονήσου βρίσκεται η περιοχή Καρτάλια, όπου βρίσκονται μερικές από τις πιο γνωστές παραλίες, όπως το Αζάπικο, η Τριστινίκα, ο Κόρακας, ο Μαραθιάς, το Καλαμίτσι, το Κριαρίτσι κ.ά. Στην άλλη πλευρά βρίσκουμε τον ημιορεινό οικισμό της Συκιάς με την παραλία της, την τουριστική Σάρτη, την Βουρβουρού και τον Όρμο Παναγιάς, που βρίσκεται στη αρχή της χερσονήσου. Επιπλέον ένα μεγάλο μέρος της Χερσονήσου το οποίο εκτείνεται από τη Βουρβουρού μέχρι το νότιο άκρο, έχει χαρακτηριστεί σαν προστατευόμενη περιοχή NATURA 2000. (Halkidiki Project)

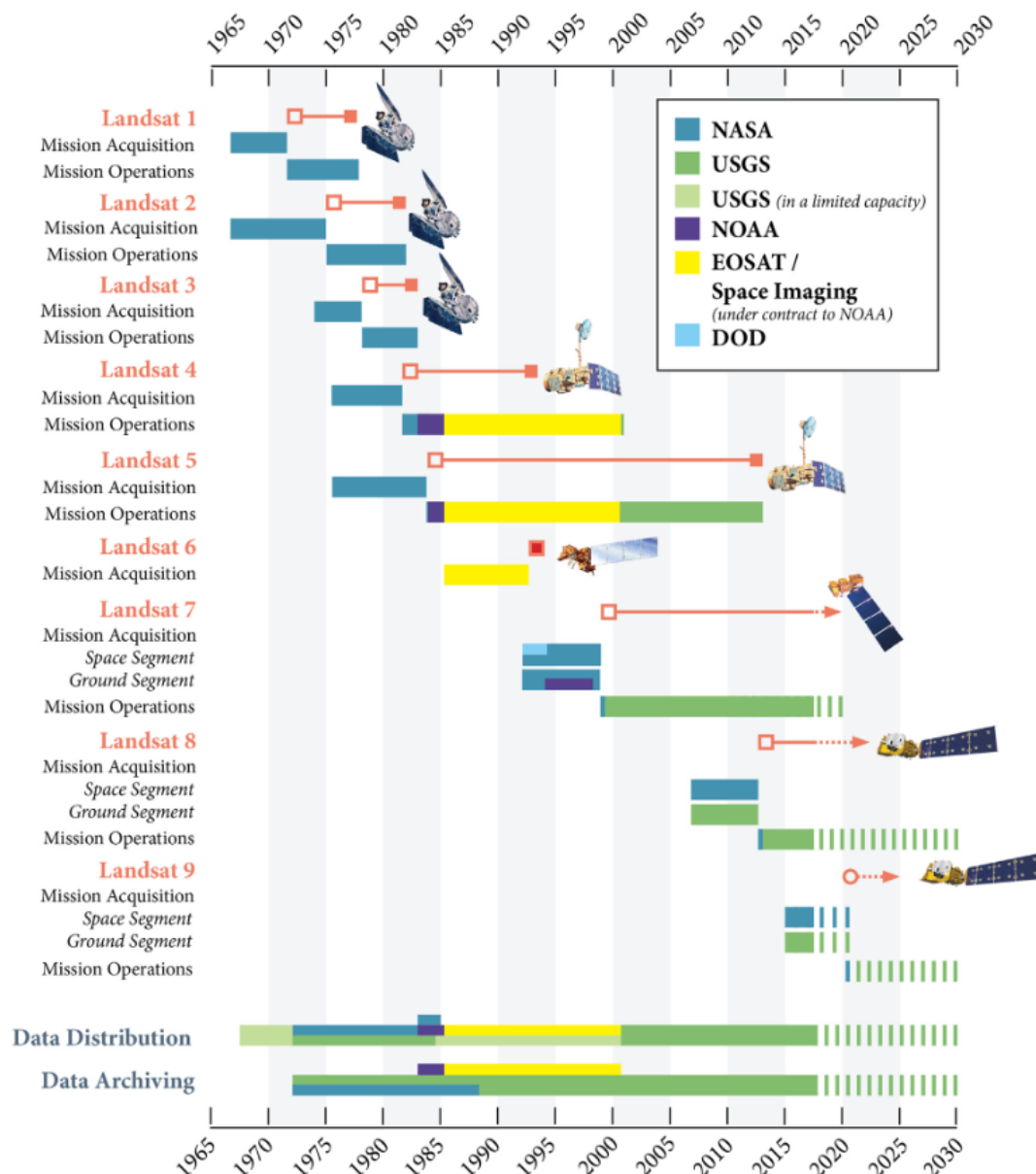


Εικόνα 10: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στον Δήμο Σιθωνίας

Κεφάλαιο 5: Η χρήση των διαστημικών δεδομένων παρατήρησης της Γης στην διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών της.

5.1 Εισαγωγή

Σχεδιασμένο στη δεκαετία του 1960, το πρόγραμμα Landsat γνώρισε έξι επιτυχημένες αποστολές οι οποίες συνέβαλαν σε ένα άνευ προηγουμένου 39χρονο ρεκόρ παρατηρήσεων της Γης, που αποτυπώνουν τις παγκόσμιες εδαφικές συνθήκες και δυναμικές. Οι συχνές μικρές βελτιώσεις στις ικανότητες απεικόνισης συνεχίζουν να ενισχύουν την ποιότητα των επιστημονικών δεδομένων Landsat, ενώ διασφαλίζεται η συνέχεια των δεδομένων που παράγονται από το πρόγραμμα. Οι δορυφόροι Landsat 7 και 8 εξακολουθούν να συλλέγουν εικόνες. Το αρχείο Landsat του Αμερικανικού Γεωλογικού Ινστιτούτου (USGS) περιέχει σχεδόν τρία εκατομμύρια εικόνες Landsat. Όλα τα δεδομένα του USGS διατίθενται χωρίς χρέωση μέσω του Διαδικτύου. Το USGS έχει δεσμευτεί να βελτιώσει το περιεχόμενο του ιστορικού αρχείου του Landsat μέσω της ενοποίησης των δεδομένων του Landsat που βρίσκονται σε διεθνή αρχεία. Επιπλέον, το USGS επεξεργάζεται μια στρατηγική για την ανάπτυξη γεωφυσικών και βιοφυσικών συνόλων δεδομένων Landsat υψηλότερου επιπέδου. Τέλος, προσπάθειες βρίσκονται σε εξέλιξη για τη μετάβαση του Landsat σε ένα συνεχές επιχειρησιακό πρόγραμμα με το Υπουργείο Εσωτερικών των ΗΠΑ με στόχο την έγκριση της ανάπτυξης των επόμενων δύο δορυφόρων Landsat 9 και 10. (Landsat Satellite Missions, USGS)



Εικόνα 11: Αποστολές Landsat σε σειρά και ιστορία διαχείρισης. Οι διακεκομμένες ράβδοι αφορούν αναμενόμενα μελλοντικά σχέδια διαχείρισης. (Πηγή: NASA/Landsat Legacy Project Team)

5.2. Διαθέσιμοι δορυφόροι

5.2.1. Landsat 7

Ο δορυφόρος Landsat 7 εκτοξεύτηκε στις 15 Απριλίου 1999 μεταφέροντας το όργανο ETM+(Enhanced Thematic Mapper) με 5ετή διάρκεια σχεδίασης αποστολής και βελτιωμένες δυνατότητες σε σχέση με τα προηγούμενα όργανα TM: πανχρωματική ζώνη ανάλυσης 15 μέτρων, ρυθμίσεις υψηλής και χαμηλής απολαβής ανά ζώνη βάσης και μια θερμική υπέρυθρη ζώνη 60 μέτρων που μειώθηκε τόσο σε λειτουργία υψηλής όσο και χαμηλής απόδοσης για να

βελτιστοποιήσει τις μετρήσεις της επιφάνειας της Γης. Διάφορες νέες έννοιες επιχειρήσεων εισήχθησαν επίσης με την αποστολή Landsat 7: ένα μακροπρόθεσμο σχέδιο απόκτησης (LTAP) που καθόρισε τη συστηματική συλλογή δεδομένων σε παγκόσμια βάση για την ανάπτυξη ενός συστήματος αξιολόγησης εικόνων που θα επέτρεπε τη καθημερινή καταγραφή εικόνων από το όργανο ETM+ κάνοντας εφικτή ταυτόχρονη απεικόνιση επιλεγμένων γεωγραφικών περιοχών σε μικρό χρονικό διάστημα. Τέλος ο Landsat 7 ξεπέρασε επίσης τη διάρκεια ζωής του τον Μάιο του 2004, αλλά παρουσίασε βλάβες σε ορισμένα από τα υποσυστήματα και τα εξαρτήματά του.

Ο δορυφόρος Landsat 7 περιστρέφεται γύρω από τη Γη σε μια ηλιοσύγχρονη, σχεδόν πολική τροχιά, σε υψόμετρο 705 χιλιομέτρων (438 μίλια), με κλίση στις 98,2 μοίρες, και κάνει μία πλήρη περιστροφή γύρω από τη Γη κάθε 99 λεπτά. Ο δορυφόρος έχει επαναλαμβανόμενο κύκλο 16 ημερών με χρόνο διέλευσης από τον ισημερινό: 10:00 π.μ. +/- 15 λεπτά. Τα δεδομένα Landsat 7 αποκτώνται στο σύστημα συντεταγμένων Worldwide Reference System-2 (WRS-2), με την επικάλυψη της γης (ή την πλευρική επικάλυψη) να κυμαίνεται από 7 τοις εκατό στον Ισημερινό έως το πολύ 85 τοις εκατό περίπου σε ακραία γεωγραφικά πλάτη. Η ενέργεια στο δορυφόρο παρέχεται από ένα ηλιακό πάνελ που ακολουθεί τον ήλιο και δύο 50 Ampere-Hour (Ahr) μπαταρίες. Ο δορυφόρος επίσης έχει απευθείας διαθέσιμη σύνδεση με τη γη για μεταφορά δεδομένων με ταχύτητα 150 Mbps. Τέλος ζυγλίζει περίπου 2,200 κιλά με μήκος 4,3 μέτρα και διάμετρο 2,8 μέτρα. (Landsat 7, USGS)

Ο Landsat 7 φέρει τον αισθητήρα Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), μια βελτιωμένη έκδοση των οργάνων Thematic Mapper που ήταν στα Landsat 4 και Landsat 5. Τα προϊόντα Landsat 7 παραδίδονται ως εικόνες 8-bit με 256 επίπεδα γκρι.

Το όργανο Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) ανιχνεύει 8 φασματικά κανάλια:

Καναλι 1 Μπλε του Ορατού (0.45 - 0.52 μm) 30m ανά πίξελ

Καναλι 2 Πράσινο του Ορατού (0.52 - 0.60 μm) 30m ανά πίξελ

Καναλι 3 Κόκκινο του Ορατού (0.63 - 0.69 μm) 30m ανά πίξελ

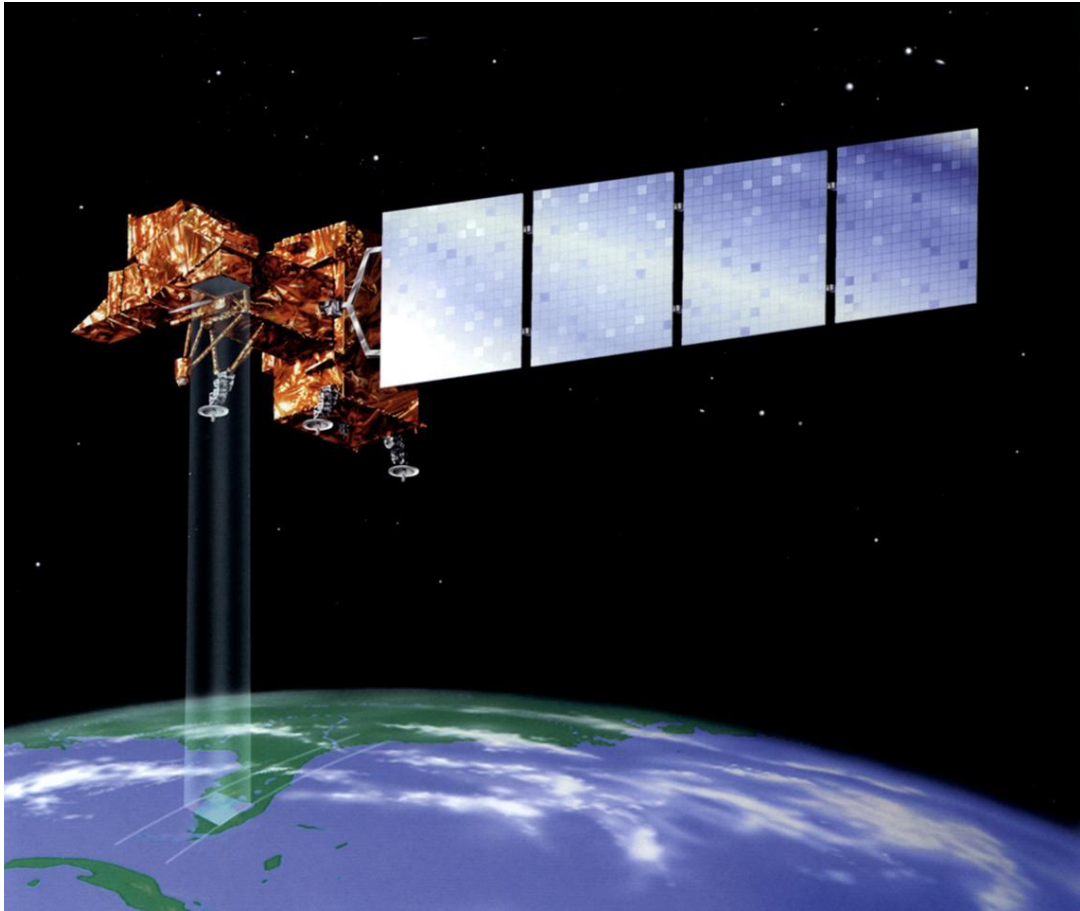
Καναλι 4 Κοντινό Υπέρυθρο (0.77 - 0.90 μm) 30m ανά πίξελ

Καναλι 5 Υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος 1 (1.55 – 1.75 μm) 30m ανά πίξελ

Καναλι 6 Θερμικό (10.40 - 12.50 μm) 60m ανά πίξελ

Καναλι 7 Υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος 2 (2.09 – 2.35 μm) 30m ανά πίξελ

Καναλι 8 Πανχρωματικό (0.52 - 0.9 μm) 15m ανά πίξελ



Εικόνα 12: Απεικόνιση του Landsat 7 σε τροχιά. (Πηγή: USGS)

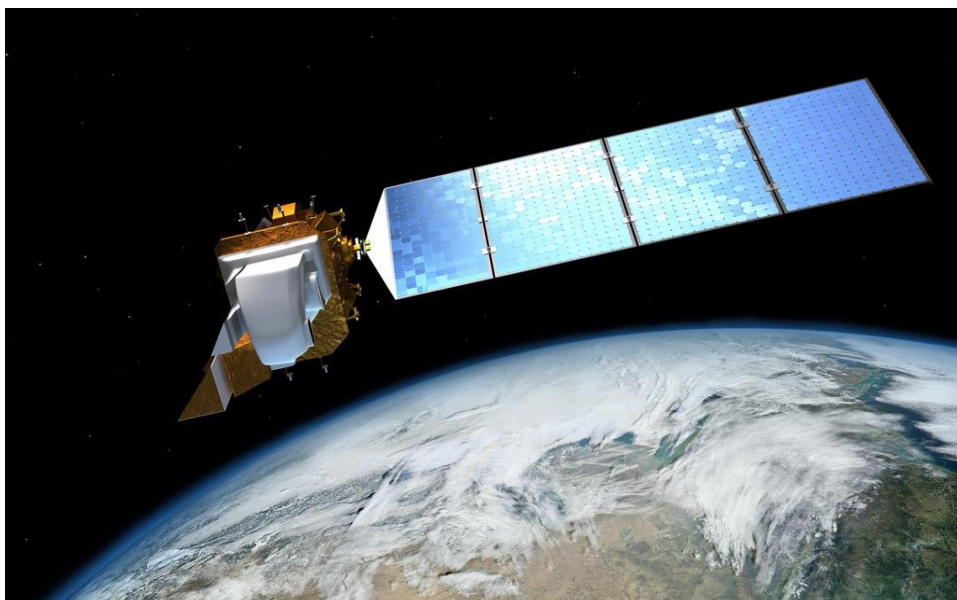
5.2.2. Landsat 8

Η NASA ξεκίνησε με επιτυχία στις 11 Φεβρουαρίου 2013 την αποστολή με όνομα USGS Landsat Data Continuity Mission (LDCM), διασφαλίζοντας τη συνέχεια του απaráμιλλου ρεκόρ Landsat. Μετά από 3 μήνες δοκιμών των δυνατοτήτων του LDCM από συνεργάτες της NASA και της LDCM, το USGS ξεκίνησε την κανονική του εργασία στις 30 Μαΐου 2013, μετονομάστηκε από LDCM σε Landsat 8. Τότε άνοιξε η πρόσβαση στα δεδομένα του Landsat 8 σε χρήστες παγκοσμίως, η μεγαλύτερη, συνεχής και άνευ προηγουμένου παγκόσμια έρευνα για τη γη (NASA, 2013). Η LDCM είναι η διάδοχος αποστολή στο Landsat 7 και έχει παίξει μεγάλο ρόλο στην συλλογή δορυφορικών δεδομένων παρακολούθησης της γης από το 2013.

Ο Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά το 2013 και καταγράφει δεδομένα σε 3,14 terabit σκληρούς δίσκους. Ο δορυφόρος περιστρέφεται γύρω από τη Γη σε μια ηλιακή σύγχρονη, σχεδόν πολική τροχιά, σε υψόμετρο 705 χλμ. (438 μίλια), με κλίση στις 98,2 μοίρες και ολοκληρώνει μία τροχιά της Γης κάθε 99 λεπτά. Έχει 16ήμερο κύκλο επανάληψης με ισημερινό χρόνο διέλευσης: 10:00 π.μ. +/- 15 λεπτά. Ο Landsat 8 αποκτά περίπου 740 σκηνές την ημέρα στο σύστημα συντεταγμένων Worldwide Reference System-2 (WRS-2), με επικάλυψη της γης (ή πλευρική επικάλυψη) που κυμαίνεται από 7 τοις εκατό στον ισημερινό έως το πολύ 85 τοις εκατό περίπου σε ακραία γεωγραφικά πλάτη. Φέρει το όργανο Operational Land Imager (OLI) με 9 φασματικές ζώνες και το όργανο Thermal Infrared Sensor (TIRS) με 2 φασματικές ζώνες. Το OLI καταγράφει δεδομένα με βελτιωμένη ακτινομετρική ακρίβεια σε δυναμικό εύρος 12-bit, το οποίο βελτιώνει τη συνολική αναλογία σήματος προς θόρυβο. Αυτό μεταφράζεται σε 4096 πιθανά επίπεδα γκρι, σε σύγκριση με μόνο 256 επίπεδα γκρι στα όργανα Landsat 1-7 8-bit. Η ισχύς του παρέχεται από μία ηλιακή συστοιχία 9 x 0,4 μέτρων και μία μπαταρία 125 Ampere-Hour (Ahr). Ζυγίζει 2.071 κιλά (4.566 λίβρες) πλήρως φορτωμένο με καύσιμο (χωρίς όργανα), έχει μήκος 3 μέτρα (9,8 πόδια) και διάμετρο 2,4 μέτρα (7,9 πόδια). Συνδέεται απευθείας με τους Solid State Recorders (SSR) και ο ρυθμός δεδομένων είναι 384 Mbps στη συχνότητα ζώνης Χ και 260,92 Mbps στη συχνότητα ζώνης S. (Landsat 8, USGS)

Το όργανο OLI του Landsat 8 είναι αυτό που μας έδωσε τα απαραίτητα δεδομένα για να προχωρήσουμε την παρακάτω ανάλυση. Αυτό το όργανο ανιχνεύει 9 φασματικά κανάλια

- Κανάλι 1 (0.43 – 0.45 μm) 30m ανά πίξελ
- Κανάλι 2 Μπλε του ορατού (0.45 – 0.51 μm) 30m ανά πίξελ
- Κανάλι 3 Πράσινο του ορατού (0.53 – 0.59 μm) 30m ανά πίξελ
- Κανάλι 4 Κόκκινο του ορατού (0.64 – 0.67 μm) 30m ανά πίξελ
- Κανάλι 5 Κοντινό Υπέρυθρο (0.85 – 0.88 μm) 30m ανά πίξελ
- Κανάλι 6 Υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος (1.57 – 1.65 μm) 30m ανά πίξελ
- Κανάλι 7 Υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος (2.11 – 2.29 μm) 30m ανά πίξελ
- Κανάλι 8 Παγχωματικό (0.5 – 0.68 μm) 15m ανά πίξελ
- Κανάλι 9 (1.36 – 1.38 μm) 30m ανά πίξελ



Εικόνα 13: Απεικόνιση Landsat 8 πάνω από τη Γη (Πηγή: USGS)

5.3. Αρχείο δεδομένων Landsat

Το αρχείο Landsat που διαχειρίζεται η United States Geological Survey (USGS) περιλαμβάνει σχεδόν τρία εκατομμύρια σκηνές που καλύπτουν τη γη και χρονολογούνται από το 1972, και περίπου 440 νέες σκηνές Landsat ETM+ προστίθενται καθημερινά στο αρχείο. Μεταξύ αυτών, 225–250 Landsat 7 εικόνες λαμβάνονται κάθε μέρα, ανάλογα με την ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας στη γη για μια δεδομένη ημέρα. Από αυτά, περίπου 140 προστίθενται στα αρχεία της USGS. Το Landsat 8 συλλέγει κατά μέσο όρο 340 σκηνές την ημέρα, εκ των οποίων 300 προστίθενται στα αρχεία της USGS. Αυτές οι αποστολές περιλαμβάνουν μια μοναδική, μακροπρόθεσμη, συστηματική συλλογή εικόνων μέτριας ανάλυσης (χωρική ανάλυση 10–100 m) των παγκόσμιων χερσαίων μαζών, με αποτέλεσμα ένα εκτεταμένο παγκόσμιο αρχείο Landsat και τη μεγαλύτερη δορυφορική καταγραφή παρατηρήσεων της επιφάνειας της γης. Όλα τα δεδομένα Landsat που κατέχονται από το USGS αρχειοθετούνται σε κασέτες και ένα ψηφιακό αντίγραφο κάθε εικόνας αποθηκεύεται επίσης εκτός ιστότοπου. Τα αρχεία Landsat μεταφέρονται περιοδικά σε νέα μέσα αποθήκευσης για λόγους διατήρησης. Προκειμένου να μειωθεί η καθυστέρηση παραγωγής προϊόντων, το USGS βρίσκεται στη διαδικασία μεταφοράς όλων των δεδομένων επιπέδου 0 (ακατέργαστων και μη μορφοποιημένων) σε ηλεκτρονική αποθήκευση, προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση της επεξεργασίας κατά την παραγωγή προϊόντων. (Landsat Satellite Missions, USGS)

5.4. Ηλεκτρονικά διαθέσιμα Landsat δεδομένα

Στα τέλη του 2008, μετά από αλλαγές στην πολιτική δεδομένων USGS-NASA Landsat, το Υπουργείο Εσωτερικών των ΗΠΑ ανακοίνωσε ότι όλα τα δεδομένα Landsat θα "βρίσκονται συνεχώς διαθέσιμα ηλεκτρονικά", πράγμα που σημαίνει ότι ένα τυπικό προϊόν Landsat θα διατίθεται από τα αρχεία του USGS μέσω ηλεκτρονικής διανομής, χωρίς χρέωση στον τελικό χρήστη. Σημαντικό σε αυτήν την ανακοίνωση, ήταν η διατήρηση της μακροχρόνιας πολιτικής της πρόσβασης, σε αρχεία Landsat χωρίς διακρίσεις. Η επίτευξη αυτής της επαναστατικής αλλαγής στην πολιτική δεδομένων Landsat απαιτούσε έναν μετασχηματισμό στα συστήματα παραγωγής και διανομής προϊόντων. Μέχρι αυτό το σημείο, οι πελάτες μπορούσαν να παραγγείλουν προϊόντα δεδομένων και να καθορίσουν τις παραμέτρους για τη δημιουργία προϊόντων (προβολή, μέγεθος εικονοστοιχείων, μέθοδο resampling) και άλλες επιλογές, αλλά μόνο οι Ομοσπονδιακοί πελάτες είχαν τη δυνατότητα να παραγγείλουν ορθορρυθμισμένες σκηνές που έχουν υποστεί διορθώσεις. Το κόστος για τέτοια προϊόντα θα μπορούσε να κυμαίνεται έως και \$600 ανά σκηνή και η ζήτηση των προϊόντων κορυφώθηκε το 2003 με περίπου 23.000 προϊόντα, πολλά από τα οποία ήταν δεδομένα ETM+. (Landsat Satellite Missions, USGS)

5.5. Το μέλλον του προγράμματος Landsat

Τα συνολικά αρχεία USGS Landsat αντιπροσωπεύουν μόνο ένα μέρος των σκηνών του Landsat που αποκτήθηκαν από την εκτόξευση του Landsat 1. Πρόσφατη ανάλυση υποδηλώνει ότι περίπου 5 εκατομμύρια σκηνές Landsat βρίσκονται σε διεθνή αρχεία που διατηρούνται από τους International Cooperators(ICs), και έως και 3 εκατομμύρια από αυτές τις σκηνές είναι μοναδικές και δεν υπάρχουν αντίγραφα στο αρχείο USGS Landsat. Οι ICs κατέχουν σημαντικό αριθμό ιστορικών δεδομένων Landsat και η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα αυτών των δεδομένων θα μπορούσε, σε ορισμένες περιπτώσεις, να τεθεί σε κίνδυνο.

Μετά από σύσταση της Επιστημονικής Ομάδας USGS-NASA Landsat, η USGS εργάζεται για τον επαναπατρισμό όσο το δυνατόν περισσότερων από αυτά τα ιστορικά αρχεία μέσω της πρωτοβουλίας Landsat Global Archive Consolidation (LGAC). Τα οφέλη του διπλασιασμού του μεγέθους του παγκόσμιου αρχείου Landsat και της παροχής κεντρικής πρόσβασης σε όλα τα δεδομένα του Landsat θα ωφελήσουν όλους τους χρήστες του. Ωστόσο, ο προσδιορισμός της ακριβούς έκτασης των αρχείων αμφισβητείται από το γεγονός ότι ορισμένοι επίγειοι σταθμοί

είναι ανενεργοί για πολλά χρόνια και η πρόσβαση στα δεδομένα ενδέχεται να μην είναι δυνατή. Επιπλέον, οι ΗΠΑ δεν διατήρησαν τα δικαιώματα για τα δεδομένα από το Landsat 1-5, επομένως η συνεργασία στην πρωτοβουλία ενοποίησης αρχείων είναι εθελοντική. Τα περισσότερα ICs αναγνωρίζουν την αξία της πρωτοβουλίας USGS Landsat Global Archive Consolidation. Ο σημαντικότερος συνεργάτης της LGAC είναι ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος με περίπου 2,09 εκατομμύρια σκηνές, ή το 42% των διεθνώς κρατούμενων δεδομένων Landsat. (Landsat Satellite Missions, USGS)

Τα επόμενα χρόνια πιθανότατα θα είναι τα «χρυσά χρόνια» του Landsat και θα μπορούσαν να είναι η στιγμή κατά την οποία το πρόγραμμα Landsat θα αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητές του. Υπάρχουν αρκετές δραστηριότητες σε εξέλιξη που αποτελούν το θεμέλιο μιας νέας εποχής Landsat. Αυτές περιλαμβάνουν τις επιπτώσεις που έχει η πολιτική ελεύθερων δεδομένων Landsat, τις προσπάθειες επέκτασης του ιστορικού παγκόσμιου αρχείου Landsat, τα βήματα που βρίσκονται σε εξέλιξη για την παραγωγή επιστημονικών προϊόντων Landsat και την καθιέρωση ενός επιχειρησιακού προγράμματος Landsat.

Κεφάλαιο 6: Δεδομένα και Μεθοδολογία

6.1. Δεδομένα

6.1.1. Δορυφορικές Εικόνες

Συνολικά στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 14 εικόνες, για κάθε μία από τις δυο ακτογραμμές ώστε να καλύψουν τη χρονική περίοδο από το 2014 έως το 2020. Η επιλογή των εικόνων έγινε με κριτήριο τη γεωγραφική θέση ώστε να περιέχουν την περιοχή μελέτης με σαφήνεια και με χαμηλό δείκτη νεφοκάλυψης ($20\% >$). Επιπλέον, όλες οι εικόνες που χρησιμοποιήσαμε προέρχονται από μετρήσεις που πάρθηκαν τους καλοκαιρινούς μήνες και κυρίως τον Ιούλιο ενώ για τις αναλύσεις μας χρησιμοποιήσαμε τα κανάλια 3 (πράσινο του ορατού) και 5 (Κοντινό υπέρυθρο) ώστε να καταφέρουμε να εξάγουμε τις ακτογραμμές πιο εύκολα. Οι εικόνες που πάρθηκαν για να μετρήσουμε τη μετακίνηση των ακτογραμμών προέρχονται από τον δορυφόρο Landsat 8 OLI με χαμηλή χωρική ανάλυση (μέγεθος pixel 30m x 30m), οι οποίες ανακτήθηκαν από την βάση δεδομένων Earth Explorer της United States Geological Survey. [Landsat Satellite Missions, USGS]

Πίνακας 3: Προϊόντα Δεδομένων και οι προδιαγραφές τους

<u>Αισθητήρας Δεδομένων</u>	<u>Χωρική Ανάλυση</u>	<u>Ημερομηνία Λήψης</u>	<u>Πηγή</u>
Landsat 8 OLI	30m x 30m	6/7/2014	USGS
Landsat 8 OLI	30m x 30m	25/7/2015	USGS
Landsat 8 OLI	30m x 30m	27/7/2016	USGS
Landsat 8 OLI	30m x 30m	30/7/2017	USGS
Landsat 8 OLI	30m x 30m	1/7/2018	USGS
Landsat 8 OLI	30m x 30m	20/7/2019	USGS
Landsat 8 OLI	30m x 30m	23/08/2020	USGS

6.1.2. Δορυφόρος Landsat 8 και Επίπεδα προϊόντων

Ο δορυφόρος από τον οποίο αντλήσαμε τα δεδομένα είναι ο Landsat 8 και πιο συγκεκριμένα το όργανο που περιέχει με το όνομα Operational Land Imager (OLI) όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5.

Αυτό το όργανο ανιχνεύει 9 φασματικά κανάλια

- Κανάλι 1 (0.43 – 0.45 μm) 30m
- Κανάλι 2 Μπλε του ορατού (0.45 – 0.51 μm) 30m
- Κανάλι 3 Πράσινο του ορατού (0.53 – 0.59 μm) 30m
- Κανάλι 4 Κόκκινο του ορατού (0.64 – 0.67 μm) 30m
- Κανάλι 5 Κοντινό Υπέρυθρο (0.85 – 0.88 μm) 30m
- Κανάλι 6 Υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος (1.57 – 1.65 μm) 30m
- Κανάλι 7 Υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος (2.11 – 2.29 μm) 30m
- Κανάλι 8 Παγχρωματικό (0.5 – 0.68 μm) 15m
- Κανάλι 9 (1.36 – 1.38 μm) 30m

Το OLI καταγράφει δεδομένα με βελτιωμένη ακρίβεια σε δυναμικό εύρος 12-bit, το οποίο βελτιώνει τη συνολική αναλογία σήματος προς θόρυβο. Αυτό μεταφράζεται σε 4.096 πιθανά επίπεδα γκριζου χρώματος, σε σύγκριση με μόνο 256 επίπεδα γκριζου στα όργανα Landsat 1-7 8-bit. Η βελτιωμένη απόδοση σήματος προς θόρυβο επιτρέπει βελτιωμένο χαρακτηρισμό της κατάστασης της κάλυψης γης και αντίστοιχα βελτιωμένα και πιο ακριβή αποτελέσματα στις εικόνες και τις μετρήσεις. [Landsat 8, USGS]

Οι δορυφόροι Landsat έχουν 3 επίπεδα προϊόντων:

- Επίπεδο 1: Το επίπεδο 1 των δεδομένων περιέχει προϊόντα τα οποία είναι γεωαναφερμένες εικόνες στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα (World Geodetic System 84) και περιέχουν ψηφιοποιημένους αριθμούς μέσα στο αρχείο της εικόνας. Αυτοί οι αριθμοί μπορούν να θεωρηθούν σαν μεταδεδομένα τα οποία έχουν εισαχθεί αυτόματα στην εικόνα σαν τιμές ανάκλασης ή τιμές ακτινοβολίας.
- Επίπεδο 2: Τα προϊόντα του επιπέδου 2 προέρχονται από δεδομένα του επιπέδου 1 και περιλαμβάνουν δεδομένα θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης σε Kelvin, δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης (μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας που αντανακλάται στη γη) και άλλους φασματικούς δείκτες που αφορούν μετρήσεις υγρασίας, μετρήσεις βλάστησης και ποσοστά καμένων περιοχών.

- Επίπεδο 3: Τα προϊόντα Level-3 παράγονται από δεδομένα Level-2 και περιλαμβάνουν δυναμικά δεδομένα έκτασης επιφανειακών υδάτων (περιγράφουν την ύπαρξη και την κατάσταση των επιφανειακών υδάτων), δεδομένα κάλυψης χιονιού που περιλαμβάνουν το ποσοστό ενός pixel που καλύπτεται από χιόνι, δεδομένα καμένης περιοχής που αντιπροσωπεύουν ανά ταξινόμηση καψίματος εικονοστοιχείων και πραγματικά δεδομένα εξατμισοδιαπνοής που αντιπροσωπεύουν την ποσότητα νερού που αφαιρείται από μια επιφάνεια λόγω των διαδικασιών εξάτμισης και διαπνοής.

Τα τελικά προϊόντα χωρίζονται σε δύο συλλογές:

- Η Landsat Collection 1 εξασφαλίζει όλα τα προϊόντα να έχουν μία διαχρονική ποιότητα μεταξύ τους και να υποστηρίζουν αναλύσεις που γίνονται σε βάθος χρόνου και περιέχουν όλα τα παραπάνω επίπεδα προϊόντων.
- Το Landsat Collection 2 είναι μια βελτίωση της πρώτης συλλογής, καθώς χρησιμοποιεί τις πρόσφατες εξελίξεις στην επεξεργασία δεδομένων, την ανάπτυξη αλγορίθμων, καθώς και τις δυνατότητες πρόσβασης και διανομής δεδομένων. Επιπλέον, η Συλλογή 2 περιλαμβάνει ενημερωμένες πηγές μοντελοποίησης ψηφιακού μοντέλου υψομέτρου και αναβαθμίσεις στα προϊόντα επιφανειακής ανάκλασης.

Για την καλύτερη και πιο ακριβή εύρεση των δεδομένων των εικόνων σε διαχρονικό επίπεδο επιλέχθηκε η Landsat Collection 1. Αυτή θα μας δώσει δυνατότητα ανάλυσης δεδομένων από εικόνες σε πιο πολλές διαθέσιμες ημερομηνίες. [Landsat Collections, USGS]

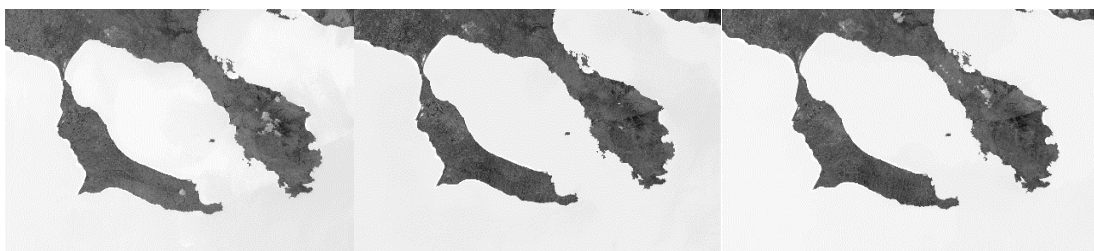
6.2. Μεθοδολογία

6.2.1. Εξαγωγή ακτογραμμών από τις δορυφορικές εικόνες

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την ακριβή εξαγωγή των ακτογραμμών από τις δορυφορικές εικόνες περιέχει κάποια συγκεκριμένα βήματα τα οποία θα μπορούσαν να γίνουν και αυτόματα. Αρχικά, με σκοπό τη βελτίωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων όλες οι «κατεβασμένες» εικόνες με τη χρήση του εργαλείου Resample του ArcGIS μετατρέπονται από ανάλυση 30m x 30m σε ανάλυση 10m x 10m με τον Bilinear τρόπο ώστε τα pixel να πάρουν πιο αντιπροσωπευτικές τιμές. Όταν μετατραπούν όλες οι εικόνες στην καινούρια ανάλυση των 10m x 10m, μπορούμε να προχωρήσουμε στην ανάλυσή τους για κάθε χρόνο με σκοπό να αναδείξουμε τη διαφορά ανάμεσα στη στεριά και στην θάλασσα. Αυτό το καταφέρνουμε με τη χρήση δεικτών οι οποίοι είναι πράξεις μεταξύ των τιμών των pixel των εικόνων. Ο δείκτης που χρησιμοποιούμε στην ανάλυση των εικόνων και είναι βοηθητικός για το διαχωρισμό σωμάτων νερού, είναι ο NDWI (Normalised Difference Water Index)

$$NDWI = (GREEN - NEAR INFRARED) / (GREEN + NEAR INFRARED)$$

Όπου το GREEN είναι το πράσινο του ορατού (3^ο κανάλι) και αντανακλά όλο το πράσινο χρώμα ενώ το NEAR INFRARED αντανακλά την ακτινοβολία του κοντινού υπέρυθρου.



Εικόνα 14: Παράδειγμα εικόνων με χρήση του δείκτη NDWI στην περιοχή μελέτης

Μετά τη χρήση του δείκτη NDWI η παραγόμενη εικόνα περιέχει τιμές οι οποίες κυμαίνονται από το -1 έως το 1, από αυτές τις τιμές μπορούμε να διακρίνουμε ότι τα ηπειρώτικα σημεία της εικόνας έχουν πάρει τιμές μικρότερες του 0 ενώ τα θαλάσσια σώματα έχουν τιμές μεγαλύτερες του 0.

Με αυτό το κριτήριο, στο επόμενο βήμα προχωράμε στην επαναταξινόμηση των στοιχείων που έχουν τιμές μεγαλύτερες του 0 σε μία κλάση η οποία θα αντιπροσωπεύει το νερό και σε άλλη μία κλάση με τιμές μικρότερες του 0, η οποία θα αντιπροσωπεύει τη στεριά. Αντικαθιστώντας τις 2 αυτές κλάσεις με ένα χρώμα για την κάθε μία, μπορούμε να εξάγουμε μία εικόνα η οποία διαχωρίζει τη στεριά με τα σώματα νερού.



Εικόνα 15: Παράδειγμα επαναταξινομημένων εικόνων στην περιοχή μελέτης

Το αποτέλεσμα των εικόνων μας δείχνει καθαρά τη διαφορά ανάμεσα στη στεριά και την θάλασσα. Με τις συγκεκριμένες εικόνες που παίρνουμε σαν αποτέλεσμα, μπορούμε στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουμε εργαλεία του ArcGIS, για να μετατρέψουμε τις εικόνες σε πολύγωνα ή σε γραμμές, στη συγκεκριμένη περίπτωση, διότι ο στόχος μας είναι η μεταβολή των ακτογραμμών. Γι' αυτό στο τέλος έγινε η χρήση του εργαλείου του ArcGIS Raster to Polyline, το οποίο μετέτρεψε την Raster εικόνα σε αρχείο με γραμμές. Αυτές οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ακτογραμμή για κάθε χρονιά, ανάλογα με την επιλεγμένη εικόνα, με απώτερο σκοπό να τις εισάγουμε στο plug-in του ArcGIS DSAS (Digital Shoreline Analysis System) για περαιτέρω ανάλυση. (McFeeters, 1996)

6.2.2. Αξιολόγηση των μετακινήσεων των ακτογραμμών

Η μετρήσεις των μεταβολών των ακτογραμμών έγιναν για κάθε έτος, στο χρονικό διάστημα από το 2014 έως το 2020. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το Digital Shoreline Analysis System (DSAS) στην έκδοση 5.0, το οποίο είναι ένα plug-in του ArcGIS το οποίο έχει δημοσιευτεί από την United States Geological Survey. Αυτή η επέκταση επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργήσει παράλληλες διατομές οι οποίες τέμνουν κάθετα την σύγχρονη ακτογραμμή και έχουν μια δεδομένη απόσταση μεταξύ τους ενώ μετρά την θέση των ιστορικών ακτογραμμών πάνω στη

διατομή. Αυτές οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των ρυθμών μεταβολής στην διαχρονική κίνηση των ακτογραμμών και άλλα χρήσιμα στατιστικά στοιχεία. (Vassilakis, 2014)

6.2.3. Digital Shoreline Analysis System (DSAS v. 5.0)

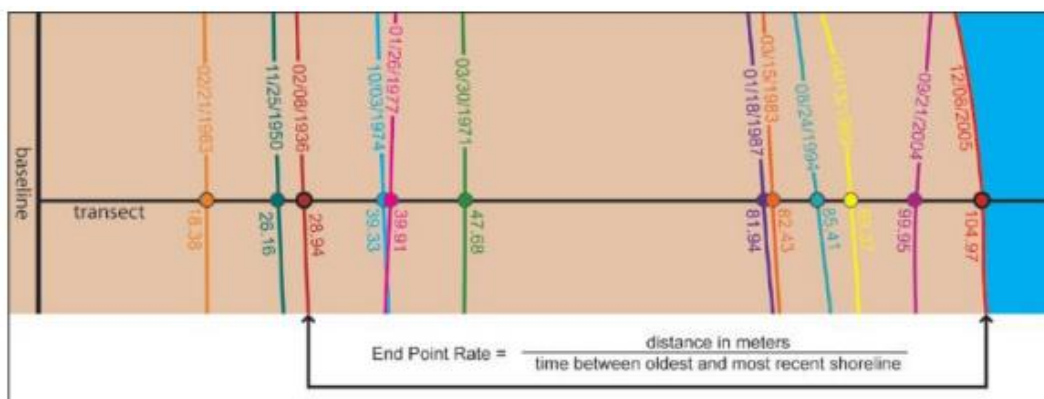
Η επέκταση DSAS μας δίνει τη δυνατότητα μέτρησης στατιστικών μεγεθών που αφορούν πολλαπλές ιστορικές ακτογραμμές, όπως το ρυθμό μεταβολής τους. Μια λίστα από όλα τα διαθέσιμα στατιστικά μεγέθη που μπορούν να μετρηθούν είναι η εξής:

Πίνακας 4: Στατιστικά μεγέθη που υπολογίζει το εργαλείο DSAS (πηγή: Himmelstoss E.A. et all 2009)

NSM	Net Shoreline Movement	
SCE	Shoreline Change Envelope	
EPR	End Point Rate	
ECI	Confidence of End Point Rate	
LRR	Linear Regression Rate	
LSE	Standard Error of Linear Regression	
LCI	Confidence Interval of Linear Regression	LCI95, LCI90
LR2	R-squared of Linear Regression	
WLR	Weighted Linear Regression Rate	
WSE	Standard Error of Weighted Linear Regression	
WCI	Confidence Interval of Weighted Linear Regression	WCI95, WCI90
WR2	R-squared of Linear Regression	
LMS	Least Median of Squares	

6.2.3.1. End Point Rate (EPR)

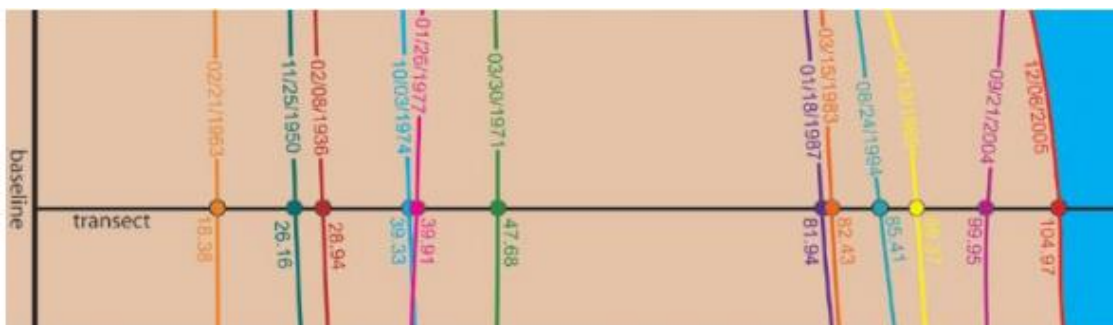
Το μέγεθος End Point Rate, δίνεται από το πηλίκο της απόστασης της μεταβολής μεταξύ της παλιότερης και της πιο πρόσφατης ακτογραμμής, σε μέτρα, προς την χρονική διάρκεια που έχει μεσολαβήσει μεταξύ αυτών των δύο. Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι λαμβάνει υπόψη μόνο δύο ακτογραμμές αλλά αυτό μπορεί να σημαίνει ότι υπάρχουν και άλλες ακτογραμμές μέσα σε αυτό το διάστημα όπου δεν τις έχουμε προβλέψει (Himmelstoss , 2018)

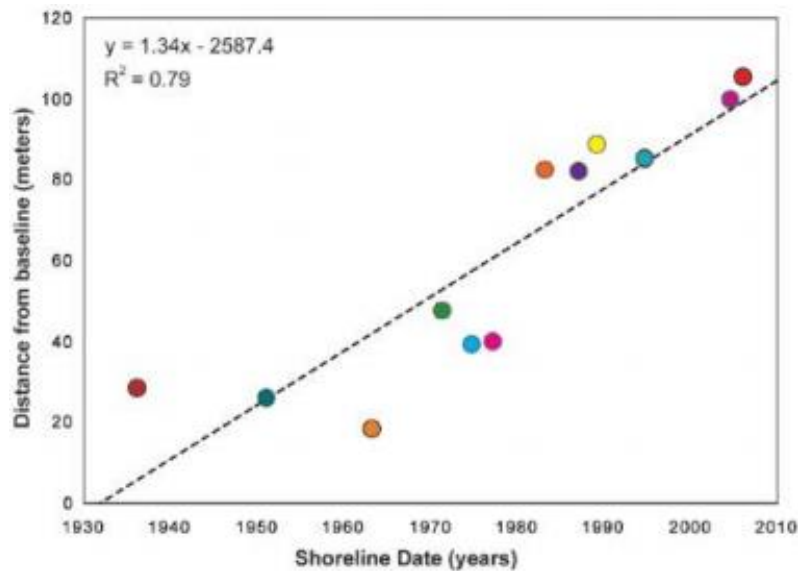


Εικόνα 16: Επεξήγηση στατιστικού μεγέθους End Point Rate (EPR) Πηγή: Himmelson E.A., 2009

6.2.3.2. Linear Regression Rate (LRR)

Ο προσδιορισμός του ρυθμού γραμμικής μεταβολής, γίνεται με γραμμική παλινδρόμηση, με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, όπου υπολογίζεται η βέλτιστη γραμμική συσχέτιση στα μεγέθη μεταβολής ακτογραμμών από τη γραμμή βάσης, έτσι ώστε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα να είναι το ελάχιστο. Το τελικό μέγεθος ρυθμών γραμμικής μεταβολής (LRR), είναι η κλίση της βέλτιστης γραμμής συσχέτισης. Η μέθοδος είναι καθαρά υπολογιστική και δεν λαμβάνει υπόψη σφάλματα δειγματοληψίας. Αβεβαιότητες όπως, ακρίβεια θέσης ακτογραμμών και σφάλματα που προκύπτουν από τα στάδια προσδιορισμού και απόσπασης της ακτογραμμής δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του ρυθμού γραμμικής μεταβολής. Επιπλέον, μαζί με τον ρυθμό γραμμικής μεταβολής υπολογίζονται και: το τυπικό σφάλμα εκτίμησης (Standard Error of the Estimate LSE), το τυπικό σφάλμα της κλίσης (Confidence Interval LCI) και ο συντελεστής προσδιορισμού (R-Squared LR2). (Himmelstoss, 2018)





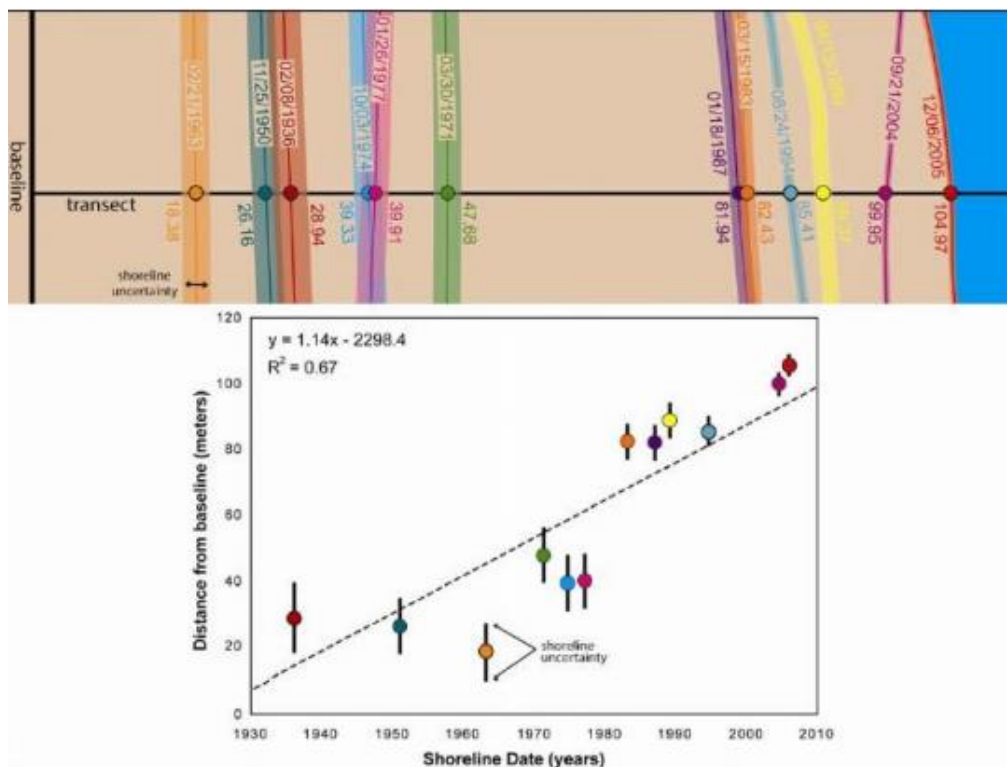
Εικόνα 17: Γραφική επεξήγηση στατιστικού μεγέθους Linear Regression Rate (LRR) Πηγή: Himmelson E.A., 2009

6.2.3.3. Weighted Linear Regression (WLR)

Το «σταθμισμένο» μέγεθος ρυθμού γραμμικής (WLR) μεταβολής δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, καθώς, κατά τον υπολογισμό της γραμμικής συσχέτισης δίνεται έμφαση σε δεδομένα τα οποία έχουν οριστεί με μικρότερο μέγεθος αβεβαιότητας (Field-Uncertainty). Ο διορθωτικός συντελεστής (w) προσδιορίζεται συναρτήσει της μεταβλητής αβεβαιότητας μέτρησης (e) για κάθε ακτογραμμή.

$$w = \frac{1}{e^2}$$

Όπου e = αβεβαιότητα ακτογραμμής (Shoreline Uncertainty value)



Εικόνα 18: Γραφική επεξήγηση στατιστικού μεγέθους Weighted Linear Regression (WLR) Πηγή: Himmelson E.A., 2009

Συνδυαστικά, με το «σταθμισμένο» ρυθμό γραμμικής μεταβολής (WLR) υπολογίζονται και: το τυπικό «σταθμισμένο» σφάλμα εκτίμησης (Standard Error of the Estimate-WSE), το τυπικό «σταθμισμένο» σφάλμα της κλίσης (WCI) και ο «σταθμισμένος» συντελεστής προσδιορισμού (R^2 -WR2). (Himmelstoss, 2018)

6.2.3.4. Χρήση του Εργαλείου DSAS

Το εργαλείο DSAS μας δίνει έγκυρες και ακριβείς τιμές για την διαχρονική μετακίνηση των ακτογραμμών. Αυτό το εργαλείο χρησιμοποιεί αρχεία Shapefile σε μορφή Polyline, για αυτό το λόγο συγκεντρώθηκαν όλα τα αρχεία των ακτογραμμών κομμένα ώστε να ταιριάζουν στην περιοχή μελέτης. Το συγκεκριμένο εργαλείο, για την καλύτερη εύρεση των τιμών χρησιμοποιεί και μία ακτογραμμή σαν Baseline ώστε να μετρηθεί η απόσταση που κινήθηκαν οι ακτογραμμές διαχρονικά. Δημιουργήθηκε, ένα buffer από την ακτογραμμή του 2014, η οποία είναι η πιο παλιά στη λίστα των ακτογραμμών, σε απόσταση 50 μέτρων για την περιοχή μελέτης στον Δήμο Κασσάνδρας και 100 μέτρων στην περιοχή μελέτης του Δήμου Σιθωνίας (διότι ο Δήμος Σιθωνίας περιέχει ένα μικρό λιμάνι το οποίο θα μπορούσε να αλλάξει ραγδαία τις μετρήσεις), από το οποίο στη συνέχεια εξαγάγαμε την εσωτερική πλευρά του ώστε να δημιουργήσουμε άλλο ένα

αρχείο Polyline το οποίο θα έχει το ρόλο του Baseline στις μετρήσεις που θα μας δώσει το εργαλείο DSAS.

Μετά τη δημιουργία του Baseline, το εργαλείο χρειάζεται ένα ακόμα αρχείο το οποίο περιέχει τις ακτογραμμές μαζί με την πληροφορία για την ημερομηνία μέτρησής τους. Με τη χρήση του εργαλείου Merge του ArcGIS, δημιουργήθηκε ένα καινούριο αρχείο το οποίο περιέχει όλες τις ακτογραμμές σε μορφή Polyline και με το Editor του ArcGIS δημιουργήσαμε μία ακόμα στήλη στην οποία εισαγάγαμε τις πληροφορίες που αφορούσαν την ημερομηνία μέτρησης της ακτογραμμής σε μορφή Μήνας / Ημέρα / Έτος. Στη συνέχεια το τελευταίο βήμα για την χρήση του εργαλείου είναι να εισάγουμε τα αρχεία Polyline με τις ακτογραμμές και το αρχείο Baseline σε μία Personal Geodatabase του ArcGIS ώστε να τα αναγνωρίσει το εργαλείο. Με αυτές τις πληροφορίες το εργαλείο DSAS θα δημιουργήσει για κάθε 100 μέτρα κάθετες ως προς την ακτογραμμή γραμμές υπολογίζοντας το σημείο για κάθε κάθετη το οποίο τέμνει κάθε ακτογραμμή και θα εξάγει στατιστικά μετρώντας την απόσταση που μετακινήθηκαν οι ακτογραμμές σε μέτρα χρονολογικά. (Himmelstoss, 2018)

Κεφάλαιο 7: Αποτελέσματα

Η διερεύνηση της κατάστασης των ακτών από το 2014 έως και το 2020 αποκαλύπτει ότι παρατηρούνται μια μίξη φαινομένων διάβρωσης και απόθεσης στα διαφορετικά κομμάτια της περιοχής μελέτης του Δήμου Κασσάνδρας αλλά και του Δήμου Σιθωνίας. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια: Α) Ανάλυση και εξαγωγή των ακτογραμμών από τις δορυφορικές εικόνες και οπτική απεικόνιση σε χάρτες και Β) Ανάλυση των ίδιων ακτογραμμών και εισαγωγή τους στο πρόγραμμα DSAS του ArcGIS με σκοπό την καλύτερη οπτική απεικόνιση της διαχρονικής μετακίνησης των ακτογραμμών και δημιουργία στατιστικών στοιχείων, μέσω του προγράμματος DSAS, τα όποια δείχνουν τη μετακίνηση των ακτογραμμών με μεγαλύτερη ακρίβεια.

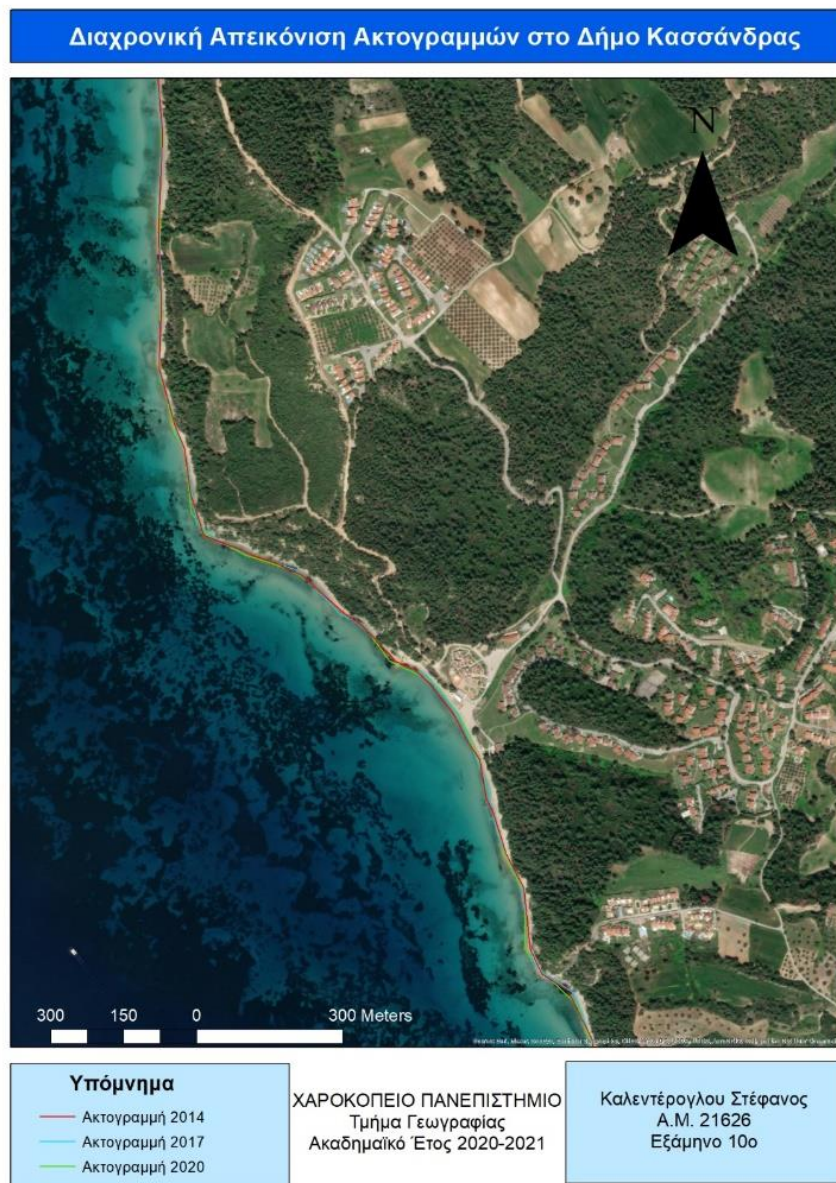
7.1. Αποτελέσματα Ακτογραμμής στο Δήμο Κασσάνδρας

Η έρευνα για την ακτογραμμή στην περιοχή μελέτης του Δήμου Κασσάνδρας με μία πρώτη ματιά στους χάρτες δείχνει ότι τα αποτελέσματα δεν είναι εύκολα οπτικώς διακριτά. Αυτό παρατηρείται στους δύο παρακάτω χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τις ακτογραμμές των ετών 2014 – 2017 – 2020, στον πρώτο χάρτη για όλη την περιοχή μελέτης του Δήμου Κασσάνδρας και στον δεύτερο χάρτη για ένα μικρότερο κομμάτι αυτής. Η επιλογή των συγκεκριμένων ετών έγινε με σκοπό την καλύτερη απεικόνιση των μετακινήσεων αλλά ακόμα και στον δεύτερο χάρτη που αναφέρεται στο μικρότερο κομμάτι της ακτογραμμής παρατηρούμε ότι η διαφορά στις ακτογραμμές δεν είναι ευδιάκριτη.

Διαχρονική Απεικόνιση Ακτογραμμών στο Δήμο Κασσάνδρας



Εικόνα 19: Διαχρονική Απεικόνιση Ακτογραμμών στο Δήμο Κασσάνδρας



Εικόνα 20: Διαχρονική Απεικόνιση Ακτογραμμών στο Δήμο Κασσάνδρας (μικρότερη κλίμακα)

Ακόμα και στον δεύτερο χάρτη ο οποίος είναι σε μικρότερη κλίμακα παρατηρούμε ότι η οπτική διαφορά των ακτογραμμών δεν είναι ιδιαίτερα έντονη στις αντίστοιχες χρονολογίες. Στο βόρειο τμήμα της ακτογραμμής διακρίνουμε ότι και στις 3 χρονολογίες η ακτογραμμή βρίσκεται στο ίδιο σημείο με μικρή μετακίνηση προς την πλευρά της θάλασσας όσον αφορά το κεντρικό και νότιο κομμάτι της ακτογραμμής του έτους 2020. Αντίστοιχα, αν θεωρήσουμε σαν βάση την ακτογραμμή του 2014, παρατηρούμε ότι στο κεντρικό και νότιο κομμάτι του συγκεκριμένου κομματιού της ακτογραμμής παρατηρείται μικρή μετακίνηση της ακτογραμμής προς τη στεριά άρα διάβρωση της ακτογραμμής.

Το εργαλείο DSAS όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5, μας βοηθάει κάνοντας πράξεις μεταξύ των ακτογραμμών ώστε να βγούν πιο ευδιάκριτα αποτελέσματα για την κίνηση τους.



Εικόνα 21: Ρυθμός Μεταβολής Ακτογραμμής (LRR) Δήμου Κασσάνδρας 2014-2020

Με βάση τους δείκτες μεταβολής που μετρήθηκαν παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι στην ακτογραμμή της περιοχής μελέτης του Δήμου Κασσάνδρας παρατηρείται κυρίως ευστάθεια και λιγότερο απόθεση σε ένα βάθος χρόνου από το 2014 έως το 2020. Το πράσινο (ευστάθεια) και το γαλάζιο (μικρή απόθεση) είναι τα χρώματα που κυριαρχούν στα Transects. Όσον αφορά τις πιο ακραίες τιμές του χάρτη, το κόκκινο χρώμα παρατηρείται σε 2 σημεία τα οποία κρίνοντας

και από την γενικότερη τάση των κινήσεων της ακτογραμμής φαίνονται σαν μεμονομένες περιπτώσεις, ενώ για τις ραγδαίες τιμές απόθεσης (μπλέ χρώμα) παρατηρούνται κάποιες φορές στον χάρτη με μία συγκεκριμένη περίπτωση στην οποία είναι πυκνά συγκεντρωμένες στο νότιο κομμάτι. Οι τιμές που έχουν εμφανιστεί στον χάρτη αντιπροσωπεύουν τιμές για κάθε 100 μέτρα ακτογραμμής, μίας και η κάθε κάθετη γραμμή (Transect) απέχει 100 μέτρα από την επόμενη με τον αριθμό των συνολικών Transect στην περιοχή μελέτης να φτάνει τα 156.

Από τον παραπάνω χάρτη επίσης προκύπτει και ο ακόλουθος πίνακας ο οποίος αναφέρει αναλυτικά τα μέτρα και το ποσοστό αυτών, συγκριτικά με τα 15.700 συνολικά μέτρα της ακτογραμμής, για τα οποία υπάρχει έντονη διάβρωση, ήπια διάβρωση, ευστάθεια, ήπια απόθεση και έντονη απόθεση. Από τον πίνακα παρατηρούμε ότι σχεδόν η μισή (47.74%) ακτογραμμή διαχρονικά έχει ευστάθεια και η μετακίνηση της είναι λιγότερη από 40 εκατοστά κάθε χρόνο από οποιαδήποτε κατεύθυνση. Στη συνέχεια, βλέπουμε ότι το επόμενο μεγαλύτερο ποσοστό είναι στο 36.77% το οποίο αντιστοιχείται με μικρή απόθεση (γαλάζιο χρώμα στον χάρτη) που αντιπροσωπεύει μία κίνηση της ακτογραμμής 0.4μ – 1.5μ ανά έτος , ενώ το τελευταίο ιδιαίτερα σημαντικό ποσοστό είναι η ήπια διάβρωση με ποσοστό 10.32% η οποία αντιστοιχεί σε μία κίνηση των ακτογραμμών της τάξης του 0.4μ – 1μ ανά έτος. Οι πιο ακραίες τιμές του φαινομένου (κόκκινο και μπλε χρώμα) παίρνουν τιμές 3.87% για την απόθεση και 1.29% για την διάβρωση και αντιπροσωπεύουν ένα πολύ μικρό ποσοστό της ακτογραμμής.

Πίνακας 5: Ποσοστία μετακίνηση ακτογραμμών ανά έτος

Μετακίνηση Ακτογραμμών	Μήκος Ακτογραμμών (m)	Ποσοστό (%)
Διάβρωση (-1.4 - -1 m/y)	200	1.29%
Διάβρωση (-1 - -0.4 m/y)	1600	10.32%
Ευστάθεια (-0.4 - 0.4 m/y)	7400	47.74%
Απόθεση (0.4 - 1.5 m/y)	5700	36.77%
Απόθεση (1.5 - 6.4 m/y)	600	3.87%



Εικόνα 22: Μέγιστη Διαχρονική Μεταβολή Ακτογραμμής μεταξύ των ετών 2014-2020

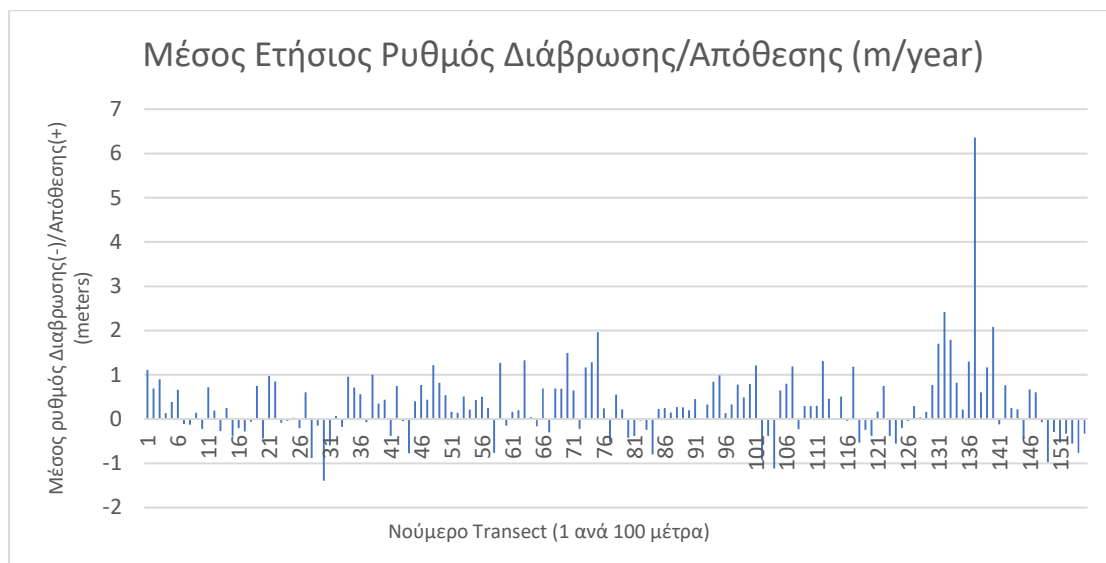
Ο παραπάνω χάρτης παρουσιάζει τη μέγιστη μετακίνηση που είχαν οι ακτογραμμές μέσα στο χρονικό περιθώριο των ετών 2014-2020 που αντιπροσωπεύεται από το στατιστικό μέγεθος Shoreline Change Envelope (SCE) στο DSAS. Στον χάρτη παρατηρούμε ότι οι τιμές κυμαίνονται προς την χαμηλή μετακίνηση στα σημεία όπου η ακτογραμμή είναι πιο ευθεία, ενώ παρουσιάζονται τιμές με πιο έντονο κόκκινο χρώμα άρα και μετακίνηση της τάξης άνω των 7.5 μέτρων σε περιοχές που είναι μικροί κόλποι ή μικρά ακρωτήρια. Η μέγιστη μετακίνηση των ακτογραμμών σε αυτές τις περιοχές αναδεικνύει ότι υπάρχει αυξημένη διάβρωση ή απόθεση.

Πίνακας 6: Πίνακας στατιστικών Διάβρωσης/Απόθεσης/Μετακίνησης ακτογραμμής Δήμου Κασσάνδρας σε μέτρα (2014-2020)

	Ακτογραμμή Δήμου Κασσάνδρας (2014-2020)	Αριθμός Transect
Μέγιστη Διάβρωση (LRR) (m)	1.39	31
Μέγιστη Απόθεση (LRR) (m)	2.42	133
Μέση Διάβρωση/Απόθεση (LRR) (m)	0.50	-
Ελάχιστη Μετακίνηση (SCE) (m)	1.01	129
Μεγίστη Μετακίνηση (SCE) (m)	19.63	31
Μέση Μετακίνηση (SCE) (m)	6.91	-

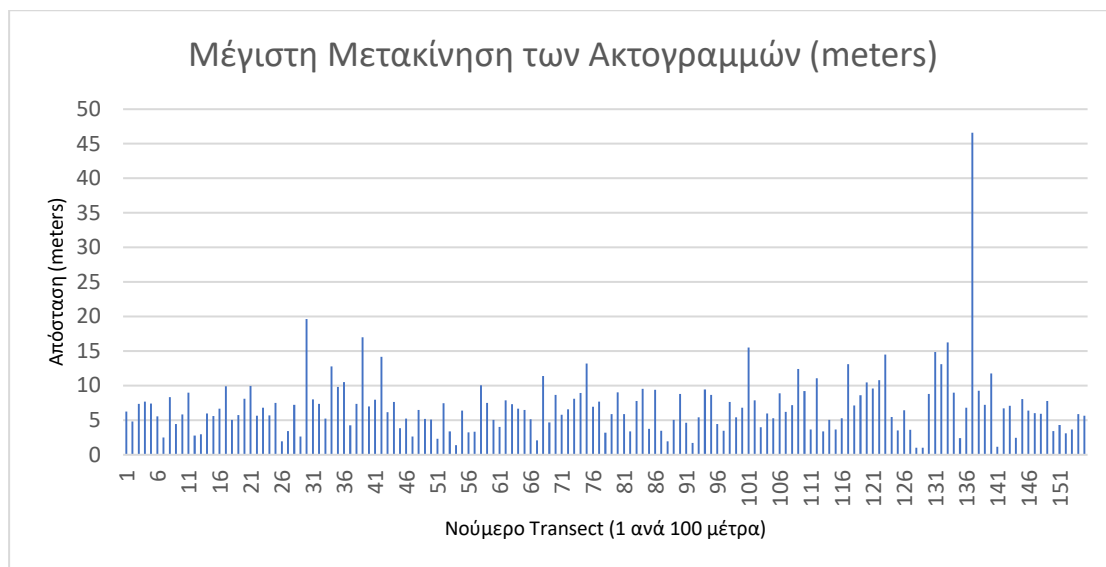
Ο πίνακας 6 είναι μία επιπλέον ανάλυση η οποία μας δίνει μια γενικότερη απόψη για τις κινήσεις της ακτογραμμής σε μέτρα στην αντίστοιχη χρονική περίοδο. Από αυτόν παρατηρούμε ότι η μέγιστη διάβρωση για τη χρονική περίοδο 2014-2020 έφτασε τα 1.39 μέτρα ενώ αντίστοιχα η μέγιστη απόθεση τα 2.42 μέτρα. Η μέση τιμή της απόθεσης και της διάβρωσης κατά μήκος των 156 τιμών που είχαμε στην περιοχή βρίσκεται στα 0.5 μέτρα, άρα η ακτογραμμή στο σύνολό της έχει μία ήπια απόθεση. Όσον αφορά τη μετακίνηση της ακτογραμμής, η ελάχιστη μετακίνηση που παρατηρήθηκε είναι στα 1.01 μέτρα και η μέγιστη στα 19.63 μέτρα. Η μέση μετακίνηση που είχαν οι ακτογραμμές προς οποιαδήποτε κατεύθυνση ήταν τα 6.91 μέτρα.

Πίνακας 7: Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Διάβρωσης/Απόθεσης



Στο παραπάνω διάγραμμα διακρίνουμε όλες τις τιμές του δείκτη LRR ο οποίος μας δίνει θετικές τιμές για διάβρωση και αρνητικές για απόθεση σε κάθε Transect(100 μέτρα). Παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των τιμών παρουσιάζεται στην θετική πλευρά του άξονα, επιβεβαιώνοντας την ήπια τάση της ακτογραμμής στην απόθεση. Επιπλέον παρατηρείται ότι οι τιμές της διάβρωσης κυμαίνονται χαμηλότερα από το 1 μέτρο, ενώ οι τιμές της απόθεσης κυμαίνονται έως τα 2 μέτρα με μία τιμή να φτάνει και πάνω από τα 6 μέτρα.

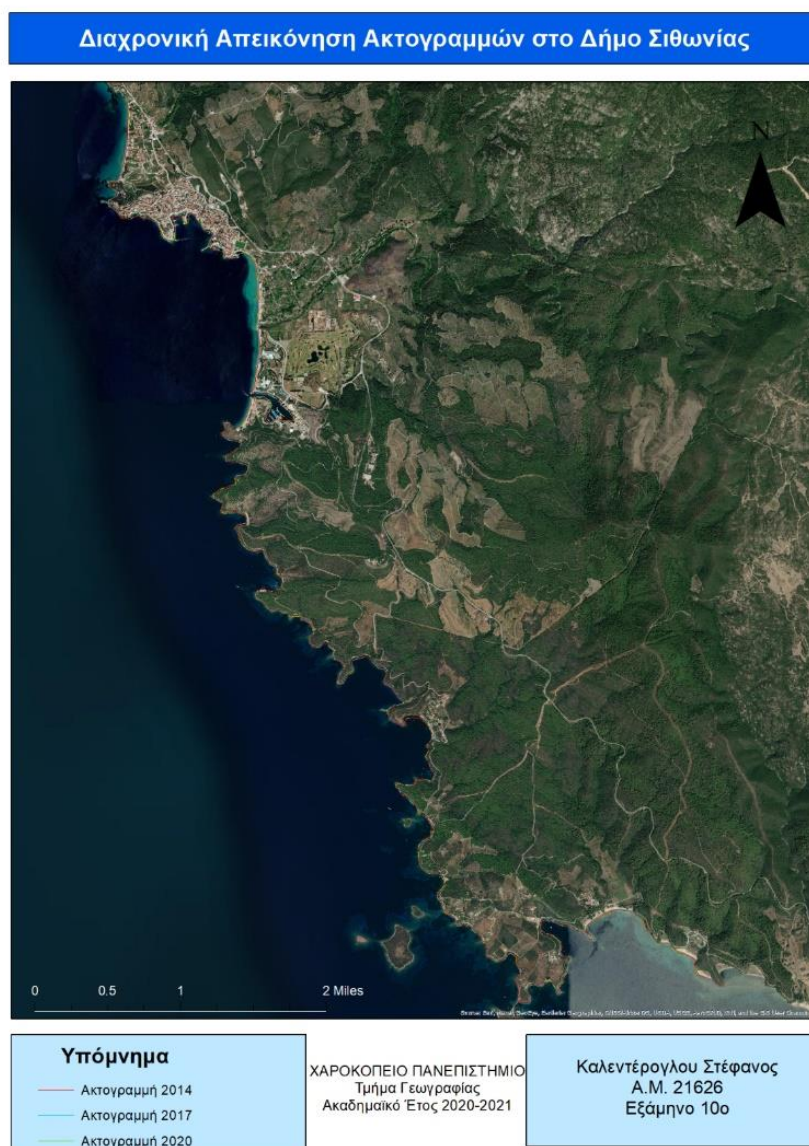
Πίνακας 8: Μέγιστη Μετακίνηση των Ακτογραμμών



Το διάγραμμα 8 μας παρουσιάζει τα σημεία κατά μήκος της ακτογραμμής τα οποία παρατηρήθηκε κίνησή της προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Από αυτό παρατηρούμε ότι οι τιμές γενικότερα βρίσκονται ανάμεσα στα 5-10 μέτρα, με κάποιες πιο ακραίες τιμές να βρίσκονται μέχρι και τα 20 μέτρα και τη μέγιστη τιμή να φτάνει τα 45 μέτρα.

7.2. Αποτελέσματα Ακτογραμμής στο Δήμο Σιθωνίας

Η έρευνα περνάει στη δεύτερη ακτογραμμή στην περιοχή μελέτης του Δήμου Σιθωνίας. Αντίστοιχα όπως και στην πρώτη περιοχή μελέτης παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα δεν είναι εύκολα οπτικώς διακριτά. Αυτό αποτυπώνεται στους δύο παρακάτω χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τις ακτογραμμές των ετών 2014 – 2017 – 2020, στον πρώτο χάρτη για όλη την περιοχή μελέτης του Δήμου Σιθωνίας και στον δεύτερο χάρτη για ένα μικρότερο κομμάτι αυτής. Επιλέξαμε αυτές τις χρονολογίες με σκοπό την ευκολότερη απεικόνιση της μετακίνησης των ακτογραμμών, αλλά ακόμα και στον δεύτερο χάρτη στον οποίο η κλίμακα είναι αισθητά μικρότερη η δυσκολία στην διάκριση των μετακινήσεων των ακτογραμμών παραμένει.



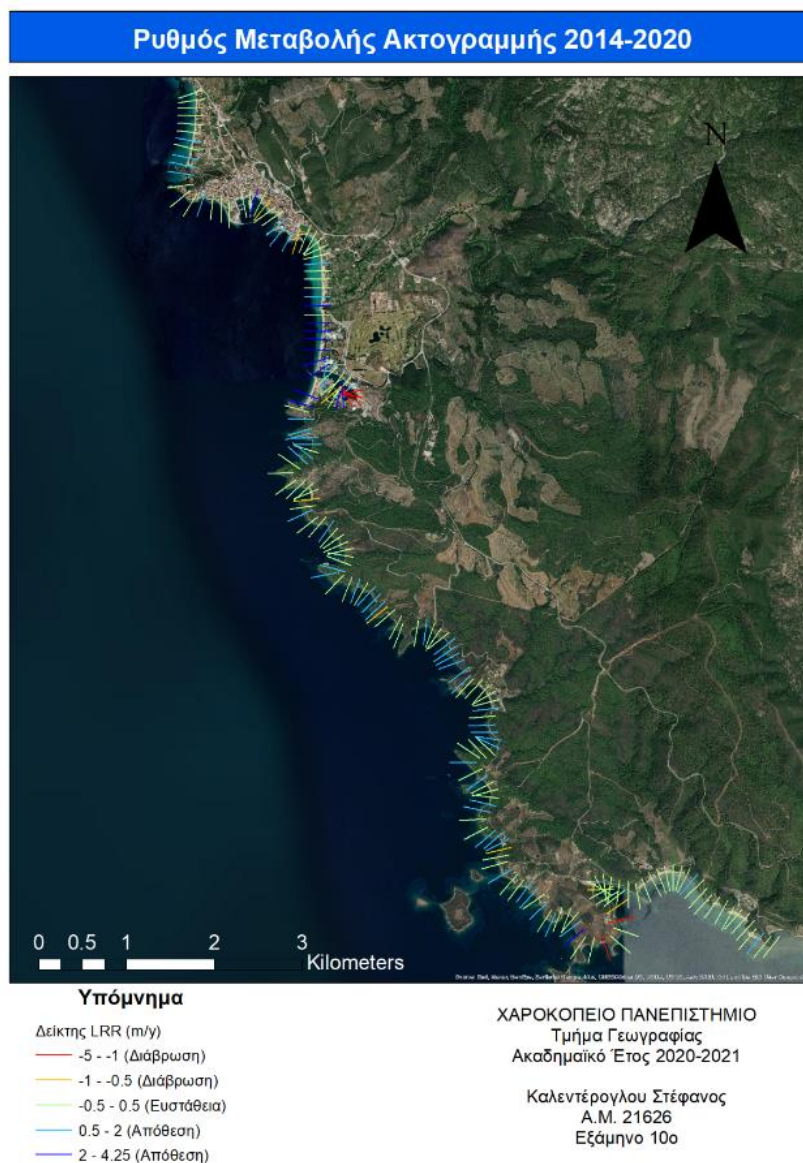
Εικόνα 23: Διαχρονική Απεικόνιση Ακτογραμμών στο Δήμο Σιθωνίας



Εικόνα 24: Διαχρονική Απεικόνιση Ακτογραμμών στο Δήμο Σιθωνίας (μικρότερη κλίμακα)

Παρατηρώντας τον δεύτερο χάρτη, ο οποίος είναι σε μικρότερη κλίμακα, διαπιστώνουμε ότι οπτικά μπορούμε να διακρίνουμε κάποιες διαφορές. Στο βόρειο τμήμα της ακτογραμμής διακρίνουμε ότι και στις 3 χρονολογίες η ακτογραμμή παραμένει σχετικά στο ίδιο σημείο με εξαίρεση ένα μικρό ακρωτήριο το οποίο μετακινήθηκε προς την πλευρά της θάλασσας. Όσον αφορά το κεντρικό κομμάτι της ακτογραμμής παρατηρούμε ότι η ακτογραμμή του 2020 τείνει να κινείται προς τη θάλασσα με μικρές εναλλαγές σχετικά με την ακτογραμμή του 2014. Ενώ στα πιο νότια σημεία της ακτογραμμής παρατηρείται έντονη κίνηση της ακτογραμμής του 2017 προς τη θάλασσα και πάλι μικρότερη κίνηση της ακτογραμμής του 2020 προς τη θάλασσα

συγκριτικά με την ακτογραμμή του 2014. Αυτά τα αποτελέσματα προ-οικονομούν ήπια απόθεση.



Εικόνα 25: Ρυθμός Μεταβολής Ακτογραμμής (LRR) Δήμου Σιθωνίας 2014-2020

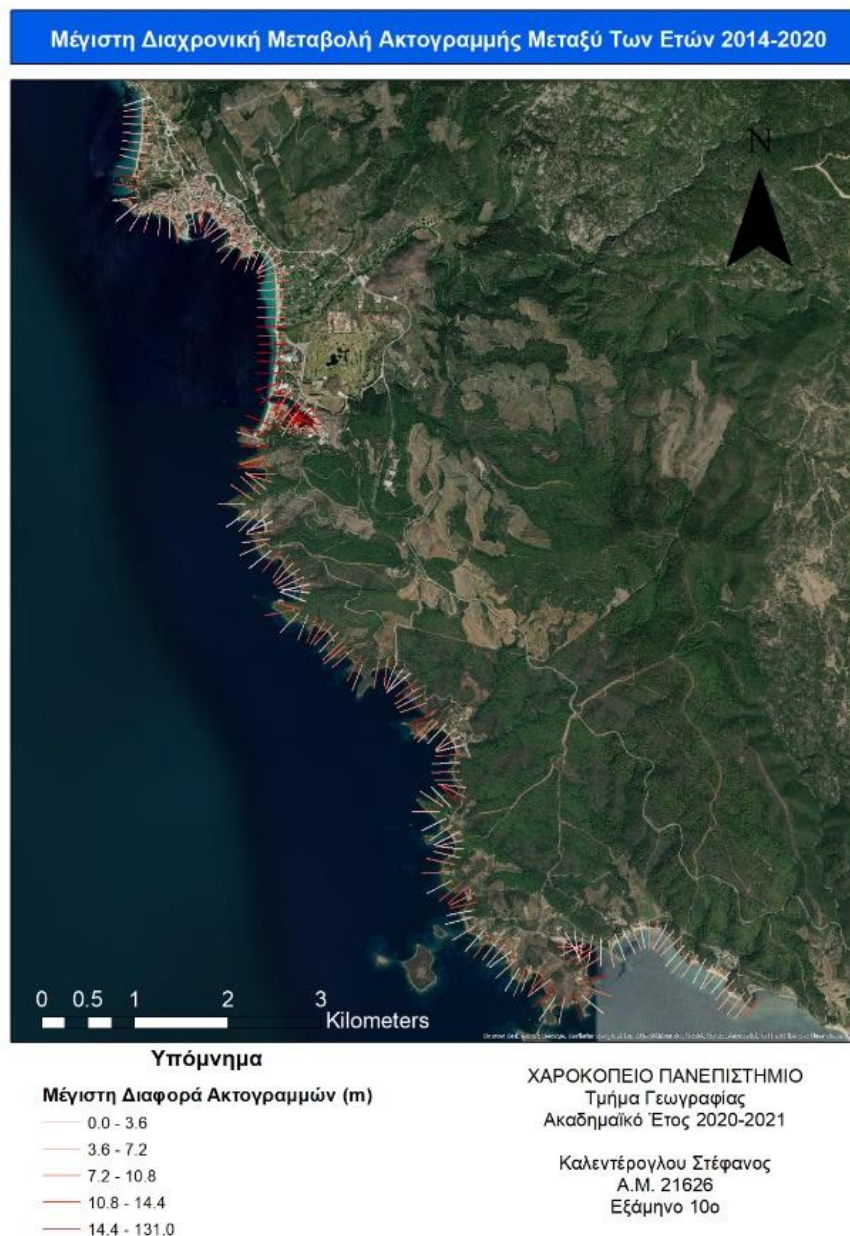
Στον παραπάνω χάρτη μετρήθηκε ο ρυθμός μεταβολής ανά έτος σημείων στην ακτογραμμή σε απόσταση 100 μέτρων. Από αυτές τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι στην ακτογραμμή της περιοχής μελέτης του Δήμου Σιθωνίας εντοπίζεται κυρίως ευστάθεια και απόθεση σε μικρότερη κλίμακα για ένα βάθος χρόνου από το 2014 έως το 2020. Στο βόρειο τομέα της περιοχής μελέτης παρατηρείται κυρίως ευστάθεια (πράσινο χρώμα) και ήπια απόθεση (γαλάζιο χρώμα) μέχρι το σημείο όπου συναντάται ένα μικρό τοπικό λιμάνι στο οποίο παρατηρούμε έντονη απόθεση (μπλε χρώμα). Στο υπόλοιπο κεντρικό κομμάτι παρατηρείται επίσης ήπια απόθεση ενώ ο νότιος

τομέας της ακτογραμμής χαρακτηρίζεται από ευστάθεια εκτός από ένα μικρό ακρωτήριο το οποίο έχει τιμές έντονης διάβρωσης. Όπως και στην ανάλυση της πρώτης περιοχής μελέτης, οι τιμές που έχουν εμφανιστεί στον χάρτη αντιπροσωπεύουν τιμές για κάθε 100 μέτρα ακτογραμμής, μίας και η κάθε κάθετη γραμμή (Transect) απέχει 100 μέτρα από την επόμενη με τον αριθμό των συνολικών Transect στην περιοχή μελέτης να φτάνει τα 198.

Πίνακας 9: Ποσοστία μετακίνηση ακτογραμμών ανά έτος

Μετακίνηση Ακτογραμμών	Μήκος Ακτογραμμών (m)	Ποσοστό (%)
Διάβρωση (-5 - -1 m/y)	600	3.03%
Διάβρωση (-1 - -0.5 m/y)	800	4.04%
Ευστάθεια (-0.5 - 0.5 m/y)	11600	58.59%
Απόθεση (0.5 - 2 m/y)	5500	27.78%
Απόθεση (2 - 4.25 m/y)	1300	6.57%

Με βάση τα στατιστικά που μετρήθηκαν στον παραπάνω χάρτη, επίσης, προκύπτει και ο παραπάνω πίνακας ο οποίος αναφέρει αναλυτικά τα μέτρα και το ποσοστό αυτών, συγκριτικά με τα 19.900 συνολικά μέτρα της ακτογραμμής, για τα οποία υπάρχει έντονη διάβρωση, ήπια διάβρωση, ευστάθεια, ήπια απόθεση και έντονη απόθεση. Η πληθώρα των μετρήσεων που εμφανίστηκαν δείχνουν ότι η ακτογραμμή έχει ευστάθεια σε ποσοστό 58.59%, άρα η κίνηση της ακτογραμμής ανά έτος παρέμεινε κάτω από τα 0.5 μέτρα διάβρωσης ή απόθεσης. Το επόμενο μεγαλύτερο μέγεθος του πίνακα είναι η ήπια απόθεση η οποία κυμαίνεται στα 27.78% και αναφέρεται σε κίνηση της ακτογραμμής από 0.5 μέτρα έως 2 μέτρα προς την θάλασσα. Στη συνέχεια παρατηρούμε ότι η έντονη απόθεση λαμβάνει ένα ποσοστό της τάξης του 6.57% με το φαινόμενο της απόθεσης να μετακινεί αυτό το ποσοστό της ακτογραμμής από 2 μέτρα έως 4.25 μέτρα. Τέλος οι δύο κλίμακες διάβρωσης αντιστοιχούν στα 2 μικρότερα ποσοστά της ακτογραμμής, η ήπια διάβρωση με τιμή 4.04% για διάβρωση 0.5 μέτρων έως 1 μέτρου και η έντονη διάβρωση με ποσοστό 3.03% για μετακίνηση της τάξης του 1 μέτρου έως 5 μέτρων.



Εικόνα 26: Μέγιστη Διαχρονική Μεταβολή Ακτογραμμής μεταξύ των ετών 2014-2020

Ο παραπάνω χάρτης παρουσιάζει τη μέγιστη μετακίνηση που είχαν οι ακτογραμμές μέσα στο χρονικό περιθώριο των ετών 2014-2020 που αντιπροσωπεύεται από το στατιστικό μέγεθος Shoreline Change Envelope (SCE) στο DSAS. Στον χάρτη παρατηρούμε ότι η πληθώρα των τιμών κυμαίνεται σε χαμηλές κλίμακες του κόκκινου. Οι έντονες διαφορές παρατηρούνται στο βόρειο

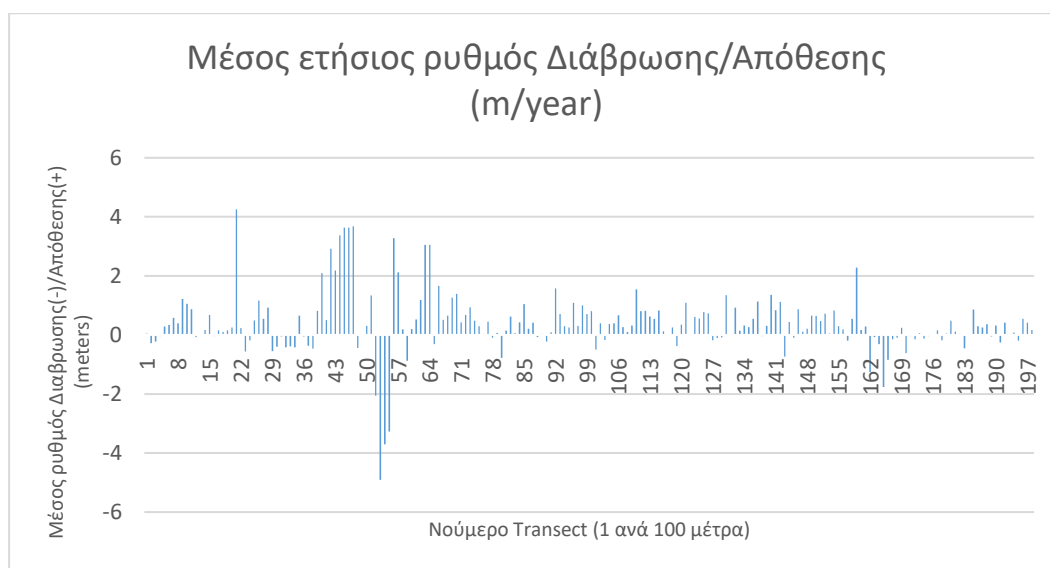
τμήμα όπου υπάρχει το λιμάνι ενώ επίσης υψηλές τιμές βλέπουμε και στους περισσότερους κόλπους της περιοχής. Η μέγιστη μετακίνηση των ακτογραμμών σε αυτές τις περιοχές αναδεικνύει ότι υπάρχει αυξημένη διάβρωση ή απόθεση.

Πίνακας 10: Πίνακας στατιστικών Διάβρωσης/Απόθεσης/Μετακίνησης ακτογραμμής Δήμου Κασσάνδρας σε μέτρα (2014-2020)

	Ακτογραμμή Δήμου Σιθωνίας (2014-2020)	Αριθμός Transect
Μέγιστη Διάβρωση (LRR) (m)	4.91	56
Μέγιστη Απόθεση (LRR) (m)	4.25	24
Μέση Διάβρωση/Απόθεση (LRR) (m)	0.38	-
Ελάχιστη Μετακίνηση (SCE) (m)	0.11	15
Μεγίστη Μετακίνηση (SCE) (m)	79.99	47
Μέση Μετακίνηση (SCE) (m)	11.01	-

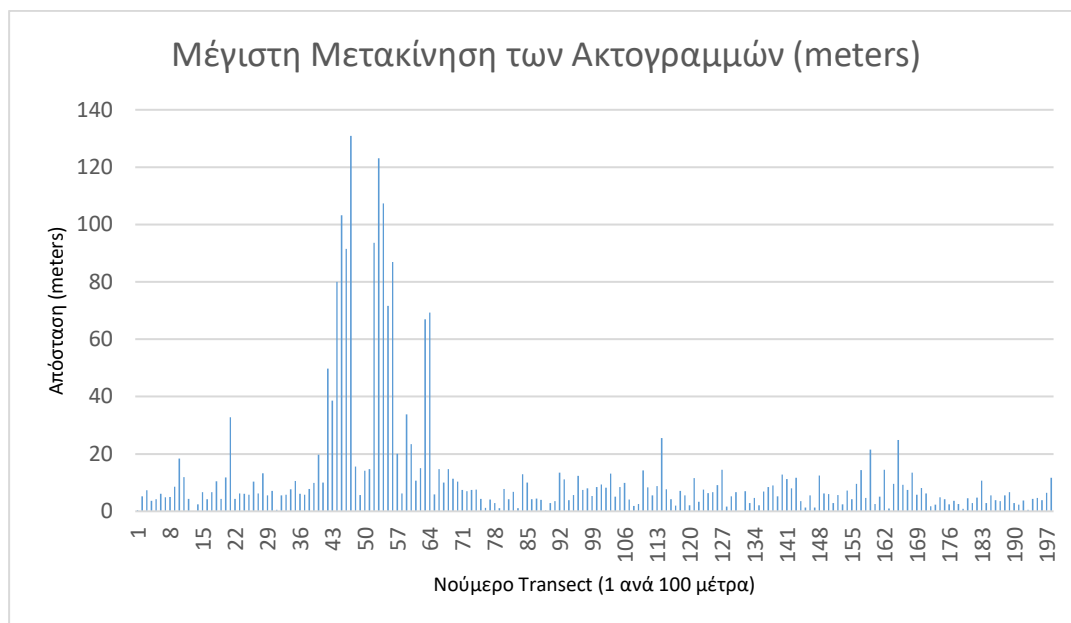
Ο πίνακας 10 είναι μία επιπλέον ανάλυση η οποία μας δίνει μια γενικότερη απόψη για τις κινήσεις της ακτογραμμής σε μέτρα στην αντίστοιχη χρονική περίοδο. Από αυτόν παρατηρούμε ότι η μέγιστη διάβρωση για τη χρονική περίοδο 2014-2020 έφτασε τα 4.91 μέτρα ενώ αντίστοιχα η μέγιστη απόθεση τα 4.25 μέτρα. Η μέση τιμή της απόθεσης και της διάβρωσης κατά μήκος των 198 τιμών που είχαμε στην περιοχή βρίσκεται στα 0.38 μέτρα, άρα η ακτογραμμή στο σύνολό της έχει μία ήπια απόθεση. Όσον αφορά τη μετακίνηση της ακτογραμμής, η ελάχιστη μετακίνηση που παρατηρήθηκε είναι στα 0.11 μέτρα και η μέγιστη στα 79.99 μέτρα. Η μέση μετακίνηση που είχαν οι ακτογραμμές προς οποιαδήποτε κατεύθυνση ήταν τα 11.01 μέτρα.

Πίνακας 11: Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Διάβρωσης/Απόθεσης



Στο παραπάνω διάγραμμα διακρίνουμε όλες τις τιμές του δείκτη LRR ο οποίος μας δίνει θετικές τιμές για διάβρωση και αρνητικές για απόθεση σε κάθε Transect (100 μέτρα). Παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των τιμών παρουσιάζεται στην θετική πλευρά του άξονα, επιβεβαιώνοντας την ήπια τάση της ακτογραμμής στην απόθεση. Επιπλέον παρατηρείται ότι οι τιμές της διάβρωσης κυμαίνονται χαμηλότερα από το 1 μέτρο με κάποιες έντονες τιμές διάβρωσης στα Transect 51-56 οι οποίες φτάνουν έως και τα 5 μέτρα. Αντίθετα οι τιμές της απόθεσης κυμαίνονται έως τα 2 μέτρα αλλά παρατηρούμε επίσης ότι οι περιπτώσεις πιο έντονης απόθεσης είναι πιο συχνές με τιμές οι οποίες ξεπερνούν τα 2 μέτρα και φτάνουν έως και τα 4.25 μέτρα.

Πίνακας 12: Μέγιστη Μετακίνηση των Ακτογραμμών



Το διάγραμμα 12 μας παρουσιάζει τα σημεία κατά μήκος της ακτογραμμής τα οποία παρατηρήθηκε κίνησή της προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Από αυτό παρατηρούμε ότι οι τιμές γενικότερα βρίσκονται ανάμεσα στα 0-10 μέτρα. Οι τιμές μετακίνησης της ακτογραμμής είναι πιο έντονες με 2 περιπτώσεις να υπερβαίνουν τα 120 μέτρα και τις μετρήσεις που έγιναν γύρω από αυτές να έχουν αντίστοιχα μεγάλη κίνηση της ακτογραμμής σε τιμές άνω των 60 μέτρων.

Κεφάλαιο 8: Συζήτηση και Συμπεράσματα

Οι παράκτιες ζώνες και η σωστή διαχείριση τους είναι ένα από τα κύρια ζητήματα για την ανάπτυξη και την ευημερία μίας χώρας. Οι παράκτιες ζώνες όμως είναι και περιοχές οι οποίες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε μεταβολές οι οποίες μπορούν να δημιουργηθούν λόγω της αστικοποίησης ή της ανεξέλεγκτης ανάπτυξης, υποβαθμίζοντας έτσι τους πόρους και τα οικοσυστήματα που διατηρούν σε ισορροπία αυτές τις περιοχές. Εξίσου σοβαρές επιπτώσεις στο παράκτιο περιβάλλον έχει και η κλιματική αλλαγή η οποία είναι επίσης έμμεσο αποτέλεσμα ανθρωπίνων παρεμβάσεων. Αυτή η έντονη αλλαγή των κλιματικών φαινομένων είναι επακόλουθο της ανθρώπινης απερισκεψίας για το περιβάλλον και τη διατήρηση του. Εύλογο λοιπόν είναι, σαν αποτέλεσμα της ανάγκης διατήρησης της αειφορίας του περιβάλλοντος, να ξεκινήσουμε τη μελέτη των φαινομένων που παρατηρούνται στη γη για την καλύτερη κατανόηση τους και την αντιμετώπιση ξαφνικών ραγδαίων αλλαγών που προκαλούνται από ανθρώπινους παράγοντες.

Στην παρούσα μελέτη, δίνεται ένα παράδειγμα για τις δυνατότητες και προοπτικές που έχει η χρήση Γεωπληροφορικής σε συνδυασμό με τη συχνότητα λήψης δορυφορικών δεδομένων για τη διαχρονική απεικόνιση και μελέτη της μεταβολής των ακτογραμμών αλλά και πως η χρήση ήδη υπάρχοντων λογισμικών και εργαλείων μπορεί να μας οδηγήσει στην εξαγωγή ποιοτικών αποτελεσμάτων με μικρή αβεβαιότητα.

Στο παραλιακό μέτωπο του Δήμου Κασσάνδρας, παρατηρούνται σε γενικές γραμμές φαινόμενα μικρής μετακίνησης της ακτογραμμής και η κίνηση της τείνει προς την απόθεση στο μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής. Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν δε δείχνουν, οπτικά, κάποια αισθητή μετακίνηση της ακτογραμμής, πιθανότατα λόγω του μικρού βάθους χρόνου που χρησιμοποιήσαμε για τις μετρήσεις (2014-2020). Οι μεταβολές στις ακτογραμμές αναμένονταν να ήταν ιδιαίτερα μικρές για αυτά τα 6 χρόνια των μετρήσεων, για αυτό το λόγο αναζητήθηκαν εργαλεία όπως το DSAS, ώστε να βρεθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η μικρή αυτή απόσταση που διένυσε η ακτογραμμή. Στην περιοχή μελέτης για τα έτη 2014 έως 2020 και μετά από την ανάλυση των δεδομένων παρατηρήθηκε ότι σε μέσο όρο η ακτογραμμή κινήθηκε κατά 0.5 μέτρα προς τη θάλασσα. Τα δύο πιο σημαντικά ποσοστά που κυριάρχησαν στην ακτογραμμή ήταν η ευστάθειά της (κίνηση μικρότερη ή ίση των 0.4 μέτρων ανά έτος) σε ποσοστό 47.74% και η ήπια απόθεση (κίνηση προς την πλευρά της θάλασσας 0.4-1.5 μέτρων ανά έτος). Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί, ότι τα λίγα σημεία που παρουσίασαν ήπια και πιο έντονη διάβρωση

βρίσκονται στο βορειότερο τμήμα της ακτογραμμής, αυτό συμβαίνει διότι εκεί βρίσκεται μία κατοικημένη περιοχή σε σχέση με την υπόλοιπη ακτογραμμή η οποία έχει έντονο τουρισμό και ένα μικρό τοπικό λιμάνι. Ακόμα παρατηρούμε ότι οι έντονες περιοχές μετακίνησης της ακτογραμμής τείνουν να βρίσκονται στους μικρούς κόλπους που σχηματίζει η ακτογραμμή και στα μικρά ακρωτήρια με φαινόμενα απόθεσης να κυριαρχούν στους κόλπους.

Η παράκτια περιοχή του Δήμου Σιθωνίας αποτελεί ένα ακόμα παράδειγμα μέτρησης των ακτογραμμών σε μεγάλη κλίμακα αλλά η ύπαρξη κατοικημένων περιοχών είναι πιο έντονη στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης, συγκριτικά με την περιοχή μελέτης του Δήμου Κασσάνδρας. Οι χάρτες, όπως και στο παράδειγμα του Δήμου Κασσάνδρας, δεν μας δίνουν έγκυρα οπτικά δεδομένα όσον αφορά τη μετακίνηση των ακτογραμμών. Παρόλα αυτά, με τη χρήση του εργαλείου DSAS, καταλήξαμε στο αποτέλεσμα ότι η ακτογραμμή κατά μέσο όρο μετακινείται προς τη θάλασσα με ρυθμό 0.38 μέτρα ανά έτος. Επιπλέον, παρατηρείται ότι σχεδόν το 60% του μήκους της ακτογραμμής βρίσκεται σε ευστάθεια και οι μετακινήσεις της ανά έτος δεν ξεπέρασαν τα 0.5 μέτρα. Αυτό που επίσης παρατηρείται είναι ότι στις δύο έντονα κατοικημένες περιοχές της ακτογραμμής, είναι και τα δύο σημεία που επίσης παρατηρείται εντονότερη διάβρωση στο βόρειο τμήμα του χάρτη, όπου βρίσκεται η πόλη Νέος Μαρμαράς και στα νότια που υπάρχουν συγκεντρωμένες ξενοδοχειακές μονάδες. Αξίζει ακόμα να αναφέρουμε, ότι στα αποτελέσματα μας, εντοπίσαμε και κάποιες ακραίες τιμές οι οποίες φανερώνουν κίνηση των ακτογραμμών για πάνω από 80-100 μέτρα σε βάθος χρόνου 5 ετών. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες και μετακίνηση της ακτογραμμής με κάποιο σκοπό, αλλά στην συγκεκριμένη περίπτωση οι ακραίες αυτές τιμές προέρχονται από ένα σφάλμα του εργαλείου το οποίο μέτρησε και ένα τοπικό λιμάνι σαν ακτογραμμή με αποτέλεσμα να βγουν αποτελέσματα υπερβολικά μεγάλης κίνησης των ακτογραμμών.

Οι μετρήσεις και στις δύο περιοχές μελέτης φανερώνουν ότι με τη χρήση δεδομένων χωρικής ανάλυση 30 μέτρων δε φανερώνει εμφανώς τις μετακινήσεις στις ακτογραμμές, ειδικά για ένα μικρό χρονικό διάστημα των 6 ετών που λάβαμε δεδομένα. Πολλές από τις τιμές διάβρωσης που βρήκαμε και στις δύο περιοχές μελέτης παίρνουν τιμές οι οποίες είναι ιδιαίτερα μεγάλες και δε συμβαδίζουν με τις τιμές της υπόλοιπης ακτογραμμής, αυτό συμβαίνει διότι η χωρική ανάλυση των δεδομένων είναι αρκετά μεγάλη και σε κάποιες περιοχές οι τιμές των εικονοστοιχείων (πίξελ) δεν είναι 100% αντιπροσωπευτικές. Για να εξάγουμε πιο ακριβή δεδομένα όσον αφορά τις τιμές διάβρωσης των ακτογραμμών απαιτούνται δορυφορικά δεδομένα τα οποία έχουν χωρική ανάλυση μικρότερη του 1 μέτρου. Ο δορυφόρος Sentinel-2 παρέχει δεδομένα με

ανάλυση 10x10 μέτρα ανά πίξελ και είναι η δωρεάν επιλογή με την υψηλότερη ανάλυση στα δεδομένα. Επιπλέον υπάρχουν διαθέσιμοι δορυφόροι από ιδιωτικές εταιρείες οι οποίοι παρέχουν δεδομένα με ανάλυση χαμηλότερη του 1 μέτρου, αλλά με υψηλό κόστος. Κάποιοι από αυτούς τους δορυφόρους είναι οι:

- Orbview-5 από την ORBIMAGE με ανάλυση 0.41 μέτρα στο πανγχρωματικό κανάλι
- Worldview από την DigitalGlobe με ανάλυση μικρότερη από 0.5 μέτρα
- Pleiades από την CNES με ανάλυση 0.7 μέτρα στο πανγχρωματικό κανάλι και
- Kompsat-2 από την Korea Aerospace Research Institute με ανάλυση 1 μέτρο στο πανγχρωματικό κανάλι (Bayir, 2005)

Από αυτά τα αποτελέσματα βλέπουμε ότι οι δυνατότητες του εργαλείου DSAS σε συνδυασμό με τη χρήση Γ.Σ.Π. δίνουν τη δυνατότητα στον ερευνητή να βγάλει αποτελέσματα με μεγάλη ακρίβεια και να τα αξιολογήσει ακόμα πιο εύκολα με τη δημιουργία πινάκων από τα στατιστικά που μας προσφέρει αυτό το εργαλείο, εξάγοντας έτσι τεκμηριωμένα συμπεράσματα.

Τέλος, και με βάση τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής, είναι εμφανής η σημασία που έχει η έρευνα φαινομένων μετακίνησης των ακτογραμμών. Η διαδικασία μελέτης των μεταβολών αυτών καθίσταται πιο εύκολη και γρήγορη κάνοντας χρήση των εργαλείων των Γ.Σ.Π. αλλά κυρίως χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα τα οποία είναι διαθέσιμα σε διάφορες ημερομηνίες και για οποιοδήποτε σημείο της γης, διότι με τη χρήση και ανάλυσή τους μπορούμε να βγάλουμε έγκυρα και τεκμηριωμένα αποτελέσματα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Arjasakusuma, S., Kusuma, S.S., Saringatin, S., Wicaksono, P., Mutaqin, B.W., Rafif, R., 2020. Shoreline Dynamics in East Java Province, Indonesia, from 2000 to 2019 Using Multi-Sensor Remote Sensing Data. Land 2021, 10, 100. <https://doi.org/10.3390/land10020100>
2. Bera, R. and Maiti, R., 2019. Quantitative analysis of erosion and accretion (1975–2017) using DSAS — A study on Indian Sundarbans. Regional Studies in Marine Science, 28. Διαθέσιμο στο: <<https://www.sciencedirect.com/journal/regional-studies-in-marine-science>> [Πρόσβαση 10 Μαΐου 2021].
3. Corine Land Cover 2018, Copernicus, Διαθέσιμο στο: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018> [Πρόσβαση 14 Μαΐου 2021].
4. Corine Land Cover 2018, Copernicus, Διαθέσιμο στο: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018> [Πρόσβαση 14 Μαΐου 2021].
5. Constantino, D., Pepe, M., Dardanelli, G. and Baiocchi, V., 2020. Using optical satellite and aerial imagery for automatic coastline mapping. Geographia Technica, 15(2), σελ.171-190.
6. Demir, N., Kaynarca, M. and Oy, S., 2016. Extraction of coastlines with fuzzy approach using Sentinel-1 SAR image. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B7, pp.747-751. Διαθέσιμο στο: <<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B7/747/2016/>> [Πρόσβαση 19 Μαΐου 2021].

7. Demirel, A. and Bayir, I., 2005. One meter and below high resolution satellites in production. *Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 36. Διαθέσιμο στο: <<https://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/1-W3/PDF/077-demirel.pdf>> [Πρόσβαση 7 Σεπτεμβρίου 2021].
8. EU-DEM v1.1, Copernicus, Διαθέσιμο στο: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1> [Πρόσβαση 13 Μαΐου 2021]
9. Google Earth.
10. Halkidiki Project, Διαθέσιμο στο: <https://halkidiki-greece.com/el/> [Πρόσβαση 10 Μαΐου 2021]
11. Himmelstoss E.A., Henderson R.E., Kratzmann M.G., Farris A.S., 2018. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1179, <https://doi.org/10.3133/ofr20181179>.
12. Landsat 8, USGS, Διαθέσιμο στο: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con [Πρόσβαση 19 Μαΐου 2021].
13. Landsat Collections, USGS, Διαθέσιμο στο: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-collections?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con [Πρόσβαση 19 Μαΐου 2021].
14. Landsat Satellite Missions, USGS, Διαθέσιμο στο: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con [Πρόσβαση 19 Μαΐου 2021].

15. Manno, G., Lo Re, C. and Ciraolo, G., 2017. Uncertainties in shoreline position analysis: the role of run-up and tide in a gentle slope beach. *Ocean Science*, 13(5), σελ.661-671. Διαθέσιμο στο: <<https://os.copernicus.org/articles/13/661/2017/>> [Πρόσβαση 17 Μαΐου 2021].

16. McFeeters, Stuart, 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International journal of remote sensing*.

17. Taufik, M., Nugraini, L., Pratomo, D., Kurniawan, A. and Utama, W., 2019. Detection of Arosbaya Coastline Changes Using Sentinel-2A (Study Year of 2015-2018). In: *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing Ltd. Διαθέσιμο στο: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/328/1/012045/meta>> [Πρόσβαση 15 May 2021].

18. Trinh, L., Le, T., Kieu, V., Tran, T. and Nguyen, T., 2020. Application of remote sensing technique for shoreline change detection in Ninh Binh and Nam Dinh provinces (Vietnam) during the period 1988 to 2018 based on water indices. *Russian Journal of Earth Sciences*, 20(2), σελ.1-15. Διαθέσιμο στο: <<http://rjes.wdcb.ru/doi/2020ES000686-res.html>> [Πρόσβαση 17 Μαΐου 2021].

19. Vassilakis, E. and Papadopoulou-Vrynioti, K., 2014. Quantification of Deltaic Coastal Zone Change Based on Multi-Temporal High Resolution Earth Observation Techniques. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3. Διαθέσιμο στο: <<https://www.mdpi.com/journal/ijgi>> [Πρόσβαση 2 June 2021].

20. Yulianto, F., Suwarsono, Maulana, T. and Khomarudin, M., 2019. The dynamics of shoreline change analysis based on the integration of remote sensing and geographic information system (GIS) techniques in Pekalongan coastal area, Central Java, Indonesia. *JOURNAL OF DEGRADED AND MINING LANDS MANAGEMENT*, 6(3). Διαθέσιμο στο:

<<https://jdmlm.ub.ac.id/index.php/jdmlm/article/view/540>> [Πρόσβαση 5 Ιουνίου 2021].

21. Zachopoulos, K., Kokkos, N., Zoidou, M. and Sylaios, 2021. Trends in Coastal Erosion by combining Satellite Image Analysis and Copernicus wave data: Paggaion Coastline, Northern Greece. Xanthi: Laboratory of Ecological Engineering and Technology. Διαθέσιμο στο: <http://www.ubbsla.org/wp-content/uploads/2019/05/Ex_Paper_174.pdf> [Πρόσβαση 2 Ιουνίου 2021].
22. Καρύμπαλης, Ε., 2010. Παράκτια Γεωμορφολογία. 1st ed. ΑΘΗΝΑ: Ίων.
23. Κλαράκης, Α., 2015. Δημιουργία Βάσης Δεδομένων και Χαρτογράφηση Αντιπυρικών Υποδομών για τη Χαλκιδική. ΜΥΤΙΛΗΝΗ, σελ. 61. Διαθέσιμο στο: <<https://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/6290>> [Πρόσβαση 13 May 2021].
24. Δουκάκης Ε., (2007), Μεθόδοι προσδιορισμού του ρυθμού μεταβολής των ακτογραμμών, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.