



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ



ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Χ. ΒΑΡΣΑΜΗ

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΜΑΜΑ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ ΜΕΣΩ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021



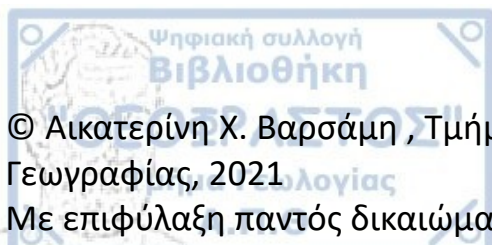


ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Χ. ΒΑΡΣΑΜΗ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5089

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΜΑΜΑ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ ΜΕΣΩ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας

Επιβλέπων
Παπαγεωργίου Έλενα



© Αικατερίνη Χ. Βαρσάμη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΜΑΜΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ ΜΕΣΩ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ – *Διπλωματική Εργασία*

© Aikaterini Ch. Varsami, School of Geology, Dept. of Environmental Geography, 2021
All rights reserved.

MAPPING AGIOS MAMAS LAGOON (HALKIDIKI) CHANGES USING REMOTE SENSING AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM - *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.

Εικόνα Εξωφύλλου:.....

Περίληψη

Η λιμνοθάλασσα του Αγίου Μάμα βρίσκεται στη Χαλκιδική, κατά μήκος της ΒΔ ακτής του κόλπου της Κασσάνδρας, σε γειτνίαση με το ομώνυμο χωριό του Αγίου Μάμα. Αποτελεί έναν όχι μεγάλου μεγέθους, αλλά μεγάλης σημασίας υγρότοπο, που μάλιστα έχει συμπεριληφθεί στο οικολογικό δίκτυο περιοχών, Natura 2000.

Έχει παρατηρηθεί ότι ο υδάτινος όγκος της λιμνοθάλασσας υφίσταται σημαντικές διακυμάνσεις, καθώς τη χειμερινή περίοδο κατακλύζεται με νερό, ενώ κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου το περισσότερο από αυτό το νερό εξατμίζεται. Είναι κατανοητό λοιπόν, ότι η παρακολούθηση των μεταβολών του υδάτινου όγκου είναι επιτακτική, ιδίως εφόσον πρόκειται για περιοχή με περιβαλλοντικό ενδιαφέρον.

Στις μέρες μας, η Τηλεπισκόπηση και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) αποτελούν βασικά εργαλεία για την παρακολούθηση της γήινης επιφάνειας, και μάλιστα χωρίς κανένα κόστος. Η παρούσα μελέτη, συνδυάζοντας δορυφορικά δεδομένα και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, στοχεύει στην παρακολούθηση της υδάτινης επιφάνειας της λιμνοθάλασσας του Αγίου Μάμα, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, για την ανίχνευση των χωρο-χρονικών μεταβολών, αλλά και στην ποσοτικοποίηση των μεταβολών αυτών. Με την εφαρμογή της Τηλεπισκόπησης και την χρήση των οπτικών δορυφορικών δεδομένων Sentinel-2, για το έτος 2020, χαρτογραφήθηκε η υδάτινη μάζα της λιμνοθάλασσας, και μελετήθηκαν οι χωρικές και χρονικές διακυμάνσεις της, ενώ επιπλέον με την μετέπειτα επεξεργασία σε περιβάλλον GIS, παράχθηκαν τα αντίστοιχα ψηφιακά γεωχωρικά δεδομένα, τα οποία περιγράφουν τα μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά της λιμνοθάλασσας, για τη συγκεκριμένη περίοδο παρακολούθησης.

Λέξεις κλειδια:

Λιμνοθάλασσα, Τηλεπισκόπηση, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Χαρτογράφηση

Abstract

The Agios Mamas lagoon is located in Halkidiki, along the NW coast of the Kassandra Gulf, in the neighborhood of the homonymous village of Agios Mamas. It is a small wetland, but of great importance, which has been included in the ecological network, Natura 2000.

It has been observed that the water volume of the lagoon fluctuates significantly, as in winter it is flooded with water, while during the summer most of this water evaporates. It is therefore understandable, that monitoring of water volume changes is imperative, especially when it concerns an area of environmental interest.

Nowadays, Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) are important tools for monitoring the earth's surface, at no cost. The present study, combining satellite data and Geographic Information Systems, aims to monitor the water surface of the lagoon of Agios Mamas, at different times, to detect spatio-temporal changes, but also to quantify these changes. After the water mass of the Agios Mamas lagoon was mapped, and its spatial and temporal variations were studied with the application of Remote Sensing and the use of optical satellite data Sentinel-2, for the year 2020, then, with processing in a Geographic Information System (GIS), the corresponding digital geospatial data, which describe the morphometric and hydrographic characteristics of the lagoon, for the specific monitoring period, were produced.

Key words:

Lagoon, Remote Sensing, Geographic Information Systems, Mapping



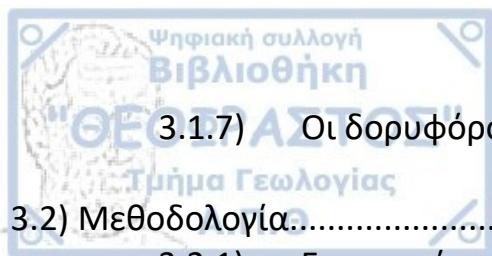
Ευχαριστίες

Με το πέρας της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θεωρώ ιδιαίτερη υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν και συνέβαλαν στη διεκπεραίωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Δρ. Έλενα Παπαγεωργίου, για τη συνεχή καθοδήγηση και βοήθεια, η οποία έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας. Ακόμα, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, που με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια και μου πρόσφερε την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση καθόλη τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Ευχαριστίες.....	6
 Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	 9
1.1) Σκοπός της εργασίας.....	9
1.2) Διοικητική Υπαγωγή.....	9
 Κεφάλαιο 2ο: Περιοχή μελέτης – Γενικά στοιχεία.....	 12
2.1) Γεωλογία – Τεκτονική.....	12
2.1.1) Ευρύτερη περιοχή.....	12
2.1.2) Περιοχή μελέτης.....	17
2.2) Γεωμορφολογία.....	20
2.1.1) Ευρύτερη περιοχή.....	20
2.1.2) Περιοχή μελέτης.....	20
2.1.3) Λιμνοθάλασσα.....	21
2.3) Κυματικό καθεστώς - παλιρροιακή επίδραση.....	25
2.3.1) Γενικές πληροφορίες.....	25
2.3.2) Μεγέθη των κυμάτων.....	28
2.3.3) Περιοχή μελέτης.....	29
2.4) Μετεωρολογικά στοιχεία.....	30
2.4.1) Γενικές πληροφορίες.....	30
2.4.2) Ευρύτερη περιοχή.....	30
2.4.3) Περιοχή μελέτης.....	32
2.5) Υδρογεωλογικά στοιχεία.....	34
2.5.1) Ευρύτερη περιοχή.....	34
2.5.2) Περιοχή μελέτης.....	35
 Κεφάλαιο 3ο: Τηλεπισκόπηση – Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών.....	 38
3.1) Τηλεπισκόπηση.....	38
3.1.1) Ορισμός – Γενικές πληροφορίες.....	38
3.1.2) Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης.....	40
3.1.3) Ιστορική ανασκόπηση.....	41
3.1.4) Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	44
3.1.5) Πολυφασματικές εικόνες.....	46
3.1.6) Τηλεπισκοπικοί δείκτες.....	46



3.1.7) Οι δορυφόροι Sentinel.....	47
3.2) Μεθοδολογία.....	48
3.2.1) Εισαγωγή.....	48
3.2.2) Επεξεργασία στο SNAP.....	50
3.3) Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών.....	52
3.3.1) Ορισμός – Γενικές πληροφορίες.....	52
3.3.2) Δεδομένα.....	53
3.3.3) Ιστορική ανασκόπηση.....	55
3.3.4) Εφαρμογές Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών.....	56
3.3.5) Επεξεργασία στο QGIS.....	56
Κεφάλαιο 4ο: Αποτελέσματα – Συμπεράσματα.....	66
4.1) Αποτελέσματα.....	66
4.2) Συμπεράσματα.....	72
Βιβλιογραφία.....	75

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1) Σκοπός της εργασίας

Η λιμνοθάλασσα του Αγίου Μάμα αποτελεί έναν μικρό αλλά σημαντικό υγρότοπο, που κατακλύζεται περιοδικά με νερό μικρού βάθους, το οποίο κατά την καλοκαιρινή περίοδο εξατμίζεται εντελώς. Με την αξιοποίηση διαχρονικών δορυφορικών δεδομένων παρατήρησης της Γης καθίσταται δυνατή η παρατήρηση του παραπάνω φαινομένου, και η ανίχνευση μεταβολών της λιμνοθάλασσας σε χωρική και χρονική κλίμακα. Κατά την παρούσα εργασία διερευνώνται οι χωροχρονικές αλλαγές της λιμνοθάλασσας του Αγίου Μάμα με την εξαγωγή των κατάλληλων δεικτών των υδάτινων μαζών. Η χρήση δορυφορικών οπτικών εικόνων που λαμβάνονται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα παρέχει μια σημαντική σύγκριση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση των χωροχρονικών αλλαγών της λιμνοθάλασσας, αλλά και της μετέπειτα παρακολούθησης των δυναμικών αλλαγών της υδάτινης περιοχής της λιμνοθάλασσας (ανάλυση ισορροπίας υδάτινων πόρων, συνθήκες ανανέωσης νερού). Επίσης, με την χρήση πολλαπλών εικόνων και την ανάλυση χρονοσειρών που εκτείνονται σε μεγαλύτερη χρονική περίοδο είναι δυνατόν να καταγραφεί και η εποχική μεταβλητότητα της υδροδυναμικής της λιμνοθάλασσας.

Η παρούσα εργασία συνδυάζει την Τηλεπισκόπηση και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για την παρακολούθηση των χωρικών και χρονικών διακυμάνσεων της λιμνοθάλασσας του Αγίου Μάμα και αποσκοπεί στην εξαγωγή των αντίστοιχων ψηφιακών γεωχωρικών δεδομένων που θα περιγράψουν τα μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά της λιμνοθάλασσας, για την εν λόγω περίοδο παρακολούθησης.

1.2) Διοικητική υπαγωγή

Η Περιφερειακή Ενότητα Χαλκιδικής είναι μία από τις 74 περιφερειακές ενότητες της Ελλάδας. Αποτελεί τμήμα του γεωγραφικού διαμερίσματος της Μακεδονίας και υπάγεται διοικητικά στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Βόρεια – Βορειοδυτικά συνορεύει με την Περιφερειακή Ενότητα Θεσσαλονίκης και ανατολικά με το Άγιο Όρος, ενώ οι παράκτιες περιοχές της βρέχονται από το Αιγαίο πέλαγος. Περιλαμβάνει γεωγραφικά την χερσόνησο της Χαλκιδικής, με το χαρακτηριστικό σχήμα των τριών χερσονήσων (πόδια της Χαλκιδικής), πλην του μεγαλύτερου τμήματος της ανατολικότερης χερσονήσου του Αγίου όρους, που είναι διοικητικά ανεξάρτητη, με πρωτεύουσα τις Καρυές. Η έκτασή της ανέρχεται στα 2.923 km², αριθμεί 105.908 κατοίκους και πρωτεύουσά της, όπως και σημαντικό διοικητικό κέντρο, είναι ο Πολύγυρος, ενώ μεγαλύτερη πόλη και λιμάνι τα Νέα Μουδανιά. Άλλες σημαντικές πόλεις είναι η Αρναία, η Νέα Καλλικράτεια, η Κασσάνδρεια, η Νικήτη και η Ιερισός.

Σύμφωνα με το Σχέδιο Καποδίστριας, το οποίο ίσχυσε από το 1999 μέχρι το 2010, ο πρώην Νομός Χαλκιδικής απαρτιζόταν από 14 δήμους. Στην εικόνα 1.1 αποτυπώνονται τα όρια του νομού, καθώς και οι διάφορες διοικητικές περιοχές που ίσχυαν μέχρι το 2010.



Εικόνα 1.1: Πρώην διοικητική διαίρεση του Ν. Χαλκιδικής (Wikipedia).

Με την εφαρμογή του Προγράμματος Καλλικράτης, από το 2011 η Περιφερειακή Ενότητα Χαλκιδικής απαρτίζεται από 5 Δήμους: το Δήμο Πολυγύρου, το Δήμο Σιθωνίας, το Δήμο Νέας Προποντίδας, το Δήμο Αριστοτέλη και το Δήμο Κασσάνδρας. Το Άγιο όρος, που αποτελεί το τρίτο, γεωγραφικά, πόδι του νομού, αποτελεί αυτοδιοίκητο τμήμα του Ελληνικού κράτους, σύμφωνα με το καταστατικό του 1924, που υπάγεται πολιτικά στο Υπουργείο Εξωτερικών και θρησκευτικά στη Δικαιοδοσία του Οικουμενικού Πατριαρχείου της Κωνσταντινούπολης.



Εικόνα 1.2: Η διαίρεση της Χαλκιδικής σε Δήμους, σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης (Wikipedia).

Η λιμνοθάλασσα του Αγίου Μάμα ανήκει στο Δήμο Νέας Προποντίδας. Η έκταση του νέου Δήμου είναι 380.077 km² και ο πληθυσμός του 36.500 κάτοικοι, σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Έδρα του Δήμου είναι τα Νέα Μουδανιά. Η λιμνοθάλασσα απέχει περίπου 2 km από το ομώνυμο χωριό και 70 km από τη Θεσσαλονίκη.



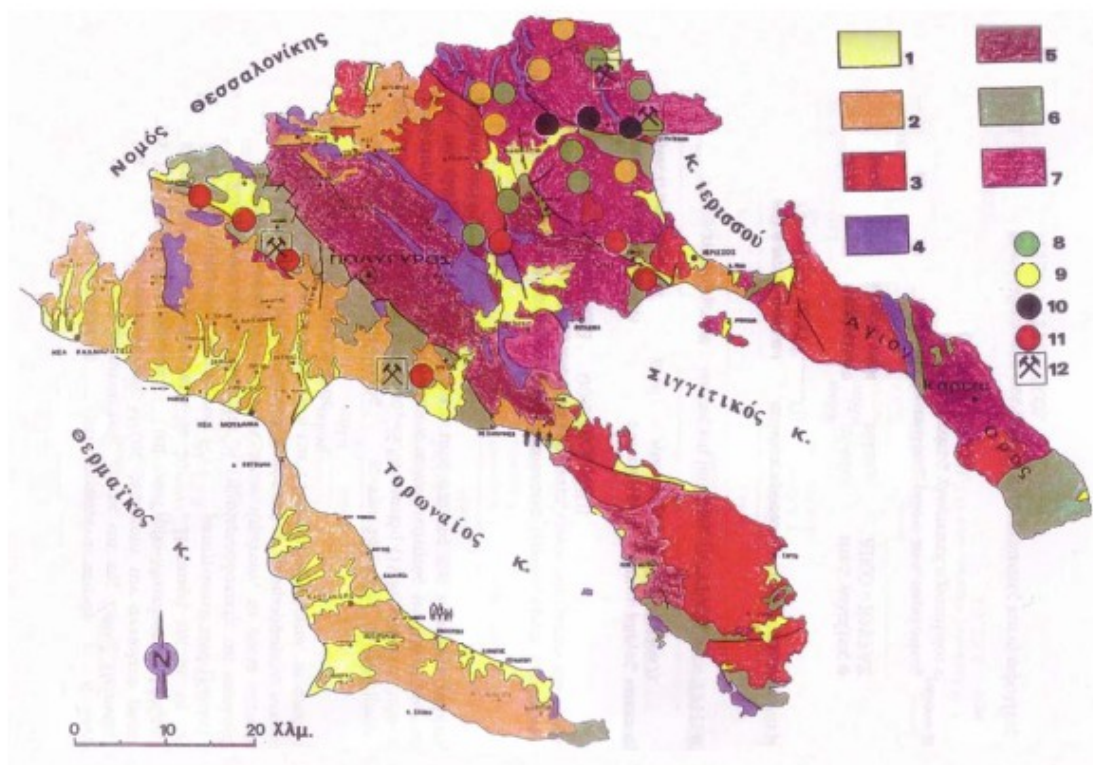
Εικόνα 1.3: Η περιοχή μελέτης (Wikipedia).

Κεφάλαιο 2ο: Περιοχή μελέτης – Γενικά στοιχεία

2.1) Γεωλογία – Τεκτονική

2.1.1) Ευρύτερη περιοχή

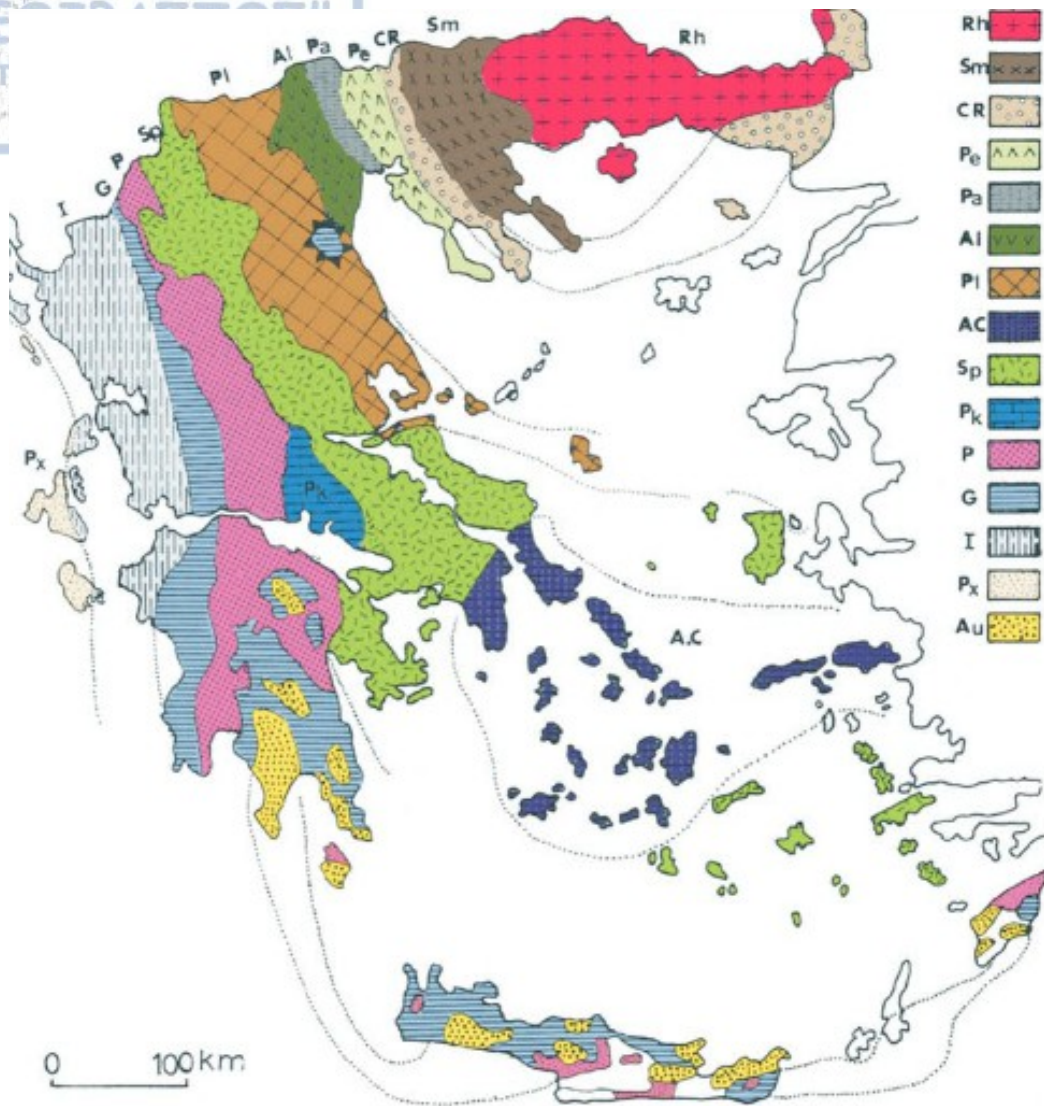
Από γεωτεκτονική άποψη, η χερσόνησος της Χαλκιδικής τοποθετείται μεταξύ της Ελληνικής Ενδοχώρας, των μαζών Ροδόπης και Σερβομακεδονικής και των Εσωτερικών Ελληνίδων (Μουντράκης, 2010). Στην περιοχή της Χαλκιδικής συναντώνται τρεις από τις γεωτεκτονικές ζώνες του Ελληνικού χώρου, η Σερβομακεδονική μάζα, η Περιροδοπική ζώνη και η ζώνη Αξιού (υποζώνη Παιονίας). Στο ανατολικό τμήμα της Χαλκιδικής κυριαρχούν κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα Παλαιοζωικής ή και παλαιότερης ηλικίας, τα οποία αποτελούν τη Σερβομακεδονική μάζα. Το κεντρικό τμήμα χαρακτηρίζεται από ημιμεταμορφωμένα - μεταμορφωμένα Περμοτριαδικά και Ιουρασικά πετρώματα, τα οποία ανήκουν στην Περιροδοπική ζώνη, ενώ στο δυτικό τμήμα βρίσκεται η υποζώνη Παιονίας, στην οποία συναντώνται ημιμεταμορφωμένα Αλπικά ιζήματα, όπως ασβεστόλιθοι, φυλλίτες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, μαρμαρυγικοί και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι αλλά και ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμοί. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της Χαλκιδικής, ενώ στην Εικόνα 2.2 οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας.



Εικόνα 2.1: Γεωλογικός χάρτης του Νομού Χαλκιδικής (Καταφιώτη Μ., 2008).

Υπόμνημα

1. Άργιλοι, άμμοι, κροκαλοπαγή, ερυθροστρώματα, μάργες, πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων και παράκτιες αποθέσεις ηλικίας Πλειστοκαίνου – Ολοκαίνου.
2. Κροκαλοπαγή, άμμοι, μάργες, ερυθροστρώματα, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και άργιλοι Μειοκαίνου – Πλειοκαίνου.
3. Γρανίτες, γρανοδιορίτες και μονζονίτες ηλικίας Ιουρασικού – Τριτογενούς.
4. Ασβεστόλιθοι, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα ηλικίας Τριαδικού – Ιουρασικού.
5. Σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, χαλαζίτες, φυλλίτες, διαβάσεις, αμμούχες μάργες και κερατόλιθοι ηλικίας Τριαδικού – Ιουρασικού.
6. Γάββροι, σπιλίτες, pillow lavas, περιδοτίτες, σερπεντινίτες, δουνίτες, ολιβινίτες, πυροξενίτες, χλωριτικοί σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες ηλικίας Παλαιοζωικού – Ιουρασικού.
7. Γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, μιγματίτες και αμφιβολίτες ηλικίας Παλαιοζωικού – Τριαδικού.
8. Εμφάνσεις και κοιτάσματα Pb – Zn.
9. Εμφάνσεις και κοιτάσματα Fe – Cu.
10. Εμφάνσεις και κοιτάσματα Mn.
11. Εμφάνσεις και κοιτάσματα Cr.
12. Μεταλλεία.



Εικόνα 2.2: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών (Mountrakis et al. 1983).
Sm: Σερβομακεδονική μάζα, **CR:** Περιροδοπική ζώνη και **Pe:** υποζώνη Παιονίας.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στα όρια της Περιροδοπικής ζώνης και της υποζώνης Παιονίας. Παλαιογεωγραφικά, η Περιροδοπική ζώνη θεωρείται ως η ηπειρωτική κατωφέρεια της ενδοχώρας, την οποία διαδέχονταν η αύλακα της ζώνης Παιονίας, πληρωμένη με αργιλικά και κερατολιθικά ιζήματα, βαθιάς θάλασσας και Ιουρασικής ηλικίας, αντιπροσωπεύοντας τμήμα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος (Mercier, 1966) (Μάγου Αθ., 2012). Η υποζώνη Παιονίας καθορίστηκε αρχικά ως μια Μεσοζωική αύλακα μεταξύ της Ελληνικής ενδοχώρας (Σερβομακεδονική) και του υβώματος του Πάικου. Η σημερινή γεωτεκτονική αντίληψη είναι ότι αντιπροσωπεύει τμήμα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος.

Βασικό τεκτονικό χαρακτηριστικό της ζώνης Παιονίας είναι η λεπιοειδής τεκτονική. Οι επιμέρους ενότητες της ζώνης, αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά η κάθε μία ένα μεγαλέπι που συγκροτείται από ορισμένους σχηματισμούς. Τα μεγαλέπια εμφανίζονται αποκομμένα μεταξύ τους λόγω της γενικής κάλυψης της περιοχής από τα μεταλλικά νεογενή ιζήματα. Γενικά έχουν κλίση προς τα ΒΑ και με συνεχείς εφιππεύσεις προς τα Δ, ΝΔ, τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο (Μουντράκης, 2010).

Οι ενότητες-μεγαλέπια που διακρίθηκαν στην υποζώνη Παιονίας είναι οι:

Δυτικές Ενότητες:

- Ενότητα Γευγελής
- Ενότητα Ωραιοκάστρου
- Ενότητα Βαφειοχωρείου
- Ενότητα Αρτζάν

Ανατολικές Ενότητες:

- Ενότητα Άσπρης Βρύσης
- Ενότητα Μεταλλικού
- Ενότητα Ασβεστοχωρίου

Οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί που συγκροτούν κάθε ενότητα, όπως παρουσιάζονται και στην Εικόνα 2.3, είναι οι εξής:

1. Ενότητα Γευγελής: Αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και μάρμαρα Τριαδικού, με την ονομασία “Σχηματισμός της Γκόλα – Τσούκα” και από την ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά ηλικίας Τριαδικού – Ιουρασικού, που ονομάζεται “Σχηματισμός Καστανερής”. Επιπλέον περιλαμβάνει ασβεστόλιθους και σχιστόλιθους Ιουρασικού, που αποτελούν το “Σχηματισμό Γρίβα” και οφειόλιθους οι οποίοι βρίσκονται πάνω στα στρώματα του Ιουρασικού. Ένας μεγάλος γρανιτικός όγκος ηλικίας Άνω Ιουρασικού (γρανίτης του Φανού – Αξιούπολης) διεισδύει στα οφειολιθικά πετρώματα ενώ πάνω από αυτά υπάρχουν ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και μικροκροκαλοπαγή ηλικίας Άνω Ιουρασικού – Κρητιδικού.
2. Ενότητα Ωραιοκάστρου: Περιλαμβάνει ένα τεκτονικό λέπι με γνεύσιους και αμφιβολίτες (υπόβαθρο Σερβομακεδονικής) και κερατολιθικά πετρώματα με διαβάσεις ηλικίας Λιθανθρακοφόρου – Περμίου. Επίσης περιέχει μια ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά Περμίου- Κάτω Τριαδικού, πλακώδεις ασβεστόλιθους Μέσου Τριαδικού, μαζώδεις ασβεστόλιθους Ανισίου, πελαγικούς ασβεστόλιθους Λαδινίου και ασβεστοκλαστικά ιζήματα Άνω Τριαδικού – Κάτω

Ιουρασικού. Ο κύριος σχηματισμός αυτής της ενότητας είναι οι γάββροι, πάνω στους οποίους βρίσκεται μια μεγάλη σε πάχος σειρά ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών και μαργαϊκών στρωμάτων, ηλικίας Άνω Ιουρασικού.

1. Ενότητα Βαφειοχωρείου: Χαρακτηρίζεται από μεταμορφωμένα πετρώματα στην πρασινοσχιστολιθική φάση, όπως μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, χαλαζίτες, μάρμαρα και σιπολίνες που υποθέτονται ηλικίας Τριαδικού – Ιουρασικού και οφειολιθικά πετρώματα, πάνω στα οποία υπάρχουν κλαστικά ιζήματα Άνω Ιουρασικού, ασβεστόλιθοι του Προτλανδίου (Άνω Ιουρασικό) και φλύσχης Κρητιδικού.
2. Ενότητα Αρτζάν: Παρουσιάζει παρόμοιους σχηματισμούς με την Ενότητα Βαφειοχωρείου.

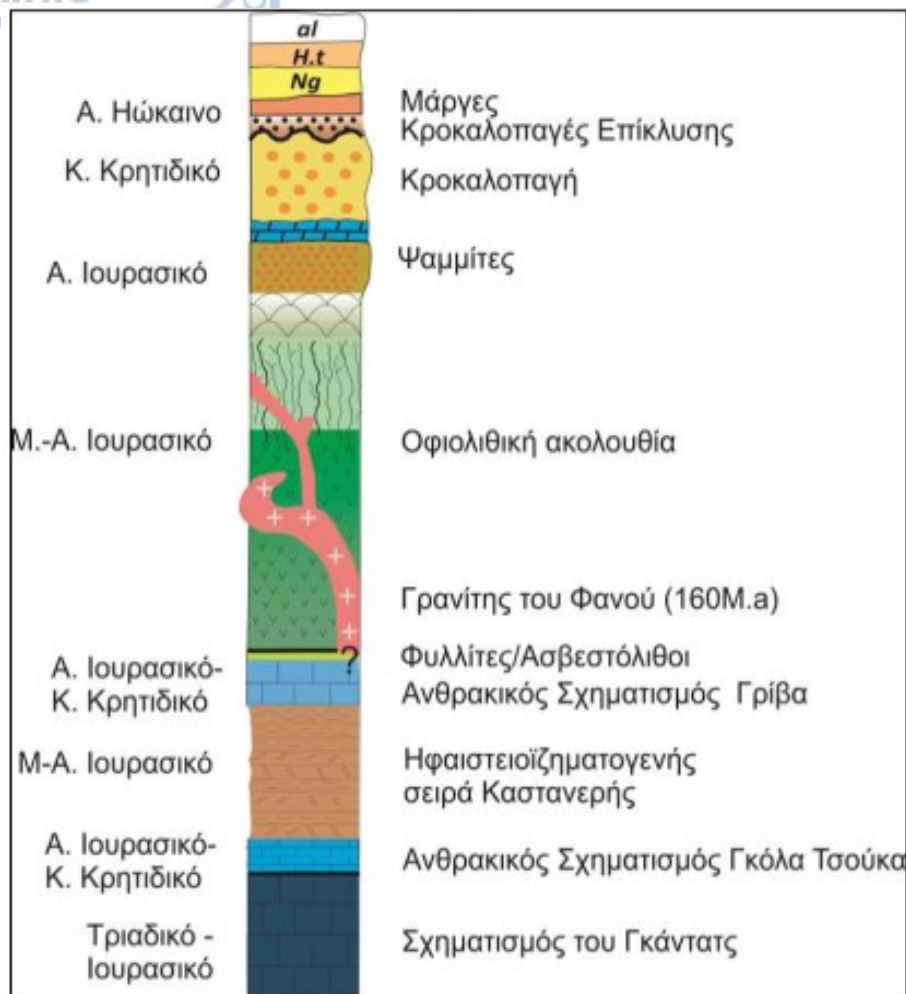
Οι ανατολικές ενότητες, δηλαδή οι Άσπρης Βρύσης, Μεταλλικού και Ασβεστοχωρίου, συγκροτούνται από δύο διαπλάσεις πετρωμάτων:

1. Από μια κατώτερη ιζηματογενή σειρά, που αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστολίθους, ηλικίας Τριαδικού – Κάτω Ιουρασικού.
2. Από μια ανώτερη τεκτονικά σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφειολίθους, η οποία αποτελείται από κερατόλιθους, πράσινους σχιστόλιθους, ψαμμίτες, δηλαδή ωκεάνια ιζήματα βαθιάς θάλασσας, συμπτυχωμένα με οφειολιθικά μέλη όπως διαβάσες, δολερίτες κ.α. Η ηλικία που την χαρακτηρίζει είναι Λιάσιο – Δογγέριο.

Όσον αφορά τον τεκτονισμό της περιοχής, ξεκίνησε από το Μεσοζωικό. Η ζώνη αυτή υπέστη τεκτονική επίδραση, σε τέσσερις φάσεις (Μουντράκης, 2010):

- 1η Ορογενετική περίοδος Ανώτερου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού: Προσωρινή ανάδυση της ζώνης, με εκδήλωση υποϊσοκλινών ως ισοκλινών και ανισοπαχών πτυχών.
- 2η Ορογενετική περίοδος Τελικού Κρητιδικού – Μέσου Ηωκαίνου: Τελική ορογενετική δράση και ανάδυση της ζώνης, με συνοδεία απλών και κλειστών πτυχών.
- 3η Τεκτονική φάση Πριαμπονίου – Τέλους Ηωκαινου: Σχεδόν ταυτόχρονη απόθεση μολασσικών ιζημάτων και εκδήλωση ηφαιστειότητας, με τη δημιουργία ανοικτών πτυχών και τη χαρακτηριστική λεπίωση των στρωμάτων.
- 4η Τεκτονική φάση μετά το Κάτω Ολιγόκαινο: Συνεχόμενη και 'βραδεία' φάση τεκτονισμού, με συμπιεστικά φαινόμενα, επαναλεπιώσεις στρωμάτων και τεκτονικές αναστροφές. Κατά το Νεογενές – Τεταρτογενές, απόθεση μεταλκικών ιζημάτων μεγάλου πάχους, που επικάλυψαν τους αλπικούς σχηματισμούς και οδήγησαν στην απομόνωση των μεγαλεπίων. Τέλος, στο Πλειο – Τεταρτογενές,

πραγματοποιήθηκε έντονη εφελκυστική ρηγμάτωση των σχηματισμών (Μάγου Αθ., 2012).



Εικόνα 2.3: Στρωματογραφική στήλη της υποζώνης της Παιονίας (τροποποιημένο από Mercier, 1966).

2.1.2) Περιοχή μελέτης

Το κύριο χαρακτηριστικό της περιοχής μελέτης είναι οι νεογενείς σχηματισμοί, που επικαλύπτουν το ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Στο Ανώτερο Μειόκαινο, πάνω στα κροκαλοπαγή αποτέθηκαν ερυθροστρώματα, ως συνέπεια της χέρσευσης που πραγματοποιήθηκε στην ευρύτερη περιοχής. Αυτή η απόθεση, σαφώς και συνδέεται με το παλαιοκλίμα της εποχής, που υποδεικνύει την επίδραση θερμών – υγρών κλιματικών συνθηκών, οι οποίες βρίσκονταν σε εναλλαγή με θερμές – ξηρές συνθήκες.

Κατά το Πλειόκαινο, το περιβάλλον μετέβη σε ποταμολιμναίου τύπου, με μικρές, αβαθείς λίμνες, μεταβαλλόμενες συνθήκες ιζηματογένεσης και απόθεση μαργαϊκού

ασβεστόλιθου. Η περιοδικότητα στην τροφοδοσία νερού και υλικών δημιούργησε μεγάλη ποικιλία ιζημάτων, όπως άμμοι, άργιλοι, κροκαλοπαγή, μάργες. Στρώματα μαζώδους – τοφφώδους μαργαϊκού ασβεστόλιθου αποτέθηκαν σε εκτεταμένες, αβαθείς λίμνες. Αυτή η απόθεση φανερώνει την παρουσία απομονωμένων λιμναίων λεκανών, με εκτεταμένα αβαθή λιμναία – ελώδη περιβάλλοντα, περιορισμένη τροφοδοσία σε κλαστικά υλικά και τη δημιουργία ημι – εβαποριτικών συνθηκών ιζηματογένεσης (Μάγου Αθ., 2012). Η απόθεση ερυθροστρωμάτων επαναλήφθηκε και κατά το Βιλλαφράγκιο (Άνω Πλειόκαινο – Κάτω Πλειστόκαινο) (Συρίδης Γ., 1990).

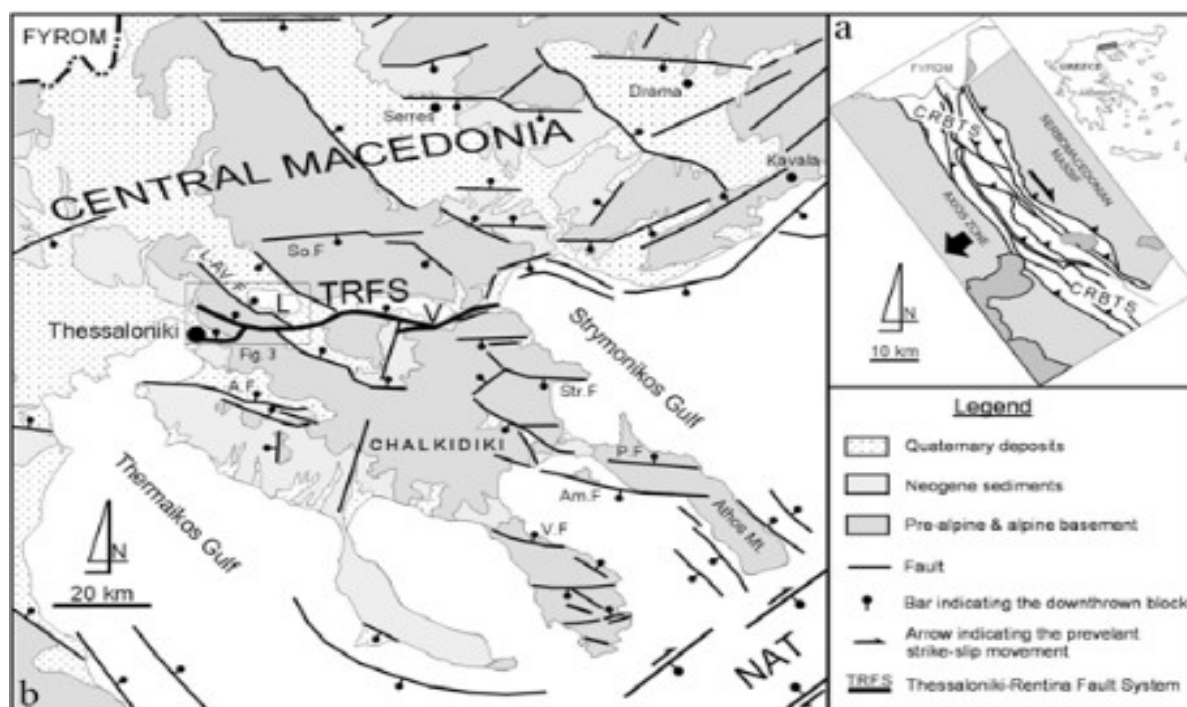
Στους νεογενείς σχηματισμούς, οι οποίοι αποτελούνται από άμμο, ψηφίδες και κροκάλες, μπορούν να γίνουν ορατές μικρές εμφανίσεις πλειστοκαινικών αναβαθμίδων του ανώτερου συστήματος.

Η αποσάθρωση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της περιοχής, έχει οδηγήσει στην εμφάνιση κώνων κορημάτων, τεταρτογενούς ηλικίας, περιμετρικά του χωριού Άγιος Μάμας. Οι αλλουβιακές αποθέσεις που υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή, αποτελούνται από προϊόντα αποσάθρωσης των νεογενών σχηματισμών, και συνδέονται άμεσα με τα ρέματα που συναντώνται στη γειτνίαση της περιοχής μελέτης. Τέλος, η παράκτια ζώνη χαρακτηρίζεται από παράκτιες αποθέσεις και από τα ιζήματα που έχουν επικαλύψει το χώρο της λιμνοθάλασσας.

Σαφώς και η γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής είναι αλληλένδετη με την τεκτονική. Μετά την απόθεση των τελευταίων ερυθροστρωμάτων, στην επιφάνεια αναπτύσσεται ένα ώριμο παλαιο – ανάγλυφο, με χαρακτηριστικές επιμήκεις κοιλάδες, που ακολουθεί την κλίση των ήδη αποτεθέντων ιζημάτων. Κατά τη διάρκεια του Κάτω – Μέσου Πλειστόκαινου, η περιοχή υπέστη την πιο έντονη τεκτονική δραστηριότητα (Ψιλοβίκος, 1977, 1981). Κανονικά ρήγματα τεμαχίζουν την περιοχή, δημιουργώντας το βύθισμα του Τορωναίου κόλπου, το κέρασ της χερσονήσου της Κασσάνδρας και τα ρήγματα του δυτικού τμήματος του νομού, όπου αναπτύσσονται και κοιλάδες (Συρίδης, 1990) (Μάγου Αθ., 2012). Στις Εικόνες 2.4 και 2.5 παρουσιάζονται γεωλογικοί και τεκτονικοί χάρτες της ευρύτερης περιοχής, που συμπεριλαμβάνουν και την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 2.4: Τεκτονικός χάρτης της λεκάνης της Μυγδονίας και της ευρύτερης περιοχής. Με (+) και (-) συμβολίζεται η σχετική κίνηση των ρηγμάτων. (Παυλίδης & Κίλιας, 1987).



Εικόνα 2.5: Γεωλογικός και τεκτονικός χάρτης της κεντρικής Μακεδονίας (Tranos M. Et al., 2003).

Στο ορεινό τμήμα επικρατούν οι ορεινοί όγκοι του Άθω, του Χορτιάτη, του Χολομώντα, του Στρατωνικού και του Ίταμου, οι οποίοι αποτελούνται από παλαιότερα πετρώματα (Μεσοζωικά – Παλαιοζωικά). Το πεδινό τμήμα χαρακτηρίζεται από μικρές παράκτιες πεδιάδες και χαμηλά υψόμετρα (μέχρι 300 m) στο οποίο κυριαρχούν κυρίως νεότερα ιζήματα (Νεογενή – Τεταρτογενή) (Ξεφτέρης Αθ., 2000).



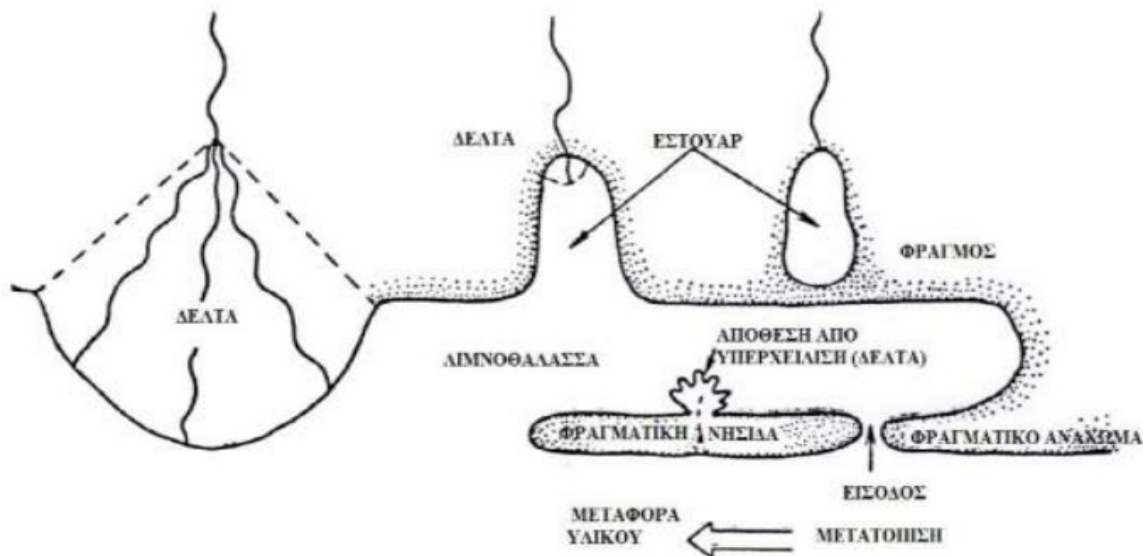
Η περιοχή μελέτης ανήκει στο παράκτιο κομμάτι του κόλπου της Κασσάνδρας. Σε αυτόν τον κόλπο βρίσκονται οι εκβολές του χειμάρρου Ολύνθιου, ο οποίος έχει

δημιουργήσει την αλλουβιακή πεδιάδα στην οποία τοποθετείται η λιμνοθάλασσα, ενώ η αλλουβιακή πεδιάδα στα ανατολικά, είναι αποτέλεσμα της δράσης του χειμάρρου Χαβρία. Η περιοχή εμφανίζει σε γενικές γραμμές χαμηλό ανάγλυφο, με πολύ μικρές κλίσεις. Το περιβάλλον της λιμνοθάλασσας εκτείνεται προς τα δυτικά. Ο αποθετικός χαρακτήρας της ακτής μπροστά από τη λιμνοθάλασσα είναι εμφανής, ενώ παρατηρείται μικρή μεταβολή των κλίσεων κατά μήκος της.

Η μορφολογία που αναπτύσσεται στη λιμνοθάλασσα, αλλά και στο μεταβατικό περιβάλλον της λιμνοθάλασσας, παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, καθώς έχει άμεση σχέση με το σχηματισμό και την ιζηματογένεση που πραγματοποιείται. Το παράκτιο περιβάλλον της λιμνοθάλασσας αποτελείται από ένα συνδυασμό γεωμορφών που το διαμορφώνουν και καθορίζουν τη γεωμορφολογία της περιοχής. Οι βασικοί παράγοντες, όσον αφορά τη δημιουργία και την εξέλιξή του, είναι οι κυματικές συνθήκες και τροφοδοσία σε ιζήματα (Μάγου Αθ., 2012). Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στις λιμνοθάλασσες και τους μηχανισμούς δημιουργίας τους.

2.2.3) Λιμνοθάλασσα (lagoon)

Οι λιμνοθάλασσες συνιστούν δυναμικά οικοσυστήματα, τόσο από οικολογική όσο και από φυσική άποψη και αποτελούν ιδιαίτερους βιότοπους, που παρουσιάζουν διαφορές σε σχέση με τους αντίστοιχους των θαλασσών και των δέλτα των ποταμών. Οι λιμνοθάλασσες είναι αβαθή υδάτινα σώματα της παράκτιας ζώνης στο όριο μεταξύ χερσαίων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων (Kjerfve, 1994). Βρίσκονται διάσπαρτες σε όλη τη γη και αντιπροσωπεύουν το 13% της παγκόσμιας ακτογραμμής (Κοκίδης Ν., 2011).



Εικόνα 2.7: Σχηματική απεικόνιση μιας λιμνοθάλασσας (Κοντόπουλος, 2008).

Όσον αφορά τον ορισμό της λιμνοθάλασσας, ήδη από τα μέσα του 19ου αιώνα, πολλοί επιστήμονες πρόσφεραν διαφορετικές απόψεις. Σύμφωνα με τον Kjerfve (1994), οι λιμνοθάλασσες είναι υδάτινες περιοχές στην ξηρά, με βάθος μικρότερο των 2m, προσανατολισμένες παράλληλα με την ακτή. Ο διαχωρισμός τους από τα θαλάσσια ύδατα οφείλεται σε φράγματα, ενώ συνδέονται με τη θάλασσα με μία ή και περισσότερες εισόδους. Επιπλέον, κατά τον Reinson (1992), ως παράκτια λιμνοθάλασσα μπορεί να θεωρηθεί μια κλειστή ή μερικώς κλειστή εκβολή που κυριαρχείται από κύματα, ενώ μπορεί να αφομοιωθεί σε δευτερογενείς εκβολές, κυριαρχούμενες από θαλάσσιες διαδικασίες, που προέρχονται από πρωταρχικές εκβολές, κυριαρχούμενες από το συνδυασμό ποτάμιων και θαλάσσιων διεργασιών (Perillo, 1995). Για τον Bird E.C.F. (1982), ο όρος αυτός ισχύει σε περιοχές όπου το πλάτος των θαλάσσιων εισόδων στη μεγάλη παλίρροια είναι μικρότερο από το 1/5 του συνολικού μήκους του φράγματος, που την περικλείει. Σχηματίζονται ως αποτέλεσμα της ανύψωσης της στάθμης κατά το Ολόκαινο (Μάγου Αθ., 2012). Απλούστερα, λιμνοθάλασσες μπορούν να ονομαστούν οι αβαθείς υδάτινες περιοχές που περιέχουν υφάλμυρα νερά. Ο μερικός διαχωρισμός τους από τη θάλασσα πραγματοποιείται μέσω αμμονησίδων, ενώ η επικοινωνία τους με τη θάλασσα γίνεται με διόδους οι οποίες βρίσκονται ανάμεσα στις νησίδες αυτές (Ardizzone et al., 1988). Αποτελούν τη μεταβατική ζώνη ανάμιξης γλυκών και αλμυρών υδάτων.

Διάφοροι παράγοντες οδηγούν στη δημιουργία αμμονησίδων σε μια παράκτια τοποθεσία. Καθοριστική είναι η παρουσία αμμόδων ακτών, οι οποίες παρουσιάζουν χαμηλό ανάγλυφο, όπως επίσης και τα νερά ενός εκβάλλοντος ποταμού ή χειμάρρου σε συνδυασμό με τη δράση της παλίρροιας αλλά και με παράκτια ρεύματα (Lassere, 1979). Η μεταφορά υλικών που λαμβάνει χώρα μέσω των ποταμών και των παράκτιων ρευμάτων, καταλήγει στην απόθεση των υλικών αυτών στις εκβολές του ποταμού και στον πυθμένα της θάλασσας. Έτσι, παράλληλα στην ακτογραμμή, παρατηρείται η διαμόρφωση αμμονησίδων. Ωστόσο, οι αποθέσεις αυτές δεν εξαπλώνονται εξαιτίας των παράκτιων ρευμάτων και του κυματισμού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία φραγμάτων, τα οποία διαχωρίζουν τη λιμνοθάλασσα από τη θάλασσα. Προφανώς όμως, η απομόνωση της λιμνοθάλασσας δεν είναι οριστική, αφού χάρη στη δράση της παλίρροιας και των ρευμάτων, πραγματοποιείται ανταλλαγή νερού με τον ωκεανό. Το μέγεθος αυτής της ανταλλαγής εξαρτάται από τις υδρολογικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Στην Εικόνα 2.8 φαίνεται η δημιουργία μιας λιμνοθάλασσας, με βάση τις διαδικασίες που μόλις περιγράφηκαν.



Εικόνα 2.8: Σχηματική απεικόνιση της δράσης των κυματισμού, της παλίρροιας και των ποταμών, στο σχηματισμό μιας λιμνοθάλασσας (Garisson, 1996).

Με βάση τα παραπάνω, η διαίρεση των λιμνοθαλασσών εξαρτάται από το βαθμό ανταλλαγής νερού με την ανοιχτή θάλασσα και προκύπτουν οι εξής τύποι (Kjerfve, 1994):

- *Εσωτερικές παράκτιες λιμνοθάλασσες (choked coastal lagoons):* Η σύνδεσή τους με την ανοιχτή θάλασσα πραγματοποιείται με ένα ενιαίο, επίμηκες, στενό κανάλι εισόδου. Συνήθως δημιουργούνται σε ακτές που χαρακτηρίζονται από υψηλή κυματική ενέργεια και μεγάλη πλευρική μετατόπιση. Το κανάλι εισόδου λειτουργεί ως ένα “δυναμικό φίλτρο”, που εξαλείφει σε μεγάλο βαθμό τα παλιροιακά ρεύματα και τις διακυμάνσεις της στάθμης του νερού μέσα στη λιμνοθάλασσα. Είναι σύνηθες να προσανατολίζονται παράλληλα με την ακτή και ενίοτε η δημιουργία τους οφείλεται σε δέλτα ποταμών.
- *Περιορισμένες παράκτιες λιμνοθάλασσες (restricted coastal lagoons):* Συνήθως αποτελούν ένα μεγάλου μεγέθους υδάτινο σώμα, προσανατολισμένο παράλληλα με την ακτή. Παρουσιάζουν δύο ή περισσότερα κανάλια ή εισόδους και καλή παλιρροιακή κυκλοφορία. Εμφανίζονται σε περιοχές που

επηρεάζονται κατά πολύ από τους ανέμους και η αλατότητα του νερού τους κυμαίνεται από υφάλμυρη έως αλμυρή.

- **Διαρρέουσες παράκτιες λιμνοθάλασσες (leaky coastal lagoons):** Πρόκειται για επιμήκη, παράλληλα στην ακτή, υδάτινα σώματα, με πολλά κανάλια και εισόδους. Χαρακτηρίζονται από πολυάριθμα, μεγάλα παλιρροιακά περάσματα, επομένως συνδέονται με περιοχές όπου το παλιρροιακό εύρος είναι σημαντικό. Όλα τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα, η αλατότητά τους να κυμαίνεται στα επίπεδα του ωκεανού.



Εικόνα 2.9: Διάκριση των λιμνοθαλασσών σε α) εσωτερικές (choked) β) περιορισμένες (restricted) και γ) διαρρέουσες (leaky), ανάλογα με το βαθμό ανταλλαγής νερού με τη θάλασσα (Kjerfve, 1994).

Οι λιμνοθάλασσες, από περιβαλλοντική άποψη, χαρακτηρίζονται από γρήγορη γεωμορφολογική εξέλιξη, επομένως η δυναμική τους μεταβάλλεται συνεχώς. Θα μπορούσαμε να καταλήξουμε στο ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαμόρφωσή τους, είναι οι εξής:

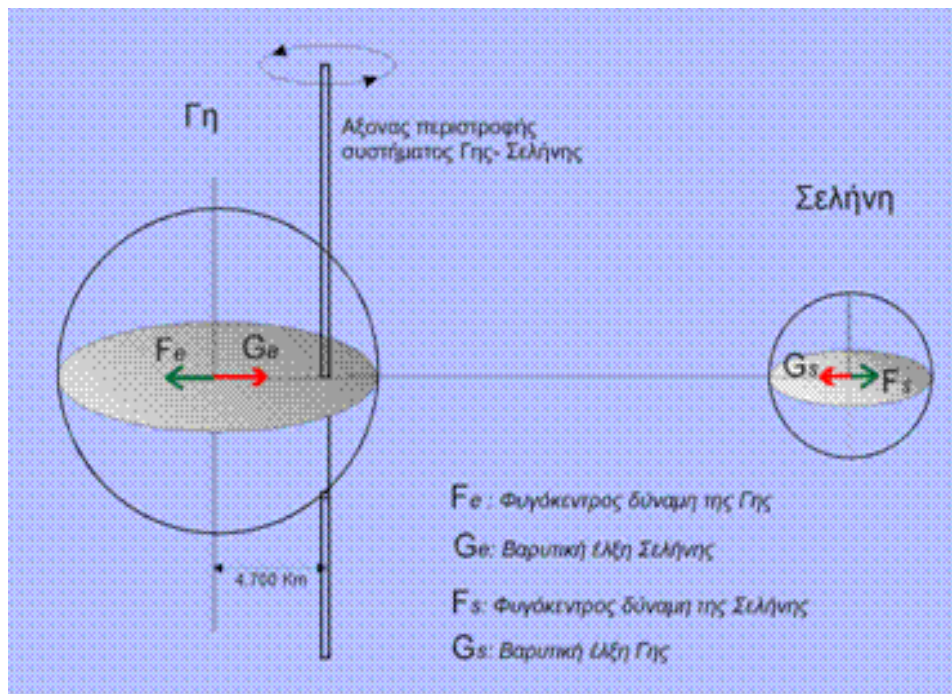
- Η προηγούμενη γεωμορφολογία
- Τα υλικά που συμμετέχουν στη δημιουργία του φράγματος
- Η τροφοδοσία σε ιζήματα
- Η τεκτονική της περιοχής
- Η δράση της παλίρροιας
- Το κλίμα της περιοχής.

2.3) Κυματικό καθεστώς - παλιρροιακή επίδραση

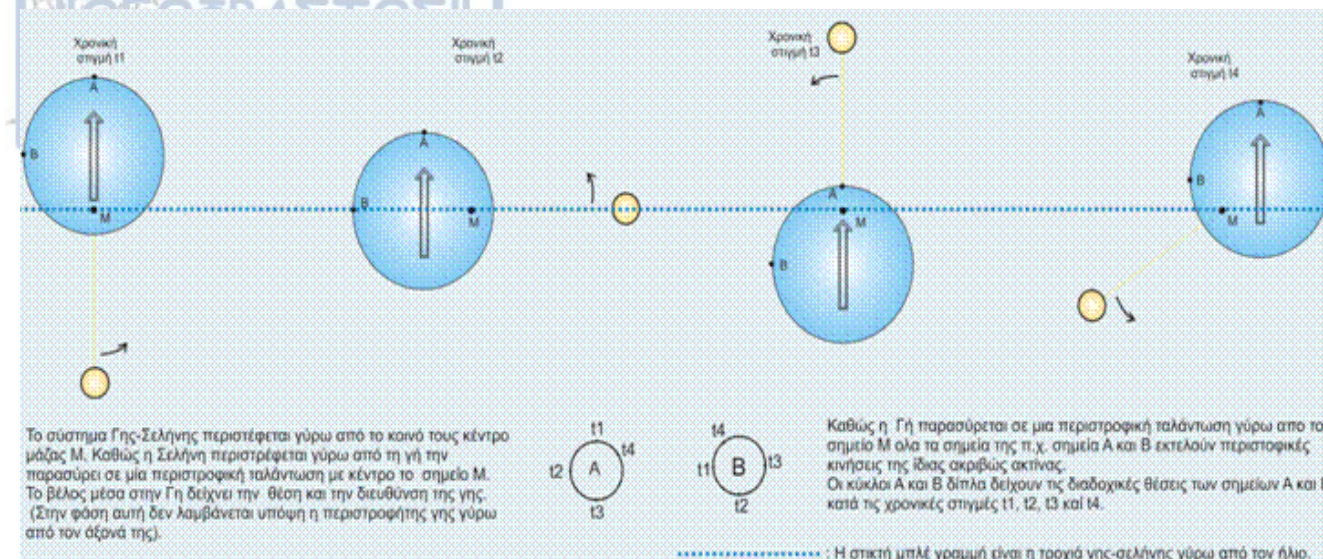
2.3.1) Γενικές πληροφορίες

Η διαμόρφωση της εισόδου μιας λιμνοθάλασσας είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των κυμάτων και των παλιρροιών. Ως παλίρροια χαρακτηρίζεται το φυσικό φαινόμενο της περιοδικής ανόδου και καθόδου της στάθμης του νερού μιας μεγάλης λίμνης και κυρίως των θαλασσών. Η άνοδος της στάθμης ονομάζεται πλημμυρίδα (flood tide), ενώ η κάθοδος ονομάζεται άμπωτη (ebb ή low tide). Από κοινού, πλημμυρίδα και άμπωτη αποτελούν το φαινόμενο της παλίρροιας. Το φαινόμενο αυτό που επαναλαμβάνεται δύο φορές το εικοσιτετράωρο (ακριβέστερα 24 ώρες 50' και 30") οφείλεται στη βαρυτική έλξη της Σελήνης αλλά και του Ήλιου πάνω στη Γη, καθώς και στην περιστροφή αυτών των ουράνιων σωμάτων.

Αυτός ο χρόνος (24 ώρες 50' και 30") μεσολαβεί και μεταξύ δύο "διαβάσεων" της Σελήνης πάνω από έναν τόπο, δηλαδή δύο "άνω μεσουρανήσεων" όπως λέγονται. Έτσι, η μια πλημμυρίδα συμβαίνει στην άνω μεσουράνηση της Σελήνης σε έναν τόπο και η άλλη στην κάτω μεσουράνηση, κάτω από τον ίδιο τόπο, συμπληρώνοντας 12 ώρες και 25 λεπτά από την πρώτη. Εξάλλου, και οι δύο αμπώτιδες συμβαίνουν όταν η Σελήνη βρίσκεται στην ανατολή και έπειτα (μετά από 12 ώρες και 25 λεπτά) στη δύση. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει η σχέση της Σελήνης και του φαινομένου (Wikipedia).

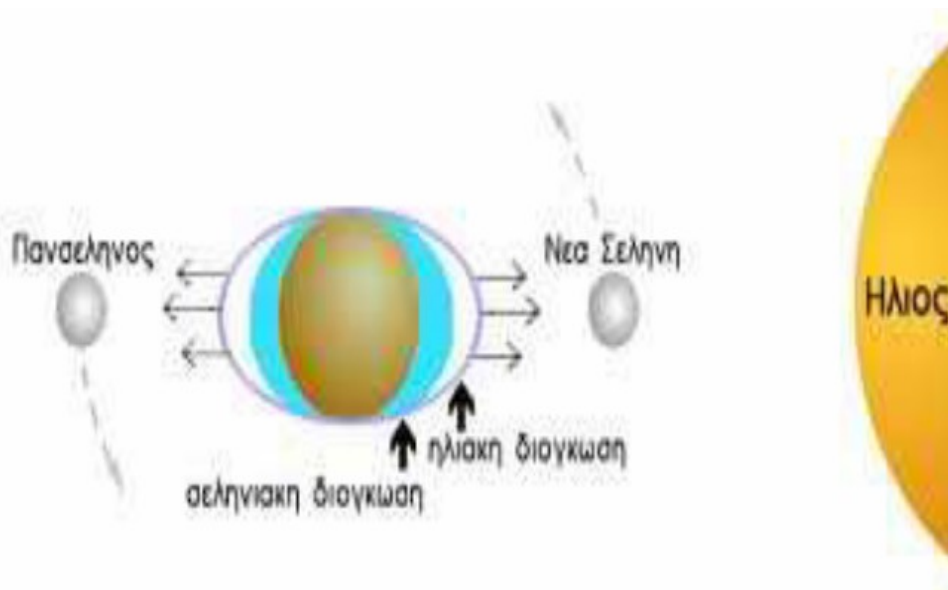


Εικόνα 2.10: Περιστροφή του συστήματος Γης – Σελήνης γύρω από τον κοινό τους άξονα (geo.auth.gr).

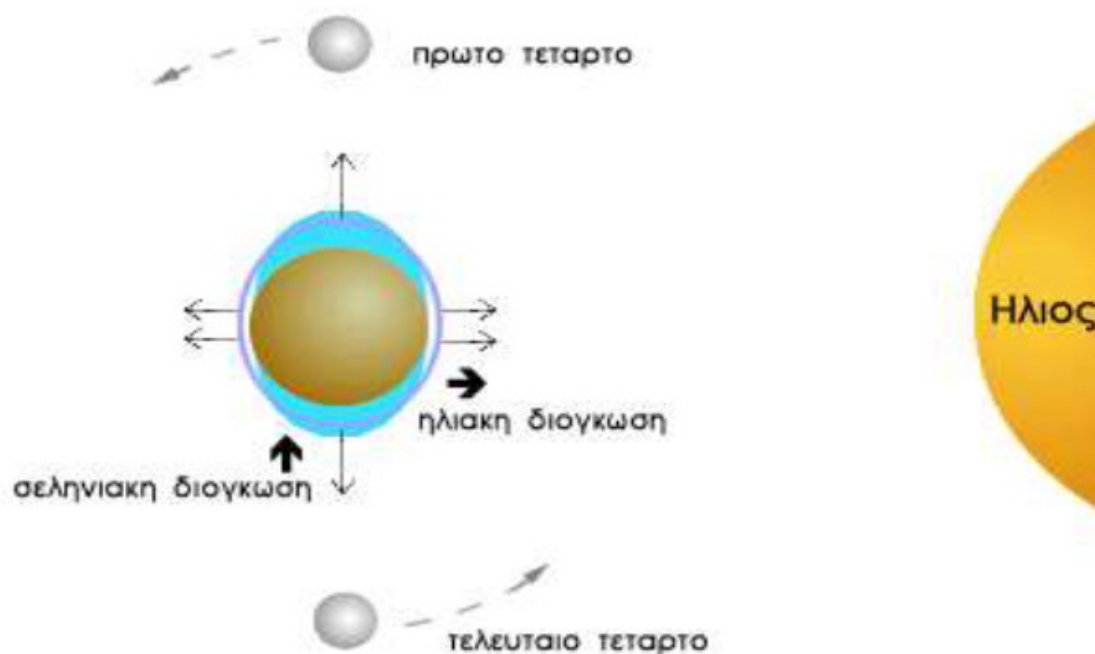


Εικόνα 2.11: Σχετικές θέσεις της Γης και της Σελήνης κατά την περιστροφή τους (geo.auth.gr).

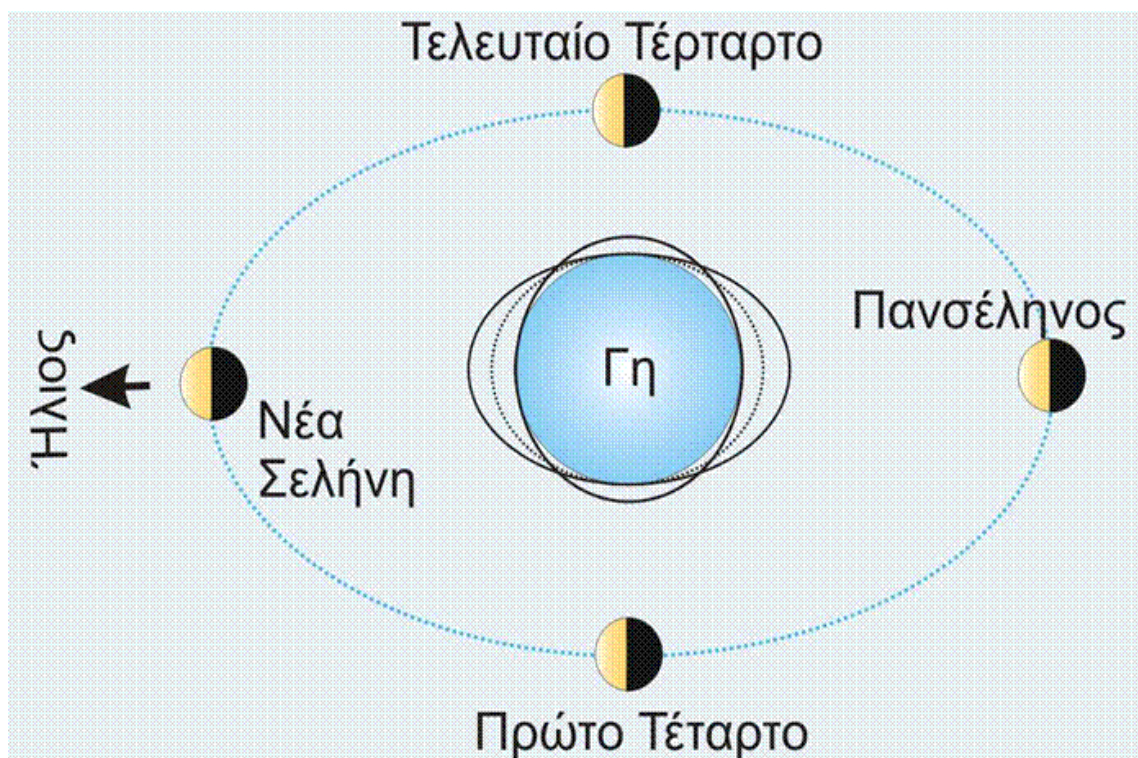
Επιπρόσθετα, επειδή το ύψος της στάθμης του νερού εξαρτάται εκτός από την απόσταση Γης – Σελήνης και από την απόσταση Γης – Ηλίου, προκύπτει ότι και ο Ήλιος σχετίζεται με την παλίρροια. Επίσης διαπιστώνεται ότι το ύψος των υδάτων συνδέεται με τις φάσεις της Σελήνης, δηλαδή με τη θέση της ως προς τον Ήλιο. Αυτό συμβαίνει διότι κατά τις συζυγίες, δηλαδή κατά τη σύνοδο (νέα σελήνη) και κατά την αντίθεση (πανσέληνος) παρατηρείται η υψηλότερη στάθμη, ενώ κατά τους τετραγωνισμούς (πρώτο τέταρτο και τελευταίο τέταρτο) σημειώνεται η χαμηλότερη.



Εικόνα 2.12: Σχήμα της Γης κατά τις συζυγίες (Wikipedia).



Εικόνα 2.13: Σχήμα της Γης κατά τους τετραγωνισμούς (Wikipedia).



Εικόνα 2.14: Το συνδυασμένο αποτέλεσμα Ήλιου και Σελήνης στην παραμόρφωση που τείνει να πάρει η Γη (geo.auth.gr).

Όσον αφορά τις λιμνοθάλασσες, τα παλιρροιακά ρεύματα συμβάλουν στη διάνοιξη των εισόδων τους, ενώ τα κύματα τείνουν να ωθούν το ίζημα προς τον κενό χώρο, με αποτέλεσμα να τον μειώνουν και τελικά να τον φράζουν. Τα κύματα με παράλληλη κίνηση ως προς την ακτή, μετακινούν άμμο από τον πυθμένα προς την παραλία και μέσα στην είσοδο της λιμνοθάλασσας, ενώ τα κύματα τα οποία φτάνουν στην ακτή υπό γωνία, μεταφέρουν άμμο, η οποία οδηγεί στον αποκλεισμό της εισόδου της λιμνοθάλασσας, δημιουργώντας ιζηματογενή φράγματα (Ο' Brien, 1969).

2.3.2) Μεγέθη των κυμάτων

Για να γίνει περαιτέρω κατανοητό το πως λειτουργεί ο κυματισμός, παρατίθενται οι παρακάτω ορισμοί:

- Κορυφή κύματος: το υψηλότερο σημείο του κύματος.
- Κοίλο κύματος: το χαμηλότερο σημείο του κύματος.
- Μήκος κύματος (λ): η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών.
- Ύψος κύματος (H_s): η κάθετη απόσταση ανάμεσα σε ένα κοίλο και στην αμέσως επόμενη κορυφή.
- Σημαντικό ύψος κύματος: η μέση τιμή ύψους (από κορυφή σε κοίλο) του 1/3 των υψηλότερων κυμάτων σε μια περιοχή. Το πιθανό αναμενόμενο μέγιστο ύψος κύματος μπορεί να φτάσει μέχρι δύο φορές το υπολογιζόμενο σημαντικό ύψος κύματος.
- Μέτωπο κύματος: η γραμμή που ενώνει τις κορυφές των κυμάτων και είναι κάθετη ως προς το μήκος κύματος.
- Πλάτος κύματος (A): η καθ' ύψος μέγιστη μετατόπιση ενός σημείου, από το σημείο ισορροπίας του, κατά τη διέλευση ενός κύματος. Συγκεκριμένα, πλάτος του θαλάσσιου κύματος ονομάζεται το ύψος της κορυφής ή και το βάθος του κοίλου του κύματος, μετρούμενα πάντα από την κανονική στάθμη ή τη μέση κανονική στάθμη.
- Περίοδος (T): ο χρόνος που απαιτείται για να περάσουν δύο διαδοχικές κορυφές από ένα ορισμένο σημείο.
- Ταχύτητα διάδοσης (U): βρίσκεται κατά προσέγγιση από το λόγο $u = \lambda/T$, όπου λ είναι το μήκος κύματος και T η περίοδος του.

Όλα τα παραπάνω, αποτελούν τα βασικά μεγέθη ενός κύματος. Στην Εικόνα 2.15 παρουσιάζονται σχηματικά κάποια από αυτά.



Εικόνα 2.15: Χαρακτηριστικά κύματος.

(<https://www.slideshare.net/sailwincoach/currents-waves-new-light-2050991>)

2.3.3) Περιοχή μελέτης

Η κυματική συμπεριφορά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το σύστημα των ανέμων, οι οποίοι πνέουν κάθε φορά στην περιοχή. Τα κύματα που κυριαρχούν στην περιοχή μελέτης είναι τα ανεμογενή (προέρχονται από την αλληλεπίδραση του ανέμου με τη θαλάσσια επιφάνεια και αντιστοιχούν σε περιόδους από $T=1$ έως $T=20 - 25$ sec περίπου), των οποίων το μέσο ύψος ανέρχεται στα $0,5 - 1,7$ m και προέρχονται από νότιες διευθύνσεις (Αθανασούλης και Σκαρσουλής, 1992). Το γεγονός ότι τα κύματα αυτά έχουν μεγάλο ενεργό μήκος αναπτύγματος κυματισμού (wave fetch) στο χώρο του Αιγαίου, της τάξης των 170 km, επιφέρει μεγάλα μήκη κύματος (λ) και ύψη (H_s), επηρεάζοντας εντονότερα τις παράκτιες διεργασίες (Poulos et al., 1993). Όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι, το ύψος των Β και ΒΑ ανεμογενών κυμάτων είναι δυνατόν να ξεπεράσει τα 4 m, παρουσιάζοντας βέβαια, επεισοδιακό χαρακτήρα.

Όπως προαναφέρθηκε, το σχήμα μιας λιμνοθάλασσας μπορεί να επηρεαστεί από ένα συνδυασμό κυμάτων και παλιρροιών. Σε γενικές γραμμές, ο χώρος του Αιγαίου παρουσιάζει μικρό παλιρροιακό εύρος, επομένως συμπεραίνουμε ότι μεγαλύτερη επιρροή στη διαμόρφωσή του ασκούν οι διάφορες κυματικές διεργασίες, και πιθανώς το ίδιο ισχύει και για την περιοχή μελέτης.

2.4) Μετεωρολογικά στοιχεία

2.4.1) Γενικές πληροφορίες

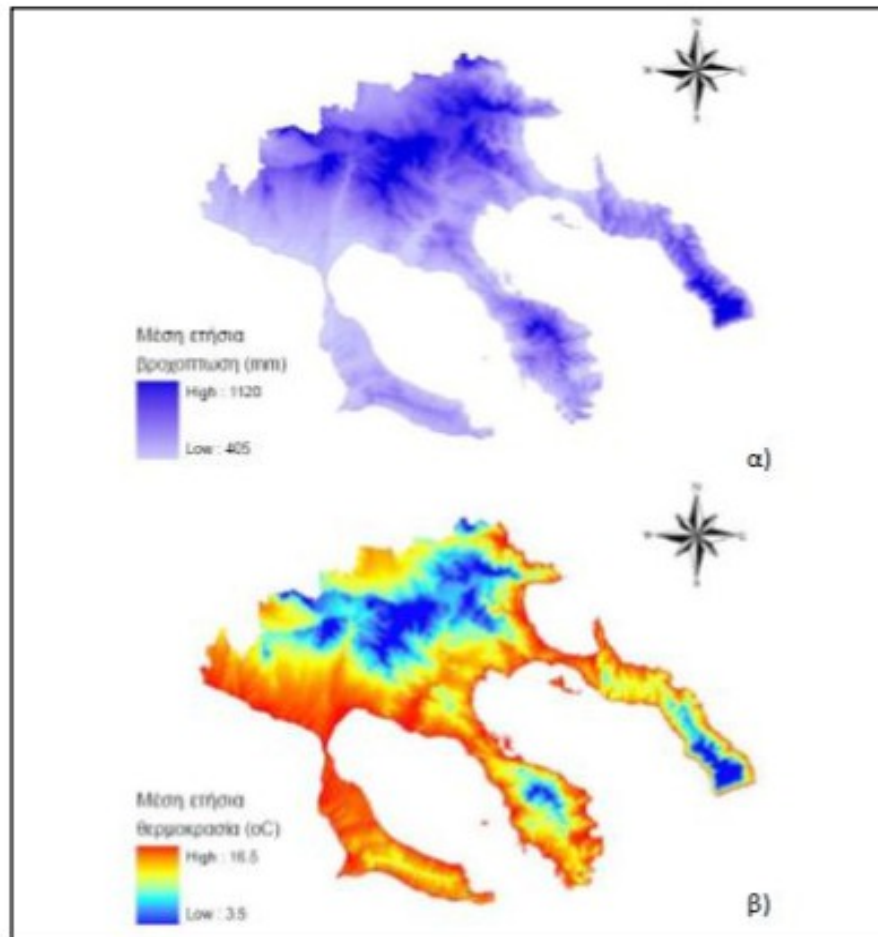
Για τον καθορισμό του κλίματος μιας περιοχής, ζωτική σημασία έχει η μελέτη των μετεωρολογικών στοιχείων της. Ως κλίμα ορίζεται η μέση καιρική κατάσταση ή ο μέσος καιρός μιας περιοχής, που προκύπτει από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διάφορων μετεωρολογικών στοιχείων (Wikipedia). Αναφορικά, κάποια από αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία είναι η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, ο άνεμος, η σχετική υγρασία κ.α. Για τον αντικειμενικότερο προσδιορισμό τους και τον προσδιορισμό του κλίματος, θα πρέπει η σύνθεση των στοιχείων να θεωρείται σαν ένα σύστημα που βρίσκεται σε ισορροπία σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, μέσα σε μια δεδομένη κλίμακα χρόνου. Ο λόγος οφείλεται στο ότι, σε μεγάλο χρονικό διάστημα, απαλείφονται τα σφάλματα και εδραιώνονται οι στατιστικές παράμετροι. Από μελέτες, έχει προσδιοριστεί ότι, η κλίμακα χρόνου θα πρέπει να αντιπροσωπεύει μια μεγάλη χρονική περίοδο, συνήθως της τάξεως των 30 ετών, είτε αυτή αφορά τις μηνιαίες, είτε τις εποχικές ή τέλος τις ετήσιες τιμές (Μάγου Αθ., 2012). Για μερικά στοιχεία, τα οποία είναι συνεχή μέσα στο χρόνο, όπως η θερμοκρασία ή η υγρασία, η περίοδος αυτή μπορεί να είναι μικρότερη και να ικανοποιούν ακόμη και τα 10 έτη συνεχούς καταγραφής. Για μη συνεχή στοιχεία, όπως η βροχή, η περίοδος πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, εξαρτώμενη ακόμα και από το ανάγλυφο της περιοχής (Μπαλαφούτης Χ., 2003).

2.4.2) Ευρύτερη περιοχή

Το κλίμα της Χαλκιδικής χαρακτηρίζεται ως ήπιο μεσογειακό και εντάσσεται στην κλιματική ζώνη της Βόρειας Ελλάδος, όπου το θερμομετρικό εύρος είναι μεγαλύτερο των 20°C, με μεγάλες διακυμάνσεις του ύψους των βροχοπτώσεων, τόσο ετησίως, όσο και μεταξύ της θερινής και χειμερινής περιόδου. Η θερινή περίοδος στην περιοχή υπολογίζεται περίπου στους δύο μήνες. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, οι άνεμοι είναι βόρειοι και θερμοί και οι βροχοπτώσεις λίγες. Όσον αφορά τη θερμοκρασία, τις βροχοπτώσεις και τους ανέμους, πιο ήπιο κλίμα παρουσιάζουν οι περιοχές της Σιθωνίας και της Κασσάνδρας. Οι ευρύτερες περιοχές του Αγίου Όρους, της Καλλικράτειας και των Νέων Μουδανιών χαρακτηρίζονται ως ενδιάμεσες, ενώ πιο τραχιές κλιματικές συνθήκες παρατηρούνται στα ορεινά της ενδοχώρας του νομού. Ενδεικτικά, η θερμοκρασία της Χαλκιδικής κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο, ξεπερνά τους 30°C και τα τελευταία χρόνια παρατηρείται εκτεταμένη θερμή και ξηρή θερινή περίοδος (Κλαράκης Αθ., 2015).

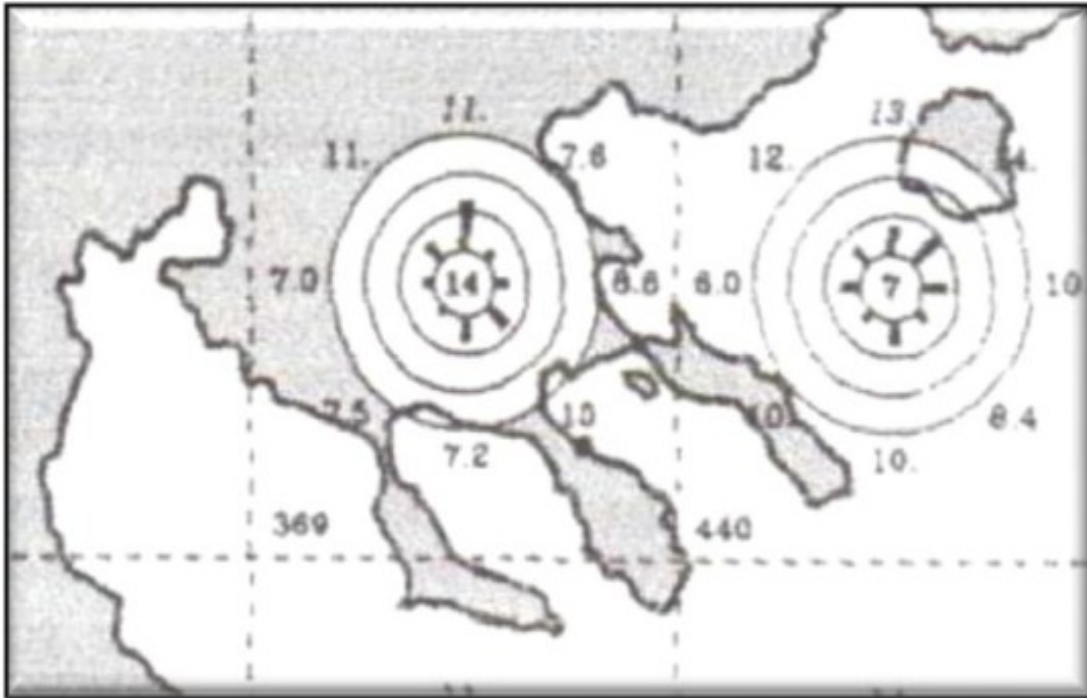
Κατά τους ίδιους μήνες, η θερμοκρασία της θάλασσας ξεπερνά τους 20°C και η ηλιοφάνεια τις 10 ώρες ημερησίως. Η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα είναι 10,24°C,

ενώ το θερμότερο μήνα είναι 26,7°C και τον ψυχρότερο 3,5°C. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται σε 595mm και ισχύει για την περίοδο Οκτωβρίου – Απριλίου. Οι πιο βροχεροί μήνες χαρακτηρίζονται ο Οκτώβριος και ο Νοέμβριος, ενώ το χρονικό διάστημα μεταξύ Ιουνίου και Σεπτεμβρίου αποτελεί την περίοδο εκείνη του έτους στην οποία καταγράφονται οι χαμηλότερες τιμές ύψους νερού (Δεμερτζή Κ.Α., 2011). Στην Εικόνα 2.16 φαίνεται η μέση ετήσια βροχόπτωση και η μέση ετήσια θερμοκρασία του νομού, και της Χερσονήσου του Άθω.



Εικόνα 2.16: α)Χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης και β) χάρτης μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του Νομού Χαλκιδικής (Δεμερτζή Κ.Α., 2011).

Οι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή είναι κατά κύριο λόγο Βόρειοι – Βορειοανατολικοί, με μέσες ετήσιες συχνότητες, που κυμαίνονται από 18% έως και 20%. Με μικρότερη μέση ετήσια συχνότητα, έως 20%, πνέουν άνεμοι από νότιες διευθύνσεις, ενώ συχνά εμφανίζονται και άνεμοι ακανόνιστης διεύθυνσης (Αθανασούλης, 1992). Στην Εικόνα 2.17 παρουσιάζεται η μέση ετήσια συχνότητα διεύθυνσης και έντασης ανέμου στη Χαλκιδική.



Εικόνα 2.17: Η μέση ετήσια συχνότητα διεύθυνσης και έντασης του ανέμου στη χερσόνησο της Χαλκιδικής (Άτλαντας ανέμου – κύματος, Αθανασούλης, 1992). Οι τρεις κύκλοι των ιστογραμμάτων αντιστοιχούν σε ποσοστά συχνότητας 20%, 40% και 60% αντίστοιχα, από το κέντρο προς την περιφέρεια, οι μαύρες μπάρες δείχνουν τη διεύθυνση και οι αριθμοί στο κέντρο του κύκλου δείχνουν την ετήσια συχνότητα ανέμου %. Οι αριθμοί που βρίσκονται εξωτερικά του τελευταίου κύκλου, δείχνουν τη μέση ένταση των ανέμων σε κόμβους.

2.4.3) Περιοχή μελέτης

Τα μετεωρολογικά στοιχεία για την περιοχή του αγίου Μάμα προήλθαν από το Γεωργικό σταθμό του χωριού, και είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C), η μέση μηνιαία σχετική υγρασία (%), το μηνιαίο άθροισμα βροχόπτωσης (mm) και η μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου (m/s). Αυτά τα στοιχεία αντιπροσωπεύουν μια χρονική περίοδο 12 χρόνων.

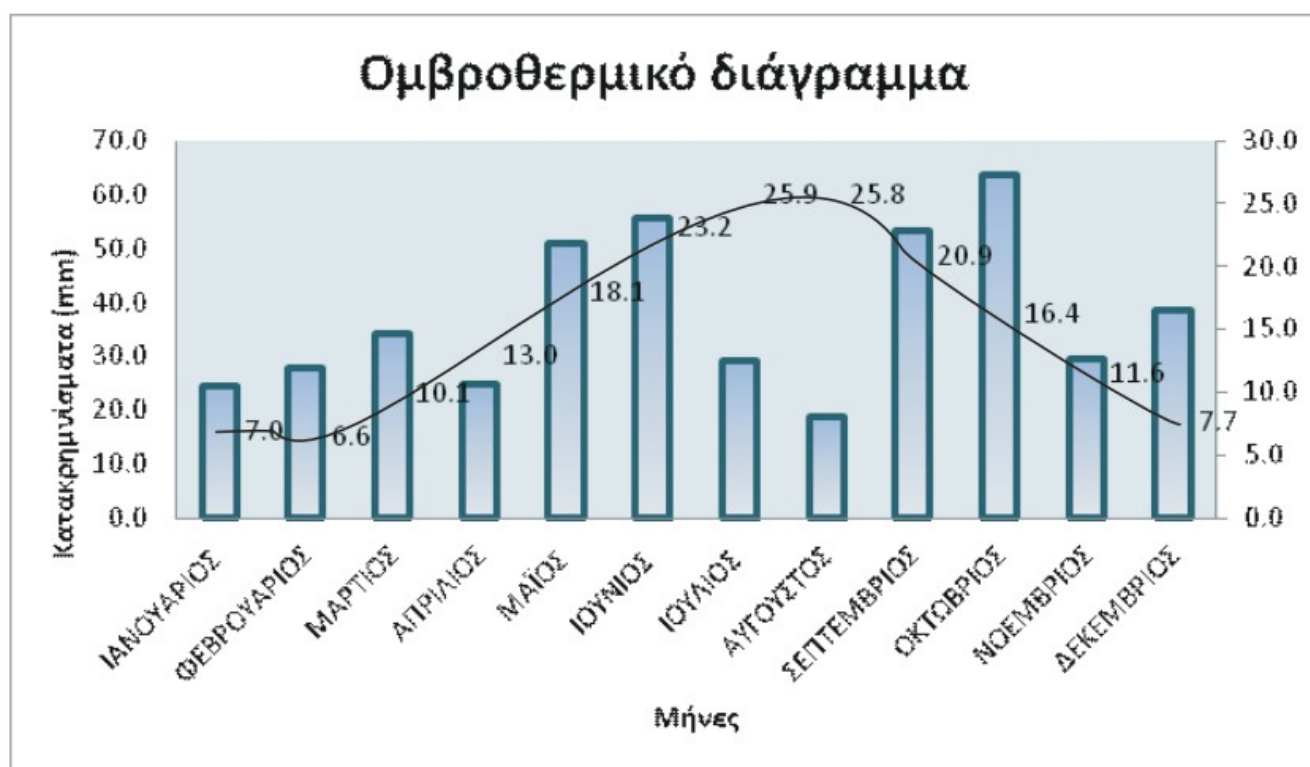
Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο γεγονός ότι, οι διαθέσιμες πληροφορίες, ιδίως αυτές που σχετίζονται με τη βροχόπτωση, δεν καλύπτουν μια επαρκή περίοδο για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων, ωστόσο μπορούμε να έχουμε μια γενικευμένη εικόνα για τα μετεωρολογικά στοιχεία στην περιοχή μελέτης. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.1) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και το μηνιαίο άθροισμα βροχοπτώσεων.

Μήνες	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάιος	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.
P(mm)	24,4	27,7	34,2	24,8	51,0	55,8	29,1	18,9	53,3	63,8	29,5	38,5
T(°C)	7,0	6,6	10,1	13,0	18,1	23,2	25,9	25,8	20,9	16,4	11,6	7,7

Πίνακας 2.1: Δεδομένα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και μηνιαίου αθροίσματος βροχοπτώσεων.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, το ετήσιο άθροισμα βροχοπτώσεων ανέρχεται στα 451 mm, με τις υψηλότερες καταγεγραμμένες βροχοπτώσεις κατά το μήνα Οκτώβριο (63,8 mm) και τις ελάχιστες βροχοπτώσεις κατά το μήνα Αύγουστο (18,9 mm), συμπεραίνοντας ότι η περιοχή δέχεται μικρό ύψος βροχοπτώσεων. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται στους 15,5°C, με τη μέγιστη να ανέρχεται στους 25,9°C και την ελάχιστη στους 6,6°C. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία ανέρχεται στα 64,6 % και η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου 0,87 m/s (Μάγου Αθ., 2012).

Στην Εικόνα 2.18 παρουσιάζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα του Γεωργικού σταθμού του Αγίου Μάμα για τα έτη 1999 – 2000.



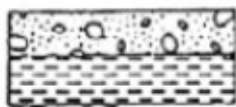
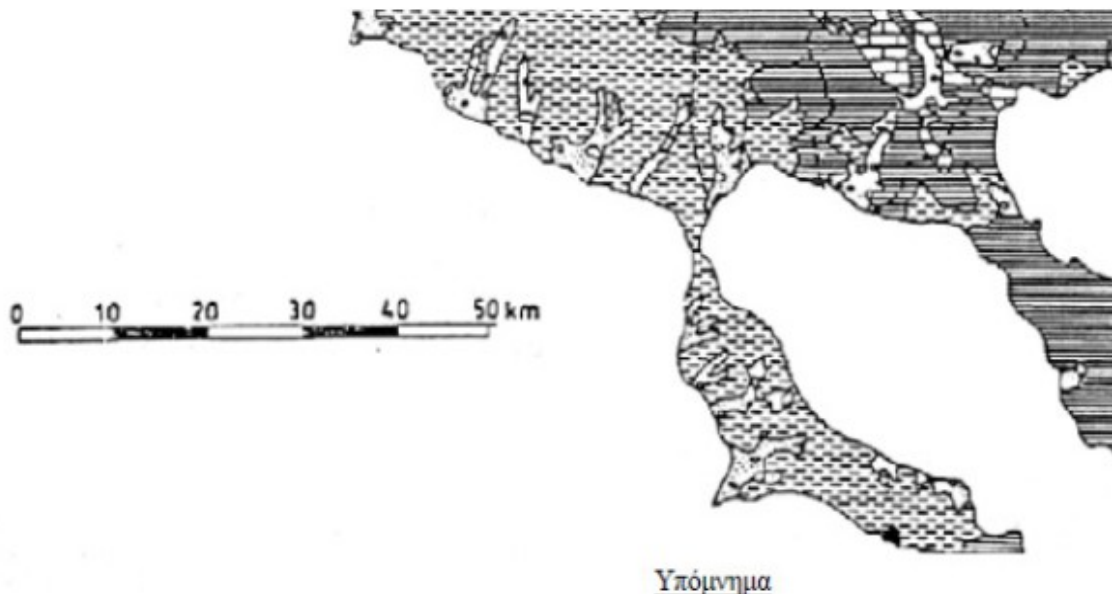
Εικόνα 2.18: Ομβροθερμικό διάγραμμα του Γεωργικού σταθμού του Αγίου Μάμα, για τη χρονική περίοδο 1999 – 2000 (Στοιχεία Γεωργικού σταθμού του Αγίου Μάμα).

The map shows the geographical context of the study area in the north-east of Sumatra. Key features include the districts of Aceh, Batak, and Gayo, and the provinces of Aceh, Batak, and Gayo. The map includes a scale bar (0 to 10 km) and an inset map of Sumatra.

34

2.5.2) Περιοχή μελέτης

35

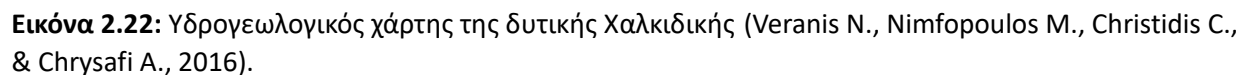


Πορώδη-διαρρηγμένα πετρώματα Τεταρτογενούς, Νεογενούς εντός των οποίων δημιουργούνται εκτεταμένα κατά κανόνα υδροφόρα συστήματα πολύ μεγάλης συνολικά δυναμικότητας με καλές έως μέτριες κατά περιοχές υδροληπτικές δυνατότητες, ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής λεπτομερών στοιχείων.

Εικόνα 2.21: Υδρολιθικός χάρτης Κεντρικής Μακεδονίας (Ι.Γ.Μ.Ε., 1996).

Από τα δεδομένα των λιθολογικών τομών των γεωτρήσεων που έχουν ανορυχθεί στη γειτνίαση της περιοχής μελέτης, διαπιστώνεται η έντονη ετερογένεια που παρουσιάζουν τα υλικά ως προς την υδρογεωλογική συμπεριφορά. Πολλοί από τους σχηματισμούς αυτούς τροφοδοτούνται με νερά, είτε από την απευθείας κατείσδυση των επιφανειακών νερών, όταν τα τμήματά τους αναπτύσσονται στην επιφάνεια του εδάφους, είτε πλευρικά από περιοχές με κροκαλοπαγή, ασβεστολίθους και άλλα υδροφόρα στρώματα. Όταν όμως οι υδροπερατοί σχηματισμοί βρίσκονται εγκλωβισμένοι από παντού, από αδιαπέρατα υλικά, δεν είναι δυνατόν να τροφοδοτηθούν με νερά, επομένως δεν αναπτύσσεται υδροφορία. Μέσα στους νεογενείς σχηματισμούς εμφανίζονται σε γενικές γραμμές επάλληλα, υπό πίεση υδροφόρα στρώματα, χωρίς κανονική γεωμετρική διάταξη (Ξεφτέρης Αθ., 2000).

Όσον αφορά τους τεταρτογενείς σχηματισμούς, εξαιτίας του τρόπου σχηματισμού τους, δηλαδή μέσω της απόθεσης των χειμάρρων, η υδροπερατότητα που τους χαρακτηρίζει, μπορεί να εμφανίζει σημαντικές διαφορές από θέση σε θέση.



Κεφάλαιο 3ο: Τηλεπισκόπηση – Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

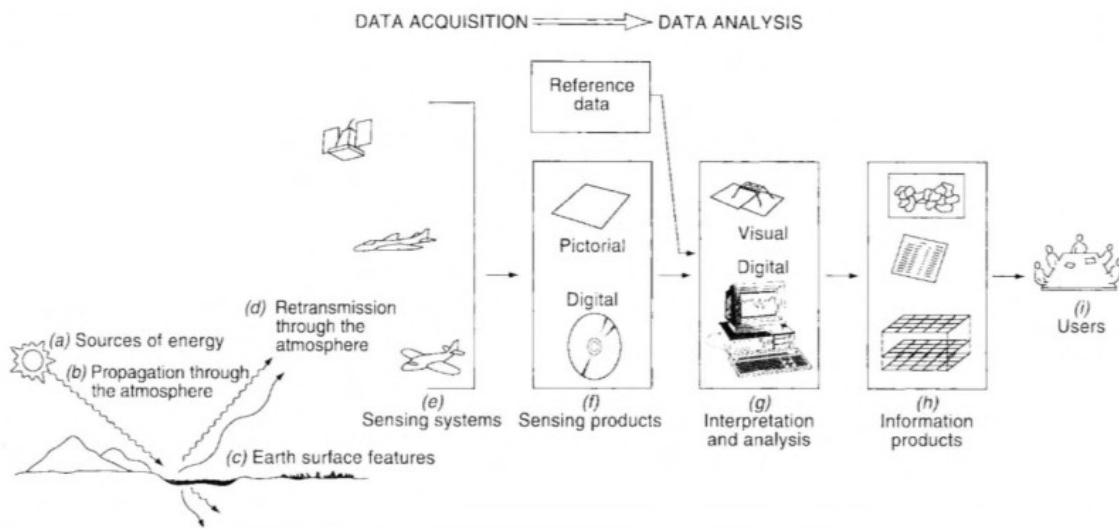
3.1) Τηλεπισκόπηση

3.1.1) Ορισμός – Γενικές πληροφορίες

Με τον όρο Τηλεπισκόπηση εννοείται η επιστήμη παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Πρόκειται για μια σύνθετη λέξη που αποτελείται από το επίρρημα τηλε- και το ρήμα επισκοπέω/-ώ, δηλαδή παρατηρώ από μακριά. Στη διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος *remote sensing* και αναφέρεται στην επιστήμη και την τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή, με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Wikipedia).

Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί για να επεξηγηθεί η έννοια της Τηλεπισκόπησης. Η τηλεπισκόπηση ουσιαστικά διαφέρει από την επιτόπια παρατήρηση ή μέτρηση στο ότι στη δεύτερη το ειδικό όργανο παρατήρησης είναι μέσα ή εφάπτεται με το αντικείμενο που μετράμε ή ερευνάμε. Σύμφωνα με τον Mather (1999) η Τηλεπισκόπηση του περιβάλλοντος περιλαμβάνει τη μέτρηση και αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα. Η μέτρηση και αποτύπωση γίνεται από ένα σημείο πάνω από την επιφάνεια της Γης και ακολουθεί ο συσχετισμός αυτών των μετρήσεων με τη φύση και την κατανομή των υλικών της επιφάνειας της Γης και των συνθηκών της ατμόσφαιρας (Παρχαρίδης Ισ., 2015).

Εφόσον βρεθεί ο στόχος ή το προς μελέτη φαινόμενο, βασικές διαδικασίες στην Τηλεπισκόπηση αποτελούν η απόκτηση δεδομένων και η επεξεργασία τους. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθούμε, από την απόκτηση δεδομένων έως την ανάλυσή τους.

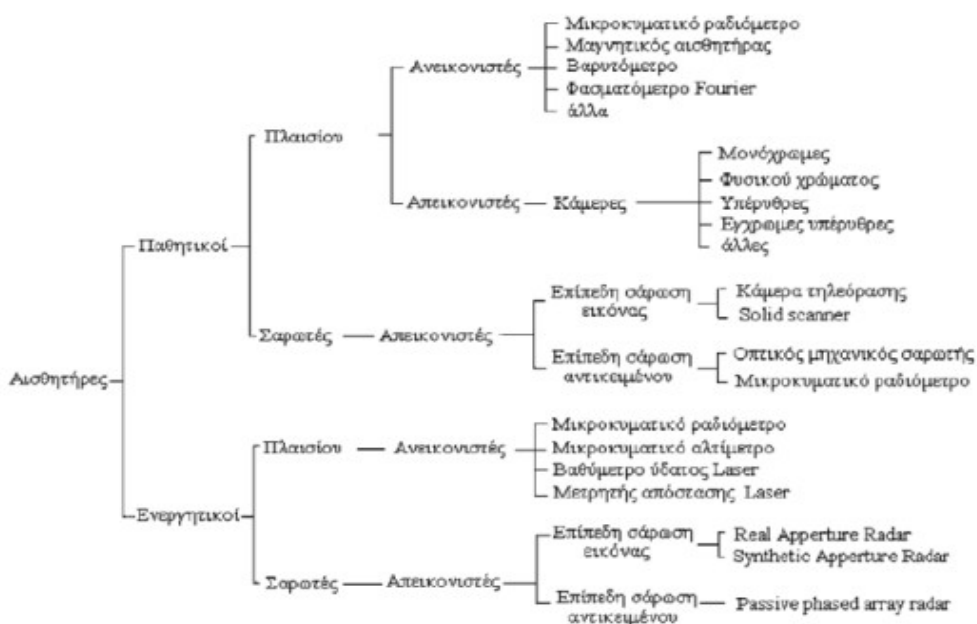


Εικόνα 3.1: Από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην Τηλεπισκόπηση (Lillesand, Keifer & Chipman, 2015).

Τα βασικά στάδια του συστήματος της Τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν:

- Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (πηγή ο ήλιος ή αυτοεκπομπή).
- Μετάδοση ενέργειας από την πηγή προς την επιφάνεια της Γης, καθώς και απορρόφηση και σκέδαση από την ανώτερη ατμόσφαιρα.
- Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την επιφάνεια της Γης: αντανάκλαση και εκπομπή.
- Μετάδοση της ακτινοβολίας από την επιφάνεια προς τον απομακρυσμένο αισθητήρα.
- Δεδομένα εξόδου αισθητήρα.
- Μετάδοση δεδομένων, επεξεργασία και ανάλυση (Παρχαρίδης Ισ., 2015).

Για να πραγματοποιηθεί η συλλογή δεδομένων για τις ανάγκες της εκάστοτε μελέτης, τοποθετούνται αισθητήρες σε πλατφόρμες όπως αεροσκάφη, δορυφόροι, μπαλόνια, ρουκέτες, διαστημικά λεωφορεία κ.α. Αυτοί οι αισθητήρες μπορεί να είναι κάμερες, ραδιόμετρα, ηλεκτρο-οπτικοί σαρωτές, συστήματα ραντάρ κλπ. Ανάλογα με τη φύση των δεδομένων αλλά και με το είδος των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται, μπορεί να γίνει μια κατηγοριοποίηση (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2: Αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση (Χρυσουλάκης, 2011).

Έτσι, η Τηλεπισκόπηση μπορεί να χαρακτηριστεί ως ενεργητική ή παθητική, ανάλογα με το είδος των ρανταρ και των ραδιομέτρων που τοποθετούνται σε όργανα όπως οι δορυφόροι. Στην ενεργητική τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται ραντάρ, τα οποία εκπέμπουν μικροκυματική ακτινοβολία σαρώνοντας την προς μελέτη περιοχή

και έπειτα αποδίδουν εικόνα καταγράφοντας τα ανακλώμενα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από τους ίδιους τους μικροκυματικούς ανιχνευτές (ραντάρ). Στην παθητική τηλεπισκόπηση γίνεται χρήση ραδιομέτρων σαρώσεως, τα οποία καταγράφουν την ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται. Τα ραδιόμετρα λαμβάνουν την εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία και στη συνέχεια δημιουργούν πολυφασματικές εικόνες, δηλαδή ξεχωριστές εικόνες για διαφορετικά μικρά εύρη της ανακλώμενης ακτινοβολίας.

3.1.2) Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης

Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί πλέον σημαντικό κομμάτι της Γεωπληροφορικής, προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες για την μέτρηση της επιφάνειας της Γης, και συνεπώς και για τη χαρτογράφηση. Οι πληροφορίες που παρέχει είναι τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές, προσδιορίζοντας τη θέση των υπό μελέτη αντικειμένων, την κατανομή τους στον χώρο, όπως και χωρικές και χρονικές σχέσεις τους. Κατά συνέπεια, η Τηλεπισκόπηση βρίσκει πολλές εφαρμογές. Ενδεικτικά, η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται ευρέως στους παρακάτω επιστημονικούς κλάδους:

- Στη Γεωλογία, για τη γεωλογική χαρτογράφηση, τη χαρτογράφηση διαφορετικών πετρωμάτων, την παρακολούθηση της εδαφικής παραμόρφωσης, την παρατήρηση ενεργών ηφαιστειών, τον εντοπισμό πετρελαίου, πετρελαιοκηλίδων, ορυκτών και υπόγειων υδάτων.
- Στη Γεωπονία, για την απόδοση καλλιεργειών, για την ανάλυση εδαφών και κτηνοτροφικών περιοχών.
- Στη Δασολογία, για την παρακολούθηση και προστασία των δασών, τη χαρτογράφηση δασικών περιοχών, τον εντοπισμό μεταβολών και την ανάλυση υγείας του δάσους.
- Στην Υδρολογία, για την ανίχνευση της μόλυνσης των υδάτων, την εκτίμηση ευτροφισμού μιας λίμνης, την εκτίμηση πλημμυρών.
- Στην Ωκεανογραφία, για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας, τη μέτρηση της χλωροφύλλης, την χαρτογράφηση θαλάσσιων ρευμάτων, τη μέτρηση συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών, τη μελέτη μεταβολών ακτογραμμών και την παρακολούθηση και κάλυψη των πάγων.
- Σε φυσικές καταστροφές, καταγράφοντας την αποτίμηση του περιβάλλοντος σε περιοχές που έχουν επηρεαστεί από φυσικά φαινόμενα όπως καταιγίδες, ανεμοστρόβιλους και κυκλώνες, σεισμούς, πλημμύρες, τσουνάμι, πυρκαγιές, κατολισθήσεις, αλλά ακόμα και προβλέποντας αυτά τα φαινόμενα.
- Στη Μετεωρολογία, για την πρόβλεψη του καιρού.

- Στη Χωροταξία, Πολεοδομία και Τοπογραφία, για την κατασκευή χαρτών, καταγραφή χρήσεων γης, το κτηματολόγιο, τον έλεγχο διαχρονικών μεταβολών του αστικού περιβάλλοντος, την απογραφή του κυκλοφοριακού δικτύου, τις εκτιμήσεις πληθυσμού και ποιότητας του δομημένου χώρου, τις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, το σχεδιασμό πόλεων, τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας (Νταλαμάγκα Λ., 2018).

3.1.3) Ιστορική ανασκόπηση

Η έμφυτη περιέργεια του ανθρώπου, τον οδήγησε από νωρίς να προσπαθεί να ανακαλύψει το μη ορατό και αυτό οδήγησε σταδιακά στη μετέπειτα εξέλιξη της Τηλεπισκόπησης. Η λήψη της πρώτης αεροφωτογραφίας πραγματοποιήθηκε το 1858 από τον Gaspard Felix Tournachon, γνωστό και ως Nadar, από αερόστατο, πάνω από το Παρίσι, στη Γαλλία. Κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, τα αναγνωριστικά αεροπλάνα πετούσαν πάνω από τις δυνάμεις του εχθρού για να καταγράψουν τις κινήσεις των στρατευμάτων (Εικόνα 3.3). Σε αυτές τις πτήσεις, τοποθετούσαν στα αεροπλάνα φωτογραφικές μηχανές. Κατά τη διάρκεια του μεσοπολέμου οι αεροφωτογραφίες άρχισαν να χρησιμοποιούνται και για ειρηνικούς σκοπούς, όπως στη τοπογραφία, στην χαρτογραφία, σε μετακινήσεις ζώων, στην παρατήρηση φυσικών καταστροφών κλπ.



Εικόνα 3.3: Αναγνωριστικό αεροσκάφος κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου.
(http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/)

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, η αεροφωτογράφιση εξελίχθηκε και βελτιώθηκε σε μεγάλο βαθμό. Κατασκευάστηκαν ειδικοί τύποι φωτογραφικών μηχανών με μεγάλη εστιακή απόσταση και εύρος πεδίου (Εικόνα 3.4), με αυτόματο μηχανισμό εκτύλιξης και έκθεσης μεγάλου μήκους φιλμ, έτσι ώστε η λήψη να είναι συνεχής (Wikipedia). Επιπλέον, εκείνη η περίοδος ήταν η αφετηρία της χρήσης του υπέρυθρου φιλμ για την ταυτοποίηση της βλάστησης. Έτσι έγινε δυνατή η διάκρισή της από τα δίκτυα που τοποθετούσαν οι εχθρικές δυνάμεις ως καμουφλάζ.

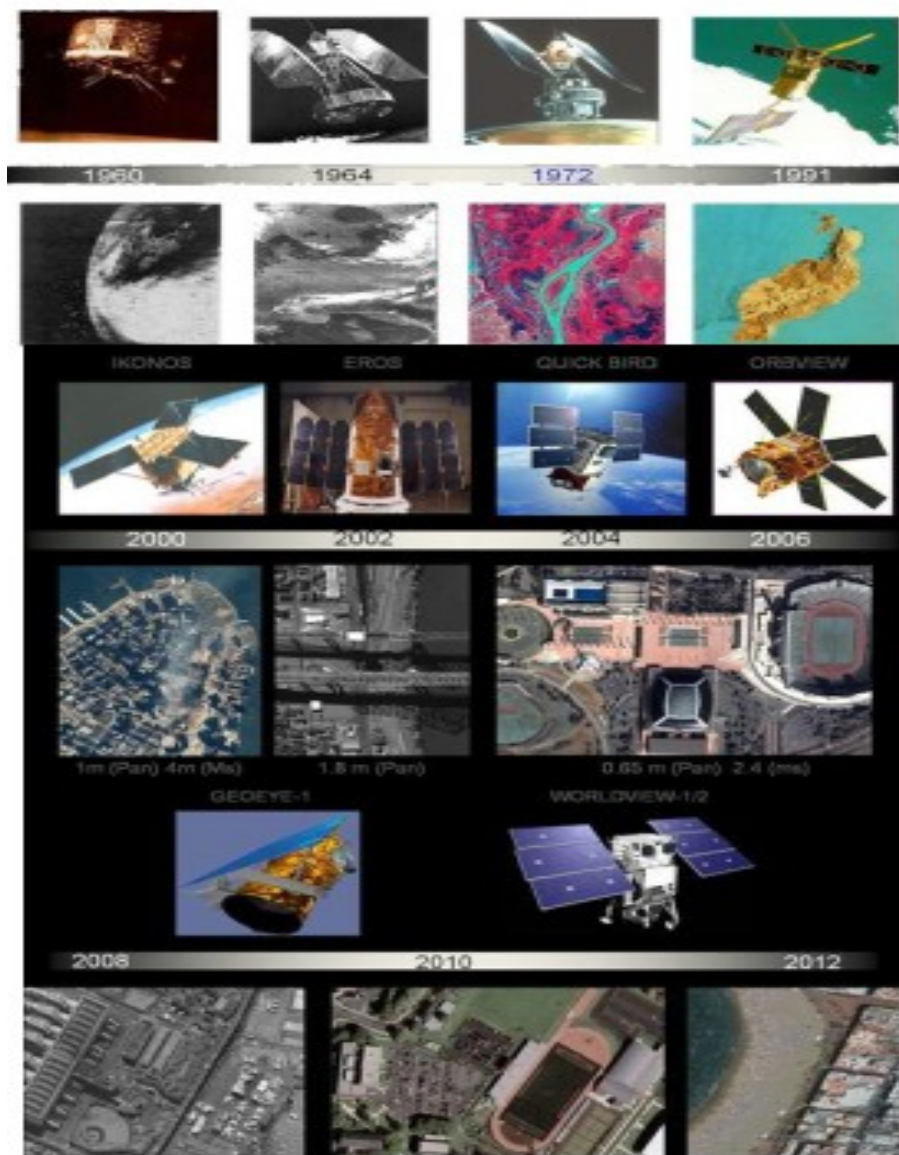


Εικόνα 3.4: Αεροφωτογραφία της περιοχής του Ναγκασάκι πριν τη ρίψη της ατομικής βόμβας (Wikipedia).

Στη δεκαετία του 1960 κατασκευάστηκαν ειδικά φιλμ με ευαισθησία στα διάφορα μήκη κύματος, και με αυτόν τρόπο έγινε χαρτογράφηση διάφορων χαρακτηριστικών του εδάφους, όπως είναι οι διαφορετικοί τύποι βλάστησης. Η ανάπτυξη των τεχνολογιών τηλεπισκόπησης συνεχίστηκε με γοργούς ρυθμούς. Άρχισαν να γίνονται πειράματα χαρτογράφησης χρησιμοποιώντας αεροπλάνα τα οποία ήταν εφοδιασμένα με συστήματα ραντάρ. Ο πρώτος μετεωρολογικός δορυφόρος είχε την ονομασία TIROS 1 (Television and Infrared Observation Satellite) και τέθηκε σε τροχιά το 1960. Ο δορυφόρος αυτός εφοδίαζε καθημερινά τη Μετεωρολογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών με φωτογραφίες από τους σχηματισμούς των νεφών και απετέλεσε ορόσημο στην πρόγνωση του καιρού.

Οι μη φωτογραφικές τεχνικές τηλεπισκόπησης άρχισαν να αναπτύσσονται ιδιαίτερα μετά τον Landsat 1. Ο Landsat 1 ήταν ο πρώτος χαρτογραφικός δορυφόρος. Τέθηκε σε

τροχιά το 1972 και ήταν εξοπλισμένος με ένα νέου τύπου αισθητήρα, τον πολυφασματικό σαρωτή (MSS, multispectral scanner). Με αυτή την νέα τεχνολογία, τα δεδομένα παράγονταν με τη μορφή ψηφιακών χωρολογικών πινάκων που έδιναν τη δυνατότητα να γίνουν μεγάλες πρόοδοι και στην ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων (http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/). Μετά την εκτόξευση του Landsat 1, η Τηλεπισκόπηση ξεκίνησε και ακόμα συνεχίζει να εξελίσσεται ραγδαία (Εικόνα 3.5) και να βρίσκει συνεχώς νέες εφαρμογές σε ποικίλους επιστημονικούς κλάδους.



Εικόνα 3.5: Η εξέλιξη της Τηλεπισκόπησης (Παρχαρίδης Ισ., 2015).

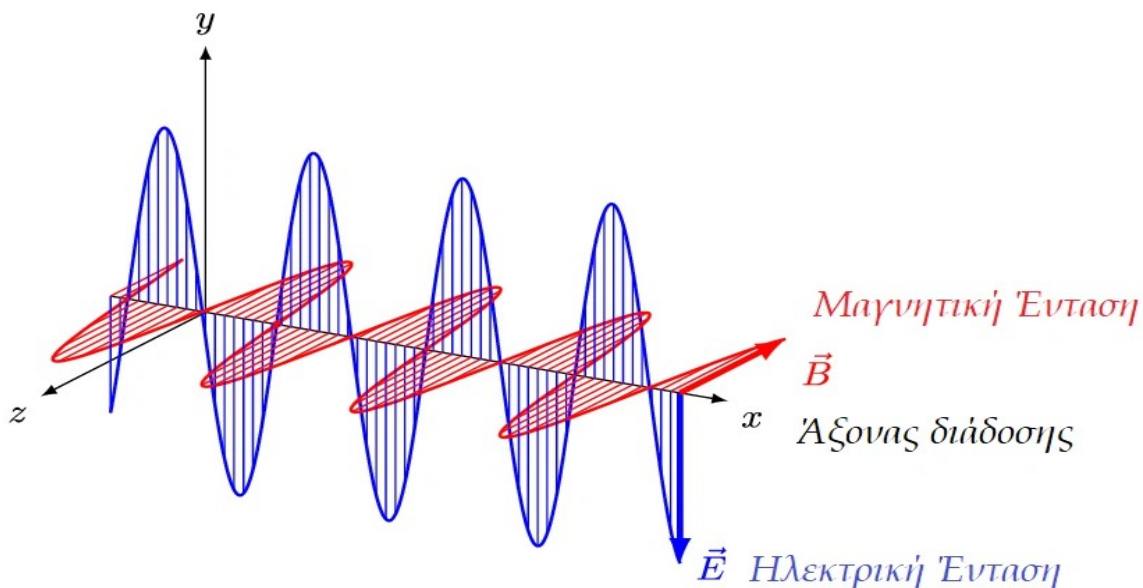
Στην Ελλάδα η παρατήρηση και παρακολούθηση της Γης από το Διάστημα αποτελεί αντικείμενο μελέτης και εφαρμογής για περισσότερα από 30 χρόνια, με την εμπλοκή αρχικά των Πανεπιστημιακών Εργαστηρίων και στη συνέχεια Ερευνητικών Ινστιτούτων,

αλλά και ιδιωτικών φορέων. Η Ελλάδα υπέγραψε την πρώτη συμφωνία συνεργασίας με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (European Space Agency) το 1994. Με την ένταξή της ως πλήρες μέλος της ESA τον Δεκέμβριο του 2005, η Ελλάδα άρχισε να συμμετέχει ισότιμα με τα υπόλοιπα κράτη μέλη στην υλοποίηση του ευρωπαϊκού διαστημικού προγράμματος. Σαν κράτος μέλος της ESA, η Ελλάδα συμμετέχει σε προγράμματα που αφορούν τους τομείς των τηλεπικοινωνιών, των τεχνολογιών της πληροφορίας, καθώς και της παρατήρησης της Γης, όπως και το πρόγραμμα Copernicus (Παρχαρίδης Ισ., 2015).

3.1.4) Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Ηλεκτρομαγνητικό (ΗΜ) φάσμα είναι η ονομασία που έχουν δώσει οι επιστήμονες στα διάφορα είδη ακτινοβολίας όταν θέλουν να αναφερθούν σε αυτά ως σύνολο. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αντιστοιχεί στο εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (Εικόνα 3.6) και εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Ουσιαστικά, περιγράφει όλο το εύρος του φωτός.

Η εναλλαγή του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου οδηγεί στη δημιουργία του φωτός. Το φως, ως κύμα, εμφανίζει συγκεκριμένες ιδιότητες, όπως το μήκος κύματος λ (η απόσταση από την κορυφή ενός κύματος μέχρι την κορυφή του επόμενου κύματος) και τη συχνότητα F , που υπολογίζει πόσα κύματα διαπερνούν ένα σημείο ανά δευτερόλεπτο. Το γινόμενο τους δίνει την ταχύτητα του φωτός.

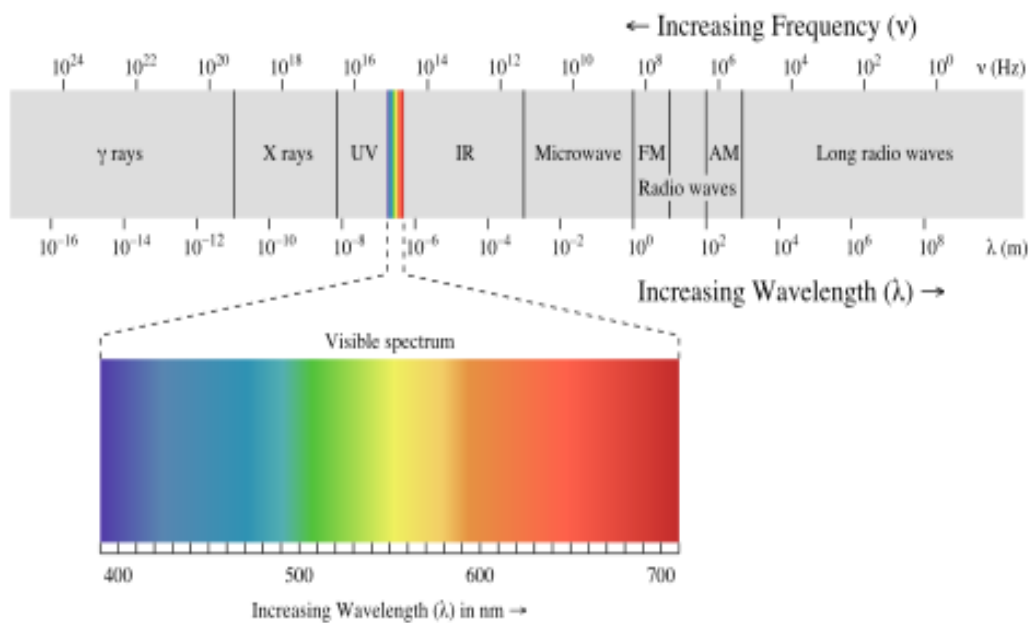


Εικόνα 3.6: Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα (<https://science.fandom.com/el/wiki>).

Με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες. Αυτές είναι:

- Τα ραδιοκύματα
- Τα μικροκύματα
- Η υπέρυθρη ακτινοβολία
- Η ορατή ακτινοβολία (φως)
- Η υπεριώδης ακτινοβολία
- Οι ακτίνες Χ
- Οι ακτίνες γ

Στην Εικόνα 3.7 διακρίνονται οι ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και στον πίνακα 3.1 τα χαρακτηριστικά κάθε ζώνης.



Εικόνα 3.7: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (https://www.ea.gr/ep/mobile/emr/ti_einai.html).

Στην εικόνα 3.7 δίνεται έμφαση στο ορατό φάσμα. Ως ορατό φάσμα χαρακτηρίζεται το τμήμα εκείνο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος με το αισθητήριο της όρασης. Εκτείνεται σε ακτινοβολίες με συχνότητες από $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz (Ιώδες χρώμα με μήκος κύματος στο κενό από 400nm), μέχρι περίπου συχνότητα $4,3 \cdot 10^{14}$ Hz (Κόκκινο χρώμα με μήκος κύματος στο κενό 700nm). Στο φάσμα αυτό μπορεί να διακρίνει κάποιος τις μεταβολές των χρωματικών αποχρώσεων ξεκινώντας από τις αποχρώσεις του ιώδους, μπλέ, γαλάζιου, πράσινου, κίτρινου, πορτοκαλί χρώματος, μέχρι και τις αποχρώσεις του ερυθρού (Wikipedia). Παρόλο που αποτελεί ένα πολύ μικρό τμήμα του φάσματος, η σημασία του για την Τηλεπισκόπηση είναι προφανής.

Περιοχή του φάσματος	Μήκος κύματος	Συχνότητες
Ραδιοκύματα	100.000km - 1m	0 – 300MHz
Μικροκύματα	1m - 1mm	300MHz - 300GHz
Υπέρυθρη ακτινοβολία	1mm - 740nm	300GHz - 400THz
Ορατό φως	740nm - 380nm	400THz - 800THz
Υπεριώδης ακτινοβολία	380nm - 10nm	800THz - $3 \cdot 10^{16}$ Hz
Ακτίνες Χ	10nm – 0,01nm	$3 \cdot 10^{17}$ Hz - $3 \cdot 10^{19}$ Hz
Ακτίνες γάμμα	0,01nm – 0,001nm	$3 \cdot 10^{19}$ Hz - $3 \cdot 10^{20}$ Hz
Κοσμικές ακτίνες	0,001nm - 0nm	$3 \cdot 10^{20}$ Hz

Πίνακας 3.1: Ζώνες του ΗΜ φάσματος και τα χαρακτηριστικά τους (Wikipedia).

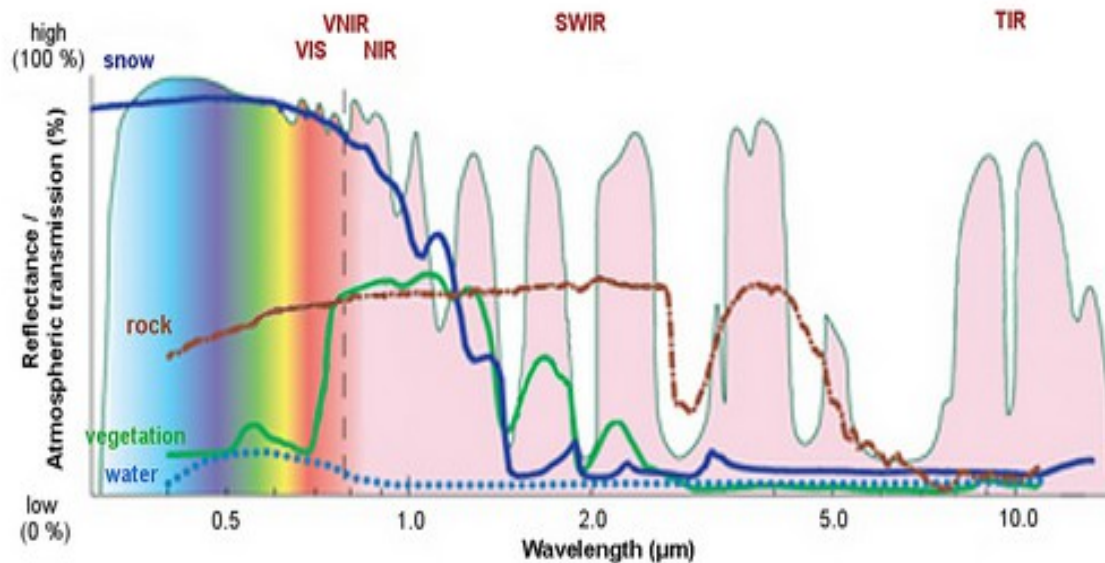
3.1.5) Πολυφασματικές εικόνες

Διάφορες εικόνες σε μια περιοχή της γης, οι οποίες έχουν καταγραφεί στον ίδιο χρόνο αλλά σε διαφορετικό μήκος κύματος, αποτελούν μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα. Έτσι ένα αντικείμενο μπορεί να φαίνεται πιο φωτεινό ή πιο σκοτεινό, ανάλογα με το μήκος κύματος της ζώνης του φάσματος που προσπίπτει σε αυτό. Το τελικό προϊόν είναι εικόνες μιας συγκεκριμένης περιοχής, που έχουν τραβηχτεί την ίδια χρονική στιγμή αλλά με διαφορετική φωτεινότητα στις διαφορετικές περιοχές. Μια πολυφασματική τρισδιάστατη δορυφορική εικόνα ουσιαστικά αποτελείται από δισδιάστατες εικόνες. Κάθε μια από αυτές τις εικόνες λέγεται φασματικό κανάλι ή φασματική μπάντα.

3.1.6) Τηλεπισκοπικοί δείκτες

Το κάθε αντικείμενο απορροφά διαφορετικό ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και την αντανακλά σε διαφορετικά μήκη κύματος, με το δικό του ξεχωριστό τρόπο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.8. Έτσι, μπορούν να παραχθούν δείκτες οι οποίοι θα διευκρινίζουν τη σύσταση του κάθε υλικού. Αυτοί οι δείκτες

καλούνται τηλεπισκοπικοί δείκτες και είναι δισδιάστατες εικόνες οι οποίες προέρχονται από μαθηματικές πράξεις των ψηφιακών τιμών, που πραγματοποιούνται μεταξύ των καναλιών μιας εικόνας ή διαφορετικών εικόνων (Ράπτης Β., 2020). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης NDWI, στον οποίο θα γίνει αναφορά στη συνέχεια.



Εικόνα 3.8: Ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε διαφορετικές επιφάνειες (EUMeTrain, 2014).

3.1.7) Οι δορυφόροι Sentinel

Όπως προαναφέρθηκε, η Τηλεπισκόπηση πλέον ανήκει στα βασικά εργαλεία για την παρακολούθηση της γήινης επιφάνειας. Υπάρχουν πολλές περιοχές στη γη που είναι μη προσβάσιμες για τον άνθρωπο, όμως οι δορυφορικές εικόνες δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης και μελέτης και αυτών των περιοχών, και μάλιστα πολλές φορές χωρίς κανένα κόστος. Η εκτόξευση νέων, εξελιγμένων οργάνων για την παρατήρηση της Γης (ΕΟ), όπως η σειρά των δορυφόρων Sentinel από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA), οδηγεί στην ανάπτυξη καινούριων τεχνικών που συμβάλλουν στη χαρτογράφηση. Τα όργανα αυτά προσφέρουν συνεχή δεδομένα με υψηλή χωρική, χρονική και φασματική ανάλυση καθώς και μία ποικιλία αισθητήρων (ραντάρ, οπτικούς, θερμικούς)(Moreno et al., 2012).

Οι δορυφόροι Sentinel αποτελούν μέρος του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Παρακολούθησης της Γης, Copernicus. Το Copernicus αφορά τη διαχείριση φυσικών πόρων, την παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής, τη διασφάλιση της ασφάλειας των πολιτών και την πρόληψη και διαχείριση καταστροφών. Τα δεδομένα του

Copernicus είναι ανοιχτά και δωρεάν μέσω της πλατφόρμας του Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>). Οι αποστολές που έχουν εκτοξευθεί είναι οι Sentinel 1 (Α και Β), Sentinel 2 (Α και Β), Sentinel 3 (Α και Β) και Sentinel 5P. Η αποστολή Sentinel 2 παρέχει οπτική απεικόνιση υψηλής ευκρίνειας για υπηρεσίες παρακολούθησης της ξηράς. Παρέχει, για παράδειγμα, απεικόνιση της κάλυψης από βλάστηση, έδαφος και ύδατα, των εσωτερικών πλωτών οδών και παράκτιων περιοχών. Η αποστολή Sentinel 2 παρέχει επίσης πληροφορίες για υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης. Οι δίδυμοι δορυφόροι Sentinel 2A και Sentinel 2B εκτοξεύθηκαν στις 22 Ιουνίου 2015 και στις 7 Μαρτίου 2017 αντίστοιχα. Για τους σκοπούς της εργασίας, έγινε χρήση εικόνων Sentinel 2.

3.2) Μεθοδολογία

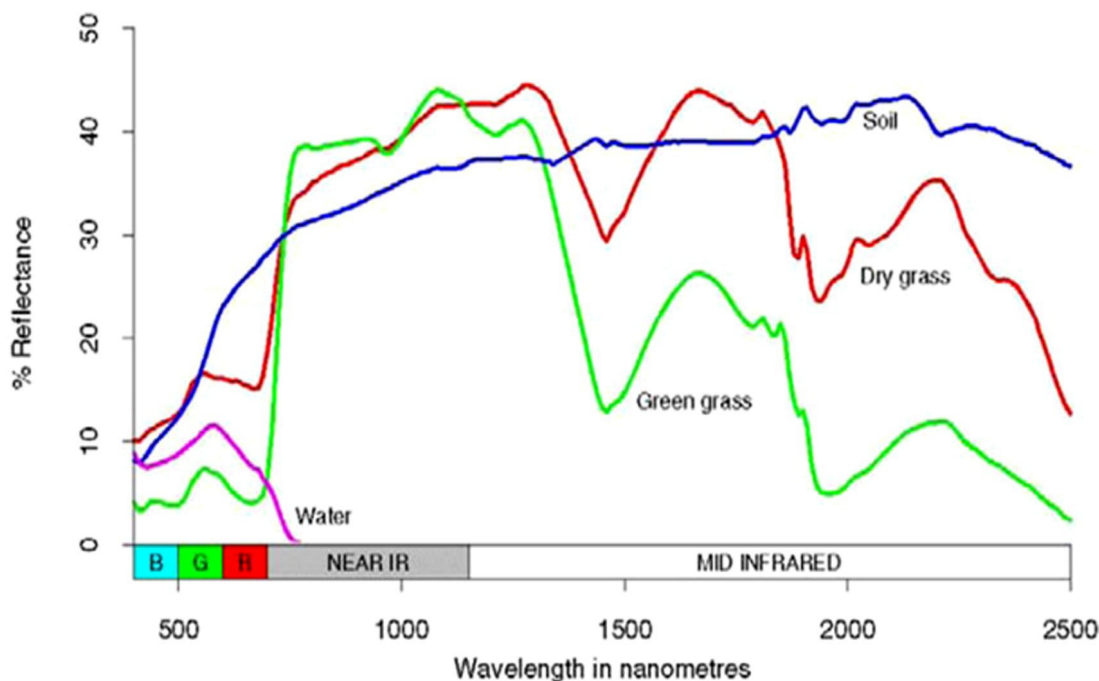
3.2.1) Εισαγωγή

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, πρέπει να πραγματοποιηθεί η εξαγωγή υδάτινου σώματος, έτσι ώστε να γίνει δυνατή η ανίχνευση μεταβολών του νερού της λιμνοθάλασσας του Αγίου Μάμα, σε χωρική και χρονική κλίμακα. Η εξαγωγή υδάτινου σώματος αποτελεί μια ζωτικής σημασίας διαδικασία για διάφορες περιπτώσεις, όπως στη διαχείριση της παράκτιας ζώνης μιας λίμνης, στην παρακολούθηση διάβρωσης ή αλλαγής μιας ακτογραμμής, στην πρόβλεψη πλημμύρας και στην εκτίμηση των υδάτινων πόρων. Η έγκαιρη παρακολούθηση του επιφανειακού νερού και η παροχή δεδομένων σχετικά με τη δυναμική των επιφανειακών υδάτων οδηγεί στην άμεση λήψη αποφάσεων. Τα τελευταία χρόνια, τα Τηλεπισκοπικά δεδομένα σε συνδυασμό με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή υδάτινου σώματος και τη χαρτογράφηση (Gulcan Sarp & Mehmet Ozcelik, 2017).

Όπως προαναφέρθηκε, για τις εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης έχουν δημιουργηθεί διάφοροι δείκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την εύρεση νερού, βλάστησης, περιοχών που έχουν καεί κλπ. Ο δείκτης του οποίου θα γίνει χρήση στη συγκεκριμένη εργασία, είναι ο δείκτης νερού NDWI (Normalized Difference Water Index). Ο συγκεκριμένος δείκτης δημιουργήθηκε από τον McFeeters (1996) και αποτελεί τον πλέον κατάλληλο δείκτη για την απεικόνιση των υδάτινων μαζών. Το νερό παρουσιάζει γενικά χαμηλές τιμές ακτινοβολίας και δυνατή απορρόφηση στο εύρος μεταξύ του ορατού και του υπέρυθρου μήκους κύματος. Ο NDWI προκύπτει από το φασματικό κανάλι B3, που αντιστοιχεί στο πράσινο (GREEN), και B8 που αντιστοιχεί στο εγγύς υπέρυθρο (NIR). Χαρακτηριστικές για το νερό είναι οι υψηλές τιμές ανάκλασης στο ορατό τμήμα του φάσματος (μπλε, πράσινο, κόκκινο). Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της Εικόνας 3.9, στο πράσινο παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή ενώ στο εγγύς

υπέρυθρο, την ελάχιστη, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα οι δύο αυτές μπάντες για τον υπολογισμό του δείκτη NDWI, με βάση τον τύπο:

$$NDWI = (GREEN - NIR)/(GREEN + NIR).$$



Εικόνα 3.9: Διαγραμμα ανάκλασης – μήκους κύματος για νερό, βλάστηση και έδαφος (Short N.M., 2011).

Ο δείκτης NDWI έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες, παρόμοιες περιπτώσεις, όπως για τη λίμνη Burdur στην Τουρκία (Gulcan Sarp & Mehmet Ozcelik, 2017), η οποία είχε συρρικνωθεί σε μεγάλο βαθμό και ερευνήθηκε η μεταβολή στον όγκο της ανά τα χρόνια. Επιπλέον έχει χρησιμοποιηθεί για μελέτη της λίμνης Bayı και του ποταμού Min (Hanqiu Xu, 2006), όπως και για υδάτινα σώματα στην πόλη Hyderabad της Ινδίας (Kshitij Mishra & P. Rama Chandra Prasad, 2015), αλλά και στην επαρχία Hubei και για τη λίμνη Poyang στην Κίνα (Rajiv Kumar Nath & S K Keb, International Journal of Image Processing). Παρόμοιες εφαρμογές έχουν πραγματοποιηθεί για κρυσταλλικές λίμνες στην Αρκτική και Ανταρκτική (Shridhar D. Jawak, Kamana Kulkarni & Alvarinho J. Luis, 2015), για τη λίμνη Urmia στην Ινδία (Komeil Rokni, Anuar Ahmad, Ali Selamat & Sharifeh Hazini, 2014) αλλά και για την εκτίμηση υδάτινων σωμάτων στο Νεπάλ (Tri Dev Acharya, Anoj Subedi & Dong Ha Lee, 2018). Μία άλλη περίπτωση όπου βρήκε εφαρμογή ο δείκτης NDWI2 είναι για την εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ilmenau στη Γερμανία (Μήτση Τερψιχόρη, Βασιλάκος Χρήστος, Τζωράκη Ουρανία & Dietrich Jorg) αλλά και για τη διερεύνηση πισίνων, οι οποίες μπορεί να είναι πιθανοί βιότοποι κουνουπιών (McFeeters, 2013).

3.2.2) Επεξεργασία στο SNAP

Στην παρούσα μελέτη, έγινε χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2, και η κύρια επεξεργασία τους πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του SNAP (Sentinel Application Platform). Το βασικό σχήμα επεξεργασίας που ακολουθήθηκε αφορά τα παρακάτω βήματα:

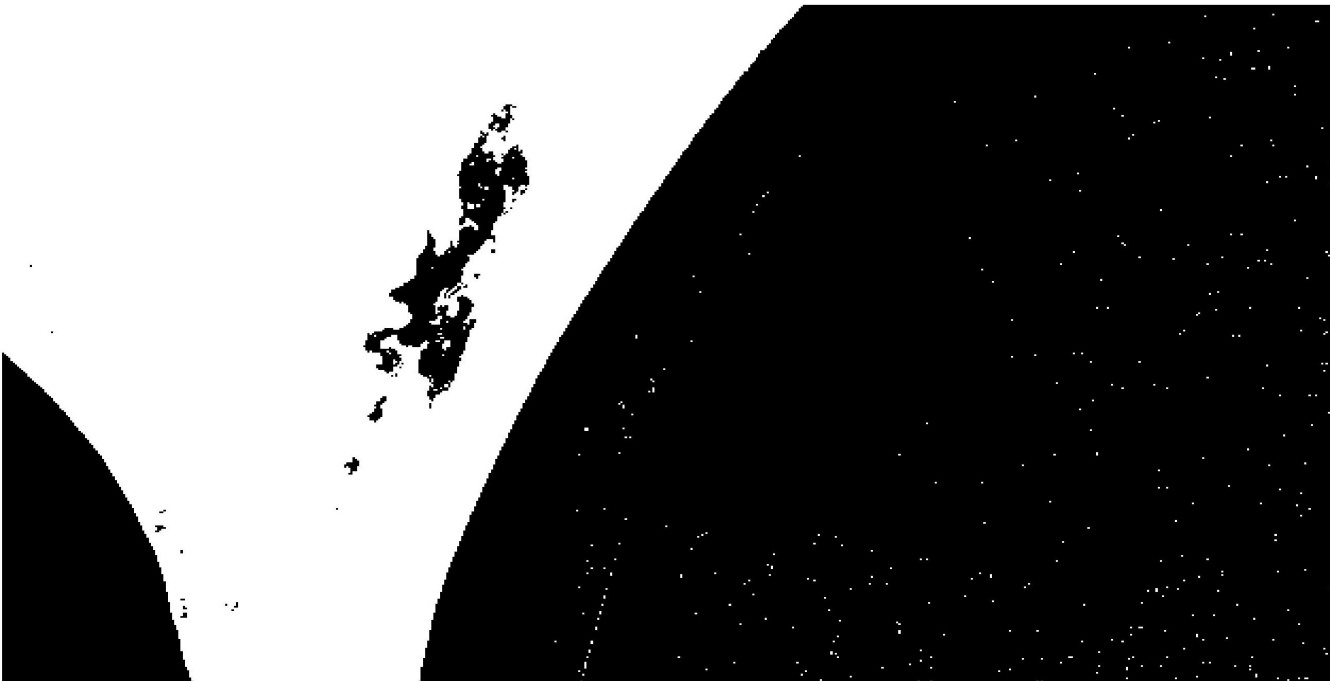
- Επαναδειγματοληψία της εικόνας (Resampling)
Η χωρική ανάλυση όλων των δορυφορικών ζωνών πρέπει να αναπαραχθεί σε ένα μοναδικό μέγεθος εικονοστοιχείου, για να απλοποιηθεί η ροή εργασίας και αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται με την επαναδειγματοληψία της εικόνας. Η επαναδειγματοληψία εφαρμόστηκε με βάση το φασματικό κανάλι B2 της δορυφορικής εικόνας Sentinel-2, και χωρική ανάλυση των 10 m.
- Περικοπή της εικόνας (Subset)
Για λόγους μείωσης του χρόνου επεξεργασίας σε συνδυασμό και με την υπολογιστική δύναμη της επεξεργασίας επιτυγχάνεται περικοπή της δορυφορικής εικόνας, έτσι ώστε να περιλαμβάνει αποκλειστικά την περιοχή μελέτης.
- Υπολογισμός Υδάτινης επιφάνειας (Extract NDWI)
Εφαρμογή του λόγου των φασματικών καναλιών B3 και B8 για την χαρτογράφηση των υδάτινων μαζών.

Αναφορικά με τις δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία, η πρώτη εικόνα λήφθηκε στις 13/02/2020 (χειμερινή περίοδος) και η δεύτερη στις 12/07/2020 (εαρινή περίοδος). Η επιλογή έγινε λαμβάνοντας υπόψιν την εποχική μεταβλητότητα της παρουσίας του νερού, δηλαδή ουσιαστικά επιλέχθηκε μια χειμερινή και μια καλοκαιρινή εικόνα, έτσι ώστε να μπορούμε να παρατηρήσουμε την χωρο-χρονική μεταβολή της λιμοθάλασσας σε σχέση με τις εποχικές διακυμάνσεις, όπως βροχόπτωση, αντλήσεις νερού, κ.λ.π., που παρατηρούνται κατά την διάρκεια ενός έτους στην περιοχή.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις Εικόνες 3.10 και 3.11, με την ξηρά να αναπαρίσταται με λευκό χρώμα, ενώ η κάλυψη σε νερό με μαύρο χρώμα. Οι διαφορές στη χωρική κάλυψη του νερού, μεταξύ των δύο εικόνων είναι ξεκάθαρες, με την εικόνα του Φεβρουάριου να εμφανίζει, όπως αναμένεται, λόγω βροχοπτώσεων πολύ μεγαλύτερη παρουσία υδάτινου σώματος.



Εικόνα 3.10: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης για τον μήνα Φεβρουάριο (13/02/2020).



Εικόνα 3.11: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης για τον μήνα Ιούλιο (12/07/2020).

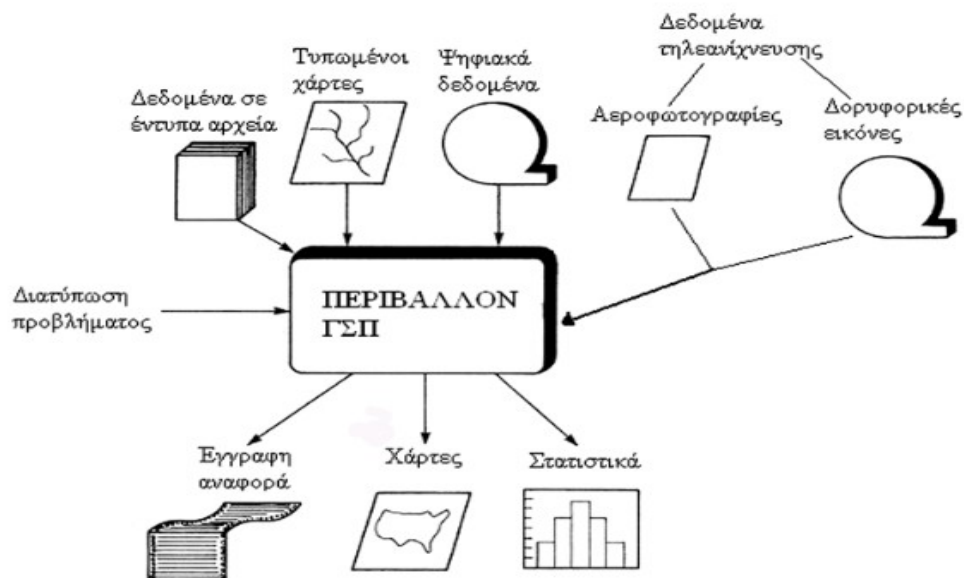
Μετάπειτα της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, τα τελικά προϊόντα από το SNAP εισήχθησαν σε μορφή GeoTIFF στο QGIS, για περαιτέρω επεξεργασία.

3.3) Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

3.3.1) Ορισμός – Γενικές πληροφορίες

Οι πληροφορίες που μας παρέχουν οι δορυφορικές εικόνες είναι σαφώς πολλές, ωστόσο δεν είναι αρκετές για την πραγματοποίηση μιας πλήρους μελέτης. Σε αυτή την περίπτωση μας εξυπηρετεί ιδιαίτερα η τεχνολογία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Σύμφωνα με τον Goodchild (1985), ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), γνωστό ευρέως και ως GIS (Geographic Information System), είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης πληροφορίας που αναφέρεται σε φαινόμενα που εξελίσσονται στο γεωγραφικό χώρο. Η μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας αλλά και ο αυξανόμενος όγκος των στοιχείων στα οποία πλέον έχουμε πρόσβαση ήταν το έναυσμα για τη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, τα οποία σήμερα αποτελούν βασικό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα ΣΓΠ είναι ένα δυναμικό σύστημα πληροφοριών που με διάφορες μαθηματικές μεθόδους αξιοποιεί δεδομένα από τις Γεωεπιστήμες, τα οποία αναβαθμίζει σε προχωρημένες γνώσεις για παραγωγή πληροφορίας υψηλής ποιότητας, χρησιμοποιώντας την εξελιγμένη τεχνολογία της πληροφορικής. Δεδομένα από διαφορετικές πηγές εισάγονται στο σύστημα, μέσα στο οποίο πραγματοποιούνται διάφοροι τύποι ανάλυσης και επεξεργασίας, ανάλογα με το πώς διατυπώνεται το πρόβλημα, ώστε να παραχθούν αποτελέσματα σε μορφή αναφοράς (report), χαρτών και στατιστικών στοιχείων και γραφημάτων (Νικολακόπουλος Κ. κ.α., 2015). Ένα ΣΓΠ, λειτουργεί σε γενικές γραμμές, με τον τρόπο που φαίνεται στην Εικόνα 3.12.



Εικόνα 3.12: Αναπαράσταση της λειτουργίας ενός ΣΓΠ (Νικολακόπουλος Κ. κ.α., 2015).

3.3.2) Δεδομένα

Τα δεδομένα που εισάγονται σε ένα ΣΓΠ, μπορεί να είναι:

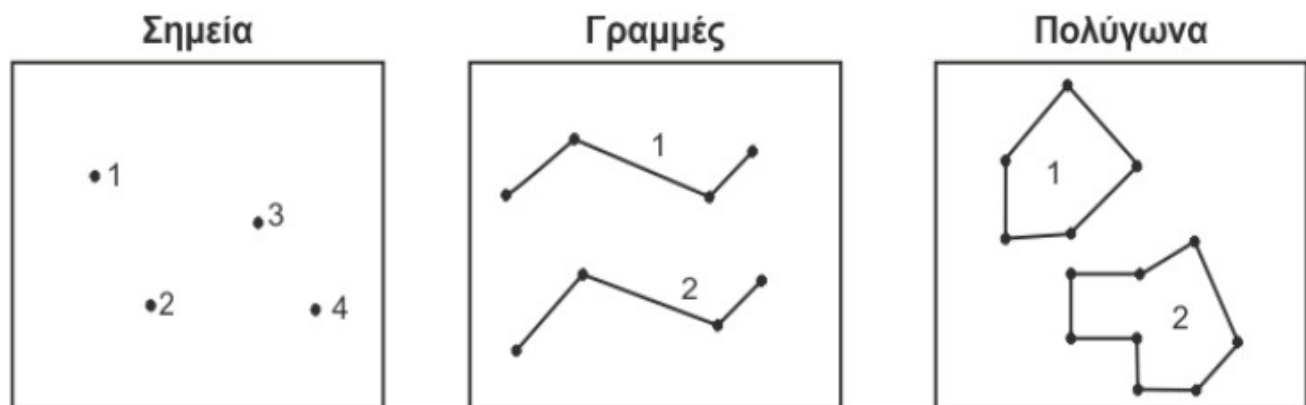
- Χωρικά δεδομένα: πρόκειται για διαστρωματικά δεδομένα που έχουν συλλεχθεί και των οποίων η προέλευση είναι από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές.
- Μη χωρικά δεδομένα: αφορούν περιγραφική πληροφορία, ποιοτική ή ποσοτική, που συνδέεται με τα χωρικά δεδομένα.
- Χρονικά δεδομένα (Χρονοσειρές): είναι μια σειρά παρατηρήσεων, που λαμβάνονται σε διαδοχικά ισαπέχουσες χρονικές στιγμές.
- Μεταδεδομένα: ένα σύνολο μεταδεδομένων περιγράφει ένα άλλο σύνολο δεδομένων, το οποίο αποτελεί μια πηγή, και έτσι καθιστάται δυνατή η καταγραφή και η χρήση του.

Όσον αφορά τα χωρικά δεδομένα, η απεικόνιση των πληροφοριών γίνεται με τις εξής βασικές δομές:

1. Διανυσματική δομή (vector)
2. Ψηφιδωτή δομή ή δομή καννάβου (raster)

Το διανυσματικό μοντέλο:

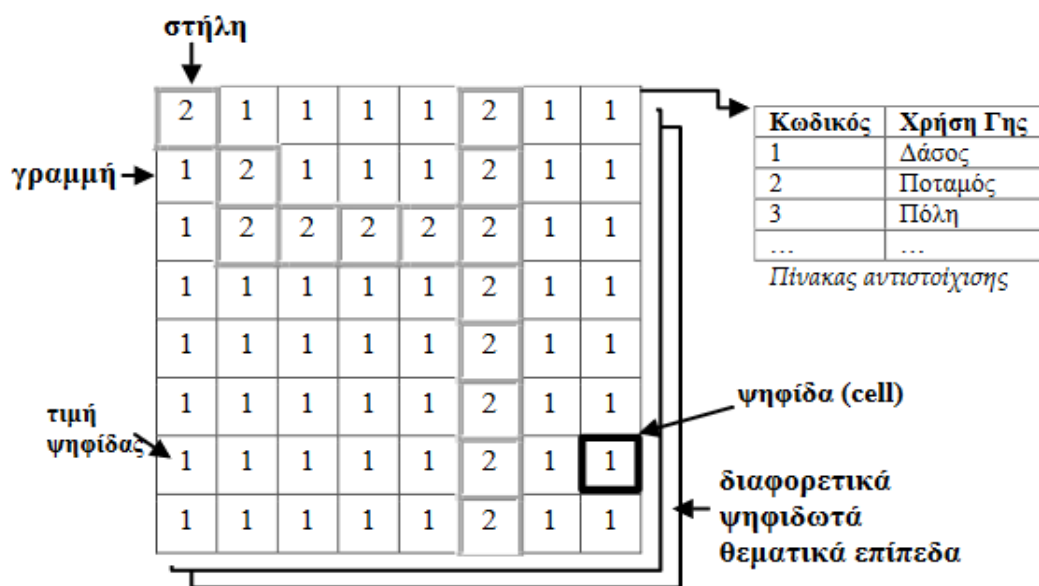
Σύμφωνα με τη βασική αρχή του διανυσματικού μοντέλου, ο πραγματικός κόσμος μπορεί να επιμεριστεί σε διακριτά γεωγραφικά αντικείμενα τα οποία ορίζονται με σαφήνεια και έχουν τη μορφή σημείων, γραμμών ή πολυγώνων (επιφανειών). Η χωρική διάσταση αυτών των αντικειμένων προσδιορίζεται με τη χρήση συντεταγμένων. Έτσι, κάθε σημείο της επιφάνειας της γης αντιστοιχεί μοναδικά με ένα ζεύγος (ή τριάδα) αριθμών σε ένα σύστημα συντεταγμένων όπως είναι οι x , y και z Καρτεσιανές συντεταγμένες. Οι τρεις παραπάνω τύποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση γεωγραφικών οντοτήτων αλλά και συνδυαστικά, έτσι ώστε να δομούν σύνθετα χωρικά στοιχεία (Χαλκιάς Χ.).



Εικόνα 3.13: Το διανυσματικό μοντέλο: σημεία, γραμμές και πολύγωνα. (Νικολακόπουλος Κ. κ.α., 2015).

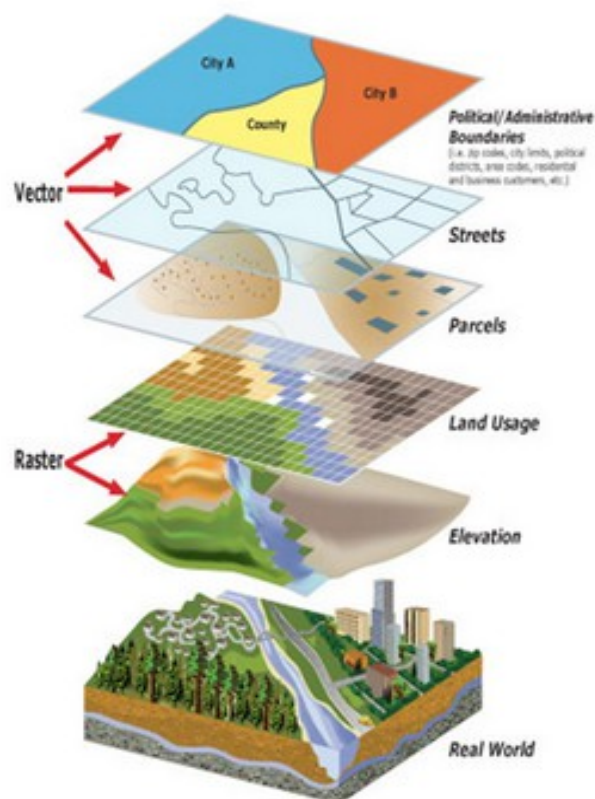
Το ψηφιδωτό μοντέλο:

Η αναπαράσταση γεωγραφικών δεδομένων με το ψηφιδωτό μοντέλο βασίζεται στην εξέταση καθορισμένων περιοχών του πραγματικού κόσμου. Σύμφωνα με αυτή, ο χώρος διαιρείται σε διατεταγμένα δομικά στοιχεία τα οποία κατασκευάζουν πλέγματα. Τα δομικά αυτά στοιχεία καλούνται ψηφίδες ή κελιά (pixels, cells) και είναι συνήθως τετράγωνα. Η θέση μιας ψηφίδας καθορίζεται από τη στήλη και τη γραμμή στην οποία ανήκει, ενώ η έκταση την οποία αντιπροσωπεύει κάθε ψηφίδα καθορίζει τη χωρική ανάλυση των δεδομένων. Η τοποθέτηση ενός γεωγραφικού στοιχείου καταγράφεται στην πλησιέστερη ψηφίδα. Για κάθε ψηφίδα αποθηκεύονται περιγραφές (αριθμητικές τιμές ή χαρακτήρες) οι οποίες δείχνουν τον τύπο του γεωγραφικού αντικειμένου ή φαινομένου στη συγκεκριμένη θέση. Διαφορετικές περιγραφές που αναφέρονται στο ίδιο κελί συνήθως αποθηκεύονται σε ξεχωριστά θεματικά επίπεδα (Χαλκιάς Χ.). Στην Εικόνα 3.14 παρουσιάζεται το ψηφιδωτό μοντέλο.



Εικόνα 3.14: Το ψηφιδωτό μοντέλο (Χαλκιάς Χ.).

Τα σύγχρονα συστήματα μπορούν να μετατρέψουν τα διανυσματικά δεδομένα σε ψηφιακά αλλά και το αντίστροφο, όπως επίσης και να χρησιμοποιήσουν αυτά τα διαφορετικά είδη δεδομένων ταυτόχρονα. Η συνδυαστική χρήση του ψηφιδωτού και του διανυσματικού μοντέλου έχει επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα στην ανάλυση και διαχείριση γεωγραφικών δεδομένων. Στην Εικόνα 3.15 βλέπουμε διάφορα επίπεδα πληροφορίας σε ένα ΣΓΠ.



Εικόνα 3.15: Επίπεδα πληροφοριών σε ένα ΣΓΠ (<http://gis.sbcounty.gov/>).

3.3.3) Ιστορική ανασκόπηση

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών κατά τη δεκαετία του 1960, οδήγησε σταδιακά στη δημιουργία των ΣΓΠ. Η προσπάθεια διαχείρισης της γεωγραφικής πληροφορίας ξεκίνησε το 1962, κυρίως στον Καναδά και στις ΗΠΑ, με αποκορύφωμα τη δημιουργία του πρώτου μεγάλου ΣΓΠ, το 1964, από τον Roger Tomlinson. Αυτό ήταν το Canadian Geographical Information System (CGIS), το οποίο χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, από τη δεκαετία του 1980 και μετά, τα προγράμματα με στόχο τη διαχείριση πληροφοριών, αναπτύχθηκαν σε μεγάλο βαθμό.

Στην Ελλάδα, η πρώτη εγκατάσταση των ΣΓΠ, πραγματοποιήθηκε από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) το 1983 και στη συνέχεια από διάφορα πανεπιστήμια. Ο πρώτος δήμος που έκανε χρήση ΣΓΠ το 1987, για την αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών που προέκυψαν μετά το σεισμό, ήταν ο δήμος Καλαμάτας. Ωστόσο, το 1990 φαίνεται ότι περίπου δέκα δήμοι χρησιμοποιούσαν ΣΓΠ. Σήμερα, λόγω της εξέλιξης του λογισμικού και των Η/Υ, έχει προωθηθεί η χρήση τους από υπηρεσίες όπως η αστυνομία, η πυροσβεστική κ.α. (Φαρασλής Ι., 2004).

3.3.4) Εφαρμογές Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

Παρά το γεγονός ότι τα Σ.Γ.Π. υπήρχαν από τη δεκαετία του 1960, οι εφαρμογές τους έχουν αναπτυχθεί εκθετικά τα τελευταία χρόνια. Κάποια βασικά πεδία εφαρμογών τους είναι:

1. Γεωλογικές εφαρμογές:

Παρακολούθηση φυσικών φαινομένων
Μοντελοποίηση κοιτασμάτων
Γεωλογική Χαρτογράφηση
Δημιουργία χαρτών και τρισδιάστατων μοντέλων
Μελέτη επιφανειακών υδάτων κ.λ.π.

2. Κοινωνικο-οικονομικές εφαρμογές:

Κτηματολόγιο
Δημογραφικές έρευνες
Επιστήμες υγείας
Εγκληματολογία
Αρχαιολογία κ.λ.π.

3. Διαχειριστικές εφαρμογές:

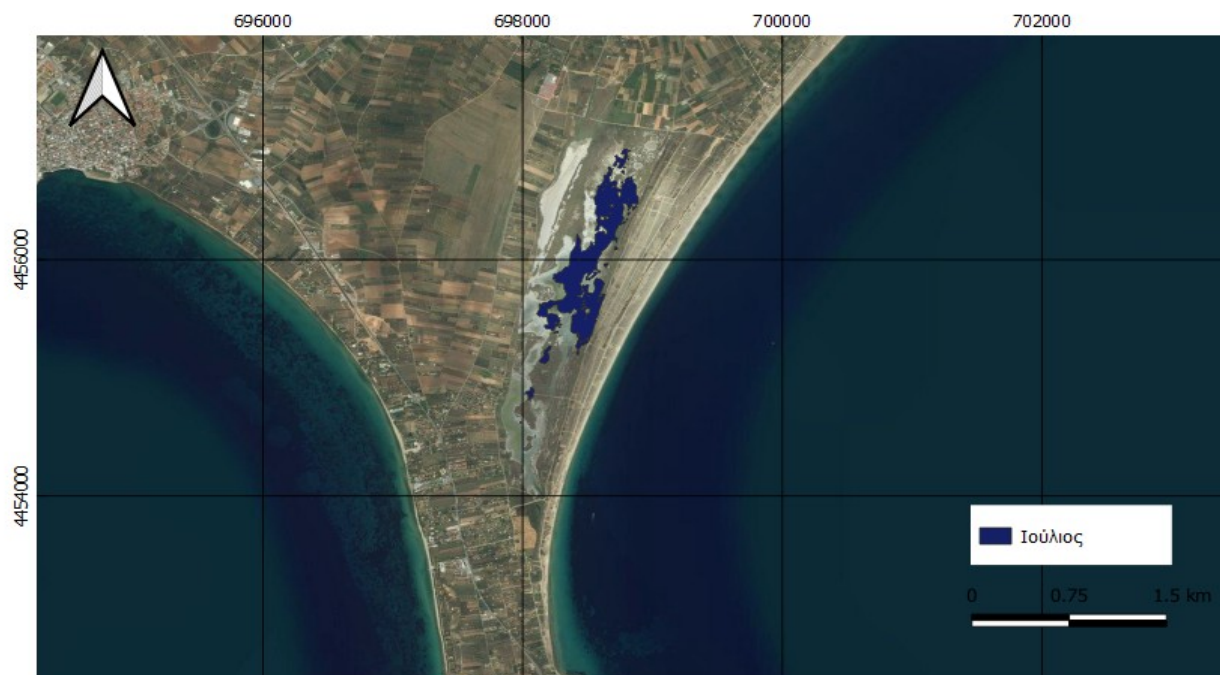
Τοπική αυτοδιοίκηση
Χωροταξικός – Πολεοδομικός σχεδιασμός
Εύρεση βέλτιστων δρόμων
Αυτόματη πλοήγηση οχημάτων κ.λ.π.

3.3.5) Επεξεργασία στο QGIS

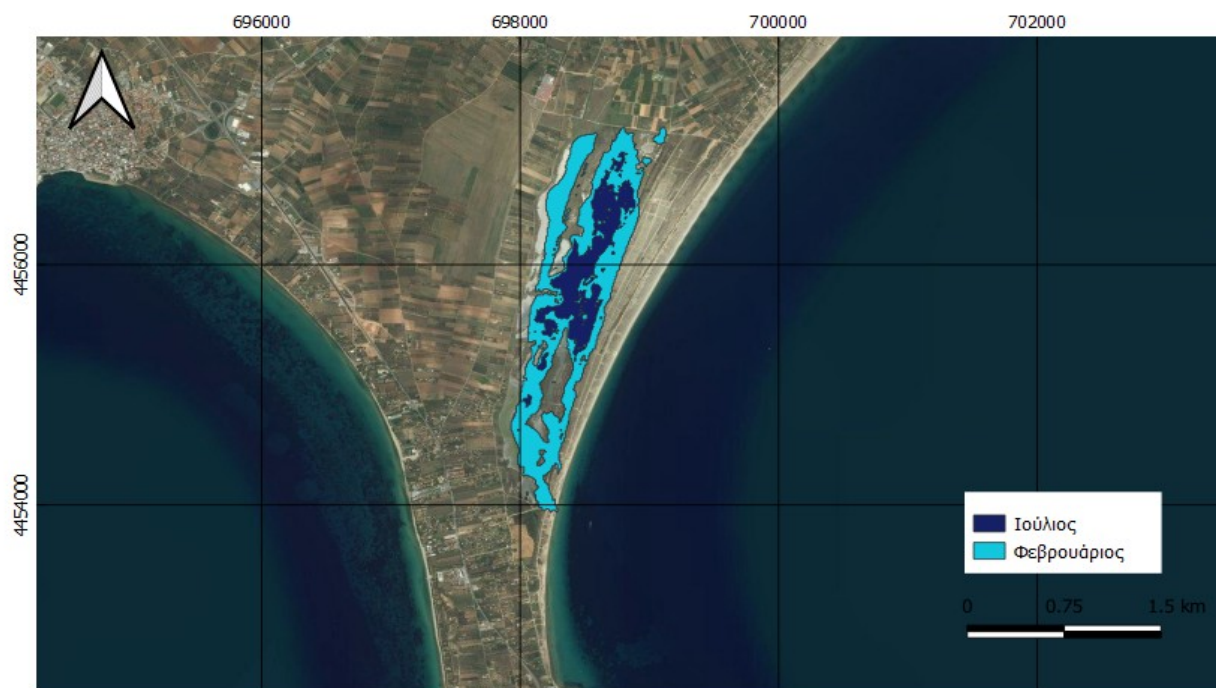
Όπως προαναφέρθηκε, με σκοπό την επιπλέον επεξεργασία τους, τα τελικά προϊόντα από το SNAP (Εικόνες 3.10 – 3.11) εισήχθησαν σε μορφή GeoTIFF στο QGIS, επομένως χαρακτηρίζονταν από ψηφιδωτή δομή (raster). Για να απομονωθεί το νερό που αντιστοιχεί στη λιμνοθάλασσα, τα προϊόντα αυτά μετατράπηκαν σε διανυσματικά (vector), έτσι ώστε να αφαιρεθούν τα πολύγωνα που αντιστοιχούσαν σε οποιαδήποτε άλλη χωρική κάλυψη. Έπειτα, ως υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε ένας χάρτης Bing (Bing aerial) της περιοχής και δημιουργήθηκαν τρεις διαφορετικοί χάρτες για την περιοχή μελέτης. Στον πρώτο χάρτη απεικονίζεται η κάλυψη σε νερό για τον μήνα Φεβρουάριο (γαλάζιο χρώμα), στο δεύτερο χάρτη για τον μήνα Ιούλιο (μπλε χρώμα) και στον τρίτο χάρτη εμφανίζονται και οι δύο καλύψεις μαζί, έτσι ώστε να μελετηθούν συγκριτικά. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι χάρτες που δημιουργήθηκαν.



Εικόνα 3.16: Χάρτης της περιοχής μελέτης όπου παρουσιάζεται η χωρική κάλυψη σε νερό για τον μήνα Φεβρουάριο (13/02/2020).

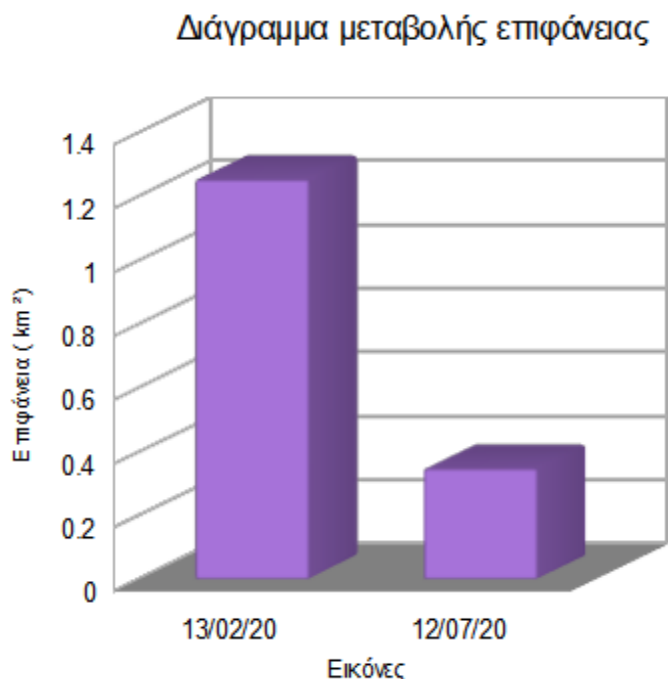


Εικόνα 3.17: Χάρτης της περιοχής μελέτης όπου παρουσιάζεται η χωρική κάλυψη σε νερό για τον μήνα Ιούλιο (12/07/2020).



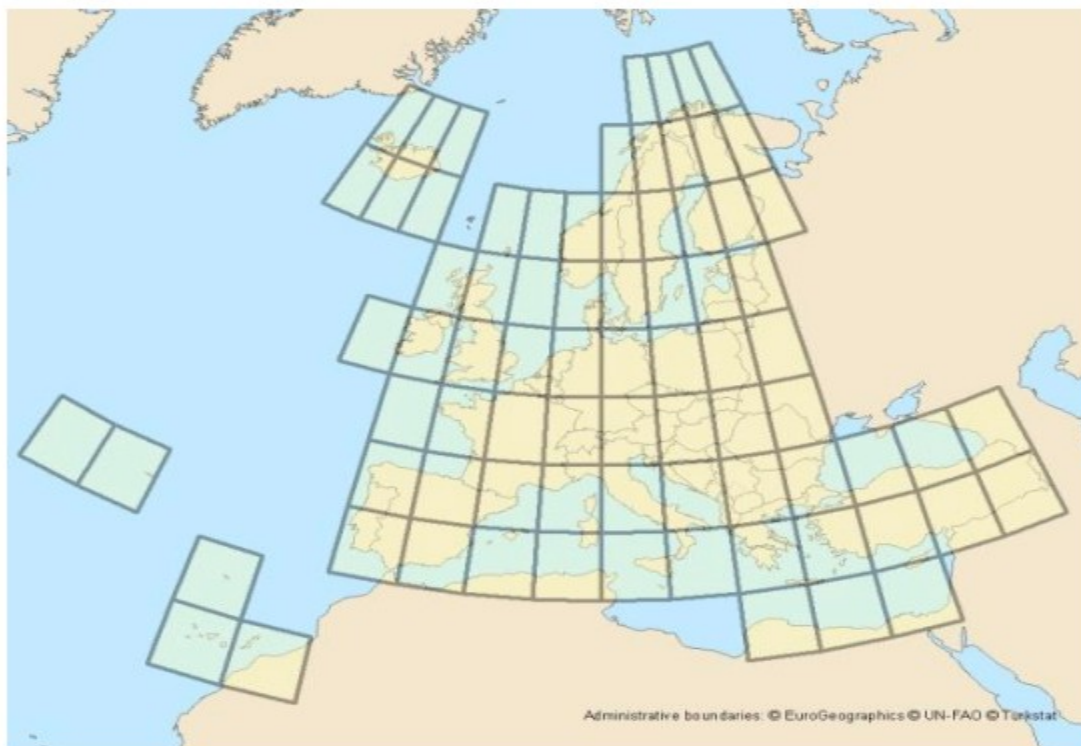
Εικόνα 3.18: Χάρτης της περιοχής μελέτης όπου παρουσιάζεται η χωρική κάλυψη σε νερό για τους μήνες Φεβρουάριο και Ιούλιο.

Σε επόμενο βήμα υπολογίστηκε η επιφάνεια της κάθε χωρικής κάλυψης σε νερό, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί μια ποσοτική σύγκριση των δύο τιμών. Αυτή η διαδικασία απαιτεί τα προϊόντα να χαρακτηρίζονται από ψηφιδωτή δομή. Αφού πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητοι υπολογισμοί στο QGIS, στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα, όπου σε μορφή στηλών, παρουσιάζονται τα διαφορετικά αποτελέσματα για τον μήνα Φεβρουάριο και για τον μήνα Ιούλιο. Αυτό το διάγραμμα αποτυπώνεται στην Εικόνα 3.19.



Εικόνα 3.19: Διάγραμμα μεταβολής της επιφάνειας της λιμνοθάλασσας για τους μήνες Φεβρουάριο και Ιούλιο.

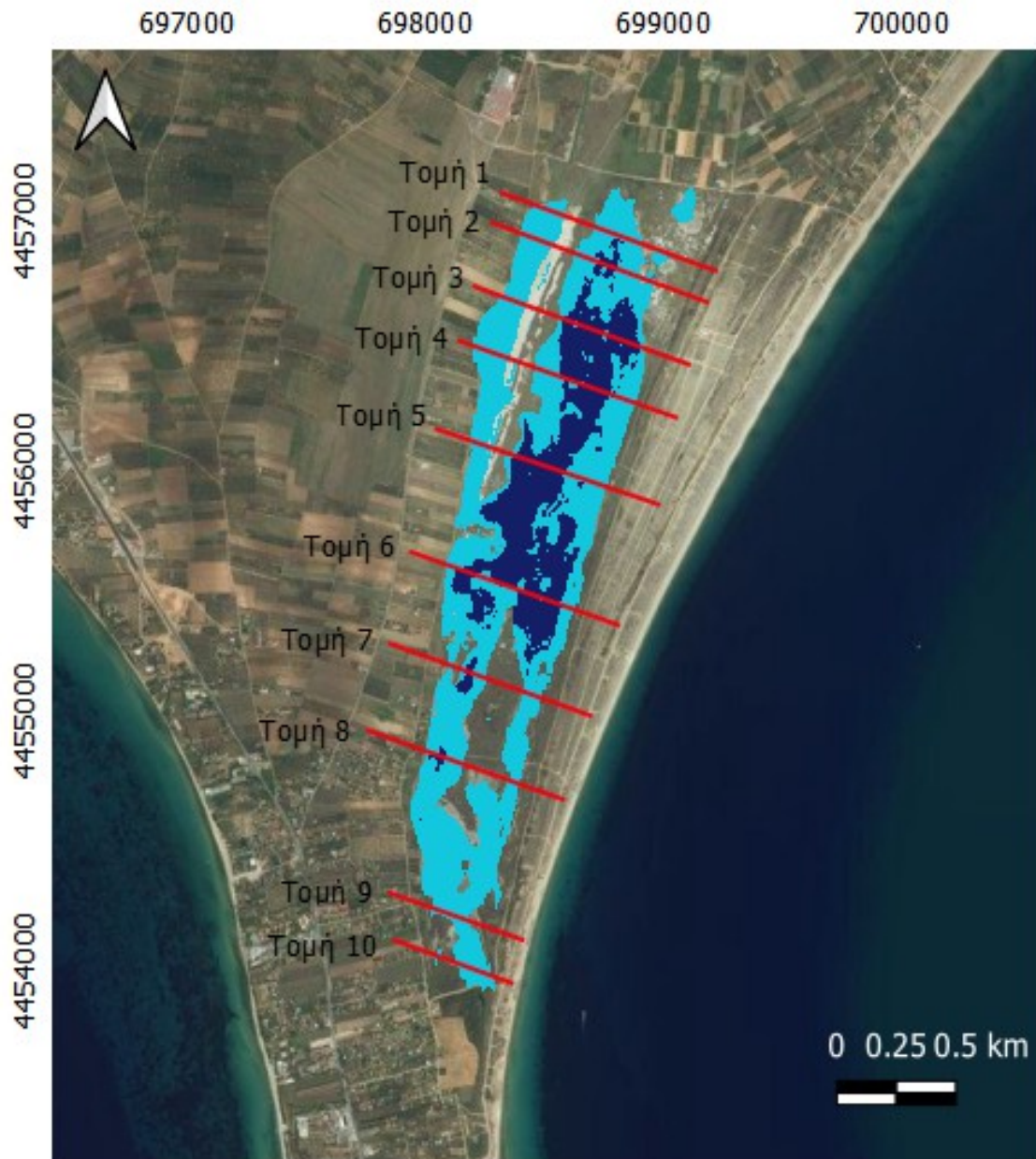
Τέλος, χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής (DEM), με σκοπό να εντοπιστούν οι μεταβολές της λιμνοθάλασσας μέσω της παρουσίας τους σε τομές. Το EU-DEM, του οποίου και έγινε χρήση, είναι ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους που δημιουργήθηκε από την υπηρεσία CLMS του προγράμματος Copernicus και παρέχει υψομετρική πληροφορία και για τα 33 κράτη μέλη αλλά και για τα 6 συνεργαζόμενα. Καλύπτει μία περιοχή έκτασης 5,84 M km², με διακριτική ικανότητα 1arc-sec, δηλαδή περίπου 20m, και αποτελεί ένα υβρίδιο βασιζόμενο στα ψηφιακά μοντέλα εδάφους SRTM 3arc-sec και ASTER-GDEM_v1 που συγχωνεύονται μέσω σταθμισμένης προσέγγισής του μέσου όρου. Τα παραπάνω δεδομένα εμπλουτίστηκαν και με Ρώσικους χάρτες για την βέλτιστη προσέγγιση του ανάγλυφου (Ερμίδης Ν., 2018). Το συγκεκριμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους επιλέχθηκε διότι η διακριτική ικανότητα των 20m παρέχει μια αρκετά καλή ανάλυση, η οποία σαφώς και βελτιώνει την αποτύπωση της μορφολογικής πληροφορίας στις τομές. Έτσι, οι διαφοροποιήσεις στην περιοχή μελέτης μπορούν να διακριθούν με ένα συνδυασμό μορφολογικών και τηλεπισκοπικών δεδομένων.



Εικόνα 3.20: Γεωγραφική κάλυψη του ψηφιακού μοντέλου εδάφους EU-DEM χωρισμένη σε περιοχές διαστάσεων 5°x5° (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/elevation/eu-dem-dd>).

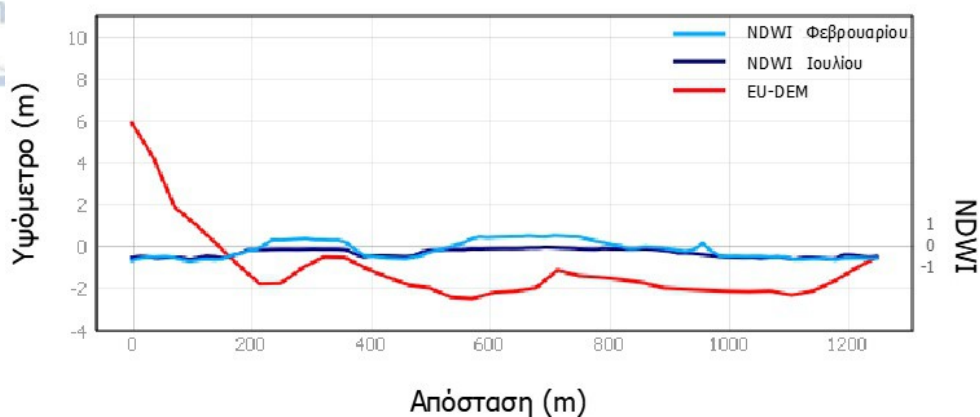
Αφού το DEM που επιλέχθηκε εισήχθηκε στο QGIS, κατασκευάστηκαν τομές κατά μήκος της λιμνοθάλασσας, με κατεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ, ξεκινώντας από το βόρειο και καταλήγοντας στο νότιο τμήμα της. Οι τομές που παρήχθησαν παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο χάρτη της Εικόνας 3.21.

Με σκοπό την μορφολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης, κατασκευάστηκαν γεωμορφολογικά προφίλ, τα οποία περιλαμβάνουν την υψομετρική πληροφορία και το ανάγλυφο. Οι τομές που δημιουργήθηκαν περιλαμβάνουν και μία επιπλέον πληροφορία, τα δεδομένα που προέκυψαν από τη χρήση του δείκτη NDWI. Στις τομές που ακολουθούν, ουσιαστικά, απεικονίζεται η μεταβολή του Κανονικοποιημένου Δείκτη Νερού (NDWI, McFeeters) σε σχέση με την απόσταση της τομής και το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης. Το NDWI που αφορά τον μήνα Φεβρουάριο εμφανίζεται με γαλάζιο χρώμα, το NDWI που αντιστοιχεί στον μήνα Ιούλιο με μπλε χρώμα και το EU-DEM με κόκκινο χρώμα.



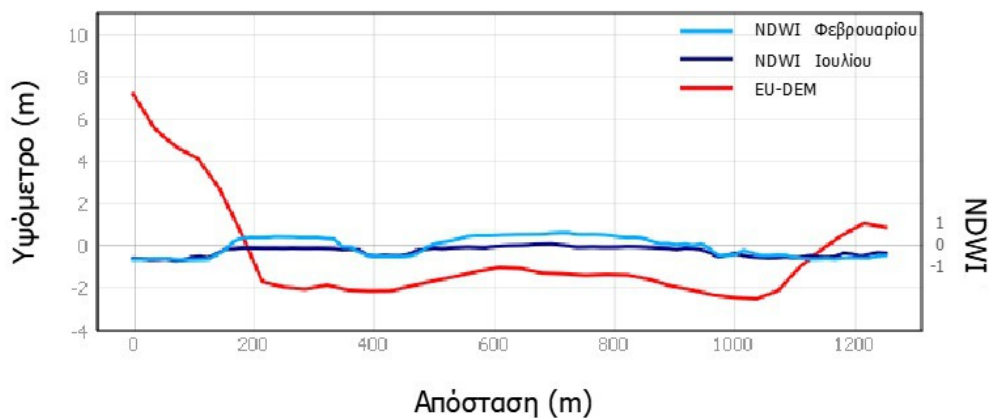
Εικόνα 3.21: Χάρτης όπου παρουσιάζονται οι γεωμορφολογικές τομές.

Τομή 1



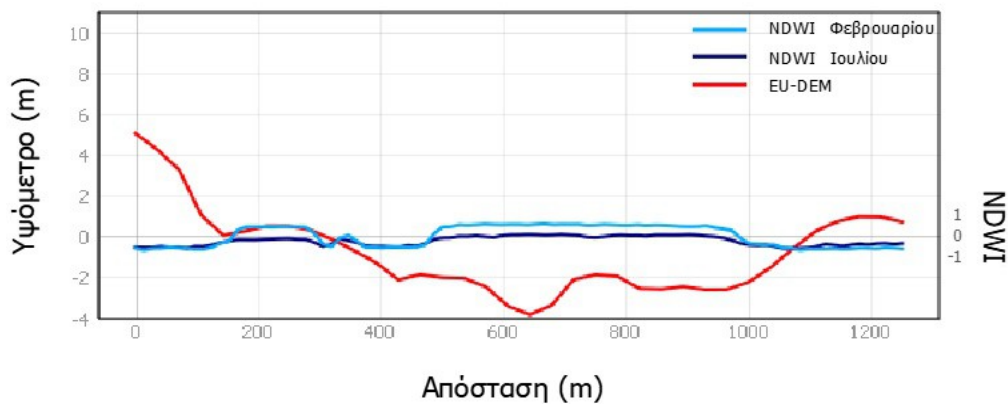
Εικόνα 3.22: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 1, σε σχέση με τον δείκτη NDWI.

Τομή 2



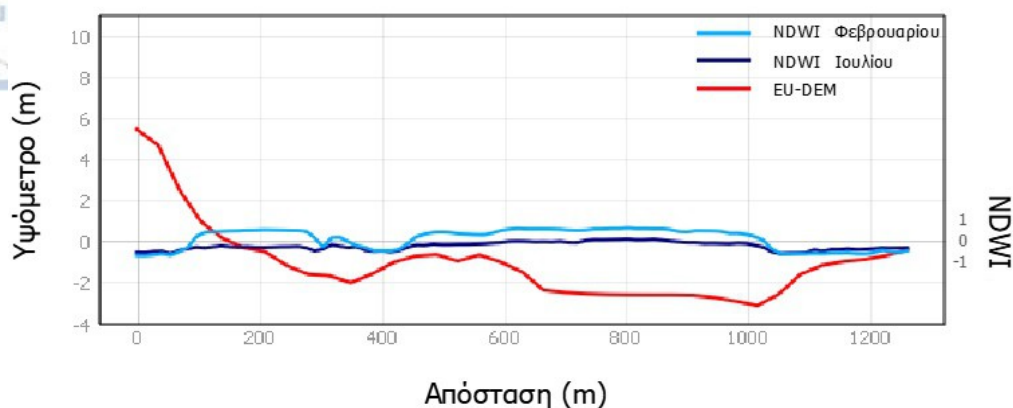
Εικόνα 3.23: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 2, σε σχέση με τον δείκτη NDWI.

Τομή 3



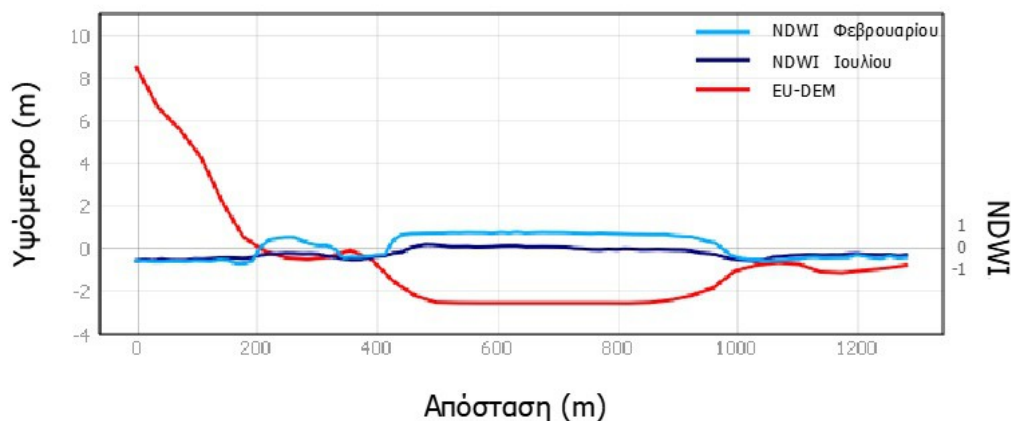
Εικόνα 3.24: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 3, σε σχέση με τον δείκτη NDWI.

Τομή 4



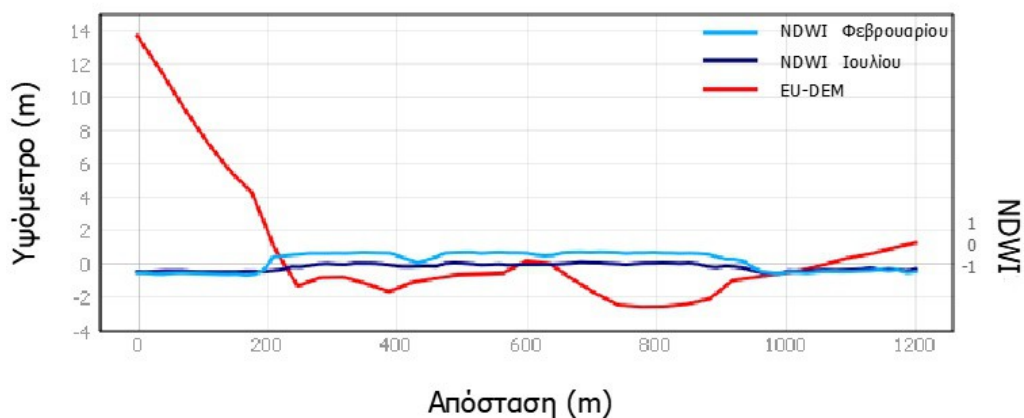
Εικόνα 3.25: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 4, σε σχέση με τον δείκτη NDWI.

Τομή 5



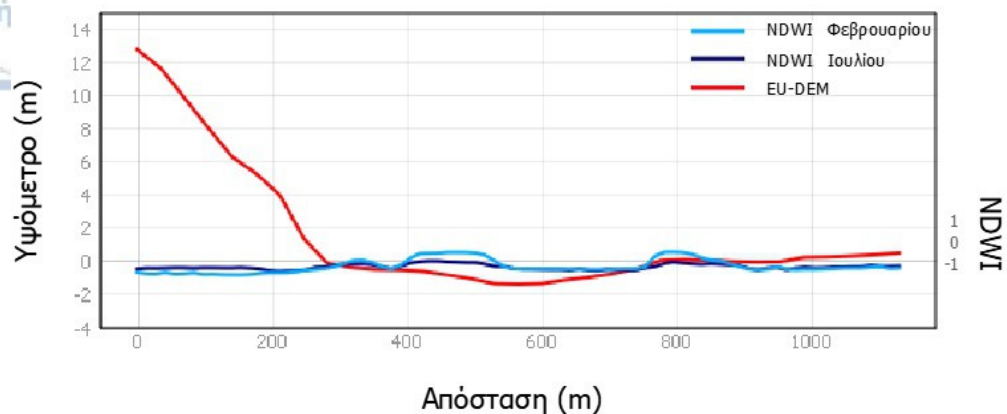
Εικόνα 3.26: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 5, σε σχέση με τον δείκτη NDWI.

Τομή 6



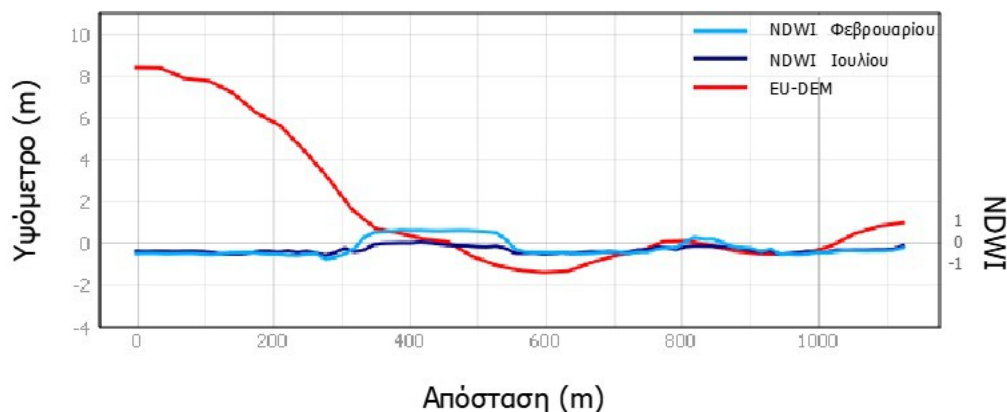
Εικόνα 3.27: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 6, σε σχέση με τον δείκτη NDWI.

Τομή 7



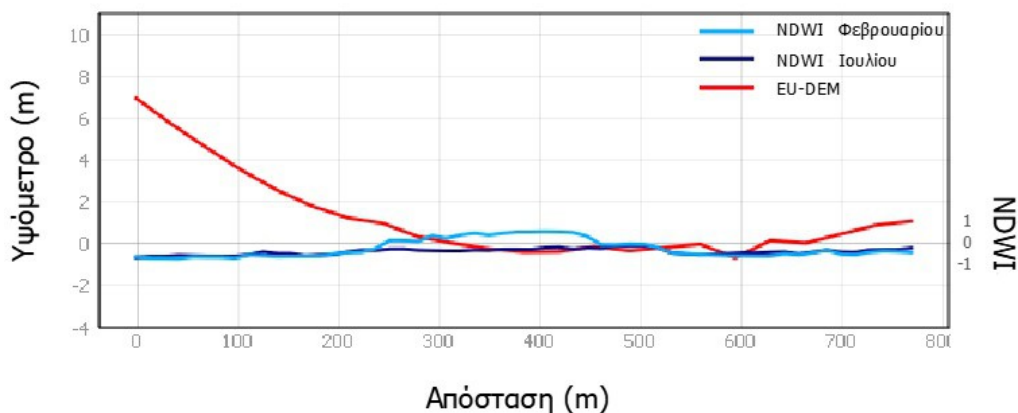
Εικόνα 3.28: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 7, σε σχέση με τον δείκτη NDWI.

Τομή 8



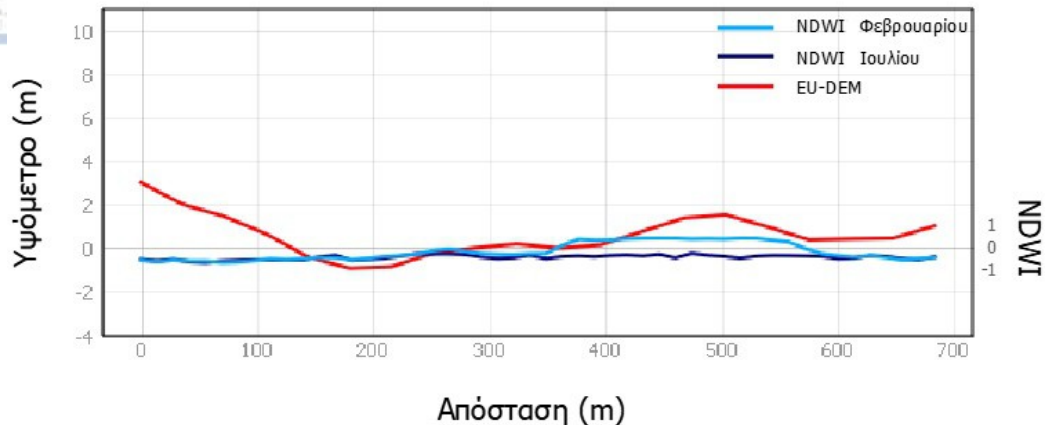
Εικόνα 3.29: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 8, σε σχέση με τον δείκτη NDWI.

Τομή 9



Εικόνα 3.30: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 9, σε σχέση με τον δείκτη NDWI.

Τομή 10



Εικόνα 3.31: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 10, σε σχέση με τον δείκτη NDWI.

Στις τομές παρατηρούνται θετικές και αρνητικές διακυμάνσεις του δείκτη NDWI σε σχέση με το ανάγλυφο, με τις θετικές τιμές να αντιστοιχούν σε παρουσία νερού και τις αρνητικές τιμές σε ξηρά.

Κεφάλαιο 4ο: Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

4.1) Αποτελέσματα

Συγκρίνοντας τους χάρτες που παρείχθησαν, φαίνονται ξεκάθαρα οι διαφοροποιήσεις στη χωρική κάλυψη του νερού. Αρχικά, παρατηρώντας το χάρτη που αφορά τον μήνα Φεβρουάριο, μπορεί να διακριθεί μια μεγάλη υδάτινη μάζα που καλύπτει στο σύνολό της την λιμνοθάλασσα, ενώ στο χάρτη για τον μήνα Ιούλιο, η υδάτινη μάζα έχει μειωθεί σημαντικά, όπως άλλωστε αναμένεται λόγω των διαφορετικών εποχών. Η σύγκριση αυτή γίνεται οπτικά ακόμη πιο εμφανής στον τρίτο χάρτη (Εικόνα 3.18), στον οποίο απεικονίζονται συνδυαστικά οι διαφορετικές υδάτινες επιφάνειες. Όπως προαναφέρθηκε, τον Φεβρουάριο όλη η έκταση της λιμνοθάλασσας καλύπτεται από νερό, ενώ η υδάτινη επιφάνεια που αντιστοιχεί στον μήνα Ιούλιο περιορίζεται στο βορειοανατολικό και κυρίως στο κεντρικό τμήμα της λιμνοθάλασσας και δεν παρουσιάζει κάποια εμφάνιση στο βορειοδυτικό κομμάτι. Στο νοτιοδυτικό τμήμα παρατηρούνται κάποιες μικρές, σποραδικές εμφανίσεις, ενώ στο νότιο τμήμα η μόνη κάλυψη σε νερό είναι αυτή που αφορά τον μήνα Φεβρουάριο.

Με βάση την υπολογιστική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε στο QGIS, η μεταβολή στη χωρική κάλυψη του νερού μπορεί να ποσοτικοποιηθεί, αφού για τον μήνα Φεβρουάριο η επιφάνεια που προκύπτει αντιστοιχεί σε $1.254.500 \text{ m}^2$ (pixel count 12.545), ενώ η τιμή που αφορά τον μήνα Ιούλιο είναι 347.900 m^2 (pixel count 3.479). Σαφώς και η διαφορά στις δύο τιμές είναι μεγάλη, αφού με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, η υδάτινη επιφάνεια του Ιουλίου αποτελεί περίπου το 1/4 της επιφάνειας που καλύπτεται από νερό τον Φεβρουάριο. Αυτό το γεγονός είναι εμφανές και στο διάγραμμα που κατασκευάστηκε, όπου παρουσιάζεται η μεταβολή της επιφάνειας της λιμνοθάλασσας για τους δύο μήνες (Εικόνα 3.19).

Όσον αφορά τη μορφολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης, σε συνδυασμό με τα δορυφορικά δεδομένα, μπορεί να προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για το πού ακριβώς τοποθετούνται οι μεταβολές. Η διακριτική ικανότητα των 20m που προσφέρει το EU-DEM, παρέχει μια καλή ανάλυση, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια σωστή αντίληψη της μορφολογίας, για τη διεξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων. Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Νερού (NDWI, McFeeters), όπως έχει ήδη αναφερθεί στο 3ο Κεφάλαιο, αποτελεί τον πιο κατάλληλο δείκτη για την απεικόνιση των υδάτινων μαζών. Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 έως 1, με τις θετικές τιμές να αντιστοιχούν σε παρουσία νερού και τις αρνητικές τιμές να φανερώνουν την παρουσία ξηράς. Οι τομές που κατασκευάστηκαν, χαρακτηρίζονται από τρεις άξονες, το υψόμετρο, την απόσταση και το δείκτη NDWI. Η διαφοροποίηση του Κανονικοποιημένου Δείκτη Νερού (NDWI) σε σχέση με την απόσταση αλλά και σε σύγκριση με το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης, αποτελεί μια σημαντική πληροφορία. Παρακάτω αναλύονται οι

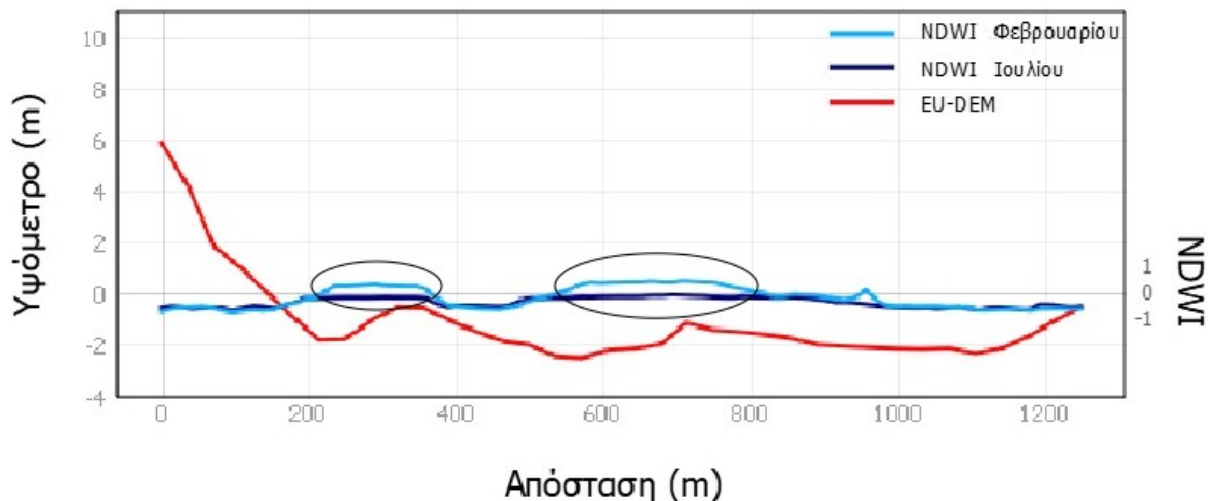
παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από κάθε τομή.

Τομή 1:

Η χάραξη της τομής 1 ξεκίνησε από το βόρειο τμήμα της λιμνοθάλασσας και καλύπτει μια απόσταση 1300 m. Το αποτέλεσμα του γεωμορφολογικού προφίλ δείχνει μια σειρά από διαδοχικά βυθίσματα. Το μέγιστο υψόμετρο που χαρακτηρίζει την τομή είναι τα 6 m και εντοπίζεται στο σημείο αφετηρίας της χάραξης ενώ το μέγιστο βάθος κυμαίνεται περίπου στα 2,5 m. Η υψομετρική καταγραφή του πυθμένα της λιμνοθάλασσας εμφανίζει μια ανομοιόμορφη εικόνα. Παρατηρούνται τρία βυθίσματα, περίπου στα 200 m, στα 550 m και στα 1000 m και το βάθος τους κυμαίνεται από 1,8 m – 2,5 m.

Αναφορικά με το δείκτη NDWI, η μόνη κάλυψη σε νερό αντιστοιχεί στον μήνα Φεβρουάριο. Αυτό γίνεται αντιληπτό διότι μόνο για τον Φεβρουάριο ο δείκτης NDWI παρουσιάζει θετικές τιμές. Παρατηρώντας τον άξονα x, η εμφάνιση της υδάτινης επιφάνειας είναι περίπου στα 250 m – 400 m, 550 m – 850 m και 900m – 1000 m, ενώ η υπόλοιπη κάλυψη αντιστοιχεί σε ξηρά, εφόσον οι δείκτες και για τους δύο μήνες έχουν αρνητικές τιμές. Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζονται ενδεικτικά δύο περιοχές της τομής 1, όπου ο δείκτης NDWI του Φεβρουαρίου έχει θετικές τιμές, επομένως υπάρχει επιφανειακή κάλυψη σε νερό.

Τομή 1



Εικόνα 4.1: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 1, σε σχέση με τον δείκτη NDWI. Οι κυκλωμένες περιοχές δείχνουν την παρουσία νερού για τον μήνα Φεβρουάριο.

Τομή 2:

Η τομή 2 επίσης τοποθετείται στο βόρειο τμήμα της λιμνοθάλασσας και καλύπτει μια απόσταση 1300 m. Το γεωμορφολογικό προφίλ δείχνει μια σχετικά ομοιόμορφη εικόνα στον πυθμένα της λιμνοθάλασσας. Το μέγιστο υψόμετρο που χαρακτηρίζει την

τομή είναι τα 7 m και εντοπίζεται στο σημείο αφετηρίας της χάραξης. Σε γενικές γραμμές τα βάθη που χαρακτηρίζουν τον πυθμένα είναι το 1 m, κυρίως στο κεντρικό τμήμα της τομής (500 m – 800 m) και 2 m εκατέρωθεν του, με μέγιστο βάθος τα 2,5 m περίπου στην απόσταση των 1000 m. Στα 1200 m διακρίνεται ένα ύβωμα, σε ύψος περίπου 1 m.

Σύμφωνα με την τομή 2, υπάρχει επιφανειακή κάλυψη σε νερό και για τους δύο μήνες, διότι υπάρχουν θετικές τιμές του δείκτη NDWI και για τον μήνα Φεβρουάριο αλλά και για τον μήνα Ιούλιο. Η κάλυψη που αφορά τον Φεβρουάριο τοποθετείται στα 180 m – 390 m και στα 500 m – 900 m, ενώ τον Ιούλιο στα 600 m – 700 m.

Τομή 3:

Η τομή 3, όπως και οι δύο προηγούμενες, χαρακτηρίζει μια απόσταση 1300 m. Η εικόνα που παρουσιάζει το γεωμορφολογικό προφίλ σε αυτή την περίπτωση δεν θα χαρακτηριζόταν ομοιόμορφη, όπως στην τομή που προηγήθηκε, διότι το ανάγλυφο παρουσιάζει αρκετές διαφοροποιήσεις. Το μέγιστο υψόμετρο της τομής είναι τα 5 m και εντοπίζεται στο σημείο αφετηρίας της χάραξης. Έπειτα παρατηρείται μια σειρά από διαδοχικά βυθίσματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από διαφορετικά βάθη. Το πρώτο βύθισμα είναι σχετικά μικρό, βρίσκεται στα 400 m και έχει βάθος περίπου 2 m. Στη συνέχεια ακολουθεί ένα αρκετά μεγαλύτερο, το οποίο τοποθετείται στα 650 m και χαρακτηρίζεται από βάθος 4 m και κατόπιν ένα επίσης μεγάλης έκτασης βύθισμα, με μέγιστο βάθος τα 2 m. Προς το τέλος, παρατηρείται ένα ύβωμα, ύψους 1 m, στην απόσταση των 1200 m.

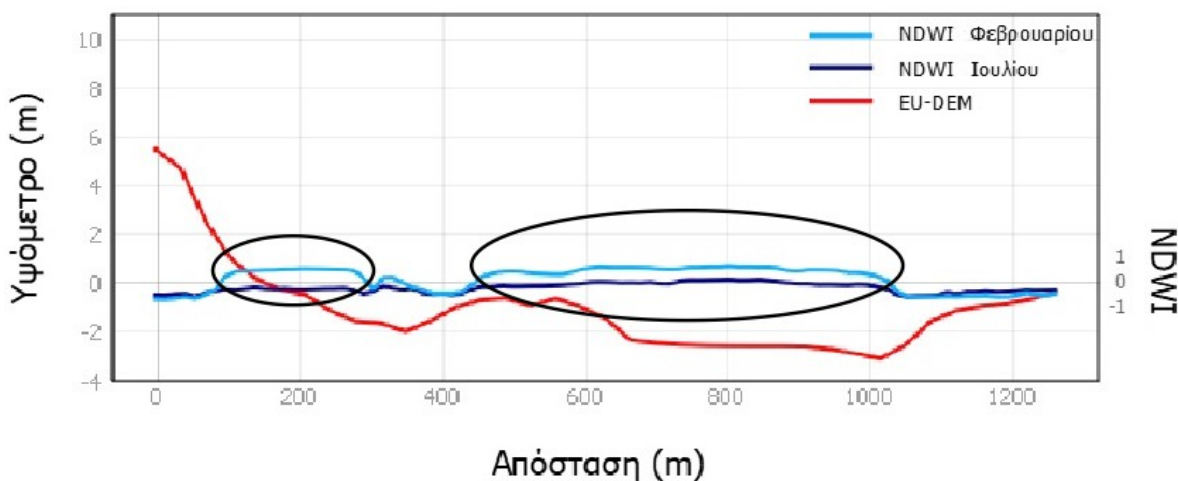
Στην τομή 3, παρατηρώντας τις αυξομειώσεις των δεικτών NDWI το επιφανειακό νερό που αφορά τον μήνα Φεβρουάριο βρίσκεται στα 150 m – 300 m, 340 m – 380 m, 500 m – 990 m, και τον μήνα Ιούλιο, έχει μια πρωτοφανώς μεγάλη εμφάνιση στα 540 m – 950 m.

Τομή 4:

Η συγκεκριμένη τομή πλησιάζει προς το κεντρικό τμήμα της λιμνοθάλασσας και καλύπτει μια απόσταση περίπου 1300 m, όπως και οι προηγούμενες. Το αποτέλεσμα του γεωμορφολογικού προφίλ δείχνει δύο κύρια βυθίσματα. Στην αφετηρία της τομής βρίσκεται το μέγιστο υψόμετρο, το οποίο αντιστοιχεί σε 5,5 m. Ακολουθεί το πρώτο βύθισμα, σε απόσταση περίπου 300 m, με βάθος 2 m, έπειτα μια απότομη μετάβαση σε πολύ μικρά βάθη (0,5 m) και στη συνέχεια ένα μεγάλο σε έκταση βύθισμα, στο οποίο εντοπίζεται και το μέγιστο βάθος που χαρακτηρίζει την τομή, τα 3 m, σε απόσταση περίπου 1000 m.

Παρατηρώντας τις διακυμάνσεις του δείκτη NDWI, ιδίως για τον μήνα Φεβρουάριο, είναι φανερό, ότι πλέον το νερό καλύπτει μεγαλύτερη έκταση για το χειμερινό μήνα. Και για τον μήνα Ιούλιο όμως υπάρχει εμφάνιση νερού. Για την τομή 4, το νερό που αντιστοιχεί στον μήνα Φεβρουάριο εμφανίζεται στα 100 m – 300 m, 320 m – 350 m, 450 m – 1050 m, ενώ στον μήνα Ιούλιο στα 600 m – 880 m. Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζονται περιοχές της τομής 4, όπου ο δείκτης NDWI του Φεβρουαρίου έχει θετικές τιμές, έτσι ώστε να δειχθεί, συγκριτικά με τα προηγούμενα προφίλ, ότι η κάλυψη σε νερό είναι μεγαλύτερη.

Τομή 4



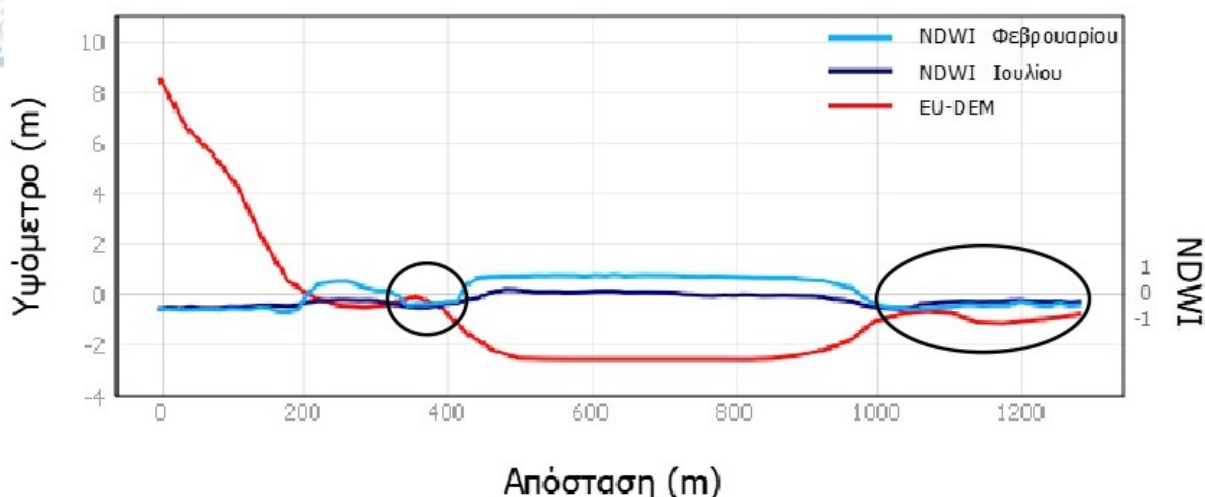
Εικόνα 4.2: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 4, σε σχέση με τον δείκτη NDWI. Οι κυκλωμένες περιοχές δείχνουν την παρουσία νερού για τον μήνα Φεβρουάριο.

Τομή 5:

Η χάραξη της τομής 5 ξεκίνησε από το κεντρικό τμήμα της λιμνοθάλασσας και καλύπτει μια απόσταση σχεδόν 1400 m. Το γεωμορφολογικό προφίλ παρουσιάζει αρκετές μικρές αυχομειώσεις, με ένα κύριο βύθισμα να ξεχωρίζει στο κεντρικό τμήμα της τομής. Το μέγιστο υψόμετρο της τομής είναι τα 8,5 m και εντοπίζεται στο σημείο αφετηρίας της χάραξης. Ακολουθεί μια απότομη μετάβαση σε βάθος λίγο κάτω από τα 0 m, η οποία εντοπίζεται από 0 m – 200 m, και στη συνέχεια ένα μεγάλο βύθισμα που εκτείνεται από τα 400 m έως τα 1050 m, με βάθος κοντά στα 3 m. Προς το τελικό τμήμα της τομής τα βάθη κυμαίνονται από 0 m – 1 m.

Στην τομή 5, η κάλυψη σε νερό που αφορά τον μήνα Φεβρουάριο εμφανίζεται στα 200 m – 350 m, 420 m – 980 m, ενώ τον μήνα Ιούλιο στα 450m – 730 m. Μία παρατήρηση που μπορεί να γίνει με βάση τη συγκεκριμένη τομή, είναι ότι στις περιοχές του πυθμένα όπου τα βάθη είναι πολύ μικρά, δεν εμφανίζονται θετικές τιμές NDWI, επομένως δεν υπάρχει υδάτινη επιφάνεια για κανέναν από τους δύο μήνες.

Τομή 5



Εικόνα 4.3: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 5, σε σχέση με τον δείκτη NDWI. Οι κυκλωμένες περιοχές δείχνουν τη μεταβολή του δείκτη NDWI (αρνητικές τιμές), σε σχέση με το χαμηλό ανάγλυφο.

Τομή 6:

Η τομή 6 τοποθετείται ακριβώς στο κεντρικό τμήμα της λιμνοθάλασσας και χαρακτηρίζει μια απόσταση 1200 m. Το γεωμορφολογικό προφίλ παρουσιάζεται διαφοροποιημένο σε σχέση με τα προηγούμενα, καθώς δε συναντώνται τα προηγούμενα βάθη, που έφταναν έως και τα 4m και επιπλέον, το μέγιστο υψόμετρο της τομής, το οποίο βρίσκεται στην αφετηρία, είναι τα 14 m, το μεγαλύτερο μέχρι στιγμής. Ακολουθεί μια απότομη μετάβαση σε ένα βύθισμα που χαρακτηρίζεται από βάθος 1 m έως 2 m, σε απόσταση 250 m – 600 m. Το επόμενο βύθισμα παρατηρείται περίπου στα 800 m και έχει μέγιστο βάθος τα 2,5 m. Στο τελικό τμήμα της τομής φαίνεται η αρχή ενός υβώματος, αφού υπάρχει άνοδος του υψομέτρου, έως το 1 m.

Στην τομή 6, στην περιοχή που αντιστοιχεί στον πυθμένα της λιμνοθάλασσας, οι τιμές NDWI για τον μήνα Φεβρουάριο είναι μόνο θετικές, επομένως από τα 200 m – 950 m εκτείνεται η υδάτινη επιφάνεια του Φεβρουαρίου. Σύμφωνα με τις αυξομειώσεις του δείκτη NDWI για τον μήνα Ιούλιο, η υδάτινη επιφάνεια που τον χαρακτηρίζει εκτείνεται από 250 m – 350 m, 470 m – 570 m και 680 m – 860 m.

Τομή 7:

Η τομή 7 καλύπτει μια απόσταση περίπου 1200 m. Το γεωμορφολογικό προφίλ δεν παρουσιάζει καμία ομοιότητα με όλα τα προηγούμενα, καθώς στη μεγαλύτερη έκτασή του χαρακτηρίζεται από ομοιομορφία και γενικά αμελητέα βάθη. Στην αφετηρία της τομής βρίσκεται το μέγιστο υψόμετρο, το οποίο είναι 13 m. Στη συνέχεια

σχηματίζεται ένα αρκετά ρηχό (0,5 m – 1,5 m) αλλά μεγάλο σε έκταση βύθισμα, το οποίο καλύπτει την περιοχή από 300 m έως 800 m. Στη συνέχεια οι τιμές του υψομέτρου κυμαίνονται οριακά πάνω από τα 0 m.

Στην τομή 7, το νερό του μήνα Φεβρουαρίου παρατηρείται σαφώς μειωμένο, αφού θετικές τιμές του δείκτη NDWI υπάρχουν μόνο στα 300 m – 360 m, 400 m – 530 m και 750 m – 840 m. Αντίστοιχα, η υδάτινη επιφάνεια του μήνα Ιουλίου περιορίζεται στα 420 m – 460 m.

Τομή 8:

Η συγκεκριμένη τομή πλησιάζει προς το νότιο τμήμα της λιμνοθάλασσας και καλύπτει μια απόσταση περίπου 1200 m. Το γεωμορφολογικό προφίλ που προκύπτει παρουσιάζει αρκετά μεγάλη ομοιότητα με αυτό της προηγούμενης τομής. Το μέγιστο υψόμετρο της τομής εμφανίζεται στην αφετηρία και είναι τα 8,5 m. Παρατηρούνται δύο βυθίσματα, ένα στο κεντρικό τμήμα της τομής, περίπου στα 600 m, με βάθος 1 m και ένα στα 900 m, με βάθος μόλις 0,5 m.

Σύμφωνα με τις διακυμάνσεις του δείκτη NDWI, η υδάτινη επιφάνεια που αφορά τον μήνα Φεβρουάριο εμφανίζεται στα 350 m – 550 m και στα 820 m – 880 m, ενώ τον μήνα Ιούλιο, μόλις στα 450 m – 500 m. Συμπερασματικά, προς το νότιο τμήμα της λιμνοθάλασσας μειώνεται σε μεγάλο βαθμό η υδάτινη επιφάνεια του Φεβρουαρίου, αλλά κυρίως του Ιουλίου, η οποία πλέον είναι αμελητέα.

Τομή 9:

Η χάραξη της τομής 9 ξεκίνησε από το νότιο τμήμα της λιμνοθάλασσας και καλύπτει μια απόσταση περίπου 800 m. Το γεωμορφολογικό προφίλ παρουσιάζει μια πολύ ομοιόμορφη εικόνα, ιδίως με βάση την υψομετρική καταγραφή του πυθμένα της λιμνοθάλασσας. Το μέγιστο υψόμετρο της τομής εμφανίζεται στην αφετηρία και είναι τα 7 m αλλά στη συνέχεια παρουσιάζει σταδιακή ελάττωση και από τα 250 m – 680 m βρίσκεται συνεχώς οριακά κοντά στα 0 m. Στο τελικό τμήμα της τομής υπάρχει ένα μικρό ύψωμα που φτάνει το 1 m.

Στην τομή 9, η μόνη κάλυψη σε νερό αντιστοιχεί στον μήνα Φεβρουάριο, αφού μόνο για τον Φεβρουάριο ο δείκτης NDWI παρουσιάζει θετικές τιμές. Παρατηρώντας τον άξονα x, η εμφάνιση της υδάτινης επιφάνειας είναι πλέον φανερά μειωμένη, περίπου στα 300 m – 480 m ενώ η υπόλοιπη κάλυψη αντιστοιχεί σε ξηρά, εφόσον οι δείκτες και για τους δύο μήνες έχουν αρνητικές τιμές.

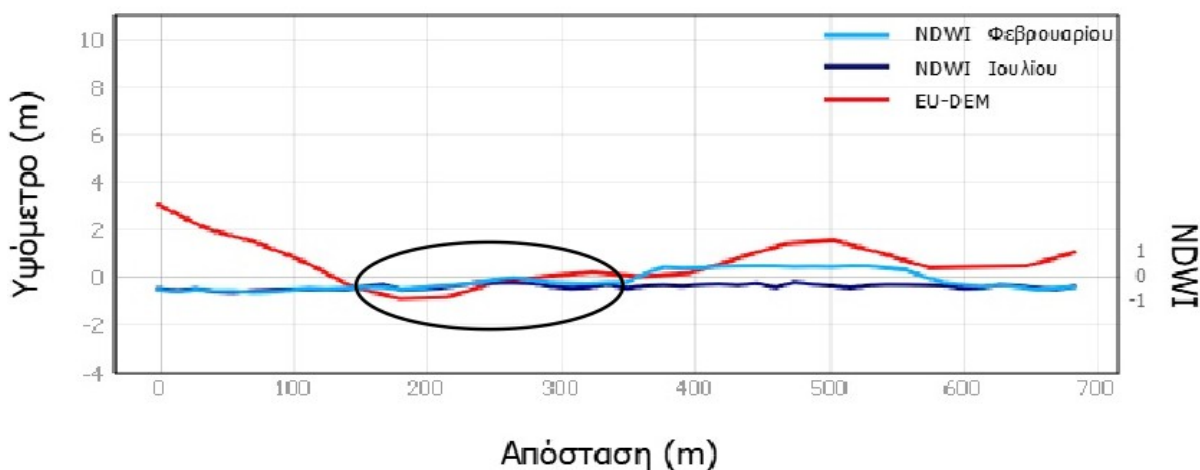
Τομή 10:

Η χάραξη της τομής 10, επίσης ξεκίνησε από το νότιο τμήμα της λιμνοθάλασσας

και καλύπτει μια απόσταση περίπου 700 m. Η μορφολογία πλέον παρουσιάζεται εντελώς διαφοροποιημένη σε σχέση με την αρχική, δίνοντας ένα σχεδόν εντελώς ομαλό ανάγλυφο. Τα 3 m αποτελούν το μέγιστο υψόμετρο στην τομή και συναντώνται στην αφετηρία, όπως και στις προηγούμενες τομές. Στη συνέχεια οι τιμές του υψομέτρου κυμαίνονται οριακά κοντά στα 0 m, εκτός από μια εμφάνιση ενός χαμηλού υβώματος στα 500 m, το οποίο φτάνει μόλις το 1,5 m.

Στην τομή 10, όπως και στην προηγούμενη, η μόνη κάλυψη σε νερό αντιστοιχεί στον μήνα Φεβρουάριο και περιορίζεται στα 380 m – 570 m. Ουσιαστικά, στις περιοχές του πυθμένα όπου τα βάθη είναι πολύ μικρά, δεν εμφανίζονται θετικές τιμές NDWI, επομένως δεν υπάρχει υδάτινη επιφάνεια ούτε για τον Φεβρουάριο ούτε για τον Ιούλιο.

Τομή 10



Εικόνα 4.4: Γεωμορφολογικό προφίλ της τομής 10, σε σχέση με τον δείκτη NDWI. Η κυκλωμένη περιοχή δείχνει τη μεταβολή του δείκτη NDWI (αρνητικές τιμές), σε σχέση με το χαμηλό ανάγλυφο.

4.2) Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η χαρτογράφηση της υδάτινης μάζας της λιμνοθάλασσας του Αγίου Μάμα αλλά και η παρακολούθηση των χωρικών και χρονικών διακυμάνσεων της, με την εφαρμογή της Τηλεπισκόπησης και την χρήση των οπτικών δορυφορικών δεδομένων Sentinel-2 για το έτος 2020. Με την μετέπειτα επεξεργασία σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) σκοπός ήταν η εξαγωγή ψηφιακών γεωχωρικών δεδομένων, με την οριοθέτηση και την ποσοτικοποίηση των υδάτινων μαζών, την παραγωγή χαρτών, αλλά και την μορφολογική ανάλυση που ερμηνεύει τα μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά της λιμνοθάλασσας.

Η χαρτογράφηση σαν διαδικασία αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την επιστημονική έρευνα και για πολλά χρόνια ήταν άρρηκτα συνδεδεμένη με τις

παρατηρήσεις υπαίθρου. Η Τηλεπισκόπηση, μπορεί να προσφέρει μία πιστή αναπαράσταση της περιοχής μελέτης, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Τα δορυφορικά δεδομένα προσφέρουν πληροφορίες σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, σε αντίθεση με τη συλλογή δεδομένων στην ύπαιθρο, που συχνά καθίσταται προβληματική. Οι επί τόπου μετρήσεις απαιτούν χρόνο, ανθρώπινο δυναμικό, συνήθως έχουν μεγάλο κόστος και δεν είναι αποτελεσματικές σε περιοχές όπου είναι δύσκολη η πρόσβαση. Ιδιαίτερα στην παρούσα εργασία, οι διαχρονικές δορυφορικές εικόνες, δίνουν τη δυνατότητα της χωρικής οριοθέτησης των μεταβολών της λιμνοθάλασσας αλλά και των συγκρίσεων των μεταβολών σε χρονική κλίμακα. Επομένως, είναι γεγονός ότι οι δορυφορικές εικόνες και η εφαρμογή των κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας τους, παρείχαν την δυνατότητα για τη διερεύνηση των χωρο-χρονικών αλλαγών της περιοχής μελέτης, ενώ ο συνδυασμός με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών προσέφερε την δυνατότητα της περαιτέρω επεξεργασίας, και της παραγωγής δευτερευόντων προϊόντων που διευκόλυναν την ερμηνεία του φαινομένου.

Συγκρίνοντας τις πληροφορίες που παρείχαν οι χάρτες και οι τομές (Εικόνα 4.2, Εικόνα 4.4), φαίνεται ότι η λιμνοθάλασσα παρουσιάζει μεγαλύτερη ανάπτυξη στο βόρειο από ότι στο νότιο τμήμα της και για τους δύο μήνες. Κυρίως για τον μήνα Ιούλιο, δεν υπάρχει καμία υδάτινη εμφάνιση στο νότιο τμήμα, παρά μόνο κάποιες σποραδικές εμφανίσεις στο νοτιοδυτικό τμήμα. Μια σημαντική παρατήρηση που προέκυψε από τη μορφολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης (Εικόνα 3.24, Εικόνα 3.25), είναι ότι στο βόρειο τμήμα εμφανίζονται μεγαλύτερα βυθίσματα (2 – 4 m) κατά μήκος της λιμνοθάλασσας, ενώ προς το νότιο τμήμα το βάθος ελαττώνεται σημαντικά, φτάνοντας σε πολλές περιπτώσεις τα 0 m (Εικόνα 3.30, Εικόνα 3.31). Το γεγονός αυτό μπορεί να προσφέρει μια ερμηνεία ως προς την απουσία νερού στο νότιο τμήμα, κατά τον μήνα Ιούλιο, αφού εξαιτίας του μικρού βάθους, η διαδικασία της εξάτμισης πραγματοποιείται πολύ πιο γρήγορα. Αντίθετα στο βόρειο τμήμα, τα μεγάλα βυθίσματα προσφέρουν χώρο σε μεγαλύτερη συγκέντρωση νερού, γεγονός το οποίο καθιστά σαφώς πιο δύσκολη την εξάτμισή του. Αυτό συνεπάγεται την παρουσία του μόνιμου νερού στο βόρειο τμήμα της λιμνοθάλασσας και του εποχικού νερού στο νότιο τμήμα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο χώρος του Αιγαίου παρουσιάζει μικρό παλιρροιακό εύρος, επομένως συμπεραίνουμε ότι μεγαλύτερη επιρροή στη διαμόρφωση της λιμνοθάλασσας ασκούν οι διάφορες κυματικές διεργασίες. Τα κύματα τείνουν να ωθούν τα ιζήματα προς το χώρο της λιμνοθάλασσας, με αποτέλεσμα να υπάρχει συνεχής τροφοδοσία και απόθεση. Πιθανώς, η συνεχής τροφοδοσία πλήρωσε με ιζήματα το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, γι αυτό και υπάρχει αυτή η διαφορά στη μορφολογία.

Συμπερασματικά με τα αποτελέσματα και τη διαφοροποίηση της υδάτινης επιφάνειας της λιμνοθάλασσας κατά την περίοδο παρακολούθησης, μια βασική αιτία, που έχει ήδη αναφερθεί, είναι οι βροχοπτώσεις, οι οποίες είναι συχνές κατά τους χειμερινούς μήνες, με αποτέλεσμα τον μήνα Φεβρουάριο η παρουσία του υδάτινου σώματος να είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι τον μήνα Ιούλιο. Μια δεύτερη αιτία θα μπορούσε πιθανώς να είναι η μείωση της εισροής γλυκού νερού στη λεκάνη της λιμνοθάλασσας, κατά τη θερινή περίοδο, λόγω υπεραντλήσεων από τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα, για τις ανάγκες των καλλιεργειών της ευρύτερης περιοχής. Τέλος, οι τουριστικές δραστηριότητες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και γενικότερα η αύξηση του αριθμού των κατοίκων μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αυξανόμενη άντληση νερού, η οποία οδηγεί στην ελλιπή τροφοδοσία της λιμνοθάλασσας με γλυκό νερό.

Βιβλιογραφία

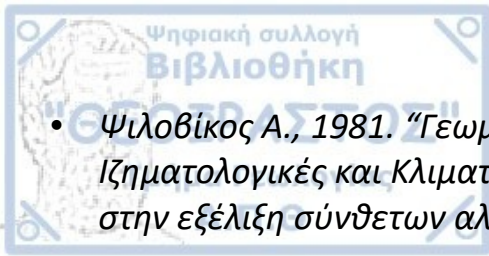
- Ardizzone, G.D., S. Cataudella and R.Rossi 1988. "Management of coastal lagoon fisheries and aquaculture in Italy". FAO Fish, Tech, Pap, (293).
- Bird E.C.F., 1982. "Changes on barriers and spits enclosing coastal lagoons". *Oceanologica Acta*, 45-53.
- EUMeTrain, 2014. "Daytime snow Detection".
- Garrison T., 1998. "Oceanography " (Instructor's Edition) (3rd ed.); Wadsworth, 552pp.
- Goodchild, M.I., 1985. "Geographical Information Systems in Underground Geography: A Contemporary Dilemma". *The Operational Geographer* 8, 34-38.
- Gulcan Sarp & Mehmet Ozcelik, 2017. "Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey".
- Hanqiu Xu, 2006. "Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery".
- Kjerfve B., 1994. "Coastal Lagoon Processes" Elsevier Oceanography Series, 1-7.
- Komeil Rokni, Anuar Ahmad, Ali Selamat & Sharifeh Hazini , 2014. "Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery".
- Kshitij Mishra & P. Rama Chandra Prasad, 2015. "Automatic Extraction of Water Bodies from Landsat Imagery Using Perceptron Model".
- Lassere P., 1979. "Les laguns cotieres. Ecosystemes refuges, foyers de culture et cibles d'expansion economique". *Nature et resources*, XV (4): 1-21.
- Lillesand, Keifer & Chipman, 2015. "Remote sensing and image interpretation".
- Mather, M. P. ,1999. "Computer Processing of Remotely-Sensed Images" (2nd edition, p. 292). UK: J. Wiley & Sons.

- Mercier J., 1966. *"Etude geologique des zones internes des Hellenides en Macedoine Centrale. Contribution a l' etude du metamorphisme et de l' evolution magmatique des zones internes des Hellenides"*. Ann. Geol. Pays Hell.,20, 1968.
- Moreno, J., Johannessen, J. A., Levelt, P. F. and Hanssen, R. F.,2012. *"ESA's sentinel missions in support of Earth system science"*, Remote Sensing of Environment, 120, pp. 84 – 90.
- Mountrakis D., Sapountzis E., Kiliass A., Eleftheriadis G. & Christofides G., 1983. *"Paleogeografic conditions in the western pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area"*. Canadian Journal of Ear. Sc., 20, 1673 – 1681.
- N. Mamassis, A. Efstratiadis, A. Koukouvinos & D. Koutsoyianni, 2019. *"Technical report: Development of a national monitoring system for surface water resources"*, Open Hydrosystem Information Network (OpenHi.net), Contractor: Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens.
- O' Brien M.P., 1969. *"Dynamics of tidal inlets"*. In *Lagunas Costeras, un Simposio* (Castanares, A. And Phleger, F.B., eds), pp.397-406.
- Pavlides S. and Kiliass A., 1987. *"Neotectonic and active aults along the Serbomacedonian zone (SE Chalkidiki, northern Greece)"*, Annales Tectonicae, 1, 97 – 104.
- Perillo G.M.E., 1995. *"Definition and geomorphologic classifications of estuaries"*. In: Perillo G.M.E. (Ed.), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries, Development in Sedimentology* 53. Elsevier Science BV, Amsterdam, pp. 17-47.
- Poulos, S., E., Collins, M., B., Ke, X., 1993. *"Fluvialrwave interaction controls on delta formation for ephemeral rivers discharging into microtidal waters"*. Geo-Mar. Lett. 13: pp. 24–31.
- Rajiv Kumar Nath & S K Keb. *"Water-Body Area Extraction from High Resolution Satellite Images - An Introduction, Review, and Comparison"*, International Journal of Image Processing.

- Reinson, G.E., 1992. "Transgressive barrier-island and estuarine systems". In: R.G. Walker and N.P. James (eds.). *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada.
- Short, N.M., 2011. "The LANDSAT Tutorial Workbook, Basics of Satellite RemoteSensing, NASA Reference Publication". 1078. NASA, USA, p. 553.
- Shridhar D. Jawak , Kamana Kulkarni & Alvarinho J. Luis, 2015. "A Review on Extraction of Lakes from Remotely Sensed Optical Satellite Data with a Special Focus on Cryospheric Lakes".
- Stuart K. McFeeters, 1996. "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features".
- Stuart K. McFeeters, 2013. "Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach".
- Tranos M. et al., 2003. "Thessaloniki – Gerakarou Fault Zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment". *Journal of structural geology* 25, 2109 – 2123.
- Tri Dev Acharya, Anoj Subedi & Dong Ha Lee, 2018. "Evaluation of Water Indices for Surface Water Extraction in a Landsat 8 Scene of Nepal".
- Veranis, N., Nimfopoulos, M., Christidis, C., & Chrysafi, A., 2016. "Granular aquifer system of west Chalkidiki area, region of central Macedonia, northern Greece".

- Αθανασούλης Γ.Α. & Σκαρσουλής Ε.Κ., 1992. "Ατλαντας ανέμου και κύματος, βορειοανατολικής Μεσογείου θαλάσσης". Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα ναυπηγών μηχανολόγων Μηχανικών.
- Δεμερτζή Κ.Α., 2011. "Διαχείριση του νερού ταμιευτήρων της Χαλκιδικής για την ικανοποίηση της ζήτησης με την εφαρμογή του μοντέλου WEAP". Μεταπτυχιακή Διατριβή Π.Μ.Σ. "Ειδίκευση Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων", Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ερμίδης Ν., 2018. "Αξιολόγηση των παγκόσμιων ψηφιακών μοντέλων εδάφους SRTM, ASTER, EU-DEM και ALOS στον ελλαδικό χώρο".
- Καταφιώτη Μ., 2008. "Εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών στο Ν. Χαλκιδικής όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα".
- Κλαράκης Αθ., 2015. "Δημιουργία Βάσης Δεδομένων και Χαρτογράφηση Αντιπυρικών Υποδομών για τη Χαλκιδική".
- Κοκίδης Ν., 2011. "Καταγραφή ιζηματολογικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων της λιμνοθάλασσας Μυρταρίου Βόνιτσας".
- Κοντόπουλος Ν., 2008. "Σημειώσεις Ιζηματολογίας".
- Λιθουργίδης Α., 2019. "Επεξεργασία και αξιολόγηση μετρήσεων στάθμης υπόγειου υδροφορέα του δικτύου παρακολούθησης Μουδανιών Χαλκιδικής", Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών – Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μάγου Α., 2012. "Μελέτη των φυσικογεωγραφικών διεργασιών και μεταβολών στη λιμνοθάλασσα του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής, κατά το Ανώτερο Ολόκαινο", Διατριβή Ειδίκευσης, Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών "Γεωγραφία και περιβάλλον", Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μήτση Τερψιχόρη, Βασιλάκος Χρήστος, Τζωράκη Ουρανία & Dietrich Jorg. "Αξιολόγηση της Τηλεπισκόπησης στην εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας και εφαρμογή σε λεκάνη απορροής στη Γερμανία".

- Μουντράκης Δ., 2010. "Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας", University Studio Press.
- Μπαλαφούτης Χ., 2003. "Γενική Κλιματολογία & Κλίμα Μεσογείου".
- Νταλαμάγκα Λ., 2018. "Μελέτη των διαχρονικών μεταβολών των βασικών καλύψεων γης της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων την τελευταία τριακονταετία με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) και Τηλεπισκόπησης".
- Ξεφτέρης Αθ., 2000. "Διερεύνηση της ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων νερών στον κάμπο της Καλαμαριάς με έμφαση στη νιτρορύπανση".
- Παρχαρίδης Ισ., 2015. "Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης".
- Ράπτης Β., 2020. "Χαρτογράφηση Καμμένων Εκτάσεων και Θεματικών Κατηγοριών Κάλυψης Γης στο Μάτι Αττικής από Διαχρονικά Τηλεπισκοπικά Δεδομένα Πολύ Υψηλής Χωρικής Ανάλυσης".
- Συρίδης Γ., 1990. "Λιθοστρωματογραφική, Βιοστρωματογραφική και Παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών – Τεταρτογενών Ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής", Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Φαρασλής Ι., 2004. Σημειώσεις "Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) και Χαρτογράφηση Φυσικών Πόρων", Τμήμα Δασοπονίας, Τ.Ε.Ι Καρδίτσας.
- Χαλκιάς Χ. "Νέα Εργαλεία Κοινωνικής Έρευνας – Βασικές Γνώσεις και Εμπειρικές Εφαρμογές, Εργαστηριακή Εκπαίδευση, Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS)".
- Χατζηαντωνίου Τ. Αν., 2017. "Διερεύνηση της χρήσης δορυφορικών δεδομένων Sentinel για τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης σε υγροτοπικό περιβάλλον. Εφαρμογή στο Εθνικό πάρκο λιμνών Κορώνειας – Βόλβης".
- Χρυσουλάκης Ν., 2011. Σημειώσεις Μαθήματος "Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης." Πανεπιστήμιο Κρήτης.



- Ψιλοβίκος Α., 1981. “Γεωμορφολογικές, Μορφογενετικές, Τεκτονικές, Ιζηματολογικές και Κλιματικές διεργασίες, που οδήγησαν στον σχηματισμό και στην εξέλιξη σύνθετων αλλουβιακών ριπιδίων στον Όλυμπο”.
- Ψιλοβίκος Α., 1977. “Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά – Βόλβης)”, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Διαδικτυακές πηγές

- https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
- <https://axiosdelta.gr/>
- <https://www.slideshare.net/sailwincoach/currents-waves-new-light-2050991>
- <http://www.geo.auth.gr/>
- http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/
- <https://science.fandom.com/el/wiki>
- https://www.ea.gr/ep/mobile/emr/ti_einai.html
- <http://gis.sbcounty.gov/>