



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΖΩΗ ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ

Γεωλόγος MSc

**«ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ GIS ΣΤΗ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ
ΚΛΙΜΑΚΕΣ»**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2024

«Η υλοποίηση της διδακτορικής διατριβής συγχρηματοδοτήθηκε από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση», 2014-2020, στο πλαίσιο της Πράξης «Ενίσχυση του ανθρώπινου δυναμικού μέσω της υλοποίησης διδακτορικής έρευνας Υποδράση 2: Πρόγραμμα χορήγησης υποτροφιών ΙΚΥ σε υποψηφίους διδάκτορες των ΑΕΙ της Ελλάδας».



Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού,
Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης







ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI
FACULTY OF SCIENCES
SCHOOL OF GEOLOGY



ZOE PANTAZOPOULOU

Γεωλόγος MSc

CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING AND GIS IN GEOLOGICAL
HERITAGE MANAGEMENT AT VARIOUS SCALES

DOCTORAL THESIS

THESSALONIKI

2024

«The implementation of the doctoral thesis was co-financed by Greece and the European Union (European Social Fund-ESF) through the Operational Programme «Human Resources Development, Education and Lifelong Learning» in the context of the Act “Enhancing Human Resources Research Potential by undertaking a Doctoral Research” Sub-action 2: IKY Scholarship Programme for PhD candidates in the Greek Universities».



Operational Programme
Human Resources Development,
Education and Lifelong Learning
Co-financed by Greece and the European Union







ΖΩΗ ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ

Γεωλόγος MSc

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ GIS ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ

Εκπονήθηκε στον Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.
Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. το Νοέμβριο 2023

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 04-03-2024

Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Νο: XXX

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Αντώνιος Μουρατίδης, Επίκουρος Καθηγητής, Επιβλέπων
Βασίλειος Τσιούκας, Καθηγητής, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Δημήτριος Αλεξάκης, Ερευνητής Β', Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Εξεταστική Επιτροπή

Αντώνιος Μουρατίδης, Επίκουρος Καθηγητής
Βασίλειος Τσιούκας, Καθηγητής
Δημήτριος Αλεξάκης, Ερευνητής Β'
Νικόλαος Ζούρος, Καθηγητής
Βασίλειος Μέλφος, Καθηγητής
Δημήτρης Κωστόπουλος, Καθηγητής
Μιχαήλ Φουμέλης, Επίκουρος Καθηγητής

© Ζωή Σ. Πανταζοπούλου, MSc Γεωλόγος, 2024

Με την επιφύλαξη παντόςδικαιωμάτων, Allrightsreserved

Η συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των GIS στη διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς
σε διάφορες κλίμακες – Διδακτορική Διατριβή

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



«Να έχεις έναν στόχο για όλη σου τη ζωή, έναν στόχο για
ένα μέρος της ζωής σου και έναν στόχο για κάθε
χρόνο....

Και να θυσιάζεις τον μικρότερο στόχο για τον
μεγαλύτερο».

Λέων Τολστόι (1828-1910)



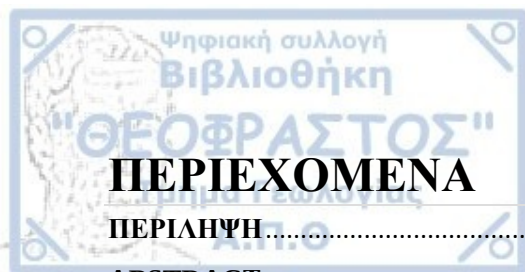
Ευχαριστίες

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και αποτελεί απόρροια μακρόχρονης ερευνητικής προσπάθειας. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν καθοριστικά στην προσπάθειά μου αυτή και με στήριξαν σε όλα τα στάδια τόσο της εκπόνησης της διατριβής μου όσο και γενικότερα της ακαδημαϊκής μου πορείας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Μουρατίδη Αντώνιο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογία ΑΠΘ για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, τις εποικοδομητικές συζητήσεις, τα καίρια σχόλια, τη γενναιοδωρία του τόσο όσον αφορά τη διάθεση του χρόνου όσο και των συμβουλών του, καθώς και για την αδιάκοπη βοήθεια, καθοδήγηση και συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Πολλές ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω και στους καθηγητές, κ. Τσιούκα Βασίλειο και κ. Αλεξάκη Δημήτριο, που στελέχωσαν την τριμελή Συμβουλευτική Επιτροπή της διατριβής μου, για τη βοήθεια, τις συμβουλές και τις στοχευμένες επισημάνσεις τους. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της επταμελούς επιτροπής, τον κ. Ζούρο Νικόλαο, τον κ. Κωστόπουλο Δημήτριο, τον κ. Φουμέλη Μιχάηλ.

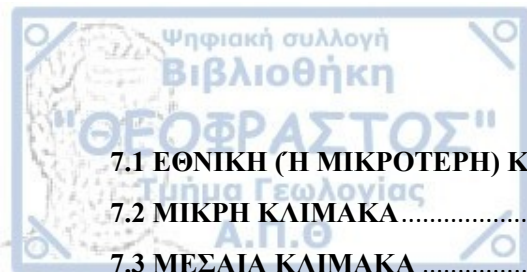
Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Βασίλειο Μέλφο και στην κα. Ευαγγελία Τσουκαλά για την βοήθειά τους και τη στήριξή τους σε όλα τα βήματα της ακαδημαϊκής μου πορείας. Ακόμη ευχαριστώ τους κ. Δημήτριο Καιμάρη, κ. Βασίλη Λιακόπουλο, κ. Δημήτριο Τερζόπουλο, την κα. Τριανταφυλλιά-Μαρία Περιβολιώτη, και τον κ. Παναγιώτη Καλαϊτζή για τη συμβολή τους σε καίρια σημεία της διδακτορικής μου έρευνας.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξή τους σε όλα τα στάδια της ακαδημαϊκής μου διαδρομής, και ιδιαίτερα τον σύζυγό μου και τον γιό μου για την υπομονή, την κατανόηση και την ενθάρρυνση σε όλες μου τις προσπάθειες και ιδιαίτερα κατά τη συγγραφή της διδακτορικής μου διατριβής



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

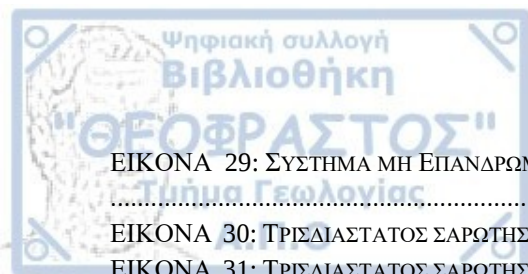
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	13
ABSTRACT.....	15
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ - ΣΚΟΠΟΣ - ΔΟΜΗ.....	17
1.2 ΥΛΙΚΑ-ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ & ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	23
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ & ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ	23
2.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ.....	40
2.3 ΚΛΙΜΑΚΑ.....	50
2.4 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	51
2.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS).....	69
2.6 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ-GIS & ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΣΕΙΣ & ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ	75
3.1 ΕΘΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ	75
3.2 ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ: ΜΗΛΟΣ	80
3.3 ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ: ΝΥΜΦΟΠΕΤΡΑ.....	96
3.4 ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ: ΚΡΑΝΙΟ ΑΡΚΟΥΔΑΣ & ΠΕΤΡΩΜΑ ΡΟΔΟΧΡΩΣΙΤΗ	100
3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ.....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	104
4.1 ΕΘΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ	104
4.2 ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	106
4.3 ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ	110
4.4 ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	114
4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ.....	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	121
5.1 ΕΘΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ	121
5.2 ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	126
5.3 ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ	130
5.4 ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	131
5.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ.....	131
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	135
6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕ ΕΘΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	135
6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΗ ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	141
6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕ ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	153
6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΗ ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ	158
6.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ	162
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	169



7.1 ΕΘΝΙΚΗ (Η ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ) ΚΛΙΜΑΚΑ	171
7.2 ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	173
7.3 ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ	176
7.4 ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	178
7.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ.....	180
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	182
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΞΕΝΗ.....	190
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ.....	207
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.....	211
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	212

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

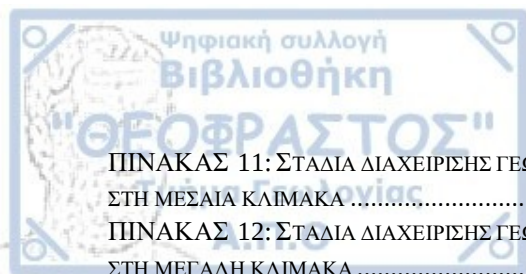
ΕΙΚΟΝΑ 1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	22
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ, ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΓΕΩΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ (ΖΑΦΕΙΟΡΟΥΛΟΣ ET AL., 2021, ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ).....	35
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΚΥΡΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ, ΜΕ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ (ΠΑΡΧΑΡΙΔΗΣ, 2015).....	53
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΜΗ ΤΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ (SHAFIGHEN ANDSETA, 1983).....	81
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ.....	81
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΧΑΡΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΕΚΔΗΛΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΠΟ ΦΥΤΙΚΑ, 1977).....	87
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΑΠΟΤΟΜΑ ΠΡΑΝΗ ΣΤΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΜΕΤΩΠΟ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΛΙΑ ΤΟΥ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙΟΥ. ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΑΥΤΗ ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΥΨΗΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	88
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΚΟΝΤΙΝΗ ΑΠΟΨΗ ΑΠΟ ΤΑ ΑΠΟΤΟΜΑ ΠΡΑΝΗ ΣΤΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΜΕΤΩΠΟ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΛΙΑ ΤΟΥ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙΟΥ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	88
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΑΠΟΤΟΜΑ ΠΡΑΝΗ ΣΤΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΜΕΤΩΠΟ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΛΙΑ ΦΥΡΙΠΛΑΚΑ. ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΝΤΑΙ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΔΙΑΦΥΓΕΣ ΑΕΡΙΩΝ.....	88
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΑΠΟΨΗ ΤΩΝ ΘΕΙΩΡΥΧΕΙΩΝ ΤΗ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 1950 (ΚΟΥΤΡΟΥΜΠΑ, 2018).....	90
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΘΕΙΩΡΥΧΕΙΩΝ ΜΗΛΟΥ (ΚΟΥΤΡΟΥΜΠΑ, 2018).....	90
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΠΑΛΙΑ ΘΕΙΩΡΥΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΙΑ ΠΑΛΙΟΡΕΜΑ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	91
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΑΠΟΜΕΙΝΑΡΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΛΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ, ΤΕΛΕΦΕΡΙΚ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	91
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΠΑΛΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΟΠΟΥ ΔΙΕΜΕΝΑΝ ΟΙ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΙ ΚΑΙ ΓΡΑΦΕΙΑ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ «ΘΕΙΩΡΥΧΕΙΑ ΜΗΛΟΥ Α. Ε.» (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	92
ΕΙΚΟΝΑ 16 :ΑΠΟΨΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΔΟΜΗΣ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ ΤΟΥ ΚΛΕΦΤΙΚΟΥ (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Α. ΜΟΥΡΑΤΙΔΗ).....	93
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΜΕΤΩΠΟ ΣΑΡΑΚΗΝΙΚΟΥ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	94
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΑΠΟΛΙΘΩΜΕΝΟΣ ΣΕΙΣΜΟΣ (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	94
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΣΤΗΝ ΣΑΡΑΚΗΝΙΚΟ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	95
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ ΣΑΡΑΚΗΝΙΚΟΥ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	95
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ ΣΑΡΑΚΗΝΙΚΟΥ ΜΕ ΣΠΗΛΙΕΣ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	96
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ (SOTIRIADIS ET AL.,1975).....	97
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΟ ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΝΥΜΦΟΠΕΤΡΑΣ (SOTIRIADIS ET AL.,1975).....	98
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΑΠΟΨΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΓΕΩΤΟΠΟ ΣΤΙΣ ΝΥΜΦΟΠΕΤΡΕΣ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	99
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΑΠΟΨΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΓΕΩΤΟΠΟ ΣΤΙΣ ΝΥΜΦΟΠΕΤΡΕΣ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	99
ΕΙΚΟΝΑ 26: ΑΠΟΨΗ ΤΟΥ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΓΕΩΤΟΠΟ ΣΤΙΣ ΝΥΜΦΟΠΕΤΡΕΣ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ).....	100
ΕΙΚΟΝΑ 27: ΚΡΑΝΙΟ ΤΗΣ ΑΡΚΟΥΔΑΣ ΣΠΗΛΑΙΩΝ (URSUS SPELAEUS) ΑΠΟ ΤΟ ΣΠΗΛΑΙΟ ΤΩΝ ΠΕΤΡΑΛΩΝΩΝ. ΑΝΗΚΕΙ ΣΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΟΥ ΟΥ ΜΟΥΣΕΙΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΛΙΟΑΝΘΡΩΠΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.....	101
ΕΙΚΟΝΑ 28: ΡΟΔΟΧΡΩΣΙΤΗΣ ΜΑΔΑΝ ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ: Β.ΜΕΛΦΟΣ ΑΡΙΣΤΕΡΑ, Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΔΕΞΙΑ).....	102



ΕΙΚΟΝΑ 29: ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗ ΕΠΙΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ / ΣΜΗΕΑ - ΜΟΝΤΕΛΟ DJI MAVIC MINI (URL 20)	111
ΕΙΚΟΝΑ 30: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ LEICER - LEICA BLK 360 (URL 21).....	112
ΕΙΚΟΝΑ 31: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ LEICER - LEICA RTC360 (URL 22).....	113
ΕΙΚΟΝΑ 32: ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ ΤΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ - ULTIMAKER S5 3D (URL 23).	114
ΕΙΚΟΝΑ 33: Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΦΩΤΟΣ ΔΟΜΗΣ (STRUCTURE LIGHT SENSOR)	115
ΕΙΚΟΝΑ 34: Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΦΩΤΟΣ ΔΟΜΗΣ (STRUCTURE LIGHT SENSOR) ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΣ ΣΕ IPAD (URL 24).	115
ΕΙΚΟΝΑ 35: ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΦΩΤΟΣ ΔΟΜΗΣ (STRUCTURE LIGHT SENSOR), ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟ ΣΕ IPAD. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ)	116
ΕΙΚΟΝΑ 36: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΡΑΝΙΟΥ ΤΗΣ ΑΡΚΟΥΔΑΣ ΤΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ, ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΦΩΤΟΣ ΔΟΜΗΣ (STRUCTURE LIGHT SENSOR) ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΣ ΣΕ IPAD. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ)	117
ΕΙΚΟΝΑ 37: ΚΑΜΕΡΑ INTEL REALSENSE LiDAR CAMERA L515 (URL 25).....	119
ΕΙΚΟΝΑ 38: ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΡΥΚΤΟΥ ΡΟΔΟΧΡΩΣΙΤΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ LiDAR CAMERA L515 ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΟΘΟΝΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ INTEL REAL SENSE VIEWER™. Η ΣΑΡΩΣΗ ΚΑΙ Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΑΓΡ. ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧ. ΤΟΥ ΑΠΘ. (ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ Ζ.ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ)	119
ΕΙΚΟΝΑ 39: ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ, ΣΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΚΑΤΑΧΩΡΟΥΝΤΑΙ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ (URL 29).	123
ΕΙΚΟΝΑ 40: ΠΕΡΙΟΧΗ ΆΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΙΔΕΡΙΑΝΟΣ.	142
ΕΙΚΟΝΑ 41: ΘΕΣΗ ΆΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ (ΠΡΟΣ ΠΡΟΒΑΤΑ), ΥΠΟΔΕΙΞΗ ΝΤΟΠΙΩΝ ΩΣ ΘΕΡΜΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΧΡΗΣΗ ΩΣ "ΣΑΟΥΝΑ".	143
ΕΙΚΟΝΑ 42: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΠΙΘΑΝΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΥ, ΛΟΓΩ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ (URL 30)	144
ΕΙΚΟΝΑ 43: ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ ΣΑΡΑΚΗΝΙΚΟΥ – 1985.	148
ΕΙΚΟΝΑ 44: ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ ΣΑΡΑΚΗΝΙΚΟΥ – 2023.	149
ΕΙΚΟΝΑ 45: ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ ΣΑΡΑΚΗΝΙΚΟΥ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ 1985 (ΚΟΚΚΙΝΟ) - 2023 (ΚΙΤΡΙΝΟ).....	149
ΕΙΚΟΝΑ 46: ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ ΣΑΡΑΚΗΝΙΚΟΥ - ΕΙΚΟΝΕΣ ΕΤΩΝ 2006, 2011, 2013, 2014.	150
ΕΙΚΟΝΑ 47: ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ ΣΑΡΑΚΗΝΙΚΟΥ - ΕΙΚΟΝΕΣ ΕΤΩΝ 2016, 2017, 2020.	151
ΕΙΚΟΝΑ 48: ΕΚΤΥΠΩΜΕΝΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ (3D) ΜΟΡΦΗ ΓΕΩΤΟΠΟΥ ΝΥΜΦΟΠΕΤΡΑΣ. ΜΕΓΑΛΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΦΩΝ. Η ΚΟΚΚΙΝΗ ΓΡΑΜΜΗ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΟ ΟΡΙΟ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΠΟΥ ΚΑΛΥΠΤΕΤΑΙ ΑΠΟ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΟΥ ΠΛΑΚΟΣΤΡΩΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ. (ΠΗΓΗ: ΣΤΑΜΟΥΛΗ, Μ & ΤΖΟΥΡΑ Α., 2022)	155

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΜΗΛΟ.	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ.....	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΩΝ.....	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΤΩΝ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ.....	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΔΟΜΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 2010-2023.....	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ	163
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ	167
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΕΩΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΣΥΜΒΑΛΟΥΝ Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ GIS ΣΤΗΝ ΕΘΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ	173
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΕΩΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΣΥΜΒΑΛΟΥΝ Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ GIS ΣΤΗ ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ	176



ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΕΩΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΣΥΜΒΑΛΟΥΝ Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ GIS ΣΤΗ ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ	178
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΕΩΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΣΥΜΒΑΛΟΥΝ Η ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ GIS ΣΤΗ ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ	180
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	187
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ.....	188
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ	189

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΧΑΡΤΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ 1: ΘΕΣΕΙΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.	135
ΧΑΡΤΗΣ 2: ΑΛΛΑΓΗ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ & Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ.	137
ΧΑΡΤΗΣ 3: ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΛΗΓΕΙ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΚΑΤΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 2012-2018 ΚΑΙ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 2Κm ΑΠΟ ΘΕΣΕΙΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ	138
ΧΑΡΤΗΣ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΟΔΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΑΠΟ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ASTER GDEM	139
ΧΑΡΤΗΣ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΟΔΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΑΠΟ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ SRTM	139
ΧΑΡΤΗΣ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΟΔΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΑΠΟ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ EU-DEM.....	140
ΧΑΡΤΗΣ 7: ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΒΑΣΕΙ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΟΔΟΥ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ.	140
ΧΑΡΤΗΣ 8: ΣΗΜΕΙΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΜΗΛΟ.	141
ΧΑΡΤΗΣ 9: ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΜΗΛΟ.....	146
ΧΑΡΤΗΣ 10: ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΛΙΑ ΚΛΕΦΤΙΚΟ.....	147
ΧΑΡΤΗΣ 11: ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΣΑΡΑΚΗΝΙΚΟ.....	147
ΧΑΡΤΗΣ 12: ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΘΕΙΩΡΥΧΕΙΩΝ.	148

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΠΛΗΘΟΣ ΕΓΓΡΑΦΩΝ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ.	136
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDVI ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΓΕΡΑΚΟΠΕΤΡΑΣ.....	145
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΦΥΛΟ.	162
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΠΟΣΟΣΤΟ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ.....	164
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΦΥΛΟ.....	164
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΗΛΙΚΙΑ.	165
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΤΙΤΛΟ ΣΠΟΥΔΩΝ.	165
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΈΤΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ.....	166
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΔΥΝΗΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΣΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΟΙ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΔΙΔΑΞΟΥΝ ΤΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΤΟΥΣ.	166
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΑΠΟΨΕΙΣ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΕΜΠΟΔΙΑ ΤΗΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.	168
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΣΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ – ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ (ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΓΕΩΧΩΡΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ) ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ. ...	168

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύεται τη διαχείριση της Γεωλογικής Κληρονομιάς (Geological Heritage/ Geoheritage) με τη συμβολή της Τηλεπισκόπησης (Remote Sensing) και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information Systems/GIS). Η έννοια της γεωλογικής κληρονομιάς περιλαμβάνει χαρακτηριστικές ή και σπάνιες γεωμορφές, πετρώματα, απολιθώματα, αποθέσεις και διαδικασίες, οι οποίες συνθέτουν τη γεωλογική ιστορία κάθε περιοχής. Η γεωλογική ιστορία κάθε περιοχής αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ευρύτερης ιστορίας της Γης, η οποία με τη σειρά της συνδέεται με τους ανθρώπους και τον πολιτισμό τους.

Η διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς περιλαμβάνει ένα μεγάλο φάσμα βημάτων ή σταδίων, από τον εντοπισμό, την οριοθέτησή, την αποτύπωσή, την παρακολούθηση και την προστασία της, μέχρι και την αξιοποίησή της για διάφορους σκοπούς, κυρίως εκπαιδευτικούς, ερευνητικούς-επιστημονικούς και τουριστικούς. Η Τηλεπισκόπηση και ειδικότερα η υποκατηγορία αυτής που σχετίζεται με την Παρατήρηση της Γης (Earth Observation), καθώς και τα GIS, συνιστούν επιστήμες και εργαλεία - μέρος της ευρύτερης Γεωχωρικής Επιστήμης και Τεχνολογίας (Geospatial Science & Technology) - που έχουν σημειώσει τα τελευταία χρόνια άλματα προόδου και βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά άλλα επιστημονικά πεδία και κατ'επέκταση στη Γεωλογία.

Ο κύριος σκοπός της διατριβής είναι η μελέτη και ανάδειξη προηγμένων μεθόδων Τηλεπισκόπησης, καθώς και των GIS, στην εν γένει διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς – από τον εντοπισμό της έως την αξιοποίησή της. Στο πλαίσιο της διατριβής λήφθηκαν υπόψη και διερευνήθηκαν τρεις βασικοί τύποι Τηλεπισκόπησης, σε συνδυασμό με τα GIS, όπου αυτό κρίθηκε σκόπιμο/εφικτό. Συγκεκριμένα, συμπεριλήφθηκαν η Επίγεια Τηλεπισκόπηση (laser scanner), η εναέρια με την χρήση Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών/ΣμηΕΑ και η Διαστημική, με την χρήση δορυφορικών εικόνων και άλλων δεδομένων/μετρήσεων από το διάστημα.

Η εφαρμογή και διερεύνηση των δυνατοτήτων της Τηλεπισκόπησης και των GIS έλαβε χώρα υπό τη μορφή περιπτώσιολογικών μελετών (case studies), οι οποίες καλύπτουν όλο το φάσμα των χαρτογραφικών κλιμάκων. Οι κλίμακες αντιστοιχούν σε εθνική, μικρή, μεσαία και μεγάλη. Αφορούν μία χώρα (Ελλάδα), επιμέρους περιοχές, γεωμορφές, αντικείμενα (π.χ. απολιθώματα και πετρώματα/σχηματισμούς), που μπορούν να χαρακτηριστούν ως γεωλογική κληρονομιά. Διερευνήθηκαν οι εν λόγω δυνατότητες σε όλα τα επιμέρους βήματα διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς.

Η ιδιαιτερότητα και ταυτόχρονα πρωτοτυπία της διατριβής αφορά αρχικά στη συσχέτιση της γεωλογικής κληρονομιάς με την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και τα GIS, καθώς και στην κατά περίπτωση ακρίβεια απόδοσης της πληροφορίας. Μελετήθηκε η γεωλογική κληρονομιά σε όλες τις κλίμακες, δίνοντας τη δυνατότητα να εφαρμοστούν οι τρεις τύποι της Τηλεπισκόπησης και να εξεταστούν ως προς την συμβολή τους σε κάθε στάδιο της διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς. Η μελέτη αυτή συμπληρώνεται μέσω της εξέτασης της χρήσης των GIS στα στάδια διαχείρισης. Τα αποτελέσματα όλων των σταδίων μελέτης της συμβολής των δυο αντικειμένων σε σχέση με τη γεωλογική κληρονομιά του Ελληνικού

χώρου χρησιμοποιούνται επίσης σε μια πρακτική εφαρμογή στην εκπαιδευτική διαδικασία, ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αξιοποίησής τους στα ανώτερα στάδια διαχείρισης (εκπαίδευση, εν προκειμένω). Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τουρισμό, σε δραστηριότητες μουσείων που απευθύνονται σε παιδιά, ενήλικες και άτομα ειδικών κατηγοριών (ΑμεΑ κ.α.).

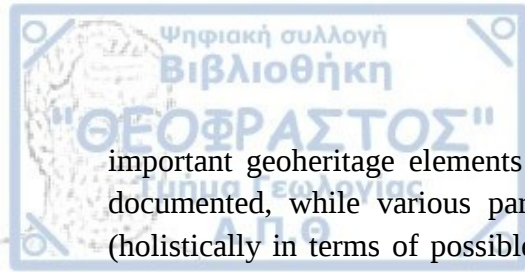
Η ανάπτυξη της βάση δεδομένων για τη γεωκληρονομιά της Ελλάδας σε περιβάλλον GIS, παρέχει πληροφορίες με όσο το δυνατό μεγαλύτερη χωρική ακρίβεια, η οποία επιτρέπει το συνδυασμό με περαιτέρω τηλεπισκοπικά και άλλα γεωχωρικά προϊόντα/πληροφορίες. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτουν νέα στοιχεία για τη γεωκληρονομιά σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο, τα οποία δε μπορούσαν να εξαχθούν μέχρι σήμερα σε αυτήν την έκταση και ακρίβεια. Σημαντικό είναι, ότι η ύπαρξη της (ελεύθερα προσβάσιμης στο ευρύ κοινό) γεωβάσης ανοίγει πολλές μελλοντικές δυνατότητες αξιοποίησής της από κάθε ενδιαφερόμενο χρήστη, σε συνδυασμό με κάθε είδους σχετική (υπάρχουσα ή μελλοντική) γεωχωρική πληροφορία.

Αναφορικά με την πρωτοτυπία στις επιμέρους περιπτώσιολογικές μελέτες στις τρεις βασικές κλίμακες (μικρή-μεσαία-μεγάλη), τεκμηριώνονται ψηφιακά σημαντικά στοιχεία γεωκληρονομιάς (κρανίο αρκούδας, πετρώματα, Νυμφόπετρα), ενώ μελετώνται διάφορες παράμετροι της γεωκληρονομιάς της Μήλου (ολιστικά ως προς τους δυνατούς τρόπους παρέμβασης με Τηλεπισκόπηση και GIS), ως ενδεικτικές περιπτώσεις συμβολής των γεωχωρικών τεχνολογιών και δεδομένων. Επιπλέον, ως προς τα ανώτερα στάδια διαχείρισης και ειδικότερα την αξιοποίηση της γεωκληρονομιάς, τεκμηριώνεται με απτά και μετρήσιμα αποτελέσματα η συμβολή των γεωχωρικών δεδομένων για εκπαιδευτικούς σκοπούς σε διαφορετικές συνθήκες και ακροατήρια, μέσω της πέμπτης και τελευταίας περιπτώσιολογικής μελέτης.

Τέλος, διατυπώνονται επιστημονικά τεκμηριωμένες προτάσεις ουσιαστικής αξιοποίησης της Τηλεπισκόπησης και των GIS για τη διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς. Με βάση τα αποτελέσματα της διατριβής παρέχονται κατευθυντήριες γραμμές με τη μορφή πινάκων, ως προς τη χρήση γεωχωρικών δεδομένων, συναρτήσει της κλίμακας και του σταδίου διαχείρισης της γεωκληρονομιάς.

ABSTRACT

The present doctoral thesis investigates the management of Geological Heritage, focusing on the contribution of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS). The concept of geological heritage includes characteristic or even rare landforms, rocks, fossils, deposits and processes, which make up the geological history of each region. The geological history of each region is an integral part of the wider history of the Earth, which in turn is linked to people and their culture. The management of geological heritage includes a wide range of steps or stages, from its identification, delineation, mapping, monitoring and protection to its utilization for various purposes, mainly educational, research-scientific and touristic. Remote Sensing, and in particular its branch related to Earth Observation, as well as GIS, are both sciences and tools - part of the broader domain of Geospatial Science and Technology - that have rapidly evolved in recent years and have found application in different scientific fields, among which that of Geology. The main purpose of this thesis is to study and showcase advanced Remote Sensing methods, as well as GIS, in the broader management of geological heritage - from its identification to its utilization. In the framework of the thesis, three main types of Remote Sensing were considered and investigated, in combination with GIS, where this was deemed appropriate/feasible. More specifically, Terrestrial Remote Sensing, Aerial Remote Sensing with the use of Unmanned Aircraft Systems, and Spaceborne Remote Sensing with the use of satellite images and other data/measurements from space were considered. The application and investigation of the potentialities of Remote Sensing and GIS were examined in the form of case studies, which cover the entire range of cartographic scales. The scales correspond to national, small, medium and large. They concern a country (Greece), individual regions, landforms, and objects (e.g., fossils and rocks/formations), which can be characterized as geological heritage. These potentialities were explored in all individual steps of geological heritage management. The distinctive quality and originality of the thesis concern firstly the holistic association of the geological heritage with the science of Remote Sensing and GIS, as well as the accuracy of the relevant information for each case study. Geological heritage was studied at all scales, while all three types of Remote Sensing were applied and examined in terms of contribution to each stage of geological heritage management. This study is complemented by the examination of the use of GIS in the management stages. Part of the results were also applied, as an additional case study, in the educational process, as a characteristic example of their utilization in higher stages of management (education, in this case). However, they can be also used in tourism, in museum activities designed for children, adults, and disabled people. The development of a database for the geoheritage of Greece in a GIS environment provides information with as much spatial accuracy as possible, which allows for their combination with further remote sensing and other geospatial products/information. With this, new data on geoheritage at the local, regional and national level emerge, which could not be collected to this extent and precision to date. It is important to note that the existence of the (open access) geodatabase allows for many future possibilities for its utilization by any interested user, in combination with any kind of relevant (existing or future) geospatial information. Concerning the originality of the individual case studies at the three main scales (small-medium-large),



important geoheritage elements (bear skull, rocks, Nymphopetra formation) are digitally documented, while various parameters of the geoheritage of Milos Island are studied (holistically in terms of possible ways of intervention with Remote Sensing and GIS), as indicative cases of the contribution of geospatial technologies and data. Furthermore, regarding the higher stages of management, and in particular the exploitation of geoheritage, the contribution of geospatial data to educational purposes in different circumstances and for different audiences is documented with tangible and measurable results in the last case study. Scientifically substantiated proposals for the purposeful utilization of Remote Sensing and GIS in geological heritage management are propounded. Finally, based on the results of the thesis, ensemble guidelines are provided in the form of tables, regarding the use of geospatial data, in relation to the scale and stage of geoheritage management.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ - ΣΚΟΠΟΣ - ΔΟΜΗ

Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής έρευνας αποτελεί η γεωλογική κληρονομιά (ή γεωκληρονομιά) και η διαχείρισή της, με έμφαση στη διερεύνηση της συμβολής της Τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Systems/GIS) προς αυτό το σκοπό. Για την διεξοδικότητα της εξέτασης μελετήθηκαν οι τρεις τύποι τηλεπισκόπησης (επίγεια, εναέρια και διαστημική), ώστε να ληφθούν υπόψιν όλες οι μορφές της, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μελέτη ενός σχετικού αντικειμένου (π.χ. απολίθωμα), μιας γεωμορφής ή ενός γεωτόπου – στοιχεία, τα οποία συνοπτικά αποτελούν τη μακροσκοπική γεωλογική κληρονομιά. Μέρος της γεωλογικής κληρονομιάς θεωρείται και η μικροσκοπική κληρονομιά, δηλαδή τα μικροαπολιθώματα ή ακόμα και οι ορυκτολογικές τομές, τα οποία μελετώνται με μικροσκόπια. Διευκρινίζεται, ότι αν και η παρατήρηση με μικροσκόπια μπορεί τυπικά να θεωρηθεί τηλεπισκοπική μέθοδος, εφόσον δεν υπάρχει άμεση επαφή με το αντικείμενο μελέτης, δε θα αποτελέσει μέρος της παρούσας διατριβής, καθώς στην πράξη συνιστά ένα εντελώς διαφορετικό πεδίο έρευνας.

Τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα στα οποία επιχειρεί να απαντήσει η παρούσα διδακτορική διατριβή είναι:

1. Ποια τηλεπισκοπικά δεδομένα είναι κατάλληλα για τη διαχείριση της γεωκληρονομιάς στις διάφορες κλίμακες;
2. Με ποιους τρόπους μπορούν να συνεισφέρουν τα GIS στη διαχείριση της γεωκληρονομιάς;
3. Σε ποια στάδια διαχείρισης της γεωκληρονομιάς μπορούν να συνεισφέρουν η Τηλεπισκόπηση και τα GIS;

Η διατριβή αποσκοπεί κυρίως στη μελέτη και ανάδειξη προηγμένων μεθόδων Τηλεπισκόπησης, καθώς και των GIS, στην εν γένει διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς – σε όλα τα στάδια από τον εντοπισμό έως και την αξιοποίησή της, όπου αυτό είναι δυνατό. Τελικός σκοπός είναι η διατύπωση επιστημονικά τεκμηριωμένων προτάσεων/λύσεων ουσιαστικής αξιοποίησης της Τηλεπισκόπησης και των GIS, αλλά και συνεργιών τους, για τη διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς. Οι επιμέρους στόχοι της διατριβής είναι:

1. Η διερεύνηση διαφόρων τύπων και μεθόδων Τηλεπισκόπησης ως προς τον κύριο σκοπό
2. Η μελέτη σε/θεώρηση διαφόρων χαρτογραφικών κλιμάκων, σε αντιστοιχία με το εκάστοτε είδος γεωλογικής κληρονομιάς
3. Η εφαρμογή/ανάδειξη των παραπάνω στη βάση περιπτώσιολογικών μελετών (case studies), οι οποίες καλύπτουν όλες τις κλίμακες και τα στάδια διαχείρισης της γεωκληρονομιάς.

Η πρωτοτυπία της παρούσας διατριβής έγκειται τόσο στην ολιστική αντιμετώπιση της γεωλογικής κληρονομιάς, όσο και στη διερεύνηση της συμβολής της Τηλεπισκόπησης και των GIS σε όλες τις κλίμακες και τα στάδια διαχείρισής της. Το πεδίο της εφαρμογής μεθόδων Τηλεπισκόπησης για τη διαχείριση της κληρονομιάς (πολιτιστικής ή γεωκληρονομιάς) είναι ένα αρκετά νέο και δυναμικά ανερχόμενο πεδίο. Το γεγονός αυτό

συνδέεται με τη σχετικά πρόσφατη, συστηματική διαθεσιμότητα πληθώρας τηλεπισκοπικών (δορυφορικών κ.α.) δεδομένων διαφορετικού τύπου, καθώς και με τη θεαματική βελτίωση της προσβασιμότητας (συμπεριλαμβανομένης της φορητότητας) σε γεωχωρικές τεχνολογίες αιχμής (σάρωση με συστήματα λείζερ, τρισδιάστατες αναπαραστάσεις και εκτυπώσεις, διευρυμένες δυνατότητες GIS κ.α.). Επιπλέον, οι περισσότερες συναφείς μελέτες, (π.χ. Wiseman & El-Baz 2007, Cowley 2010, Risbøla et al. 2014, Brutto et al. 2014, Elfadaly et al. 2019, Hadjimitsis et al. 2020, Karagianni 2021, Wilson 2021), οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, αφορούν κυρίως στην πολιτιστική κληρονομιά, ενώ, συγκριτικά, η φυσική κληρονομιά και πολύ περισσότερο η γεωλογική κληρονομιά έχουν διερευνηθεί ελάχιστα.

Η διατριβή αναπτύσσεται σε οκτώ κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται το αντικείμενο μελέτης της διατριβής και ο σκοπός της. Συνοπτικά, προσδιορίζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, ο εξοπλισμός και η γενική μεθοδολογία διεξαγωγής της μελέτης. Με το διάγραμμα ροής εργασιών προσδιορίζονται τα επιμέρους στάδια της μελέτης και οι μεταξύ τους συσχέτιση.

Ακολούθως, στο δεύτερο κεφάλαιο, προσδιορίζεται το εννοιολογικό πλαίσιο της γεωλογικής κληρονομιάς, η κατηγοριοποίησή της, καθώς και τα στάδια διαχείρισής της βάσει βιβλιογραφίας. Προσδιορίζεται επίσης η έννοια της χαρτογραφικής κλίμακας, η οποία κατέχει κομβικό ρόλο στην ανάπτυξη της διατριβής. Επιπλέον, στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται συνοπτικά ορισμένα βασικά ή/και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης και των GIS, τα οποία είναι κρίσιμα για τη διατριβή.

Στο τρίτο κεφάλαιο προσδιορίζονται οι θέσεις και τα αντικείμενα μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε εξεταζόμενου στοιχείου γεωλογικής κληρονομιάς, όπως έχει επιλεγθεί βάσει της κλίμακας μελέτης. Έτσι, π.χ. για τη μικρή κλίμακα δίνονται οι απαραίτητες πληροφορίες για τη Νήσο Μήλο, για τη μεσαία κλίμακα περιγράφεται ο γεώτοπος της Νυμφόπετρας, ενώ για τη μεγάλη κλίμακα περιγράφονται το απολίθωμα του κρανίου της αρκούδας των σπηλαίων, καθώς και το πέτρωμα του ροδοχρωσίτη.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει - για κάθε κλίμακα και περιπτώσιολογική μελέτη - τα δεδομένα και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκαν, με αναφορά στο είδος των τηλεπισκοπικών δεδομένων, στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού, τα λογισμικά επεξεργασίας, τον πληθυσμό του δείγματος για τα ερωτηματολόγια και τις στατιστικές αναλύσεις κλπ.

Το πέμπτο κεφάλαιο πραγματεύεται τη μεθοδολογία των περιπτώσιολογικών μελετών, οι οποίες βρίσκονται στο επίκεντρο της διατριβής. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται αναλυτικά η βάση δεδομένων της γεωλογικής κληρονομιάς του Ελληνικού χώρου, η οποία δημιουργήθηκε σε περιβάλλον GIS. Θέμα του κεφαλαίου αποτελεί επίσης, η μελέτη των τριών περιπτώσεων βάσει κλίμακας, εφαρμόζοντας τους κατάλληλους τύπους Τηλεπισκόπησης κάθε φορά. Επιπρόσθετα, περιγράφεται η εφαρμογή (και η αξιολόγηση αυτής) μέρος των αποτελεσμάτων της διατριβής στα ανώτερα στάδια διαχείρισης της γεωκληρονομιάς - για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Έτσι, προσδιορίζεται με λεπτομέρεια η μεθοδολογία, η επεξεργασία των δεδομένων και τα στοιχεία που προκύπτουν από την εκάστοτε μελέτη.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα της μελέτης, ενώ στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η εκτενέστερη συζήτηση και αξιολόγησή τους. Τέλος, στο κεφάλαιο οκτώ, αναλύονται τα γενικά συμπεράσματα και οι προοπτικές που προκύπτουν από τη διερεύνηση της συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των GIS στη διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς, ενώ δίνονται και συνολικές κατευθυντήριες γραμμές/προδιαγραφές, με τη μορφή πινάκων.

1.2 ΥΛΙΚΑ-ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η υλοποίηση της διδακτορικής έρευνας ξεκίνησε με την εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση σε θέματα που αφορούσαν τη γεωλογική κληρονομιά, την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και των GIS, καθώς και τη σχέση των δυο τελευταίων με τη γεωκληρονομιά. Βασικό προπαρασκευαστικό μέρος της διατριβής αποτέλεσε επίσης η εκπαίδευση σε σύγχρονες μεθόδους Τηλεπισκόπησης και GIS, αλλά και σε θεμελιώδη στοιχεία Φωτογραμμετρίας.

Στο επόμενο στάδιο της διατριβής έγινε ένας πρώτος διαχωρισμός της γεωλογικής κληρονομιάς με βάση τη χαρτογραφική κλίμακα - μικρή, μεσαία και μεγάλη, οπότε και επιλέχθηκαν αντίστοιχες θέσεις και αντικείμενα γεωλογικής κληρονομιάς. Επιπλέον, προστέθηκε μία τέταρτη κλίμακα – η εθνική – κυρίως για να καταστεί δυνατή μια πιο ευρεία αξιοποίηση και ουσιαστική αξιολόγηση των δυνατοτήτων των GIS. Βάσει της χαρτογραφικής κλίμακας μελετήθηκε η συμβολή της Τηλεπισκόπησης (Επίγειας, Εναέριας και Διαστημικής) και των GIS, εφαρμόζοντάς τα κατά περίπτωση ή/και σε μεταξύ τους συνδυασμούς στα επιλεγμένα μέρη και αντικείμενα γεωλογικής κληρονομιάς.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής εργασιών (EIKONA 1), τα εργαλεία και δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες εκπόνησης της έρευνας ομαδοποιούνται με βάση τις συνολικά πέντε περιπτωσιολογικές μελέτες, οι οποίες τελικά επιλέχθηκαν για την επίτευξη των στόχων της διατριβής. Οι τελευταίες αναπτύχθηκαν σε γενικές γραμμές ανεξάρτητα, με κάποιες μόνο μεταξύ τους συνδέσεις που υποστηρίζουν την πληρότητα του όλου εγχειρήματος, λαμβάνοντας πάντα υπόψη την αλληλουχία των σταδίων διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς. Η εν λόγω διαχείριση περιλαμβάνει τα στάδια του εντοπισμού, της οριοθέτησης, χαρτογράφησης (ή σάρωσης), ερμηνείας, προστασίας, παρακολούθησης, ανάδειξης, αξιολόγησης, αξιοποίησης και προβολής. Σε κάθε περιπτωσιολογική μελέτη προσδιορίζονται τα στάδια της διαχείρισης, στα οποία μπορούν δυνητικά να συμβάλλουν τα GIS ή/και η Τηλεπισκόπηση ή/και οι συνέργειες αυτών.

Αναλυτικότερα, για την πρώτη μελέτη - αυτή σε εθνική κλίμακα, χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά και ελεύθερα λογισμικά και εφαρμογές GIS, σε συνδυασμό με χωρική και μη χωρική (περιγραφική) πληροφορία για τη γεωλογική κληρονομιά της Ελλάδας, από κάθε δυνατή διαθέσιμη πηγή (π.χ. βιβλιογραφία, ιστοσελίδες, προσωπική επικοινωνία, εργασία πεδίου κλπ.). Αποτέλεσμα της πρώτης αυτής περιπτωσιολογικής μελέτης ήταν η δημιουργία μιας ανοικτής εθνικής γεωβάσης για τη γεωκληρονομιά σε περιβάλλον GIS. Στόχος της βάσης ήταν να καταγραφούν θέσεις που έχουν γεωλογικό ενδιαφέρον και παρουσιάζουν σημαντικά στοιχεία για τη γεωλογική ιστορία της περιοχής όπου βρίσκονται, ανεξάρτητα με τη σπουδαιότητα ή σπανιότητα τους. Αυτός ο «γεωχωρικός κατάλογος» γεωκληρονομιάς για όλη την Ελλάδα, με πληροφορίες για την κάθε τοποθεσία, αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο

που μπορεί να αναπτύσσεται, να επικαιροποιείται/διορθώνεται και να εμπλουτίζεται συνεχώς με δεδομένα, χωρίς ιδιαίτερους περιορισμούς.

Για τη μελέτη σε μικρή χαρτογραφική κλίμακα – δεύτερη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως δορυφορικές εικόνες, αλλά και ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα (Digital Elevation Models/DEMs) προερχόμενα από μεθόδους διαστημικής Τηλεπισκόπησης. Τα ως άνω τηλεπισκοπικά δεδομένα ανακτήθηκαν είτε από διαδικτυακές πλατφόρμες ή από το ψηφιακό αρχείο του Εργαστηρίου Εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης και GIS του ΑΠΘ. Επιπλέον, αξιοποιήθηκε σημαντικός όγκος επιπρόσθετης γεωχωρικής πληροφορίας (σε μορφή raster ή vector) από επίσημες εθνικές, ευρωπαϊκές και άλλες βάσεις δεδομένων. Η επεξεργασία και ανάλυση του συνόλου των γεωχωρικών δεδομένων για την εν λόγω κλίμακα έλαβε χώρα, κατά κύριο λόγο, σε περιβάλλον GIS.

Κατά περίπτωση, έγινε εκτεταμένη αξιοποίηση διάφορων λογισμικών ή διαδικτυακών πλατφορμών ψηφιακής επεξεργασίας τηλεπισκοπικών εικόνων/δεδομένων. Υποσύνολο (αυτό που αφορά στη Νήσο Μήλο) της γεωβάσης της πρώτης περιπτώσιολογικής μελέτης αξιοποιήθηκε και στη μικρή κλίμακα, ενώ, αντιστρόφως, ορισμένα από τα παράγωγα της μελέτης σε μικρή κλίμακα επεκτάθηκαν σε εθνικό επίπεδο με τη χρήση του συνόλου της γεωβάσης.

Πραγματοποιήθηκε μελέτη της θερμικής ανωμαλίας της Μήλου με τη χρήση οπτικών εικόνων, συγκρίνοντας τα δορυφορικά αποτελέσματα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα. Μέρος της μελέτης για την δορυφορική Τηλεπισκόπηση αποτέλεσε και η διάβρωση κάποιων θέσεων στη Μήλο. Χρησιμοποιήθηκαν αρχικές εικόνες οι οποίες δεν επέτρεπαν την εξαγωγή κάποιου συμπεράσματος, λόγω χαμηλής ανάλυσης. Ωστόσο, στη συνέχεια με τη χρήση πολύ υψηλής ανάλυσης εικόνων, δόθηκε η δυνατότητα μέτρησης μιας υπό μελέτη βραχοδομής.

Με τη χρήση οπτικών σαρωτών μελετήθηκε στη νήσο Μήλο η μεταβολή της βλάστησης σε γνωστή θέση ανενεργού ορυχείου με στόχο την εξέταση της αποκατάστασης του τοπίου μετά το τέλος της χρήσης του. Η συλλογή τέτοιων δεδομένων δεν είναι εύκολη είτε λόγω της έλλειψης ιστορικών εικόνων κατά την έναρξη των εργασιών της χρήσης ή γιατί απουσιάζουν βιβλιογραφικά δεδομένα για να υπάρχει η σύγκριση του πριν την εκμετάλλευση και του μετά. Με τη χρήση δεδομένων δορυφορικής συμβολομετρίας ραντάρ (InSAR) λήφθηκαν δεδομένα παραμόρφωσης εστιασμένα στη νήσο Μήλο. Μέσω αυτών εξετάστηκαν θέσεις με σημαντικό γεωλογικό ενδιαφέρον, ώστε να μελετηθεί αν υφίστανται παραμόρφωση ή όχι.

Στη περίπτωση της μελέτης της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης έγινε συνδυασμός των δεδομένων της βάσης γεωλογικής κληρονομιάς με τις δυνατότητες της Τηλεπισκόπησης και των GIS. Με τη χρήση ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων (DEM) εξετάστηκε η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας στο διάστημα των επόμενων 100 χρόνων. Η παρατήρηση έγινε σε σύγκριση με τις θέσεις γεωλογικού ενδιαφέροντος, οι οποίες προσδιορίστηκαν στη βάση που αναπτύχθηκε, εξετάζοντας αν υπάρχουν θέσεις που μπορεί να επηρεαστούν. Επιπλέον, εξετάστηκαν οι αλλαγές χρήσης γης για το πιο πρόσφατο διάστημα που υπάρχουν δεδομένα (2012-2018) σε μια μικρή απόσταση από τις θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς και αν αυτές έχουν δυνητική επίδραση στη γεωκληρονομιά.

Εξετάστηκε ακόμα μέσω της χρήσης ελεύθερων σε διαθεσιμότητα λογισμικών - συγκεκριμένα του Google Earth Studio™-, η ανάπτυξη κινούμενης εικόνας σε θέσεις με δύσκολη πρόσβαση και εγκαταστάσεις που δεν συνίστανται για επίσκεψη στο ευρύ κοινό. Η κινούμενη αυτή εικόνα παρουσίασης της θέσης αναπτύχθηκε απομακρυσμένα, δηλαδή χωρίς

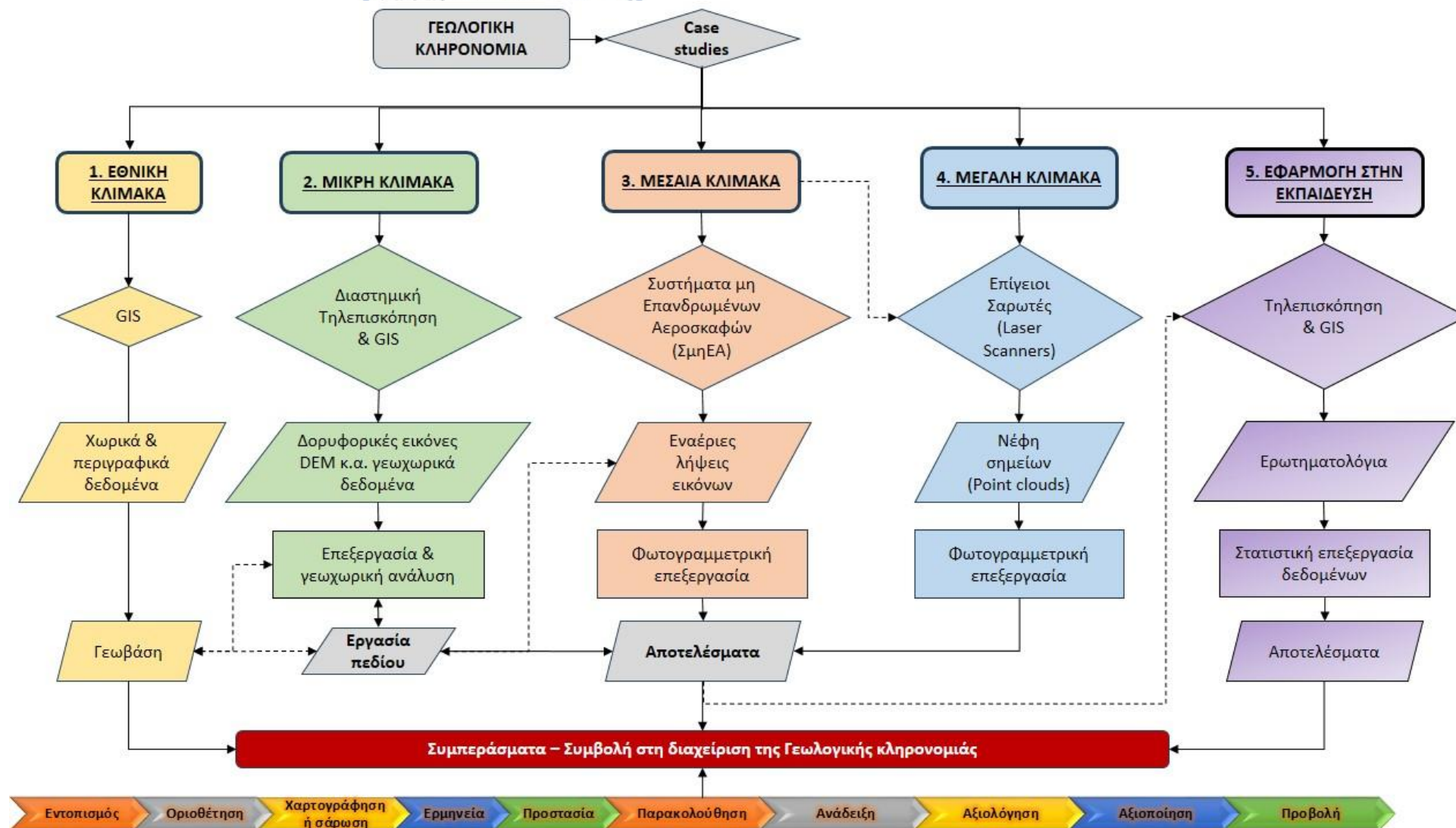
τη φυσική παρουσία του δημιουργού στο χώρο. Έτσι, με τη χρήση του Google Earth™ εξετάστηκε ένα θέμα, το οποίο τονίζει την σπουδαιότητα της χωρικής ανάλυσης των εικόνων.

Η μελέτη σε μικρή κλίμακα στη Μήλο πλαισιώθηκε από εργασία πεδίου/επιβεβαίωση στο ύπαιθρο (ground truth) και τεκμηρίωση με φωτογραφικό και άλλο υλικό κατά περίπτωση, όπως είθισται, λόγω της εγγενούς αβεβαιότητας των δορυφορικών δεδομένων.

Στα πλαίσια της τρίτης μελέτης - σε μεσαία κλίμακα, που αφορά τη Εναέρια και Επίγεια Τηλεπισκόπηση, χρησιμοποιήθηκαν Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) και τρισδιάστατοι επίγειοι σαρωτές αντίστοιχα, με εφαρμογή στο γεώτοπο της Νυμφόπετρας. Έτσι, παράχθηκαν τρισδιάστατα (3D) ψηφιακά μοντέλα της περιοχής ενδιαφέροντος, ενώ μέρος αυτών εκτυπώθηκε υπό κλίμακα σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να διευκρινιστεί, ότι όπου απαιτήθηκε χειροκίνητη/μη αυτόματη φωτογραμμετρική επεξεργασία (η οποία εκφεύγει του κύριου αντικειμένου της διατριβής) των δεδομένων των σαρώσεων, αυτή πραγματοποιήθηκε από εξειδικευμένο προσωπικό του Τμήματος Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του ΑΠΘ.

Η τέταρτη περιπτωσιολογική μελέτη αφορούσε αποκλειστικά τον τύπο της Επίγεια Τηλεπισκόπησης και συνδέθηκε με την εφαρμογή σε μεγάλη χαρτογραφική κλίμακα. Επιλέχθηκαν δύο αντικείμενα που συνιστούν κινητή γεωλογική κληρονομιά – ένα απολίθωμα (το κρανίο της αρκούδας των σπηλαίων) και ένα πέτρωμα (ο ροδοχρωσίτης) - σε συνάρτηση με κατά περίπτωση κατάλληλους επίγειους σαρωτές. Αποτέλεσμα και από τις δυο σαρώσεις είναι η ψηφιακή τρισδιάστατη αποτύπωση των δύο αντικειμένων, με πολλαπλές δυνατότητες απεικόνισης και εκτύπωσής τους.

Η πέμπτη και τελευταία περιπτωσιολογική μελέτη είχε διττό σκοπό. Αφενός αποσκοπούσε στην κάλυψη κυρίως των «ανώτερων» (τελευταίων χρονικά στη λογική αλληλουχία) σταδίων διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς - αυτών δηλαδή που σχετίζονται πρωτίστως με την ανάδειξη, αξιοποίηση και προβολή της, αφετέρου, στόχευε στη διερεύνηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης των αποτελεσμάτων των προηγούμενων τεσσάρων περιπτωσιολογικών μελετών, πέραν των «κατώτερων» έως ενδιάμεσων σταδίων διαχείρισης (από τον εντοπισμό έως και την παρακολούθηση) που τυπικά αφορούν.



ΕΙΚΟΝΑ 1: Διάγραμμα Ροής Εργασιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ & ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθεται σύντομη, αλλά περιεκτική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, καθώς και η αποσαφήνιση των θεμελιωδών εννοιών, οι οποίες άπτονται της διατριβής. Επίσης, γίνεται σύντομη αναφορά σε-χρήσιμα/κρίσιμα για τους σκοπούς της διατριβής - δεδομένα, τεχνολογίες, τεχνικές και μεθόδους αιχμής στα αντικείμενα της Τηλεπισκόπησης και των GIS.

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ & ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ

ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ο όρος γεωπεριβάλλον (Geoenvironment), αρχικά θεωρούνται μέρος της λιθόσφαιρας, το οποίο επηρέαζε άμεσα τις συνθήκες ύπαρξης και ανάπτυξης των κοινωνιών, στις οποίες ο άνθρωπος δραστηριοποιείται. Τα κύρια δομικά στοιχεία του γεωπεριβάλλοντος είναι τα πετρώματα, το ανάγλυφο, το υπόγειο νερό και τα γεωδυναμικά φαινόμενα (Hrasna, 2002).

Ο όρος χρησιμοποιείται πλέον για να περιγράψει το αποτέλεσμα των διαφόρων δυνάμεων, ενδογενών και εξωγενών, αλλά και της επίδρασης του ανθρώπου στον χώρο στον οποίο διαβιώνει και λειτουργεί ως παράγοντας διαμόρφωσής του. Το γεωπεριβάλλον δίνει πληροφορίες για τα γεωλογικά φαινόμενα, διεργασίες και καταστροφές που συνέβαιναν και συμβαίνουν, καθώς και για την κοινωνικοοικονομική δράση του ανθρώπου, με βάση τις δυνατότητες και τους περιορισμούς που του επιτρέπει ο χώρος στον οποίο ζει (Δαμιανός, 2013).

Σύμφωνα με τον Φαλτσέτα (1997) ως Γεωλογικό περιβάλλον ή γεωπεριβάλλον «ορίζεται το φυσικό σύνολο με δυναμικά ιδιοσυστατικά στοιχεία το έδαφος, το υπέδαφος και το καθεστώς των νερών (επιφανειακά και υπόγεια), όπως αυτό διαμορφώνεται από τη δράση των φυσικών φαινομένων και λειτουργεί ως περιβάλλον σύστημα πολλαπλών συνιστωσών για τις ανθρώπινες κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες».

Η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα με πλούσιο γεωπεριβάλλον, λόγω της έντονης γεωτεκτονικής και παλαιογεωγραφικής της εξέλιξης. Η διάφορες διαδικασίες, που έλαβαν χώρα στο παρελθόν, καταστροφής και αναγέννησης του περιβάλλοντος και κάποιες που συνεχίζουν να πλάθουν την επιφάνεια της, έχουν δημιουργήσει έναν φυσικό πλούτο από όρη, φαράγγια, σπήλαια, ηφαίστεια, νησιά και σύνθετες ακτογραμμές.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ

Η γεωλογική κληρονομιά (Geological Heritage/Geoheritage) είναι ένας όρος που προϋποθέτει την πλήρη κατανόηση του ανθρώπου για τη φύση και το περιβάλλον (Zafeiropoulos et al., 2021). Η γεωλογική κληρονομιά είναι το σύνολο των γεωτόπων, των αποθέσεων, των σχηματισμών και των διαδικασιών που συνθέτουν την γεωλογική ιστορία κάθε περιοχής. Επειδή η οργάνωση και λειτουργία των ανθρώπινων κοινωνιών είναι συχνά

συνυφασμένη με το γεωπεριβάλλον στο οποίο διαμορφώνονται, η διατήρηση της γεωκληρονομιάς αφορά σε πολλές περιπτώσεις τόσο την γεωλογική όσο και την πολιτιστική κληρονομιά.

Η γεωλογική κληρονομιά τονίζει την σπουδαιότητα των βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, οι οποίοι αποτελούν στοιχεία προσδιορισμού της γεωλογικής ιστορίας της Γης. Η γεωκληρονομιά εστιάζει στα γεωλογικά στοιχεία κάθε περιοχής, δηλαδή στα πετρώματα, ορυκτά, απολιθώματα που φανερώνουν τις δράσεις του παρελθόντος αλλά και του παρόντος και που συντελούν στη διαμόρφωση της μορφολογίας της κάθε δομής (Carcavilla et al. 2009, Zafeiropoulos et al. 2021).

Σύμφωνα με την Εκπαιδευτική Επιστημονική και Πολιτιστική Οργάνωση των Ηνωμένων Εθνών - UNESCO η γεωλογική κληρονομιά χαρακτηρίζεται ως το σύνολο των πιο σημαντικών και με ενδιαφέρον γεωλογικών θέσεων, όπως οι γεώτοποι, τα γεωπάρακα και τα γεωλογικά μνημεία της φύσης, που αξίζει να διατηρηθούν για επιστημονικούς, διδακτικούς, ιστορικούς, αισθητικούς και πολιτιστικούς λόγους. Το Ευρωπαϊκό Μανιφέστο για την Γεωκληρονομιά και της Γεωποικιλότητας (European Manifesto on Earth Heritage & Geodiversity, 2004) αναφέρει, ότι η κληρονομιά της Γης αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο και το θεμέλιο της κοινωνίας, γιατί συνδέει τη Γη, τον άνθρωπο και τον πολιτισμό. Ουσιαστικά η γεωλογική κληρονομιά είναι μέρος της φυσικής κληρονομιάς του πλανήτη.

Ο όρος γεωλογική κληρονομιά (geological heritage) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο Πρώτο Διεθνές Συμπόσιο για την Διατήρηση της Γεωλογικής μας Κληρονομιάς στη Γαλλία το 1991 (First International Symposium on the Conservation of our Geological Heritage at Digne, France), ενώ ο όρος - γεωκληρονομιά (geoheritage) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο 2^ο Διεθνές Συνέδριο στην Αγγλία το 1993 (Malvern International Conference, Malvern Hills). Από το 1991 κι έπειτα δόθηκε πληθώρα ερμηνειών στον εν λόγω όρο. Ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα των ορισμών που προτάθηκαν είναι τα ακόλουθα:

ΠΗΓΗ	ΟΡΙΣΜΟΣ Γεωλογικής κληρονομιάς
Bradbury (1993)	Ορίζεται ως οι πτυχές της Γης, οι οποίες είναι σημαντικές για την κατανόηση της ιστορίας της Γης. Τα φυσικά μνημεία της γεωλογικής κληρονομιάς μοιάζουν με τα πολιτιστικά μνημεία γιατί είναι μοναδικά <i>(Ο ορισμός αυτός προέκυψε κατά την απογραφή των γεωμορφών στην ανατολική Τασμανία).</i>
Dixon (1996)	Τα στοιχεία της φυσικής γεωποικιλότητας έχουν μεγάλη αξία για τον άνθρωπο και αποτελούν κίνητρο για την αποφυγή της μείωσης της φυσικής και οικολογικής της αξίας. Το κίνητρο αυτό περιλαμβάνει την επιστημονική έρευνα, εκπαίδευση, αισθητική, πνευματική, πολιτιστική ανάπτυξη και συνεισφορά στην κοινωνία. Θεωρείται ένας όρος συνώνυμος με την κληρονομιά της Γης.
Sullivan (1997)	Τα στοιχεία της γεωποικιλότητας είναι σημαντικά για τους ανθρώπους όχι μόνο για την εκμετάλλευσή τους. Είναι γεωμορφές που πρέπει να διατηρηθούν για τις σημερινές και τις μελλοντικές γενιές.

Semenium (1997)	Σημαντικά χαρακτηριστικά της γεωλογία συμπεριλαμβάνουν πυριγενή, μεταμορφωμένα, ιζηματογενή πετρώματα, δομές, παλαιοντολογικά ευρήματα, γεωμορφές, υδρογραφικά δίκτυα που παρέχουν πληροφορίες και γνώσεις για τον σχηματισμό και τη διαμόρφωση της επιφάνειας της Γης ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έρευνα και την διδασκαλία.
Joyce (1997)	Είναι εκείνα τα γεωλογικά χαρακτηριστικά αξίας είτε ως αντιπροσωπευτικά μιας ομάδας είτε ως εξαιρετικά (ασυνήθιστα ή σπάνια) που αποτελούνται από: - φυσικές γεωμορφές και τοπία - στοιχεία γεωλογικών διαδικασιών - υλικά της γης (πετρώματα, ορυκτά, απολιθώματα, εδάφη, νερό (επιφανειακό και υπόγειο) - στοιχεία γεωλογικού χρόνου (σημαντικές γεωλογικές φάσεις ή περιόδους χρόνου χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά όπως ακολουθίες πετρωμάτων, ασυνέχειες, επιφάνειες διάβρωσης, απολιθώματα και γεωχρονολογήσεις, που βρίσκονται στην επιφάνεια ή κοντά στην επιφάνεια της Γης, σε φυσικές ή τεχνητές τομές, οι οποίες μπορούν να παρατηρηθούν, να εκτιμηθούν, να μελετηθούν ή να χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση.
Carcavilla et al. (2009)	Στοχεύει στην ανάδειξη της ποικιλομορφίας του πλανήτη, ώστε να φανεί η σημασία των βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, που τεκμηριώνουν την ιστορική εξέλιξη του.
Ozborne (2000)	Αποτελείται από όλα τα στοιχεία της Γης και τις εξελισσόμενες διαδικασίες, για τις οποίες πρέπει να διατηρούμε, να διαχειριζόμαστε και να κατανοούμε την αξία της φυσικής κληρονομιάς.
Βελιτζέλος (2002)	Η κληρονομιά του γεωλογικού παρελθόντος - πετρώματα, απολιθώματα, γεωμορφές και τοπία - συναποτελούν τη γεωλογική - γεωμορφολογική κληρονομιά
Crofts et al. (2014)	Είναι εκείνα τα στοιχεία της γήινης γεωποικιλότητας, τα οποία έχουν σημαντική επιστημονική, εκπαιδευτική, πολιτισμική ή αισθητική αξία.
Brocx et al. (2015)	Αναφέρεται στα χαρακτηριστικά της γεωλογίας που προσφέρουν πληροφορίες και γνώσεις για τον σχηματισμό και την εξέλιξη της Γης ή την ιστορία της επιστήμης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έρευνα και τη διδασκαλία.
Brocx et al. (2015)	Ο όρος χρησιμοποιείται ως εξής: Παγκόσμια, Εθνικά και Τοπικά γεωλογικά χαρακτηριστικά, όπως πυριγενή, μεταμορφωμένα, ιζηματογενή πετρώματα, στρωματογραφικά, τεκτονικά, γεωχημικά, ορυκτολογικά, παλαιοντολογικά, γεωμορφολογικά, εδαφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά, σε όλες τις κλίμακες. τα οποία είναι

	σημαντικές θέσεις ή πολιτιστικά σημαντικές θέσεις και προσφέρουν πληροφορίες για την εξέλιξη της Γης, την ιστορία της επιστήμης ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην έρευνα και τη διδασκαλία.
Miguel et al.(2021)	Ο όρος αναφέρεται σε αυτές τις φυσικές γεωλογικές πηγές, συμπεριλαμβανομένου των ορυκτών, πετρωμάτων, απολιθωμάτων, εδαφών, μορφολογικών, γεωλογικών σχηματισμών, τεκτονικών δομών ή άλλων γεωλογικών εμφανίσεων, με επιστημονική, εκπαιδευτική πολιτιστική ή / και αισθητική αξία.
Spyrou et al. (2022)	Αναφέρεται στο σύνολο των γεωλογικών θέσεων μιας περιοχής, οι οποίες συχνά αναφέρονται ως γεωθέσεις (geosites)
Vlachopoulos et al. (2022)	Ως γεωλογική - γεωμορφολογική κληρονομιά ορίζεται η συλλογή γεωτόπων, κοιτασμάτων, μορφών και διεργασιών που αποτελούν τη γεωλογική ιστορία κάθε περιοχής και η έννοια της διατήρησης της γεωλογικής-γεωμορφολογικής κληρονομιάς είναι μια έννοια πολιτιστική.
Geological Society of America	Είναι ένας γενικός όρος, περιγραφικός που χρησιμοποιείται για θέσεις ή περιοχές με γεωλογικά χαρακτηριστικά με ιδιαίτερη αξία επιστημονική, εκπαιδευτική, πολιτιστική ή αισθητική. Η επιστημονική ή εκπαιδευτική σημασία των θέσεων γεωλογικής κληρονομιάς περιλαμβάνει εκείνες που έχουν χαρακτηριστικούς τύπους πετρωμάτων, σπάνια απολιθώματα ή άλλα γεωλογικά χαρακτηριστικά σημαντικά για την εκπαίδευση και την έρευνα. Οι σημαντικές πολιτιστικές θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς είναι μέρη, όπου γεωλογικά τοπία διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο σε πολιτιστικά ή ιστορικά γεγονότα. Η αισθητική αξία αφορά τοποθεσίες, οι οποίες είναι οπτικά ελκυστικές, λόγω των γεωλογικών διαδικασιών που υπάρχουν. Γενικά, πολλές τοποθεσίες γεωλογικής κληρονομιάς μπορούν να αποτελούν τουριστικούς προορισμούς και να παρέχουν οικονομικά οφέλη στις τοπικές κοινωνίες.
UNESCO	Χαρακτηρίζεται ως το σύνολο των περισσότερων ενδιαφερόντων γεωλογικών τοποθεσιών (γεώτοποι, γεωπάργα και γεωλογικά φυσικά μνημεία) που αξίζουν να διατηρηθούν για επιστημονικούς, διδακτικούς, ιστορικούς, αισθητικούς και πολιτιστικούς λόγους.

Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, έγινε η σύνθεση της ακόλουθης περιγραφής/ερμηνείας του όρου γεωλογική κληρονομιά – γεωκληρονομιά, η οποία και υιοθετήθηκε στην παρούσα διατριβή:

Ο όρος κληρονομιά αναφέρεται σε κάτι που υπήρχε στο παρελθόν, διατηρήθηκε, «μεταφέρθηκε» και συνεχίζει να έχει μεγάλη αξία στο παρόν και το μέλλον. Η γεωλογική κληρονομιά είναι η κληρονομιά με χαρακτηριστικά γεωλογικής φύσης. Τα παγκόσμια, εθνικά αλλά και τοπικά γεωλογικά στοιχεία/μορφές, όπως τα πυριγενή, ιζηματογενή, μεταμορφωμένα πετρώματα, ορυκτά, γεωμορφές, δομές στρωματογραφικές, τεκτονικές, απολιθωματοφόρες θέσεις και άλλοι γεώτοποι σε όλες τις κλίμακες είναι σημαντικά. Η σημασία τους έγκειται στην προσφορά πληροφοριών για τον σχηματισμό και την εξέλιξη της Γης, την εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη, τις κλιματικές αλλαγές, τις αυξομειώσεις της στάθμης της θάλασσας, καθώς και τη γεωλογική ιστορία της περιοχής, στην οποία εντοπίζονται. Η σπουδαιότητα αυτών των γεωλογικών μνημείων και δειγμάτων είναι όμοια με αυτή των ιστορικών και αρχαιολογικών μνημείων. Συνεπώς, είναι μείζονος σημασίας η διατήρησής τους για τις σημερινές και τις επόμενες γενιές».

ΓΕΩΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

Η σύνδεση της γεωλογικής κληρονομιάς και της γεωποικιλότητας (geodiversity) είναι πολύπλοκη. Κατά τη δεκαετία του 1990 οι γεωλόγοι και γεωμορφολόγοι ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν τον όρο γεωποικιλότητα για να περιγράψουν την αβιοτική φύση. Η ποικιλία (diversity) της αβιοτικής φύσης αποτελείται από γεωλογικά στοιχεία (πετρώματα, ορυκτά, απολιθώματα), γεωμορφολογικά στοιχεία (σχηματισμούς, διαδικασίες) και εδάφη. Η γεωποικιλότητα είναι σημαντικό στοιχείο της γεωλογικής κληρονομιάς, γιατί περιλαμβάνει την πληθώρα των γήινων στοιχείων που έχουν επιστημονική, εκπαιδευτική, πολιτιστική και αισθητική αξία (Ticar et al., 2017). Ο όρος γεωποικιλότητα θεωρείται ανάλογος με την βιοποικιλότητα (biodiversity). Σύμφωνα με τον Nieto (2001), η γεωποικιλότητα είναι ο αριθμός και η ποικιλία των ιζηματογενών, τεκτονικών δομών, γεωλογικών υλικών, ορυκτών, πετρωμάτων, απολιθωμάτων, εδαφών που συνθέτουν το γεωλογικό υπόστρωμα μιας περιοχής, ενώ ακολουθεί το επίπεδο, στο οποίο δραστηριοποιείται ο άνθρωπος.

Μέχρι σήμερα έχουν δοθεί αρκετοί ορισμοί για τον όρο γεωποικιλότητα, με κάποιους χαρακτηριστικούς από αυτούς να είναι οι ακόλουθοι:

ΠΗΓΗ	ΟΡΙΣΜΟΣ Γεωποικιλότητας
Διεθνής Ένωση Προστασίας της Φύσης (International Union for Conservation of Nature - IUCN)	Είναι η ποικιλία των πετρωμάτων, των ορυκτών, των απολιθωμάτων, των ιζημάτων, εδαφών και γεωμορφών, σε συνδυασμό με τις φυσικές διαδικασίες που τα σχηματίζουν και τα τροποποιούν.
Sharples (1993)	Είναι η ποικιλία των γήινων χαρακτηριστικών και συστημάτων.
Sharples (1995), Komoo (2000), Sharples (2002)	Είναι το εύρος ή η ποικιλία των γεωλογικών, γεωμορφολογικών και εδαφικών χαρακτηριστικών και το σύνολο των συστημάτων και διαδικασιών.

Australian Heritage Commission (1996)	Η γεωποικιλότητα αφορά το εύρος των γήινων χαρακτηριστικών συμπεριλαμβανομένου των γεωλογικών, γεωμορφολογικών, παλαιοντολογικών, εδαφικών, υδρολογικών και ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών συστημάτων και διαδικασιών της Γης.
Eberhard (1997)	Η σχέση ανάμεσα στην γεωποικιλότητα, την γεωκληρονομιά και τη γεωδιατήρηση μπορεί να συνοψιστεί ως εξής: η γεωποικιλότητα είναι μια αντικειμενική ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος, η γεωλογική κληρονομιά είναι ένα παράδειγμα των πτυχών της γεωποικιλότητας που αξίζει να διατηρηθεί και η γεωδιατήρηση στοχεύει να διατηρήσει την γεωποικιλότητα.
Kozlowski (1999)	Είναι η διαφορετικότητα της Γης ως προς τη γεωλογική δομή, το ανάγλυφο, τα εδάφη, το κλίμα, την επιφάνεια και τα υπόγεια ύδατα σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις και τις επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας.
Osborne (2000)	Η γεωποικιλότητα είναι όλο το εύρος των φυσικών γήινων χαρακτηριστικών και διαδικασιών.
Prosser (2002)	Είναι η ποικιλία των πετρωμάτων, απολιθωμάτων, ορυκτών και φυσικών διαδικασιών.
Βελιτζέλος (2002)	Είναι η ποικιλία των φυσικών, γεωμορφολογικών και εδαφικών χαρακτηριστικών και διεργασιών.
Miguel et al. (2021)	Ορίζει την γεωποικιλότητα ή γεωλογική ποικιλότητα ως τη φυσική ποικιλία των γεωλογικών (πετρώματα, ορυκτά, απολιθώματα), γεωμορφολογικών (γεωμορφές, τοπογραφία, φυσικές διαδικασίες), εδαφικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών.

Συνεπώς, για την παρούσα διατριβή ο όρος γεωποικιλότητα ορίζεται ως η πληθώρα - ποικιλία των αβιοτικών στοιχείων της φύσης (πετρώματα, ορυκτά απολιθώματα, εδάφη, διαδικασίες και σχηματισμούς), τα οποία είναι σημαντικά να διατηρηθούν για την επιστημονική, εκπαιδευτική, πολιτιστική και αισθητική τους αξία. Η γεωλογική κληρονομιά αναφέρεται σε *in situ* και *ex situ* στοιχεία γεωποικιλότητας. Ως *in situ* γεωποικιλότητα θεωρούνται τα στοιχεία με υψηλή αξία επιστημονική (γεωθέσεις - *geosites*), τα οποία βρίσκονται στη θέση δημιουργίας τους. Αντίθετα, ως *ex situ*-κινητά χαρακτηρίζονται τα στοιχεία γεωποικιλότητας, τα οποία έχουν μετακινηθεί από τη φυσική τους θέση, όπως ορυκτά, απολιθώματα και πετρώματα που είναι διαθέσιμα σε κάποια συλλογή έκθεσης - μουσείου (Brilha, 2015).

Οι δυο κατηγορίες αυτές έχουν εκπαιδευτική, ερευνητική, αισθητική, πολιτισμική αξία και μπορούν να αξιοποιηθούν από την κοινωνία στη διδασκαλία, τον τουρισμό, την αναψυχή. Οι

Herrera-Franco et al. (2022), αναφέρουν, πως η γεωλογική κληρονομιά ορίζεται ως το σύνολο των στοιχείων γεωλογίας ή γεωτόπων (geosites), που παρουσιάζουν σημαντική αξία επιστημονική, εκπαιδευτική και πολιτιστική. Οι γεώτοποι είναι γεωλογικές θέσεις ή σημεία με μοναδική αισθητική, επιστημονική και εκπαιδευτική αξία. Επιπλέον οι γεωθέσεις όταν έχουν γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά θεωρούνται γεωμορφές (geomorphosites). Οι γεωθέσεις, όπως οι παγετώνες, τα ηφαίστεια οι έρημοι είναι κομμάτι της γεωποικιλότητας και θεωρούνται in situ στοιχεία γεωποικιλότητας.

Καθημερινά τόσο η βιοποικιλότητα όσο και η γεωποικιλότητα έρχονται αντιμέτωπες με καταστροφικές απειλές. Η σύγχρονες κοινωνίες είναι ευαίσθητες σε θέματα που αφορούν την βιοποικιλότητα, δηλαδή απειλές που υφίστανται τα ζώα και τα φυτά. Ωστόσο, δεν ισχύει το ίδιο –ίδια ευαस्थτοποίηση- και με τη γεωποικιλότητα, που αντιμετωπίζει κινδύνους και απειλές τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες.

Η αλλαγή χρήσης γης αποτελεί τη μεγαλύτερη απειλή τόσο για τη βιοποικιλότητα όσο και για τη γεωποικιλότητα γιατί προκαλεί γρήγορη και ανεπιθύμητη μεταβολή στην κλίμακα τοπίου (Rockström et al., 2009). Οι μεταβολές αυτές μπορεί να προκαλέσουν την υπέρβαση των γεωμορφολογικών και οικολογικών ορίων και να οδηγήσουν στην έναρξη των διεργασιών, οι οποίες οδηγούν στην αποσάθρωση και υποβάθμιση των εδαφών και την αύξηση των φυσικών κινδύνων για τον άνθρωπο. Εκτός από την αλλαγή χρήσης της γης, τα περισσότερα σενάρια κλιματικής αλλαγής υποδεικνύουν, ότι η αστάθεια του τοπίου και η υποβάθμιση του εδάφους είναι πιθανόν να αυξηθεί, γεγονός που αποτελεί μία ακόμη απειλή για τη γεωποικιλότητα (Hudson & Inbar, 2012).

Η δραστηριότητα του ανθρώπου έχει προκαλέσει πολύ μεγάλη μείωση της γεωποικιλότητας και μεταβολή της φυσικής κατάστασης των στοιχείων στην επιφάνεια της Γης. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά παραδείγματα που καταδεικνύουν, ότι ανθρωπογενείς δραστηριότητες με την πάροδο του χρόνου, ευθύνονται για τη δημιουργία ή την αποκάλυψη νέων θέσεων γεωποικιλότητας, που είναι σημαντικές για τις σύγχρονες φυσικές διεργασίες και περιβάλλοντα, όπως οι αρχαίες αναβαθμίδες, τα λατομεία και τα συστήματα άρδευσης (Lavee et al. 1997, Woods και McCann 1999, Heckenberger et al. 2003).

ΓΕΩΤΟΠΟΣ

Βασική μονάδα της γεωλογικής και γεωμορφολογικής κληρονομιάς αποτελεί ο γεώτοπος (geosite). Στη γερμανική βιβλιογραφία ήταν η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε ο όρος προερχόμενος από τις ελληνικές λέξεις «Γη» και «τόπος» και αναφέρεται ως «Geotop», που είναι συνώνυμο με τη λέξη geosite και σημαίνει γεωτοποθεσία – γεώτοπος. Οι γεώτοποι είναι αποσπάσματα του «βιβλίου της ιστορίας της Γης» που έχει εξελιχθεί σε έναν τόπο. Η διατήρησή τους αποτελεί ένα στόχο που θα πρέπει να επιτευχθεί, έτσι ώστε και οι μελλοντικές γενεές να μπορούν να «διαβάσουν» αυτή την γεωλογική ιστορία του τόπου τους.

Οι γεωλογικές, γεωμορφολογικές και εδαφολογικές εμφανίσεις που αξίζει να διατηρηθούν λόγω της αντιπροσωπευτικότητάς τους ή της μοναδικότητάς τους, της σημασίας τους για τη κατανόηση της δημιουργίας, της εξέλιξης και των λειτουργιών της γεώσφαιρας αλλά και για επιστημονικούς, εκπαιδευτικούς, πολιτιστικούς και αισθητικούς λόγους ονομάζονται γεώτοποι (Βελιτζέλος, 2002). Σύμφωνα με την Αμερικανική Γεωλογική Εταιρεία (Geological Society of America) οι γεώτοποι (geological sites - geosites) αποτελούν τοποθεσίες σημαντικές για την προώθηση της γνώσης σχετικά με τους φυσικούς κινδύνους, την παροχή υπόγειων υδάτων, τις κλιματικές και περιβαλλοντικές αλλαγές, την εξέλιξη της

ζωής, τα ορυκτά και τα ενεργειακά αποθέματα και άλλες πτυχές της φύσης και της ιστορίας της Γης.

Αυτές οι θέσεις παρέχουν υψηλές δυνατότητες για επιστημονικές μελέτες και λειτουργούν ως υπαίθριες αίθουσες διδασκαλίας, ενισχύοντας την κατανόηση των διαδικασιών δημιουργίας τους. Επιπλέον, παρέχουν στο ευρύτερο κοινό ψυχαγωγία και αναψυχή αλλά και στις τοπικές κοινωνίες οικονομική υποστήριξη. Οι γεώτοποι μπορεί να είναι μικροί σε έκταση, αλλά πολύ σημαντικοί επιστημονικά ή μεγάλοι σε έκταση και με διεθνή αναγνώριση.

Η έννοια Γεώτοπος, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Νόμος 3937/2011) με τίτλο «Διατήρηση της βιοποικιλότητας και άλλες διατάξεις» ορίζεται ως εξής: «Γεώτοποι είναι οι γεωλογικές – γεωμορφολογικές δομές που συνιστούν φυσικούς σχηματισμούς και αντιπροσωπεύουν σημαντικές στιγμές της γεωλογικής ιστορίας της Γης, είναι σημαντικοί μάρτυρες της μακράς εξέλιξής της ή δείχνουν σύγχρονες φυσικές, γεωλογικές διεργασίες που συνεχίζουν να εξελίσσονται στην επιφάνεια της Γης»

Οι γεώτοποι σύμφωνα με την IUGS (International Union of Geological Sciences), χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Θέσεις στρωματογραφικού ενδιαφέροντος.
- Θέσεις αντιπροσωπευτικές για το παλαιοπεριβάλλον.
- Απολιθωματοφόρες θέσεις.
- Θέσεις πετρολογικού ενδιαφέροντος, δηλαδή χαρακτηριστικές εμφανίσεις πετρωμάτων, ιδιαίτερες ιζηματογενείς τοποθεσίες.
- Θέσεις ορυκτολογικού και οικονομικού ενδιαφέροντος, δηλαδή χαρακτηριστικές ή σπάνιες μεταλλοφόρες εμφανίσεις, ορυκτολογικές παραγενέσεις κ.α.
- Θέσεις τεκτονικού ενδιαφέροντος.
- Γεωμορφολογικές δομές και σχηματισμοί με ιδιαίτερο φυσικό κάλλος.
- Θέσεις υδρολογικού – υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος.

Επιπλέον, οι γεώτοποι διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με:

1. Τον τρόπο δημιουργίας τους, σε:

- **Φυσικούς γεώτοπους:** θεωρούνται τα δημιουργήματα των δυνάμεων της φύσης και των μεταξύ τους διεργασιών, που αντιλαμβανόμαστε άμεσα και περιέχουν ορυκτά, μεταλλεύματα, απολιθώματα πανίδας / χλωρίδας ή δείχνουν φαινόμενα γεωλογικού ενδιαφέροντος, όπως ρήγματα, ηφαίστεια, και αποτελούν μάρτυρες και μαρτυρίες των διεργασιών των δυνάμεων της φύσης.
- **Ανθρωπογενείς γεώτοπους:** θεωρούνται οι γεώτοποι που προκύπτουν μετά από ανθρώπινη δραστηριότητα.

2. Το σκοπό που εξυπηρετούν:

- **Ερευνητικούς - επιστημονικούς:** Χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα υψηλή επιστημονική και ερευνητική αξία και είναι πολύ σημαντικοί για την επιστημονική κοινότητα.
- **Εκπαιδευτικούς:** Είναι εκείνοι των οποίων τα χαρακτηριστικά έχουν ιδιαίτερη αξία για την εκπαιδευτική κοινότητα. Αποτελούν παραδείγματα με ιδιαίτερη παιδαγωγική αξία.
- **Πολιτιστικούς:** Είναι αυτοί που συνδυάζονται με πολιτιστικά μνημεία ή αποτελούν οι ίδιοι πολιτιστικά μνημεία. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται και οι γεωμυθολογικοί γεώτοποι ή γεωμυθότοποι και οι λαογραφικοί γεώτοποι. Το

κυριότερο κριτήριο επιλογής των πολιτιστικών γεωτόπων είναι η σύνδεσή τους ή η ταύτισή τους με πολιτιστικά μνημεία. Διακρίνονται σε:

- **Οικολογικούς:** Είναι αυτοί που είτε συνδέονται με οικοτόπους, είτε αποτελούν το υπόβαθρο οικοτόπων, ή είναι οι ίδιοι οικοτόποι.
 - **Τουριστικούς:** Είναι αυτοί στους οποίους υπερέχει η αξία της αναψυχής, χωρίς όμως η επιστημονική τους αξία να είναι αμελητέα. Η αξία τους για την ευαισθητοποίηση του κοινού είναι μεγάλη, γιατί απευθύνονται σε ένα ευρύ και ποικίλο τμήμα του πληθυσμού (π.χ. το Φαράγγι της Σαμαριάς).
 - **Αισθητικούς:** Είναι εκείνοι που παρουσιάζουν ιδιαίτερο κάλλος (π.χ. ιδιαίτερα σχήματα ή χρώματα). Η όποια προστασία τους οφείλεται κυρίως στην αισθητική τους αξία (π.χ. οι γρανίτες του Βόλακα στην Τήνο).
 - **Γεώτοπους φυσικών καταστροφών:** Προέρχονται από ιστορικούς σεισμούς, ηφαιστειακές εκρήξεις και τσουνάμι. Τα ίχνη αρχαίων σεισμών και ηφαιστειακών εκρήξεων, επικαλούνται ιστορικοί και αρχαιολόγοι για να ερμηνεύσουν τα διάφορα πολιτισμικά και οικιστικά κενά που εντοπίζουν.
 - **Γεώτοπους ανθρωπογενών καταστροφών.**
 - **Μουσεία Φυσικής Ιστορίας-Γεωλογικά.**
3. Σημασία και το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν, σε επίπεδο (Brocx M. et al., 2007):
- Παγκόσμιο: αντιπροσωπεύονται από έναν ή μερικούς γεωτόπους ή αποτελούν το καλύτερο παράδειγμα
 - Εθνικό: μπορεί να υπάρχουν και άλλοι ίδιοι ή παρόμοιοι σε παγκόσμιο επίπεδο
 - Περιφερειακό: εμφανίζονται και σε άλλα μέρη σε παγκόσμιο ή / και εθνικό επίπεδο αλλά είναι μοναδικά ή έχει μερικούς ακόμα σε περιφερειακό επίπεδο
 - Τοπικό: αποτελεί την φυσική ιστορία της περιοχής και είναι σημαντικός για την τοπική κοινωνία

Οι γεώτοποι όμως είναι χώροι ευαίσθητοι και ευάλωτοι στην αστικοποίηση, την ανάπτυξη υποδομών, την γεωργία, την υπερβολική χρήση αλλά και από την διάβρωση. Για κάθε περίπτωση θα πρέπει να αναζητηθούν οι κατάλληλες στρατηγικές διατήρησης και προστασίας με στόχο να περάσουν στις επόμενες γενιές (Geological Society of America).

ΓΕΩΠΑΡΚΟ

Η Εκπαιδευτική Επιστημονική και Πολιτιστική Οργάνωση των Ηνωμένων Εθνών (UNESCO, 1999) ορίζει ως γεωπάργκα (geoparks) τις περιοχές ιδιαίτερης γεωλογικής σημασίας, σπανιότητας ή κάλλους, όπου η γεωλογική κληρονομιά προστατεύεται και αναπτύσσεται ταυτοχρόνως. Τα γεωπάργκα είναι περιοχές, όπου εκτός από τις διάφορες γεωλογικές εμφανίσεις, μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν και άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία, όπως αρχαιολογικές, οικολογικές, ιστορικές ή/και πολιτιστικές αξίες και μπορούν να αποτελέσουν το έναυσμα για κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη, ενεργοποιώντας τον τουρισμό με τη μορφή του οικο- ή γεωτουρισμού. Τα γεωπάργκα έχουν καθορισμένη γεωγραφική έκταση και θεματολογία που επιτρέπει την ανάπτυξη οικονομικών/τουριστικών δραστηριοτήτων.

Ένα γεωπάργκο περικλείει σημαντικό αριθμό γεωλογικών μνημείων με ιδιαίτερη σημασία ως προς την επιστημονική αξία, την ποιότητα, τη σπανιότητα, την αισθητική έλξη που προκαλούν και εκπαιδευτική αξία τους. Τα παγκόσμια γεωπάργκα της UNESCO χρησιμοποιούν τη γεωλογική κληρονομιά σε συνδυασμό με άλλες πτυχές της φυσικής και

πολιτιστικής κληρονομιάς κάθε περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύουν την ευαισθητοποίηση τους από το ευρύ κοινό, ως προς τα θέματα που αντιμετωπίζει η κοινωνία, όπως η βιώσιμη χρήση των πόρων της Γης, επιπτώσεις κλιματικών αλλαγών και φυσικούς κινδύνους, αλλά και την κατανόηση του τρόπου δημιουργίας του συγκεκριμένου τόπου.

Σύμφωνα με τη διακήρυξη του *Ευρωπαϊκού Δικτύου Γεωπάρκων*, ως γεωπάρκο ορίζεται μία περιοχή η οποία:

- Έχει συγκεκριμένα γεωγραφικά όρια και επαρκή επιφάνεια, η οποία επιτρέπει μία πραγματική βιώσιμη ανάπτυξη. Περιλαμβάνει ένα σημαντικό αριθμό θέσεων γεωλογικού ενδιαφέροντος, με κριτήρια την επιστημονική σημασία, τη σπανιότητα, την αισθητική έλξη και την εκπαιδευτική τους αξία. Η πλειοψηφία των θέσεων ενδιαφέροντος στην περιοχή ενός ευρωπαϊκού γεωπάρκου πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική της γεωλογικής της κληρονομιάς, αλλά μπορεί να έχουν επίσης αρχαιολογικό, οικολογικό, ιστορικό ή πολιτιστικό ενδιαφέρον.
- Οι θέσεις ενδιαφέροντος σε ένα γεωπάρκο πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με ένα οργανωμένο δίκτυο διαδρομών και να υποστηρίζονται από μέτρα προστασίας και διαχείρισης. Σε ένα γεωπάρκο δεν επιτρέπονται πρακτικές που προκαλούν καταστροφή, φθορά ή πώληση γεωλογικών αντικειμένων.
- Πρέπει να διαθέτει οργανωμένο φορέα διαχείρισης, ο οποίος να είναι σε θέση να επιβάλλει πολιτικές προστασίας, διαχείρισης και ανάδειξης της γεωλογικής κληρονομιάς και βιωσιμότητας στην περιοχή του.
- Συμβάλλει ενεργά στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής, μέσα από την ανάδειξη της ταυτότητάς του γεωπάρκου, που συνδέεται με τη γεωλογική κληρονομιά και έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη του Γεωτουρισμού. Με τον τρόπο αυτόν επηρεάζει τις συνθήκες ζωής των κατοίκων της περιοχής και του περιβάλλοντος. Στόχος του είναι να δώσει τη δυνατότητα στους κατοίκους να συνειδητοποιήσουν τις αξίες της φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς και να συμμετάσχουν ενεργά στην πολιτιστική αναζωογόνηση του συνόλου της περιοχής. Αναπτύσσει, εξελίσσει, πειραματίζεται και προωθεί μεθόδους για την προστασία και ανάδειξη της γεωλογικής κληρονομιάς.
- Υποστηρίζει την περιβαλλοντική εκπαίδευση, την ευρύτερη εκπαιδευτική διαδικασία και ανάπτυξη της επιστημονικής έρευνας σε διάφορους κλάδους των γεωεπιστημών και του περιβάλλοντος, την αναβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος και των πολιτικών βιώσιμης ανάπτυξης.
- Λειτουργεί στο πλαίσιο του Δικτύου των Ευρωπαϊκών Γεωπάρκων, ώστε να συμβάλλει στη συνοχή και δυναμική του. Πρέπει να συνεργάζεται με τοπικές επιχειρήσεις, ώστε να προωθεί και να υποστηρίζει τη δημιουργία νέων προϊόντων που σχετίζονται με τη γεωλογική κληρονομιά, σε ένα πνεύμα συμπληρωματικότητας με τα άλλα μέλη του Δικτύου.

Τα γεωπάρκα αποτελούν το κορυφαίο εργαλείο γεωδιατήρησης που ξεκίνησε σαν δίκτυο συνεργασίας μεταξύ φορέων – διαχειριστών γεωλογικών μνημείων των διαφόρων ευρωπαϊκών περιοχών, με στόχο να συμβάλει στην τοπική ανάπτυξη των περιοχών αυτών μέσω της ανάπτυξης του γεωτουρισμού. Οι βασικές αρχές λειτουργίας και τα ποιοτικά πρότυπα που υιοθετήθηκαν, εφαρμόζονται σήμερα σε ολόκληρο τον κόσμο μέσω του Παγκόσμιου Δικτύου Γεωπάρκων (GGN) υπό την αιγίδα της UNESCO.

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Νόμος 3937/2011) με τίτλο «Διατήρηση της βιοποικιλότητας και άλλες διατάξεις» ο όρος Γεωπάρκα ορίζεται ως: «Περιοχές με σημαντική γεωλογική κληρονομιά, πλούσιο φυσικό και πολιτιστικό περιβάλλον, οι οποίες μέσα από την προστασία της φύσης και την εκπαίδευση συμβάλλουν στην ανάπτυξη υπεύθυνου τουρισμού, ενισχύοντας την τοπική οικονομία και τη βιώσιμη ανάπτυξη».

Σύμφωνα με την έρευνα των Errami et al. (2015), το γεωπάρκο είναι μια περιοχή, όπου η γεωλογική κληρονομιά και όλα τα στοιχεία της κληρονομιάς (αρχαιολογικά, οικολογικά, ιστορικά, υλικά και άυλα πολιτιστικά στοιχεία) θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο για τη βελτίωση των υποδομών των περιοχών μέσω της ανάπτυξης του γεωτουρισμού με την κατασκευή δρόμων, τη δημιουργία και τη βελτίωση διαμονής, παροχή ηλεκτρικού και πόσιμου νερού σε απομακρυσμένες περιοχές, δημιουργία επαρκών χώρων για την πώληση τοπικών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης μουσείων και πολιτιστικών /πληροφοριακών κέντρων. Οι τοπικές κοινωνίες θα πρέπει να αξιοποιούν τις περιοχές τους και να συμμετέχουν περισσότερο στην ανάπτυξή τους και την προστασία τους, ώστε να επωφελούνται άμεσα από τα έσοδα που παράγονται από δραστηριότητες που διεξάγονται, όπως ο γεωτουρισμός. Ο αριθμός των γεωπάρκων τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο συνεχώς αυξάνεται.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΝΗΜΕΙΟ

Ο όρος γεωλογικό μνημείο (geological monument) υποδηλώνει εξέχοντα και μοναδικά στοιχεία μια γεωλογικής εμφάνισης ή γεωμορφής, δηλαδή γεωτόπους, με φανερά μνημειακά χαρακτηριστικά (Βελιτζέλος, 2002) τα οποία χρήζουν προστασίας, γιατί έχουν επιστημονική, οικολογική, αισθητική, εκπαιδευτική αξία. Τέτοια παραδείγματα μπορεί να είναι απολιθωμένα δάση, αρχαία μεταλλεία, φαράγγια, σπήλαια, ηφαίστεια κ.α.

ΓΕΩΔΙΑΤΗΡΗΣΗ

Όσον αφορά στη διατήρηση των αβιοτικών στοιχείων, χρησιμοποιείται ο όρος γεωδιατήρηση (geological conservation - geoconservation). Η γεωδιατήρηση στηρίζεται στην αρχή ότι η ανθρωπότητα έχει το δικαίωμα να εκμεταλλεύεται τους φυσικούς πόρους για να ικανοποιεί τις θεμιτές ανάγκες και σκοπούς της, αλλά αυτό δε πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μειωθεί άσκοπα η γεωποικιλότητα (Βελιτζέλος, 2002). Έχουν δοθεί πολλοί ορισμοί για τον όρο γεωδιατήρηση, όπως οι παρακάτω ενδεικτικοί:

ΠΗΓΗ	ΟΡΙΣΜΟΣ Γεωδιατήρησης
Legge & King (1992)	Αφορά την προστασία σημαντικών γεωλογικών θέσεων λόγω της επιστημονικής, εκπαιδευτικής, ερευνητικής, αισθητικής αξίας για τους ανθρώπους.
Stevens (1994)	Είναι η ισχυρή σύνδεση με άλλες πολιτιστικές διατηρητέες περιοχές: ασχολείται με τη διατήρηση των μέσων πνευματικής ανάπτυξης. Η γεωδιατήρηση ασχολείται με τις δυο πτυχές της χρήσης της γεωλογικής κληρονομιάς, την κατανόηση των εννοιών για να μπορούν να υπάρχουν και στο

Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ	μέλλον και την αισθητική αξία της κληρονομιάς.
Kiernan (1997)	Η γεωδιατήρηση αφορά την στρατηγική διαχείριση της Γης για τη διαφύλαξη των γεω-επιστημονικών φαινομένων
Sharples (2002)	Είναι η διατήρηση της γεωποικιλότητας για τις εγγενείς, οικολογικές και γεωκληρονομικές αξίες της
Prosser (2002)	Είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται ευρέως και διεθνώς για το σύνολο της γεωλογικής/γεωμορφολογικής διατήρησης

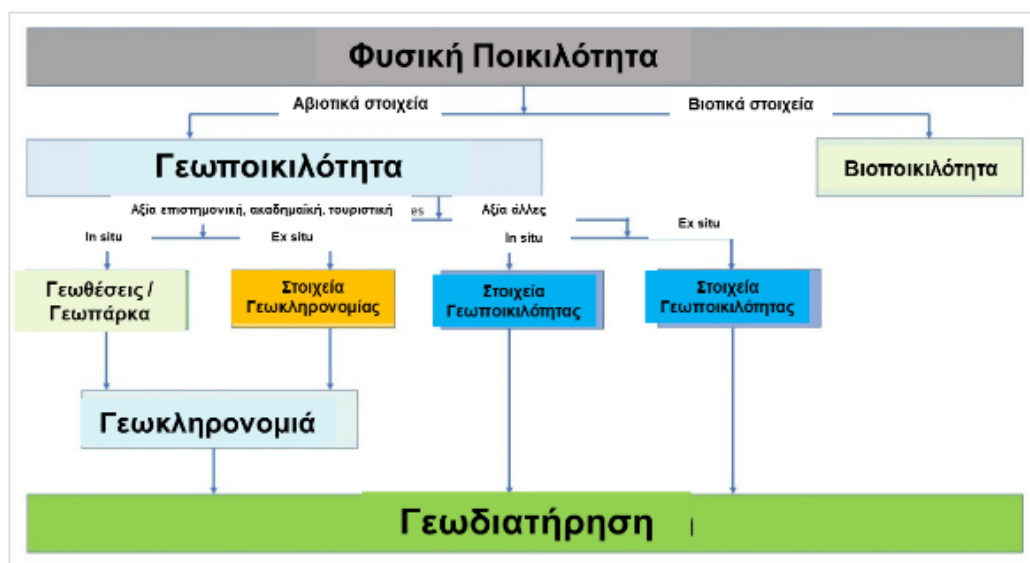
Έτσι, η γεωδιατήρηση αναφέρεται στο σύνολο των ενεργειών που αποσκοπούν στη διαχείριση, την προστασία και τη διατήρηση της γεωποικιλότητας, της ποικιλίας δηλαδή των στοιχείων του γεωπεριβάλλοντος που βρίσκονται σε μία περιοχή. Έχει ως στόχο την προστασία, την διαχείριση και την προώθηση των γεωθέσεων και της γεωποικιλότητας (Miguel et al., 2021). Η γεωδιατήρηση συνδυάζει τόσο την διατήρηση της γεωποικιλότητας και βιοποικιλότητας όσο και τη διατήρηση της γεωλογικής κληρονομιάς, γιατί αποτελεί μαρτυρία της γεωλογικής ιστορίας ενός τόπου ή και ολόκληρης της Γης αλλά και λόγω της αξίας της για εκπαιδευτικούς, ερευνητικούς-επιστημονικούς σκοπούς και αναψυχής. Ο βασικός σκοπός της γεωδιατήρησης είναι να διατηρηθούν τα φυσικά και πολιτιστικά στοιχεία της γεωλογικής κληρονομιάς ενός τόπου. Συγκεκριμένα η ιδέα της γεωδιατήρησης αποβλέπει στη διατήρηση των θέσεων όπου συναντώνται τα στοιχεία γεωλογικού ενδιαφέροντος, τα ιστορικά αρχεία φυσικής και ανθρώπινης προέλευσης όπως έντυπα και χάρτες αλλά και οι συλλογές ορυκτών, πετρωμάτων και απολιθωμάτων.

Από τα παραπάνω συνάγεται, ότι η ιδέα της γεωδιατήρησης έχει μια πολιτιστική χροιά για τη διατήρηση της γεωλογικής και γεωμορφολογικής κληρονομιάς. Σε άλλες χώρες η ιδέα της γεωδιατήρησης είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη και η προστασία της γεωποικιλότητας εμφανίζεται ολοένα και περισσότερο σε ζητήματα που σχετίζονται με τη διατήρηση της φύσης. Κατά τον 20^ο αιώνα υπήρχαν δύο προσεγγίσεις – αυτή της διατήρησης και εκείνη της συντήρησης. Οι υποστηρικτές της πρώτης επεδίωκαν τη θέσπιση κανόνων για τη ρύθμιση της χρήσης των φυσικών πόρων από τον άνθρωπο, ενώ οι υπέρμαχοι της συντήρησης τον περιορισμό της ανθρώπινης επίδρασης στο φυσικό περιβάλλον. Πάρα ταύτα, υπάρχουν περιπτώσεις, στις οποίες οι έννοιες της διατήρησης και της συντήρησης ταυτίζονται.

Επί της ουσίας, η διαφορά της διατήρησης από την συντήρησης στο φυσικό περιβάλλον είναι η εξής:

- Η διατήρηση σημαίνει «ενεργητική διαχείριση ενός πόρου για να διασφαλισθεί, ότι η ποιότητά του διατηρείται». Η θεώρηση αυτή δίνει έμφαση στη διαχείριση του πόρου για να διατηρήσει τη συγκεκριμένη ποιότητα, παρά στη διατήρηση της γεωμορφής, της θέσης, ή της διαδικασίας κ.λπ. χωρίς καμία μεταβολή. Η γεωδιατήρηση, ως εκ τούτου, συνήθως περιλαμβάνει τη διαχείριση της φυσικής αλλαγής για να διατηρηθεί μια θέση ενδιαφέροντος.
- Η συντήρηση από την άλλη πλευρά, μπορεί να θεωρηθεί ως το σύνολο των ενεργειών που απαιτούνται προκειμένου να «διατηρηθεί κάτι στην ίδια κατάσταση, εμποδίζοντας την αλλαγή του», δηλαδή αφορά τη διακοπή των φυσικών λειτουργιών και δεν επιτρέπει καμία μεταβολή της κατάστασης, στην οποία βρίσκεται.

Σύμφωνα με τους Zafeiropoulos et al. (2021), προκύπτει ότι η φυσική ποικιλία (Natural diversity) περιλαμβάνει βιοτικά και αβιοτικά στοιχεία (ΕΙΚΟΝΑ 2). Τα βιοτικά στοιχεία συνθέτουν την Βιοποικιλότητα ενώ τα αβιοτικά στοιχεία την Γεωποικιλότητα. Όσον αφορά στα αβιοτικά στοιχεία και την γεωποικιλότητα, ανάλογα με την αξία κάθε στοιχείου διακρίνονται σε *in situ* και *ex situ* στοιχεία γεωποικιλότητας. Η επιστημονική, ακαδημαϊκή - έρευνα και η τουριστική αξία *in situ* δημιουργεί γεωτόπους ή γεωπάρκα, ενώ τα *ex situ* δημιουργούν ή τροφοδοτούν επιπλέον θεματικούς χώρους προβολής και αξιοποίησης της γεωκληρονομιάς, όπως είναι τα μουσεία και οι εκθέσεις. Τόσο τα *in situ* όσο και τα *ex situ* στοιχεία γεωποικιλότητας συνθέτουν τη γεωλογική κληρονομιά. Από την άλλη πλευρά, τα διάφορα γεωλογικά στοιχεία γεωποικιλότητας -είτε *in situ* είτε *ex situ*- έχουν αξία που ποικίλλει. Σε όποια κατηγορία κι αν ανήκουν τα στοιχεία γεωποικιλότητας οδηγούν στην γεωδιατήρηση.



ΕΙΚΟΝΑ 2: Σχεδιάγραμμα σύνδεσης της γεωποικιλότητας, της γεωλογικής κληρονομιάς και της γεωδιατήρησης (Zafeiropoulos et al., 2021, τροποποιημένο).

ΓΕΩΗΘΙΚΗ

Ο όρος γεωηθική (geoethics) είναι σύνθετη λέξη που προέρχεται από το πρόθεμα γεω- και τη λέξη ηθική. Το πρόθεμα γεω- που αναφέρεται στη Γαία και σημαίνει Γη, κατά τους αρχαίους Σουμέριους σήμαινε «το σπίτι, την κατοικία». Συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί, ότι αναφέρεται στον τόπο όπου οι άνθρωποι κατοικούν. Η λέξη «ηθική» είναι δισδιάστατη. Από τη μια πλευρά περιέχει την αίσθηση του ανήκειν στην κοινωνική διάσταση της ζωής και από την άλλη την έννοια που αφορά τον κάθε άνθρωπο ξεχωριστά. Οι δυο διαστάσεις του όρου καταλήγουν στο κάλεσμα του ανθρώπου να αναλάβει τις ευθύνες του απέναντι στη Γη και τον πλανήτη, γιατί η γεωηθική σημαίνει κοινωνική και ατομική ευθύνη (Bobrowsky et al., 2017; Perpoloni & Di Carua, 2014).

Η γεωηθική είναι ένα νέο επιστημονικό πεδίο, το οποίο περιλαμβάνει πολλές διαστάσεις της σχέσης των γεωεπιστημόνων με την κοινωνία και τη Γη. Η Διεθνής Ένωση για την Προώθηση της γεωηθικής (International Association for Promoting Geoethics, IAPG) αναφέρει, ότι η γεωηθική αποτελείται από την έρευνα και τον προβληματισμό πάνω σε εκείνες τις αξίες στις οποίες βασίζεται η μορφή της κατάλληλης συμπεριφοράς και

πρακτικής, στο σημείο τομής όπου οι ανθρώπινες δραστηριότητες διασταυρώνονται με τη Γεώσφαιρα.

Όπως αναφέρει η έρευνα της ομάδας των Zafeiropoulos et al. (2015), η γεωηθική εξετάζει τις πτυχές της αλληλεπίδρασης των γεωεπιστημών με την κοινωνία και το περιβάλλον. Αντιμετωπίζει τις ηθικές, κοινωνικές και πολιτιστικές επιπτώσεις της έρευνας και πρακτικής της γεωεπιστήμης σε συνεργασία με την Κοινωνιολογία και τη Φιλοσοφία, προσφέροντας στους γεωλόγους την ικανότητα να αναγνωρίσουν τον κοινωνικό τους ρόλο και τις ευθύνες τους κατά τη διάρκεια της εργασίας τους. Η γεωηθική είναι ένα εργαλείο, το οποίο αποσκοπεί στην ευαισθητοποίηση της κοινωνίας, σχετικά με τα προβλήματα που σχετίζονται με τους γεωπολιτικούς πόρους και το γεωπεριβάλλον.

Οι Peppoloni & Di Capua (2015) εξετάζουν τη γεωηθική και τονίζουν την σημασία της εκπαίδευσης και της ευαισθητοποίησης του ευρύτερου κοινού. Συγκεκριμένα αναφέρουν, ότι η γεωλογική κουλτούρα και η γεωηθική μπορούν να ενισχύσουν τους δεσμούς μεταξύ των ανθρώπων και της περιοχής τους. Δηλαδή, λόγω των αναμνήσεων τους από τον τόπο καταγωγής τους, οι κάτοικοι μιας περιοχής θα αισθάνονται περισσότερο την ανάγκη να προστατεύουν τη γεωλογική της κληρονομιά. Επιπλέον, μέσω της εκπαίδευσης, μπορούν να διαβιβαστούν καλύτερα στην ευρύτερη κοινωνία περιβαλλοντικά ζητήματα που υπάρχουν ή μπορούν να προκύψουν και να γίνει αναφορά στη βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων, όπως και στις συνέπειες της καταστροφής της γεωλογικής κληρονομιάς.

Τα τρία στοιχεία που θεμελιώνουν τη γεωηθική είναι (Peppoloni et al., 2019):

- η σημασία του γεωλογικού πολιτισμού ως ουσιαστικού μέρους του υποβάθρου του γεωεπιστήμονα
- η έννοια της ευθύνης (τόσο ατομικής όσο και κοινωνικής)
- ο ορισμός ενός ηθικού κριτηρίου, βάσει του οποίου καθοδηγείται η συμπεριφορά και οι πρακτικές στις γεωεπιστήμες

Αν και οι γεωεπιστήμονες τείνουν να ενσωματώνουν την έννοια της γεωηθικής στην έρευνά τους, εξετάζοντας ηθικά και κοινωνικά ζητήματα, η γεωηθική συνεχίζει να αποτελεί ένα αναδυόμενο πολύπλοκο και ελάχιστα γνωστό πεδίο των γεωεπιστημών (DeMiguel et al., 2021). Αντίστοιχα, η γεωλογική κληρονομιά αποτελεί πρόκληση στην απόδειξη γεωηθικών αξιών, που εμπλέκονται στη διαχείριση *in situ* στοιχείων (γεώτοποι) και *ex situ* στοιχείων (απολιθώματα, ορυκτά, πετρώματα), προκειμένου να διασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητά τους (Peppoloni & Di Capua 2020, Manni 2012).

ΓΕΩΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Η γεωεκπαίδευση (geoeducation) αποτελεί μια μορφή εκπαίδευσης, η οποία εστιάζει στις γεωεπιστήμες και εξελίχθηκε σε ερευνητικό πεδίο λόγω της κοινωνικοοικονομικής της διάστασης (Bollati et al., 2012). Οι γεωεπιστήμες όμως δεν είναι τόσο δημοφιλείς ούτε εύκολα προσβάσιμες από το ευρύ κοινό. Σύμφωνα με τους Wang et al. (2019), η έλλειψη εκπαίδευσης μπορεί να αποτελέσει μια από τις μεγαλύτερες απειλές για τη γεωκληρονομιά. Για να είναι δυνατή η επίλυση ενός τέτοιου μείζονος σημασίας προβλήματος, θα πρέπει να αναπτυχθεί η ευαισθητοποίηση του κοινού για την αξία της γεωκληρονομιάς μέσω της γεωεκπαίδευσης (π.χ. Gray 2008, Loon 2008). Εξάλλου, ο όρος γεωεκπαίδευση περιγράφει την εκπαίδευση για τον κόσμο. Η ολοκληρωμένη γεωεκπαίδευση παρέχει στους νέους μια θεμελιώδη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί ο άνθρωπος και ο φυσικός

ΓΕΩΤΟΥΡΙΣΜΟΣ

Ο γεωτουρισμός (geotourism) είναι μια μορφή τουρισμού που διατηρεί και ενισχύει την ταυτότητα μιας περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωλογία, το περιβάλλον, τον πολιτισμό, την αισθητική, την κληρονομιά και την ευημερία των κατοίκων της.

Ένας πιο ολοκληρωμένος ορισμός σύμφωνα με τους Newsome & Dowling (2010) είναι, πως ο γεωτουρισμός είναι μια μορφή τουρισμού σε φυσική περιοχή, ο οποίος εστιάζει ειδικά στη γεωλογία και το τοπίο. Ο γεωτουρισμός είναι το μέσο για την εκτίμηση της γεωποικιλότητας, της κατανόησης της γεωλογικής κληρονομιάς και της ενίσχυσης της γεωδιατήρησης (Dowling, 2013). Προωθεί τον τουρισμό στους γεωτόπους, τη διατήρηση της γεωποικιλότητας και την κατανόηση των επιστημών της Γης, μέσω της εκτίμησης και της μάθησης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ανεξάρτητων επισκέψεων σε θέσεις με ιδιαίτερα γεωλογικά χαρακτηριστικά, με την ανάπτυξη γεωδιαδρομών και σημείων θέασης, ξεναγήσεων, γεωγραφικών δραστηριοτήτων και την υποστήριξη κέντρων επισκεπτών.

Η έννοια του γεωτουρισμού και της γεωεκπαίδευσης είναι στενά συνδεδεμένες και αλληλεξαρτώμενες. Η ορθολογική γεωτουριστική ανάπτυξη, πέρα από τις κατάλληλες υποδομές και μέτρα ασφαλείας, μπορεί να καταστήσει τους γεωεκπαιδευτικούς πόρους πιο προσβάσιμους και χρηστικούς για περισσότερους επισκέπτες. Η γεωεκπαίδευση αποτελεί έναν από τους ακρογωνιαίους λίθους του γεωτουρισμού και βοηθά στην εκτίμηση των επιστημονικών, πολιτιστικών και άλλων αξιών της γεωποικιλότητας και της γεωλογικής κληρονομιάς. Η σωστή ερμηνεία της γεωποικιλότητας και ο καθορισμός των δεσμών της με στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς μπορεί να φέρει τις επιστήμες της Γης πιο κοντά στο κοινό, μπορεί να βοηθήσει στην αιεφόρο χρήση της γεωλογικής κληρονομιάς για τουριστικούς σκοπούς και να συμβάλει στην εφαρμογή μέτρων γεωδιατήρησης (Kubalíková et al., 2021).

ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ

Ο όρος πολιτισμός αναφέρεται στην συγκέντρωση πλούτου υλικών ή άυλων αγαθών, τα οποία η κοινωνία κληρονομεί από το παρελθόν και μέσω του παρόντος τα μεταβιβάζει στο μέλλον. Περιλαμβάνει συνήθειες, πρακτικές, νοοτροπίες, συμπεριφορές και αντιλήψεις μιας κοινωνίας ή μιας κοινωνικής ομάδας, που συνθέτουν ένα σύστημα σημασιών και αξιών. Με στόχο να δοθεί έμφαση σε ζητήματα διάσωσης, διαφύλαξης και αξιοποίησης του «πολιτιστικού αποθέματος», στις σύγχρονες κοινωνίες έχει επικρατήσει ο όρος «πολιτιστική κληρονομιά» (heritage, cultural heritage). Στη διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται ευρέως οι όροι cultural heritage και, με μικρότερη συχνότητα, cultural property και inheritance, που αναφέρονται στην «πολιτιστική κληρονομιά» με την έννοια που χρησιμοποιείται στην ελληνική γλώσσα (Οικονόμου, 2019).

Η πολιτιστική κληρονομιά για την Ελλάδα σύμφωνα με τον Ν.3028/2002 «Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής κληρονομιάς», αποτελείται από τα πολιτιστικά αγαθά που βρίσκονται εντός των ορίων της ελληνικής επικράτειας, συμπεριλαμβανομένων των χωρικών υδάτων, καθώς και εντός άλλων θαλάσσιων ζωνών στις

οποίες η Ελλάδα ασκεί σχετική δικαιοδοσία, σύμφωνα με το διεθνές δίκαιο. Η πολιτιστική κληρονομιά περιλαμβάνει και τα άυλα πολιτιστικά αγαθά. Ως πολιτιστικά αγαθά χαρακτηρίζονται οι μαρτυρίες της ύπαρξης και της ατομικής και συλλογικής δραστηριότητας του ανθρώπου (μνημεία, αντικείμενα, αρχαιολογικοί χώροι, ιστορικοί τόποι κ.α.). Ως άυλα πολιτιστικά αγαθά χαρακτηρίζονται οι εκφράσεις, δραστηριότητες, γνώσεις και πληροφορίες, όπως μύθοι, έθιμα, προφορικές παραδόσεις χοροί, δρώμενα, μουσική τραγούδια, δεξιότητες ή τεχνικές που αποτελούν μαρτυρίες του παραδοσιακού, λαϊκού και λόγιου πολιτισμού.

Ο όρος «γεωλογική κληρονομιά» δίνει έμφαση στα πετρώματα και τα απολιθώματα, καθώς και το ανάγλυφο που δημιουργείται από φυσικές διαδικασίες κατά τη διάρκεια μεγάλων διαστημάτων της γεωλογικής εξέλιξης, και είναι συχνά αλληλένδετος με την πολιτιστική κληρονομιά. Έτσι, πολλές περιοχές ή θέσεις που έχουν εκτιμηθεί για τις αξίες της γεωλογικής τους κληρονομιάς, μπορεί να φέρουν και αξίες πολιτιστικής κληρονομιάς. Η πολιτιστική σημασία μιας τέτοια θέσης ή περιοχής μπορεί να είναι άυλη ή υλική και να περιλαμβάνει πνευματική (θρησκευτική) αξία, να συνδέεται με θρύλους, διάσημες προσωπικότητες και ιστορικά γεγονότα, όπως μάχες ή συναντήσεις, με αρχιτεκτονική κληρονομιά, τυπικές αμυντικές κατασκευές, ιερά και ναούς, τάφους, ολόκληρους οικισμούς ή πρώην εξορυκτικές περιοχές (Pijet-Migón & Migón, 2022).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα με πολιτιστική και γεωλογική αξία είναι τα σπήλαια. Τα σπήλαια πέρα από γεωλογική κληρονομιά, σε αρκετές περιπτώσεις τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και σε τοπικό επίπεδο έχουν και πολιτιστική αξία, λόγω π.χ. των τοιχογραφιών που μπορεί να υπάρχουν ή αναφορών για χρήση τους ως κρησφύγετα ή ως θρησκευτικοί χώροι.

Στον Ελληνικό Χώρο για παράδειγμα, το σπήλαιο του Περάματος στα Ιωάννινα, είναι γεωλογικά συνδεδεμένο με την παρουσία και την εξέλιξη της λίμνης Παμβώτιδας, ενώ σε σύγχρονες αναφορές της ύπαρξης του σπηλαίου σημειώνεται και η χρήση του από τους κατοίκους της περιοχής ως καταφύγιο κατά τους βομβαρδισμούς του Β' Παγκοσμίου πολέμου (URL 01).

Επίσης, το λιμνοσπήλαιο της Μελισσάνης στην Κεφαλονιά, χαρακτηρίζεται από το μοναδικό γεωλογικό φαινόμενο της δημιουργίας του, με την ανάπτυξη μια φυσικής κατακόρυφης εισόδου, λόγω της πτώσης της οροφής. Η λίμνη βρίσκεται 20m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, έχει μήκος 160m περίπου και το νερό έχει βάθος έως 40m. Οι σταλακτίτες είναι ηλικίας 20.000 χρόνων με περίεργα σχήματα να στολίζουν το μεγαλύτερο τμήμα του σπηλαίου. Η πολιτιστική του αξία έγκειται στο μικρό νησάκι που βρίσκεται στο κέντρο της λίμνης, πάνω στο οποίο βρέθηκαν ευρήματα που πιστοποιούν τη λατρευτική λειτουργία του σπηλαίου. Κατά την αρχαιότητα, οι προϊστορικοί κάτοικοι λάτρευαν τον Θεό Πάνα και την παρουσία γυναικείων μορφών, τις γνωστές Νύμφες (URL 02). Γι' αυτόν το λόγο το σπήλαιο Μελισσάνη ονομάζεται και Σπήλαιο των Νυμφών. Συνεπώς γίνεται αντιληπτή η μεικτή αξία κληρονομιάς του σπηλαίου.

Τα λατομεία και τα ορυχεία, ακόμα και τα τεχνικά πρανή στην οδοποιία, προσφέρουν πληροφορίες για τη δομή της βραχώμαζας, τη φύση του πετρώματος και την τεκτονική της περιοχής. Αποτελούν πληροφορίες που θα ήταν πολύ δύσκολο να προκύψουν με διαφορετικό τρόπο. Η χρήση των ορυκτών πόρων αποτελεί ένα ακόμα θέμα της σχέσης ανάμεσα στη γεωλογική και πολιτιστική κληρονομιά. Το σημείο τομής των δυο είναι η επιτόπου

εκμετάλλευση των πόρων (ορυχεία, λατομεία, άλλες τοποθεσίες εξόρυξης), αλλά και η χρήση τελικά των πετρωμάτων και υλικών που ανακτήθηκαν, τα μέσα μεταφοράς και ο τελικός προορισμός τους. Επιπλέον, τα εγκαταλελειμμένα ή ανενεργά λατομεία θεωρούνται γεώτοποι (Pijet-Migón & Migón, 2022). Η πολιτιστική τους αξία αντικατοπτρίζεται στις μηχανικές και εργασιακές επιλογές και δυνατότητες των λατόμων και των μεταλλωρύχων. Συχνά, για την πιο εύκολη εξόρυξη, ακολουθούσαν συγκεκριμένες δομές του πετρώματος, όπως ρωγμές, διακλάσεις, στρώσεις, φυσικά κεκλιμένα επίπεδα. Γενικά, οι αρχαίοι λατόμοι προτιμούσαν δομές που μπορούσαν να εκμεταλλευτούν στο μέγιστο βαθμό τις δυνατότητες του βράχου για μεγαλύτερη ευκολία (Μέλφος, 2009) και να ελαχιστοποιήσουν τις δαπάνες, ώστε να μεγιστοποιήσουν την αποτελεσματικότητά τους και το κέρδος τους (Pérez-Aguilar et al., 2013).

Ένα καταστροφικό φυσικό - γεωλογικό γεγονός συνδέεται άμεσα με την ανατροπή της καθημερινής ζωής των ανθρώπων άρα κατ' επέκταση με την πολιτιστική του κληρονομιά. Οι τοποθεσίες στις οποίες η καθημερινή ζωή στην αρχαιότητα διακόπηκε ξαφνικά από φυσικά γεγονότα όπως ηφαιστειακές εκρήξεις, συμπεριλαμβανομένων ροών λάβας, πυροκλαστικών αποθέσεων ή σεισμών, εάν αποκαλυφθούν, γίνονται παράθυρα στο παρελθόν και φανερώνουν περίπλοκες σχέσεις μεταξύ ανθρώπων και φύσης, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για γεωεκπαίδευση και γεωτουρισμό.

Ένα πάρα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα του ελληνικού χώρου, το οποίο ανέτρεψε την καθημερινότητα των ανθρώπων της αρχαιότητας, αποτελεί η Μινωική έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης περίπου το 1630 π.Χ., μια εποχή που στο νησί άκμαζε μια κοινωνία με σπουδαίο πολιτισμό. Η Μινωική έκρηξη άρχισε μια έντονη σεισμική δραστηριότητα, η οποία παρουσιαζόταν αρκετούς μήνες πριν την έκρηξη και δυσκόλευε τη ζωή στο νησί. Οι κάτοικοι προσπαθούσαν να εγκαταλείψουν την κατεστραμμένη πόλη μεταφέροντας νεκρούς, τραυματίες και ό,τι πολύτιμο είχαν. Κάποιοι ίσως να πρόλαβαν να φύγουν πριν την έκρηξη, η οποία είχε αρχίσει να δίνει σημάδια λόγω των μικρών εκρήξεων που σημειώνονταν στις τότε Καμένες. Βέβαια το πιθανότερο σενάριο είναι, η έκρηξη να τους πρόλαβε πάνω στο νησί σε ανοιχτά μέρη ή πολύ κοντά στο λιμάνι, καθώς προσπαθούσαν να αποπλεύσουν. Αποτέλεσμα αυτής της φυσικής καταστροφής είναι η δημιουργία της σημερινής καλδέρας της Σαντορίνης. Το φαινόμενο αυτό δεν επηρέασε μόνο το νησί, αλλά είχε μεγάλη επίδραση σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ηφαιστειακή στάχτη ταξίδεψε στον αέρα προς τα ανατολικά σε όλη τη ανατολική Μεσόγειο και Μικρά Ασία. Απόθεσε στρώμα 30cm πάχους στη Ρόδο και τη Κω. Σε λίμνες της Μικράς Ασίας απόθεσε στρώματα πάχους 15cm. Η πολύ λεπτή στάχτη και τα σταγονίδια θειικού οξέος εισήλθαν στη στρατόσφαιρα (ύψος 15Km) και άπλωσαν ένα πέπλο σε όλον τον πλανήτη. Ο «ηφαιστειακός χειμώνας» που προκάλεσε μείωση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1 ως 2°C, έχει καταγραφεί στους δακτυλίους των δέντρων της Μικράς Ασίας και των ΗΠΑ. Τέλος, η κατακρήμνιση του ηφαιστείου προκάλεσε ένα τεράστιο τσουνάμι που σάρωσε τις ακτές του Αιγαίου και τα παράλια της ανατολικής Μεσογείου (Βουγιουκαλάκης, 2005). Η ηφαιστειακή τέφρα κάλυψε τους οικισμούς της ύστερης εποχής του Χαλκού και τα μετέτρεψε σε ερείπια από τη σεισμική δράση. Συνεπώς, τα προστάτεψε από τη διάβρωση και τη σύληση. Στον προϊστορικό οικισμό Ακρωτηρίου αποκαλύφθηκαν ευρήματα του λαμπρού πολιτισμού. Η ύπαρξη προϊστορικών οικισμών ήταν γνωστή από τον 19^ο αιώνα, αλλά επιλέχθηκε να ξεκινήσει η ανασκαφή το 1968, με στόχο να συλλεχθούν αποδείξεις για την υπόθεση, ότι η κατάρρευση του Μινωικού πολιτισμού οφείλεται στην έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης (Βουγιουκαλάκης, 2005).

Με το συγκεκριμένο παράδειγμα, γίνεται σαφής η άμεση σχέση της γεωλογικής με τη πολιτιστική κληρονομιά από τη αρχαιότητα έως σήμερα.

Όσο σπουδαία για την κοινωνία είναι η πολιτιστική κληρονομιά, τόσο είναι και η γεωλογική - γεωμορφολογική κληρονομιά, εφόσον η μορφολογία του εδάφους και η γεωλογία της εκάστοτε περιοχής κατέχει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της κοινωνίας και του πολιτισμού. Στις παλαιότερες ελληνικές κοινωνίες, τα παραμύθια, οι μύθοι και οι παροιμίες έδιναν απαντήσεις σε ερωτήματα που αφορούσαν στο κλίμα, την ιστορία, τη γεωγραφία, τη μορφολογία του κάθε τόπου και πλέον θεωρούνται παράδοση. Όλες αυτές οι άγραφες παραδόσεις που υπήρχαν και όσες συνεχίζουν να υπάρχουν, είναι αναπόσπαστο κομμάτι του ελληνικού λαού (ασχέτως της αλήθειας που περιέχουν) και παρέχουν αξιόλογες πληροφορίες (Δαμιανός, 2013).

Η στενή σχέση μεταξύ των Μύθων, της Γεωγραφίας και της Γεωλογίας μιας περιοχής θα μπορούσε να είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα της ελληνικής μυθολογίας και του ελληνικού τοπίου. Η σχέση αυτή επηρέασε σε τέτοιο βαθμό τους ανθρώπους, ώστε να την καταγράψουν στην πρώιμη ιστορία τους. Σε μερικές περιπτώσεις, στη σχέση μύθου και τοπίου ή των υδρολογικών συνθηκών ή της φυσικογεωλογικής εξέλιξης ενός ποταμού, είναι άξιο απορίας το βάθος της γνώσης όσων τα περιέγραφαν, καθώς και η λεπτομέρεια των φυσικογεωγραφικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών και διεργασιών, ώστε από την παλιά εποχή να φτάσουν ως παράδοση μέχρι σήμερα. Ένα παράδειγμα αυτής της σύνδεσης είναι ο μύθος του Ηρακλή και της Λερναίας Ύδρας. Ο μύθος συνδέεται άμεσα με τις υδρογεωλογικές συνθήκες των καρστικών πηγών της Λέρνης¹ και με της μικρότερης κλίμακας κλιματικές μεταβολές που παρατηρούνταν στο Αρκαδικό Οροπέδιο (Μαριολάκος, 2018).

2.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

Οι γεώτοποι αποτελούν τοποθεσίες του γεωπεριβάλλοντος, οι οποίες περιέχουν στοιχεία που μαρτυρούν τα γεωλογικά φαινόμενα και τις διεργασίες της περιοχής όπου εντοπίζονται. Λόγω των χαρακτηριστικών του αναγλύφου, οι γεώτοποι συνδέονται με την τοπική ιστορία, τη μυθολογία, τη λαογραφία και γενικότερα τον πολιτισμό των κατοίκων της περιοχής. Κύριος παράγοντας σύνδεσης είναι η «αρχή του αμετάθετου» αυτών των θέσεων, συνεπώς κάποιοι αποτελούν τοπόσημο της περιοχής και πόλο έλξης για τους επισκέπτες. (Δαμιανός, 2013).

Λόγω της αξίας των στοιχείων της γεωλογικής κληρονομιάς, κρίνεται μείζονος σημασίας η διαχείριση της γεωλογικής – γεωμορφολογικής κληρονομιάς. Τα στάδια της διαχείρισης εξαρτώνται από τη κλίμακα αναφοράς και το είδος της (Brocx & Semeniuk 2007, Benado 2018). Πιο αναλυτικά, τα στάδια της διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιά είναι τα ακόλουθα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Zouros 2004, Zouros 2005, Theodosiou 2010, Zouros & Valiakos 2010, Burlando et al. 2011, Βαλιάκος 2018):

1. **Έρευνα:** αφορά στην έρευνα πεδίου για τον εντοπισμό των θέσεων ενδιαφέροντος.

¹Η Λέρνη ή Λέρνα είναι αρχαία παραθαλάσσια τοποθεσία της Αργολίδας, περίπου 7 Km. νότια του Άργους.

2. **Αναγνώριση:** εφόσον εντοπιστούν οι θέσεις ενδιαφέροντος, στη συνέχεια αναγνωρίζονται και χαρακτηρίζονται ως γεώτοποι. Δε χαρακτηρίζονται όλες οι περιοχές ως γεώτοποι. Μέσω της έρευνας στο πεδίο, θα βρεθούν οι θέσεις που δίνουν συγκεκριμένα γεωλογικά στοιχεία και φανερώνουν τη γεωλογική ιστορία της εκάστοτε περιοχής. Αυτές οι θέσεις χαρακτηρίζονται ως γεώτοποι.
3. **Καταγραφή - Χαρτογράφηση:** είναι δύο αλληλένδετες ενέργειες, κατά τις οποίες καταγράφεται αναλυτικά και με λεπτομέρεια η θέση ενδιαφέροντος και στη συνέχεια χαρτογραφείται, ώστε να δοθούν τα σαφή και καθορισμένα όριά της. Αποτελούν κύριο μέρος της διαχείρισης, η οποία απαιτεί την οριοθέτηση των θέσεων, ώστε να είναι χωρικά γνωστή η θέση, στην οποία βρίσκεται το σημείο ενδιαφέροντος.
Η χαρτογράφηση δίνει τα όρια της θέσης ώστε να εφαρμοστούν τα κατάλληλα μέτρα διαχείρισης. Επίσης, στο συγκεκριμένο στάδιο τίθεται το ζήτημα της κλίμακας, γιατί οι ανάγκες κάθε θέσης είναι διαφορετικές. Για παράδειγμα, άλλες απαιτήσεις έχει η χαρτογράφηση ενός ηφαιστειακού οικοδομήματος μεγάλης έκτασης (χιλιομέτρων) και διαφορετικές αυτές της χαρτογράφησης μιας θέσης της τάξης κάποιων μέτρων, όπως ενός απολιθωμένου κορμού. Συνεπώς, χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνικές και καταγράφονται άλλες λεπτομέρειες σε κάθε περίπτωση.
4. **Αξιολόγηση:** οι θέσεις ενδιαφέροντος αξιολογούνται, γιατί δεν έχουν όλες την ίδια βαρύτητα ως προς τα στοιχεία που προσφέρουν. Διακρίνονται σε α) θέσεις προτεραιότητας, β) θέσεις ενδιαφέροντος, χωρίς να αποτελούν προτεραιότητα και γ) θέσεις χωρίς προτεραιότητα, εννοώντας, ότι αντίστοιχες θέσεις συναντώνται συχνά ή έχουν περιορισμένη αξία.
5. **Προσδιορισμός κατάστασης διατήρησης – Ανάγκη προστασίας και συντήρησης** της θέσης, γιατί στόχος της διαχείρισης είναι η διατήρηση της θέσης και των φυσικών χαρακτηριστικών της, ώστε η εικόνα που έχει σήμερα, μέσα από το πέρασμα του χρόνου, να μπορεί να διατηρηθεί και στο μέλλον.
6. **Σχεδιασμός μέτρων προστασίας:** αποτελεί το στάδιο μετά τον προσδιορισμό των αναγκών, οπότε σχεδιάζονται τα απαραίτητα μέτρα προστασίας, τόσο για την προστασία και συντήρηση όσο και την αξιοποίηση αυτών της γεωκληρονομιάς. Φανερώνει τις αδυναμίες και τις δυσκολίες κάθε θέσης, αναδεικνύοντας τα απαραίτητα μέτρα προστασίας απέναντι σε ανθρωπογενείς και φυσικούς παράγοντες.
7. **Σχεδιασμός προγράμματος συντήρησης:** καθορισμός ενεργειών που απαιτούνται, οι οποίες μπορεί να έχουν πολύ μεγάλο εύρος. Για παράδειγμα τα κερματισμένα απολιθώματα χρήζουν συγκεκριμένου τύπου συντήρησης, ενώ πολύ διαφορετική είναι η περίπτωση ενός πρανούς με διακλάσεις, στο οποίο τείνουν να δημιουργηθούν τεμάχη-σφήνες που κινδυνεύουν να αποκολληθούν. Συνεπώς, θα πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα και δράσεις, επιλέγοντας θέσεις και τρόπους επέμβασης που θα προκαλέσουν την μικρότερη δυνατή αλλοίωση.
8. **Ερμηνεία:** περιγράφεται το αντικείμενο ή η θέση παρατήρησης και προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά του/της.
9. **Μέτρα ανάδειξης – Δημιουργία έργων πρόσβασης και υπαίθριων πάρκων:** οι θέσεις δεν είναι πάντα προσιτές. Απαιτείται κάποιες φορές να αναπτυχθούν συστήματα μονοπατιών ή/και δημιουργία ανοιχτών πάρκων, ώστε να είναι δυνατή η επίσκεψη στις θέσεις αυτές και να επιτυγχάνεται η προστασία και η ανάδειξή τους.
10. **Περιβαλλοντική εκπαίδευση – ευαισθητοποίηση πολιτών:** πρωταρχικός στόχος είναι τα σχολεία πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, μέσω της

περιβαλλοντικής εκπαίδευσης, καθώς και οι εκπαιδευτικές επισκέψεις των φοιτητών (για την Ελλάδα, κυρίως των Τμημάτων Γεωλογίας, Γεωγραφίας, Βιολογίας, Δασολογίας κ.α.). Η ευαισθητοποίηση των πολιτών είναι εξίσου βασικό στάδιο της διαχείρισης, γιατί αν δεν είναι κατανοητή από το ευρύ κοινό η σπουδαιότητα και η σημασία της γεωκληρονομιάς δεν έχουν νόημα και σημασία όλες οι προηγούμενες διαδικασίες και κυρίως η διατήρηση. Άρα η ευαισθητοποίηση του κοινού αποτελεί μείζονος σημασίας στάδιο για όλη τη διαδικασία της διαχείρισης.

11. **Προβολή:** στοχεύει στην ανάδειξη και γνωστοποίηση της γεωκληρονομιάς.

12. **Παρακολούθηση:** η λήψη μέτρων προστασίας, συντήρησης, ανάδειξης δεν είναι πάντα ικανά να προλαμβάνουν όλα τα συμβάντα όταν βρίσκονται εκτεθειμένα σε φυσικές διεργασίες. Από την άλλη πλευρά, ακόμα και τα μέτρα που ελήφθησαν μπορεί τελικά να μην είναι αποτελεσματικά, ασχέτως με τις αρχικές εκτιμήσεις. Άρα το στάδιο της παρακολούθησης αφορά τόσο τη διαχρονική παρατήρηση των αντικειμένων και θέσεων ενδιαφέροντος όσο και τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων που εφαρμόστηκαν στις θέσεις ενδιαφέροντος.

Για τη διαχείριση της γεωποικιλότητας στα Παγκόσμια Γεωπάρκα UNESCO εφαρμόζονται και προβάλλονται καινοτόμες μεθοδολογίες για τη διατήρηση και την ανάδειξη της γεωλογικής κληρονομιάς. Περιλαμβάνουν την εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης και δράσεων, το οποίο εμπεριέχει δραστηριότητες ανάδειξης, προστασίας, συντήρησης, ερμηνείας, γεωεκπαίδευσης, γεωτουρισμού και βιώσιμης τοπικής ανάπτυξης. Η γεωδιατήρηση στα γεωπάρκα είναι η διατήρηση και προστασία των γεωτόπων, που αποτελούν τις βασικές μονάδες της γεωλογικής κληρονομιάς με διεθνή σημασία, μέσω της εφαρμογής διαδικασιών αναγνώρισης, οριοθέτησης και χαρτογράφησης, αξιολόγησης, προστασίας, συντήρησης, και συνεχούς παρακολούθησης. Η γεωδιατήρηση στοχεύει στη διατήρηση της φυσικής ποικιλομορφίας σημαντικών γεωλογικών, γεωμορφολογικών και εδαφικών χαρακτηριστικών και των φυσικών διεργασιών δημιουργίας τους, καθώς και στη διατήρηση των φυσικών ποσοστών και μεγεθών μεταβολής σε αυτά τα χαρακτηριστικά και τις διεργασίες.

Με βάση τις προδιαγραφές της UNESCO, ο στρατηγικός σχεδιασμός διαχείρισης ενός γεωπάρκου, το οποίο περικλείει εξ' ορισμού σημαντικές γεωμορφές και ευρήματα, περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Έρευνα / ανασκαφή / καταγραφή / τεκμηρίωση ευρημάτων – γεωλογικών διεργασιών – δημιουργίας του
- Προστασία / συντήρηση / ανάδειξη θέσεων ή αντικειμένων
- Εκθεσιακή παρουσίαση
- Ερμηνεία θέσεων ή αντικειμένων
- Ευαισθητοποίηση του κοινού / ενημέρωση / επικοινωνία / προβολή
- Εκπαιδευτικές δράσεις / δράσεις τουρισμού ή πολιτισμού
- Συνεργασία με τοπικές επιχειρήσεις / ανάδειξη τοπικών - προϊόντων
- Συνεργασία με φορείς στην Ελλάδα / Διεθνείς συνεργασίες
- Αξιολόγηση

Εστιάζοντας σε μεγάλης χαρτογραφικής κλίμακας γεωλογική κληρονομιά, όπως, ενδεικτικά, απολίθωματα, πετρώματα και ορυκτά ή τεκτονικά στοιχεία που φανερώνουν μια φάση της γεωλογικής ιστορίας της περιοχής εύρεσης, η διαχείριση περιλαμβάνει τα εξής:

- Έρευνα / καταγραφή / χαρτογράφηση-σάρωση / συλλογή
- Μελέτη ευρημάτων
- Προστασία / συντήρηση / ανάδειξη ευρημάτων – αλλά και των θέσεων εύρεσης
- Ερμηνεία ευρημάτων – ως προς τη σημασία τους για την κατανόηση του παλαιοπεριβάλλοντος και της παλαιογεωγραφίας της περιοχής
- Δημοσιοποίηση ερευνητικών αποτελεσμάτων / επιστημονική διακίνηση μέσω συνεδρίων / απόδοση στο κοινωνικό σύνολο μέσω παρουσιάσεων / εκθέσεων / εκπαιδευτικών δράσεων

Στηριζόμενη στη βιβλιογραφία (Zouros, 2004; Zouros, 2005; Theodosiou, 2010; Zouros & Valiakos, 2010; Burlando et al. 2011; Δαμιανός, 2013, Βαλιάκος, 2018) αλλά και την ανάγκη Zouros 2004, Zouros 2005, Theodosiou 2010, Zouros & Valiakos 2010, Burlando et al. 2011, Βαλιάκος 2018 στο πλαίσιο της διατριβής, για έναν ενιαίο οδηγό σταδίων διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς σε όλες τις κλίμακες ορίστηκαν τα ακόλουθα στάδια διαχείρισης. Τα στάδια διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς ώστε να καλύπτουν όλες τις κλίμακες και να μπορούν να αξιολογηθούν ως προς τους τύπους της Τηλεπισκόπησης είναι τα ακόλουθα:

- **Εντοπισμός:** Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την έρευνα, την ανασκαφή θέσεων ενδιαφέροντος
- **Οριοθέτηση:** Χωρικός περιορισμός θέσης μελέτης ή θέσης εύρεσης αντικειμένου μελέτης
- **Χαρτογράφηση – Καταγραφή/Σάρωση:** Αναλυτική καταγραφή της θέσης ενδιαφέροντος και στη συνέχεια χαρτογράφηση, ώστε να προσδιοριστεί η ακριβής θέση σε κλίμακες μεσαίες και μικρές/ Σάρωση σε μεγάλες κλίμακες με στόχο την λήψη γεωμετρικών και φυσικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων
- **Ερμηνεία:** Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών ως προς τη σημασία τους για την κατανόηση του παλαιοπεριβάλλοντος και της παλαιογεωγραφίας της περιοχής που συναντώνται, αλλά και μελέτη των φυσικών χαρακτηριστικών τους, π.χ. απολίθωμα: ποιο είναι, ταξινόμηση του, συνθήκες ταφής κ.τ.λ. πέτρωμα: ποιο είναι, από ποια ορυκτά αποτελείται
- **Προστασία:** συντήρηση και προσδιορισμός μέτρων προστασίας
- **Παρακολούθηση:** τόσο της διαχρονικής εξέτασης του υπό μελέτη στοιχείου όσο και του ελέγχου της αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας που έχουν εφαρμοστεί
- **Μέτρα ανάδειξης – Δημιουργία έργων πρόσβασης και υπαίθριων πάρκων**
- **Αξιολόγηση**
- **Αξιοποίηση** σε εκπαιδευτικούς, τουριστικούς, πολιτιστικούς σκοπούς, με στόχο την ευαισθητοποίηση του ευρύτερου κοινού, σχετικά με την σπουδαιότητα όλων των μορφών γεωλογικής κληρονομιάς
- **Προβολή:** στοχεύει στην ανάδειξη και γνωστοποίηση των θέσεων αυτών

Σύμφωνα με τον Βαλιάκο (2018), η αναγνώριση, η καταγραφή και η αξιολόγηση των γεωτόπων είναι ένα σύνθετο και πολύπλοκο έργο. Αιτία αυτής της πολυπλοκότητας είναι η

ανάγκη συνδυασμού μελέτης διαφορετικών στοιχείων γεωλογικών, βιολογικών, πολιτιστικών, οικονομικών καθώς και υποδομών. Άρα απαιτούνται διαφορετικά κριτήρια, και προσεγγίσεις. Ιδιαίτερα για το στάδιο της αξιολόγησης, θα πρέπει να συνδυαστεί με άυλες αξίες πολιτιστικές ή ιστορικές. Παράδειγμα τέτοιων κριτηρίων είναι η ποιότητα της φυσικής κληρονομιάς, το εκπαιδευτικό, τουριστικό και πολιτιστικό ενδιαφέρον ή η ανάγκη προστασίας. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι στην παρούσα διατριβή η αξιολόγηση των γεωτόπων είναι εκτός του πλαισίου εργασίας ωστόσο αναφέρεται στη συνέχεια πιο αναλυτικά η διαδικασία.

Αξιολόγηση γεωτόπων

Η αξιολόγηση των γεωτόπων έχει δυο προσεγγίσεις: την ποιοτική και την ποσοτική. Η ποιοτική αξιολόγηση εστιάζει στον χαρακτηρισμό της αξίας της γεωλογικής κληρονομιάς ως προς τη θέση, την επιστημονική της αξία (γεωλογική σπουδαιότητα και ενδιαφέρον), την εκπαιδευτική αξία (αφορά στην εκπαίδευση-μόρφωση των ανθρώπων που σχετίζεται με την επιστήμη της Γης αλλά και γενικότερα), την αισθητική της αξία (σχετικά με την ομορφιά των θέσεων αυτών), την αλληλεπίδραση (πιθανότητα ανάπτυξης τουριστικών δραστηριοτήτων), την πολιτιστική αξία (σχέση με τον πολιτισμό και την ιστορία), αλλά και την οικονομική αξία. Η ποσοτική αξιολόγηση του γεωτόπου ουσιαστικά δίνει μια τιμή στην αξία της θέσης (Nazaruddin, 2019).

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν δημοσιευτεί αρκετές μεθοδολογίες που αφορούν τα κριτήρια αξιολόγησης των γεωτόπων (Ζούρος κ.α. 2007, Brillha 2016, Nazaruddin, 2019). Σύμφωνα με τον Βαλιάκο (2018), αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε μια μεθοδολογία αξιολόγησης, ώστε να αξιολογηθούν οι θέσεις και οι δομές γεωλογικού και γεωμορφολογικού ενδιαφέροντος, με στόχο τον καθορισμό των προτεραιοτήτων προστασίας, ανάδειξης, διαχείρισης και να επιλεγούν τελικά εκείνες, οι οποίες αξιοποιούνται στα πλαίσια των διαφορετικών δράσεων στους τομείς της ευαισθητοποίησης, της εκπαίδευσης και του τουρισμού.

Η μέθοδος αξιολόγησης που χρησιμοποιείται αποτελείται από οκτώ κριτήρια ή δείκτες. Για κάθε δείκτη έχει οριστεί ένας συντελεστής βαρύτητας, με βαθμονόμηση από το 0 έως το 10. Οι δείκτες αξιολόγησης επιλέχθηκαν με βάση την εθνική και διεθνή εμπειρία, ώστε να είναι εφαρμόσιμοι, αποτελεσματικοί, κατάλληλοι, να έχουν διάρκεια στο χρόνο, χρηστικότητα, συνεκτικότητα, να είναι μετρήσιμοι και ουσιαστικοί. Συγκεκριμένα τα κριτήρια που εφαρμόζονται είναι τα ακόλουθα:

1. Επιστημονική αξία

- Ακεραιότητα: προσδιορίζει το βαθμό αλλοίωσης του αντικειμένου ή θέσης ενδιαφέροντος- Το εύρος ξεκινά από αναλλοίωτο έως μη ορατό
- Σπανιότητα: προσδιορίζει τη μοναδικότητα και κυμαίνεται από μοναδική-σπάνια εμφάνιση σε παγκόσμιο επίπεδο έως κοινή εμφάνιση
- Αντιπροσωπευτικότητα: προσδιορίζει αν ένας γεώτοπος είναι θέση αναφοράς για άλλους σε παγκόσμιο έως τοπικό επίπεδο ή δεν είναι αντιπροσωπευτικός
- Σπουδαιότητα: προσδιορίζει αν αποτελεί ή όχι χαρακτηριστικό παράδειγμα σε παγκόσμιο έως τοπικό επίπεδο
- Επιστημονικό ενδιαφέρον: προσδιορίζει τον αριθμό των δημοσιεύσεων που αφορούν στο γεώτοπο

2. Εκπαιδευτική αξία

- Ευκολία στην κατανόηση: προσδιορίζει αν είναι αυτονόητος, αν απαιτεί εξήγηση από εξειδικευμένο προσωπικό, επιστήμονες ή είναι κατανοητός μόνο από την επιστημονική κοινότητα.
- Διαθεματικότητα: προσδιορίζει τη συμμετοχή των στοιχείων της γεωλογίας, γεωμορφολογίας, οικολογίας καθώς και πολιτιστικά και μυθολογικά στοιχεία. Ενδέχεται να υπάρχουν όλα ή μερικά ή κανένα από αυτά τα στοιχεία.
- Σύνδεση με σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα: εξέταση της συσχέτισης με σύγχρονες προκλήσεις του περιβάλλοντος. Το εύρος ξεκινά από άμεσο συσχετισμό έως κανένα.
- Δυνατότητα χρήσης του γεωτόπου για την πραγματοποίηση εκπαιδευτικού προγράμματος: προσδιορίζει αν μπορεί άμεσα να χρησιμοποιηθεί, αν χρήζει προσαρμογής ή δεν υπάρχει τέτοια δυνατότητα.

3. Γεωποικιλότητα

- Γεωλογικές περίοδοι: προσδιορίζει τον αριθμό των γεωλογικών περιοχών που αντιπροσωπεύει ξεκινώντας από 5 γεωλογικές περιόδους έως μια γεωλογική εποχή
- Ποικιλία ορυκτών-κατηγορίες πετρωμάτων: προσδιορίζει τον αριθμό και τα είδη των διαφορετικών ορυκτών και πετρωμάτων
- Ποικιλία γεωλογικών δομών - γεωμορφών: προσδιορίζει τον αριθμό των διαφορετικών γεωμορφών που εμφανίζονται
- Ποικιλία απολιθωμάτων: προσδιορίζει τον αριθμό των διαφορετικών ειδών που εμφανίζονται
- Ποικιλία γεωλογικών διεργασιών: καταγράφονται οι διαφορετικές διεργασίες (γεωλογικές, γεωμορφολογικές κ.τ.λ.) που μπορούν να αναγνωριστούν σε κάθε περίπτωση

4. Οικολογική αξία

- Επίδραση στα οικοσυστήματα: προσδιορίζει το αν καθορίζει ή επηρεάζει κάποιο οικοσύστημα ή είναι ουδέτερο ως προς αυτήν την παράμετρο
- Ενδημικά είδη: προσδιορίζει την ύπαρξη ή μη και τον αριθμό των ενδημικών ειδών
- Αναγνώριση σε διεθνές ή εθνικό επίπεδο. Συγκεκριμένα αν αποτελεί μέρος Μνημείου Παγκόσμιας Κληρονομιάς, αν διαθέτει διεθνή, εθνική, περιφερειακή, τοπική αναγνώριση ή δεν διαθέτει καθόλου αναγνώριση

5. Αισθητική αξία

- Αναγνώριση - Χαρακτηρισμός τοπίου: προσδιορίζει το αν είναι ή αποτελεί μέρος μνημείου Παγκόσμιας κληρονομιάς έως το αν έχει τοπική αναγνώριση ή δεν είναι καθόλου αναγνωρισμένο.
- Ιδιαιτερότητα - Αξία τοπίου: προσδιορίζει χαρακτηριστικά που το καθιστούν σπάνιο σε παγκόσμιο επίπεδο ή στην αντίθετη περίπτωση, τα χαρακτηριστικά που το καθιστούν ένα κοινό τοπίο.

6. Πολιτιστική αξία

- Αναγνώριση ως πολιτιστικό μνημείο (προσδιορίζει αν αποτελεί μέρος ή στο σύνολο πολιτιστικό μνημείο παγκόσμιας κληρονομιάς ως τη μη αναγνώρισή του).
- Άυλη πολιτιστική κληρονομιά: προσδιορίζει την ύπαρξη στοιχείων που έχουν αναγνωρισθεί ως αγαθό του καταλόγου άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς της

UNESCO ή στον αντίποδα, τη μη συσχέτισή του με την άυλη πολιτιστική κληρονομιά.

7. Κίνδυνοι και ανάγκη προστασίας

- Νομική προστασία: περιγράφει το αν υπάρχει διεθνής νομοθεσία προστασίας ή πρόκειται για μη προστατευμένους γεωτόπους.
- Τρωτότητα: προσδιορίζει την απειλή από τις ανθρωπογενείς διεργασίες ή τους κατατάσσει σε εκείνους τους γεωτόπους που δεν κινδυνεύουν καθόλου.
- Μέτρα προστασίας. Ο δείκτης αυτός προσδιορίζει κατά πόσο λαμβάνονται τα μέτρα προστασίας για την διασφάλιση της ακεραιότητας του. Η βαθμολόγηση αρχίζει από την λήψη όλων των μέτρων με πλήρη διασφάλιση της ακεραιότητας του ως τη μη λήψη των απαιτούμενων μέτρων.
- Συντήρηση. Προσδιορίζει αν εφαρμόζονται οι απαιτούμενες επεμβάσεις ή όχι.

8. Δυναμικό αξιοποίησης

- Αναγνωρισιμότητα: προσδιορίζει αν είναι αναγνωρίσιμο στο ευρύ κοινό, σε κοινό με ειδικά ενδιαφέροντα, εξειδικευμένο ή από την ευρύτερη επιστημονική κοινότητα, μόνο από επιστήμονες ή δεν είναι αναγνωρίσιμος.
- Γεωγραφική κατανομή: προσδιορίζει αν κατανέμεται ευρέως σε πολλές ή αρκετές θέσεις, αν έχει περιορισμένη εξάπλωση σε αρκετές ή μερικές θέσεις ή αν εμφανίζεται σε μόνο μια θέση.
- Προσβασιμότητα: αφορά την ικανότητα πρόσβασης με ιδιωτικά μέσα ή/και μέσα μαζικής μεταφοράς ή δεν υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης.
- Επισκεψιμότητα: αφορά τον αριθμό των ατόμων που τον επισκέπτονται.
- Εποχικότητα: αφορά την συχνότητα επίσκεψης που μπορεί να έχει κατά τη διάρκεια του έτους (όλους τους μήνες του χρόνου ή κάποιους μήνες).

Νομικό Πλαίσιο & Φορείς Διαχείρισης

Σε διεθνές επίπεδο, η σύμβαση για την προστασία της παγκόσμιας κληρονομιάς που ψηφίστηκε από τη Γενική Διάσκεψη της UNESCO το 1972 στο Παρίσι και υιοθετήθηκε από 144 κράτη-μέλη, αποτελεί την πρώτη προσπάθεια σε διεθνές επίπεδο για την αναγνώριση και προστασία της γεωλογικής κληρονομιάς (UNESCO, 1972). Στο δεύτερο άρθρο αυτής της σύμβασης, οι γεωλογικοί/γεωμορφολογικοί σχηματισμοί αντιμετωπίζονται για πρώτη φορά ως μέρος της φυσικής κληρονομιάς. Στα επόμενα άρθρα της σύμβασης αναφέρεται η υποχρέωση των κρατών-μελών να αναγνωρίσουν τις θέσεις πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς, ενώ μνημονεύεται η δημιουργία μιας Επιτροπής Παγκόσμιας Κληρονομιάς, η οποία τελικά δημιουργήθηκε το 1976.

Στόχο της Επιτροπής αποτελεί η δημιουργία ενός καταλόγου Μνημείων Παγκόσμιας Κληρονομιάς με παράλληλη θέσπιση ενός πλαισίου προστασίας τους. Το 1999, η UNESCO υιοθετεί το πρόγραμμα «Παγκόσμια Γεωπάρκα», με στόχο την ανάδειξη, προβολή και προστασία γεωλογικών θέσεων παγκόσμιας αξίας. Σήμερα, η UNESCO έχει υποστηρικτικό χαρακτήρα στο όλο εγχείρημα, το οποίο πλέον συντονίζεται από το Παγκόσμιο Δίκτυο Εθνικών Γεωπαρκών (GGN – Global Geoparks Network), το οποίο παρέχει μια πλατφόρμα συνεργασίας και ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ ειδικών σε θέματα διαχείρισης γεωλογικής κληρονομιάς. Τον Σεπτέμβριο του 2011 το Δίκτυο αυτό αριθμούσε 89 γεωπάρκα σε 27 χώρες, ενώ το 2016 αριθμούσε συνολικά 120 γεωπάρκα σε 33 χώρες παγκοσμίως.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, ανάλογη προσπάθεια για θέματα γεωλογικής κληρονομιάς ήταν η ίδρυση του Ευρωπαϊκού Δικτύου Γεωπαρκών (EGN – European Geoparks Network) το 2000. Στόχοι του οργανισμού είναι η προστασία της γεωποικιλότητας, η προώθηση της

γεωλογικής κληρονομιάς στο ευρύ κοινό, καθώς και η υποστήριξη της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης στο τοπικό επίπεδο των Γεωπάρκων. Αρχικά, το Δίκτυο συστήθηκε από τέσσερις φορείς, οι οποίοι διαχειρίζονται περιοχές με ιδιαίτερο γεωλογικό ενδιαφέρον στη Γαλλία, Ισπανία, Γερμανία και Ελλάδα. Το 2011 τα μέλη του Δικτύου ανήλθαν στα 49, προερχόμενα από 16 διαφορετικές Ευρωπαϊκές χώρες. Το 2016 ο οργανισμός αριθμούσε 69 Γεωπάρκα από 23 Ευρωπαϊκές χώρες. Η Ελλάδα το έτος αυτό εκπροσωπόνταν με πέντε περιοχές (Απολιθωμένο Δάσος Λέσβου, Φυσικό Πάρκο Ψηλορείτη, Γεωπάρκο Χελμού - Βουραϊκού, Γεωπάρκο Βίκου – Αώου, Γεωπάρκο Σητείας). Σύμφωνα με το Ελληνικό Φόρουμ Γεωπάρκων από τότε έχουν προσθεθεί ακόμα δυο γεωπάρκα. Συγκεκριμένα το Γεπάρκο Γρεβενών-Κοζάνης και το Γεωπάρκο Κεφαλονιάς- Ιθάκης (URL 33). Έως τον Φεβρουάριο του 2022, το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Γεωπάρκων αποτελείται από 94 γεωπάρκα σε 28 Ευρωπαϊκές χώρες, που εργάζονται από κοινού για τη διατήρηση και ανάδειξη της γεωλογικής τους κληρονομιάς, μέσα από ολοκληρωμένες δράσεις για τη βιώσιμη ανάπτυξη των περιοχών τους (URL 34). Όλα τα μέλη του Δικτύου είναι κάτοχοι του διακριτικού σήματος «European Geopark», το οποίο έχει κατοχυρωθεί σε όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες.

Στην Ελλάδα έχουν θεσπιστεί νόμοι σχετικά με τη σκοπιμότητα και αναγκαιότητα διατήρησης της φύσης, τόσο υπό την έννοια του φυσικού περιβάλλοντος (πανίδα, χλωρίδα, δασική βλάστηση, γεωμορφολογικοί σχηματισμοί) όσο και για λόγους αισθητικούς (αισθητική, ψυχική υγιεινή απόλαυση και ανάπαυση), λόγους εθνικής οικονομίας (τουρισμός) και πολιτισμού. Συγκεκριμένα, ο ν. 1469/1950 εισήγαγε την έννοια των τόπων ή έργων «χαρακτηριζομένων ως ιδιαιτέρου φυσικού κάλλους» και προέβλεπε για αυτά καθεστώς προστασίας, σύμφωνα με τις διατάξεις του κ.ν.5351/1932 «περί αρχαιοτήτων». Οι αρμοδιότητες χαρακτηρισμού, υπαγόμενες αρχικά στο υπουργείο Προεδρίας της Κυβερνήσεως, μεταφέρθηκαν το 1986 στο τότε Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ).

Αργότερα, με διατάξεις του Δασικού Κώδικα, συμπληρώθηκε το ισχύον, από το 1938, ιδιαίτερο καθεστώς προστασίας των οικοσυστημάτων και υιοθετήθηκαν δύο νέες κατηγορίες προστατευόμενων περιοχών: α) Τα «αισθητικά δάση», δηλαδή τα δάση «αναψυχής, υγείας και περιπάτου ή τοπία ιδιαιτέρου φυσικού κάλλους», που παρουσιάζουν ενδιαφέρον από άποψη αισθητική, υγιεινή και τουριστική και β) Τα «διατηρητέα μνημεία της φύσεως», εκτάσεις «με ιδιαίτερη παλαιοντολογικήν, γεωμορφολογικήν και ιστορικήν σημασίαν», καθώς και μεμονωμένα στοιχεία της φύσης με «ιδιαίτερη βοτανική, φυτογεωγραφική, αισθητική και ιστορική σημασία». Ο νομοθέτης προέβλεψε απαγορεύσεις, περιορισμούς, ρυθμίσεις για τη λειτουργία και διαχείριση, που διευρύνθηκαν και συμπληρώθηκαν μεταγενέστερα....».

Το 1986, ο περιβαλλοντικός νόμος 1650/86, κατέταξε τα αντικείμενα προστασίας και διατήρησης της φύσης και του τοπίου σε κατηγορίες, μεταξύ των οποίων οι «προστατευόμενοι φυσικοί σχηματισμοί, προστατευόμενα τοπία ή στοιχεία του τοπίου». Το 1982 είχε γίνει μια πρώτη προσπάθεια καταγραφής αξιόλογων θέσεων γεωλογικής και γεωμορφολογικής κληρονομιάς από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός ενδεικτικού καταλόγου 50 περίπου θέσεων, ο οποίος υποβλήθηκε στο Υπουργείο Πολιτισμού, με σκοπό την προστασία και αξιοποίησή τους. Το 1995 δημιουργήθηκε, πάλι από το ΙΓΜΕ, ειδική ομάδα εργασίας για τη Διατήρηση της Γεωλογικής και Γεωμορφολογικής Κληρονομιάς.

Το 2011 συντάχθηκε ο νόμος 3739, που αφορά στον ορισμό του γεώτοπου. Στον ίδιο νόμο αναφέρεται, ότι Φυσικά Πάρκα, εθνικά και περιφερειακά, χαρακτηρίζονται οι τοποθεσίες «εφόσον παρουσιάζουν ιδιαίτερη αξία και ενδιαφέρον, λόγω της ποιότητας και ποικιλίας των φυσικών και πολιτιστικών τους χαρακτηριστικών, ιδίως βιολογικών, οικολογικών, γεωλογικών, γεωμορφολογικών και αισθητικών και παράλληλα προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για ανάπτυξη δραστηριοτήτων που εναρμονίζονται με την προστασία της φύσης και του τοπίου» και ότι όταν το Φυσικό Πάρκο περιλαμβάνει μεγάλης σημασίας γεωτόπους, μπορεί να ονομάζεται «Γεωπάрко». Επίσης, ο νόμος καθορίζει, ότι λειτουργικά τμήματα της φύσης ή μεμονωμένα δημιουργήματά της, τα οποία έχουν ιδιαίτερη επιστημονική, οικολογική, γεωλογική, γεωμορφολογική ή αισθητική αξία, προστατεύονται ως φυσικοί σχηματισμοί (Protected natural formations). Το 2016 δημοσιεύθηκε από τον ιστότοπο «Ορυκτός πλούτος»² ο επικαιροποιημένος κατάλογος γεωτόπων, ο οποίος συντάχθηκε στα πλαίσια του ΕΣΠΑ 2007-2013, περιλαμβάνοντας 1500 γεωτόπους. Ωστόσο, ο διαδραστικός χάρτης του ΙΓΜΕ που παρουσιάζει τη διανομή των φύλλων του Άτλαντα των γεωτόπων της Ελλάδας ανά Ελληνική Περιφέρεια δεν είναι επί του παρόντος ενεργός. Ωστόσο είναι ενεργοί οι χάρτες των Γεωδιαδρομών της Ελλάδος (URL 03).

Κατηγοριοποίηση Γεωλογικής Κληρονομιάς

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατηγοριοποίησης της γεωλογικής κληρονομιάς (Herrera-Franco et al. 2022, Szepesi et al. 2020, Nazaruddin 2019, Yusry et al. 2018, Reynard et al. 2018, Thomas 2016, Kepalaitè 2015, Brocx et al. 2007, Dingwall et al. 2005). Επιπλέον, πολλές χώρες αναπτύσσουν προγράμματα προστασίας της γεωλογικής κληρονομιάς, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην γεωδιατήρηση.

Σύμφωνα με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε από Dingwall et al. (2005), περιγράφονται τα γεωλογικά/γεωμορφολογικά κριτήρια και τα χαρακτηριστικά από θέσεις με γεωλογικό ενδιαφέρον σε τοπικό επίπεδο για κάθε χώρα. Για παράδειγμα η Δημοκρατία της Ιρλανδίας σύμφωνα με τον Dixon (1996) χωρίζει τις γεωλογικές θέσεις σε 17 θεματικές κατηγορίες με τρόπο που να αντιπροσωπεύουν ολόκληρη την γεωλογική ιστορία της χώρας. Συγκεκριμένα οι κατηγορίες είναι 1. Κάρστ 2. Παλαιοντολογία από το Προκάμβριο έως το Δεβόνιο 3. Παλαιοντολογία από το Λιθανθοροκοφόρο έως το Πλειόκαινο 4. Γεωλογία από το Προκάμβριο έως την ανάπτυξη της στρωματογραφικής ενότητας Dalradian 5. Γεωλογία κατώτερου Παλαιοζωικού 6. Γεωλογία Δεβονίου 7. Γεωλογία Λιθανθοροκοφόρου 8. Γεωλογία από το Πέρμιο έως το Τριτογενές 9. Στρωματογραφία Τεταρτογενούς συμπεριλαμβανομένης και της Πλειστοκαινικής Παλαιοντολογίας 10. Αποθέσεις Τεταρτογενούς 11. Διαβρώσεις Τεταρτογενούς 12. Πυριγενή πετρώματα 13. Ορυκτά 14. Τοπία και Εδάφη 15. Υπόγειο νερό 16. Ακτές, Ποτάμια, Λίμνες 17. Peat Bogs (Τύρφη). Η Ιταλία κατηγοριοποιεί τους γεωτόπους σε 7 κατηγορίες. Συγκεκριμένα: 1. Γεωμορφολογικούς 2. Στρωματογραφικούς 3. Τεκτονικούς 4. Ορυκτολογικούς & Πετρολογικούς 5. Υδρογεωλογικούς 6. Παλαιοντολογικούς 7. Εδαφολογικούς.

Στην Ελλάδα ήδη από το 1950 ξεκίνησαν οι πρώτες προσπάθειες καταγραφής και χαρτογράφησης γεωτόπων ως πρωτοβουλία του Γ. Πετροχείλου, ο οποίος ίδρυσε την

²www.oryktosploutos.net

Ελληνική Σπηλαιολογική Εταιρεία και κατέγραφε, μελετούσε και χαρτογραφούσε συστηματικά τα ελληνικά σπήλαια. Μια πιο ολοκληρωμένη προσπάθεια καταγραφής γεωτόπων έκανε το 1982 το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Ανέπτυξε έναν κατάλογος 50 περίπου θέσεων ο οποίος υποβλήθηκε στο Υπουργείο Πολιτισμού χωρίς όμως να συνεχιστεί αυτή η προσπάθεια. Στη συνέχεια το 1995 το ΙΓΜΕ δημιούργησε μια νέα ομάδα εργασίας σχετικά με τη Διατήρηση της Γεωλογικής – Γεωμορφολογικής Κληρονομιάς ως πρωτοβουλία της Διεύθυνσης Γεωλογίας και Γεωλογικών Χαρτογραφήσεων. Εκείνη τη χρονιά οργανώθηκε και η εκδήλωση «Ανοιχτές Πόρτες» παρουσιάζοντας στο ευρύ κοινό την έννοια του γεωτόπου ως μονάδας της γεωλογικής κληρονομιάς της Ελλάδας και τη σημασία της διατήρησης των σημαντικότερων γεωτόπων της χώρας. Πολλοί ερευνητές πλέον ασχολούνται με την καταγραφή γεωτόπων, αλλά και την προσπάθεια ευαισθητοποίησης των πολιτών και της πολιτείας για την αξία της διατήρησης των γεωλογικών μνημείων.

Αξία λόγου είναι η προσπάθεια καταγραφής των γεωτόπων του ελληνικού χώρου που βρέχονται από το Αιγαίο, που πραγματοποιήθηκε το διάστημα από το 1998 έως το 2002 με τη σύμπραξη του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής ήταν η δημιουργία του Άτλαντα των Γεωλογικών μνημείων του Αιγαίου (Βελιτζέλος, 2002). Οι θέσεις γεωτόπων που καταγράφηκαν διαχωρίστηκαν ανάλογα με τα γεωλογικά τους χαρακτηριστικά σε κατηγορίες, ενώ ως ξεχωριστή κατηγορία αναφέρονται τα μουσεία φυσικής ιστορίας γιατί σ' αυτά διατηρούνται ποικίλης προέλευσης στοιχεία της γεωλογικής κληρονομιάς. Η κατηγοριοποίηση των γεωτόπων είναι η ακόλουθη.

1. Ενδιαφέρουσες γεωλογικές εμφανίσεις
 - Θέσεις στρωματογραφικού – πετρολογικού ενδιαφέροντος
 - Ηφαίστεια – δομές ηφαιστειακής προέλευσης
 - Θερμές πηγές
2. Τεκτονικές δομές
 - Γεωλογικά ρήγματα, Επωθήσεις
 - Πτυχωμένα στρώματα
 - Καλύμματα
 - Τεκτονικά παράθυρα
3. Παλαιοντολογικές θέσεις
 - Θέσεις ζωικών απολιθωμάτων
 - Θέσεις φυτικών απολιθωμάτων
4. Γεωμορφολογικές δομές
 - Φαράγγια
 - Σπήλαια και άλλες υπόγειες καρστικές δομές
 - Επιφανειακές καρστικές δομές (Δολίνες, Πόλγες)
 - Γεωμορφές αιολικής διάβρωσης
 - Μορφές διάβρωσης – απόθεσης
5. Σύγχρονες γεωλογικές και γεωδυναμικές διεργασίες
 - Ακτές απόθεσης
 - Ακτές διάβρωσης

- Δέλτα Ποταμών

6. Θέσεις εξόρυξης ορυκτών πρώτων υλών – Τεχνικά έργα

- Θέσεις μεταλλευτικής δραστηριότητας
- Θέσεις λατομικής δραστηριότητας
- Τεχνικές κατασκευές

7. Μουσεία Φυσικής Ιστορίας – Γεωλογικά Μουσεία (φιλοξενούν κινητά τεκμήρια της γεωλογικής κληρονομιάς). Κατηγοριοποιούνται ξεχωριστά γιατί διατηρούν ποικίλης προέλευσης στοιχεία γεωλογικής κληρονομιάς.

Ωστόσο η Επιτροπή Διατήρησης Γεωλογικής-Γεωμορφολογικής Κληρονομιάς της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας αποφάσισε τον Οκτώβριο του 2017 να συνεργαστεί με τις υπόλοιπες Επιτροπές της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, ακαδημαϊκά και ερευνητικά ιδρύματα, δημόσια μουσεία της Ελλάδας, καθώς και με έμπειρους στο αντικείμενο γεωεπιστήμονες, για την καταγραφή και αποτύπωση μέσω ειδικού απογραφικού δελτίου. Η ανάπτυξη ενός Εθνικού Καταλόγου Γεωτόπων θα βασιστεί στη διαδικασία αξιολόγησης η μέσω συγκεκριμένων και αποδεκτών από όλους κριτήρια. Κύριος στόχος του καταλόγου είναι να γίνει αποδεκτός από την Πολιτεία και να κινηθούν οι διαδικασίες αναγνώρισής τους. Για να γίνει αυτό σε κάθε θέση θα πρέπει να συνταχθεί Ειδική Έκθεση σύμφωνα με το Ν. 3937/2011 και με τις προδιαγραφές του, οι οποίες θα πρέπει επίσης να προταθούν (Βαλιάκος, 2018).

2.3 ΚΛΙΜΑΚΑ

Ο όρος κλίμακα έχει πολλές έννοιες και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πλαίσιο, στο οποίο χρησιμοποιείται (Goodchild 2001, Dabiri & Blaschke 2019). Σε μια τυπική περίπτωση, η κλίμακα αναφέρεται στις χωρικές διαστάσεις, στις οποίες μπορεί να παρατηρηθούν και να χαρακτηρίζονται οι οντότητες, τα πρότυπα και οι διαδικασίες (Marceau, 1999). Η πιο πρακτική ερμηνεία του όρου είναι, πως η κλίμακα αποτελεί ένα χαρακτηριστικό, για το πώς παρατηρεί κανείς ένα αντικείμενο (Sayre, 2005), εφόσον ο παρατηρητής είναι εκείνος που καθορίζει τα κριτήρια της κλίμακας μελέτης (Allen & Starr, 1982). Ουσιαστικά η κλίμακα είναι το «παράθυρο» της κατανόησης, της ικονότητας παρατήρησης και φανερώνει τον περιορισμό μέσω του οποίου ένα φαινόμενο μπορεί να προβληθεί ή να γίνει αντιληπτό (Hua Wu & Zhao-Liang Li, 2009)

Γενικότερα, η κλίμακα σχετίζεται με το πώς ο άνθρωπος παρατηρεί τον κόσμο, και χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χαρτογραφική κλίμακα. Για έναν χαρτογράφο, η κλίμακα αναφέρεται συνήθως στο αντιπροσωπευτικό κλάσμα, που αποτελεί την παράμετρο καθορισμού της υπό κλίμακα επιφάνειας της Γης σε ένα φύλλο χαρτιού (Goodchild, 2011) ή σε μια οθόνη Η/Υ. Η κλίμακα λοιπόν είναι συνυφασμένη με την παρατήρηση, και κατά συνέπεια με την Τηλεπισκόπηση. Σύμφωνα με τον Lukinbeal (2016), «η κλίμακα βρίσκεται στον πυρήνα της οντολογίας και των επιστημολογικών πρακτικών τόσο της χαρτογραφίας όσο και των επιστημών GIS», άρα και της Τηλεπισκόπησης.

Η πρόοδος της τεχνολογίας της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης τον 20^ο αιώνα προσφέρει ένα ισχυρό μέσο διεξαγωγής μετρήσεων. Μέσω αυτής της τεχνολογίας δίνει άμεσα πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα χωρικών πληροφοριών- γεωπληροφοριών- για την επιφάνεια

της γης σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας στοιχεία έρευνα, παρακολούθηση και πρόβλεψη (Hua Wu & Zhao-Liang Li, 2009).

Στην χαρτογραφία και τα GIS, η κλίμακα είναι μια μαθηματική έννοια, με τυπικό μέτρο το «αντιπροσωπευτικό κλάσμα» (Sheppard & McMaster, 2004). Το κλάσμα αυτό εκφράζει την αναλογία μεταξύ των μετρήσεων του χάρτη και των πραγματικών μετρήσεων στο έδαφος (Lam 2004, Wu & Li 2006, Hua Wu & Zhao-Liang Li 2009), τη σχέση δηλαδή ανάμεσα σε μια απόσταση ή έκταση στο χάρτη και την αντίστοιχη απόσταση ή έκταση στον πραγματικό κόσμο (Dungan et al., 2002).

Η γεωγραφική κλίμακα αναφέρεται στη χωρική έκταση της εκάστοτε έρευνας. Για παράδειγμα η παρατήρηση της γεωγραφικής κλίμακας προσδιορίζεται για παράδειγμα από ένα φύλλο (μερικά εκατοστά), τη φυλλωσιά του δέντρου (10 έως 100 m), το τοπίο (100m έως λίγα χιλιόμετρα), μια περιοχή (έως 100Km). Η τοπογραφική κλίμακα ορίζεται ως η αναλογία μεταξύ της απόστασης στο χάρτη και της πραγματικής απόστασης στο έδαφος. Μια μικρή χαρτογραφική κλίμακα αντιστοιχεί σε μια μεγάλη γεωγραφικής κλίμακας περιοχή, παρουσιάζοντας λίγες λεπτομέρειες σε σχέση με μια μεγάλη χαρτογραφική κλίμακα (Hua Wu & Zhao-Liang Li, 2009).

Ο τοπογραφικός ορισμός της κλίμακας χαρακτηρίζεται ως ο λόγος της επιφάνειας στον χάρτη προς την αντίστοιχη επιφάνεια στην πραγματικότητα και διακρίνεται σε μικρή, μεσαία και μεγάλη. Μεγάλη κλίμακα θεωρείται όταν η κλίμακα είναι μεγαλύτερη ή ίση με 1:10.000, μεσαία κλίμακα θεωρείται όταν η κλίμακα είναι από 1:10.000 έως 1:300.000 και μικρή κλίμακα όταν η κλίμακα είναι ένα μικρότερη ή ίσης με 1:300.000 (Πατώνης 2014, Λόζιος κ.α. 2015).

Σε σχέση με τη γεωλογική κληρονομιά, η έννοια της κλίμακας είναι σημαντική, τόσο σε σχέση με το μεγάλο εύρος έκτασης/μεγέθους του εκάστοτε αντικείμενου (γεωγραφική κλίμακα), όσο και με τις ανάγκες/προδιαγραφές αποτύπωσής του (χαρτογραφική κλίμακα). Έτσι, ως προς τη γεωγραφική κλίμακα, ένα στοιχείο γεωκληρονομιάς ενδέχεται να αντιστοιχεί στο μέγεθος ενός ολόκληρου βουνού (π.χ. γεωπάρκο), το οποίο, τυπικά, θα αποτυπωθεί σε σχετικά μικρή χαρτογραφική κλίμακα. Εναλλακτικά, η γεωκληρονομιά μπορεί να αφορά στο αποτύπωμα βάδισης ενός δεινόσαυρου, το οποίο είναι γεωγραφικά εξαιρετικά περιορισμένο (μικρή γεωγραφική κλίμακα), αλλά οι προδιαγραφές αποτύπωσής του είναι σε πολύ μεγάλη χαρτογραφική κλίμακα. (Brocx & Semeniuk, 2007). Σύμφωνα με έρευνα της Papadopoulou et al. (2022), η αποτύπωση ενός γεωτόπου σε πολύ μεγάλη χαρτογραφική κλίμακα ($>1:50$) μπορεί να πραγματοποιηθεί με επίγειες συσκευές και λείζερ σαρωτές. Η μεγάλης έως μικρής χαρτογραφικής κλίμακας αποτύπωση (1:50 έως 1:500) συνίσταται να λαμβάνει χώρα με μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV), ενώ σε πολύ μικρή χαρτογραφική κλίμακα οι γεώτοποι μπορούν να αποτυπωθούν με δορυφορικά δεδομένα.

2.4 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Ο όρος Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) χρησιμοποιείται γενικά για να περιγράψει τη διαδικασία λήψης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο, με τη χρήση ανιχνευτικών συσκευών, οι οποίες δεν είναι σε επαφή με το παρατηρούμενο αντικείμενο. Σύμφωνα με τον Μερτίκα (1999), η Τηλεπισκόπηση ή Τηλεανίχνευση ορίζεται ως η αντίληψη αντικειμένων ή φαινομένων από απόσταση. Είναι η επιστήμη της συλλογής,

ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από έναν στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η πληροφορία συλλέγεται από όργανα, τα οποία δεν έρχονται σε επαφή με τα προς εξέταση αντικείμενα.

Η χρήση του όρου περικλείει τόσο τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία (αισθητήρες, πλατφόρμες, συσκευές μεταφοράς και αποθήκευσης), δηλαδή τα όργανα που χρησιμοποιούνται, όσο και τις τεχνικές και μεθόδους παρατήρησης -τη σχετιζόμενη δηλαδή μεθοδολογία (επεξεργασία, ανάλυση και ερμηνεία της καταγεγραμμένης ακτινοβολίας) (Jong & Meer 2004, Mather 2011, Wang et al. 2012).

Η Τηλεπισκόπηση για την παρατήρηση / παρακολούθηση της Γης αποτελεί μια εξειδικευμένη, αν και πολύ ευρεία, μορφή τηλεπισκόπησης, με σκοπό να συλλεχθούν στοιχεία της φύσης και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους, της θάλασσας ή της ατμόσφαιρας, κατά τη στιγμή της παρατήρησης (Mather 2011, Καρτάλης 2013). Τυπικές μορφές συλλογής τέτοιων πληροφοριών αποτελούν τα δεδομένα από επίγειους σαρωτές λέιζερ, οι αεροφωτογραφίες και οι δορυφορικές εικόνες. Ιδιαίτερα η διαστημική έκφανση της Τηλεπισκόπησης, αποτελεί παγκοσμίως, κατά τις τελευταίες τέσσερις και πλέον δεκαετίες, ένα μοχλό για τη μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος, την κατανόηση του κλίματος, καθώς και την προώθηση δραστηριοτήτων παραγωγής και ανάπτυξης, σε σχεδόν οποιαδήποτε περιοχή του πλανήτη.

Σε κεντρικό ευρωπαϊκό επίπεδο, η παρατήρηση της Γης με τηλεπισκοπικά (και άλλα) δεδομένα υλοποιείται σήμερα μέσω του προγράμματος Copernicus, το οποίο αξιοποιεί μεταξύ άλλων επιμέρους εθνικά προγράμματα τηλεπισκόπησης αλλά και εξωτερικά δεδομένα (third party missions).

Η Τηλεπισκόπηση είναι το μόνο μέσο, με τον οποίο ο άνθρωπος μπορεί να παρατηρήσει εξ' ολοκλήρου την γήινη επιφάνεια. Η Παρατήρηση Γης με τη χρήση της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει την ερμηνεία και κατανόηση των μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την ξηρά, τη θάλασσα ή την ατμόσφαιρα, σε συνδυασμό με την αναγνώριση των σχέσεων μεταξύ αυτών των μετρήσεων, με σκοπό την αναγνώριση της φύσης και κατανομής των φαινομένων στην επιφάνεια της Γης ή στην ατμόσφαιρα (Mather, 2011).

Η ανθρώπινη όραση καταλαμβάνει ένα μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Για να μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος και κατ' επέκταση να μελετήσει μη ορατές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, όπως είναι η υπέρυθρη, η θερμική υπέρυθρη και τα μικροκύματα, θα πρέπει να χρησιμοποιεί όργανα. Οι μετρήσεις αυτές των φασματικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της Γης ή της ατμόσφαιρας μετατρέπονται σε πληροφορίες για το αντικείμενο και τις ιδιότητές του.

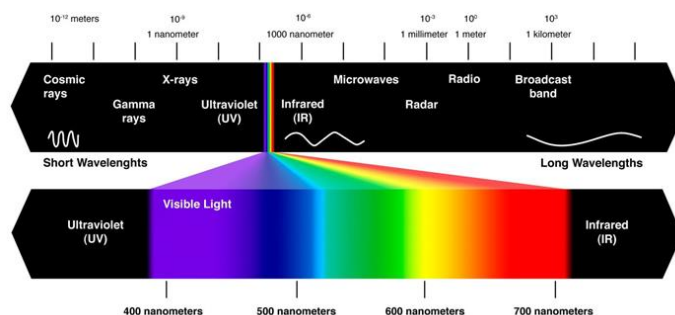
Έτσι, οι μετρήσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γίνονται από όργανα, όπως κάμερες, σαρωτές, λέιζερ, συστήματα ραντάρ που βρίσκονται πάνω σε πλατφόρμες-φορείς (π.χ. τρίποδες, αεροσκάφη, διαστημόπλοια) (Jensen 2007, Mather 2011), και κατά συνέπεια καταγράφονται από ένα πλεονεκτικό σημείο (Jong & Meer 2004, Richards & Jia 2006, Jensen 2007, Mather 2011). Στη συνέχεια, οι μετρήσεις των φασματικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της Γης ή της ατμόσφαιρας μεταφράζονται σε πληροφορίες σχετικά με το ίδιο το αντικείμενο ή το φαινόμενο ή με τις διαδικασίες που σχετίζονται με αυτό (Jong & Meer 2004, Jensen 2004, Mather 2011, Richards 2013).

Η εκπομπή ή ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα διάφορα αντικείμενα παρατήρησης είναι σε γενικές γραμμές η παράμετρος που εξετάζεται από τις διαδικασίες της τηλεπισκόπησης. Η θεμελιώδης αρχή που διέπει την τηλεπισκόπηση είναι, ότι τα στοιχεία που βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης και στην ατμόσφαιρα αντανακλούν, απορροφούν,

μεταφέρουν ή εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε όλο το φάσμα των μηκών κύματος, δηλαδή στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης στηρίζεται στη δυνατότητα συλλογής της ακτινοβολίας σε ένα μεγάλο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και σε συνδυασμό με το γεγονός, ότι η κατανομή της ακτινοβολίας που κάθε σώμα απορροφά ή ανακλά σε διαφορετικά μήκη κύματος αποτελεί χαρακτηριστικό της φυσικής και χημικής σύστασης του (Slater, 1980). Συνεπώς, κάθε σώμα έχει χαρακτηριστική φασματική καταγραφή άρα, είναι δυνατή η μεταξύ τους διάκριση, για παράδειγμα το χιόνι από το νερό, η βλάστηση από το έδαφος, ακόμα και τα διαφορετικά πετρώματα αλλά και στοιχεία που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα ή υπό προϋποθέσεις και μέσα στο νερό.

Η εξέλιξη της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης έχει ως ορόσημο το έτος 1960 και χωρίζεται στα χρόνια πριν και μετά από αυτό. Το 1960 είναι η αφετηρία της έναρξης του ανταγωνισμού στην διαστημική και δορυφορική έρευνα των τότε δύο υπερδυνάμεων. Τις δεκαετίες πριν το 1960 υπήρχε μόνο η φωτογραφική τηλεπισκόπηση, όπου γινόταν χρήση αποκλειστικά φωτογραφιών για σκοπούς στρατιωτικούς, κυρίως κατά την διάρκεια των δύο Παγκόσμιων Πολέμων. Παράδειγμα της εφαρμογής της Φωτογραφικής Τηλεπισκόπησης είναι η περίπτωση του πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου, όταν τα αναγνωριστικά αεροπλάνα πετούσαν πάνω από τις δυνάμεις του εχθρού και κατέγραφαν τις κινήσεις των στρατευμάτων, έχοντας στερεώσει απλές φωτογραφικές μηχανές στο αεροπλάνο. Οι φωτογραφίες αυτές παρείχαν πληροφορίες σχετικά με τη θέση και τη δύναμη των εχθρικών δυνάμεων. Κατά τον δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, η τεχνική τελειοποιήθηκε, με στόχο την προετοιμασία της απόβασης στη Νορμανδία. Χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες, ώστε να χαρτογραφηθούν οι συνθήκες κατά μήκος της ακτογραμμής και να εντοπιστούν τα καταλληλότερα σημεία για την απόβαση. Επιπλέον, μέτρησαν τον αριθμό των κυμάτων στα παράλια από αυτό προσδιόρισαν το μήκος κύματος και στη συνέχεια υπολόγισαν το βάθος των νερών στις ακτές. Επίσης, με τη χρήση υπέρυθρου φιλμ ταυτοποίησαν τη βλάστηση και τη διέκριναν από το καμουφλάζ των εχθρών (Αστάρας 2011, Avery & Berlin 1992).

Στη δεκαετία του 1960 κατασκευάστηκαν φιλμ ευαίσθητα στα διάφορα μήκη κύματος, με τα οποία μπόρεσαν να χαρτογραφηθούν επιπλέον χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως για παράδειγμα οι διαφορετικοί τύποι βλάστησης. Έπειτα, η ανάπτυξη και εξέλιξη των δορυφόρων ήταν ραγδαία με σημαντικά αποτελέσματα. Μετά τις επανδρωμένες πτήσεις του προγράμματος Mercury (1961-1963) από την Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος των Η.Π.Α (NASA) αναπτύχθηκε η τεχνολογία της μη φωτογραφικής Τηλεπισκόπησης. Τα μη φωτογραφικά τηλεπισκοπικά συστήματα καταγράφουν πέρα από το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, κατά περίπτωση στο υπέρυθρο και στο μικροκυματικό τμήμα (ΕΙΚΟΝΑ 3). Οι εικόνες που προκύπτουν έχουν μεγάλο εύρος χωρικής, φασματικής, και ραδιομετρικής ανάλυσης, καθώς και επαναληψιμότητας (διαχρονικής ανάλυσης) (Παρχαρίδης, 2015).



ΕΙΚΟΝΑ 3: Κύριες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και τα κανάλια του, με το μήκος κύματος και τη συχνότητά τους (Παρχαρίδης, 2015).

Η δεκαετία του 1970 είναι ορόσημο λόγω της συστηματικής εκτόξευσης από τη NASA μη

επανδρωμένων δορυφόρων ανίχνευσης φυσικών πόρων της Γης της σειράς LANDSAT. Ο πρώτος δορυφόρος ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite-1) έγινε περισσότερο γνωστός με την ονομασία LANDSAT-1, και συνοδεύτηκε από την αδιάλειπτη εκτόξευση μιας σειράς πανομοιότυπων δορυφορικών συστημάτων μέχρι σήμερα (ο πιο πρόσφατος εκτοξεύτηκε τον Σεπτέμβριο του 2021, LANDSAT-9). Η πρόοδος της Τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με την πρόοδο της πληροφορικής έδωσε μεγάλη ώθηση στο εν λόγω αντικείμενο, μέσω της ανάπτυξης ειδικών λογισμικών και υπολογιστικών συστημάτων, μεθόδων ψηφιακής επεξεργασίας των εικόνων/δεδομένων κ.α. Στόχος ήταν πάντα η οπτική βελτίωση (ενίσχυση) των εικόνων ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών παρέχοντας πληροφορίες για την επιφάνεια, την κατανομή των αντικειμένων και φαινομένων στο χώρο, τον καθορισμό των ιδιοτήτων τους. Μετά από αρκετά χρόνια και σημαντικά άλματα της επιστήμης και τεχνολογίας της, η Τηλεπισκόπηση θεωρείται ως ένας κλάδος με πολλές εφαρμογές σε ένα εύρος επιστημονικών πεδίων. Από την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου παρατήρησης της Γης (1972) μέχρι σήμερα εκατοντάδες δορυφόροι είναι σε τροχιά, παρέχοντας συστηματικά πληθώρα τηλεπισκοπικών δεδομένων, οπτικών και ραντάρ, σε παγκόσμια κλίμακα (Wang et al., 2012).

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα αποτελούν δισδιάστατες πληροφορίες, οι οποίες αποκτώνται από αισθητήρες που βρίσκονται πάνω στη Γη, σε αεροσκάφη ή σε διαστημικές πλατφόρμες (Rajyalakshmi et al., 2016). Σε κάποιες περιπτώσεις από τις πληροφορίες αυτές μπορεί να εξαχθεί και η τρίτη διάσταση (υψομετρικές διαφορές), ενώ ως τέταρτη «διάσταση» (χρόνος) θεωρείται συνήθως η δυνατότητα που παρέχουν για συστηματική διαχρονική παρατήρηση. Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι η σχετικά άμεση διαθεσιμότητά τους σε ψηφιακή μορφή (Richards, 2013), παρέχοντας ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες (Vaiphasa et al., 2011). Τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν τα δεδομένα ένα πολύτιμο εργαλείο τόσο για τον εντοπισμό και προσδιορισμό των υλικών ή αντικειμένων της γήινης επιφάνειας, όσο και για την μέτρηση και αξιολόγηση των χωρικών και βιοφυσικών ιδιοτήτων ή χαρακτηριστικών τους (Jong & Meer 2004, Richards & Jia 2006).

Στην Τηλεπισκόπηση, κάθε εικόνα αποτελείται από μία στοιχειώδη επιφάνεια ανάλυσης, η οποία ονομάζεται εικονοστοιχείο (pixel) και τα δεδομένα αντιστοιχούν σε κάποια τιμή ακτινοβολίας που καταχωρείται σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας και συνθέτει την επιφάνεια μελέτης. Η τιμή που λαμβάνει το κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχίζεται σε ένα διαφορετικό χρώμα ή σε απόχρωση (τυπικά του γκρι) για να αποδώσει την εικόνα. Με τις κατάλληλες επεξεργασίες των ψηφιακών αυτών δεδομένων λαμβάνονται διαφορετικά αποτελέσματα για χρήση σε πληθώρα εφαρμογών.

Οι εικόνες τηλεπισκόπησης παρέχουν ακριβείς γεω-πληροφορίες γρήγορα, αποτελεσματικά και ολοκληρωμένα (Wu & Li 2009, Shahbaz et al. 2012), αποτελώντας μια πολύ σημαντική (κυρίως σε όγκο) πηγή δεδομένων σε ένα GIS, ως μέρος των γεωγραφικών βάσεων δεδομένων ή/και ως χάρτες (αποτελώντας το χαρτογραφικό υπόβαθρο) (Richards & Jia 2006, Schowengerdt 2007, Mather 2011). Επίσης, χρησιμοποιούνται σε λογισμικά που υλοποιούν διαδικτυακές απεικονίσεις, όπως είναι π.χ. το Google Earth™.

Με τη χρήση λοιπόν τηλεπισκοπικών συστημάτων είναι δυνατή η συλλογή δεδομένων, τα οποία στη συνέχεια θα αναλυθούν και θα εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με τα υπό μελέτη αντικείμενα, τις περιοχές και τα φαινόμενα.

Η ανάλυση ψηφιακής εικόνας αναφέρεται στη επεξεργασία ψηφιακών δεδομένων με τη βοήθεια υπολογιστή. Η λογική της ψηφιακής επεξεργασίας της εικόνας είναι στη βάση της αρκετά απλής, ωστόσο οι επιμέρους διαδικασίες που μπορεί να περιλαμβάνονται δύνανται να είναι αρκετά έως εξαιρετικά πολύπλοκες. Σε γενικές λοιπόν γραμμές, τα δεδομένα ή οι εικόνες (μια ή περισσότερες) τροφοδοτούνται σε υπολογιστικά συστήματα, τα οποία

εκτελούν αλληλουχίες προκαθορισμένων αλγορίθμων (όπως μία εξίσωση ή μία σειρά εξισώσεων). Οι αλγόριθμοι αυτοί λαμβάνουν τις τιμές των εικονοστοιχείων ως δεδομένα εισαγωγής, ενώ, συνήθως, η έξοδος θα αποτελείται από μια νέα ψηφιακή εικόνα, στην οποία οι τιμές των εικονοστοιχείων θα είναι το αποτέλεσμα των υπολογισμών που μεσολάβησαν.

Υπάρχουν πολλές επιμέρους τεχνικές επεξεργασίας ψηφιακής εικόνας, αλλά μια κύρια κατηγοριοποίηση των διαδικασιών είναι η ακόλουθη (Lillesand, Kiefer & Chipman 2015, Liu & Mason 2016):

1. **Προεπεξεργασία εικόνας.** Είναι η διόρθωση των γεωμετρικών παραμορφώσεων και άλλων επιδράσεων που εντοπίζονται στην εικόνα, ώστε να δημιουργήσουν μια αναπαράσταση της αρχικής σκηνής πιο κοντά στην πραγματική. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την επεξεργασία της αρχικής εικόνας για την απαλοιφή τυχόν «θορύβου» που υπάρχει στα δεδομένα, τη ραδιομετρική βαθμονόμηση των δεδομένων, τη διόρθωση γεωμετρικών σφαλμάτων και την επέκταση ή περιορισμό της έκτασης μιας εικόνας μέσω της δημιουργίας μωσαϊκού ή υποσυνόλου αντίστοιχα.
2. **Βελτίωση εικόνας.** Εφαρμόζεται προκειμένου να μετατραπούν οι εικόνες σε τέτοια μορφή που να εξυπηρετεί τη μετέπειτα ερμηνεία τους. Σε πολλές περιπτώσεις, η βελτίωση της εικόνας περιλαμβάνει τεχνικές για τη βελτίωση της διάκρισης των χαρακτηριστικών σε μια σκηνή. Μεταξύ των τεχνικών βελτίωσης μια εικόνας συμπεριλαμβάνονται π.χ. η παραγωγή χρωματικών συνθέτων, η προσαρμογή της αντίθεσης, η εφαρμογή χωρικών φίλτρων (βελτίωση ακμών, μετασχηματισμός Fourier), καθώς και η δημιουργία λόγων φασματικών ζωνών και φασματικών δεικτών κ.α.
3. **Ταξινόμηση εικόνας.** Ο στόχος της διαδικασίας είναι να αντικαταστήσει την οπτική ερμηνεία των δεδομένων εικόνας με ποσοτικές τεχνικές για την αυτοματοποίηση της αναγνώρισης χαρακτηριστικών σε μια σκηνή. Αυτή συνήθως περιλαμβάνει την ανάλυση πολλαπλών φασματικών ζωνών για τον προσδιορισμό του τύπου κάλυψης γης για κάθε εικονοστοιχείο σε μια εικόνα. Η ανάλυση αυτή μπορεί να υλοποιηθεί είτε μέσω της ταξινόμησης που ομαδοποιεί τα εικονοστοιχεία με παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά και εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο της αναγνώρισης φασματικού προτύπου είτε μέσω της ταξινόμησης που ομαδοποιεί τα εικονοστοιχεία με βάση τη χωρική τους σχέση με τα γειτονικά εικονοστοιχεία και εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο της αναγνώρισης χωρικού προτύπου. Ενδεικτικά, τα ταξινομημένα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή θεματικών χαρτών κάλυψης γης ή/και για τον υπολογισμό διάφορων στατιστικών στοιχείων.
4. **Συγχώνευση δεδομένων και ενσωμάτωση GIS.** Αυτές οι διαδικασίες χρησιμοποιούνται για το συνδυασμό τηλεπισκοπικών δεδομένων για μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή με άλλες γεωχωρικές πληροφορίες.
5. **Ανάλυση των διαχρονικών αλλαγών.** Πολλές τηλεπισκοπικές μελέτες περιλαμβάνουν την ανάλυση δύο ή περισσότερων εικόνων από διαφορετικές χρονικές στιγμές (χρονοσειρών), για τον προσδιορισμό της έκτασης και της φύσης των αλλαγών στην πάροδο του χρόνου. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσονται οι διάφοροι αλγόριθμοι ανίχνευσης αλλαγών.

Σήμερα πολλά από τα παραπάνω βασικά στάδια είναι αυτοματοποιημένα και πραγματοποιούνται σε διαδικτυακές πλατφόρμες ανάκτησης, επεξεργασίας και ανάλυσης τηλεπισκοπικών και άλλων γεωχωρικών πληροφοριών.

Τέλος, η Τηλεπισκόπηση αποτελεί επιστήμη άρρηκτα συνδεδεμένη με τη Φωτογραμμετρία, ως «τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία της απόκτησης αξιόπιστων πληροφοριών από απεικόνιση χωρίς επαφή και από άλλα συστήματα αισθητήρων για τη Γη και

το περιβάλλον της και άλλα φυσικά αντικείμενα και διαδικασίες, μέσω καταγραφής, μέτρησης, ανάλυσης και αναπαράστασης» (URL 32). Ουσιαστικά, η Τηλεπισκόπηση αποτελεί την κύρια πηγή των δεδομένων για τη Φωτογραμμετρία, ενώ η Φωτογραμμετρία με τη σειρά της καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος των μεθόδων επεξεργασίας των τηλεπισκοπικών δεδομένων.

2.4.1 ΤΥΠΟΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Επίγεια Τηλεπισκόπηση

Οι αισθητήρες εδάφους (ground-based sensors) χρησιμοποιούνται συχνά για την καταγραφή λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με την επιφάνεια, οι οποίες συγκρίνονται με πληροφορίες που συλλέγονται από αεροσκάφη ή δορυφορικούς αισθητήρες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καλύτερο χαρακτηρισμό του στόχου, ο οποίος απεικονίζεται από αυτούς τους άλλους αισθητήρες, καθιστώντας δυνατή την βέλτιστη κατανόηση των πληροφοριών στην εκάστοτε εικόνα.

Κατά αντιστοιχία με τους παθητικούς αισθητήρες τηλεπισκόπησης που τοποθετούνται σε δορυφόρους (βλ. συνέχεια παρόντος υποκεφαλαίου) και λειτουργούν στο οπτικό φάσμα, υπάρχουν φορητά όργανα – τα φασματοραδιόμετρα (spectroradiometers) - τα οποία εκτελούν παραπλήσιες λειτουργίες επί του εδάφους.

Ως εκ τούτου, ένα φασματοραδιόμετρο μετρά την ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή ανακλάται από τα υπό μελέτη αντικείμενα σε διάφορες περιοχές του φάσματος (πολυφασματική ή υπερφασματική τηλεπισκόπηση), σχεδιασμένες για την παρακολούθηση ποικίλων παραμέτρων γεωφυσικού (με την ευρεία έννοια) ενδιαφέροντος (URL 04).

Τυπικά, η φασματοραδιομετρία χρησιμοποιεί τις ακόλουθες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος:

- Υπεριώδης (Ultraviolet/UV): 1 nm – 400 nm
- Ορατή- Κοντινή Υπέρυθρη (Visible-near Infrared/VNIR): 400 nm – 750 nm
- Βραχεία Υπέρυθρη (Short-wave Infrared/SWIR): 750 nm – 2500 nm
- Μέση Υπέρυθρη (Mid Infrared/MIR): 2500 nm – 5000 nm
- Θερμική (Thermal Infrared/TIR): 7500 nm – 15000 nm

Επιπλέον, τα όργανα που χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια για την αποτύπωση χώρων, είναι σε θέση να μετρήσουν και να ανακατασκευάσουν τον τρισδιάστατο κόσμο γρήγορα και με αποτελεσματικό τρόπο. Θεωρούνται μια οικονομική λύση, λόγω του μειωμένου χρόνου παραμονής στο πεδίο έρευνας και του περιορισμένου αριθμού εργατοωρών που απαιτούνται για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου (3D) μοντέλου (Τσιούκας, 2009).

Οι αισθητήρες τεχνολογίας λέιζερ (LIght Detection And Ranging/LIDAR), όπως και τα περισσότερα ραντάρ, αποτελούν ενεργητικά τηλεπισκοπικά συστήματα. Η διαφορά των δύο συστημάτων είναι, πως οι αισθητήρες LIDAR χρησιμοποιούν παλμούς φωτός τεχνολογίας λέιζερ, αντί για παλμούς μικροκυματικής ενέργειας, για να «φωτίζουν» το έδαφος. Η χρήση των συστημάτων LIDAR (επίγειων, αερομεταφερόμενων) έχει αυξηθεί σημαντικά και οι προοπτικές εφαρμογής τους είναι πολύ μεγάλες σήμερα και μελλοντικά (Lillesand, Kiefer & Chipman 2015, Emery Camps & Rodriguez-Cassola 2017, Liang & Wang 2020).

Αντίστοιχα, υπάρχουν και τα επίγεια ραντάρ τηλεπισκόπησης (Ground-Based Synthetic Aperture Radars/GB-SAR), προς το παρόν αρκετά μεγάλου κόστους και πολυπλοκότητας (βάρος, όγκος), τα οποία χρησιμοποιούνται για διάφορες εξειδικευμένες εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες (Serrano-Juan et al. 2015, Wang et al. 2021, Ganesha et al. 2023). Πέρα από τους τρισδιάστατους ανιχνευτές λέιζερ υπάρχουν συσκευές που σαρώνουν ένα αντικείμενο, ένα μνημείο ή ένα χώρο μόνο οριζόντια ή κατακόρυφα με στόχο την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων ή χώρων μελέτης (Τσιούκας, 2009).

Η σάρωση με λέιζερ (laser scanning) είναι η διαδικασία της λεπτομερούς καταγραφής τρισδιάστατων πληροφοριών ενός αντικειμένου. Οι επίγειοι σαρωτές λέιζερ (Terrestrial Laser Scanners/TLS), είναι συσκευές που τοποθετούνται στο έδαφος και χρησιμοποιούνται για να σαρώσουν επιφάνειες μικρών αντικειμένων έως μεγάλα μνημεία ή ολόκληρες περιοχές. Τα εργαλεία αυτά σαρώνουν την υπό μελέτη επιφάνεια, καταγράφοντας το σχήμα και τις ιδιότητες του. Οι πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί επιστρέφουν στη μονάδα ως ένα σύνολο μετρήσεων μεγάλης ακρίβειας σημείων (X, Y, Z), το οποίο ονομάζεται «νέφος σημείων» (point cloud). Τα νέφη σημείων, τα οποία προέρχονται από τους σαρωτές λέιζερ, παρέχουν πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταξύ άλλων για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων των αντικειμένων.

Οι γωνίες διεύθυνσης της ακτίνας λέιζερ, μαζί με την μέτρηση της απόστασης ανάμεσα στον πομπό της ακτίνας και του σημείου που την ανακλά πίσω στον δέκτη του ανιχνευτή, οδηγεί στον διαχωρισμό των τεχνικών ανίχνευσης, ανάλογα με τον τρόπο που υπολογίζεται η απόσταση ανάμεσα στην πηγή και τα σαρωμένα σημεία. Οι τρεις κύριοι τρόποι προσδιορισμού της απόστασης είναι οι ακόλουθοι (Τσιούκας, 2009): Τριγωνισμός (Triangulation Scanner), Χρόνος της πτήσης ενός παλμού λέιζερ (Time of Flight Scanner ή TOF) και Σύγκριση φάσης (Phase Comparison Scanner).

- **Τριγωνισμός (Triangulation):** Ο ανιχνευτής χρησιμοποιεί τη μεγάλη οπτική ευκρίνεια μιας δέσμης λέιζερ, η οποία προβάλλεται στο αντικείμενο και με την εφαρμογή εξισώσεων φωτογραμμετρίας υπολογίζει τη θέση κάθε σημείου που φωτίζεται από τη δέσμη της ακτίνας λέιζερ στον τρισδιάστατο χώρο. Σημαντικός παράγοντας για τη σωστή λειτουργία του ανιχνευτή είναι η ύπαρξη κατάλληλων συνθηκών φωτισμού του αντικειμένου, γιατί η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στον εντοπισμό του στίγματος της ακτίνας λέιζερ στην εικόνα του αντικειμένου που συλλαμβάνεται από τον ενσωματωμένο οπτικό αισθητήρα CCD (Charge-Coupled Device).
- **Χρόνος της πτήσης ενός παλμού λέιζερ (Time of Flight ή TOF):** ένας παλμός λέιζερ εκπέμπεται προς το αντικείμενο και η απόσταση ανάμεσα στη συσκευή αποστολής σημάτων και της επιφάνειας του αντικειμένου υπολογίζεται από το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ μετάδοσης και υποδοχής παλμού.
- **Σύγκριση φάσης (Phase Shift):** Η εκπεμπόμενη ακτίνα διαμορφώνεται από ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται, χρησιμοποιώντας τη διαφορά φάσης μεταξύ του κύματος αποστολής και λήψης.

Στόχος της χρήσης τρισδιάστατου (3D) λέιζερ σαρωτή είναι να διατηρηθεί η εικόνα που έχει τη δεδομένη στιγμή π.χ. το εκάστοτε μνημείο ή στοιχείο γεωκληρονομιάς. Σαρώνεται το αντικείμενο-γεωμορφή με στόχο να δημιουργηθεί ένα αρχείο, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση με μελλοντικές εικόνες του ίδιου αντικειμένου-γεωμορφής. Η επιφάνεια του αντικειμένου επηρεάζεται από τις κλιματικές και καιρικές συνθήκες στις οποίες είναι

εκτεθειμένο, αλλά και από τις διάφορες γεωλογικές διεργασίες (σεισμοί, τσουνάμι κ.τ.λ.) αλλά και ανθρώπινες παρεμβάσεις ή φυσικές καταστροφές (πυρκαγιές, πλημμύρες κ.τ.λ.). Για παράδειγμα, στην Ελβετία γίνεται σάρωση με τρισδιάστατο (3D) λέιζερ σαρωτή στις προσόψεις κτιρίων του 17^{ου}-18^{ου} αιώνα κάθε 25 χρόνια, με στόχο να ελέγχεται αν χρήζουν επέμβαση τα διατηρητέα αυτά κτίρια. Αντίστοιχα, σε μια γεωμορφή είναι σημαντικό να γίνει η σάρωση ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο-περιοχή όπου βρίσκεται (π.χ. απόσταση από την θάλασσα, επιρροή από άνεμο και βροχή), να ελέγχονται τυχόν μεταβολές από διάφορες συνθήκες-παρεμβάσεις και να αποφασιστεί ο προγραμματισμός της σάρωσης στο κατάλληλο χρονικό διάστημα.

Επίσης, για τουριστικούς σκοπούς, χρησιμοποιείται η τρισδιάστατη αναπαράσταση, με την οποία αποτυπώνεται το μνημείο και αποδίδεται μέσω εκτύπωσης ως ενθύμιο της επίσκεψης στο χώρο. Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση (εικονική πραγματικότητα) χρησιμοποιείται ευρέως για αρχαιολογικά μνημεία και την ψηφιοποίησή τους με πολύ μεγάλη ακρίβεια, ειδικά καθώς βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα που βοηθούν στην τεκμηρίωσή τους για τις μελλοντικές γενιές και στη διατήρηση της ιστορικής τους αξίας και αποκατάστασης (Mohamed, 2018).

Εναέρια Τηλεπισκόπηση (με Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών / ΣμηΕΑ)

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια σε όλους τους τομείς που εμπλέκονται με την ανάπτυξη και αξιοποίηση των μη επανδρωμένων συστημάτων, έχει οδηγήσει στη δημιουργία πολλών κατηγοριών, τύπων και εφαρμογών. Ο αγγλικός όρος Unmanned Aerial Vehicle (UAV) ανταποκρίνεται στον όρο Μη Επανδρωμένο Αεροναυτικό Όχημα, το οποίο αποτελεί ένα αεροσκάφος, σχεδιασμένο να λειτουργεί χωρίς την παρουσία του ανθρώπου σε αυτό (Φλιούκα, 2013). Το εν λόγω όχημα είναι ένα από τα υποσυστήματα αυτού που ονομάζεται Μη Επανδρωμένο Αεροναυτικό Σύστημα (Unmanned Aerial System - UAS) (Austin, 2010). Περισσότερα υποσυστήματα του συστήματος αυτού είναι ο επίγειος σταθμός ελέγχου, τα υποσυστήματα εκτόξευσης υποστήριξης, επικοινωνίας και άλλα. Με τη σειρά του, το μη επανδρωμένο αεροναυτικό σύστημα αποτελεί μέρος ενός τοπικού ή και παγκόσμιου περιβάλλοντος αεροπλοΐας, το οποίο διαθέτει τους δικούς του κανόνες. Η μη επανδρωμένη ιπτάμενη συσκευή στις καθημερινές συζητήσεις αναφέρεται ως «drone».

Το μη επανδρωμένο αεροναυτικό σύστημα θα πρέπει να διαχωριστεί από αυτό που συχνά αναφέρεται ως «drone», καθώς τα μη επανδρωμένα αεροναυτικά συστήματα διαθέτουν, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, «νοημοσύνη» που δε διαθέτουν τα «drones». Πιο συγκεκριμένα, έχουν τη δυνατότητα να στέλνουν πληροφορία σε πραγματικό χρόνο εν ώρα πτήσης, σχετικά με την κατάσταση πτήσης τους (θέση, ταχύτητα, υψόμετρο κλπ.), τη γενικότερη κατάσταση τους (καύσιμα – μπαταρία, θερμοκρασία της μηχανής, των ηλεκτρονικών μερών κλπ.) ή σχετικά με τα δεδομένα που συγκεντρώνουν κατά την πτήση τους (φωτογραφίες, βίντεο κλπ.). Επιπλέον, παρέχουν τη δυνατότητα διάγνωσης σφαλμάτων και αυτόματων ενεργειών διόρθωσης τους (Austin, 2010).

Η λέξη «drone» χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τον Αμερικανικό στρατό, λόγω του χαρακτηριστικού ήχου (βόμβος αρσενικής μέλισσας), που κάνουν κάποιες συσκευές με πολλαπλούς έλικες. Οι συνηθέστεροι όροι που εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι:

- UAV (Unmanned Aerial Vehicle) - Μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα ή συσκευή

- UAS (Unmanned Aerial/Air/Aircraft System) - Είναι το σύνολο των συσκευών και υποσυστημάτων που απαιτούνται για τη λειτουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος. Περιλαμβάνει το μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα UAV, σύστημα ελέγχου εδάφους, σύστημα απογείωσης/προσγείωσης, πρόσθετες συσκευές ανάλογα με τις απαιτήσεις της αποστολής (κάμερες, GNSS, ηλεκτρονικό εξοπλισμό κ.τ.λ.), τα απαραίτητα λογισμικά και συσκευές επικοινωνίας. Τα UAS, παρότι αποτελούν ένα σύνολο υποσυστημάτων, κατηγοριοποιούνται συνήθως με βάση το μέγεθος του αεροσκάφους και των δυνατοτήτων τους.
- RPA (Remotely-piloted aircraft) - Είναι το μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα ή συσκευή, του οποίου ο χειριστής βρίσκεται σε άλλη θέση (αέρα, έδαφος, θάλασσα) και το τηλε-κατευθύνει με την ανάλογη συσκευή.
- RPAS (Remotely-piloted aircraft system) - Είναι το σύνολο των συσκευών και υποσυστημάτων που απαιτούνται για τη λειτουργία ενός τηλε-κατευθυνόμενου αεροσκάφους. Περιλαμβάνει το σύστημα ελέγχου εδάφους, το σύστημα απογείωσης/προσγείωσης, πρόσθετες συσκευές ανάλογα με τις απαιτήσεις της αποστολής (κάμερες, GNSS, ηλεκτρονικό εξοπλισμό κ.τ.λ.) τα απαραίτητα λογισμικά και συσκευές επικοινωνίας (Αποσπόρης, 2020).

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) αντιπροσωπεύουν μια από τις πιο αναδυόμενες τεχνολογίες στους τομείς των Γεωεπιστημών και της Τηλεπισκόπησης των τελευταίων δύο δεκαετιών (Nex et al., 2022). Το UAV είναι ένα αεροσκάφος χωρίς άνθρωπο πιλότο και συχνά ελέγχεται είτε από άνθρωπο χειριστή είτε αυτόνομα από αισθητήρες επί του σκάφους. Αναφέρεται επίσης ως Απομακρυσμένης Διαχείρισης Οχήμα - Remotely Operated Vehicle (ROV). Με την ταχεία τεχνολογική ανάπτυξη, τα UAV γίνονται πιο δημοφιλή, προσβάσιμα, οικονομικά και εύχρηστα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στα εκπαιδευτικά ιδρύματα να υιοθετήσουν και να ενσωματώσουν τα drones στο εκπαιδευτικό περιβάλλον (Bai et al. 2021, Sattar 2017).

Στην Ελλάδα, η επίσημη ορολογία, όπως έχει καθοριστεί από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) και χρησιμοποιείται στα νομοθετήματα (ΦΕΚ.Β' 3152/30.09.2016 & ΦΕΚ. Β' 4527/30.12.2016), είναι Σύστημα Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους - ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft System-UAS) και ορίζεται ως: Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UA) μαζί με όλο τον σχετικό εξοπλισμό που αφορά στην υποστήριξη αυτού (σταθμός ελέγχου, δυνατότητες σύνδεσης δεδομένων και τηλεχειρισμού, εξοπλισμός πλοήγησης κ.α.), ο οποίος είναι απαραίτητος για τη λειτουργία του μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Τα ΣμηΕΑ είναι είτε ελεύθερα (free UAS) ή προσδεμένα (tethered UAS) σε σταθερές ή κινητές βάσεις. Στην κατηγορία των ΣμηΕΑ περιλαμβάνονται και τα Τηλεχειριζόμενα Αεροσκάφη (Remotely-Piloted Aircraft RPA), τα Τηλεχειριζόμενα Συστήματα Αεροσκαφών (Remotely-Piloted Aircraft System RPAS) και τα αυτόνομα αεροσκάφη (autonomous aircraft).

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη παλαιότερα δεν ήταν προσιτά στους περισσότερους καταναλωτές λόγω του μεγάλου κόστους αγοράς τους αλλά και της δυσκολίας να τεθεί σε πτήση από κάποιον μη εξοικειωμένο χρήστη. Σήμερα, τα εργαλεία αυτά είναι αξιόπιστα, ελαφριά, φιλικά προς τον χρήστη και πιο οικονομικά. Τα ΣμηΕΑ πλέον ποικίλουν σε μέγεθος και βάρος. Μπορεί να είναι ελαφριά, όσο ένα έντομο ή μεγάλα όπως ένα επανδρωμένο αεροσκάφος. Επιπλέον, οι χρήσεις και οι εφαρμογές τους ποικίλουν, γεγονός που δυσκολεύει την ενιαία κατηγοριοποίηση τους σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα όρια μεταξύ των κατηγοριών και των διαφορετικών τύπων είναι αρκετές φορές δυσδιάκριτα. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες

βασικές κατηγορίες αποδεκτές από τους κανονισμούς των περισσότερων χωρών, οργανισμών και εταιρειών που ασχολούνται με τα ΣμηΕΑ. Ο τρόπος με τον οποίο ταξινομούνται βασίζεται (Αποσπόρης, 2020):

1. Στο πεδίο εφαρμογής τους
Με βάση το πεδίο εφαρμογής τους τα ΣμηΕΑ διακρίνονται σε:
 - Στρατιωτικά
 - Πολιτικά
2. Στο φορέα λειτουργίας τους
Τα πολιτικά ΣμηΕΑ διακρίνονται στους ακόλουθους φορείς λειτουργίας τους:
 - Οργανισμών και Φορέων Δημοσίου
 - Πολιτικής Προστασίας και Ασφάλειας
 - Πανεπιστημιακοί και Ερευνητικοί Φορείς
 - Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης
 - Μεμονωμένοι Επαγγελματίες και Ιδιωτικές Εταιρείες
 - Ιδιώτες, ερασιτέχνες και χομπίστες
3. Στην αεροδυναμική τους
Διαχωρίζονται με βάση τον τρόπο, με τον οποίο γίνεται η παραγωγή της άντωσης, δηλαδή της δύναμης που είναι υπεύθυνη για την πτήση τους. Συνεπώς, διακρίνονται βάσει των πτητικών μέσων σε:
 - Σταθερών πτερυγίων
Βασίζεται στην καμπυλότητα του σχήματος των πτερυγίων που φέρουν και στην κίνησή τους με συγκεκριμένη ταχύτητα μέσα στον αέρα
 - Περιστρεφόμενων στροφείων ή ελίκων
Η άντωση παράγεται από ένα ή περισσότερα οριζόντια (ή σχεδόν οριζόντια) στροφέα (έλικες)
4. Στα φυσικά και πτητικά χαρακτηριστικά τους (βάρος, ύψος πτήσης κ.τ.λ.)
Λόγω της ποικιλίας των ΣμηΕΑ, ήταν δύσκολη η ανάπτυξη κανόνων για όλα, γι' αυτό διαμορφώθηκαν προβλέψεις για διαφορετικές κατηγορίες, ανάλογα με τους κινδύνους και τις βλάβες που μπορεί να προκαλέσουν στον άνθρωπο σε περίπτωση ατυχήματος.

Με την αύξηση των στρατιωτικών εφαρμογών των ΣμηΕΑ, το NATO προχώρησε στην έκδοση Συμφώνων Τυποποίησης, οι οποίες, προκειμένου να τυποποιήσουν θέματα των ΣμηΕΑ, καθορίζουν τις κατηγορίες, στις οποίες αναφέρονται (Abdullah 2014, Rucker 2010, Greenwood 2015, Αποσπόρης 2020)

Κατηγορία I: Μέγιστο βάρος απογείωσης μικρότερο από 150Kg

- Micro:
 - Πάρα πολύ μικρές συσκευές,
 - Μέγιστη κινητική ενέργεια 66 Joules,
 - Πιθανώς να μην προκαλέσει κινδύνους σε ανθρώπους και περιουσίες σε περίπτωση ατυχήματος.
 - Χρησιμοποιούνται ως τακτικά υποσυστήματα
 - Μέγιστο ύψος πτήσης 2000 πόδια (609,6m) πάνω από το έδαφος και 5Km απόσταση με οπτική επαφή
- Mini:
 - Πολύ μικρά μη επανδρωμένα αεροσκάφη

- Το βάρος τους είναι < 15Kg
- Χρησιμοποιούνται ως τακτικά υποσυστήματα
- Μέγιστο ύψος πτήσης 3000 πόδια (914,4m) πάνω από το έδαφος και 25Km απόσταση με οπτική επαφή
- Small
 - Μικρά μη επανδρωμένα αεροσκάφη
 - Το βάρος τους είναι > 15Kg αλλά <600Kg
 - Χρησιμοποιούνται ως τακτικά υποσυστήματα
 - Μέγιστο ύψος πτήσης 5000 πόδια (1524m) πάνω από το έδαφος και 25Km απόσταση με οπτική επαφή

Κατηγορία II: Μέγιστο βάρος απογείωσης από 150Kg έως 600Kg

- Tactical
 - Μεσαία μη επανδρωμένα αεροσκάφη
 - Το βάρος τους είναι από 150Kg έως 600Kg
 - Χρησιμοποιούνται σε τακτικούς σχηματισμούς
 - Μέγιστο ύψος πτήσης 18000 πόδια (5486,4m) πάνω από το έδαφος και μέχρι 200 Km απόσταση με οπτική επαφή

Κατηγορία III: Μέγιστο βάρος απογείωσης μεγαλύτερο από 600Kg

- MALE (Medium Altitude/Long –Endurance- Μεσαίου Ύψους/ Μεγάλης Εμβέλειας)
 - Χρησιμοποιούνται σε επιχειρησιακές αποστολές
 - Μέγιστο ύψος πτήσης 45000 πόδια (13716m) πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και απεριόριστη απόσταση, χωρίς οπτική επαφή
- HALE (High Altitude/Long –Endurance- Μεγάλου Ύψους/ Μεγάλης Εμβέλειας)
 - Χρησιμοποιούνται σε στρατηγικού ή εθνικού επιπέδου αποστολές
 - Μέγιστο ύψος πτήσης 65000 πόδια (19812m) πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και απεριόριστη απόσταση, χωρίς οπτική επαφή
- Strike/Combat – Επιθετικά / Μαχητικά
 - Φέρουν οπλισμό
 - Χρησιμοποιούνται σε στρατηγικού ή εθνικού επιπέδου αποστολές
 - Μέγιστο ύψος πτήσης 65000 πόδια (19812m) πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και απεριόριστη απόσταση, χωρίς οπτική επαφή

Ο Οργανισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Ασφάλεια της Αεροπορίας (European Union Aviation Safety Agency-EASA) κατάρτισε ένα κανονιστικό πλαίσιο για όλα τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Οι κατηγορίες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών που καθορίζονται από τις πτητικές τους λειτουργίες είναι:

-Ανοιχτή Κατηγορία (Open Category)

- Το ΣμηΕΑ έχει μέγιστη μάζα απογείωσης (MTOM) μικρότερη των 25Kg
- Ο χειριστής φροντίζει το ΣμηΕΑ να διατηρείται σε ασφαλή απόσταση από πρόσωπα, καθώς και πως δεν ίπταται πάνω από συναθροίσεις ανθρώπων.
- Ο χειριστής έχει πάντα οπτική επαφή με το ΣμηΕΑ
- Το ΣμηΕΑ βρίσκεται πάντα σε απόσταση 120m από το πλησιέστερο σημείο της επιφάνειας της Γης

- Οι πτητικές κατηγορίες διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες A1, A2, A3
 - Υποκατηγορία A1: Μέγιστη μάζα απογείωσης μικρότερη των 250g, περιλαμβανομένου του ωφέλιμου φορτίου και μέγιστη ταχύτητας λειτουργίας μικρότερη των 19m/s, σε περίπτωση ιδιοκατασκευής ΣμηΕΑ
 - Υποκατηγορία A2: Μέγιστη μάζα απογείωσης μικρότερη των 4Kg, περιλαμβανομένου του ωφέλιμου φορτίου
 - Υποκατηγορία A3: Μέγιστη μάζα απογείωσης μικρότερη των 25Kg, περιλαμβανομένου του ωφέλιμου φορτίου και μέγιστη χαρακτηριστική διάσταση 3m

- Ειδική Κατηγορία (Specific Category)

- Όταν δεν πληρείται μια από τις απαιτήσεις των σχετικών άρθρων για ταξινόμηση στην Ανοιχτή Κατηγορία, τότε ο φορέας εκμετάλλευσης του ΣμηΕΑ θα πρέπει να λάβει άδεια πτητικής λειτουργίας από την αρμόδια αρχή του κράτους μέλους νηολόγησης. Ο φορέας εκμετάλλευσης εκπονεί αξιολόγηση κινδύνων και την υποβάλλει μαζί με την αίτηση.

- Πιστοποιημένη Κατηγορία (Certified Category)

Για να ενταχθεί ένα ΣμηΕΑ σε αυτή τη κατηγορία θα πρέπει να πληροί οποιονδήποτε από τους ακόλουθους όρους:

- Έχει χαρακτηριστική διάσταση 3m και μεγαλύτερη και προορίζεται για λειτουργία πάνω από συναθροίσεις προσώπων
- Προορίζεται για μεταφορά προσώπων
- Προορίζεται για μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων και απαιτεί υψηλό επίπεδο ανθεκτικότητας για τον μετριασμό των κινδύνων έναντι τρίτων σε περίπτωση ατυχήματος
- Χρησιμοποιείται στη Ειδική κατηγορία πτητικών λειτουργιών και στην εκδοθείσα από την αρμόδια αρχή επιχειρησιακή εξουσιοδότηση κρίνεται, έπειτα από αξιολόγηση κινδύνου, ότι ο κίνδυνος της πτητικής λειτουργίας δεν μπορεί να μετριασθεί επαρκώς χωρίς την πιστοποίηση του ΣμηΕΑ

Οι κανόνες για τις πτήσεις των ΣμηΕΑ, όπως και οι κατηγορίες που καθορίστηκαν και ισχύουν για την Ελλάδα είναι εναρμονισμένες με το κανονιστικό πλαίσιο της ΕΕ. Σύμφωνα με τον *Κανονισμό-γενικό πλαίσιο πτήσεων Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών-ΣμηΕΑ*, ο οποίος έχει δημοσιευτεί στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως στις 30 Σεπτεμβρίου 2016 (ΦΕΚ Β-3152/30-09-2016), αναφέρονται οι κανονισμοί για τις πτήσεις των ΣμηΕΑ και τις κατηγορίες που έχουν καθοριστεί και ισχύουν για την Ελλάδα. Αρμόδιος φορέας έχει οριστεί η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ), η οποία έχει συγκεκριμένες αρμοδιότητες έγκρισης αδειών και πιστοποιητικών.

Για την κατηγοριοποίηση των ΣμηΕΑ λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια:

- η μέγιστη μάζα απογείωσης (MTOM)
- το είδος της χρήσης
- το ύψος άνωθεν της επιφάνειας της γης ή της θαλάσσης όπου επιτρέπεται να ίπτανται
- οι περιοχές (αποκλειστικές ή μη), όπου ίπτανται

- οι τεχνικές δυνατότητες εκάστου ΣμηΕΑ
- η πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος πτητικής λειτουργίας του ΣμηΕΑ

Με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια ο Κανονισμός καθορίζει τρεις βασικές κατηγορίες ΣμηΕΑ. Οι κατηγορίες με τις υποκατηγορίες τους, ανάλογα με τα φυσικά και πτητικά χαρακτηριστικά τους, για την Ελλάδα, είναι οι εξής:

A. Η «ανοικτή» κατηγορία (UAS Open Category)

- Ανοικτή κατηγορία A0: «Μίνι Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών»
 - Η μέγιστη μάζα αεροσκάφους κατά την απογείωση (MTOM) είναι μικρότερη του ενός κιλού (<1Kg)
 - Η πτήση περιορίζεται σε ύψος ως 50m επάνω από το έδαφος, σε τοπική πτήση ή αν οι τεχνικές του δυνατότητες επιτρέπουν τον ορισμό του ύψους πτήσης και διαδρομής αυτομάτως ως τα 400 πόδια (121,92m)
- Ανοικτή κατηγορία A1: «Πολύ Μικρά Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών»
 - Η μέγιστη μάζα αεροσκάφους κατά την απογείωση (MTOM) είναι από ένα κιλό ($\geq 1\text{Kg}$) έως τέσσερα κιλά ($\leq 4\text{Kg}$)
 - Οι τεχνικές τους δυνατότητες θα πρέπει να διασφαλίζουν, ότι θα ίπταται σε ύψος χαμηλότερο από τα 400 πόδια (121,92m) πάνω από το έδαφος ή την επιφάνεια της θάλασσας σε λειτουργία τηλεχειριζόμενης τοπικής πτήσης και θα διαθέτουν τα μέσα για αυτόματο περιορισμό εναέριου χώρου στον οποίο μπορεί να εισέλθουν.
- Ανοικτή κατηγορία A2: «Μικρά Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών»
 - Η μέγιστη μάζα αεροσκάφους κατά την απογείωση (MTOM) είναι από τέσσερα κιλά ($\geq 4\text{Kg}$) έως εικοσιπέντε κιλά ($\leq 25\text{Kg}$)
 - Τα επανδρωμένα αεροσκάφη αυτής της κατηγορίας που πωλούνται ως καταναλωτικά προϊόντα, πρέπει να ακολουθούν τις προϋποθέσεις του Κανονισμού ως προς τη γενική ασφάλεια των προϊόντων και πρέπει να διαθέτουν τα μέσα για αυτόματο περιορισμό εναέριου χώρου, στον οποίο μπορεί να εισέλθουν.

B. Η «ειδική» κατηγορία (UAS Specific Category)

- Σε αυτή τη κατηγορία εντάσσονται τα ΣμηΕΑ με απόφαση της ΥΠΑ είτε με διαδικασία καταχώρησης στο Ειδικό Μητρώο ΣμηΕΑ είτε εφόσον έχουν καταχωρηθεί σε Μητρώο/Νηολόγιο άλλου κράτους, υποβάλλοντας αίτηση για χρήση Εναέριου Χώρου.
- Για την εκτέλεση πτήσεων ΣμηΕΑ της κατηγορίας αυτής απαιτείται εξασφάλιση άδειας «πτητικής λειτουργίας» από την ΥΠΑ/Δ2 που χορηγείται αφού ο εκμεταλλευόμενος του ΣμηΕΑ υποβάλει προς έγκριση: 1. Σχέδιο αξιολόγησης κινδύνων ασφαλείας (risk assessment) 2. Εγχειρίδιο πτητικής λειτουργίας (Operations manual) 3. Ασφαλιστήριο συμβόλαιο για την κάλυψη κινδύνων από την άσκηση των δραστηριοτήτων

Γ. Η «πιστοποιημένη» κατηγορία (UAS Certified Category)

- Σε αυτή τη κατηγορία εντάσσονται τα ΣμηΕΑ με απόφαση της ΥΠΑ/Δ2 μετά από την υποβολή της αίτησης εγγραφής τους και την εξέταση της.

- Για την εκτέλεση πτήσεων ΣμηΕΑ της κατηγορίας αυτής απαιτείται η νηολόγηση του ειδικού μητρώου της ΥΠΑ (ΥΠΑ/Δ13) και η έκδοση ειδικού πιστοποιητικού αξιοπλοΐας (πτητικής ικανότητας) για ΣμηΕΑ, σύμφωνα με τους ειδικότερους όρους και προϋποθέσεις που αναφέρονται στον κανονισμό, καθώς και στο καθοδηγητικό υλικό που δημοσιεύεται στον ιστότοπο της ΥΠΑ.

Η χαρτογράφηση αποτελεί μια από τις βασικότερες χρήσεις των UAV. Με την τοποθέτηση φωτογραφικών μηχανών και τη συμβολή εργαλείων εντοπισμού της θέσης του οχήματος, είναι δυνατή η συγκέντρωση πληροφοριών για μια περιοχή με την λήψη εικόνων σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Στη συνέχεια, γίνεται επεξεργασία των εικόνων, λαμβάνοντας υπόψιν την κλίμακα μέτρησης και τις γεωγραφικές συντεταγμένες, ώστε να παραχθεί μια ολοκληρωμένη απεικόνιση της περιοχής. Οι χρήσεις βέβαια είναι ποικίλες, αλλά όσον αφορά στη γεωλογική κληρονομιά θα μπορούσαν να αναφερθούν οι ακόλουθες:

- Εντοπισμός νέων θέσεων ενδιαφέροντος
- Τρισδιάστατη μοντελοποίηση γεωμορφών
- Αποτύπωση γεωμορφών και γεωτόπων
- Παρακολούθηση φαινομένων που εξελίσσονται στη περιοχή ενδιαφέροντος
- Παρακολούθηση της ακτογραμμής
- Παρακολούθηση για τη διατήρηση των γεωμορφών και γεωτόπων
- Παρακολούθηση για προφύλαξη από βανδαλισμούς
- Παρακολούθηση της συμπεριφοράς των επισκεπτών

Διαστημική Τηλεπισκόπηση

Διαστημική (κυρίως δορυφορική) Τηλεπισκόπηση είναι η διαδικασία λήψης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο, με τη χρήση ανιχνευτικών συσκευών που φέρουν δορυφόροι ή άλλα διαστημικά οχήματα, όπως είναι τα διαστημικά λεωφορεία. Βρίσκει εφαρμογή σε διάφορα επιστημονικά πεδία, όπως η γεωλογία, σεισμολογία, δασολογία, υδρογεωλογία, τοπογραφία, μετεωρολογία, μελέτη του κλίματος, γεωργία και πολλά άλλα (Καρτάλης, 2019).

Από την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου παρατήρησης της Γης ERTS (που αργότερα μετονομάστηκε σε Landsat-1) το 1972, ξεκίνησε η πρόοδος στην τεχνολογία των αισθητήρων. Τη δεκαετία του 1980 άρχισαν να γίνονται διαθέσιμα δεδομένα τηλεπισκόπησης σε ολοένα και πιο υψηλές χωρικές αναλύσεις (Cushnie, 1987), ενώ η αύξηση της ανάλυσης των εικόνων απασχόλησε από νωρίς τους ερευνητές. Σε δημοσιευμένες εργασίες της εποχής συγκρίνεται το στιγμιαίο οπτικό πεδίο του Πολυφασματικού Σαρωτή (MSS) των 80m, με αυτό του θεματικού χαρτογράφου (TM) των 30m, και του αισθητήρα Υψηλής ανάλυσης στο ορατό (High Resolution Visible HRV) του SPOT με 20m στην πολυφασματική (XS) ή 10m στην παγχρωματική (P) λειτουργία (Cushnie, 1987).

Κατά την περίοδο των τεσσάρων δεκαετιών από την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου παρατήρησης της γης το 1972, η σειρά των δορυφόρων Landsat έχει καταγράψει σχεδόν 4,5 εκατομμύρια σκηνές εικόνων πάνω από την ξηρά και συνεχίζει (Yu et al., 2014). Η τελευταία σειρά του Landsat-9, τέθηκε σε πτήση στις 27 Σεπτεμβρίου 2021 ενώ από τότε έχουν

εκτοξευθεί και χιλιάδες άλλοι δορυφόροι για την παρατήρηση των δυναμικών του εδάφους (Belward & Skøien, 2015).

Ταυτόχρονα έχει σημειωθεί και μια ουσιαστική πρόοδος στις τεχνολογίες των αισθητήρων (Clark et al. 2004, Kohl et al. 2006, Schowengerd 2007, Yu et al. 2014), και σήμερα είναι διαθέσιμη μια μεγάλη ποικιλία εικόνων μέσης, υψηλής και πολύ υψηλής ανάλυσης από διαφορετικούς αισθητήρες (Clark et al. 2004, Warner et al. 2009, Sheng et al. 2011).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, μέσω του προγράμματος Copernicus, παράγεται και παρέχεται (δωρεάν για όλους τους χρήστες) από το 2014, τεράστιος όγκος δορυφορικών δεδομένων παρατήρησης της Γης, μέσω της οικογένειας δορυφόρων Sentinel, καθώς και άλλων συνεργαζόμενων αποστολών (Third Party Missions) (URL05).

Άλλες κατηγοριοποιήσεις

Σε σχέση με τους στόχους της διατριβής, διακρίνονται δύο ακόμη σημαντικές κατηγορίες τηλεπισκοπικών συστημάτων, τα παθητικά και τα ενεργητικά (Richards, 1986).

Τα παθητικά τηλεπισκοπικά συστήματα αποτελούν συστήματα ανίχνευσης και καταγραφής της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά το παρατηρούμενο αντικείμενο – στόχος. Τα συστήματα αυτά ανιχνεύουν εύρος του φάσματος που εκτείνεται από την περιοχή των πολύ μικρών μηκών κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) το ορατό, το εγγύς, το μέσο και το θερμικό υπέρυθρο μήκος κύματος (από 0,4μm έως 1000μm). Η ατμόσφαιρα στην περίπτωση αυτών των συστημάτων έχει σημαντική επίδραση στην ένταση και τη φασματική σύνθεση της ακτινοβολίας που καταγράφεται. Οι αισθητήρες αυτοί λειτουργούν όπως οι φωτογραφικές μηχανές, με τη διαφορά ότι εκτός από τη μέτρηση της ενέργειας στο ορατό τμήμα του φάσματος καταγράφουν την ενέργεια σε πολλές περιοχές του φάσματος και γι' αυτό ονομάζονται πολυφασματικοί αισθητήρες (Lillesand, Kiefer & Chipman 2015, Emery, Camps & Rodriguez-Cassola 2017, Liang & Wang 2020).

Τα ενεργητικά τηλεπισκοπικά συστήματα αποτελούν έναν ευρύτερο όρο που αναφέρεται σε αισθητήρες που χρησιμοποιούν τη δική τους πηγή ενέργειας. Το ραντάρ είναι ένας τυπικός ενεργητικός μικροκυματικός αισθητήρας. Η λειτουργία των ενεργητικών αυτών συστημάτων είναι η εξής: ο ανιχνευτής - π.χ. ραντάρ - εκπέμπει στον στόχο (αντικείμενο ή περιοχή) σήμα και καταγράφει το τμήμα (ποσοστό) εκείνο του σήματος που επιστρέφει. Το επιστρεφόμενο σήμα έχει υποστεί αλλοιώσεις λόγω των ιδιοτήτων της επιφάνειας. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται και μελετάται το κάθε σώμα και φαινόμενο.

Τα συστήματα ραντάρ (Radar-Radio Detection and Ranging) μπορούν να είναι απεικονιστικά (imaging radars), ραντάρ μετρήσεων των υψομετρικών διαφορών (altimeters), καθώς και σκεδασόμετρα (scatterometers). Έχουν την δυνατότητα να λειτουργήσουν στο μικροκυματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (περίπου 1mm έως 1m). Τα πλεονεκτήματά των συστημάτων ραντάρ είναι, ότι μπορούν να διαπεράσουν τα σύννεφα, τη σχετικά χαμηλή βροχή και το χιόνι, συνεπώς δεν εξαρτώνται ούτε από τις καιρικές συνθήκες, ούτε από τις συνθήκες φωτισμού του ήλιου, δηλαδή καταγράφουν ημέρα και νύχτα. Επιπλέον, έχουν τη δυνατότητα να διαπερνούν τη βλάστηση και το έδαφος μέχρι βάθους κάποιων μέτρων (υπό προϋποθέσεις), να εκτιμήσουν την υγρασία του επιφανειακού στρώματος του εδάφους και να καταγράφουν και να μελετούν τους πάγους στην γήινη επιφάνεια. Επίσης, η καταμέτρηση της χρονικής διαφοράς μεταξύ του εκπεμπόμενου και του επιστρεφόμενου σήματος χρησιμεύει για τον υπολογισμό αποστάσεων (και υψομετρικών διαφορών). Το κυριότερο μειονέκτημα των συστημάτων ραντάρ είναι, ότι λόγω της χαμηλής

εκπεμπόμενης ακτινοβολίας το σήμα που καταγράφουν μπορεί να υποστεί αλλοιώσεις από παρεμβολές και επιπλέον το σήμα τους δεν έχει πολυφασματικά χαρακτηριστικά.

Η βασική λειτουργία του ραντάρ περιλαμβάνει την εκπομπή υψηλής ενέργειας σήματος σε ελάχιστο χρόνο (micro second) και την αποτύπωση της επανασκέδασης (οπισθοσκέδασης) από τη γήινη επιφάνεια του σήματος αυτού. Η πληροφορία, η οποία καταγράφεται, έχει άμεση σχέση με: 1. τη σχετική ισχύ του σήματος. 2. το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ του εκπεμπόμενου και εισερχόμενου σήματος. 3. τη διεύθυνση από την οποία προέρχεται το ανακλώμενο σήμα.

Γενικά τα συστήματα ραντάρ βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορα επιστημονικά πεδία όπως τη γεωργία, τη δασολογία, τη γεωλογία, την υδρολογία, την ωκεανογραφία. Τα τελευταία χρόνια σημειώθηκε μεγάλη αύξηση στη διαθεσιμότητα δορυφορικών δεδομένων ραντάρ συνθετικής κεραίας (Synthetic Aperture Radar/SAR), κυρίως από νέους δορυφόρους ραντάρ υψηλής και πολύ υψηλής (επιπέδου έως και λίγων δεκάδων cm) χωρικής ανάλυσης.

2.4.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Βασικό χαρακτηριστικό της δορυφορικής τηλεπισκόπησης αποτελεί η ανάλυση (ή διακριτική ικανότητα) των αισθητήρων, η οποία είναι πολυδιάστατη. Σύμφωνα με τον Barrett (1982), ανάλογα με την εφαρμογή και το είδος του δορυφόρου, διακρίνεται σε χωρική, φασματική, ραδιομετρική και (δια)χρονική.

Χωρική Ανάλυση

Το ευδιάκριτο της λεπτομέρειας σε μια εικόνα εξαρτάται από τη χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution) ή αλλιώς τη χωρική ή γεωμετρική ανάλυση του οργάνου καταγραφής. Η χωρική ανάλυση αποτελεί ουσιαστικά το βήμα δειγματοληψίας, με το οποίο γίνονται οι εκάστοτε καταγραφές και σχετίζεται με το μέγεθος του μικρότερου χαρακτηριστικού που μπορεί θεωρητικά να ανιχνευθεί και ως εκ τούτου με την (χαρτογραφική) κλίμακα μελέτης.

Έτσι, π.χ. εάν ένας αισθητήρας έχει χωρική διακριτική ικανότητα 20m, τότε στην αντίστοιχη εικόνα κάθε εικονοστοιχείο (pixel) αντιπροσωπεύει μία περιοχή επιφάνειας ίσης με $20\text{m} \times 20\text{m}$ ή 400m^2 .

Φασματική Ανάλυση

Η φασματική διακριτική ικανότητα ή φασματική ανάλυση (spectral resolution) σχετίζεται με τον αριθμό των φασματικών καναλιών (ή αλλιώς ζωνών ή διαύλων) που χρησιμοποιεί ο κάθε αισθητήρας. Πρόκειται για πολύ σημαντική ιδιότητα, γιατί στις πολυφασματικές εικόνες: α) η θέση στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, το εύρος και ο αριθμός των φασματικών καναλιών μπορούν να καθορίζουν τον βαθμό και το είδος των διαφόρων στόχων και β) η συνδυαστική χρήση τους μπορεί να επιφέρει πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με οποιοδήποτε μεμονωμένο φασματικό κανάλι.

Τα συστήματα που καταγράφουν σε πάνω από δύο φασματικές ζώνες ονομάζονται πολυφασματικά (multispectral), ενώ όσα διαθέτουν δεκάδες φασματικές ζώνες με πολύ μικρό εύρος φάσματος χαρακτηρίζονται ως υπερφασματικά (hyperspectral).

Ραδιομετρική Ανάλυση

Η ραδιομετρική ικανότητα ή ραδιομετρική ανάλυση (radiometric resolution) περιγράφει την ικανότητα ενός συστήματος να καταγράφει διαφορές στην ισχύ του σήματος. Τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν την πραγματική πληροφορία που περιέχεται σε μία εικόνα. Κατά την αποτύπωση μιας εικόνας, η ευαισθησία της στην ένταση της ανακλώμενης ενέργειας καθορίζει και καθορίζεται από τη ραδιομετρική ικανότητα. Τα δεδομένα μιας εικόνας αντιπροσωπεύονται από ψηφιακές τιμές (Digital Numbers/DN), οι οποίες λαμβάνουν 2^n τιμές, όπου n ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων (bit). Η τιμή του n χαρακτηρίζει και τη ραδιομετρική ανάλυση της εικόνας (π.χ. 8-bit, 16-bit κ.τ.λ.). Η αύξηση της ραδιομετρικής ικανότητας προκαλεί ανάλογη αύξηση των χρωματικών διαβαθμίσεων στην εικόνα και επομένως επιφέρει καλύτερη διάκριση μεταξύ των στόχων.

Χρονική Ανάλυση

Η (δια)χρονική διακριτική ικανότητα ή (δια)χρονική ανάλυση (temporal resolution) ενός συστήματος σχετίζεται με τη συχνότητα λήψης πανομοιότυπων εικόνων για την ίδια περιοχή και έχει ιδιαίτερη σημασία στη δορυφορική Τηλεπισκόπηση. Η περίοδος επαναληψιμότητας για ένα δορυφορικό σύστημα παρατήρησης της Γης είναι συνήθως της τάξης κάποιων ημερών ή ωρών ή και λεπτών (π.χ. όταν πρόκειται για μετεωρολογικούς δορυφόρους).

Για να θεωρούνται αξιόπιστα και με όσο το δυνατόν μικρότερη ασάφεια τα αποτελέσματα της διαχρονικής ανάλυσης θα πρέπει να πληρούνται τα ακόλουθα:

1. Θα πρέπει να αποτυπώνεται η ίδια γεωγραφική περιοχή με την ίδια γωνία παρατήρησης, καθώς και την ίδια χωρική και φασματική ανάλυση.
2. Οι διαχρονικές εικόνες πρέπει να λαμβάνονται από τα συστήματα καταγραφής την ίδια περίπου ώρα της ημέρας, ώστε να εξαλείφονται οι ημερήσιες διαφορές της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, διότι προκαλούν ανώμαλες διαφοροποιήσεις των ιδιοτήτων ανάκλασης των αντικειμένων.
3. Θα πρέπει να λαμβάνονται την ίδια περίοδο του έτους, ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι φαινολογικές³ διαφοροποιήσεις των επιφανειακών χαρακτηριστικών.

2.4.3 ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Ψηφιακά Υψομετρικά Δεδομένα Τηλεπισκόπησης

Η ανάπτυξη παγκόσμιων, τοπικών ή ενδιάμεσης γεωγραφικής κλίμακας ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων (Digital Elevation Models/DEM) από τηλεπισκοπικά δεδομένα είναι ένα ενεργό πεδίο έρευνας. Τα DEM άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τη δεκαετία του 1950, αλλά η ραγδαία ανάπτυξη της Πληροφορικής και της Τηλεπισκόπησης κατά τον 21^ο αιώνα είναι αυτή που τα κατέστησε στην πορεία περισσότερο χρήσιμα και αξιόπιστα (Mouratidis et al. 2010, Mouratidis & Ampatzidis 2019).

³ επιστημονικός κλάδος που μελετά την εξάρτηση των διάφορων βιολογικών φαινομένων των φυτών (ανάπτυξη, άνθηση κ.τ.λ.) από το περιβάλλον (κλιματολογικές συνθήκες).

Γενικά, τα DEM χρησιμοποιούνται παραδοσιακά σε ένα πλήθος εφαρμογών για διάφορους σκοπούς. Κάποιες από τις τυπικές χρήσεις τους είναι (Μουρατίδης, 2010):

- Υπολογισμός υψομέτρου αναλυτικά για οποιοδήποτε σημείο
- Υπολογισμός κλίσης
- Υπολογισμός του προσανατολισμού (aspect) της επιφάνειας του εικονοστοιχείου
- Κατασκευή ισοϋψών καμπύλων
- Τρισδιάστατη απεικόνιση κ.α.

Τα DEM αποτελούν σήμερα ένα σημαντικό εργαλείο και πηγή δεδομένων με εφαρμογή σε πολλά σύγχρονα επιστημονικά αντικείμενα. Ενδεικτικά, ο συνδυασμός τηλεπισκοπικών εικόνων με DEM επιτρέπει την δημιουργία τρισδιάστατων απεικονίσεων του εδάφους, με εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality/VR) ή επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality/AR).

DEM μπορούν να προκύψουν με πολλούς τρόπους, όπως Εναέρια Τηλεπισκόπηση, Διαστημική Τηλεπισκόπηση, σάρωση και ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών, καθώς και συστήματα λείζερ. Η παραδοσιακή μέθοδος παραγωγής Ψηφιακών Υψομετρικών Μοντέλων (DEM), μέσω τοπογραφικών χαρτών και αεροφωτογραφιών, χάνει έδαφος και τη θέση τους καταλαμβάνουν τα διαστημικά (δορυφορικά και άλλα) δεδομένα, από τα οποία προκύπτουν τα DEM. Η παγκόσμια διαθεσιμότητα δορυφορικών δεδομένων ολοένα αυξανόμενης ανάλυσης, ακρίβειας και αξιοπιστίας, επιτρέπει τη γρήγορη επεξεργασία σε κάθε περιοχή του πλανήτη. Έτσι, τα δεδομένα Radar (SAR) παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας DEM με δύο διαφορετικούς τρόπους επεξεργασίας. Ο πρώτος είναι η στερεοσκοπική μέθοδος και ο δεύτερος η συμβολομετρία SAR (SAR Interferometry/InSAR) (Subramanian 2001, Χαλκιάς 2001). Επίσης, μέσω των δεδομένων Lidar μπορούν να προκύψουν ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα. Τα δεδομένα Lidar συλλέγονται από την ανάκλαση του παλμού του πομπού. Η αντανάκλαση καταγράφεται ως σημεία, τα οποία ονομάζονται νέφη σημείων (point clouds) και αναπαριστούν την τρισδιάστατη θέση του αντικειμένου στην επιφάνεια της Γης, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων, της βλάστησης και του εδάφους. Σύμφωνα με τη USGS (URL 06) στόχος είναι να υπάρχουν μόνο DEM που προέρχονται από Lidar και InSAR.

Συμβολομετρία SAR

Σύμφωνα με τον Μουρατίδη (2010), η μέθοδος της συμβολομετρίας SAR είναι στην πρωτογενή της μορφή μια τεχνική παραγωγής ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων (DEMs). Χρησιμοποιεί την πληροφορία της φάσης, από δεδομένα SAR, για να σχηματίσει συμβολογράμματα (Interferograms), από τα οποία μπορούν να υπολογιστούν οι υψομετρικές διαφορές των στοιχείων του εδάφους και τελικά να παραχθούν DEMs.

Μία επέκταση της βασικής μεθόδου InSAR είναι η διαφορική συμβολομετρία (Differential SAR Interferometry/DInSAR), η οποία χρησιμοποιείται για την μέτρηση παραμορφώσεων και ανεπαίσθητων μετακινήσεων του αναγλύφου και έχει προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον από την πλευρά της επιστημονικής κοινότητας. Αν και η συμβολομετρία είναι εξ' ορισμού διαφορική τεχνική (Ferretti et al., 2007), εντούτοις ο όρος «διαφορική συμβολομετρία» έχει επικρατήσει για να περιγράψει τη χρήση εικόνων, οι οποίες έχουν ληφθεί σε διαφορετικές ημερομηνίες και από την όσο το δυνατόν ίδια θέση, με σκοπό την ανίχνευση μεταθέσεων ή παραμορφώσεων (σεισμοί, καθιζήσεις, κατολισθήσεις κ.λπ.) της γήινης επιφάνειας, έχοντας

απομακρύνει την επίδραση του τοπογραφικού αναγλύφου και άλλων επιδράσεων στη συμβολομετρική φάση.

Η μέθοδος της συμβολομετρίας SAR (SAR Interferometry / InSAR), έχει εξελιχθεί ραγδαία μετά το 1990, ως συνάρτηση της διαθεσιμότητας δεδομένων SAR. Ορόσημα στην εξέλιξη αυτής της μεθόδου για την παραγωγή ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων αποτέλεσαν οι αποστολές SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (Farr & Kobrick, 2000) και TerraSAR-X/TanDEM-X (Krieger et al., 2013).

Οι βασικές αρχές και οι εφαρμογές της συμβολομετρίας SAR είναι πολύ καλά και αναλυτικά τεκμηριωμένες (π.χ. Zebker & Goldstein 1986, Gabriel & Goldstein 1988, Gabriel et al. 1989, Massonnet et al. 1993, Massonnet & Feigl 1998, Bamler & Hartl 1998). Το ίδιο συμβαίνει και με τις προηγμένες τεχνικές μεθόδους συμβολομετρίας SAR, οι οποίες έχουν ανπτυχθεί και συνεχίζουν να εξελίσσονται κατά την τελευταία εικοσαετία, με σκοπό να άρουν κάποιους περιορισμούς, αλλά και να διευρύνουν το πεδίο εφαρμογής της μεθόδου (π.χ. Ferretti et al. 2000 & 2001, Bernardino et al. 2002, Hooper et al. 2007), φτάνοντας υπό προϋποθέσεις σε ακρίβειες της τάξης λίγων χιλιοστών.

Παράλληλα, η ενσωμάτωση αυτοματοποιημένων αλγορίθμων και διαδικασιών της συμβολομετρίας SAR σε διαδικτυακές πλατφόρμες ανάκτησης και επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων, έχει δώσει μεγάλη ώθηση στη χρήση της μεθόδου, καθώς και στον όγκο των δεδομένων που υπόκεινται σε επεξεργασία (Big Data Analysis). Αυτό έχει επιτευχθεί τόσο λόγω της, σε μεγάλο βαθμό, δωρεάν προσβασιμότητας στα δεδομένα και τους επεξεργαστικούς πόρους, αλλά και στην απλοποίηση των διαδικασιών, ώστε να καταστούν «φιλικές» για το μη εξειδικευμένο κοινό (π.χ. Fournel et al., 2022).

2.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

Η επιστήμη της πληροφορικής έχει σημειώσει ραγδαία εξέλιξη τις τελευταίες δεκαετίες, συνεπώς δημιουργούνται συνεχώς νέες προοπτικές στις εφαρμοσμένες επιστήμες, όπως τη Χαρτογραφία, την Τηλεπισκόπηση και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information Systems/GIS).

Τα GIS είναι λογισμικά με κατάλληλη αρχιτεκτονική σχεδίαση, ώστε να συλλέγουν, να αποθηκεύουν, να ενημερώνουν, να επεξεργάζονται, να αναλύουν και να παρουσιάζουν όλων των τύπων γεω – κωδικοποιημένες ή αλλιώς γεωχωρικές (geospatial) πληροφορίες (Burrough 1986, Maguire 1991). Ο όρος «γεωγραφικό» φανερώνει, ότι η θέση των δεδομένων είναι γνωστή ή μπορεί να υπολογιστεί με την έννοια των συντεταγμένων. Ο όρος «πληροφοριών» σημαίνει, ότι τα δεδομένα σε ένα GIS οργανώνονται για την παραγωγή χρήσιμης γνώσης, συχνά ως θεματικοί χάρτες και εικόνες, αλλά και ως γραφήματα, πίνακες καθώς και με τη μορφή διαδραστικών ερωτημάτων (Bonham-Carter, 1994). Ο όρος «σύστημα» υποδηλώνει, ότι ένα GIS αποτελείται από συσχετισμένα και συνδεδεμένα συστατικά μέρη με διαφορετικές λειτουργίες το καθένα. Άρα με ένα GIS δίνεται η δυνατότητα για την εισαγωγή, επεξεργασία, μετασχηματισμό, οπτικοποίηση, συνδυασμό, ανάλυση και μοντελοποίηση των δεδομένων αλλά και τη δημιουργία ερωτημάτων, εξάγοντας τα σχετικά αποτελέσματα (Bonham-Carter 1994, Skidmore 2003, Lloyd 2010).

Ένας ευρύς ορισμός που μπορεί να δοθεί είναι αυτός που θεωρεί ως GIS εκείνο το πληροφοριακό σύστημα, που έχει κατασκευαστεί προκειμένου να επεξεργάζεται δεδομένα, τα οποία προσδιορίζονται με χωρικές συντεταγμένες. Ένα GIS αποτελείται από ένα σύστημα βάσεων δεδομένων, με δυνατότητα καταγραφής χωρικών δεδομένων και από ένα σύστημα λειτουργιών επεξεργασίας και απεικόνισης των δεδομένων αυτών (Gahegan & Ehlers, 2000).

Ως (γεω)χωρικά δεδομένα θεωρούνται τα δεδομένα, τα οποία αποτελούν ένα σύνολο παρατηρήσεων και μετρήσεων των χαρακτηριστικών ή των ιδιοτήτων τους στο γεωγραφικό χώρο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο (Lloyd 2010, Zhu 2016). Ένας γεωγραφικός χώρος είναι ένας χώρος στον οποίο οι παρατηρήσεις αντιστοιχούν σε θέσεις στην επιφάνεια της Γης, καθορισμένος με ένα χωρικό πλαίσιο μέτρησης, που αποτυπώνει τις χωρικές τους σχέσεις (όπως η εγγύτητα, η συνδεσιμότητα και η κατεύθυνση) στον πραγματικό κόσμο. Ένα τέτοιο πλαίσιο είναι ένα σύστημα συντεταγμένων, το οποίο καθορίζει τις συντεταγμένες, το υψόμετρο και τον προσανατολισμό, λαμβάνοντας υπόψη το σύνθετο σχήμα της Γης.

Οι παρατηρήσεις στο γεωγραφικό χώρο αφορούν χωρικά κατανεμημένα στοιχεία, όπως είναι τα υδάτινα σώματα, τα οποία επίσης συχνά αναφέρονται ως γεωγραφικά στοιχεία, χωρικά αντικείμενα ή χωρικές οντότητες. Τα χωρικά αυτά αντικείμενα ορίζονται ως ένα σύνολο τοποθεσιών σε ένα γεωγραφικό χώρο, μαζί με ένα σύνολο χαρακτηριστικών που χαρακτηρίζουν αυτές τις τοποθεσίες. Ο χάρτης συνιστά ένα παραδοσιακό μέσο αναπαράστασης ενός γεωγραφικού χώρου. Επομένως, τα χωρικά δεδομένα μπορούν να συνδεθούν με έναν χάρτη ή να αναπαρασταθούν με τη μορφή ενός χάρτη (Zhu, 2016).

Ένα GIS είναι σχεδιασμένο για τη συγκέντρωση (γεω)χωρικών δεδομένων από διαφορετικές πηγές σε μία ενοποιημένη βάση δεδομένων. Συχνά, χρησιμοποιείται ένα πλήθος δομών ψηφιακών δεδομένων και αναπαρίστανται χωρικά μεταβαλλόμενα φαινόμενα με τη μορφή επικαλυπτόμενων επιπέδων (Bonham-Carter, 1994). Ένα GIS επιτρέπει τη χωρική ανάλυση, η οποία αναφέρεται σε ένα σύνολο μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εξέταση, επεξεργασία, ανάλυση και ερμηνεία χωρικών δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή, κατανόηση και πρόβλεψη χωρικών προτύπων, χωρικών σχέσεων, τάσεων και των υποκείμενων αιτιολογικών παραγόντων. Μέσω της χωρικής ανάλυσης τα χωρικά δεδομένα μετατρέπονται σε χρήσιμες πληροφορίες και γνώσεις.

Σήμερα, ο όρος GIS έχει διευρυνθεί για να περιγράψει μια ολόκληρη επιστήμη – αυτήν της Γεωχωρικής Πληροφορίας και Τεχνολογίας (Geospatial Information Science & Technology) ή αλλιώς της Γεωπληροφορίας (Geoinformation), περικλείοντας κυρίως τα πεδία της Τηλεπισκόπησης, των Παγκόσμιων Δορυφορικών Συστημάτων Πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems/GNSS) και φυσικά των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Επί της ουσίας, τόσο διαισθητικά όσο και πρακτικά, ως επιστήμη, το GIS είναι μία μοντέρνα έκφανση της Γεωγραφίας και εμπίπτει στην Τεχνική Γεωγραφία (Ormeling 2009, Haidu 2016), με πληθώρα εφαρμογών τόσο στις Φυσικές όσο και στις Κοινωνικές Επιστήμες.

Σε αυτό το σημείο διευκρινίζεται, ότι στην παρούσα εργασία ο όρος GIS χρησιμοποιείται με την πρωταρχική του έννοια – αυτήν ενός «Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών». Τα πακέτα λογισμικού GIS που είναι διαθέσιμα ποικίλουν και έχουν πολλές δυνατότητες. Μπορούν να λειτουργήσουν σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα, όπως Windows,

MacOS, Linux. Τα λογισμικά διακρίνονται σε εμπορικά και ελεύθερα υπό το καθεστώς Άδειας Ελεύθερης Τεκμηρίωσης-GNU.

Γενικά ο αρχικός σχεδιασμός των GIS ήταν προσανατολισμένος στη διεκπεραίωση εφαρμογών. Οι εφαρμογές ωστόσο είναι ποικίλες, και σχετίζονται με θέματα της φύσης, κοινωνικο-οικονομικά, τεχνικά, γεωγραφικά-χαρτογραφικά. Επιπλέον, βρίσκουν θέση και στη διαχείριση - διοίκηση των σχολείων, στη δημιουργία και έλεγχο εθνικών εκπαιδευτικών πολιτικών και στην εκπαίδευση των μαθητών όλων των βαθμίδων. Όσον αφορά την εφαρμογή τους στην εκπαίδευση προσφέρουν ευκαιρία διασύνδεσης της Γεωγραφίας με τις τεχνολογίες πληροφορικής, εφόσον προσφέρουν στους μαθητές δυνατότητα να διερευνούν θέματα τοπικού ή παγκόσμιου επιπέδου, αναπτύσσοντας τις δεξιότητες χωρικής αντίληψης στους μαθητές. Επιπροσθέτως, τα GIS έχουν ενεργό ρόλο στην υποστήριξη της μάθησης, καλλιεργώντας την κριτική σκέψη, τις ικανότητες και δεξιότητες για την επίλυση διαφόρων θεμάτων. Συνδυάζοντας πληροφορίες από διαφορετικές πηγές μπορούν να οργανωθούν κατάλληλα και να αποτυπωθούν σε χάρτες προσφέροντας οπτική αναπαράσταση τους κανοντάς τα προσιτά και κατανοητά ακόμα και από ένα μη ειδικό κοινό. Άρα τόσο στην εκπαίδευση όσο και στον τουρισμό μπορούν να αποτυπωθούν στοιχεία που προωθούν την γνώση με πιο κατανοητό τρόπο (Κοντόση, 2007).

2.6 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ-GIS & ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ

Από τη δεκαετία του 1980, η χρήση της Τηλεπισκόπησης στη διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς ήταν πολύ διαδεδομένη. Η βιβλιογραφία είναι πλούσια (Wiseman & El-Baz 2007, Cowley 2010, Hadjimitsis et al. 2013, Risbøla et al. 2014, Brutto et al. 2014, Agapiou 2015, Georgopoulos 2016, Cuca & Hadjimitsis 2017, Tapete 2018, Chen et al. 2018, Tzouvaras et al. 2019, Elfadaly et al. 2019, Hadjimitsis et al. 2020, Noszczyk & Gawronek 2020, Karagianni 2021, Wilson 2021, Goussios & Faraslis 2022) σχετικά με τις εφαρμογές σε διάφορες έρευνες από τον προσδιορισμό θέσεων με πολιτιστική αξία έως τη συντήρηση μνημείων. Αν και τα τελευταία χρόνια η χρήση των γεωχωρικών τεχνολογιών σε σχέση με τη γεωκληρονομιά έχει αυξηθεί, παραμένει πολύ μικρή σε σχέση με την πολιτιστική κληρονομιά.

Η διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς (βλ. § 2.2) αποτελείται από μια σειρά σταδίων. Τα στάδια αυτά μπορούν να υποστηριχθούν και να ενισχυθούν με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Τα στάδια του εντοπισμού, της αξιολόγησης, της χαρτογράφησης και όπου αλλού απαιτείται χωρική πληροφορία, τα GIS, η διαδικτυακή χαρτογραφία (web mapping) και η διαδραστικότητα μέσω εφαρμογών σε κινητά τηλέφωνα, μπορούν να συμβάλλουν στη διαχείριση της γεωκληρονομιάς.

Οι βάσεις γεωχωρικών δεδομένων σε περιβάλλον GIS, συνδυάζουν πληροφορίες οι οποίες προέρχονται από την έρευνα πεδίου, δορυφορικές εικόνες ή αεροφωτογραφίες, επίγειους σαρωτές ή ιστορικούς χάρτες. Το τελικό χαρτογραφικό προϊόν έχει την δυνατότητα να αποτελέσει ένα χρηστικό, δυναμικό και διαδραστικό εργαλείο (Cayla, 2014). Η έρευνα, η εκτίμηση και η αναπαράσταση της γεωλογικής κληρονομιάς μπορούν να προσεγγιστούν μέσω εργαλείων χωρικής πληροφορίας. Έτσι, τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems/GNSS) είναι εργαλεία που δίνουν γρήγορα και με ακρίβεια το στίγμα οποιασδήποτε θέσης πάνω στη Γη. Η Τηλεπισκόπηση είναι ο πιο γρήγορος και αποτελεσματικός τρόπος απόκτησης χωρικής πληροφορίας μεγάλης έκτασης,

ενώ το GIS αποτελεί το πιο ισχυρό εργαλείο οργάνωσης και ανάλυσης μεγάλου όγκου χωρικών δεδομένων (He et al., 2020).

Η χρήση GIS επιτρέπει την καταγραφή και ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων από διαφορετικές πηγές και σε διάφορες κλίμακες. Αυτό συμβάλλει στη συσχέτιση των πληροφοριών τόσο χωρικά όσο και χρονικά (Goussios & Faraslis, 2022). Τα GIS έχουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη μεθόδων επεξεργασίας και χωρικής οπτικοποίησης πληροφοριών αλλά και στην αξιολόγηση και χαρτογράφηση, επιτρέποντας την προσθήκη νέων γεωτόπων, οι οποίοι θα αξιοποιηθούν στον τουρισμό ή/και στην εκπαίδευση (Santos et al. 2016, Carton et al. 2005, Regolini-Bissig 2010). Τα GIS παρέχουν τη δυνατότητα ανάπτυξης βάσης μεγάλου όγκου δεδομένων. Μέσω αυτών των βάσεων δεδομένων επιτρέπεται η σύνθεση θεματικών χαρτών, η προσθήκη κειμένων και εικόνων. Αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας είναι η ανάδειξη ενός ολοκληρωμένου αποτελέσματος (Σουλακέλης & Ζούρος 1998, Bendaoud et al. 2015).

Σε διάφορες ιστοσελίδες έχει χρησιμοποιηθεί η διαδικτυακή χαρτογραφία, με στόχο την παρουσίαση και την προβολή στο ευρύ κοινό, των θέσεων γεωλογικού και πολιτιστικού ενδιαφέροντος. Στις ιστοσελίδες αυτές παρουσιάζονται χάρτες είτε με θέσεις ενδιαφέροντος είτε με διαδρομές. Στη συνέχεια αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά τέτοια παραδείγματα.

IGME (URL 03): Το IGME ασχολήθηκε με τη συστηματική καταγραφή των γεωτόπων, γεωδιαδρομών και γεωπάρκων του Ελληνικού Χώρου. Αποτέλεσμα αυτής της καταγραφής ήταν η ανάπτυξη ενός χάρτη, σε περιβάλλον GIS, όπου αναπαριστώνται αυτές οι θέσεις ενδιαφέροντος, αλλά και πληροφορίες τόσο για τις συγκεκριμένες θέσεις όσο και για γεωδιαδρομές που έχει ερευνήσει το IGME. Οι γεωδιαδρομές είναι έξι και αφορούν στις περιοχές της Μαρώνας, της Νήσου Θάσου, Βίκου-Αώου, Λαυρίου, Κρήτης και Νισύρου.

ANTIPAROSROUTES (URL 07): Μέσω της εφαρμογής My maps™ που προσφέρει η Google Ins™, αναπτύχθηκε μια σειρά θεματικών διαδρομών για το νησί της Αντιπάρου. Σε αυτές τις 17 διαδρομές παρουσιάζονται τόσο τα γεωλογικά όσο και τα πολιτιστικά στοιχεία του νησιού. Οι διαδρομές έχουν αναπτυχθεί σε αρχεία κατάλληλα για την ανάγνωσή τους μέσω της εφαρμογής Gpx Viewer αλλά και του Google Earth™.

Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Λάσβου της Λέσβου (URL 8): Στη σελίδα του μουσείου είναι αναρτημένος ένας χάρτης για τη θέση των γεωπάρκων του νησιού. Η δημιουργία του χάρτη έγινε και πάλι μέσω της Google Ins™ (My Maps™).

Γεω-μνημεία και Γεώτοποι της Λήμνου (URL 9): Στη σελίδα αυτή παρουσιάζονται πληροφορίες για τους Γεωτόπους, τη Φύση (χλωρίδα, πανίδα) και τον Πολιτισμό του νησιού της Λήμνου. Μέσω ενός Διαδραστικού Χάρτη σε περιβάλλον Google Earth™ παρουσιάζονται και αναφέρονται πληροφορίες για όλες τις θέσεις ενδιαφέροντος, κάθε κατηγορίας. Επιπλέον, έχουν δημιουργηθεί τρισδιάστατα μοντέλα (3D models) και παρουσιάζονται με τη χρήση της εφαρμογής Sketchfab™.

Miloterranean Geo Experiences (URL 10): Παρουσιάζεται διαδραστικός χάρτης με διαδρομές και κείμενα ξενάγησης για το νησί της Μήλου. Αποτελείται από επτά διαδρομές, οι οποίες παρουσιάζουν τη μοναδική γεωλογία του νησιού, το μεταλλευτικό του πλούτο, καθώς και την πολιτιστική κληρονομιά του.

Topoguide (URL 11): Μια από τις πλουσιότερες σε πληροφορίες σελίδα. Παρουσιάζονται διαδραστικοί χάρτες για όλη την περιοχή του Ελληνικού Χώρου. Τα θέματα που παρουσιάζονται τόσο με αναλυτικά κείμενά όσο και με χάρτες παρουσίασης σημείων είναι: βουνά, καταφύγια, νησιά, γεώτοποι, φαράγγια, πεζοπορικά δίκτυα, μονοπάτια της Ελλάδος,

αρχαία μονοπάτια της Αττικής, κάστρα και πύργοι της Αττικής, πόλγες της Στερεάς Ελλάδας. Επιπλέον υπάρχουν πληροφορίες και χάρτες για τη φύση (βλάστηση, χλωρίδα, θηλαστικά, πουλιά, ερπετά και αμφίβια και εθνικά πάρκα) σε όλη την Ελλάδα. Τέλος, παρουσιάζονται χάρτες διαδρομών σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.

Γεωπάρκο Νισύρου (URL 12): Στη σελίδα του γεωπάρκου παρουσιάζονται θέσεις γεωλογικού ενδιαφέροντος και γεωδιαδρομές σε διαδραστικούς χάρτες. Έχουν αναπτυχθεί δέκα γεωδιαδρομές, οι οποίες παρουσιάζουν την πολιτιστική και γεωλογική κληρονομιά του νησιού, με πληροφορίες για το νεότερο στρατοηφαίστειο του Αιγαίου. Τέλος, έχει αναπτυχθεί μια εφαρμογή, η οποία ονομάζεται Nisyros Volcano App. Είναι ένας ψηφιακός οδηγός που προσφέρει στους χρήστες την ευκαιρία να εξερευνήσουν το μοναδικό ηφαιστειακό πεδίο του Λακκίου, μέσα από ενημερωμένο υλικό. Ο χρήστης περιηγείται εικονικά στο ηφαιστειακό τοπίο, μέσω πανοραμικών (360°) εικόνων υψηλής ποιότητας, βίντεο και ψηφιακούς χάρτες.

Γεωπάρκο Σητείας (URL 13): Παρουσιάζεται διαδραστικός χάρτης με θεματικές ενότητες: το γεωπάρκο, τη γεωγραφία, τη γεωλογία, το περιβάλλον, τον πολιτισμό, τα θρησκευτικά μνημεία, το γεωτουρισμό (με διαδρομές) και δραστηριότητες. Επιπλέον, αναφέρονται πληροφορίες για κάθε επιμέρους ενότητα.

Γεωπάρκο Ψηλορείτη (URL 14): Στη σελίδα του γεωπάρκου παρουσιάζεται διαδραστικός χάρτης με θέματα το γεωπάρκο, τη γεωγραφία, τη γεωλογία, το περιβάλλον, τον πολιτισμό, τα θρησκευτικά μνημεία, τον γεωτουρισμό (με διαδρομές) και δραστηριότητες. Επιπλέον αναφέρονται πληροφορίες για κάθε ενότητα παρουσίασης. Έχει επίσης αναπτυχθεί αφηγηματικός χάρτης, ο οποίος προσφέρει εικονική περιήγηση στα πιο σημαντικά σημεία ενδιαφέροντος. Ακόμα, έχουν αναπτυχθεί δύο εκπαιδευτικές εφαρμογές για κινητές συσκευές με λογισμικό android, με τις οποίες πραγματοποιείται εικονική επίσκεψη στα μονοπάτια της Μύγας και των Γωνιών.

Γεωπάρκο Κεφαλλονιάς-Ιθάκης (URL 02): Στη σελίδα του γεωπάρκου παρουσιάζεται διαδραστικός χάρτης, στον οποίο σημειώνονται θέσεις γεωλογικού ενδιαφέροντος για τα δυο νησιά (Κεφαλλονιά και Ιθάκη). Επιπλέον, για κάθε θέση αναφέρονται σχετικές πληροφορίες.

Γεωπάρκο Λαυρεωτικής (URL 15): Στη σελίδα του γεωπάρκου υπάρχει διαδραστικός χάρτης, ο οποίος αναφέρει επτά γεωδιαδρομές.

Στη διεθνή βιβλιογραφία, οι AL-Saedi et al. (2022), εξέτασαν τη συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των GIS στην εύρεση κατάλληλης θέσης δημιουργίας γεωπάρκου στο ΝΑ Ιράκ. Ένα ακόμα παράδειγμα χρήσης του GIS είναι η ανάπτυξη μιας βάσης για την περιοχή της Αλγερίας, στην οποία παρουσιάζονται θέσεις γεωλογικού ενδιαφέροντος, ώστε να προωθηθεί η γεωλογική κληρονομιά της περιοχής. Στόχος της είναι να σημειωθούν όλες οι γεωθέσεις της περιοχής και η διαδραστική αυτή βάση να είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο, αλλά και να υπάρχει δυνατότητα συνεχούς ανανέωσης και προσθήκης νέων θέσεων. Η βάση δεδομένων μέσω της ανάρτησης της στο διαδίκτυο θα είναι διαθέσιμη στο ευρύ κοινό και ο χρήστης θα μπορεί να έχει πρόσβαση στο γεωλογικό χάρτη της Αλγερίας και σε πληροφορίες και εικόνες από τις γεωλογικές θέσεις ενδιαφέροντος (Bendaoud et al., 2015).

Τα GIS, η εξέλιξη των μεθόδων και μέσων Τηλεπισκόπησης, καθώς και η τρισδιάστατη μοντελοποίηση χρησιμοποιούνται επίσης στη διαδικασία μελέτης και συντήρησης των πολιτιστικών μνημείων (Droj, 2010). Τα τελευταία χρόνια σημειώνεται μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη τρισδιάστατων εμπειριών και αυτό οδηγεί σε περεταίρω τεχνολογικές εξελίξεις σε αυτόν τον τομέα, όπως η τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση και εκτύπωση, οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality/VR) ή επαυξημένης

πραγματικότητας (Augmented Reality/AR) και τα τρισδιάστατα παιχνίδια. Μια καινοτόμα χρήση της τρισδιάστατης σάρωσης για την διατήρηση της κληρονομιάς είναι η συμβολή στην τουριστική εμπειρία. Η πληθώρα των εφαρμογών της τρισδιάστατης σάρωσης κεντρίζει το ενδιαφέρον της επιστημονικής και όχι μόνο κοινότητας και οι τεχνικές της μπορούν να βρουν εφαρμογή στην διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς (Shishido et al., 2017). Τέτοιες εφαρμογές είναι π.χ. η ανάπτυξη ψηφιακών αρχείων τρισδιάστατων μοντέλων, υψηλής πιστότητας φυσικών αντιγράφων έργων τέχνης, η ψηφιακή αποκατάσταση και παρακολούθηση της πολιτιστικής κληρονομιάς (Pieraccini et al., 2001).

Τα τρισδιάστατα μοντέλα οπτικοποίησης είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει την πιο αποτελεσματική αναπαράσταση πληροφοριών. Τα μοντέλα αυτά αποδίδουν ρεαλιστικά και με λεπτομέρεια την πραγματικότητα και η ανάπτυξή τους σχετίζεται με εφαρμογές φωτογραμμετρίας. Οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι επιτρέπουν την αναπαράσταση διαφορετικών πτυχών της πραγματικότητας σε ένα εύρος πεδίων των φυσικών επιστημών. Για παράδειγμα, το Google Earth™ αναπαράγει πληροφορίες, οι οποίες προκύπτουν από φωτογραμμετρικές μεθόδους. Οι εικόνες που χρησιμοποιεί λαμβάνονται από μια βάση δεδομένων δορυφορικών εικόνων, αεροφωτογραφιών και τοπογραφικών δεδομένων, ώστε να σχηματίσουν το τρισδιάστατο ανάγλυφο. Αν και υπάρχει η τάση τα κύρια αστικά κέντρα να αποτυπώνονται με όσο το δυνατόν λεπτομερέστερη πληροφορία, δεν ισχύει το ίδιο με όλες τις περιοχές, όπως π.χ. αυτές που αφορούν σε γεωλογικές δομές. Για τη μελέτη των τελευταίων έχουν χρησιμοποιηθεί επίγειοι σαρωτές (LIDAR), οι οποίοι μπορούν να παρέχουν εξαιρετικά ακριβή τρισδιάστατα δεδομένα των γεωλογικών θέσεων. Επιπλέον, η ανάπτυξη των ΣμηΕΑ, τα οποία φέρουν κάμερες υψηλής ανάλυσης, μπορούν να καλύψουν μεγάλης έκτασης περιοχές ενδιαφέροντος και να παρέχουν εικόνες, από τις οποίες θα προκύψουν τρισδιάστατα μοντέλα. Τα ΣμηΕΑ βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλο εύρος πεδίων όπως στη γεωργία, τις επιστήμες περιβάλλοντος, την πολιτιστική κληρονομιά, την αρχαιολογία, σε στρατιωτικούς σκοπούς αλλά και στη διαφήμιση (Santos et al., 2016).

Σύμφωνα με την έρευνα των Williams & McHenry (2020), μέσω συνεντεύξεων σε 39 διακεκριμένους επιστήμονες και επαγγελματίες που ασχολούνται με τη γεωλογική κληρονομιά και τα γεωπάρκα σε παγκόσμιο επίπεδο, τέθηκε η ερώτηση κατά πόσο χρησιμοποιούνται τα ΣμηΕΑ στη διαχείριση και την έρευνα της γεωλογικής κληρονομιάς. Από τις απαντήσεις που δόθηκαν, προκύπτει πως το 14,3% έχουν πρόθεση να χρησιμοποιήσουν τόσο τα ΣμηΕΑ όσο και άλλες γεωχωρικές τεχνολογίες σε μελλοντικές μελέτες τους. Μια σημαντική παρατήρηση της έρευνάς είναι, πως ενώ οι συμμετέχοντες αναγνωρίζουν μια αύξηση στη χρήση γεωχωρικών τεχνολογιών τα τελευταία χρόνια, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% δεν έχουν χρησιμοποιήσει ούτε προτίθενται να χρησιμοποιήσουν τα ΣμηΕΑ. Αντίθετα, τα GIS χρησιμοποιούνται στις εργασίες τους σε ποσοστό μεγαλύτερο του 78,6%. Η χρήση του GIS ήταν κυρίως για χαρτογράφηση και προβολή πληροφοριών για τουριστικούς σκοπούς σε ιστοσελίδες και εφαρμογές σε κινητά τηλέφωνα ή για την καταγραφή και προστασία γεωθέσεων, σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η πολύ ακριβής χωροθέτησή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΣΕΙΣ & ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται πληροφορίες και στοιχεία για το κάθε αντικείμενο και περιοχή μελέτης της κάθε κλίμακας/περιπτώσιολογικής μελέτης ξεχωριστά

3.1 ΕΘΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Η Ελλάδα έχει πλούσια ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά, κάτι που αντανάκλαται στα 19 Μνημεία Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO που βρίσκονται στην επικράτειά της (URL 16; URL 17). Επιπλέον, η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα με πλούσιο γεωλογικό ενδιαφέρον που έχει έναν μεγάλο κατάλογο χαρακτηριστικών ή/και σπάνιων γεωμορφών και γεωτόπων, όπως το Απολιθωμένο δάσος της Λέσβου αλλά και ιδιαίτερων ή/και μοναδικών ευρημάτων, όπως οι μεγαλύτεροι παγκοσμίως χαυλιόδοντες του γένους *Mammut*, μήκους 5,02 m που βρέθηκαν στη Μηλιά Γρεβενών και έχουν καταχωρηθεί στο βιβλίο των ρεκόρ Guinness (URL 36). Αν και μικρή σε έκταση χώρα, αποτελείται από 8 γεωπάργα με παγκόσμια αναγνώριση που έχουν ενταχθεί στο Παγκόσμιο Δίκτυο Γεωπάρκων (URL 35), στο οποίο υπάρχουν μέχρι σήμερα 195 Παγκόσμια Γεωπάργα σε 48 χώρες. Συγκεκριμένα τα γεωπάργα της Ελλάδος είναι:

- Το Γεωπάργκο Λέσβου: περιλαμβάνει ολόκληρη τη νήσο Λέσβο και αναγνωρίστηκε από την UNESCO το Σεπτέμβριο 2012.
- Το Φυσικό Πάρκο Ψηλορείτη: ιδρύθηκε το 2001 και λίγο αργότερα εντάχθηκε στο Δίκτυο των Παγκόσμιων Γεωπάρκων της UNESCO.
- Το Γεωπάργκο Χελμού – Βουραϊκού: από τον Οκτώβριο του 2009 έγινε μέλος του Ευρωπαϊκού Δικτύου Γεωπάρκων EGN και του παγκόσμιου Δικτύου GGN της UNESCO.
- Το Γεωπάργκο Βίκου – Αώου: ιδρύθηκε το 1973 εντάχθηκε στο Παγκόσμιων Γεωπάρκων της UNESCO 1 Οκτωβρίου 2010.
- Το Γεωπάργκο Σητείας: εντάχθηκε στο Παγκόσμιων Γεωπάρκων της UNESCO το 2015.
- Το Γεωπάργκο Γρεβενών – Κοζάνης: αποτελεί ήδη από τον Απρίλιο 2021 και επίσημα μέλος του Παγκόσμιου Δικτύου Γεωπάρκων της UNESCO.
- Το Γεωπάργκο Κεφαλονιάς – Ιθάκης: ιδρύθηκε το 2016 και έγινε επίσημα μέλος παγκόσμιου Δικτύου Γεωπάρκων της UNESCO στις 13 Απριλίου 2022.
- Το Γεωπάργκο Λαυρεωτικής: εντάχθηκε στο Δίκτυο Γεωπάρκων της UNESCO το Μάιο του 2023.

Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα γεωλογικών μνημείων της Ελλάδος είναι το Απολιθωμένο Δάσος Λέσβου, τα Αρχαία Μεταλλεία του Λαυρίου, η Κοιλάδα του Βίκου, τα Μετέωρα, το Φαράγγι της Σαμαριάς, το Σπήλαιο του Διρού, η Ηφαιστειακή Καλδέρα της Σαντορίνης (Βαλιάκος, 2018). Εκτός από τα ως άνω πολύ χαρακτηριστικά παραδείγματα γεωκληρονομιάς στην Ελληνική Επικράτεια, υπάρχουν διάσπαρτες πολυάριθμες περιπτώσεις στοιχείων γεωλογικής κληρονομιάς (σε διάφορες κλίμακες), οι οποίες αξίζει να

καταχωρηθούν και να ταξινομηθούν σε μία ενοποιημένη βάση γεωχωρικών δεδομένων GIS, ώστε να είναι δυνατή η περαιτέρω ανάλυση και γενικότερα ή διαχείρισή τους.

Κατηγοριοποίηση της Γεωλογικής Κληρονομιάς στη Βάση Γεωχωρικών Δεδομένων

Κύριο αντικείμενο μελέτης της εθνικής κλίμακας για την παρούσα διατριβή αποτελεί η ανάπτυξη βάσης γεωχωρικών δεδομένων. Στη βάση αυτή προσδιορίζονται θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς που βρίσκονται στον ελληνικό χώρο. Η κατηγοριοποίηση βασίζεται στη βιβλιογραφία και στις απαιτήσεις της δημιουργίας της βάσης στα πλαίσια της διατριβής. Στόχος της βάσης γεωχωρικών δεδομένων είναι οι γενικές κατηγορίες γεωλογικής κληρονομιάς, όπως έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία, να αναλυθούν σε θέσεις με γεωλογικό ενδιαφέρον, άρα κομμάτι της γεωλογικής κληρονομιάς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα σπήλαια, τα οποία ανήκουν στις θέσεις Καρστικού ενδιαφέροντος, αλλά λόγω της πληθώρας αυτών των θέσεων στον ελληνικό χώρο, κρίθηκε απαραίτητος ο προσδιορισμός σε διαφορετική υπόκατηγορία. Επιπλέον, η βάση έχει αναπτυχθεί σε περιβάλλον GIS, συνεπώς έχοντας πιο συγκεκριμένα στοιχεία για κάθε θέση δίνεται η δυνατότητα και της ποσοτικής μελέτης των θέσεων σε σύγκριση με άλλα δεδομένα.

Οι γεώτοποι διακρίνονται βάσει της δημιουργίας τους σε Φυσικούς και Ανθρωπογενείς. Οι Φυσικοί γεώτοποι είναι όσοι δημιουργήθηκαν από τις δυνάμεις της φύσης ενώ οι Ανθρωπογενείς γεώτοποι είναι όσοι προκύπτουν έπειτα από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Στη συνέχεια γίνεται επεξήγηση των κατηγοριών στις οποίες διακρίνεται η γεωλογική κληρονομιά.

Οι *Φυσικοί γεώτοποι* της Ελλάδος διακρίνονται στις εξής κατηγορίες :

- *Τεκτονικές θέσεις ενδιαφέροντος*

Αφορούν θέσεις στις οποίες οι τεκτονικές δυνάμεις διαμορφώνουν τον στερεό φλοιό της Γης. Οι δυνάμεις μπορεί να είναι συμπιεστικές ή εφελκυστικές. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα κανονικά, ανάστροφα και οριζόντιας μετατόπισης ρήγματα, τα τεκτονικά παράθυρα, οι πτυχές, και οποιαδήποτε άλλη γεωλογική μορφή προέρχεται από τεκτονικές δυνάμεις.

- *Στρωματογραφικές θέσεις ενδιαφέροντος*

Αφορούν θέσεις με ιδιαίτερες γεωλογικές εμφανίσεις σχηματισμών όπως για παράδειγμα θέσεις εμφάνισης Μολάσσας, Φλύσχη, Ερυθροστρωμάτων ή εναλλαγές στρωμάτων, ακολουθίες γεωτεκτονικών ζωνών (εσωτερικές και εξωτερικές Ελληνίδες), προαλπικά πετρώματα και άλλες παρόμοιες μορφές.

- *Παλαιοντολογικές θέσεις ενδιαφέροντος*

Χαρακτηρίζουν θέσεις εντοπισμού απολιθωμάτων ασπόνδυλων, σπονδυλωτών ζώων, καθώς και φυτικών οργανισμών. Επιπλέον, στη συγκεκριμένη κατηγορία εντάσσονται οι θέσεις παλαιοντολογικής ανασκαφής.

- *Ορυκτολογικές – Πετρολογικές θέσεις ενδιαφέροντος*

Συμπεριλαμβάνονται θέσεις με ιδιαίτερη ή σπάνια ορυκτολογική και πετρολογική σύσταση. Εντάσσονται στην κατηγορία θέσεις που είναι εύκολα εμφανής η σύστασή τους λόγω χάρη ο πρασινοσχιστόλιθος στην οδό Αγίου Δημητρίου στη Θεσσαλονίκη.

- *Καρστικές θέσεις ενδιαφέροντος*

Σε περιοχές που επικρατούν ανθρακικά πετρώματα, το νερό έχει την ικανότητα να διαμορφώνει το ανάγλυφο λόγω της διαλυτικής του επίδρασης σε αυτά. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται καρστική διάβρωση. Αναπτύσσονται τόσο επιφανειακές όσο και υπόγειες καρστικές μορφές

Στις επιφανειακές μορφές ανήκουν οι γλυφές, καρστικά φρεάτια, δολίνες, ουβάλες, πόλγες. Στις υπόγειες καρστικές μορφές ανήκουν οι καταβόθρες και τα σπήλαια. Ωστόσο, επιλέχθηκε στη συγκεκριμένη βάση τα σπήλαια να αποτελούν μια ξεχωριστή κατηγορία, γιατί ο ελληνικούς χώρος έχει έναν μεγάλο αριθμό σπηλαίων και κρίνεται απαραίτητος ο διαχωρισμός.

- *Γεωμορφολογικές θέσεις ενδιαφέροντος*

Συμπεριλαμβάνονται θέσεις που προέρχονται από οποιαδήποτε μορφή διάβρωσης και αποσάθρωσης, σχηματίζοντας ιδιαίτερες γεωμορφές. Οι γεωμορφές μπορεί να προέρχονται από αιολική διάβρωση, χημική διάβρωση, μηχανική αποσάθρωση αλλά και συνδυασμό αυτών των φαινομένων.

- *Ηφαιστειακές θέσεις ενδιαφέροντος*

Χαρακτηρίζονται οι θέσεις όπου εμφανίζονται ηφαίστεια (ενεργά ή ανενεργά), αλλά και θέσεις που σχετίζονται με ηφαιστειακή δράση (ατμίδες, κρατήρες, φρεατικές εκρήξεις, θέσεις απελευθέρωσης αερίων).

- *Θερμές πηγές*

Χαρακτηρίζονται θέσεις φυσικών εξόδων θερμού νερού, το οποίο έχει θερμοκρασία υψηλότερη από τη μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα στο σημείο που αναβλύζει. Συνήθως μια πηγή χαρακτηρίζεται ως θερμή όταν το νερό έχει θερμοκρασία τουλάχιστον 20°C (Σούλιος, 2004). Θεωρείται χρήσιμος ο διαχωρισμός της κατηγορίας γιατί στην Ελλάδα υπάρχουν περισσότερες από 750 θερμές και μεταλλικές πηγές.

- *Περιβάλλοντα*

Στη κατηγορία αυτή εντάσσονται γεώτοποι που αποτελούν δυναμικά, μεγάλης κλίμακας περιβάλλοντα, τα οποία φανερώνουν μια σημαντική γεωλογική στιγμή της περιοχής που συναντώνται. Αποτελούν μια ιδιαίτερη εμφάνιση και δεν συναντώνται συχνά. Το *Ποτάμιο περιβάλλον*: περιλαμβάνει τις ποτάμιες γεωμορφές και διεργασίες όπως κοιλάδες, ποτάμιες αναβαθμίδες, δέλτα. Το *Λιμναίο περιβάλλον*. Το *Παράκτιο περιβάλλον*: περιλαμβάνει τις παράκτιες γεωμορφές και διεργασίες όπως ακτές απόθεσης, ακτές διάβρωσης. Το *Ερημικό περιβάλλον*: περιλαμβάνει γεωμορφές και διεργασίες με καθοριστικό παράγοντα διαμόρφωσης την αιολική διάβρωση ανεξαρτήτως της θερμοκρασία που επικρατεί.

Οι ακόλουθες κατηγορίες (φαράγγι και καταρράκτες) ανήκουν κυρίως στο ποτάμιο περιβάλλον αλλά λόγω της γεωμορφολογίας και του μεγάλου αριθμού αυτών των μορφών στην Ελλάδα, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη διαφορετικών κατηγοριών στη βάση δεδομένων.

Φαράγγια

Χαρακτηρίζονται ως στενές, βαθιές χαράδρες με απόκρημνα τοιχώματα. Η κύρια δημιουργία τους οφείλεται στην διαβρωτική δράση ορμητικών υδάτινων ρευμάτων, οδηγώντας στη συνεχή εκβάθυνση της κοίτης ανάμεσα σε συμπαγή και ανθεκτικά πετρώματα. Επιπλέον, μπορούν να αναπτυχθούν από τεκτονικές διεργασίες.

Καταρράκτες

Χαρακτηρίζονται θέσεις που εμφανίζουν απότομη πτώση νερού από βραχώδη προεξοχή. Η διαδικασία της διάβρωσης παίζει καθοριστικό ρόλο σε αυτό το φαινόμενο της δημιουργίας του καταρράκτη, αλλά και ο ίδιος ο καταρράκτης συμβάλλει στη διάβρωση της περιοχής. Η

διάβρωση δεν είναι ο μόνος τρόπος δημιουργίας του καταρράκτη, καθώς καταρράκτης μπορεί να σχηματιστεί και κατά μήκος ενός ρήγματος. Ένας σεισμός, κατολίσθηση, παγετώνας ή ηφαίστειο μπορεί επίσης να διαταράξει τις κοίτες των ρεμάτων και να βοηθήσει στη δημιουργία καταρρακτών (URL 31).

- *Αλυκές*

Η αλυκή είναι μια ρηχή παράκτια λιμνοθάλασσα η οποία την χειμερινή περίοδο καλύπτεται από νερό, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν αποξηραίνεται αποτελεί ένα αλίπεδο. Οι αλυκές είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης γεωλογικών, γεωγραφικών διεργασιών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων. Η γεωποικιλότητα, η σχέση της περιοχής γεωλογικά με τον άνθρωπο και τον πολιτισμό καθιστούν τις θέσεις αυτές άξιες διατήρησης και αποτελούν σημεία γεωλογικής κληρονομιάς. Ανήκει στο λιμναίο περιβάλλον αλλά διαχωρίζεται λόγω της σημασίας της για την περιοχή που συναντάται.

- *Παγετώδεις γεωμορφές & περιπαγετώδεις γεωμορφές –διεργασίες*

Ως παγετώνας χαρακτηρίζεται το μόνιμο σώμα πάγου που προέρχεται από ανακρυστάλλωση του χιονιού και ρέουν αργά λόγω βαρύτητας. Οι χρονικές περίοδοι κατά τις οποίες παρατηρείται εξάπλωση των παγετώνων και πτώση του μέσου όρου θερμοκρασίας στη Γη, ονομάζονται παγετώδεις περίοδοι. Κατά το Τεταρτογενές παρατηρούνται 4 παγετώδεις περίοδοι. Μέρος του ορογενούς συστήματος των Άλπεων- Ιμαλαίων αποτελούν τα βουνά της Ελλάδος. Ο σχηματισμός τους οφείλεται στη σύγκρουση των τεκτονικών πλακών της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής. Στα βουνά της χώρας υπάρχουν μαρτυρίες για επεισόδια παγετώνων. Αυτά τα παγετώδη περιβάλλοντα είναι δυναμικά συστήματα του εξαρτώνται από τη περιφερειακή ή τοπική μεταβλητότητα του κλίματος. Στη κατηγορία αυτή εντάσσονται οι θέσεις που παρατηρούνται αυτά τα φαινόμενα (Leontaritis et al., 2020).

- *Γεωλογικά τοπία*

Η κατηγορία αυτή αποτελείται από γεωλογικά τοπία χωρίς ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που θα καθιστούσαν δυνατή την κατάταξή τους σε κάποια ειδική ομάδα. Για τη δημιουργία τους έχουν επιδράσει πάνω στο φλοιό της Γης το νερό, ο αέρας αλλά και η τεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή όπου συναντώνται. Η μορφή κάθε τοπίου είναι άμεσα συνυφασμένη με τα πετρώματα από τα οποία αποτελείται. Τα τοπία αυτά παρέχουν κάποια σημαντική πληροφορία ή αποτελούν μια μοναδική και ιδιαίτερη γεωλογική εμφάνιση που φανερώνει ένα σημαντικό στοιχείο της γεωλογικής ιστορίας της Γης. Τα γεωλογικά τοπία είναι τα ακόλουθα: βουνά , οροσειρές, πεδιάδες, τάφροι, νησιά.

Οι *Ανθρωπογενείς γεώτοποι* διακρίνονται στις εξής θέσεις:

- *Αρχαία λατομεία - ορυχεία - μεταλλεία*

Τα λατομεία είναι ιδιαίτερος σημαντικά για την επιστήμη και την εκπαίδευση, γιατί παρέχουν πληροφορίες για το γεωλογικό παρελθόν της περιοχής και επιτρέπουν στους γεωεπιστήμονες να μελετήσουν, να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν την γεωλογική ιστορία της περιοχής. Σε περιοχές με ήπιο ανάγλυφο, στις οποίες η μορφολογία δεν προσδίδει τα γεωλογικά χαρακτηριστικά, η ανάπτυξη θέσεων εξόρυξης, όταν είναι απαραίτητο και άξιο εκμετάλλευσης, έχουν μεγάλη σημασία για την λήψη γεωλογικών πληροφοριών. Επιπλέον δίνουν την δυνατότητα να εντοπιστούν και να εξορυχθούν πόροι από τους οποίους εξαρτάται μια κοινωνία.

Οι θέσεις των λατομείων είναι σημαντικές για τη γεωδιατήρηση, γιατί συμπεριλαμβάνουν χώρους είτε ανενεργούς είτε σε λειτουργία, οι οποίοι αποτελούν πολύτιμη πηγή επιστημονικής έρευνας, εκπαίδευσης, αναψυχής ή γεωτουρισμού. Χαρακτηρίζονται ως ένα

θεαματικό, ασφαλές και προσβάσιμο μέρος όπου μπορεί να προσπελαστεί, να προωθηθεί και να χρησιμοποιηθεί η γεωκληρονομιά ως μέσο επικοινωνίας με τις τοπικές κοινωνίες (Prosser, 2019).

Η μεταλλευτική κληρονομιά σχετίζεται με τη γεωκληρονομιά και τη γεωποικιλότητα. Ο όρος «μεταλλευτική κληρονομιά» αναφέρεται σε οτιδήποτε εμπλέκεται σε ενεργή και ανενεργή εξερεύνηση εξόρυξης, όπως ορυκτά και πετρώματα που εξορύσσονται (ή εξορυσσόταν), βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ιστορικές τεκμηριώσεις παλαιών ορυχείων, διαδικασίες και τεχνικές εκμετάλλευσης, ακόμη και ιστορίες και παραδόσεις των κοινοτήτων εξόρυξης. Εάν τα ορυκτά και τα πετρώματα εξακολουθούν να είναι διαθέσιμα και έχουν επιστημονική αξία, θα πρέπει να θεωρούνται γεωκληρονομιά. Κάποιες φορές η μεταλλευτική κληρονομιά, μπορεί να έχει μόνο εκπαιδευτική ή/και τουριστική αξία. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να θεωρείται τοποθεσία γεωποικιλότητας. Τα υπόλοιπα θεωρούνται μεταλλευτική κληρονομιά, η οποία δεν είναι συγκεκριμένος τύπος γεωλογικής κληρονομιάς. Όταν εξετάζουμε μόνο τις βιομηχανικές και μηχανολογικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται κατά τη δραστηριότητα εξόρυξης και μεταλλουργία, θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο όρος «βιομηχανική κληρονομιά». Οι ειδικοί στη βιομηχανική αρχαιολογία μελετούν αυτό το είδος κληρονομιάς ως συμβολή στην ιστορία της τεχνολογίας (Brilha, 2015).

Μεταλλευτική και βιομηχανική κληρονομιά είναι όλες οι πηγές που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ιστορία των παραγωγικών δραστηριοτήτων μιας χώρας ή ενός πληθυσμού. Ένα μνημείο ή αντικείμενο βιομηχανικής χρήσης αποτελεί σημαντικό στοιχείο παροχής πληροφοριών γιατί αντικατοπτρίζει τις επιρροές και συνήθειες του πολιτισμού και του περιβάλλοντος κάθε κοινωνίας (Vlachopoulos et al., 2022). Αποτελούν γεωλογική κληρονομιά γιατί παρέχουν στοιχεία για τη γεωλογική ιστορία της περιοχής. Προσδιορίζουν την γεωλογία, την στρωματογραφία, την τεκτονική της περιοχής.

Σύμφωνα με τους Mendoza et al. (2022), πολυάριθμες μελέτες σχετικά με τη γεωλογική κληρονομιά, τη γεωδιατήρηση, και το γεωτουρισμό σε μέρη μεταλλευτικής δραστηριότητας είχαν θετικά αποτελέσματα ανταπόκρισης. Η μεταλλευτική δραστηριότητα έχει, όπως αναφέρθηκε, τόσο φυσικό όσο και ανθρωπογενές ενδιαφέρον. Οι ανθρωπογενείς γεωμορφές αποτελούν σημαντικό πόρο γεωτουρισμού και γεωεκπαίδευσης. Η γεωποικιλότητα των ανθρωπογενών γεωτόπων περιλαμβάνει γεωμορφές εξόρυξης (φρεάτια, υπόγειους χώρους, λατομεία, παλιές βιομηχανικές περιοχές) με ιδιαίτερη τουριστική αξία. Ενδεικτικά παραδείγματα για την Ελλάδα είναι τα αρχαία μεταλλεία Λαυρίου, Σερίφου, αρχαία λατομεία Πεντέλης.

- *Θέσεις αναπτυξιακών έργων*

Περιλαμβάνει θέσεις αρχαίων και σύγχρονων αναπτυξιακών έργων, τεχνητά πρανή, κατασκευές. Στο γεωπεριβάλλον υπάρχουν διάφορα έργα, που έχει εκτελέσει ο άνθρωπος σε βάθος χρόνου. Τα έργα αυτά είναι η απόδειξη της δύναμης του ανθρώπου να διαμορφώνουν το γεωπεριβάλλον του.

Εξετάζοντας τοποθεσίες στις οποίες κατά τους ιστορικούς χρόνους εκτελέστηκαν τα αναπτυξιακά έργα, εντοπίζουμε τους ανθρωπογενείς γεωτόπους. Οι τόποι που μας ενδιαφέρουν και αναζητούμε τους ανθρωπογενείς γεωτόπους είναι τα αρχαία και σύγχρονα αναπτυξιακά έργα, όπως σήραγγες διώρυγες, τ' αποξηραντικά έργα της Κωπαΐδας, η Εγνατία οδός η οποία διέρχεται σχεδόν απ' όλες τις γεωτεκτονικές ζώνες της χώρας και αποτέλεσε πεδίο για έρευνα και εκπαίδευση γεωλόγων, πολιτικών μηχανικών και πολλών άλλων επιστημονικών πεδίων. Επίσης, η Διώρυγα της Κορίνθου και τα Λιγνιτωρυχεία της Πτολεμαΐδας.

Οι δυο κατηγορίες θα μπορούσαν να αποτελούν μια ομάδα γεωλογικής κληρονομιάς. Ωστόσο, κρίνεται χρήσιμος ο διαχωρισμός των αρχαίων λατομείων από τα σύγχρονα αναπτυξιακά έργα. Η εκμετάλλευση του λίθου και στη συνέχεια των μετάλλων, είτε σε

επιφανειακές είτε σε υπόγειες εμφανίσεις τους, από τον άνθρωπο είναι γνωστή από την αρχαιότητα. Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετές θέσεις εκμετάλλευσης με τις πιο παλιές να συναντώνται στις Κυκλάδες. Γι' αυτό το λόγο διακρίνονται τα αρχαία λατομεία από τα υπόλοιπα αναπτυξιακά έργα της χώρας. Στη κατηγορία των *θέσεων Λατομείου* θα χρησιμοποιηθεί ο όρος *Quarry*, ο οποίος συμπεριλαμβάνει τόσο τα ορυχεία (*mines*) όσο και τα λατομεία (*quarry*).

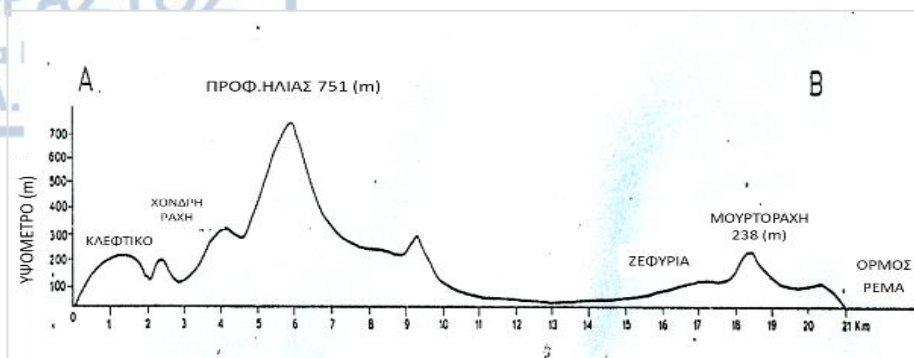
Γεωμυθολογικές θέσεις ενδιαφέροντος

Σύμφωνα με τον Μαριολάκο (2001), η ελληνική μυθολογία έχει γεωπεριβαλλοντική διάσταση. Οι πρόγονοι προσπάθησαν να ερμηνεύσουν μέσα από μύθους, τα φυσικά φαινόμενα και γεωλογικές διεργασίες που παρατηρούσαν όπως οι σεισμοί, τα ρήγματα, τα ηφαίστεια αλλά και το φυσικό περιβάλλον στο οποίο ζούσαν όπως το ανάγλυφο, το έδαφος, τις ακτογραμμές. Η επιστημονική μελέτη της σχέσης μεταξύ της μυθολογίας και της γεωλογίας δίνει την δυνατότητα προσδιορισμού του μύθου σε συσχετισμό με τον τόπο και το χρόνο της προϊστορικής περιόδου που τον δημιούργησε (Δαμιανός, 2013; Παυλίδης, 2022).

3.2 ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ: ΜΗΛΟΣ

Στη Μήλο έχουν αποδοθεί πολλά ονόματα όπως Βυβλίσ, Γοργίς, Μελάς, Μεμβλίσ, Μιμμαλλίς, Ζεφυρία, Άκυτος. Ωστόσο επικράτησε το όνομα «Μήλος» προς τιμήν του πρώτου οικιστή της, τον Μήλο, ήρωα βασιλικής γενιάς, που τον έστειλε η θεά Αφροδίτη από την Κύπρο στη Μήλο (URL 37). Η Μήλος βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο του νησιώτικου συμπλέγματος των Κυκλάδων ενώ ανήκει στο ηφαιστειακό τόξο της μικρής πλάκας του Αιγαίου. Κάτω από την πλάκα αυτή, που κινείται τελευταία με πολύ μικρή ταχύτητα (περίπου 1,6cm/yr) προς νοτιοδυτικά, βυθίζεται η μεγάλη αφρικανική πλάκα κατά μήκος των σημείων που αντιστοιχούν στην ελληνική τάφρο. Το φαινόμενο αυτό δημιούργησε το ενεργό ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου, τμήμα του οποίου είναι και το νησιώτικο σύμπλεγμα: Μήλος, Κίμωλος, Υπόλυβος, Αντίμηλος (Φυτίκας 1977, Calvo 2012).

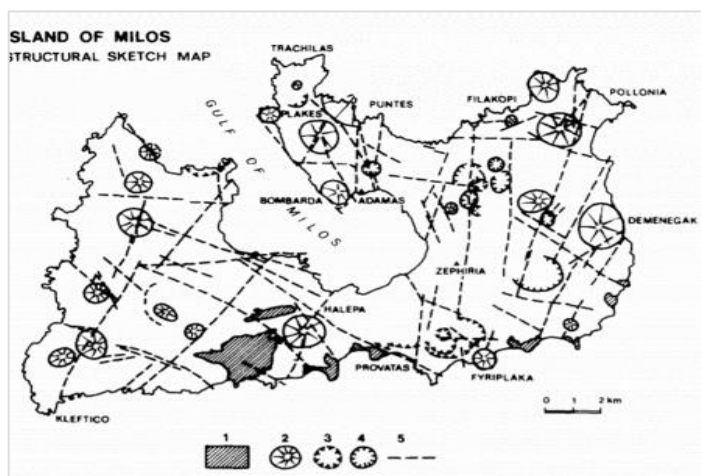
Η μορφολογία του νησιού δεν είναι σε όλη την έκτασή του ίδια και εξαρτάται κυρίως από τη γεωλογία. Γενικά χαρακτηρίζεται ως λοφώδης, με χαμηλά υψόμετρα. Το 86% της έκτασης της Μήλου, που στο σύνολο ανέρχεται σε 151,93km², είναι υψομετρικά μικρότερο από 200m. Συγκεκριμένα στο Νοτιοδυτικό και Δυτικό τμήμα του νησιού οι μεγάλοι και πολυάριθμοι ηφαιστειακοί δόμοι επίδρασαν στην μορφολογία του με αποτέλεσμα αυτό να είναι πιο λοφώδες από ό,τι το ανατολικό. Η υψηλότερη κορυφή του νησιού είναι αυτή του Προφήτη Ηλία, με υψόμετρο 751m και ακολουθεί το Χονδρό Βουνό με υψόμετρο 636m. Στο ανατολικό τμήμα το ανάγλυφο είναι πιο χαμηλό, με το μεγαλύτερο υψόμετρο να είναι 251m στη Μουρτοράχη, λόγω της μεγάλης εξάπλωσης των χαλαρών και εξαλλοιωμένων πετρωμάτων. Στο νησί σημειώνονται εκτάσεις πεδινές σε περιοχές όπως στον Προβατά, στην Ζεφυρία, στον Αδάμαντα, στον Μικρό & Μεγάλο Αρχοντιμιό, στην Φυλακωπή, στην Πάχαινα, στην Αγία Ειρήνη, στον Εμπουρειό και στα Απολλώνια. Λοφώδεις εκτάσεις με επίπεδες επιφάνειες, οι οποίες και χρησιμοποιούνται για καλλιέργειες, παρατηρούνται στις περιοχές Κάλαμος, Αγριλιές, Άνω και Κάτω Κώμια, Ψαθάδικα, Ξυλοκερατιά, Χάλακας, Αγία Μαρίνα και Μύτακας. Χαρακτηριστική είναι η τοπογραφική τομή του αναγλύφου του νησιού (EIKONA 4).



ΕΙΚΟΝΑ 4: Χαρακτηριστική τοπογραφική τομή του αναγλύφου της Μήλου (Shafigheh Andseta, 1983).

Η ακτογραμμή της Μήλου εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις, που εξαρτώνται κυρίως από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και από την τεκτονική δραστηριότητα του νησιού. Σε ακτές με κύριο συστατικό πυροκλαστικά πετρώματα και χαλαρούς σχηματισμούς, επικρατεί ήπια μορφολογία, αντίθετα σε ακτές που συναντώνται δόμοι και ρεύματα λαβών, η μορφολογία είναι πιο έντονη. Πιο αναλυτικά, οι ανατολικές, οι νότιες και οι δυτικές ακτές του νησιού έχουν απότομο ανάγλυφο, εξαιτίας του πρόσφατου τεκτονισμού της περιοχής, με χαρακτηριστικές περιπτώσεις τους κρημνούς της ακτογραμμής ανατολικά της περιοχής Δεμενεγάκι και Θειωρυχείων, στα μεγάλα ρήγματα (Λεκάνη Ζεφυρίας) και στα ορυχεία της βορειοανατολικής Μήλου. Από την άλλη πλευρά οι βόρειες, εξωτερικές ακτές του νησιού, που αποτελούνται από μαλακούς, πυροκλαστικούς σχηματισμούς, εμφανίζουν ήπια μορφολογία, ενώ ο κόλπος της Μήλου, εμφανίζει ποικιλία ακτών σε σχέση με τη μορφολογία τους. Στον ακόλουθο χάρτη (ΕΙΚΟΝΑ 5) αποτυπώνονται οι σημαντικότερες γεωμορφολογικές δομές του νησιού.

Όπως προαναφέρθηκε, το ανάγλυφο του νησιού εξαρτάται από τα γεωλογικά του χαρακτηριστικά. Συνεπώς, το δυτικό τμήμα του είναι πιο έντονο σε σχέση με το ανατολικό εφόσον δυτικά και νότιο δυτικά επικρατούν ηφαιστειακοί δόμοι και στα ανατολικά τα επικρατέστερα υλικά είναι χαλαρά και εξαλλοιωμένα, άρα οι εξωτερικοί παράγοντες όπως η διάβρωση έχουν μεγαλύτερη επίδραση.



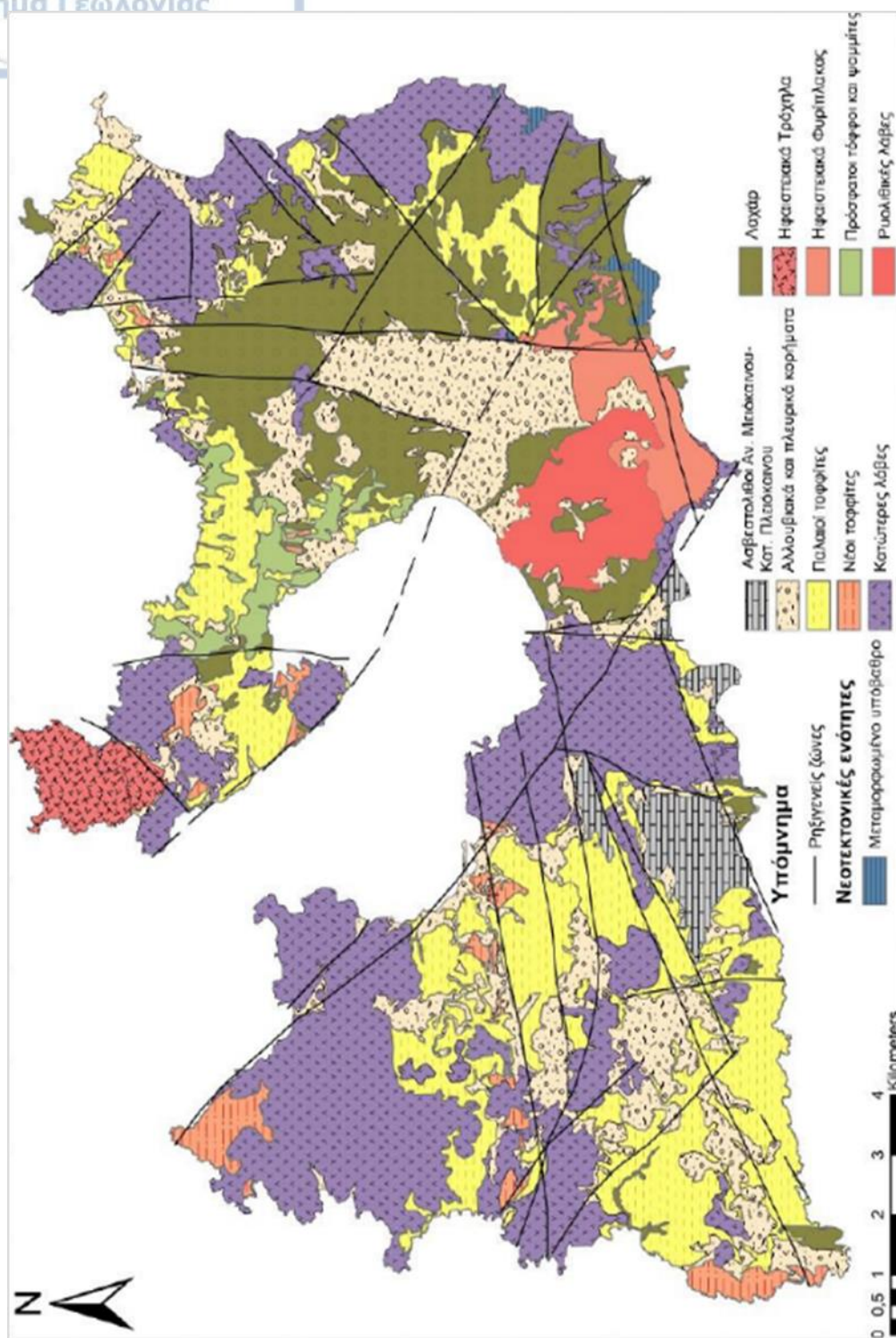
ΕΙΚΟΝΑ 5: Χάρτης με τις σημαντικότερες γεωμορφολογικές δομές της Μήλου.

- 1: Προ - ηφαιστειακό υπόβαθρο, 2: Δομές λάβας, 3: Ηφαιστειακοί κρατήρες Φυρίπλακα και Τράχηλας, 4: Φρεατικοί κρατήρες και 5: Τάσεις δομών (Fytikas et al., 1986).

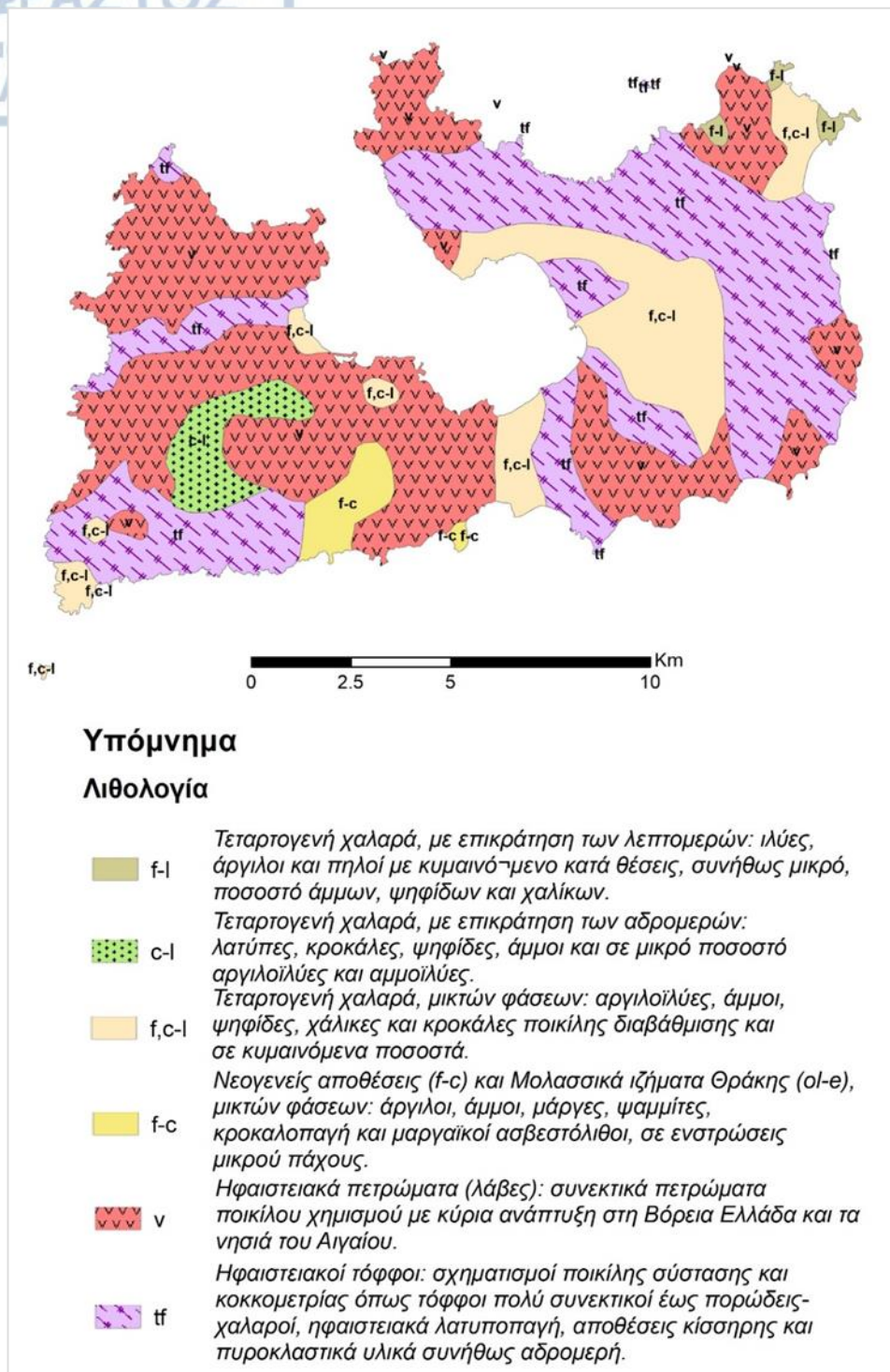
Γεωλογικά η Μήλος αποτελείται κυρίως από ηφαιστειακά υλικά σε εναλλαγές με πυροκλαστικά χερσαίας απόθεσης και τοφφитών, τα οποία αποτέθηκαν σε θαλάσσιο περιβάλλον. Οι σχηματισμοί που συναντώνται στο νησί είναι οι παρακάτω (Fytikas et al. 1976, Fytikas et al. 1977, Τσόκας 1985, Fytikas et al. 1986, Hauck 1988):

- Μεταμορφωμένο, κρυσταλλικό υπόβαθρο της Μήλου ηλικίας Παλαιοζωϊκού, με έντονη παραμόρφωση αλλά περιορισμένης έκτασης και πάχους, κυρίως εμφανίζεται στο νότιο τμήμα του νησιού και συγκεκριμένα ανατολικά του όρμου Καλάμου, στο ακρωτήρι Σπαθί και στη θέση Παλιόρεμα.
- Επικλυσιογενή κροκαλοπαγή Νεογενούς ηλικίας και οι ασβεστόλιθοι Κρητιδικής - Ηώκαινικής ηλικίας. Η σειρά αυτή αρχίζει με ένα κροκαλοπαγές επίκλυσης και ολοκληρώνεται με απολιθωματοφόρους ασβεστόλιθους. Στη νότια και νοτιοδυτική πλευρά του νησιού παρατηρούνται οι πιο σημαντικές εμφανίσεις της σειράς, οι οποίες καλύπτουν το μεταμορφωμένο υπόβαθρο. Τα ηφαιστειακά πετρώματα και οι ηφαιστειοϊζηματογενείς σειρές, ηλικίας μεταξύ Αν. Πλειόκαινου – Ολόκαινου. Η ηφαιστειακή ακολουθία του νησιού δείχνει, ότι οι ηφαιστειακές αποθέσεις πραγματοποιήθηκαν σε 5 στάδια. Αρχικά σημειώθηκε η εκδήλωση ηφαιστειακής δραστηριότητας ασβεσταλκαλικού τύπου, κατά το Άνω Πλειόκαινο μέχρι το Άνω Τεταρτογενές. Οι τρεις ακολουθίες πραγματοποιήθηκαν κατά το Αν. Πλειόκαινο, η τέταρτη κατά το Κάτω Τεταρτογενές, το πέμπτο επεισόδιο ηφαιστειακής δραστηριότητας, κατά το Άνω Πλειστόκαινο.
- Σπάνιες αλλουβιακές αποθέσεις. Έχουν περιορισμένη έκταση και βρίσκονται κυρίως κοντά στη Ζεφυρία, στον Αδάμαντα και στον Προβατά, γενικά σε επίπεδες επιφάνειες και κοιλάδες. Έχουν σε όλες τις περιοχές μικρό πάχος εκτός από τη Ζεφυρία που εκτείνεται σε βάθος περίπου 100m. Πρόκειται για σχηματισμούς αποτελούμενους από προϊόντα ηφαιστειακής προέλευσης και κυρίως υλικά αργιλικά και αμμώδη

Στη συνέχεια, ακολουθούν οι γεωλογικοί χάρτες της Μήλου. Στον πρώτο χάρτη (EIKONA 6) αποτυπώνεται ο γεωλογικός χάρτης του νησιού. Στον δεύτερο χάρτη (EIKONA 7) αποτυπώνεται το απόσπασμα της λιθολογίας του νησιού όπως αποδίδεται από την ιστοσελίδα του ΕΑΓΜΕ ελεύθερα. Πιο αναλυτικά η γεωλογία του νησιού αποτελείται από:



ΕΙΚΟΝΑ 6: Γεωλογικός Χάρτης Μήλου (τροποποιημένος από Paranikolaou et al. 1990)



ΕΙΚΟΝΑ 7: Λιθολογία της Μήλου- απόσπασμα από τον γεωτεχνικό χάρτη 1:500.000 της ΕΑΓΜΕ (Πηγή: Γεωπύλη ΕΑΓΜΕ, URL 18).

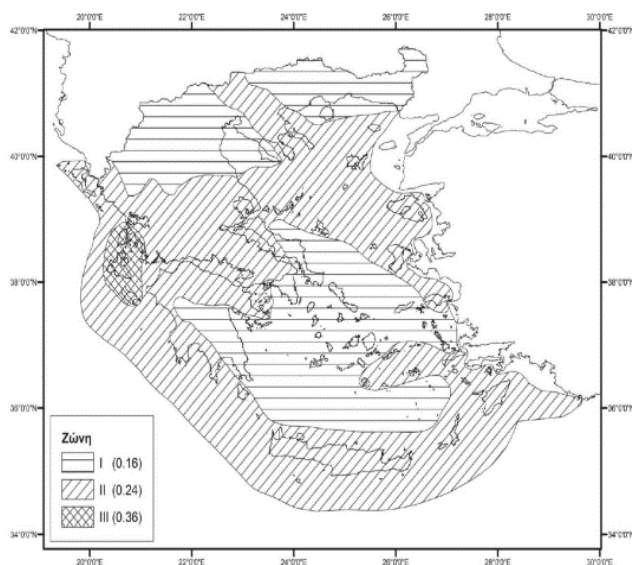
Τεκτονική

Η εφελκυστική τεκτονική αποτελεί την αιτία ανόδου του μάγματος των ηφαιστειακών τόξων και την δημιουργία θερμικής ανωμαλίας. Στην περίπτωση της Μήλου το κύριο σύστημα ρηγμάτων που παρατηρείται έχει διεύθυνση ΔΒΔ - ΑΝΑ περίπου, το οποίο είναι παράλληλο προς το ηφαιστειακό τόξο και είναι ευδιάκριτο στο νότιο τμήμα του νησιού (Τσόκας 1985, Ganas et al. 2022).

Το σύστημα ρηγμάτων με διεύθυνση περίπου Β-Ν σχημάτισε τα δύο τεκτονικά βυθίσματα του νησιού με το μεγαλύτερο να είναι της πεδιάδας της Ζεφυρίας το οποίο είναι πρόσφατο ηλικιακά. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι προσέβαλε μόνο το ηφαιστειακό κάλυμμα και όχι το υπόβαθρο που αποτελεί τεκτονική ανύψωση, αλλά και γιατί το πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων είναι σχετικά μικρό. Το μικρότερο βύθισμα σχημάτισε τον ισθμό Προβατά-Αχιβαδολίμνης. Τα τεκτονικά κέρατα είναι περισσότερα και δημιουργήθηκαν από ρήγματα με διάφορες διευθύνσεις, που η πιο φανερή είναι η διεύθυνση Α-Δ (κέρας Κουτσουνοράχης).

Η εφελκυστική φάση του Τεταρτογενούς και τα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα έπαιξαν τον πιο ουσιαστικό ρόλο στη νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής (Σημαιάκη, 1985). Η τεκτονική αυτή φάση συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, όπως διαπιστώνεται από πολύ πρόσφατες δράσεις των ρηγμάτων. Τονίζεται, ο βασικός ρόλος των ΒΑ-ΝΔ ως Α.ΒΑ.-Δ.ΝΔ. ρηγμάτων της περιοχής στη σύγχρονη τεκτονική και στη διευκόλυνση της κυκλοφορίας των θερμών ρευστών. Τα ρήγματα εκδηλώνονται αυτά έχουν μεγαλύτερη συχνότητα και μέγεθος στο ανατολικό τμήμα της Μήλου, στην Κίμωλο και στην Πολύαιγο και ειδικότερα σε περιοχές με έντονη θερμική εξαλλοίωση.

Τέλος, σχετικά με τα σεισμικά δεδομένα της περιοχής, η Μήλος κατατάσσεται στη ζώνη της χαμηλότερης σεισμικής επικινδυνότητας (I) με τιμή σεισμικής επιτάχυνσης 0,16, (ΕΙΚΟΝΑ 8) γιατί παρατηρείται έντονη μικροσεισμική δραστηριότητα με υπόκεντρα σε μια ζώνη βάθους 5-8km (Βουγιουκαλάκης, 1992).



ΕΙΚΟΝΑ 6: Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας.

Ηφαιστειακή δραστηριότητα και ηφαιστειακά προϊόντα

Η ηφαιστειότητα του νησιού είναι ανδεσιτικού τύπου. Η ηλικία μερικών ηφαιστιτών τόσο της Μήλου όσο και γειτονικού νησιωτικού συμπλέγματος προσδιορίστηκε στα 3.5 έως 0.09 εκατομμύρια έτη. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα στη Μήλο ξεκίνησε κατά το Άνω Πλειόκαινο. Οι πρώτες εκρήξεις έλαβαν χώρα σε ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον, ενώ ολόκληρη η περιοχή μετατράπηκε σε ξηρά μετά το τέλος της ηφαιστειακής δραστηριότητας πριν 90.000 χρόνια.

Το μεγαλύτερο μέρος του νησιού αποτελείται από ηφαιστειακά προϊόντα και συγκεκριμένα από εναλλαγές πυροκλαστικών προϊόντων και τοφφитών. Τα πυροκλαστικά υλικά αποτέθηκαν σε χερσαίο περιβάλλον ενώ οι τοφφίτες σε θαλάσσιο (Φυτίκας, 1977).

Από την παρουσίασή της λεπτομερούς χαρτογράφησης του νησιού και της αναπαράσταση της ηφαιστειακής εξέλιξης προκύπτει σύμφωνα με τον Φυτίκα (1977), πως το παλαιότερο τμήμα της ηφαιστειακής σειράς αποτελείται από πυροκλαστικά πετρώματα που αντιπροσωπεύονται από αποθέσεις ρευμάτων κίσηρης στο βόρειο τμήμα του νησιού, από τόφφους χερσαίας απόθεσης και από εναλλαγές απολιθωματοφόρων τοφφικών οριζόντων θαλάσσιας απόθεσης. Η εκρηκτική αυτή σειρά τελειώνει με μια ιγνιμβριτική σειρά μικρής έκτασης που εντοπίζεται στο ΝΝΔκή και ΔΒΔκή πλευρά του νησιού.

Στη συνέχεια ακολουθεί, μετά από ένα μικρό διάλειμμα, μια νέα δραστηριότητα κυρίως εκχύσεων, που οδήγησε στη δημιουργία πολυάριθμων δόμων και ρευμάτων λάβας. Οι δόμοι αυτοί εντοπίζονται τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο τμήμα του νησιού, αλλά η κύρια εμφάνισή τους γίνεται στο δυτικό τμήμα της Μήλου. Η σύσταση των λαβών μεταβάλλεται ανάμεσα στην ανδεσιτική και ρυολιτική, ενώ η δραστηριότητα των δόμων δημιούργησε πολλά λατυποπαγή, λίγα πυροκλαστικά υλικά και προϊόντα από πυρακτωμένα σύννεφα. Επίσης, δημιούργησε περιορισμένα ρεύματα λάσπης που ονομάστηκαν «πράσινο λάχαρ» χωρίς να έχουν μεγάλες διαστάσεις. Το «πράσινο λάχαρ» αποτελεί τη στρώση διάκρισης μεταξύ αυτής και της επόμενης ηφαιστειακής φάσης.

Η δραστηριότητα των εκχύσεων είχε ως αποτέλεσμα την ανόρθωση της Μήλου και την ανάπτυξη όξινων κεντρικών ηφαιστειών, τα σπουδαιότερα από τα οποία είναι του Τράχηλα και της Φυριπλάκας. Η δραστηριότητα των ηφαιστειών ήταν κυρίως εκρηκτική και δημιούργησε στρώσεις με εναλλαγές από τεμάχια λάβας, κίσηρης και τέφρας. Τόφφοι από τα ίδια υλικά εντοπίζονται και έξω από τις κεντρικές ηφαιστειακές δομές. Η δραστηριότητα αυτή αποτελεί και την τελική ηφαιστειακή δραστηριότητα του νησιού.

Σύμφωνα με τον Βουγιουκαλάκη (1992), μετά την ηφαιστειακή δραστηριότητα της Φυριπλάκας (Πλειστόκαινο) δεν εκδηλώνεται άλλη ηφαιστειακή έκρηξη στην περιοχή. Αντίθετα, εξαιτίας της ύπαρξης του γεωθερμικού πεδίου υψηλής θερμοκρασίας, εκδηλώνονται μια σειρά από φρεατικές εκρήξεις στην περιοχή της Ανατολικής Μήλου. Η γεωχημική, γεωφυσική και ηφαιστειολογική του έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχουν μεγάλοι μαγματικοί θάλαμοι στην περιοχή της Μήλου. Πιθανόν να υπάρχουν σε βάθη μεγαλύτερα των 6 χιλιομέτρων. Συνεπώς, ο ηφαιστειακός κίνδυνος στην περιοχή είναι πολύ χαμηλός όσον αφορά την ηφαιστειακή έκρηξη.

Θερμικό πεδίο της Μήλου

Το νησί χωρικά βρίσκεται πάνω από τις περιοχές όπου γίνεται τήξη υλικών και δημιουργούνται μάγματα που ανέρχονται και φτάνουν κοντά ή και πάνω στην επιφάνεια σε σύντομο χρονικό διάστημα. Σε βάθος μεγαλύτερο των 500m το έντονα διερρηγμένο μεταμορφωμένο υπόβαθρο αυξάνει την περατότητά του, δημιουργώντας έναν γεωθερμικό ταμειυτήρα. Ενώ, σε βάθος περίπου 5km εμφανίζονται μαγματικοί θάλαμοι στη φάση της ψύξης με αποτέλεσμα να δημιουργούν συνθήκες υψηλής θερμικής ροής. Συνεπώς, το νησί κατατάσσεται στην τρίτη ζώνη (γ) θερμικής ροής

Η πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα του νησιού και τα φαινόμενα της υδροθερμικής δράσης των θερμών ρευστών είχαν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση της θερμικής ανωμαλίας. Τα υδροθερμικά ρευστά θερμάνθηκαν λόγω της άμεσης ή έμμεσης επαφής του νερού (θαλασσινού ή μετεωρικού) που κυκλοφορεί μέσα στα πετρώματα τα οποία βρίσκονται πάνω από τον μαγματικό θάλαμο. Αποτέλεσμα της δράσης των υδροθερμικών ρευστών, είναι πολυάριθμες φρεατικές εκρήξεις, μεγάλης έκτασης μπεντονιτίωση και καολινιτίωση των ηφαιστιτών, σχηματισμός κοιτασμάτων βαρύτη, θείου, πυριτικών, αλουνίτη, μαγγανίου, γαληνίτη. Το μεγαλύτερο μέρος του ορυκτού πλούτου του νησιού οφείλεται στα υδροθερμικά φαινόμενα (Φυτίκας, 1977). Το μοναδικό ηφαιστειακό πέτρωμα που δεν έχει υδροθερμική προέλευση αλλά τυγχάνει βιομηχανικής εκμετάλλευσης στη Μήλο είναι ο

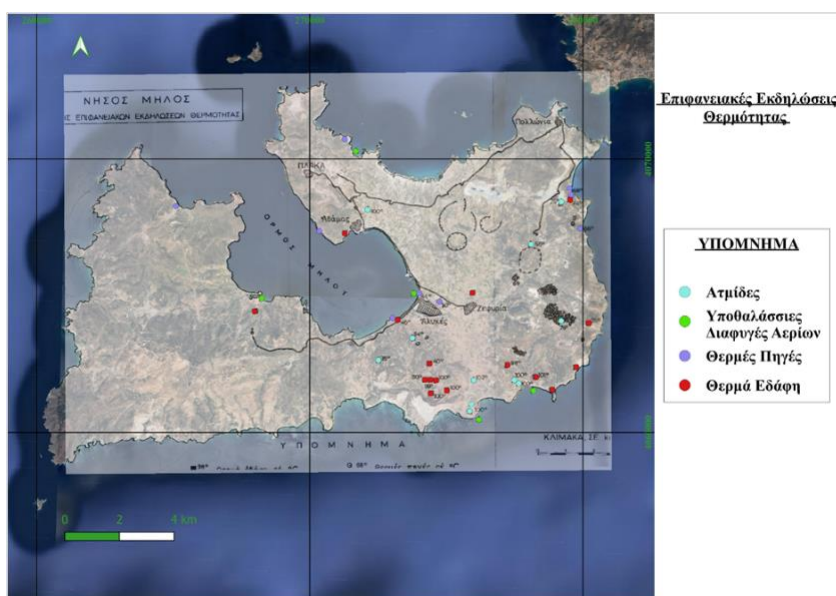
περλίτης (Parcharidis et al. 2001, Daskalopoulou et al. 2018, Zhou et al. 2021, Lou et al. 2023)

Η ΔΕΗ το 1974 - 1981 εκτέλεσε 5 γεωτρήσεις σε βάθη 1000m -1400 m (κυρίως στην περιοχή της Ζεφυριάς), όπου εντοπίστηκαν γεωθερμικοί ταμιευτήρες με θερμοκρασίες 290 - 320°C. Μερικές από τις γεωτρήσεις αυτές μπορούν να παράγουν υγρό ατμό με απόδοση 40-120 tn/h και θερμοκρασία 180 - 240°C (στην έξοδο της κεφαλής της γεώτρησης). Το συνολικό δυναμικό του πεδίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται άνω των 120MW. Ζεστά εδάφη, θερμές πηγές και ατμίδες με θερμοκρασίες 75-102°C συναντώνται στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του νησιού.

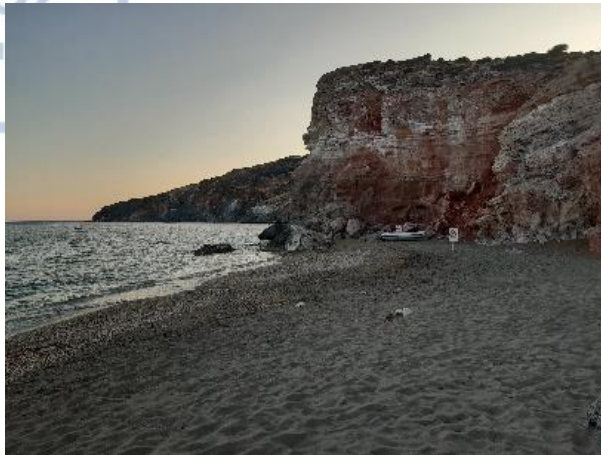
Επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας

Σε περιοχές με υψηλή θερμική ροή τα ρευστά που θερμάνθηκαν στο υπέδαφος φτάνουν πολλές φορές μέχρι την επιφάνεια, όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν, και δημιουργούν θερμές πηγές, περιοδικές εκτινάξεις νερού και ατμών, αναθυμιάσεις ατμού σε ανάμειξη με άλλα αέρια (ατμίδες). Οι επιφανειακές εκδηλώσεις είναι μείζονος σημασίας για τον εντοπισμό περιοχών με πολύ υψηλή θερμική ροή στην αρχική φάση της γεωθερμικής έρευνας, επιπλέον τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εκδηλώσεων βοηθούν στη λήψη πληροφοριών για τη θερμότητα της περιοχής και την υπόγεια κυκλοφορία του νερού (Φυτίκας και Ανδρίτσος 2004).

Οι εκδηλώσεις αυτές ονομάζονται επιφανειακές θερμικές ανωμαλίες ή επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας. Στην επιφάνεια του εδάφους της Μήλου συναντά κανείς αρκετές εκδηλώσεις αυξημένης θερμοκρασίας (ΕΙΚΟΝΑ 9). Οι εκδηλώσεις αυτές διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες: ατμίδες, υποθαλάσσιες διαφυγές αερίων, θερμές πηγές και θερμά εδάφη (Φυτίκας, 1977). Από την εργασία υπαίθρου παρουσιάζονται στις ΕΙΚΟΝΕΣ 10,11 θέσεις από την περιοχή του Παλαιοχωρίου στην οποία εμφανίζονται απότομα πρηνή στο παραλιακό μέτωπο και στο έδαφος παρατηρείται υψηλή θερμοκρασία. Στην ΕΙΚΟΝΑ 12 παρουσιάζεται το παραλιακό μέτωπο της Φυριπλάκας. Σε αυτή τη περιοχή μέσα στη θάλασσα παρατηρείται διαφυγή αερίων.



ΕΙΚΟΝΑ 7: Επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας (τροποποιημένο από Φυτίκα, 1977).



ΕΙΚΟΝΑ 8: Απότομα πρανή στο παραλιακό μέτωπο στην παραλία του Παλαιοχωρίου. Στη θέση αυτή παρατηρείται υψηλή θερμοκρασία του εδάφους. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



ΕΙΚΟΝΑ 9: Κοντινή άποψη από τα απότομα πρανή στο παραλιακό μέτωπο στην παραλία του Παλαιοχωρίου. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



ΕΙΚΟΝΑ 10: Απότομα πρανή στο παραλιακό μέτωπο στην παραλία Φυριπλάκα. Παρατηρούνται υποθαλάσσιες διαφυγές αερίων (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



Στο νησί της Μήλου συναντώνται πολλές θέσεις με ιδιαίτερη ομορφιά και γεωλογική αξία μελέτης. Για τους στόχους της παρούσας διατριβής μελετήθηκαν ορισμένες θέσεις για τις οποίες θα αναφερθούν στη συνέχεια τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

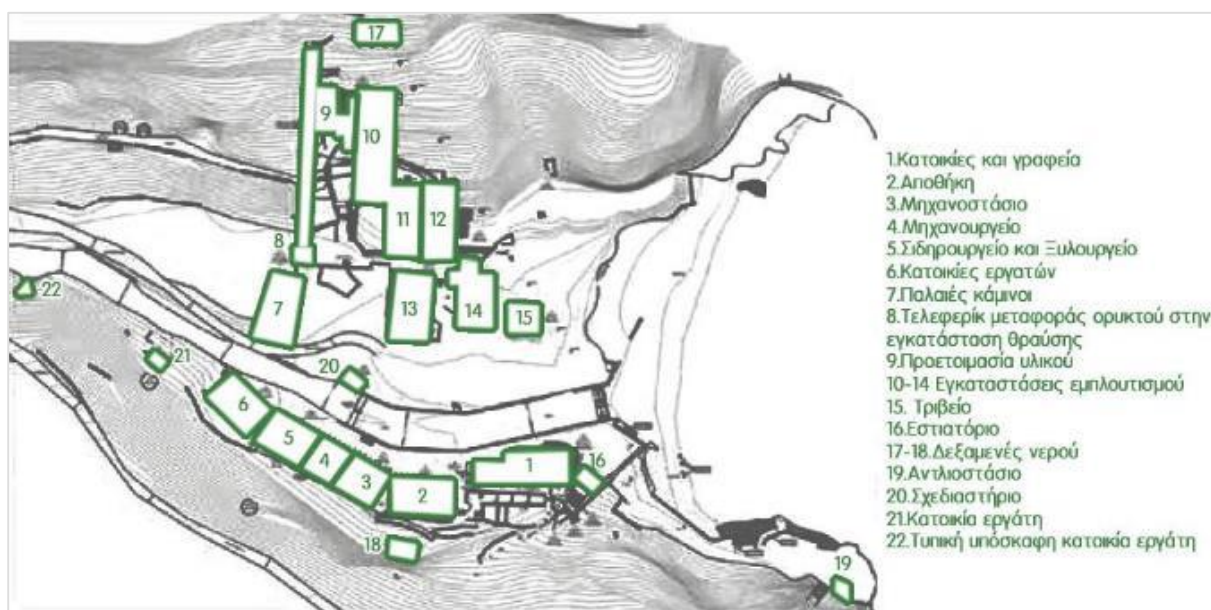
Θειωρυχεία

Το θείο - (sulphur) με χημικό σύμβολο S - συναντάται συχνά σε ηφαιστειακές περιοχές προερχόμενο από αέρια λη υγρα θερμά διαλύματα. Το θείο ήταν γνωστό από την αρχαιότητα. Ήδη από την εποχή του Ομήρου χρησίμευε ως απολυμαντικό λόγω του παραγόμενου διοξειδίου του θείου κατά την καύση του αλλά και ως μέσο στίλπνωσης των μετάλλων. Λόγω των ιδιοτήτων του από την αρχαία εποχή αποτελούσε σημαντικό προϊόν εκμετάλλευσης, τόσο για την στίλβωση των μετάλλων όσο και για τις αντισηπτικές, θεραπευτικές και απολυμαντικές του ιδιότητες (Νικολαού, 2005).

Τα θειωρυχεία αναπτύχθηκαν σε μια απότομη κοιλάδα στη νοτιοανατολική πλευρά του νησιού της Μήλου, στην περιοχή Παλιόρεμα. Η περιοχή αποτελεί την πιο γνωστή πηγή θείου. (McNulty, 2000). Κατά τη ρωμαϊκή κυριαρχία το θείο της Μήλου είχε μεγάλη ζήτηση για θεραπευτικούς σκοπούς. Μέχρι την απελευθέρωση του ελληνικού κράτους τα στοιχεία για την εκμετάλλευση του είναι περιορισμένα. Το 1877 το μεταλλείο πουλήθηκε στους Μιχαήλ και Βίκτωρα Μελά, οι οποίοι το πούλησαν μετά από τρία χρόνια στην εταιρεία «Ελληνική Εταιρεία Δημοσίων και Δημοτικών Έργων» έως το 1905 που διακόπηκε η λειτουργία του. Το τέλος του 19^{ου} αιώνα βρίσκει τις εγκαταστάσεις του Παλιόρεματος στο μ'εγιστο της παραγωγής του, γιατί είχε γίνει αντιληπτή η σημασία του θείου για τις καλλιέργειες και συγκεκριμένα για τις αμπελοκαλλιέργειες. Από το 1909 έως το 1928 τα θειωρυχεία άλλαξαν πολλούς κατόχους και κατέληξαν στην εταιρεία «Θειωρυχεία Μήλου Α. Ε.». Η δεκαετία που ακολούθησε βρίσκει τα θειωρυχεία στην ακμή τους. Αυτό μαρτυρούν ακόμη και σήμερα οι εγκαταστάσεις μεταφοράς του θείου, οι στοές εξόρυξης, τα ερειπωμένα γραφεία, τα εργαλεία και διάφορα άλλα αντικείμενα (ΕΙΚΟΝΕΣ 13 έως 17). Σε αναστολή εργασιών τέθηκαν τα θειωρυχεία κατά τη γερμανική κατοχή αλλά από το 1953 η εταιρεία «Θειωρυχεία Μήλου Α. Ε.» τείθεται σε λειτουργία. το 1961 η εταιρεία «Μεταλλεία Βωξίται Ελευσίνος» αγοράζουν τα θειωρυχεία έως το 1969 όπου λήγουν οι εργασίες στην περιοχή. Οριστικό τέλος σημειώθηκε το 1978 (Κουτρομπά, 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 11: Άποψη των θειωρυχείων τη δεκαετία του 1950 (Κουτρομπά, 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 12: Διάγραμμα εγκαταστάσεων θειωρυχείων Μήλου (Κουτρομπά, 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 13: Παλιά θειωρυχεία της Μήλου και παραλία Παλιόρεμα. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



ΕΙΚΟΝΑ 14: Απομεινάρια από τις παλιές εγκαταστάσεις, τελεφερίκ μεταφοράς και εξοπλισμό. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



ΕΙΚΟΝΑ 15: Παλιά κτήρια όπου διέμεναν οι εργαζόμενοι και γραφεία της εταιρείας «Θειωρυχεία Μήλου Α. Ε.» (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)

Κλέφτικο

Το Κλέφτικο είναι περιοχή που βρίσκεται στη νοτιοδυτική Μήλο και χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη απότομων λευκών ακτών και νησίδων στη θάλασσα που εκτείνονται σε τρεις συνεχόμενους κολπίσκους. Η δεύτερη ονομασία με την οποία είναι γνωστή η παραλία είναι «Θαλασσινά Μετέωρα». Γεωλογικά αποτελείται από ηφαιστειακά πετρώματα, τα οποία διαβρώνονται από τον άνεμο και τα κύματα της θάλασσας, δημιουργώντας στους βράχους κοιλότητες και σπήλαια. Χαρακτηρίστηκε ως *τοπίο ιδιαίτερου φυσικού κάλους* και εντάχθηκε στον κατάλογο Natura 2000. Το όνομα της περιοχής προέρχεται από την εποχή της πειρατείας της Μεσογείου, όταν στην περιοχή, λόγω της ύπαρξης των κολπίσκων οι πειρατές δρούσαν εναντίων των διερχόμενων πλοίων (URL 19).

Η επίσκεψη στη περιοχή γίνεται κυρίως ακτοπλοικά. Προσεγγίζοντας τον κόλπο του Κλέφτικου παρουσιάζει μια ψηλή μεμονομένη θαλάσσια ασπίδα. Η βραχοδομή αυτή έχει αποκοπεί από τη ξηρά λόγω της θαλάσσιας διάβρωσης, ενώ τα κύματα έχουν δημιουργήσει την ασπίδα (ΕΙΚΟΝΑ 18). Αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα θαλάσσιας διάβρωσης. Τα κατακόρυφα παραθαλάσσια πρανή τα οποία αποτελούνται από τα παλαιότερα ηφαιστειακά πετρώματα της Μήλου έχουν ηλικία Μ-Α Πλειόκαινο. Τα ηφαιστειακά αυτά πετρώματα είναι τα πυροκλαστικά της νοτιοδυτικής Μήλου (Σταρίδας, 2016).



ΕΙΚΟΝΑ 16 :Άποψη της βραχοδομής στον κόλπο του Κλέφτικου (προσωπικό αρχείο Α. Μουρατίδη)

Σαρακήνικο

Το Σαρακήνικο είναι παραλία που βρίσκεται στη βόρεια πλευρά της Μήλου. Το Σαρακήνικο πιθανώς οφείλει το όνομά του στους Σαρακηνούς πειρατές που λυμαίνονταν το Αιγαίο και έβρισκαν καταφύγιο σε αυτές τις σπηλιές (URL 19). Απέχει περίπου 5km από την πρωτεύουσα του νησιού την Πλάκα. Είναι μια παραλία χωρίς βλάστηση με λευκά ηφαιστειακά πετρώματα (ΕΙΚΟΝΕΣ 19). Πριν την παραλία του Σαρακήνικου στα δυτικά πράνη συναντώνται στοές εξόρυξης καολίνη. Οι στοές εξόρυξης αναπτύχθηκαν εγκάρσια στο πρανές και ενώνονται στο εσωτερικό. Αγγίζοντας τα τοιχώματα των στοών διαπιστώνεται η υφή του καολίνη που μοιάζει με πούδρα.

Η περιοχή του Σαρακήνικου αποτελείται από ένα χαμηλό πρανές σε ύψος αλλά μακρύ σε μήκος, στο οποίο συναντάται μεγάλο πλήθος απολιθωμάτων. Τα απολιθώματα είναι φυτικές ρίζες και κορμοί που απανθρακώθηκαν από τις ροές των λευκών πυροκλαστικών πετρωμάτων. Επιπλέον υπάρχουν κελύφη θαλάσσιων οργανισμών. Μια ακόμα ιδιαίτερη μορφή συναντάται στην περιοχή είναι ο απολιθωμένος σεισμός (ΕΙΚΟΝΑ 20). Ο απολιθωμένος σεισμός είναι ένα κανάλι απορροής του νερού της βροχής που αναπτύσσεται στους λευκούς τόφφους του Σαρακήνικου και διαβρώνει κατά την κίνησή του προς τη θάλασσα (Σταρίδας,2016).. Προσεγγίζοντας την παραλία του Σαρακήνικου εμφανίζονται τα πράνη με τους χαρακτηριστικούς λευκούς τόφφους. Οι τόφφοι εμφανίζονται σε στρώσεις, οι οποίες διακόπτονται και μετατοπίζονται από εγκάρσια προς το πρανές κανονικά μικρορήγματα (ΕΙΚΟΝΑ 21) Η επίδραση της αιολικής και θαλάσσιας διάβρωσης διαμορφώνει την περιοχή (ΕΙΚΟΝΑ 22, 23).



ΕΙΚΟΝΑ 17: Παραλιακό μέτωπο Σαρακήνικου. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



ΕΙΚΟΝΑ 18: Απολιθωμένος Σεισμός (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



ΕΙΚΟΝΑ 19: Χαρακτηριστική τεκτονική δομή στην Σαρακήνικο. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



ΕΙΚΟΝΑ 20: Ακτογραμμή Σαρακήνικου. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



ΕΙΚΟΝΑ 21: Ακτογραμμή Σαρακήνικου με σπηλιές. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)

3.3 ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ: ΝΥΜΦΟΠΕΤΡΑ

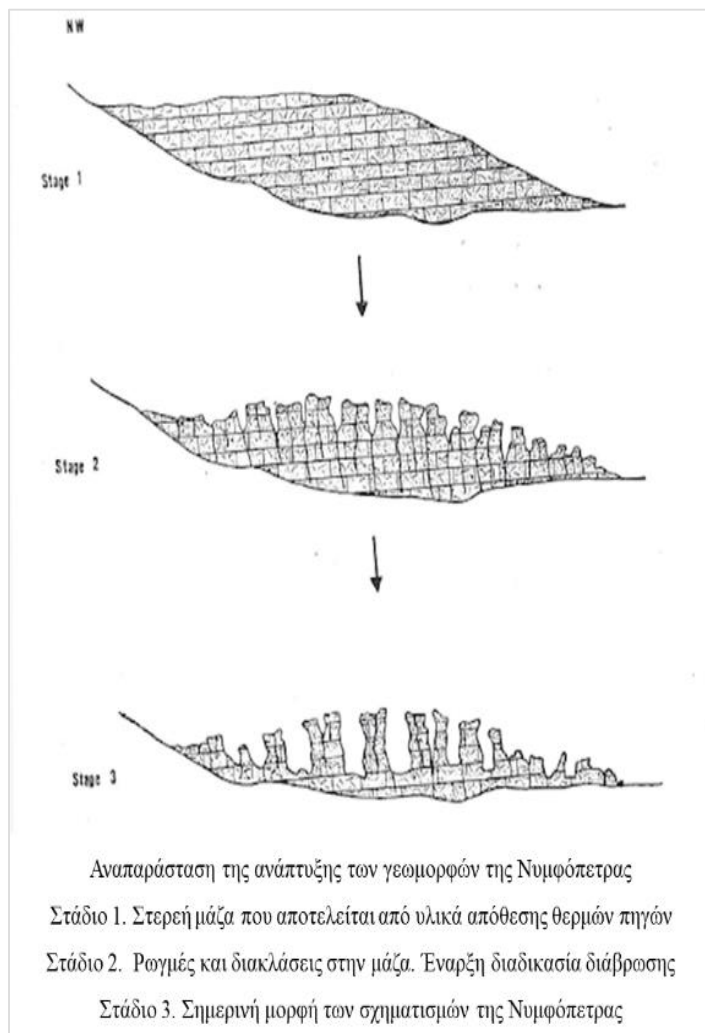
Μεταξύ των χωριών Προφήτης και Νυμφόπετρα στο βόρειο τμήμα της Μυγδονίας λεκάνης 3,5km ΒΔ της λίμνης Βόλβης σε υψόμετρο 150m εμφανίζονται οι χαρακτηριστικές γεωμορφολογικές δομές, που ονομάζονται Νυμφόπετρες. Οι Νυμφόπετρες είναι ψηλοί βράχοι με την κύρια ομάδα να καλύπτει μια έκταση μήκους 200m και πλάτους 70m. Υπάρχουν και μεμονωμένες εμφανίσεις σε τρία σημεία: Δυτικά, Βόρεια και Νότια Δυτικά τη κύριας ομάδας.

Το ύψος των γεωμορφών φτάνει τα 8m και το πάχος τους κυμαίνεται από 3m έως 4m. Παρουσιάζουν σπογγώδη όψη, αποτελούμενες από συνεκτικά δεμένους κόκκους ανθρακικού ασβεστίου και επικαλυμμένες από γκριζόμαυρο επίχρισμα ανθρακικού ασβεστίου. Σε ορισμένες θέσεις μέσα στη μάζα των βράχων εμφανίζονται ακανόνιστες επιφάνειες διάβρωσης πιθανώς λόγω της πρόσκαιρης διακοπής της ιζηματογένεσης. Χαρακτηριστικές είναι οι διακλάσεις που παρουσιάζουν, οι οποίες ξεκινούν από την οροφή.

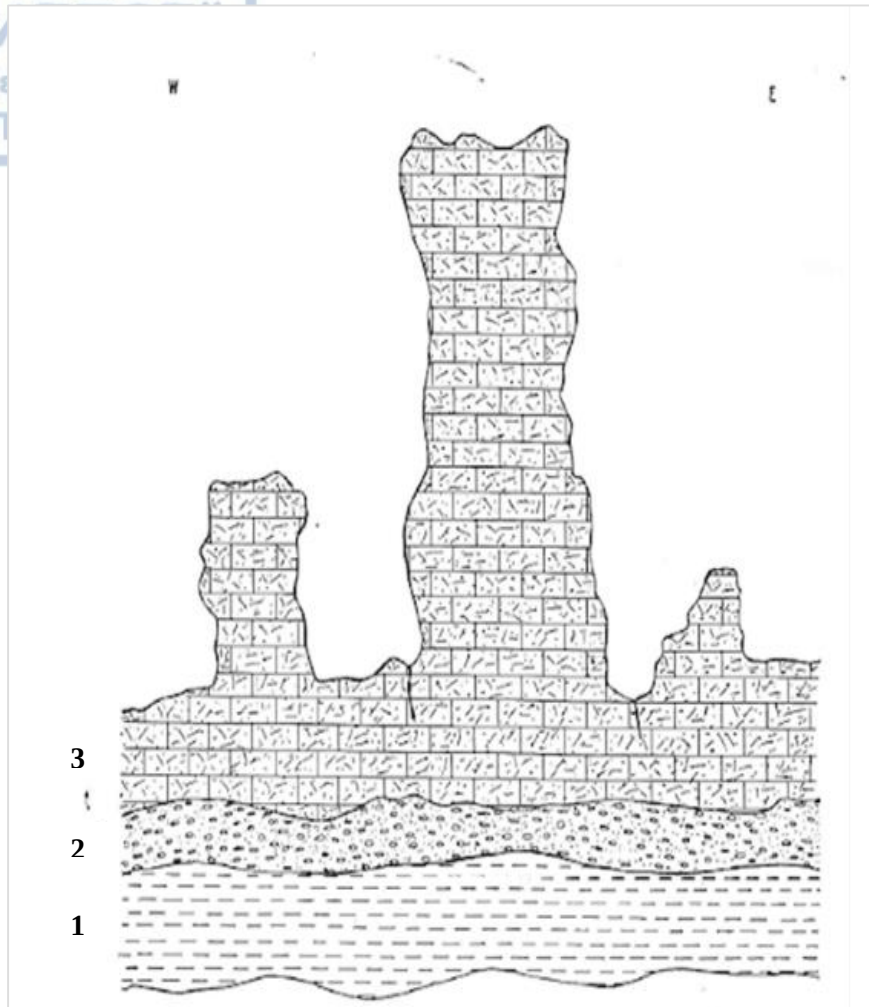
Οι γεωμορφές της Νυμφόπετρας φαίνεται σαν να είναι ξεχωριστές και ανεξάρτητες. Παρατηρώντας το πάχος του υποβάθρου, που έχει την ίδια σύσταση με τις γεωμορφές, δεν είναι ίδιο σε όλα τα σημεία. Στο βόρειο τμήμα του γεωτόπου το υπόβαθρο έχει παρασυρθεί από υδάτινο ρέμα και έχει «απομακρυνθεί» (ΕΙΚΟΝΑ 24). Στη συνέχεια, το ίδιο στρώμα παρατηρείται στην απέναντι όχθη του ρέματος, όπου μετά από μερικά μέτρα εξαφανίζεται. Αυτό το στρώμα γενικά καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής και εκτείνεται περίπου 400m βόρεια από τις Νυμφόπετρες.

Στην δυτική και νοτιοδυτική διεύθυνση Στο δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα του γεωτόπου δεν υπάρχει. Κάτω από αυτό το διαβρωμένο στρώμα εμφανίζεται ένα λεπτότερο στρώμα περίπου 40cm, που αποτελείται από κροκαλοπαγή, με μεγάλες κροκάλες άμμο, και κλαστικά υλικά. Το επόμενο στρώμα περιλαμβάνει πολύ λεπτά στρώματα λεπτόκοκκης άμμου και αργίλου τα οποία προέρχονται από την ιζηματογένεση της λίμνης Βόλβη. Τέλος, ακολουθεί το υπόβαθρο με τα πετρώματα της Σερβαμακεδονικής Μάζας (Sotiriadis et al.,1975). (EIKONA 25).

Οι Νυμφόπετρες συνδέονται με τη Τεταρτογενή έντονη τεκτονική δράση που έλαβε χώρα στη Μυγδόνια λεκάνη. Η δημιουργία των ρηγμάτων σε συνδυασμός με το έντονο γεωθερμικό πεδίο της περιοχής είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία πολλών θερμών πηγών, οι οποίες εναπόθεσαν στους χώρους εμφάνισης τους μεγάλες ποσότητες χημικών ανθρακικών ιζημάτων. Στη συνέχεια η συνδυασμένη δράση διάβρωσης – απόθεσης και οι διασταυρούμενες διακλάσεις είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία αυτών των ιδιαίτερων γεωμορφών. (EIKONEΣ 26,27, 28)



EIKONA 22: Αναπαράσταση της ανάπτυξης των σχηματισμών (Sotiriadis et al.,1975)



ΕΙΚΟΝΑ 23: Σκαρίφημα κατά μήκος της ροής του ρέματος διάβρωσης στο βόρειο τμήμα της Νυμφόπετρας (Sotiriadis et al., 1975)

1. Λεπτόκοκκη άμμος και άργιλος 2. Κλαστικά υλικά (κροκάλες, κόκκοι άμμου, βότσαλα, χαλίκια) 3. Χημικές αποθέσεις

Οι Νυμφόπετρες αποτελούν ένα αξιοθαύμαστο και περίεργο γεώτοπο, ο οποίος χαρακτηρίζεται και ως «πέτρινο δάσος», υπάρχουν κάποιοι μύθοι της τοπικής λαογραφικής παράδοσης. Ο πρώτος μύθος αναφέρει ότι οι Νυμφόπετρες είναι μια ομάδα από κυνηγούς, οι οποίοι ενώ αναζητούσαν θηράματα σε μια κυνηγετική εξόρμηση συνάντησαν τυχαία μια παρέα από νύμφες του δάσους οι οποίες λούζονταν στα κρυστάλλινα νερά μιας πηγής. Οι άνδρες έμειναν έκπληκτοι παρακολουθώντας το θέαμα, αλλά η θεά Άρτεμις που τους αντιλήφθηκε εξοργίστηκε τόσο με την ασέβειά τους, ώστε τους πέτρωσε στο σημείο που στέκονταν. Ο δεύτερος μύθος αναφέρει ότι οι βράχοι προήλθαν από μια γαμήλια πομπή συνοδείας των μελλονύμφων προς την εκκλησία. Η νύφη, γεμάτη πλεονεξία, πήρε όλα τα πράγματα από το σπίτι της μάνας της και το απογύμνωσε εντελώς. Στο δρόμο θυμήθηκε, ότι ξέχασε το αδράχτι με το σφοντύλι και έστειλε ανθρώπους να τα πάρουν. Η οργή της μάνας μετατράπηκε σε κατάρρα και η νύφη με τη συνοδεία της μεταμορφώθηκαν σε πέτρες.



ΕΙΚΟΝΑ 24: Άποψη από τον γεώτοπο στις Νυμφόπετρες. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



ΕΙΚΟΝΑ 25: Άποψη από τον γεώτοπο στις Νυμφόπετρες. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



ΕΙΚΟΝΑ 26: Άποψη του λιθολογικού υλικού από τον γεώτοπο στις Νυμφόπετρες.
(Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)

3.4 ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ: ΚΡΑΝΙΟ ΑΡΚΟΥΔΑΣ & ΠΕΤΡΩΜΑ ΡΟΔΟΧΡΩΣΙΤΗ

3.4.1 ΚΡΑΝΙΟ ΑΡΚΟΥΔΑΣ ΣΠΗΛΑΙΩΝ– (*Ursus spelaeus*)

Στα περισσότερα ελληνικά σπήλαια με παλαιοντολογικό ενδιαφέρον, αλλά κυρίως στο σπήλαιο των Πετραλώνων, η αρκούδα των σπηλαίων είναι το επικρατέστερο μεγάλο σαρκοφάγο ζώο. Η *Ursus spelaeus* αποτελούσε ένα ενδημικό είδος της ευρωπαϊκής ηπείρου και εκατοντάδες χιλιάδες υπολείμματά της έχουν βρεθεί στα σπήλαια της Ευρώπης. Οι αρκούδες διαχρονικά κατέφευγαν στα σπήλαια για να προστατευτούν από τις δυσμενείς συνθήκες, να γεννήσουν τα μικρά τους, αλλά και για τη χειμερινή νάρκη τους.

Ήταν μεγάλα ζώα που το βάρος τους μπορούσε να περάσει στο μισό τόνο, ενώ το ύψος τους σε όρθια στάση ξεπερνούσε τα 2,5m. Η *U. spelaeus* είχε μεγάλο κρανίο με έντονα αναθολωμένο μέτωπο, ενώ τα πόδια ήταν κοντά και ογκώδη. Η οδοντοστοιχία, με βάση το μορφότυπο των δοντιών, δείχνει ένα ζώο με χορτοφαγικές τάσεις σε αντίθεση με την καφέ αρκούδα (*Ursus arctos*) που ζει σήμερα και έχει περισσότερο σαρκοφαγικές τάσεις. Αυτή η διατροφική τους τάση ίσως ήταν μια ακόμα αιτία του αφανισμού της αρκούδας των σπηλαίων κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο του Würm. Κατά την εμφάνιση του *Homo sapiens* στην Ευρώπη παρατηρείται μείωση του αριθμού των αρκούδων των σπηλαίων. Όταν οι προϊστορικοί άνθρωποι προσπάθησαν να προστατευτούν από το ψύχος μέσα στα σπήλαια, ήρθαν αντιμέτωποι με την αρκούδα, κυρίως στη φάση της χειμερινής νάρκης. Στη φάση αυτή το ζώο ήταν αδύναμο, μισοναρκωμένο και ανίκανο να αμυνθεί (Κουφός & Τσουκαλα, 2007).

Το σπήλαιο των Πετραλώνων σχηματίστηκε μέσα σε Μεσοζωικό ασβεστόλιθο. Βρίσκεται κοντά στο χωριό Πετράλωνα, στους πρόποδες του βουνού Κατσίκια, στο βορειοδυτικό τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής, περίπου 50km από την Θεσσαλονίκη. Η σημερινή είσοδος

του σπηλαίου είναι τεχνητή και βρίσκεται σε υψόμετρο 300m. Το σπήλαιο ανακαλύφθηκε το Σάββατο 9 Μαΐου 1959 και ένα χρόνο αργότερα ανακαλύφθηκε το απολιθωμένο κρανίο του Ανθρώπου των Πετραλώνων (‘‘ Αρχανθρώπου’’), το οποίο από το 1960 στεγάζεται στο Μουσείο Γεωλογίας, Παλαιοντολογίας, Παλαιοανθρωπολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, μαζί με δεκάδες απολιθώματα που συνέλεξαν Καθηγητές-ερευνητές και αποτελούν τη λεγόμενη «Παλαιά Συλλογή» των Πετραλώνων. Μεταξύ αυτών είναι και το υπό μελέτη απολιθωμένο κρανίο της Αρκούδας (ΕΙΚΟΝΑ 29). Με βάση τα στοιχεία που δίνουν τα μέχρι τώρα ευρήματα, το σπήλαιο αποτελούσε τον φυσικό χώρο που κατέφευγαν τα μεγάλα σαρκοφάγα - ύαινες, λιοντάρια και αρκούδες - για να προστατευτούν από το κρύο των παγετωδών περιόδων και για να γεννήσουν τα μικρά τους.

Τα ιζήματα του σπηλαίου συνθέτουν το ιδανικό περιβάλλον απολίθωσης, ώστε να παρέχουν μέχρι σήμερα πληροφορίες για την προϊστορία και το παλαιοπεριβάλλον της ευρύτερης περιοχής, στην οποία ζούσε η αρκούδα στο Μέσο Πλειστόκαινο, δηλαδή πριν περίπου 200.000 χρόνια (Tsoukala 1989, Rabeder & Tsoukala 1990, Baryshnikov & Tsoukala 2010). Συνεπώς γίνεται αντιληπτή η σπουδαιότητα του απολιθώματος και πόσο σημαντική είναι η προστασία του αλλά και η ψηφιακή αναπαραγωγή του για την πολύπλευρη μελέτη του

Το υπό μελέτη απολίθωμα του Κρανίου και της γνάθου της Αρκούδας των Σπηλαίων (*Ursus spelaeus*) ανήκει στη συλλογή του Μουσείου Γεωλογίας, Παλαιοντολογίας και Παλαιοανθρωπολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Για την εξέταση του προηγήθηκε η διαδικασία της αδειοδότησης για τη μελέτη του.



ΕΙΚΟΝΑ 27: Κρανίο της αρκούδας σπηλαίων (*Ursus spelaeus*) από το σπήλαιο των Πετραλώνων. Ανήκει στη συλλογή του Μουσείου Γεωλογίας, Παλαιοντολογίας και Παλαιοανθρωπολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

(Φωτογραφία Patrice Le Flock Prigent)

3.4.2 ΡΟΔΟΧΡΩΣΙΤΗΣ (MnCO_3)

Το ορυκτό ροδοχρωσίτης οφείλει το όνομά του στην αρχαία ελληνική λέξη «ροδόχρους» που χαρακτηρίζει το ρόδινο χρώμα του. Ανήκει στην ομάδα των ανθρακικών ορυκτών και παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με τον ασβεστίτη. Ο ροδοχρωσίτης είναι ορυκτό του μαγγανίου και εμφανίζεται κυρίως σε υδροθερμικά κοιτάσματα συχνά με άλλα ορυκτά του μαγγανίου, όπως ο ροδονίτης, αλλά και με γαληνίτη, σφαλερίτη, σιδηροπυρίτη, ασβεστίτη και χαλαζία. Στη κλίμακα σκληρότητας Μος (Mohs) ο ροδοχρωσίτης κατατάσσεται στο 3,5 - 4, το ειδικό του βάρος κυμαίνεται από 3,5 έως 3,7, και είναι διαφανής έως αδιαφανής.

Το υπό μελέτη δείγμα (προσωπική συλλογή κ. Μέλφου Βασίλειου) ροδοχρωσίτη προέρχεται από τη Βουλγαρία και συγκεκριμένα από τα μεταλλεία στο Madan (ΕΙΚΟΝΑ 30). Η σημαντική μεταλλογενετική περιοχή Madan αποτελείται από θειούχες μεταλλοφορίες Pb-Zn μετασωματικού και φλεβικού τύπου καθώς και τύπου skarn, οι οποίες αναπτύσσονται κυρίως στα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής. Προέκταση προς το νότο στον ελληνικό χώρο αυτής της σειράς μεταλλοφοριών αποτελεί η περιοχή των Θερμών στο Νομό Ξάνθης.

Η περιοχή Madan αποτελεί μία από τις σημαντικότερες και πλουσιότερες μεταλλοφορίες Pb-Zn στην μάζα της Ροδόπης. Κατά το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα η εκτεταμένη υπόγεια εξόρυξη σε περισσότερα από 50 κοιτάσματα σε αυτήν την περιοχή οδήγησαν σε παραγωγή άνω των 100Mt μεταλλεύματος με μέση περιεκτικότητα 2,5% Pb και 2,1% Zn. Άλλα 95Mt μεταλλεύματος (Pb+Zn) έχουν μείνει ανεκμετάλλευτα. Το 1990 τα περισσότερα κοιτάσματα χαρακτηρίστηκαν ασύμφορα και πολλά από τα υπόγεια μεταλλεία έκλεισαν. Υπάρχουν ακόμη σημαντικά αποθέματα μεταλλεύματος και ορισμένα μεταλλεία έχουν δυνατότητες ανάπτυξης (Marchev et al. 2005, Tsirambides et al. 2016).



ΕΙΚΟΝΑ 28: Ροδοχρωσίτης Madan Βουλγαρία (Προσωπικό αρχείο: Β.Μέλφος αριστερά, Ζ.Πανταζοπούλου δεξιά)

3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Η εφαρμογή σε ένα από τα ανώτερα στάδια διαχείρισης της γεωκληρονομιάς-αυτό της χρήσης για εκπαιδευτικούς σκοπούς- διερευνήθηκε σε δύο διαφορετικά ακροατήρια και τύπους εκπαίδευσης, με χρήση ερωτηματολογίων. Η πρώτη περίπτωση αφορά στην τυπική εκπαίδευση. Οι συμμετέχοντες ήταν φοιτητές και φοιτήτριες του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ, στο δεύτερο εξάμηνο των σπουδών τους. Η εφαρμογή έλαβε χώρα στην πρώτη διάλεξη/θεωρία του μαθήματος «Γεωγραφία & Ψηφιακή Χαρτογραφία», το οποίο ενδείκνυται ως περιεχόμενο για την ενσωμάτωση εισαγωγικών εννοιών γεωχωρικών τεχνολογιών και βασικών εφαρμογών τους.

Η δεύτερη περίπτωση αφορά σε άτυπη μορφή εκπαίδευσης ενηλίκων. Πιο συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες ήταν σπουδαστές του Ετήσιου Προγράμματος Παιδαγωγικής Κατάρτισης (ΕΠΠΑΙΚ) της Ανώτατης Σχολής Παιδαγωγικής και Τεχνολογικής Εκπαίδευσης (ΑΣΠΑΙΤΕ), οι οποίοι πραγματοποίησαν δίωρη εκπαιδευτική επίσκεψη στο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας και Καινοτομίας (ΚΕΔΕΚ) του ΑΠΘ. Η εφαρμογή διεξήχθη στο πλαίσιο του μαθήματος «Διδακτική Μαθημάτων Ειδικότητας» και το αντικείμενο της εκπαίδευσης ήταν οι καινοτόμες και διεπιστημονικές διδακτικές μέθοδοι και τεχνικές.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνει για κάθε περιπτωσιολογική μελέτη, τα χαρακτηριστικά των δεδομένων, των λογισμικών καθώς και του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν ως μέσα εφαρμογής της Τηλεπισκόπησης και των GIS. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν με στόχο την εξέταση της εφαρμογής, σε ανώτερα στάδια διαχείρισής της γεωλογικής κληρονομιάς.

4.1 ΕΘΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής αναπτύχθηκε μια βάση δεδομένων για τις θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς. Οι πληροφορίες για την θέση των σημείων ενδιαφέροντος αντλήθηκαν από ποικίλες πηγές. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν βιβλιογραφικές αναφορές, αναζήτηση στο διαδίκτυο σε επίσημες ιστοσελίδες φορέων (δήμων, οργανισμών), καθώς και μέσω προσωπικής επικοινωνίας και καταγραφής μαρτυριών από κατοίκους των περιοχών. Για την υλοποίηση της μελέτης εθνικής κλίμακας χρησιμοποιήθηκαν εθνικά γεωχωρικά δεδομένα και λογισμικά, όπως GIS και το Google Earth™.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

- Εθνικά γεωχωρικά δεδομένα της Εθνικής Υποδομής Γεωχωρικών Πληροφοριών (ΕΥΓΕΠ)
- Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα (DEM) (SRTM, EU-DEM, ASTER-GDEM)
- Δεδομένα κάλυψης γης και αλλαγής κάλυψης γης CORINE από την υπηρεσία Copernicus (διαχρονικά)

Στα πλαίσια της μελέτης της εθνικής κλίμακας εξετάστηκε η πιθανή επίδραση της μελλοντικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας σε θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς. Η αλλαγή της μέσης στάθμης της θάλασσας αποτελεί βασικό δείκτη του εξελισσόμενου κλίματος, γιατί φανερώνει τη θερμική διαστολή του ωκεανού λόγω της θέρμανσης αλλά και την αύξηση της ωκεάνιας μάζας λόγω της τήξης των στρωμάτων πάγου και παγετώνων. Η μελέτη της διακύμανσης της στάθμης της θάλασσας γίνεται σε παγκόσμιο αλλά και περιφερειακό επίπεδο. Η μακροπρόθεσμη μελέτη της ανόδου της στάθμης της θάλασσας δύναται να επιδεινώσει τη διάβρωση των ακτών, τις παράκτιες πλημμύρες και τη διείδυση αλμυρού νερού στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες.

Έχει παρατηρηθεί πως από το 1993 η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά $3,3 \pm 0,3\text{mm}/\text{έτος}$ άνοδος που αντιστοιχεί σε συνολική αύξηση της στάθμης 9,7cm τα τελευταία 30 χρόνια παγκοσμίως. Η πιθανή παγκόσμια μέση άνοδος της στάθμης της θάλασσας μέχρι το 2050 είναι μεταξύ 0,15–0,23m και έως το 2100 μεταξύ 0,28–0,55m (IPCC, 2021; IPCC, 2023; Παπανικολάου κ.ά. 2011; URL 26).

Η υψομετρική πληροφορία είναι μια κρίσιμη παράμετρος σε εφαρμογές πολλών επιστημονικών πεδίων. Μία βασική πηγή υψομετρικής πληροφορίας προέρχεται από τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα (DEM). Για την μελέτη της ανόδου της στάθμης της θάλασσας

στο διάστημα των επόμενων 100 χρόνων, χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα (DEM) βασισμένα σε διαστημικές μετρήσεις, τα οποία παρέχουν παγκόσμια και ελεύθερης πρόσβασης δεδομένα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), το Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) και European Union Digital Elevation Model (EU-DEM) (Μουρατίδης 2010, Mouratidis et al. 2019). Το τελευταίο αποτελεί ένα υβριδικό προϊόν που βασίζεται στα δυο προηγούμενα αλλά και σε ρωσικούς τοπογραφικούς χάρτες.

Τα περισσότερα EU-DEM αποτελούν ένα ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας πάνω από την Ευρώπη. Η πρώτη έκδοση v1, κυκλοφόρησε το 2013 ωστόσο στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε η έκδοση v4. Η χωρική ανάλυση είναι 25 m. Το ASTER GDEM αποτελεί παγκόσμιο ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο, το οποίο παράχθηκε από τη μέθοδο της στερεοσκοπίας δορυφορικών εικόνων ASTER. Η πρώτη έκδοση κυκλοφόρησε το 2009, ενώ πλέον είναι στην έκδοση v3 έχει βελτιωθεί η χωρική ανάλυση με μεγαλύτερη οριζόντια και κάθετη ακρίβεια. Η έκδοση αυτή διατηρεί τη μορφή GeoTIFF και την ίδια δομή πλέγματος όπως και στις δυο προηγούμενες με 30 m χωρική ανάλυση (URL 31).

Τα SRTM είναι διεθνής ερευνητική προσπάθεια που παρέχει ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα σχεδόν σε παγκόσμια κλίμακα. Αποτελούνται από ένα τροποποιημένο σύστημα ραντάρ που εκτοξεύτηκε το 2000. Η πρώτη έκδοση κυκλοφόρησε το 2003 και το 2013 κυκλοφόρησε η τρίτη έκδοση με χωρική ανάλυση 30m.

Χαρακτηριστικό του EU-DEM είναι, ότι χρησιμοποιεί τιμές NODATA για υψόμετρα πάνω από θάλασσες και ωκεανούς, όπου τόσο το ASTER όσο και το SRTM εκχωρούν σε αυτές τις περιοχές υψόμετρο 0m. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν να παρεμβάλουν υψόμετρα για τοποθεσίες πολύ κοντά στην ακτή και θα επιστρέψουν μια τιμή NaN σε μέρη όπου τα SRTM και ASTER ενδέχεται να επιστρέψουν υψόμετρο 0m ή 1m (opentopodata.org, land.copernicus.eu, Μουρατίδης 2010).

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

- Λογισμικό QUANTUM GIS (QGIS)

Πιο αναλυτικά το λογισμικό GIS που χρησιμοποιήθηκε είναι το QUANTUM GIS (QGIS). Το Quantum GIS (QGIS) αναπτύχθηκε στις αρχές του 2002, και η Έκδοση 1.0 κυκλοφόρησε τον Ιανουάριο του 2009. Συντηρείται από μια ομάδα εθελοντών προγραμματιστών που δημιουργούν τακτικά ενημερώσεις και διορθώσεις σφαλμάτων. Έχει μεταφραστεί σε 48 γλώσσες, μεταξύ των οποίων και η ελληνική, και η εφαρμογή χρησιμοποιείται διεθνώς σε ακαδημαϊκά και επαγγελματικά περιβάλλοντα. Το λειτουργικό είναι εύχρηστο και έχει ευχάριστο γραφικό περιβάλλον για τον χρήστη, καθώς παρέχει όλες τις κοινές λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αντίστοιχων συστημάτων. Υποστηρίζει διάφορες ψηφιδωτές (raster) και διανυσματικές (vector) μορφές στοιχείων, με δυνατότητα να προσθέτονται εύκολα νέες δυνατότητες χρησιμοποιώντας επιπλέον plugins. Έχει μικρό μέγεθος αρχείου σε σύγκριση με τα εμπορικά GIS και απαιτεί λιγότερη μνήμη RAM και επεξεργαστική ισχύ. Η έκδοση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της διατριβής είναι η QGIS 3.16 Hannover.

- Λογισμικό ArcGIS™

Η έκδοση 10 του εμπορικού λογισμικού GIS της ESRI™, χρησιμοποιήθηκε επιλεκτικά κατά την επεξεργασία του συνόλου των γεωχωρικών δεδομένων (γεωβάση εθνικής κλίμακας, δορυφορικά δεδομένα, DEM κ.λπ.), για τη διευκόλυνση των διαδικασιών, την ταχύτητα και τη βέλτιστη οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.

- Διαδικτυακή Εφαρμογή Google Earth™

Το Google Earth™ είναι ένα πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης της Γης και ελεύθερα διαθέσιμο στο διαδίκτυο. Κατασκευάστηκε από την εταιρεία Keyhole Inc. με το όνομα Earth Viewer 3D, αλλά το 2004 η εταιρεία εξαγοράστηκε από την Google και έλαβε το όνομα Google Earth™. Το πρόγραμμα συνθέτει εικόνες και πληροφορίες μέσω δορυφορικών εικόνων και δεδομένων GIS.

- Πλατφόρμα Corine Land Cover Copernicus

Επιπλέον θέμα μελέτης της διατριβής αποτελεί η μεταβολή των χρήσεων γης σε σχέση με θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς. Χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα Corine Land Cover Copernicus, η οποία παρέχει τη δυνατότητα λήψης πληροφοριών σχετικά με την κάλυψη γης και τις μεταβολές που σημειώνονται σε αυτή. Συγκεκριμένα κατά την περίοδο διεξαγωγής της διατριβής τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα αφορούν τις χρονικές περιόδους 2000-2006, 2006-2012, 2012-2018. Για τις απαιτήσεις της διατριβής κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν τα πιο πρόσφατα από αυτά τα δεδομένα, δηλαδή των ετών 2012-2018.

4.2 ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Για τις απαιτήσεις της μελέτης της μικρής κλίμακας μελετήθηκε η νήσος Μήλος. Στη μικρή αυτή κλίμακα χρησιμοποιήθηκαν κυρίως δορυφορικές εικόνες προερχόμενες από οπτικούς αισθητήρες ή ραντάρ που φέρουν οι δορυφόροι. Η κλίμακα αυτή αντιστοιχεί στην μελέτη της συμβολής της Διαστημικής Τηλεπισκόπησης. Για την ολοκλήρωση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τηλεπισκοπικά, άλλα και γεωχωρικά, βιβλιογραφικά δεδομένα, καθώς και λογισμικά για την επεξεργασία τους.

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

- Θερμικές εικόνες Landsat-7/ETM+ (κανάλι 6), χωρικής ανάλυσης 60m
- Εικόνες Landsat-4 & 5/TM, χωρικής ανάλυσης 30m
- Οπτικά δεδομένα Copernicus Sentinel-2, χωρικής ανάλυσης έως 10m
- Οπτικά, εμπορικά δεδομένα πολύ υψηλής (0.5m-0.7m) ανάλυσης: Pleiades™ (AIRBUS™) και Worldview-2™ (Maxar™)
- Δεδομένα δορυφορικής συμβολομετρίας ραντάρ (InSAR) από την αποστολή Sentinel-1 (Copernicus)
- Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα (DEM): SRTM, EU-DEM, ASTER-GDEM (βλ. § 4.1)
- Δεδομένα κάλυψης γης και αλλαγής κάλυψης γης CORINE από την υπηρεσία Copernicus (διαχρονικά) (βλ. § 4.1)

Οι δορυφόροι της σειράς Landsat χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες τηλεπισκοπικές εφαρμογές, όπως η ανίχνευση αλλαγών, η ταξινόμηση κάλυψης γης και ο υπολογισμός δεικτών βλάστησης (Zhu et al., 2018). Λόγω του υψηλού κόστους πριν το 2008 η πλειοψηφία των μελετητών χρησιμοποιούσαν για τις αναλύσεις τους μία ή μερικές εικόνες Landsat χωρίς νεφοκάλυψη, οι οποίες αποκτήθηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες (Loveland & Dwyer, 2012). Από το 2008 κι έπειτα οι εικόνες διατίθενται δωρεάν και με ανοιχτή πρόσβαση σε ολόκληρο το αρχείο των δορυφόρων Landsat (Woodcock et al. 2008, Wulder et al. 2012), οπότε αξιοποιούνται ευρέως χρονοσειρές των εν λόγω δεδομένων.

Όσον αφορά τη μελέτη της γεωθερμικής ανωμαλίας στη νήσο Μήλο, αυτή μελετήθηκε με τη χρήση δορυφορικών εικόνων. Για την λήψη των δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιήθηκαν δορυφόροι που φέρουν αισθητήρες με θεματικό χαρτογράφο. Η χρονοσειρά Landsat έχει δορυφόρους από το 1972 ξεκινώντας από τον Landsat 1,2,3 και φτάνοντας στον Landsat 9 που εκτοξεύτηκε το 2021. Εξαιρέση αποτελεί ο δορυφόρος Landsat 6, ο οποίος εκτοξεύτηκε το 1993, αλλά δεν κατάφερε να μπει ποτέ σε τροχιά.

Οι δορυφόροι Landsat-4 και Landsat-5 που τέθηκαν σε τροχιά στις 16/07/1982 και 01/03/1984 αντίστοιχα αποτελούν τη συνέχεια των δορυφόρων πρώτης γενιάς. Το ύψος τροχιάς τους μειώθηκε από τα 900Km που είχαν οι δορυφόροι πρώτης γενιάς, στα 705Km. Αυτή η μείωση του ύψους έγινε για να υπάρχει η δυνατότητα επιδιόρθωσης από τα διαστημικά λεωφορεία και να βελτιώνεται η χωρική διακριτική ικανότητα (IFOV). Η τροχιά τους παραμένει κυκλική, ηλιοσύγχρονη και σχεδόν πολική. Οι αισθητήρες που φέρουν οι Landsat-4 και Landsat-5 είναι ο πολυφασματικός σαρωτής MSS και ο TM («θεματικός χαρτογράφος»).

Ο δορυφόρος Landsat-7 εκτοξεύτηκε στις 15 Απριλίου 1999 και αφού ολοκλήρωσε τις διεργασίες ελέγχου λειτουργίας των συστημάτων που μεταφέρει, άρχισε να πραγματοποιεί την επιχειρησιακή του φάση. Ο δορυφόρος κινείται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος περίπου 705Km. Μεταφέρει έναν Βελτιωμένο Θεματικό Χαρτογράφο (ETM+, Enhanced Thematic Mapper Plus), σε σχέση με τον απλό Θεματικό Χαρτογράφο (TM) που μετέφερε ο Landsat 4 και Landsat-5.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα του δορυφόρου Landsat-7 είναι: **1.** Περιέχει ένα παγχρωματικό κανάλι με 15m χωρική διακριτική ικανότητα. **2.** το παγχρωματικό κανάλι καταγράφει δεδομένα στο διάστημα 0,52 - 0,9μm, πράγμα που προσδίδει βελτιωμένο λόγο σήματος/θορύβου και κατ' επέκταση καλύτερο διαχωρισμό της βλάστησης. **3.** η ταυτόχρονη εγκατάσταση με τα πολυφασματικά κανάλια δίνει εξαιρετική ποιότητα, όταν τα δεδομένα τους συγχωνεύονται. **4.** το νέο θερμικό κανάλι 6 (Band) έχει χωρική διακριτική ικανότητα 60m (σε σχέση με τα 120m που είχε σε όλους τους προηγούμενους δορυφόρους η σειρά Landsat). **5.** Ο κύκλος επαναληψιμότητας απόκτησης των δεδομένων από τον δορυφόρο για την ίδια περιοχή είναι 16 ημέρες.

Ο δορυφόρος Landsat-8 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 από την αεροπορική βάση Vandenberg στην Καλιφόρνια, και αναπτύχθηκε από τη NASA σε συνεργασία με την Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS). Οι δύο αισθητήρες που φέρει παρέχουν εποχική κάλυψη της παγκόσμιας ξηράς σε χωρική ανάλυση 30m για τα κανάλια που βρίσκονται στο ορατό, κοντινό υπέρυθρο και μικροκυματικό υπέρυθρο, 100m για τα θερμικά κανάλια και 15m για το παγχρωματικό κανάλι. Όσον αφορά τον αισθητήρα TIRS, συλλέγει δεδομένα σε δύο φασματικά κανάλια στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου, σε αντίθεση με τους προηγούμενους δορυφόρους του προγράμματος Landsat στους οποίους υπήρχε μόνο ένα φασματικό κανάλι στο συγκεκριμένο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο Landsat-8 αποστέλλει περίπου 400 λήψεις εικόνων ανά ημέρα στο αρχείο δεδομένων του USGS (150 παραπάνω από τον Landsat-7), αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για λήψεις εικόνων χωρίς σύννεφα. Στα Φασματικά Κανάλια (Bands) 10 και 11 βρίσκονται στο θερμικό υπέρυθρο και καταγράφουν τη θερμότητα. Αντί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα, όπως στους μετεωρολογικούς σταθμούς, καταγράφεται η θερμοκρασία του εδάφους, το οποίο είναι συνήθως αρκετά θερμότερο.

Ο δορυφόρος Landsat-9 εκτοξεύτηκε στις 27 Σεπτεμβρίου 2021 από την αεροπορική βάση Vandenberg στην Καλιφόρνια, και αναπτύχθηκε από τη NASA σε συνεργασία με την Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS). Τα όργανα που φέρει ο δορυφόρος είναι βελτιωμένα αντίγραφα του δορυφόρου Landsat-8, τα οποία ήδη παρέχουν δεδομένα που είναι ραδιομετρικά και γεωμετρικά ανώτερα από τα όργανα σε δορυφόρους Landsat προηγούμενης γενιάς. Ο θερμικός αισθητήρας υπέρυθρων 2 (TIRS-2) του Landsat-9 μετρά

τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης σε δύο θερμικές υπέρυθρες ζώνες χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε για το TIRS στο Landsat-8, ωστόσο το TIRS-2 είναι μια βελτιωμένη έκδοση του TIRS του Landsat-8, τόσο όσον αφορά την κατηγορία κινδύνου του οργάνου όσο και τον σχεδιασμό για την ελαχιστοποίηση του αδέσποτου φωτός. Το TIRS-2 παρέχει δύο φασματικές ζώνες με μέγιστη απόσταση δειγματοληψίας εδάφους, τόσο εντός όσο και σε εγκάρσια τροχιά, 100m (328 πόδια) και για τις δύο ζώνες.

Σε συνέχεια όσον αναφέρθηκαν, η μελέτη της θερμικής ανωμαλίας μιας περιοχής δύναται να μελετηθεί μέσω δορυφορικών εικόνων. Όπως αναφέρθηκε οι δορυφόροι της σειράς Landsat φέρουν αισθητήρες με θεματικό χαρτογράφο. Οι δορυφόροι Landsat-4 και Landsat-5, φέρουν αισθητήρα TM - Thematic Mapper, ο Landsat-7 φέρει έναν Βελτιωμένο Θεματικό Χαρτογράφο (ETM+, Enhanced Thematic Mapper Plus)- και οι δορυφόροι Landsat-8 και Landsat-9 φέρουν έναν αισθητήρα TIRS (Thermal InfraRed Sensor) για την προσδιορισμό θερμικής χαρτογράφησης.

Ο Θεματικός Χαρτογράφος (TM - Thematic Mapper) είναι ένας αισθητήρας με πολυφασματική σάρωση, που έχει σχεδιαστεί για να επιτυγχάνει υψηλότερη ανάλυση εικόνας, ευκρινέστερο φασματικό διαχωρισμό, βελτιωμένη γεωμετρική πιστότητα, μεγαλύτερη ραδιομετρική ακρίβεια και ανάλυση σε σχέση με τον αισθητήρα MSS. Ο αισθητήρας TM έχει επτά φασματικά κανάλια (Bands) στα οποία ανιχνεύονται ταυτόχρονα τα δεδομένα. Το κανάλι 6 ανιχνεύει τη θερμική υπέρυθρη ακτινοβολία. Μια σκηνή TM έχει χωρική διακριτική ικανότητα (IFOV) 30m x 30m στις ζώνες 1 έως 5 και 7 (ορατού, κοντινού - μέσου υπέρυθρου), ενώ στο κανάλι 6 (θερμική ζώνη) έχει χωρική διακριτική ικανότητα (IFOV) 120m x 120m (nasa.gov).

Ο Βελτιωμένος Θεματικός Χαρτογράφος (ETM+, Enhanced Thematic Mapper Plus) αποτυπώνει δεδομένα σε επτά φασματικές ζώνες, όπως και ο TM, αλλά με μια επιπλέον ζώνη παγχρωματική 0,52 - 0,90μm (πράσινο - υπέρυθρο ανάκλασης) και χωρική διακριτική ικανότητα (IFOV) 15m. Μια ακόμη διαφορά με τον αισθητήρα TM είναι η χωρική διακριτική ικανότητα (IFOV) του θερμικού καναλιού 6 που είναι 60m (URL 06 www.usgs.gov). Τέλος ο αισθητήρας TIRS (Thermal InfraRed Sensor) λαμβάνει εικόνες στο θερμικό εύρος (10 - 12,5μm) και μετρά τη θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης σε δύο θερμικές ζώνες (κανάλι 10 και 11) με χωρική διακριτική ικανότητα (IFOV) 100m (Barsi et al., 2014).

Για την μελέτη της διάβρωσης του εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα οπτικά και δεδομένα ραντάρ. Ο δορυφόρος Sentinel-1 είναι ο πρώτος δορυφόρος του Προγράμματος Copernicus που διεξάγεται σε συνεργασία με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος. Η αποστολή αποτελείται από δύο δορυφόρους, τον Sentinel-1A που εκτοξεύτηκε στις 3 Απριλίου 2014 και τον Sentinel-1B που εκτοξεύτηκε στις 25 Απριλίου 2016, οι οποίοι μοιράζονταν το ίδιο τροχιακό επίπεδο. Οι δορυφόροι Sentinel-1 φέρουν ένα όργανο ραντάρ με συνθετικό διάφραγμα ζώνης C το οποίο παρέχει μια συλλογή δεδομένων παντός καιρού, μέρα ή νύχτα. Αυτό το όργανο έχει χωρική ανάλυση έως 5m. Ο δορυφόρος περιστρέφεται γύρω από μια ηλιακή-σύγχρονη τροχιά, σχεδόν πολική. Η τροχιά έχει κύκλο επανάληψης 12 ημερών και ολοκληρώνει 175 τροχιές ανά κύκλο.

Αντίστοιχα, η αποστολή Sentinel-2 είναι μια ακόμη αποστολή παρατήρησης της Γης από το πρόγραμμα Copernicus. Έχει αναπτυχθεί και λειτουργεί από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA) και οι δορυφόροι κατασκευάστηκαν από κοινοπραξία με επικεφαλής την Airbus Defense & Space στο Friedrichshafen. Η αποστολή Sentinel-2 περιλαμβάνει δύο δορυφόρους, τον Sentinel-2A που εκτοξεύτηκε στις 23 Ιουνίου 2015 και τον Sentinel-2B που εκτοξεύτηκε στις 7 Μαρτίου 2017. Βρίσκονται σε πολική τροχιά που τοποθετούνται στην ίδια ηλιοσύγχρονη τροχιά, σε απόσταση 180° μεταξύ τους. Αποκτά συστηματικά οπτικές

εικόνες σε υψηλή χωρική ανάλυση (10m έως 60m) πάνω από την ξηρά και τα παράκτια ύδατα. Βασικός στόχος τους είναι η παρακολούθηση των επιφανειακών αλλαγών στη Γη, έχουν μεγάλη επαναληψιμότητα (10 ημέρες στον ισημερινό με έναν δορυφόρο και 5 ημέρες με 2 δορυφόρους υπό συνθήκες χωρίς σύννεφα, με αποτέλεσμα 2-3 ημέρες σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη).

Γεωχωρικά και άλλα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες της Μήλου
- Ψηφιακά δεδομένα της Γεωπύλης Δεδομένων της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ)
- Βασικά επίπεδα πληροφοριών (Νομοί, Περιφέρειες κλπ.) από την Εθνική Υποδομή Γεωχωρικών Πληροφοριών (ΕΥΓΕΠ)
- Πληροφορίες για τη γεωθερμία της Μήλου (Φυτίκας, 1977)
- Κλιματικά δεδομένα – προβλέψεις για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας
- Επί τόπου έρευνα και φωτογραφικό υλικό

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

- Λογισμικό ΕΟ Browser

Το ΕΟ Browser καθιστά δυνατή την περιήγηση και τη σύγκριση εικόνων πλήρους ανάλυσης από όλες τις συλλογές δεδομένων που παρέχονται. Για την διαδικασία επιλογής των εικόνων επιλέγεται πρώτα η περιοχή ενδιαφέροντος, το επιθυμητό χρονικό εύρος μελέτης και η νεφοκάλυψη. Στη συνέχεια, δίνεται η δυνατότητα προεπισκόπησης των αποτελεσμάτων της αναζήτησης. Μέσω διαφόρων διαδικασιών επεξεργασίας και οπτικοποίησης δίνεται η δυνατότητα λήψης των εικόνων υψηλής ανάλυσης αλλά και η δημιουργία χρονοσειρών, μεταξύ άλλων και σε μορφή βίντεο (timelapse). Το πρόγραμμα περιήγησης ΕΟBrowser επιτρέπει την άμεση οπτικοποίηση δορυφορικών δεδομένων από πολλούς δορυφόρους και συλλογές δεδομένων. Οι δορυφορικές εικόνες στο πρόγραμμα περιήγησης ΕΟ Browser μπορούν να οπτικοποιηθούν με βάση την επιθυμητή διαμόρφωση του χρήστη. Υπάρχουν ήδη αρκετές έτοιμες οπτικοποιήσεις με περιγραφές, όπως αληθινό χρώμα, ψευδές χρώμα, NDVI, κ.λπ.

- SNAP

Το SNAP είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων παρατήρησης της Γης. Μέσω του λογισμικού SNAP οι εικόνες υφίστανται τις απαραίτητες διορθώσεις και στη συνέχεια μέσω του λογισμικού GIS πραγματοποιείται η εξέταση των διαφόρων δεικτών που πρέπει να μελετηθούν.

- Λογισμικά GIS

Χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά QGIS και ArcGIS. Τα χαρακτηριστικά λογισμικά QGIS (βλ. §4.1). Όσον αφορά το ArcGIS αποτελεί ένα εμπορικό λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από την εταιρεία ESRI. Στη παρούσα κλίμακα κρίθηκε χρήσιμο να αξιολογηθεί η εφαρμογή και χρήση ελεύθερων λογισμικών και να αξιολογηθεί η συμβολή τους ως Τηλεπισκοπικά μέσα. Μέσω της χρήσης τους για την απόκτηση υλικού που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς (εκπαιδευτικούς, τουριστικούς) προέκυψαν και σημειώθηκαν



πλεονεκτήματα ή προβλήματα που παρατηρήθηκαν. Τα ελεύθερα λογισμικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

- **Google Earth™**

Είναι ένα πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης της Γης το οποίο είναι διαθέσιμο στο Διαδίκτυο. Περισσότερες πληροφορίες αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

- **Google Earth Studio™**

Το Google Earth Studio™ είναι ένα εργαλείο γραφικής απεικόνισης της Γης, που βασίζεται σε πρόγραμμα περιήγησης για τρισδιάστατες και δορυφορικές εικόνες του Google Earth™. Το Google Earth™ διαθέτει ένα τεράστιο χώρο αποθήκευσης δεδομένων δύο διαστάσεων (2D) και τριών διαστάσεων (3D) της Γης, από γεωλογικά χαρακτηριστικά μεγάλης κλίμακας έως μεμονωμένα κτίρια πόλεων. Το εργαλείο αυτό επιτρέπει την εύκολη αξιοποίηση των εικόνων και την ανάπτυξη κινούμενου περιεχομένου. Βασίζεται σε βιομηχανικά πρότυπα εργαλεία κινούμενων σχεδίων ώστε άμεσα να μπορεί ο χρήστης να δημιουργήσει το δικό του κινούμενο σχέδιο. Είναι φιλικό προς τον χρήστη, γιατί παρέχει συμβουλές για τα εργαλεία και τον τρόπο χρήσης τους.

4.3 ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ

Κατά τη μελέτη της μεσαίας κλίμακας χρησιμοποιήθηκαν τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών / ΣμηΕΑ. Η κλίμακα αυτή αντιστοιχεί στην μελέτη της συμβολής της Εναέριας Τηλεπισκόπησης. Η χρήση αυτού του εξοπλισμού αποτελεί μια από τις πιο σύγχρονες μεθόδους αποτύπωσης. Προσφέρουν αμεσότητα, υψηλή ταχύτητα εκτέλεσης των σαρώσεων και κάλυψη μεγάλων χωρικών εκτάσεων.

Ωστόσο, η κλίμακα αυτή παρέχει τη δυνατότητα μελέτης τόσο με εναέριες όσο και με επίγειες μεθόδους Τηλεπισκόπησης. Τα δεδομένα μελέτης ήταν οι εικόνες που προέκυπταν από τις σαρώσεις.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των εικόνων ήταν: για την εναέρια Τηλεπισκόπηση το ΣμηΕΑ-DJI Mavic Mini, ενώ για την επίγεια Τηλεπισκόπηση ο σαρωτής Leica BLK 360 και ο σαρωτής Leica RTC360. Τέλος για την τρισδιάστατη εκτύπωση των σαρώσεων χρησιμοποιήθηκε ο εκτυπωτής Ultimaker S5.

Η αποτύπωση τρισδιάστατων μοντέλων με τη χρήση σαρωτών λέιζερ αποτελεί την πιο αξιόπιστη μέθοδο αποτύπωσης δημιουργώντας υψηλής ανάλυσης εικόνων των αντικειμένων σάρωσης. Τα αποτελέσματα προκύπτουν σε πολύ σύντομο χρόνο και με μεγάλη ακρίβεια. Η λειτουργία τους βασίζεται στη τεχνική Lidar (Laser Imaging detection and ranging). Η τεχνική αυτή επιτρέπει τον εύρεση της χωρικής θέσεις των αντικειμένων με ακρίβεια μέσω της αποστολής από τον πομπό και της λήψης από τον δέκτη, μιας δέσμης λέιζερ, εξάγοντας ένα νέφος σημείων χωρικής κατανομής.

Πιο αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού:

- **Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών / ΣμηΕΑ DJI Mavic Mini**

Για τη μελέτη της μεσαίας κλίμακας χρησιμοποιήθηκαν τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών / ΣμηΕΑ. Το μοντέλο του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος (UAV) που

χρησιμοποιείται είναι το DJI Mavic Mini (EIKONA 31). Είναι γρήγορο, ελαφρύ και σχετικά αθόρυβο.



ΕΙΚΟΝΑ 29: Σύστημα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών / ΣμηΕΑ - Μοντέλο DJI Mavic Mini (URL 20)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά DJI Mavic Mini	
Βάρος	μικρότερο από 250 γραμμάρια
Μοντέλο κάμερας	FC7203 (4,49mm)
Ανάλυση εικόνας	4000 x 2250
Εστιακό Μήκος	4,49mm
Μέγεθος εικονοστοιχείου (pixel)	1,76x1,76 μm

- Leica BLK360

Ο σαρωτής (EIKONA 32) χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή ακρίβεια και μεγάλη ταχύτητα με ικανότητα λήψης 360.000 σημείων ανά δευτερόλεπτο. Επιπλέον, διαθέτει υψηλό δυναμικό εύρος της φωτογραφικής απεικόνισης (HDR) αλλά και θερμική απεικόνιση (θερμική υπέρυθη κάμερα) οπτικού πεδίου 360° οριζόντια και 300° κατακόρυφα. Ο χειρισμός του σαρωτή γίνεται εξ' αποστάσεως με τη χρήση iPad μέσω κατάλληλης εφαρμογής στην οποία επιτυγχάνεται η καταγραφή των νεφών των σημείων και παράλληλα η ευθυγράμμιση και η οπτικοποίηση των δεδομένων αυτών.



ΕΙΚΟΝΑ 30: Τρισδιάστατος σαρωτής Λείζερ - Leica BLK 360 (URL 21)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Leica BLK360	
Διαστάσεις	165mm ύψος x 100mm διάμετρος
Βάρος	1Kg
Ακρίβεια μέτρησης	4mm έως 60m
Δημιουργία εικόνας	Σφαιρικής 150 MP
Θερμοκρασία λειτουργίας	+5 °C έως +40 °C

- Leica RTC360

Με αυτόν τον σαρωτή (ΕΙΚΟΝΑ 33) μπορούν να μετρηθούν έως και 2 εκατομμύρια σημεία ανά δευτερόλεπτο και χάρη στο προηγμένο σύστημα απεικόνισης HDR - High Dynamic Range, δημιουργούνται έγχρωμα τρισδιάστατα νέφη σημείων, των οποίων η δημιουργία μπορεί να ολοκληρωθεί σε μερικά λεπτά. Λαμβάνονται ευκρινείς και υψηλής ποιότητας σαρώσεις λόγω του χαμηλού θορύβου. Επιπλέον, χάρη στο αδρανειακό σύστημα καταγραφής τροχιάς (Virtual Inertial System) κατά τη διάρκεια των μετρήσεων εφαρμόζει την διαδικασία της Επιτόπου σύνδεση σαρώσεων (pre-register). Ο σαρωτής «ενώνει», επιτόπου, τα νέφη σημείων που προκύπτουν από τις διαδοχικές στάσεις, χωρίς να απαιτούνται στόχοι. Αυτή η διαδικασία γίνεται με τη χρήση του iPad, το οποίο είναι συνδεδεμένο με το όργανο σάρωσης σε κοινό ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wi-Fi). Η αυτή η δυνατότητα διευκολύνει την εργασία γραφείου, αφού αποφεύγεται η χειροκίνητη διαδικασία σύνδεσης των νεφών σημείων.



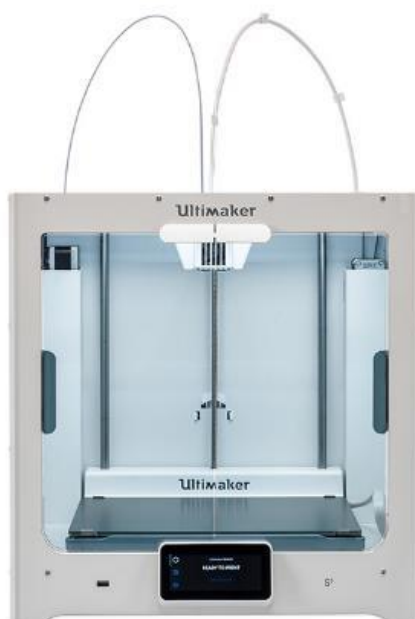
ΕΙΚΟΝΑ 31: Τρισδιάστατος σαρωτής Λείζερ - Leica RTC360 (URL 22)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Leica RTC360	
Διαστάσεις	165mm ύψος x 100mm διάμετρος
Βάρος	5,35kg
Εύρος θορύβου	0.5mm ανά 20m
Ανάλυση εικόνας	3mm ανά 10m 6mm ανά 10m 12mm ανά 10m
Χρόνος σάρωσης	> 2min για σάρωση πλήρους θόλου
Θερμοκρασία λειτουργίας	+5 °C έως +40 °C

Χαρακτηριστικό γνώρισμα του οργάνου Leica BLK360 είναι πως δε διαθέτει ενσωματωμένη πυξίδα. Συνεπώς κατά την τοποθέτησή του σε νέο σημείο μέτρησης θα πρέπει να έχει τον ίδιο προσανατολισμό με την θέση της πρώτης μέτρησης. Αντίθετα, το όργανο Leica RTC360 έχει ενσωματωμένη πυξίδα, συνεπώς προσανατολίζεται αυτόματα σε κάθε νέο σημείο μέτρησης. Ωστόσο βασικός περιορισμός για τη χρήση και των δυο οργάνων είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Κατά τη σάρωση σε εξωτερικούς χώρους θα πρέπει να επικρατούν σχετικά σταθερές θερμοκρασίες χωρίς ακραίες καιρικές συνθήκες.

- Εκτυπωτής Ultimaker S5

Για την εκτύπωση των δειγμάτων με τρεις διαστάσεις χρησιμοποιήθηκε ο εκτυπωτής S5 της εταιρείας Ultimaker. Οι δυνατότητες του εκτυπωτή αξιοποιήθηκαν τόσο για την μεσαία όσο και για την μεγάλη κλίμακα. Ο εκτυπωτής Ultimaker S5 (ΕΙΚΟΝΑ 34) είναι ένας επιτραπέζιος τρισδιάστατος (3D) εκτυπωτής με τη μεγάλη επιφάνεια κατασκευής, που αναπαράγει αντικείμενα με ακρίβεια.



ΕΙΚΟΝΑ 32: Εκτυπωτής τριών διαστάσεων - Ultimaker S5 3D (URL 23).

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ultimaker S55	
Ωφέλιμος όγκος εκτύπωσης	330 x 240 x 300mm
Υποστηριζόμενα υλικά	ABS, Also supports third-party materials, Breakaway, CPE, CPE+, Nylon, PC, PLA, PP, PVA, Tough PLA, TPU 95A
Διαστάσεις	495x457x520mm
Βάρος	20.6Kg
Συμβατό λογισμικό	MacOS, Windows, Linux

Για την παρουσίαση της περιοχής μελέτης αυτής της κλίμακας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Jetstream Viewer. Αποτελεί ένα λογισμικό με ελεύθερη πρόσβαση από την εταιρεία Leica Geosystems. Ωστόσο, σημειώνεται πώς η διάθεση του εξοπλισμού της εφαρμογής της επίγειας Τηλεπισκόπησης και η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Α.Π.Θ.

4.4 ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Η μελέτη της επίγειας Τηλεπισκόπησης αντιστοιχεί στη μελέτη της μεγάλης κλίμακας δηλαδή αντικείμενα όπως ορυκτά και απολιθώματα. Ο εξοπλισμός που απαιτήθηκε για την μελέτη της κλίμακας είναι ο σαρωτής λέιζερ -Occipital Structure Sensor (iPad & 3D scanner by structure sensor)- με αισθητήρα φωτός δομής για τη σάρωση του απολιθώματος. Για τη

σάρωση του πετρώματος χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής Λέιζερ -LiDAR Camera L515. Αποτέλεσμα και από τις δυο σαρώσεις είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση των αντικειμένων και η προβολή τους μέσω του λογισμικού 3D Viewer.

Πιο αναλυτικά για τον εξοπλισμό:

- Occipital Structure Sensor – (iPad & 3D scanner by structure sensor)

Ένας αισθητήρας δομημένου φωτός (structure light sensor) (EIKONA 35) αποτελείται από έναν πομπό υπερύθρων και έναν αντίστοιχο αισθητήρα που έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με τις περισσότερες κινητές συσκευές, ο οποίος παρέχει καλύτερα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιείται με ένα iPad (EIKONA 36-37). Οι χρήστες μπορούν να μετρήσουν γρήγορα ολόκληρο το αντικείμενο και να επιτρέψουν στο λογισμικό να δημιουργήσει πλήρη τρισδιάστατα μοντέλα σε πραγματικό χρόνο (EIKONA 38) .



EIKONA 33: Ο αισθητήρας φωτός δομής (structure light sensor)



EIKONA 34: Ο αισθητήρας φωτός δομής (structure light sensor) ενσωματωμένος σε iPad (URL 24).



ΕΙΚΟΝΑ 35: Κατά την διάρκεια της σάρωσης του απολιθώματος με τη χρήση του αισθητήρα φωτός δομής (structure light sensor), ενσωματωμένο σε iPad. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου)

Το δομημένο φως αφορά τη διαδικασία που χρησιμοποιεί ο αισθητήρας για τη σάρωση. Η διαδικασία της σάρωσης με τον αισθητήρα δομής (structure light sensor) είναι η εξής: ένας προβολέας λέιζερ υπέρυθρων εκπέμπει ένα συγκεκριμένο μοτίβο pixel στη σκηνή μπροστά του. Η υπέρυθρη κάμερα καταγράφει την παραμόρφωση σε αυτό το σημείο - μοτίβο σε ανάλυση VGA⁴ (Video Graphics Array), όταν μετακινείται το iPad γύρω από το αντικείμενο που σαρώνεται, δημιουργώντας έναν χάρτη βάθους της σκηνής και των αντικειμένων μέσα σε αυτό. Η συσκευή χρησιμοποιεί επίσης την κάμερα iPad για την εγγραφή δεδομένων χρώματος. Γενικά, είναι ένα χρήσιμο εργαλείο χαμηλού κόστους για τρισδιάστατη σάρωση (Prastyo et al. 2018, Katsanos et al. 2022). Ο εξοπλισμός που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο σαρωτής είναι μια συσκευή iPad και η εφαρμογή Skanect Pro. Η εφαρμογή αυτή μπορεί να αποκτήσει πυκνές τρισδιάστατες πληροφορίες για μια σκηνή με ταχύτητα έως και 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο. Αυτό επιτυγχάνεται μετακινώντας τον αισθητήρα δομής γύρω από το αντικείμενο μελέτης αποδίδοντας ένα τρισδιάστατο πλέγμα σε πραγματικό χρόνο. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Geomagic Studio.

⁴Ο όρος VGA αναφέρεται στην ανάλυση 640×480 εικονοστοιχείων (pixels).



ΕΙΚΟΝΑ 36: Στιγμιότυπα από τη διαδικασία της σάρωσης του απολιθώματος του κρανίου της αρκούδας των σπηλαίων, με τη χρήση του αισθητήρα φωτός δομής (structure light sensor) ενσωματωμένος σε iPad. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Structure Sensor	
Διαστάσεις (Μ x Η x Β)	109 mm x 18 mm x 24 mm
Βάρος	65 g
Οπτικόπεδίο (Field of view - FOV)	59 ° x 46 °
Εύρος	0.3m - 5m +
Ακρίβεια	0.5 mm
Περιβάλλον χρήσης	Εσωτερικό & Εξωτερικό χώρο

- Λέιζερ σαρωτής-LiDAR Camera L515

Αποτελεί την πιο μικρή συσκευή υψηλής ανάλυσης Lidar κάμερα (ΕΙΚΟΝΑ 39). Έχει το μέγεθος μιας μπάλας του τένις με διάμετρο περίπου 61mm και ύψος 26mm. Συνεπώς είναι μικρή και εύχρηστη. Μπορεί να συνδεθεί με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, ταμπλετ και κινητά τηλέφωνα. Λειτουργεί με όλα τα λογισμικά (Windows / Linux / Android /Mac Os). Για την

σύνδεσή του με ηλεκτρονικό υπολογιστή απαιτεί θύρα USB - C 3.1 ώστε να τροφοδοτείται με ρεύμα και να μπορεί να μεταφέρει τα δεδομένα.

Η κάμερα L515 χρησιμοποιεί την τεχνολογία LiDAR για τη μέτρηση της απόστασης από την κάμερα στο αντικείμενο. Συγκεκριμένα η κάμερα L515 στέλνει μια δέσμη λέιζερ και μετρά τον χρόνο επιστροφής του ανακλώμενου φωτός από ένα αντικείμενο. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μια συνεχή δέσμη υπερύθρων. Ο χρόνος που χρειάζεται για να επιστρέψει το φως στην κάμερα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης που βρίσκεται το αντικείμενο. Επαναλαμβάνοντας αυτήν τη διαδικασία εκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο, η κάμερα L515 είναι σε θέση να δημιουργήσει έναν χάρτη βάθους υψηλής ανάλυσης.

Η τεχνολογία Intel RealSense LiDAR χρησιμοποιεί μικροσκοπικό καθρέφτη MEMS για τη σάρωση της σκηνής. Το φως επιστροφής συλλέγεται από μια δίοδο (APD) που διαθέτει χαμηλό αναφερόμενο θόρυβο εισόδου (IRN), η οποία με τη σειρά της επιτρέπει στη κάμερα L515 να είναι αποδοτική και ένα υψηλής ακρίβειας σύστημα LiDAR σε πολύ υψηλή ανάλυση έως και 23 εκατομμύρια σημεία βάθους ανά δευτερόλεπτο.

Το L515 λειτουργεί σε μήκος κύματος 860nm που είναι αόρατο στο ανθρώπινο μάτι και δεν επηρεάζεται από τις κοινές τεχνολογίες φωτισμού. Ωστόσο, αυτό το μήκος κύματος βρίσκεται στο ηλιακό φως, γι' αυτό το φως του ήλιου έχει αρνητική επίδραση στην ποιότητα του βάθους. Όταν υπάρχει ηλιακό φως, ο δέκτης της κάμερας δυσκολεύεται να διακρίνει μεταξύ του εκπεμπόμενου φωτός λέιζερ και αυτού του ηλιακού φωτός. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δημιουργία θορύβου που οδηγεί σε υποβάθμιση της ποιότητας των εικόνων. Συνεπώς, χρησιμοποιείται μόνο σε εσωτερικές σαρώσεις γιατί η απόδοση του είναι καλύτερη σε συνθήκες ελεγχόμενου φωτισμού και εσωτερικούς χώρους.

Γενικά η κάμερα L515 λειτουργεί καλύτερα σε αντικείμενα που έχουν ανακλαστική και ματ επιφάνεια με αποτέλεσμα διάχυτη ανάκλαση. Εάν μια επιφάνεια είναι πολύ λεία και ανακλαστική (καθρέφτη), το φως που χτυπά την επιφάνεια υπό γωνία δεν θα ανακλάται πίσω στην κάμερα. Οι σχετικά τραχιές επιφάνειες επιτρέπουν σε μέρος του φωτός να ανακλάται πίσω στην κάμερα και να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης. Το λογισμικό Intel Real Sense Viewer χρησιμοποιείται για την προβολή, εγγραφή, αναπαραγωγής και τις ρυθμίσεις της κάμερας.

Όσον αφορά την ασφάλεια από την ακτινοβολία λέιζερ (Laser radiation safety), οι εκπομπές ΗΜ ακτινοβολίας Laser έχουν ταξινομηθεί ανάλογα με το μήκος κύματος και την ισχύ σε τέσσερις κατηγορίες και μερικές υποκατηγορίες από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Οι ταξινομήσεις κατηγοριοποιούν τα λέιζερ ανάλογα με την ικανότητά τους να προκαλούν βλάβες σε εκτεθειμένα άτομα, από την κατηγορία 1 (χωρίς κίνδυνο κατά την κανονική χρήση) έως την κατηγορία 4 (σοβαρός κίνδυνος για τα μάτια και το δέρμα). Η συγκεκριμένη συσκευή ανήκει στην κατηγορία - 1 (Class -1) η οποία είναι ασφαλής για όλες τις συνθήκες χρήσης, εκτός εάν περνούν από μεγεθυντικά οπτικά στοιχεία, όπως μικροσκόπια και τηλεσκόπια

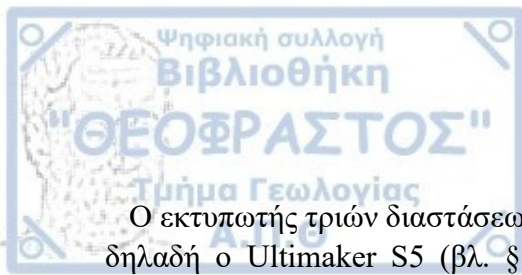


ΕΙΚΟΝΑ 37: Κάμερα Intel RealSense LiDAR Camera L515 (URL 25).

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Intel RealSense LiDAR Camera L515	
Διαστάσεις (Διάμετρος)	61mm
Διαστάσεις (Ύψος)	26mm
Βάρος	100g
Οπτικόπεδίο (Field of view - FOV)	70° × 55° (±3°)
Εύρος	0.25m - 9m
Περιβάλλον χρήσης	Εσωτερικο χώρο



ΕΙΚΟΝΑ 38: Κατά την διάρκεια της σάρωσης του ορυκτού Ροδοχρωσίτη με τη χρήση LiDAR Camera L515 και στην οθόνη του υπολογιστή φαίνεται το περιβάλλον του λογισμικού Intel Real Sense Viewer™. Η σάρωση και η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε από το Τμήμα Αγρ. Τοπογράφων Μηχ. του ΑΠΘ. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου)



Ο εκτυπωτής τριών διαστάσεων που χρησιμοποιήθηκε είναι ο ίδιος με τη μεσαία κλίμακα, δηλαδή ο Ultimaker S5 (βλ. § 4.3). Σημειώνεται ότι η διάθεση του εξοπλισμού και η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν στο Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Α.Π.Θ.

4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Σε δυο διαφορετικά ακροατήρια (φοιτητές/τριες και εκπαιδευτικούς) και τύπους εκπαίδευσης (τυπική και άτυπη) χρησιμοποιήθηκε το ερευνητικό εργαλείο του ερωτηματολογίου, με στόχο την εξέταση της χρήσης για εκπαιδευτικούς σκοπούς της γεωλογικής κληρονομιάς, ως ένα από τα ανώτερα στάδια διαχείρισής της. Αναπτύχθηκαν κατάλληλα ερωτηματολόγια κλειστού τύπου ερωτήσεων, ώστε να διευκολυνθούν οι ερωτηθέντες στην γρήγορη και άμεση απάντηση στα πλαίσια της διάλεξης με περιορισμένο χρόνο.

Με στόχο να προκύψει το αντίκτυπο των διαλέξεων στους ερωτηθέντες, τα ερωτηματολόγια δόθηκαν πριν και μετά τη διάλεξη ώστε η σύγκριση να είναι άμεση. Οι ερωτήσεις κάθε ερωτηματολογίου ανήκαν σε δύο κατηγορίες: ερωτήσεις σχετικά με το προφίλ του ερωτώμενου, όπως δημογραφικά στοιχεία, εκπαίδευση ή επάγγελμα, και ερωτήσεις που σχετίζονται άμεσα με το περιεχόμενο της εκπαιδευτικής διάλεξης, που αφορούσε τα θέματα του χώρου και της γεωγραφίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν κεφάλαιο πραγματεύεται τη μεθοδολογία των περιπτωσιολογικών μελετών, οι οποίες βρίσκονται στο επίκεντρο της διατριβής. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται αναλυτικά η βάση δεδομένων της γεωλογικής κληρονομιάς του Ελληνικού Χώρου, η οποία δημιουργήθηκε σε περιβάλλον GIS. Θέμα του κεφαλαίου αποτελεί επίσης η μελέτη των τριών περιπτώσεων βάσει κλίμακας, εφαρμόζοντας τους κατάλληλους τύπους Τηλεπισκόπησης κάθε φορά. Επιπρόσθετα, περιγράφεται η εφαρμογή (και η αξιολόγηση αυτής) μέρους των αποτελεσμάτων της διατριβής στα ανώτερα στάδια διαχείρισης της γεωκληρονομιάς - για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Έτσι, προσδιορίζεται με λεπτομέρεια η μεθοδολογία, η επεξεργασία των δεδομένων και τα στοιχεία που προσδοκούνται από την εκάστοτε μελέτη.

5.1 ΕΘΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

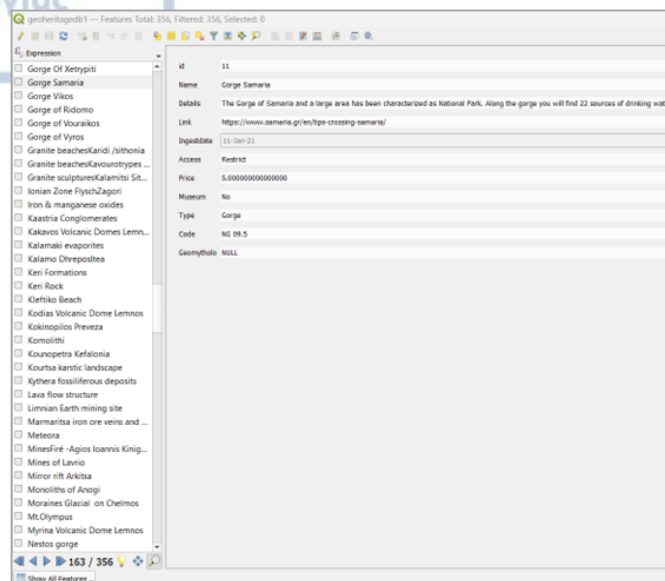
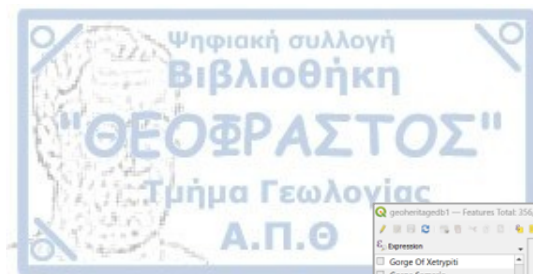
Η βάση δεδομένων της γεωλογικής κληρονομιάς του Ελληνικού Χώρου αναπτύχθηκε σε περιβάλλον GIS και προσδιορίζει με ακρίβεια τη χωρική θέση γεωτόπων, καθώς και επιπλέον λεπτομέρειες. Η βάση δεδομένων αναπτύχθηκε στο ελεύθερο λογισμικό Quantum GIS (QGIS), σε γεωγραφικό σύστημα αναφοράς (WGS 1984/EPSS 4326). Η βάση δεδομένων αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της διατριβής ώστε να αποτυπωθούν θέσεις με γεωλογικό ενδιαφέρον στον ελληνικό χώρο.

Στον ΠΙΝΑΚΑ 1 παρουσιάζονται τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στη βάση διακρίνεται στα εξής: 1. **(id)**: δίνεται ένας αύξων αριθμός για κάθε εγγραφή στη βάση. 2. **(Name)**: δίνεται η ονομασία της θέσης. 3. **(Details)**: Δίνονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά της θέσης. Για λόγους «φιλικότητας» της βάσης, η περιγραφή ολοκληρώνεται με μέχρι 254 χαρακτήρες(και ως περιορισμός και της μορφής shapefile), ωστόσο πολύ εύκολα μπορεί να αυξηθεί με τη μετάπτωση σε/χρήση αρχείου γεωβάσης (geodatabase). 4. **(Link)**: Ο σύνδεσμος αφορά σε θέσεις που έχουν κάποια επίσημη ιστοσελίδα, στην οποία γίνεται αναφορά σε αυτή είτε από τοπικούς φορείς είτε από φορέα διαχείρισης της θέσης. 5. **(Ingest date)**: Αναφέρεται η ημερομηνία τελευταίας καταχώρησης της θέσης στη βάση. Η πληροφορία αυτή βοηθά σε περίπτωση επικαιροποίησης των στοιχείων. Αποτελεί μια λειτουργική πληροφορία της βάσης. 6. **(Access)**: Δίνεται η πληροφορία αν η θέση είναι με ελεύθερη είσοδο, οπότε και χαρακτηρίζεται ως *Open*, ενώ αν καταχωρείται μια θέση που έχει αντίτιμο εισόδου χαρακτηρίζεται ως *Restricted*. Επιπλέον, αν δεν είναι δυνατή η επίσκεψη στο χώρο, λόγω της κατάστασης, στην οποία βρίσκεται η θέση, χαρακτηρίζεται ως *Inaccessible*. 7. **(Price)**: Σε περίπτωση που καταχωρείται μια θέση που είναι επισκέψιμη, τουριστική και ανοιχτή προς το κοινό, δίνεται η πληροφορία της γενικής τιμής εισόδου. 8. **(Museum)**: Δίνεται η πληροφορία αναφορικά με το αν υπάρχει έκθεση ή μουσείο, το οποίο συμπληρώνει την επίσκεψη στη θέση. Η απάντηση είναι *Yes*, όταν υπάρχει εκθεσιακός χώρος - μουσείο και *No* όταν δεν υπάρχει. 9. **(Type)**: Κατηγορία διάκρισης της γεωλογικής κληρονομιάς, στην οποία ανήκει η θέση 10. **(Code)**: Αναφορά του κωδικού, με βάση την κατηγοριοποίηση στην

οποία ανήκει ο τύπος της γεωλογικής κληρονομιάς. 11. **(Geomythology)**: αν υπάρχει κάποια σύνδεση της θέσης με μύθους, παραδόσεις ή ιστορικά γεγονότα. Αν είναι γνωστό αναφέρεται ως Yes, αν δεν είναι γνωστό ή δεν βρέθηκαν πληροφορίες No.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Βάση Δεδομένων σε περιβάλλον GIS

Στοιχεία θέσης	Επεξήγηση κάθε κατηγορίας
id	Αρίθμηση
Name	Ονομασία θέσης
Details	Βασικά χαρακτηριστικά θέσης
Link	Σύνδεσμος
Ingest date	Ημερομηνία (τελευταίας) καταχώρησης της θέσης στη βάση δεδομένων
Access	Τρόπος εισόδου (ελεύθερη ή επί πληρωμή) σε περίπτωση επισκέψιμης θέσης
Price	Τιμή εισιτηρίου αν υπάρχει
Museum	Αν υπάρχει μουσείο που να συμπληρώνει την θέση
Type	Κατηγορία στην οποία ανήκει στην διάκριση της γεωλογικής κληρονομιάς
Code	Κωδικός κατηγοριοποίησης της γεωλογικής κληρονομιάς
Geomythology	Αν υπάρχει κάποια σύνδεση της θέσης με μύθους ή παραδόσεις.



Id	Name	Details	Link	Ingestdate	Access	Price	Museum	Type	Code	Geomorphology
1	Nymfopetres	A series of rocks, standing upright and creating the impression of a "stone forest".	–	23-12-20	Open	0	No	Geomorphological	NG 06	Yes
2	The Petrified Forest of Lesvos	The Petrified Forest of Lesvos is a fossilized ecosystem that includes hundreds of standing and lying petrified tree trunks.	http://www.petrifiedforest.gr/	24-12-20	Restricted	5	Yes	Paleontological	NG 03	No
3	Vasilika Petrified Palm Forest Agios Nikolaos	Petrified palm forest of the coastal zone of Agios Nikolaos	https://www.visitvasika.gr/el/nature/petrified-forest.html	24-12-20	Open	0	Yes	Paleontological	NG 03	No
4	Cave of Lakes-Kastria	Cave of Lakes consist of 13 in total small or large lakes succeed one another. The terrestrial areas alternate with lakes ones until the cave's end. The total length of cave is nearly 2Km.	https://www.jastriacave.gr/	28-12-20	Restricted	9	Yes	Cave	NG 05.1	No
5	Meteora	The gigantic rocks of Meteora resulted from the conglomerates erosion and the rapid uplift.	https://whc.unesco.org/en/list/455/	04-01-21	Open	0	Yes	Geomorphological	NG 06	No
8	Cave St. Georgiou Kiliki	St Georgiou Kilikiw is one of the most important cave in Greece. The cave has great paleontological value.	–	04-01-21	Open	0	Yes	Cave	NG 05.1	No
6	Thracian Meteora	Thracian Meteora is located 15Km to the north Iasmos. The rocks of the Aetnean rock formations are the same material with Meteora in Kalabaka.	–	04-01-21	Open	0	No	Geomorphological	NG 06	No
7	Boucharia-Nohtaria	At the area of Mikrovalto and Livadero 40Km south of Kozani are the natural formations of rocks that have been created by the corrosion of the ground. Boucharia resemble chimneys. Nohtaria tall pyramid.	–	04-01-21	Open	0	No	Geomorphological	NG 06	No
9	Mirror rift Arkitsa	A rare geological phenomenon is a vertical rocky (limestone) surface over the highway. The surface is 300m length and 80m height.	–	04-01-21	Open	0	No	Structural	NG 01	No
10	Thermal Springs of Edipso	The springs of Edipso are more than 80. The temperature of the water ranges from 28oC-88oC and it is rich in magnesium, calcium and iron.	–	11-01-21	Open	0	No	Thermal Springs	NG 08	No

ΕΙΚΟΝΑ 39: Απόσπασμα από τη βάσης δεδομένων, στην οποία καταχωρούνται τα στοιχεία των θέσεων (URL 29).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΗ ΒΑΣΗ ΛΕΛΟΜΕΝΩΝ

Η κατηγοριοποίηση της γεωλογικής κληρονομιάς έγινε αρχικά με βάση τον τρόπο δημιουργίας του γεωτόπου που μελετάται. Συγκεκριμένα, διακρίνονται σε φυσικούς και ανθρωπογενείς γεωτόπους. Στη συνέχεια, κάθε κατηγορία διακρίνεται σε υποκατηγορίες και λαμβάνεται ένας βοηθητικός κωδικός. Ο κωδικός αυτός συμβάλει στην ανάπτυξη της βάσης δεδομένων γεωλογικής κληρονομιάς σε περιβάλλον GIS, ως εξής:

ΦΥΣΙΚΟΙ ΓΕΩΤΟΠΟΙ –Natural Geosites ↔ κωδικός: (NG)

Κωδικός: (NG 01) ↔ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ (Structural)

1. **Κωδικός: (NG 01.1) ↔ Ρήγμα- (Fault)**
2. **Κωδικός: (NG 01.2) ↔ Πτυχωμένο στρώμα-(Fold)**
3. **Κωδικός: (NG 01.3) ↔ Τεκτονικό παράθυρο- (Tectonic window)**
4. **Κωδικός: (NG 01.4) ↔ Διάφορες τεκτονικές δομές –(Tectonic Structures)**

Κωδικός: (NG 02) ↔ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ (Stratigraphic)

Κωδικός: (NG 03) ↔ ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ (Paleontological)

Κωδικός: (NG 04) ↔ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΕΣ – ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ (Petrographic - Mineralogical)

Κωδικός: (NG 05) ↔ ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ (Karst)

1. **Κωδικός: (NG 05.1) ↔ Σπήλαιο (Cave)**
2. **Κωδικός: (NG 05.2) ↔ Υπόγειες καρστικές δομές (Underground karst)**
3. **Κωδικός: (NG 05.3) ↔ Επιφανειακές καρστικές δομές (Surface karst)**

Κωδικός: (NG 06) ↔ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ (Geomorphological)

Κωδικός: (NG 07) ↔ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ (Volcano)

1. **Κωδικός: (NG 07.1) ↔ Ηφαίστειο (Volcano)**
2. **Κωδικός: (NG 07.2) ↔ Κρατήρας (Crater)**
3. **Κωδικός: (NG 07.3) ↔ Διάφορες ηφαιστειακές δομές και εμφανίσεις (Volcano Structures)**

Κωδικός: (NG 08) ↔ ΘΕΡΜΕΣ ΠΗΓΕΣ (Thermal springs)

Κωδικός: (NG 09) ↔ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ (Environments)

1. **Κωδικός: (NG 09.1) ↔ Ποτάμιο –(Fluvial environment)**
2. **Κωδικός: (NG 09.2) ↔ Λιμναίο–(Lacustrine environment)**
3. **Κωδικός: (NG 09.3) ↔ Παράκτιο– (Coastal environment)**

4.Κωδικός: (NG 09.4) ↔ Ερημικό–(Deserts environment)

5.Κωδικός: (NG 09.5) Φαράγγι (Gorge)

6.Κωδικός: (NG 09.6) Καταρράκτης (Waterfall)

7.Κωδικός: (NG 09.7) ↔ Αλυκές (Salt pans)

Κωδικός:(NG 10) ↔ ΠΑΓΕΤΩΔΕΙΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ & ΠΕΡΙΠΑΓΕΤΩΔΕΙΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ - ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ (Ice age – Glacial Phase- Periglacial)

Κωδικός: (NG 11) ↔ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑΤΟΠΙΑ (Geological landscapes)

1. Κωδικός: (NG11.1) ↔ Βουνά (Mountain)

2. Κωδικός: (NG11.2) ↔ Οροσειρές (Mountain chain)

3. Κωδικός: (NG11.3) ↔ Πεδιάδες (Valley)

4. Κωδικός: (NG11.4) ↔ Τάφροι (Trench)

5. Κωδικός: (NG11.5) ↔ Νησιά (Island)

ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΓΕΩΤΟΠΟΙ – Anthropogenic Geosites ↔ κωδικός: (AnG)

1. Κωδικός: (AnG. 01) ↔ Θέση Λατομείου (Quarry) – Θέσεις Μεταλλείων (Mines)

2. Κωδικός: (AnG. 02) ↔ Θέσεις αναπτυξιακών έργων (Development projects)

ΓΕΩΜΥΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ (Geomythological)

Στο πεδίο αυτό της βάσης θα αναφέρεται η πιθανή σύνδεση του γεωτόπου με μύθους, παραδόσεις και ιστορικά γεγονότα, σημειώνοντας Yes όταν υπάρχει σύνδεση, N/A όταν δεν είναι γνωστό αν υπάρχει ή όχι.

Η ύπαρξη της βάσης σε λειτουργική μορφή και με ικανό αριθμό (εκατοντάδες) αξιόπιστων, τόσο χωρικά όσο και πληροφοριακά, εγγραφών, ανοίγει τεράστιες δυνατότητες αξιοποίησής της και εξαγωγής δευτερογενούς πληροφορίας. Οι δυνατότητες αυτές, σε συνδυασμό με άλλα γεωχωρικά δεδομένα, αναδείχθηκαν με δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια.

Μελέτη βάσης γεωλογικής κληρονομιάς σε συνδυασμό με τις μεταβολές στην κάλυψη γης (Land Cover Changes)

Για τις απαιτήσεις της διατριβής κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν τα πιο πρόσφατα δεδομένα κάλυψης γης και αλλαγών αυτής, αυτά δηλαδή των ετών 2012-2018. Μετά την ανάκτηση των σχετικών δεδομένων από το πρόγραμμα Corine Land Cover και την περικοπή (subset) τους στον Ελληνικό Χώρο, δημιουργήθηκε το αντίστοιχο επίπεδο πληροφορίας.

Ακολούθως, τα δεδομένα χρήσης γης του Ελληνικού Χώρου εξετάστηκαν σε συνδυασμό με τη γεωχωρική βάση δεδομένων γεωλογικής κληρονομιάς, με στόχο την μελέτη πιθανής επιρροής σε μια απόσταση 1Km από το κάθε σημείο. Πιο αναλυτικά, μελετήθηκε το αν σε απόσταση ενός χιλιομέτρου η όποια αλλαγή χρήσης γης, είχε ως αποτέλεσμα να επηρεάσει ή πιθανώς να επηρεάσει μελλοντικά κάποια θέση γεωλογικού ενδιαφέροντος.

Μελέτη βάσης γεωλογικής κληρονομιάς ως προς την άνοδο της στάθμης της θάλασσας

Για τη μελέτη της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, σε σύγκριση με τις θέσεις που εντοπίζονται γεωτοποι σε όλο τον Ελληνικό Χώρο, λήφθηκε υπόψη βάσει βιβλιογραφίας (URL 26) από το πρόγραμμα Copernicus, ότι για τα επόμενα 100 χρόνια η μέση τιμή ανόδου της στάθμης της θάλασσας για την Ευρώπη θα είναι από 20 έως 40cm. Το σύνολο των δεδομένων της στάθμης της θάλασσας βασίζεται στους Δείκτες Παρακολούθησης της στάθμης των Ωκεανών που παράγονται από το Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) και τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται είναι από το Copernicus Climate Change Service (C3S). Οι ανωμαλίες της στάθμης της θάλασσας υπολογίζονται σε σχέση με μια εικοσαετή μέση περίοδο αναφοράς (1993-2012) χρησιμοποιώντας ενημερωμένα υψομετρικά πρότυπα. (URL 26).

Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε το ακραίο σενάριο της ανόδου 40cm. Μέσω του των DEM που χρησιμοποιήθηκε αποδόθηκε για κάθε σημείο γεωκληρονομιάς το αντίστοιχο υψόμετρο. Στη συνέχεια θέσεις που ξεπερνούσαν την τιμή του ορίου θεωρήθηκαν θέσεις όπου και εντοπίστηκαν οι περιοχές γεωλογικής κληρονομιάς που δυνητικά κινδυνεύουν. Οι ανάλυση έγινε τρεις ανεξάρτητες φορές, χρησιμοποιώντας τα υψομετρικά δεδομένα SRTM, EU-DEM και ASTER-GDEM αντίστοιχα, με τα οποία στη συνέχεια αναπτύχθηκε ένας συνολικός χάρτης που αποτυπώνει την επικινδυνότητα των θέσεων.

5.2 ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Στην περίπτωση μελέτης της μικρής κλίμακας χρησιμοποιήθηκε η Διαστημική Τηλεπισκόπηση. Ανάλογα με το πεδίο μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από δορυφόρους, οι οποίοι διαθέτουν αισθητήρες, που παρέχουν κατάλληλες εικόνες. Η αναζήτηση των εικόνων έγινε μέσω της πλατφόρμας EO Browser και ακολούθησε κατάλληλη επεξεργασία και ανάλυση ανά περίπτωση, εφαρμόζοντας συνδυασμούς φασματικών ζωνών και δείκτες. Η επιλογή των δορυφόρων έγινε μετά από τη σύγκριση των χωρικών και φασματικών χαρακτηριστικών τους, καθώς και τη χρονική τους διαθεσιμότητα, αλλά και βάσει του στοιχείου - θέσης που έπρεπε να μελετηθεί.

Κατά την αναζήτηση των εικόνων, εφαρμόστηκαν όλα τα απαραίτητα φίλτρα/παράμετροι, επιλέχθηκαν και ανακτήθηκαν οι πλέον κατάλληλες εικόνες. Ακολούθησε η επεξεργασία και ανάλυσή τους μέσω του λογισμικού SNAP ή/και των GIS. Για τις απαιτήσεις της μελέτης μικρής κλίμακας χρησιμοποιήθηκε η Νήσος Μήλος. Στη μικρή αυτή κλίμακα αξιοποιήθηκαν κυρίως δορυφορικές εικόνες προερχόμενες από οπτικούς αισθητήρες ή ραντάρ που φέρουν οι δορυφόροι. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ελεύθερα διαθέσιμες μέσω της πλατφόρμας EO Browser, η οποία προσφέρει πέρα από τις εικόνες επιπλέον δυνατότητες επεξεργασίας πριν την λήψη τους. Μελετήθηκαν εικόνες προερχόμενες από τον θερμικό αισθητήρα του δορυφόρου Landsat-7, με στόχο τη μελέτη των θερμοκρασιακών ανωμαλιών. Επιπλέον, μελετήθηκε ο δείκτης βλάστησης από εικόνες των δορυφόρων Landsat-4 και Landsat-5, με στόχο την εξέταση περιοχών που παρατηρείται αλλαγή στη φυτοκάλυψη, ώστε να ελεγχθούν τα στάδια της αποκατάστασης του τοπίου σε ανενεργά ορυχεία. Σε ειδικές περιπτώσεις απαιτήσεων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, όπως η μελέτη της διάβρωση του Κλέφτικου, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από εμπορικούς δορυφόρους και/ή το Google Earth™.

Μέσω δορυφορικών εικόνων που προέρχονται από ραντάρ (SAR) παρατηρήθηκε η παραμόρφωση σε διάφορα σημεία του νησιού, σε σχέση με τις θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς. Με τη χρήση Ψηφιακών Υψομετρικών Μοντέλων (DEM) μελετήθηκε ολόκληρος ο ελληνικός χώρος (άρα και για τη Μήλο) η πρόβλεψη της ανόδου της στάθμης

της θάλασσας, λόγω αλλαγής των κλιματικών συνθηκών για τα επόμενα 100 χρόνια (βλ. μελέτη εθνικής κλίμακας - §5.1).

Μέσω των δεδομένων Corine Land Cover επιλέγοντας τα πιο πρόσφατα δεδομένα αλλαγής της χρήσης γης και σε συνδυασμό με τη βάση ψηφιακών δεδομένων της γεωλογικής κληρονομιάς της Ελλάδος (άρα και της Μήλου), προέκυψαν στοιχεία σχετικά με την επιρροή των αλλαγών που έγιναν κοντά σε θέσεις γεωλογικού ενδιαφέροντος και τι επίδραση είχαν ή μπορεί να έχουν σε αυτές.

Στη συνέχεια, με τη χρήση GIS, έγινε περαιτέρω επεξεργασία και εξήχθησαν χάρτες των αποτελεσμάτων τόσο από τις δορυφορικές εικόνες, τα DEM, την αλλαγή των χρήσεων γης και τους συνδυασμούς αυτών με τη βάση γεωλογικής κληρονομιάς (περιοριζόμενης στη Μήλο). Με στόχο την εξέταση ελεύθερων λογισμικών με εύκολη χρήση και προσιτό περιβάλλον εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν επίσης τα εργαλεία Google Earth™ & Google Earth Studio™.

Γεωθερμική μελέτη Νήσου Μήλου

Η μελέτη της γεωθερμικής ανωμαλίας στη νήσο Μήλο πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δορυφορικών εικόνων. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των δορυφόρων της σειράς Landsat που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (§4.2) και συνοψίζονται στον ΠΙΝΑΚΑ 2, επιλέχθηκε ο δορυφόρος, από τον οποίο έγινε η λήψη των θερμικών εικόνων για τη μελέτη της γεωθερμικής ανωμαλίας του νησιού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Επιλογής κατάλληλου δορυφόρου μελέτης της θερμικής ανωμαλίας στη νήσο Μήλο.

ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ	ΚΑΝΑΛΙ (BAND)	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ	ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (m)	ΚΥΚΛΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑΣ (ημέρες)
LANDSAT 4	6	TM	120	16
LANDSAT 5	6	TM	120	16
LANDSAT 7	6	ETM+	60	16
LANDSAT 8	10 , 11	TIRS	100	16
LANDSAT 9	10 , 11	TIRS	100	16

Για την διαδικασία της μελέτης της γεωθερμικής ανωμαλίας απαιτούνται δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης. Από τη σύγκριση των χαρακτηριστικών των δορυφόρων της σειράς Landsat που φέρουν αισθητήρα παρατήρησης θερμικών ανωμαλιών εξάγεται το συμπέρασμα, ότι για την μελέτη της νήσου Μήλου καταλληλότερος είναι ο δορυφόρος Landsat-7, λόγω της χωρικής ανάλυσης του στα 60m σε σχέση με τους υπόλοιπους. Το χρονικό διάστημα, στο οποίο γίνεται η αναζήτηση των εικόνων, είναι από το 1999 που ο συγκεκριμένος δορυφόρος εκτοξεύεται και δίνει πληροφορίες ως το 2003, γιατί τον Ιούνιο του έτους αυτού παρουσιάζει πρόβλημα δίνοντας ελλιπή δεδομένα (URL 06).

Έτσι, μέσω του ΕΟ Browser αναζητήθηκαν δορυφορικές εικόνες από τον δορυφόρο Landsat-7 ETM+, Level - 2. Το χρονικό διάστημα αναζήτησης ήταν από το 1999 έως το 2003 και τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, ώστε η διαφορά

θερμοκρασίας των θέσεων που παρουσιάζουν την (θετική) ανωμαλία να μεγιστοποιείται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Με τους ως άνω περιορισμούς, εντοπίστηκαν 4 εικόνες, οι οποίες και μελετήθηκαν και αντιστοιχούν στους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Φεβρουάριο, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τα κριτήρια επιλογής ως προς τη νεφοκάλυψη, την εποχή και την περιοχή λήψης. Οι ημερομηνίες των εικόνων είναι: 05/12/1999, 05/11/2000, 21/11/2000 και 09/02/2001 και αντιστοιχούν σε δύο ίχνη με path 182/row 034 και path 182/row 035.

Βασικό βήμα στην επεξεργασία των εν λόγω εικόνων είναι η μετατροπή της τιμής (DigitalNumber/DN) του κάθε εικονοστοιχείου, σε θερμοκρασία στην κλίμακα βαθμών Κελσίου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο παράγοντας αναγωγής (scaling factor) $0,00341802 + 149.0$ που δίνεται από την USGS (URL 27), καθώς και ο συντελεστής μετατροπής από K σε C°, με αφαίρεση της τιμής 273,15, ήτοι:

$$T(C^\circ) = DN * 0,00341802 + 149 - 273,15$$

Στόχος της διαδικασίας είναι να βρεθούν οι διαφορές στην θερμοκρασία των γειτονικών εικονοστοιχείων, ώστε να συγκριθούν με τις θέσεις που σύμφωνα με τον Φυτίκα (1977) αποτελούν θέσεις με θερμοκρασιακή ανωμαλία. Σε περίπτωση που προκύψουν θέσεις νέες θα αποτελούν σημεία που θα χρήζουν επιτόπου γεωλογικής έρευνας.

Στη συνέχεια, για κάθε εικονοστοιχείο και κάθε μία από τις 4 εικόνες υπολογίζεται η τυπική απόκλιση σε σχέση με τα γειτονικά του, καθώς και ο μέσος όρος των τυπικών αποκλίσεων των 4 εικόνων. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου είναι 30m, ενώ η τυπική απόκλιση υπολογίστηκε σε μια γειτονιά 90m (δηλ. 3×3 pixel/σημείο = 9 pixel/σημείο). Το κάτω όριο τιμής τυπικής απόκλισης (SD) το οποίο επιλέχθηκε, ώστε να θεωρηθεί ότι υπάρχει κάποια ανωμαλία σε μία εικόνα, ήταν 3,57. Συνεπώς, για τις τέσσερις υπό μελέτη εικόνες το όριο της τιμής της τυπικής απόκλισης είναι $3,57 \times 4 = 14,28$, δηλαδή τότε ένα εικονοστοιχείο εμφανίζει θερμική ανωμαλία και στις 4 εικόνες. Ως εκ τούτου, τιμή μεγαλύτερη από 14,28 σημαίνει, ότι αποτελεί θέση παρουσίας θερμικής ανωμαλίας, έχοντας ήδη εξαιρέσει ακραίες τιμές λόγω απότομων κλίσεων (με χρήση DEM και GIS) και νεφοκάλυψης (εφόσον, σε αντίθεση με τη θερμική ανωμαλία, η νεφοκάλυψη δε μπορεί να είναι συσχετισμένη χρονικά και στις 4 εικόνες).

Μελέτη διάβρωσης στη Νήσο Μήλο

Για την μελέτη της διάβρωσης που μπορεί να παρουσιάζει το νησί στις παράκτιες περιοχές επιλέχθηκαν ενδεικτικά δύο θέσεις: Το Σαρακήνικο και το Κλέφτικο. Η μελέτη της διάβρωσης μπορεί να γίνει τόσο με οπτικά δεδομένα όσο και με δεδομένα SARραντάρ. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκαν τα οπτικά δεδομένα.

Για την επιλογή των εικόνων χρησιμοποιήθηκε ο Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς NDWI (Normalized difference water index) (McFeeters, 1996), ώστε να ξεχωρίσουν τα εικονοστοιχεία της εικόνας που έχουν νερό, από αυτά που αντιστοιχούν στην ξηρά. Ο συγκεκριμένος δείκτης αξιοποιεί την πράσινη (Green) και την κοντινή υπέρυθη (Near InfraRed/NIR) φασματική ζώνη ως εξής:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

Για την μελέτη της διάβρωσης με τον δορυφόρο Sentinel-2 χρησιμοποιήθηκε το χρονικό διάστημα 2013 έως 2023. Επιλέχθηκε ο δείκτης NDWI και τα κανάλια (Bands) 3 (πράσινο) και 8 (NIR κοντινό υπέρυθρο), με χωρική ανάλυση 10m. Κατά την αναζήτηση των δορυφορικών εικόνων, λόγω πληθώρας δεδομένων, αλλά και εξαιτίας της διαχρονικότητας του φαινομένου, ζητήθηκε μια εικόνα κάθε μήνα.

Για την μελέτη της διάβρωσης με τους δορυφόρους Landsat-4 και Landsat-5 χρησιμοποιήθηκαν οι φασματικές ζώνες 2 (πράσινο) και 4 (κοντινό υπέρυθρο). Η χωρική ανάλυση τους είναι 30m. Το χρονικό διάστημα, στο οποίο έγινε η αναζήτηση των εικόνων είναι από το 1982 έως το 2012.

Ειδικά για το Σαρακηνικό χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι διαχρονικές εικόνες του GoogleEarth™. Μέσω του εργαλείου επιλογής της χρονολογίας (historical imagery) των εικόνων υποβάθρου χαράχτηκε η ακτογραμμή για τις χρονολογίες 1985, 2006, 2011, 2013, 2014, 2016, 2017, 2019, 2020, 2023.

Αντίθετα, για το Κλέφτικο, αξιοποιήθηκαν επιπλέον 3 εικόνες (πράσινη και κοντινή υπέρυθρη ζώνη) από τους πολύ υψηλής ανάλυσης δορυφόρους Pleiades (0,7m) και Worldview-2 (0,5m) για τα έτη 2010, 2014 και 2023.

Σε όλες τις περιπτώσεις, εφαρμόστηκε ο δείκτης NDWI. Ακολούθως έγινε ο διαχωρισμός των εικονοστοιχείων σε δύο κλάσεις (νερό – μη νερό) με τη μέθοδο μη-επιβλεπόμενης ταξινόμησης K-Means στο SNAP, ενώ ο υπολογισμός/μέτρηση/εκτίμηση της διάβρωσης έλαβε χώρα σε περιβάλλον GIS.

Μελέτη εξορυκτικής δραστηριότητας-βλάστησης στη Νήσο Μήλο

Στην περίπτωση αυτή μελετήθηκαν αρχικά τα Θειωρυχεία στην περιοχή του Παλιορέματος. Η ακμή των Θειωρυχείων σημειώθηκε τη δεκαετία του 1930, ενώ η λειτουργία τους σταμάτησε τη δεκαετία του 1960 και έκλεισαν οριστικά το 1978. Η ιστορία αυτή φανερώνει την δυσκολία μελέτης της θέσης, λόγω της έλλειψης δεδομένων από την ολοκλήρωση των εργασιών έως το χρονικό σημείο σχετικά συστηματικής διαθεσιμότητας δορυφορικών εικόνων (1982). Παρόλα αυτά, η περιοχή εξετάστηκε με τη χρήση εικόνων από τους δορυφόρους Landsat-4 και Landsat-5 στο χρονικό διάστημα από το 1982 έως 2013, μέσω του δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Ο δείκτης βλάστησης NDVI, ορίζεται ως ο λόγος:

$$\text{εγγύς υπέρυθρο (NIR)- κόκκινο κανάλι (RED)} / \text{εγγύς υπέρυθρο (NIR) + κόκκινο (RED)}$$

Ο δείκτης βλάστησης μπορεί να εκτιμήσει σε μια εικόνα κατά πόσο αυτή περιέχει ζωντανή - υγιή βλάστηση. Η υγιής βλάστηση παρουσιάζει μεγάλη ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο και μικρότερη στο κόκκινο κανάλι. Η αναζήτηση έγινε μόνο για τον μήνα Μάιο, κατά τον οποίο θεωρείται, ότι η βλάστηση βρίσκεται στη μέγιστη ανάπτυξή της.

Επιπλέον, μελετήθηκε και η θέση του ορυχείου Γερακόπετρα, με τη χρήση εικόνων Landsat-4 και Landsat-5 και τον δείκτη NDVI. Το ορυχείο ήταν σε λειτουργία πριν το 1990. Το 1990 ξεκίνησαν οι διαδικασίες αποκατάστασης του. Το 1993 είχαν ολοκληρωθεί οι τρεις φάσεις αποκατάστασης (ανάπλαση, χωματοκάλυψη και υδροσπορά). Το 2000 η αποκατάσταση είχε ολοκληρωθεί και είχε επέλθει στο φυσικό περιβάλλον. Συνεπώς, βάσει του χρονικού της αποκατάστασης το χρονικό διάστημα της αναζήτησης των εικόνων ήταν από το 1982 έως το 2012. Ζητήθηκε μία εικόνα κάθε μήνα για κάθε έτος. Δημιουργήθηκε μια λίστα εικόνων, από τις οποίες κάποιες είχαν προβλήματα ως προς τη γεωαναφορά (για παράδειγμα η εικόνα στις 25/10/1993) και την παρουσία θορύβου (σύννεφα), οπότε και αυτές οι εικόνες αφαιρέθηκαν. Επίσης, μέσω του ΕΟ Browser, δημιουργήθηκε ένα ενδεικτικό βίντεο που δείχνει τις εικόνες NDVI με την εξέλιξη της βλάστησης σε αυτό το χρονικό διάστημα.

Μελέτη παραμορφώσεων στη Νήσο Μήλο

Για τη μελέτη της παραμόρφωσης της Μήλου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της συμβολομετρίας SAR (InSAR). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για τη χαρτογράφηση της εδαφικής παραμόρφωσης. Κατά την εφαρμογή της τεχνικής μεθόδου καταγράφεται το σύνολο των μικρών μετακινήσεων που λαμβάνουν χώρα εξαιτίας διάφορων παραγόντων και αναπαρίσταται τυπικά η συνολική οριζόντια και κατακόρυφη μετατόπιση, δίχως να μπορεί - χωρίς κάποια εξωτερική πληροφορία - να διαχωριστεί η πηγή/-ές προέλευσης (Μουρατίδης, 2010; Osmanoglu, 2016). Η τεχνική της συμβολομετρίας που εφαρμόστηκε είναι των σταθερών σκεδαστών (Persistent- Permanent Scatterers / PS).

Η τεχνική αυτή αποτελεί μια συστηματική στρατηγική επεξεργασία δεδομένων SAR, της ίδιας περιοχής αλλά από διαφορετικές τροχίες, δημιουργώντας μια στοίβα διαφορικών συμβολογραμμάτων, σε σχέση με κάποια κοινή εικόνα αναφοράς. Από τη διαχρονική συλλογή συμβολομετρικών δεδομένων, καθορίζονται ορισμένα σημεία ή αντικείμενα ως σταθερά λόγω της υψηλής συνάφειας τους, παραμένοντας αμετάβλητα. Η τεχνική αυτή συμβάλλει στη μελέτη μεταθέσεων μικρής ταχύτητας για μεγάλα χρονικά διαστήματα και με ακρίβεια της τάξης λίγων mm. Επιπλέον, επιτρέπει τη μελέτη περιοχών με περιορισμένη συνάφεια λόγω παρουσίας βλάστησης ή υδάτινων μαζών (Sousa et al, 2008; Μουρατίδης, 2010).

Έχοντας ως δεδομένες τις τιμές παραμόρφωσης για τα έτη από το 2015 έως 2021 (πηγή: βάση δεδομένων Εργαστηρίου Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης και GIS, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ) και κατηγοριοποιώντας τις τιμές σε θετικές (ανύψωση) και αρνητικές (υποχώρηση), έγινε συσχέτιση με τη γεωκλιρονομία της Μήλου. Ο σκοπός ήταν να προσδιοριστεί εάν υπάρχουν στοιχεία γεωκλιρονομίας που υπόκεινται σε κάποιου είδους μετακίνηση και ως εκ τούτου είναι δυνητικά επισφαλή ή/και σε κίνδυνο.

Google Earth Studio

Το λογισμικό Google Earth Studio™ χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία τρισδιάστατης (3D) κινούμενης εικόνας/βίντεο, για θέσεις όπου η πρόσβαση και η περιήγηση δεν είναι εύκολη. Ως τέτοιες επιλέχθηκαν οι θέσεις των Θειωρυχείων και του ηφαιστείου της Φυρίπλακας.

5.3 ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ

Στη μελέτη της μεσαίας κλίμακας εφαρμόστηκε ο Εναέριος τύπος Τηλεπισκόπησης και χρησιμοποιήθηκαν τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών / ΣμηΕΑ. Η περιοχή που μελετήθηκε ήταν ο γεώτοπος της Νυμφόπετρας. Η περιοχή σαρώθηκε με χρήση μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος - μοντέλο DJI Mavic Mini.

Ο αριθμός των σταθμών κάμερας που χρειάστηκαν για την κάλυψη του χώρου ήταν 201 και ο αριθμός των εικόνων που συλλέχθηκαν ήταν 208. Το ύψος πτήσης ήταν 30,1m. Στη συνέχεια, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν υποβλήθηκαν σε επεξεργασία μέσω κατάλληλων φωτογραμμετρικών διαδικασιών.

Ωστόσο, στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε και η Επίγεια Τηλεπισκόπηση. Σε συνεργασία με το Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΑΠΘ, πραγματοποιήθηκε η σάρωση του γεωτόπου της Νυμφόπετρας, με κατάλληλους σαρωτές λέιζερ, με στόχο τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου, το οποίο μπορεί να εκτυπωθεί με τη χρήση εκτυπωτή τρισδιάστατης εκτύπωσης αντικειμένων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι σαρωτές λέιζερ Leica BLK360 και Leica RTC360.

5.4 ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Στο παράδειγμα μελέτης της μεγάλης κλίμακας εφαρμόστηκε ο επίγειος τύπος Τηλεπισκόπησης. Στην περίπτωση αυτή σαρώθηκε το απολίθωμα του κρανίου της αρκούδας των σπηλαίων και κάποια ορυκτά. Για την εφαρμογή του συγκεκριμένου τύπου χρησιμοποιήθηκε επίγειος σαρωτής, συγκεκριμένα μια κάμερα εξοπλισμένη με τρισδιάστατο σαρωτή που φέρει αισθητήρα φωτός δομής (structure light sensor), συνδεδεμένη σε iPad.

Για την σάρωση του απολιθώματος της αρκούδας των σπηλαίων η διαδικασία ήταν η εξής: τοποθετήθηκε το απολίθωμα σε επίπεδη επιφάνεια και σαρώθηκε με τον σαρωτή από όλες της πλευρές. Κρατώντας τον φορητό σαρωτή στα χέρια έγινε περιφορά με σταθερό βηματισμό γύρω από το αντικείμενο μελέτης, σαρώνοντάς το και προσέχοντας στην οθόνη του iPad το αντικείμενο να είναι εντός του πεδίου απεικόνισης της σάρωσης.

Πέρα από το απολίθωμα τους κρανίου της αρκούδας των σπηλαίων, επιχειρήθηκε η σάρωση και άλλων αντικειμένων, τα οποία αποτελούν μέρος της γεωλογικής κληρονομιάς. Συγκεκριμένα, έγινε προσπάθεια σάρωσης ενός δοντιού μαστόδοντα, ενός κρυστάλλου ασβεστίτη με λεπτόκοκκο αιματίτη, ενός γρανάτη και μιας γύψου. Παρουσιάστηκαν όμως προβλήματα που αφορούσαν τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων αυτών, δηλαδή τις φυσικές τους ιδιότητες, διαφορετική σε κάθε περίπτωση, την υφή, το χρώμα, τη στιλπνότητα του ορυκτού (γυαλάδα), τη γεωμετρία, τη διαφάνεια και το μέγεθος.

Ωστόσο, πραγματοποιήθηκε σάρωση του ορυκτού του Ροδοχρωσίτη. Μελετήθηκε με τον λέιζερ σαρωτή LiDAR Camera L515. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία ως προς τη σάρωση. Τοποθετήθηκε σε επίπεδη επιφάνεια το πέτρωμα και έγινε περιστροφή του σαρωτή γύρω από το πέτρωμα, ώστε να καλυφθούν όλες του τις πλευρές.

5.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Εφαρμογή στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση

Στο πλαίσιο του μαθήματος της *Γεωγραφίας και Ψηφιακής Χαρτογραφίας* του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ, δόθηκαν σε φοιτητές του πρώτου έτους σπουδών, δυο ερωτηματολόγια σχετικά με το αντικείμενο της Γεωγραφίας και του Διαστήματος/Γεωχωρικών Τεχνολογιών. Το πρώτο ερωτηματολόγιο είχε ως στόχο να εξετάσει την πρότερη άποψη των φοιτητών και φοιτητριών για το αντικείμενο της Γεωγραφίας. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ενημέρωση, παρουσίαση και συζήτηση του αντικειμένου της Γεωγραφίας και των δυνατοτήτων στην έρευνα και διδασκαλία, καθώς και τη σχέση με το Διάστημα, τις σχετικές τεχνολογίες (GIS, Τηλεπισκόπηση) και την τρισδιάστατη απεικόνιση, με επίδειξη παραδειγμάτων σχετικών με τη γεωκληρονομιά. Ακολούθησε το δεύτερο ερωτηματολόγιο που εξέταζε την άποψη τους για το αντικείμενο της Γεωγραφίας μετά τη διάλεξη. Στη διαδικασία συμμετείχαν 40 φοιτητές και φοιτήτριες. Οι ερωτήσεις που τέθηκαν ήταν οι ακόλουθες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Ερωτήσεις στην εφαρμογή της Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης.

Ερωτήσεις	Διάλεξη	
	Πριν	Μετά
Το προσωπικό ενδιαφέρον τους για το αντικείμενο της Γεωγραφίας	✓	✓
Το προσωπικό ενδιαφέρον τους για το διάστημα και τις σχετικές τεχνολογίες	✓	✓
Αν η επιστήμη της Γεωγραφίας έχει σχέση με την τεχνολογία	✓	✓
Κατά πόσο οι δορυφορικές εικόνες μπορούν να συμβάλλουν διδακτικά/ερευνητικά στο αντικείμενο της Γεωγραφίας	✓	✓
Αν η τρισδιάστατη απεικόνιση/εκτύπωση μπορεί να συμβάλει διδακτικά/ερευνητικά στο αντικείμενο της Γεωγραφίας	✓	✓
Κατά πόσο βελτιώθηκε η εικόνα τους για το αντικείμενο της Γεωγραφίας μετά την παρουσίαση	✗	✓

Εφαρμογή στην Εκπαίδευση Εκπαιδευτών

Στα πλαίσια του μαθήματος *Διδακτική Μαθημάτων Ειδικότητας* του Ετήσιου Προγράμματος Παιδαγωγικής Κατάρτισης (ΕΠΠΑΙΚ) της Ανώτατης Σχολής Παιδαγωγικής και Τεχνολογικής Εκπαίδευσης (ΑΣΠΑΙΤΕ) Θεσσαλονίκης, έγινε μια προσπάθεια σύνδεσης των επιστημών του Διαστήματος με καινοτόμες και διεπιστημονικές διδακτικές μεθόδους και σύγχρονες εκπαιδευτικές τεχνικές που αφορούν την Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην Ελλάδα. Τα ερωτηματολόγια σε αυτή τη περίπτωση απευθυνόταν σε ένα κοινό με μεγάλο ηλικιακό εύρος, διαφορετικού φύλου και διαφορετικών επιστημονικών πεδίων, με κοινό χαρακτηριστικό την ιδιότητα του δυνητικού εκπαιδευτή (σε διάφορες βαθμίδες και τύπους εκπαίδευσης).

Αρχικά τέθηκαν ερωτήσεις γενικών πληροφοριών. Ζητήθηκε στους συμμετέχοντες να δηλώσουν την ηλικία, το φύλο τους, το επίπεδο σπουδών τους, το πόσα χρόνια ασχολούνται με την εκπαίδευση, καθώς και σε ποιο επίπεδο σπουδών απευθύνονται κατά την διδασκαλία τους. Στη συνέχεια τέθηκαν οι ερωτήσεις που αφορούσαν το αντικείμενο μελέτης. Δόθηκαν δυο ερωτηματολόγια, πριν και μετά τη διάλεξη. Συγκεκριμένα οι ερωτήσεις που τέθηκαν ήταν οι ακόλουθες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Ερωτήσεις στην εφαρμογή της Εκπαίδευσης Εκπαιδευτών.

Ερωτήσεις	Ενημέρωση	
	Πριν	Μετά
Ηλικία	✓	✓
Φύλο	✓	✓
Σπουδές	✓	✓
Έτη εργασίας στην εκπαίδευση	✓	✓
Δυνητικός χώρος εργασίας (πού διδάσκονται τα μαθήματα, τα οποία μπορείτε να διδάξετε)	✓	✓
Οι τυπικές σας σπουδές συνολικά (πτυχίο/δίπλωμα/μεταπτυχιακό/διδαστορικό) είχαν σχέση με το διάστημα;	✓	✓
Προσωπικό ενδιαφέρον για το διάστημα και τις σχετικές τεχνολογίες	✓	✓
Τα μαθήματα που διδάσκετε έχουν κάποια σχέση/περιλαμβάνουν ενότητες που σχετίζονται ή μπορούν να συσχετιστούν με το διάστημα;	✓	✓
Πιστεύετε ότι τα μαθήματα που διδάσκετε θα μπορούσαν να ωφεληθούν από την ενσωμάτωση εκπαιδευτικού υλικού ή/και δραστηριοτήτων σχετικών με το διάστημα;	✓	✓
Ποια πιστεύετε ότι είναι τα μεγαλύτερα εμπόδια στην ευρεία ενσωμάτωση αντικειμένων του διαστήματος στην εκπαίδευση;	✓	X
Πόσο βελτιώθηκε η εικόνα που είχατε για τη σχέση εκπαίδευσης-διαστήματος (και των σχετικών τεχνολογιών) μετά τη σημερινή ενημέρωση;	X	✓

Τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν ποσοτικά και συγκριτικά (πριν-μετά), για να προσδιοριστούν οι διαφορές μεταξύ της γνώμης του κοινού πριν και μετά τη διάλεξη και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις. Κύριος στόχος της διαδικασίας ήταν η αξιολόγηση του κοινού σε σχέση με την αλλαγή της οπτικής τους, μετά την παρουσίαση των δυνατοτήτων των νέων τεχνολογιών και του Διαστήματος.

Για τις απαντήσεις στις ερωτήσεις αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε η 5βάθμια κλίμακα Likert. Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η συνολική αλλαγή στη στάση των συμμετεχόντων, υπολογίστηκε μια σταθμισμένη βαθμολογία $[Q]_{score}^I$ για κάθε ερώτηση, χρησιμοποιώντας το ποσοστό κάθε απάντησης, πολλαπλασιασμένο με τον δείκτη του στοιχείου απάντησης. Η τελική βαθμολογία Q_{score}^i για κάθε ερώτηση Q^i υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1), όπου το w_i αντιστοιχεί στο βάρος που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο στοιχείο απάντησης και το p_i αντιστοιχεί στο ποσοστό των ερωτηθέντων που επέλεξαν αυτό το στοιχείο απάντησης για την ερώτηση.

$$Q_{score}^i = \sum_{j=1}^5 (p_j * w_j)$$

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι διαφορές της βαθμολογίας, σύμφωνα με την εξίσωση (2), όπου το $Q_{score}^{i\ pre}$ και το $Q_{score}^{i\ post}$ αντιστοιχούν στις σταθμισμένες τελικές βαθμολογίες πριν και μετά τη διάλεξη της ερώτησης i . Αυτά χρησιμοποιήθηκαν τελικά ως ποσοτικοποίηση του αντίκτυπου της διάλεξης στις προοπτικές του κοινού κάθε διάλεξης ως ενιαία μέτρηση ανά ερώτηση και επίσης, ως μέσος όρος σε όλες τις σχετικές ερωτήσεις των ερευνών ανά συγκεκριμένο κοινό. Με βάση τον Πίνακα 7, μια μέση βαθμολογία 2,5 αντιπροσωπεύει μια σχετικά αδιάφορη γνώμη/προοπτική για το θέμα.

$$(2) \quad \Delta Q_{score}^i = (Q_{score}^{i\ post} - Q_{score}^{i\ pre})$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Αντιστοιχία της Κλίμακας Αντικειμενικής Απάντησης με την Βαθμολογία Ποσοτικοποίησης των Συντελεστών των Απαντήσεων.

Κλίμακα αντικειμενικής απάντησης	Βαθμονόμηση συντελεστή (w_i)
Πάρα πολύ	4
Πολύ	3
Λίγο	2
Πολύ λίγο	1
Καθόλου	0

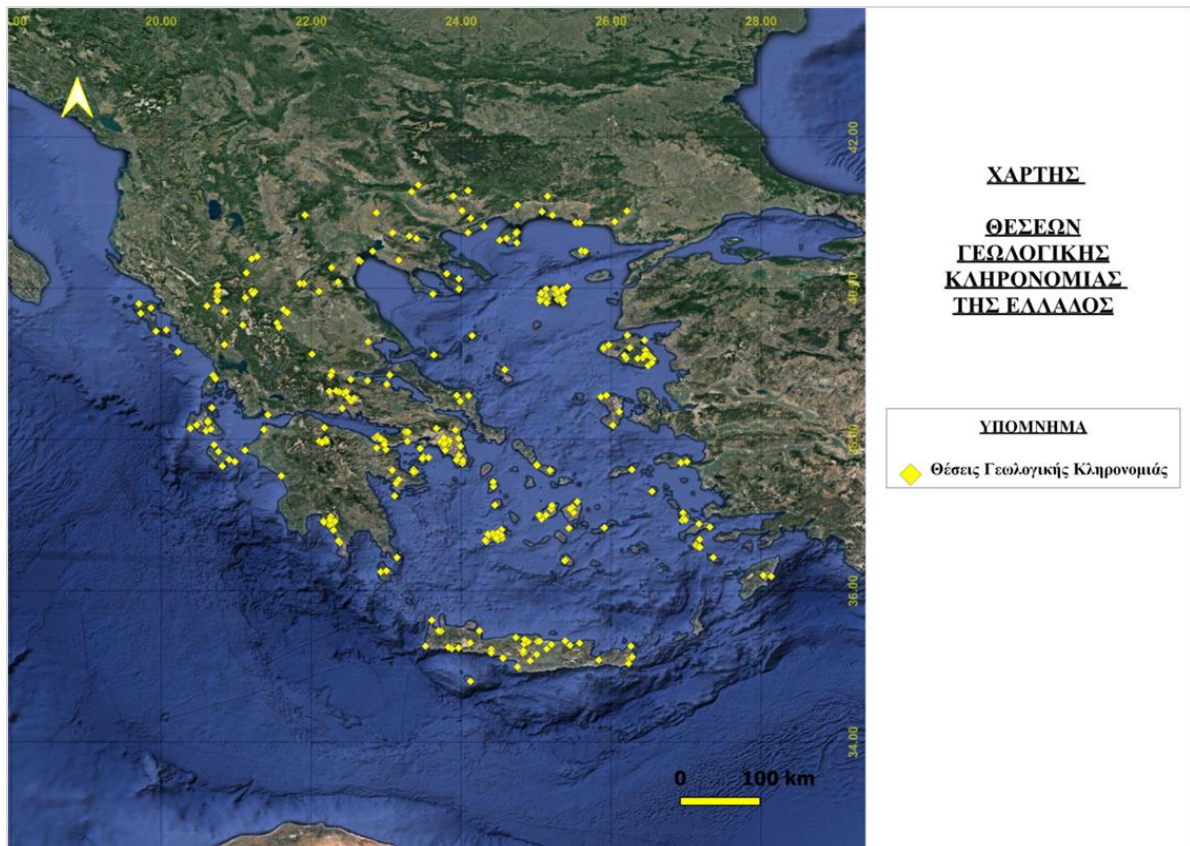
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕ ΕΘΝΙΚΗ ΚΑΙΜΑΚΑ

Η βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διατριβής, αναπαριστά όσες θέσεις αποτελούν γεωλογική κληρονομιά στον Ελληνικό Χώρο. Τα αντικείμενα και οι γεωμορφές είτε βρίσκονται στο εσωτερικό είτε στην επιφάνεια της Γης, συνθέτουν τη γεωλογική ιστορία και την εξέλιξή της. Η βάση προσδιορίζει τη χωρική θέση και παρουσιάζει σημειακά, όσο το δυνατό περισσότερες πληροφορίες για τα στοιχεία γεωκληρονομιάς.

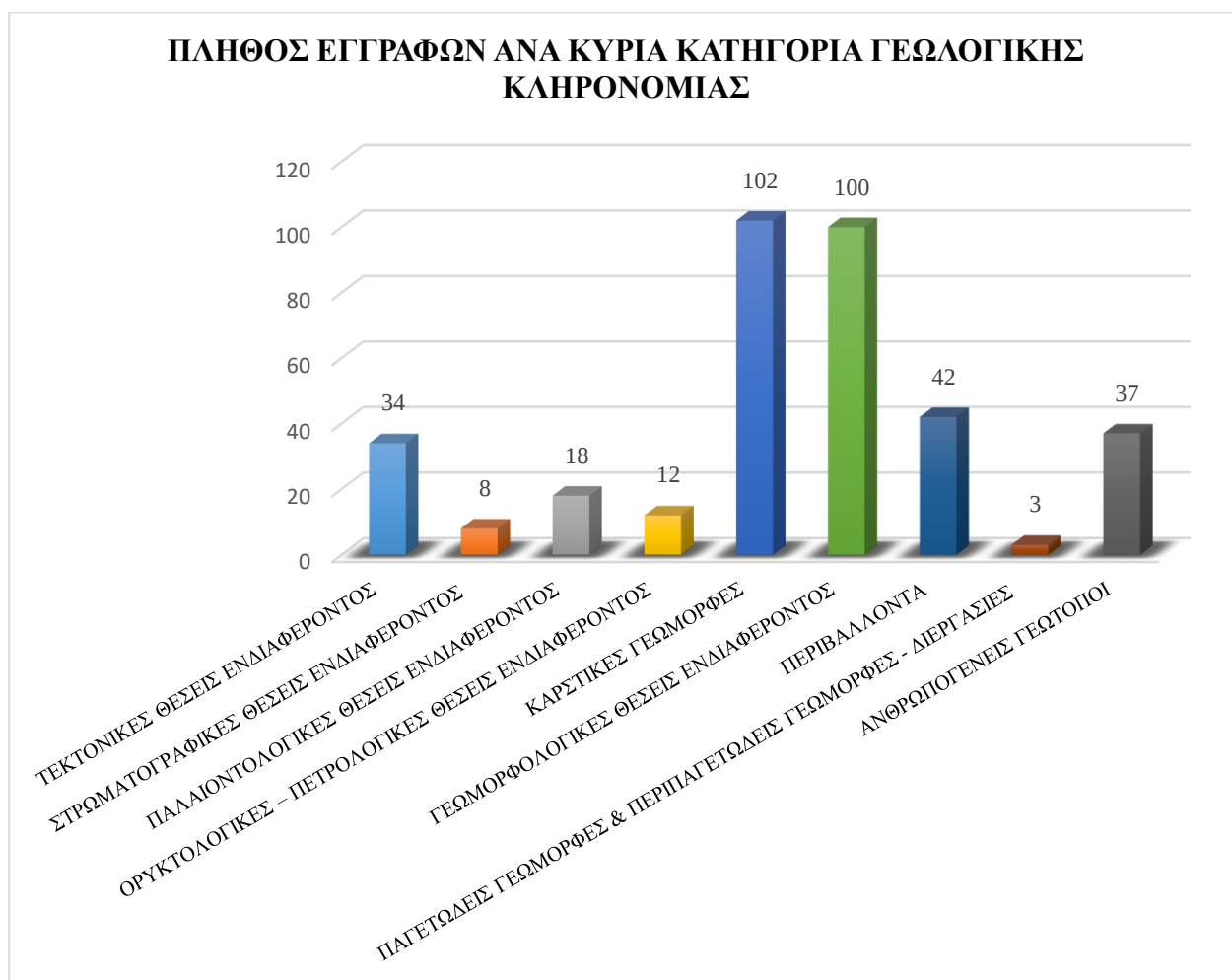
Οι θέσεις που παρουσιάζονται είναι είτε γνωστές θέσεις με γεωλογικό ενδιαφέρον, που χαρακτηρίζονται ως γεωλογική κληρονομιά ή θέσεις λιγότερο έως καθόλου γνωστές στο ευρύ κοινό, αλλά γνωστές στις τοπικές κοινωνίες, που μπορούν να χαρακτηριστούν ως γεωλογική κληρονομιά. Από τη συλλογή των δεδομένων και την καταχώρησή τους σε περιβάλλον GIS προέκυψε χάρτης (ΧΑΡΤΗΣ 1) που αναπαριστά τις επί του παρόντος καταχωρημένες θέσεις για τον Ελληνικό Χώρο, ο αριθμός των οποίων ξεπερνά τις 350. Τα σημεία με κίτρινο χρώμα στον χάρτη αντιστοιχούν στις θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς που αναπαριστώνται στη βάση δεδομένων.

ΧΑΡΤΗΣ 1: Θέσεις Γεωλογικής Κληρονομιάς στην Ελλάδα.



Στο Διάγραμμα 1, παρουσιάζεται το πλήθος των εγγραφών της βάσης δεδομένων για τις κύριες κατηγορίες της γεωλογικής κληρονομιάς. Οι περισσότερες εγγραφές αντιστοιχούν

στις καρστικές γεωμορφές που εμφανίζονται στον ελληνικό χώρο, ενώ ακολουθούν οι γεωμορφολογικές θέσεις ενδιαφέροντος.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: Πλήθος εγγράφων των κύριων κατηγοριών της γεωλογικής κληρονομιάς.

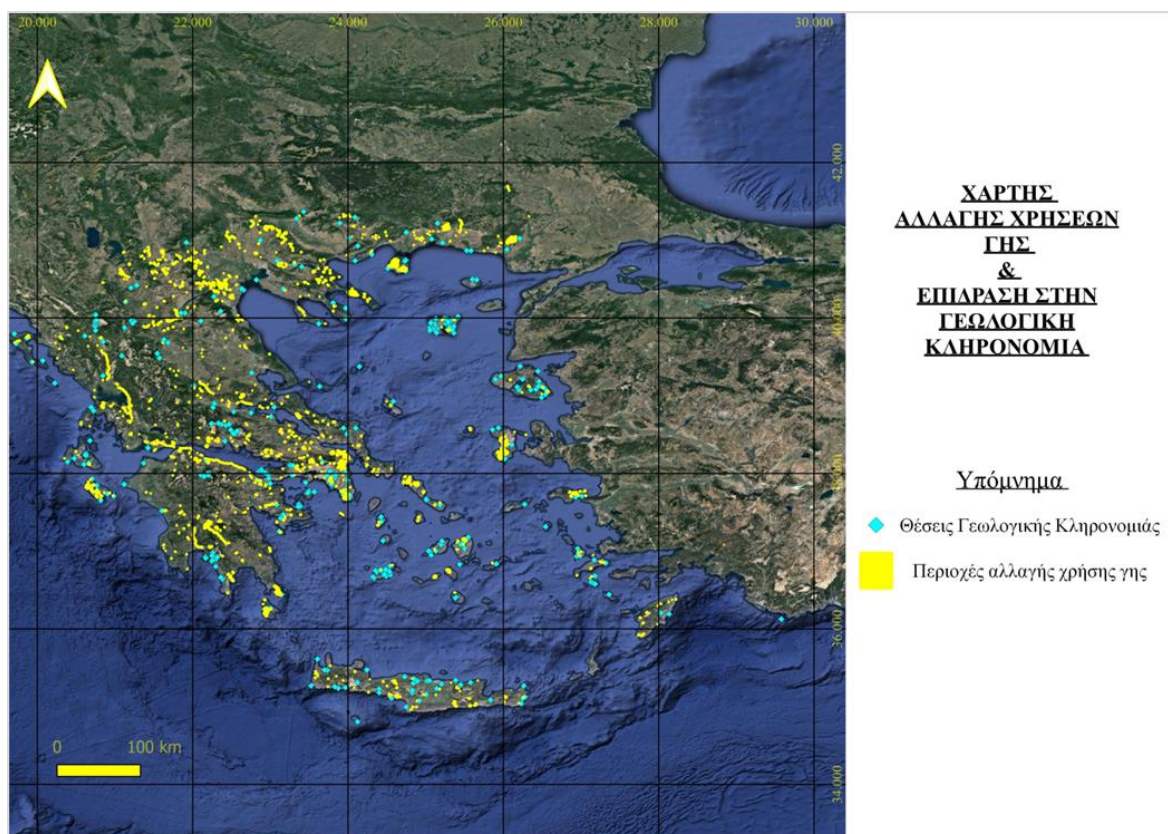
Η ίδια η βάση δεδομένων (ή πληροφορίες σχετικά με τη μετάβασή της) θα είναι μόνιμα διαθέσιμη στην «Ανοιχτή Γεωχωρική Βάση Δεδομένων» του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (URL 28), ελεύθερα προσβάσιμη για όλους τους σκοπούς. Μια επίδειξη του σχετικού διαδικτυακού χάρτη είναι ήδη διαθέσιμη στον προαναφερθέντα ιστότοπο στη διεύθυνση (URL 29)

ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΣΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΓΗΣ (LAND COVER CHANGES)

Αξιοποιώντας τα χωρικά δεδομένα από τις θέσεις της γεωλογικής κληρονομιάς στον Ελληνικό Χώρο και τα στοιχεία που προσφέρουν για την κάλυψη γης και τις αλλαγές στην κάλυψη της γης από το πρόγραμμα CORINE της υπηρεσίας Copernicus, εξετάστηκε κατά πόσο επηρεάζονται οι θέσεις της γεωλογικής κληρονομιάς (ΧΑΡΤΗΣ 2). Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την αλλαγή κάλυψης γης αφορούν στην περίοδο 2012-2018.

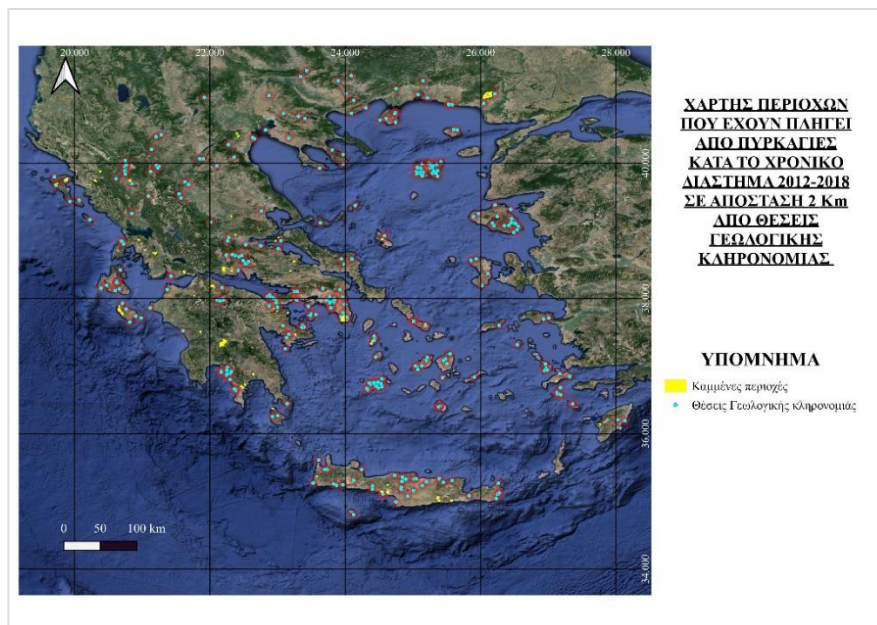
Από την υπέρθεση και σύγκριση των δύο επιπέδων πληροφοριών, μπορεί να εντοπιστεί σε ποιες θέσεις γεωκληρονομιάς έχουν συντελεστεί αλλαγές στη χρήση γης και ως εκ τούτου χρήζουν περεταίρω διερεύνησης ή και επί τόπου ελέγχου. Ακόμη, με χωρικά κριτήρια, μπορούν να καθοριστούν θέσεις γεωκληρονομιάς που γειτνιάζουν (σε απόσταση που καθορίζεται από τον χρήστη) σε περιοχές αλλαγών χρήσης γης, ως μέτρο πρόβλεψης/πρόληψης μελλοντικών προβλημάτων.

ΧΑΡΤΗΣ 2: Αλλαγή χρήσεων γης & η επίδραση στην Γεωλογική Κληρονομιά.



Στον ΧΑΡΤΗ 3 απεικονίζονται περιοχές που έχουν πληγεί από πυρκαγιά κατά το χρονικό διάστημα 2012-2018, συνεπώς έχει μετατραπεί η αρχική χρήση γης τους. Κάποιες από τις καμμένες αυτές περιοχές βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από θέσεις γεωλογικού ενδιαφέροντος. Με κίτρινο χρώμα στο χάρτη αναπαριστώνται οι καμμένες περιοχές και με μπλέ χρώμα οι θέσεις γεωλογικού ενδιαφέροντος. Το αποτέλεσμα του συνδυασμού αυτών των πληροφοριών σε περιβάλλον GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις τοπικές αρχές κάθε περιοχής που λαμβάνουν την πληροφορία τόσο για τις περιοχές που επλήγησαν όσο και για τις θέσεις ενδιαφέροντος. Μέσω αυτών των πληροφοριών μπορούν να προταθούν μέτρα προστασίας, όπου είναι απαραίτητο.

ΧΑΡΤΗΣ 3: Περιοχές που έχουν πληγεί από πυρκαγιά κατά το χρονικό διάστημα 2012-2018 και βρίσκονται σε απόσταση 2Km από θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς

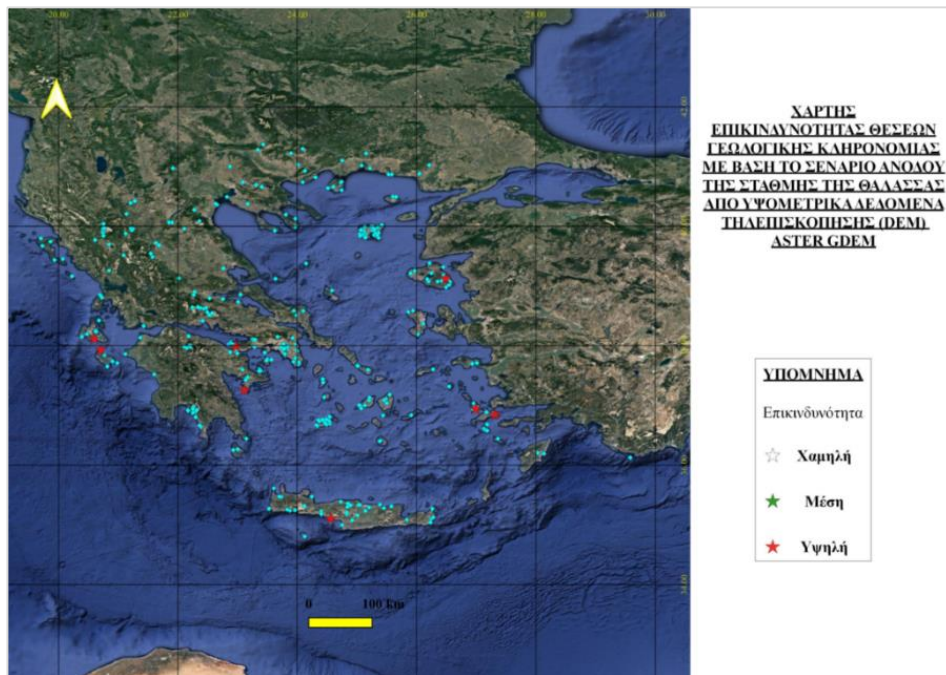


ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΣΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

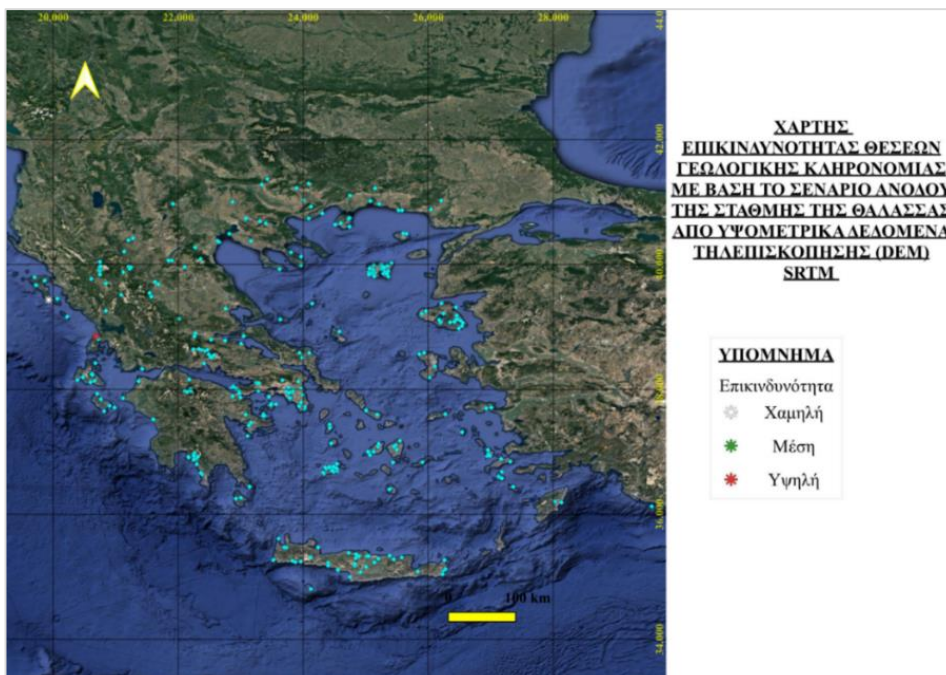
Η βάση δεδομένων γεωλογικής κληρονομιάς, σε συνδυασμό με τα Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα (DEM) και την πρόβλεψη ανόδου της στάθμης της θάλασσας για τα επόμενα 100 χρόνια, χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του κινδύνου για τα στοιχεία γεωκληρονομιάς. Η μελέτη εστίασε στο ακραίο σενάριο της ανόδου 40cm. Από τη εξέταση όλων των στοιχείων προέκυψαν οι ακόλουθοι χάρτες (ΧΑΡΤΗΣ 4,5,6).

Από τα αποτελέσματα προκύπτει, ότι υπάρχουν θέσεις γεωκληρονομιάς παραθαλάσσιες, οι οποίες θα χαθούν, σε περίπτωση που ισχύσει το σενάριο της ανόδου της στάθμης της θάλασσας των 40cm στα επόμενα 100 χρόνια. Συγκεκριμένα, οι θέσεις με κόκκινο χρώμα είναι αυτές που θα βρεθούν κάτω από τη στάθμη της θάλασσας άρα είναι θέσεις υψηλής επικινδυνότητας, με πράσινο χρώμα είναι μέσης επικινδυνότητας και με άσπρο όσες δεν είναι πιθανό να επηρεαστούν, άρα χαμηλής επικινδυνότητας. Ο ΧΑΡΤΗΣ 4 αναπαριστά τα αποτελέσματα από τη μελέτη του σεναρίου ανόδου τα στάθμης με βάση τα δεδομένα από τα υψομετρικά τηλεπισκοπικά δεδομένα ASTER GDEM. Ο ΧΑΡΤΗΣ 5 αναπαριστά τα αποτελέσματα από τη μελέτη του σεναρίου ανόδου τα στάθμης με βάση τα δεδομένα από τα υψομετρικά τηλεπισκοπικά δεδομένα SRTM και ο ΧΑΡΤΗΣ 6 αναπαριστά τα αποτελέσματα από τη μελέτη του σεναρίου ανόδου τα στάθμης με βάση τα δεδομένα από τα υψομετρικά τηλεπισκοπικά δεδομένα EU-DEM. Στη συνέχεια ακολουθεί ο ΧΑΡΤΗΣ 7 που συνδυάζει τα αποτελέσματα των τριών προηγούμενων χαρτών. Στόχος είναι η συνολική αποτύπωση της επικινδυνότητας των θέσεων χωρίς να γίνεται σύγκριση αυτών μεταξύ τους. Τα δεδομένα δίνουν διαφορετικές πληροφορίες λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών των αποστολών.

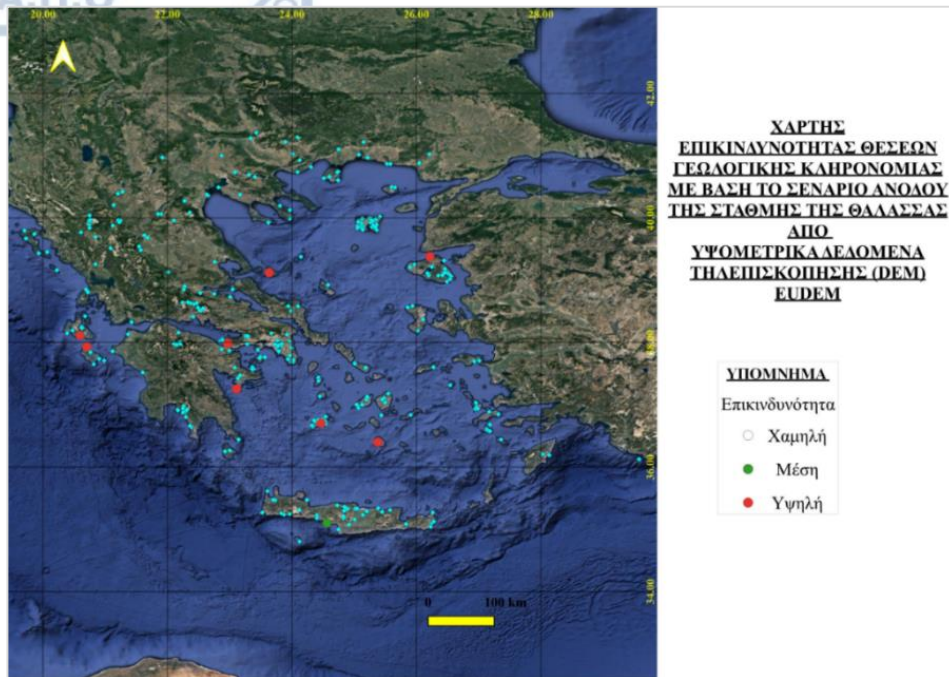
ΧΑΡΤΗΣ 4: Μελέτη ανόδου στάθμης της θάλασσας από υψομετρικά τηλεπισκοπικά δεδομένα ASTER GDEM



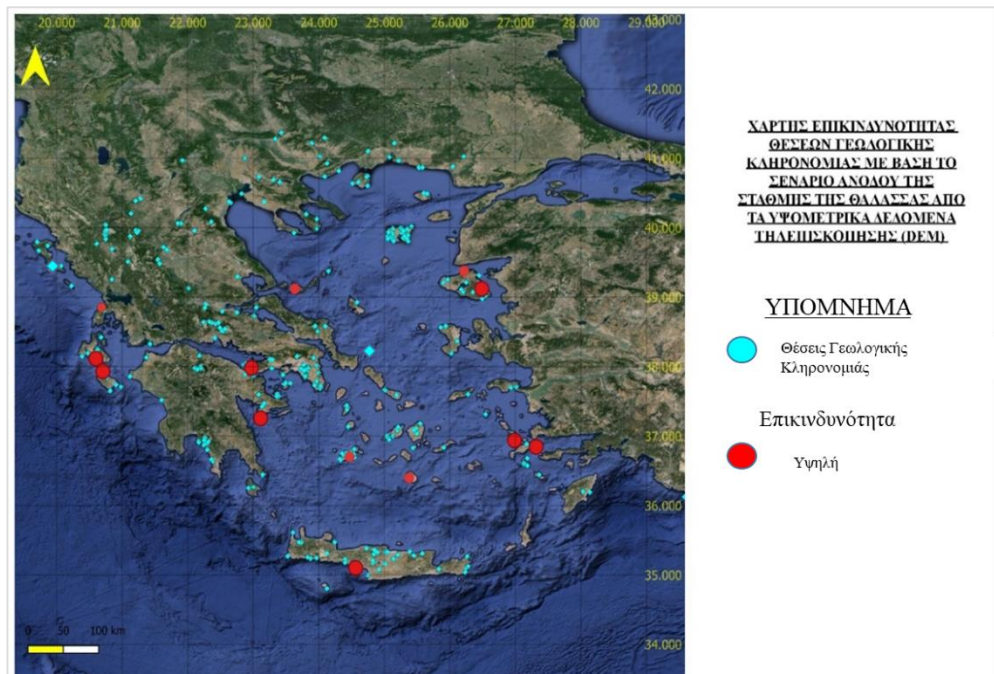
ΧΑΡΤΗΣ 5: Μελέτη ανόδου στάθμης της θάλασσας από υψομετρικά τηλεπισκοπικά δεδομένα SRTM



ΧΑΡΤΗΣ 6: Μελέτη ανόδου στάθμης της θάλασσας από υψομετρικά τηλεπισκοπικά δεδομένα EU-DEM



ΧΑΡΤΗΣ 7: Επικινδυνότητας των θέσεων γεωλογικής κληρονομιάς βάσει το σενάριο ανόδου της στάθμης της θάλασσας από τα υψομετρικά δεδομένα τηλεπισκόπησης.



6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΗ ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

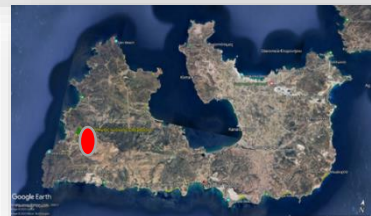
Η νήσος Μήλος αποτελεί την περίπτωση μελέτης της μικρής κλίμακας. Αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες της Τηλεπισκόπησης και των GIS ως προς τη μελέτη της θερμικής ανωμαλίας που παρουσιάζει το νησί, ως προς την πιθανή παραμόρφωση, τη μελέτη της βλάστησης ως μέτρο αποκατάστασης τοπίου, ως προς την αλλαγή χρήσης γης και τη μελέτη της ανόδου της στάθμης της θάλασσας στα επόμενα εκατό χρόνια και πως αυτό θα επηρεάσει την παράκτια γεωλογική κληρονομιά, σε σύγκριση με τη βάση δεδομένων γεωλογικής κληρονομιάς που έχει αναπτυχθεί. Για κάθε ζητούμενο μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες υψηλής έως πολύ υψηλής ανάλυσης. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα της κάθε μελέτης ξεχωριστά.

Θερμική μελέτη νήσου Μήλου

Όπως προκύπτει από τον χάρτη (ΧΑΡΤΗΣ 8), τα σημεία στη Ν και ΝΑ πλευρά του νησιού παρουσιάζουν θερμική ανωμαλία, όπως είχε αναφερθεί από τον Φυτίκα (1977). Ωστόσο, παρουσιάστηκαν μερικές θέσεις και στη Δυτική πλευρά του νησιού που χρήζουν περαιτέρω έρευνας, όπως στην περιοχή Ραλάκι και Άγιος Ιωάννης Σιδεριανός (οι θέσεις που σημειώνονται σε κόκκινο κύκλο). Από την έρευνα στο πεδίο, παρατηρώντας τα φυσικά χαρακτηριστικά των θέσεων αυτών (ΕΙΚΟΝΑ 42) αποδόθηκε ομοιότητα στα χαρακτηριστικά με άλλες θέσεις, που σύμφωνα με μαρτυρίες των ντόπιων κατοίκων του νησιού παρατηρούνται υψηλές θερμοκρασίες στο έδαφος (ΕΙΚΟΝΑ 43). Οι κάτοικοι υπέδειξαν θέση με αντίστοιχα χαρακτηριστικά, δηλαδή υψηλή θερμοκρασία εδάφους, διαφορά στη βλάστηση στην περιοχή κοντά στο σημείο και διαφορά στα πετρώματα. Στις θέσεις αυτές προσπάθησαν να εκμεταλλευτούν αυτή την υψηλή θερμοκρασία δημιουργώντας μια «σάουνα». Από αυτό το αποτέλεσμα μπορούν να προκύπτουν θέσεις έρευνας για την θερμική ανωμαλία τους νησιού. Επιπλέον, τα δεδομένα που προκύπτουν δίνουν την ευκαιρία για ανάπτυξη τόσο της έρευνας, εκπαίδευσης αλλά και του τουρισμού συνδυάζοντας τα με θέσεις γεωλογικού ενδιαφέροντος στα πλαίσια γεωδιαδρομών ή γενικά θεματικών διαδρομών.

ΧΑΡΤΗΣ 8: Σημείων Θερμικής Ανωμαλίας στη Νήσο Μήλο.





ΕΙΚΟΝΑ 40: Περιοχή Άγιος Ιωάννης Σιδεριανός.
(Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)



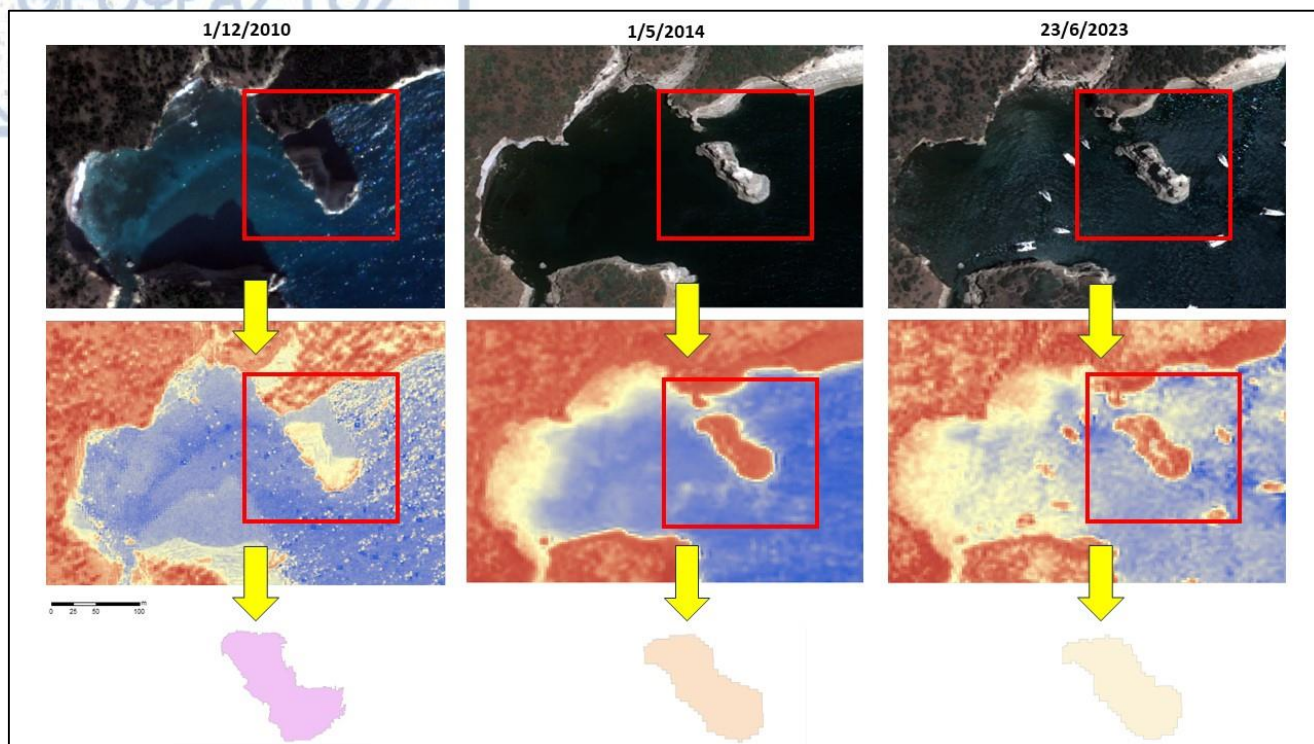
ΕΙΚΟΝΑ 41: Θέση Άγιος Ιωάννης (προς Προβατά), υπόδειξη ντόπιων ως θερμό σημείο, χρήση ως "σάουνα".

(Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου από εργασία υπαίθρου)

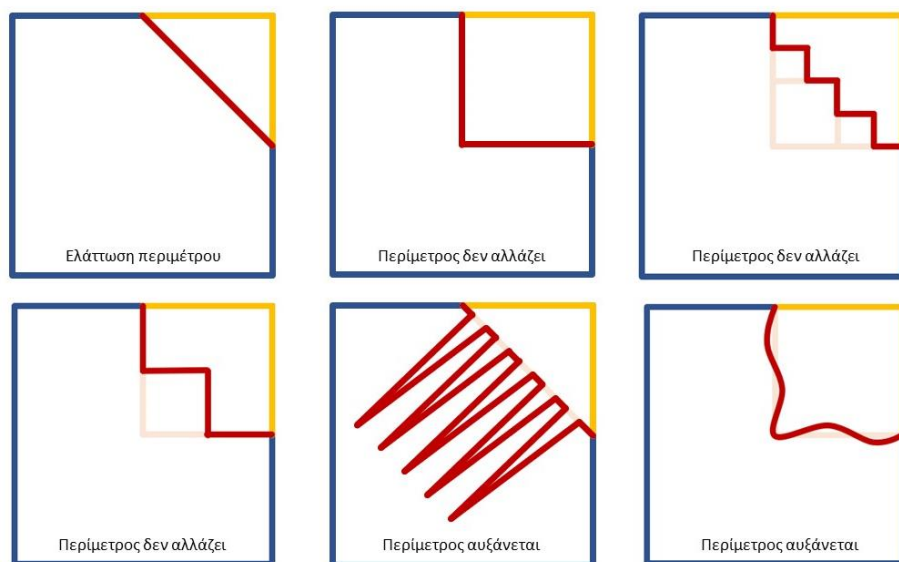
Μελέτη διάβρωσης στη Νήσο Μήλο

Από τη μελέτη της παραλίας του Σαρακήνικου και του Κλέφτικου με δεδομένα Sentinel-1, Sentinel-2 και Landsat-4/-5, δεν προέκυψαν αξιόλογα αποτελέσματα, εξαιτίας της χαμηλής χωρικής ανάλυσης των δεδομένων, σε σχέση με τις υψηλές απαιτήσεις των παρατηρούμενων φυσικών διεργασιών διάβρωσης ή/και απόθεσης στις συγκεκριμένες θέσεις.

Ωστόσο, με τη αγορά εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης και περεταίρω επεξεργασία σε GIS (ΕΙΚΟΝΑ 44) μελετήθηκε η εξέλιξη την βραχοδομής που συναντάται στην περιοχή Κλέφτικο, για τα έτη 2010, 2014 και 2023. Παρατηρήθηκε, ότι τόσο η έκταση όσο και η περίμετρος της βραχοδομής μεταβάλλεται. Πιο συγκεκριμένα, το 2010, μελετώντας τις εικόνες του δορυφόρου Worldview-2, η έκταση της βραχοδομής ήταν 1747m² και η περίμετρος 341,65m, το 2014, μελετώντας με τη χρήση εικόνων από τη σειρά δορυφόρων Pleiades, η έκταση της βραχοδομής ήταν 1692m² και η περίμετρος 237,35m ενώ το 2023 η έκταση της ήταν 1643m² και η περίμετρος 242m (ΠΙΝΑΚΑΣ 6). Οι μεταβολές αυτές μπορεί να υποδηλώνουν ενδείξεις διάβρωσης (μείωση της επιφάνειας ή μείωση ή ακόμα και αύξηση της περιμέτρου), σύμφωνα με την ΕΙΚΟΝΑ 45



ΕΙΚΟΝΑ 44: Χαρτογράφηση και παρακολούθηση του Κλέφτικου, μεταξύ 2010-2023. Σε πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφορικές εικόνες (1η σειρά) για την εξαγωγή του δείκτη νερού NDWI (2η σειρά) και ακολούθως ταξινομήθηκε η εικόνα, ώστε να απομονωθεί η βραχοδομή (3η σειρά)



ΕΙΚΟΝΑ 42: Ενδεικτικό σχήμα πιθανής μεταβολής της περιμέτρου, λόγω διάβρωσης (URL 30)

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Μεταβολής έκτασης και περιμέτρου της βραχοδομής κατά το χρονικό διάστημα 2010-2023

Ημ/νία	Πηγή	Έκταση			Περίμετρος		
		Έκταση (m ²)	Μεταβολή (m ²)	Μεταβολή (%)	Περίμετρος (m)	Μεταβολή (m)	Μεταβολή (%)
01/12/2010	Worldview-2	1747	-	-	341.65	-	-
01/5/2014	Pleiades	1692	-55	-3.1	237.35	-104.3	-30.5
23/6/2023	Pleiades	1643	-49	-2.9	242	4.65	2.0
		Σύνολο	-104	-6.0	Σύνολο	-99.7	-28.6

Μελέτη βλάστησης στη Νήσο Μήλο

Από την αναζήτηση στην περιοχή των Θειορυχείων δεν προέκυψαν ικανοποιητικά συμπεράσματα, γιατί η θέση ήταν σε λειτουργία από πολύ παλιά και σταμάτησε πριν την ύπαρξη συστηματικών και κατάλληλων δορυφορικών δεδομένων, ώστε να συγκριθεί η εικόνα πριν και μετά την εκμετάλλευση.

Αντίθετα, στο ορυχείο της Γερακόπετρας, χρησιμοποιώντας τις ελάχιστες τιμές της βλάστησης προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2). Γενικά, οι χαμηλές τιμές του διαγράμματος αντιστοιχούν σε θέσεις χωρίς βλάστηση, όχι μόνο τους χειμερινούς μήνες αλλά και κατά τους ανοιξιάτικους. Αντίθετα, τους ανοιξιάτικους μήνες, κατά τους οποίους γενικά υπάρχει βλάστηση, οι τιμές θα έπρεπε να αυξάνονται.

Ειδικότερα, κατά τους ψυχρότερους-χειμερινούς μήνες (Ιανουάριο-Μάρτιο) του 1990 παρατηρείται απουσία βλάστησης ($NDVI < 0,1$). Επιπλέον, κατά τους μήνες Μάιο ως Νοέμβριο οι τιμές $NDVI$ είναι μεν υψηλότερες αλλά εξακολουθούν να βρίσκονται κάτω από το όριο της βλάστησης. Το πρότυπο αυτό επαναλαμβάνεται για τα έτη 1991-1993 με ελαφρώς υψηλότερες τιμές $NDVI$. Από τον Μάιο του 1994 παρατηρείται σαφής αύξηση του δείκτη $NDVI$ ($> 0,1$) που υποδηλώνει παρουσία βλάστησης. Συνεπώς, η περιοχή του ορυχείου πριν την αποκατάσταση έχει χαμηλές τιμές $NDVI$ τόσο το χειμώνα όσο και την άνοιξη. Σταδιακά και μέχρι το 1994, η ελάχιστη τιμή $NDVI$ αυξάνεται, οπότε τεκμηριώνεται η προοδευτική αποκατάσταση του ορυχείου.

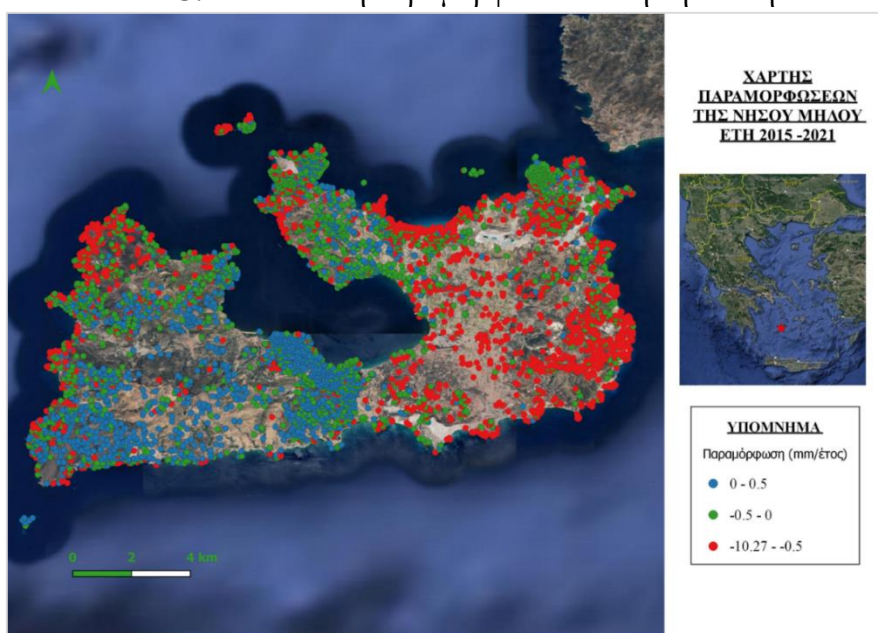
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: Διαχρονική αναπαράσταση της Ελάχιστης Τιμής του Δείκτη NDVI του ορυχείου Γερακόπετρας.



Μελέτη παραμορφώσεων στη νήσο Μήλο

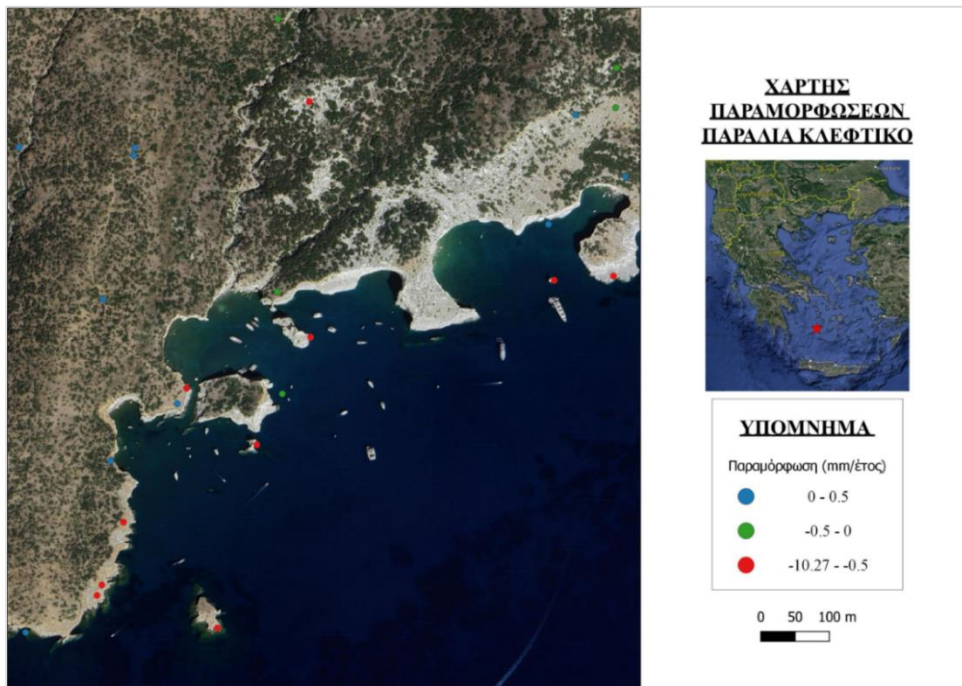
Στον χάρτη (ΧΑΡΤΗΣ 9) που ακολουθεί αποτυπώνεται η συνολική εικόνα παραμορφώσεων του νησιού κατά το διάστημα 2015 -2021. Παρατηρείται, ότι η ανατολική πλευρά του νησιού εμφανίζει μεγαλύτερη τάση παραμόρφωσης, σε αντίθεση με την δυτική πλευρά που φαίνεται να είναι πιο σταθερή. Εκτός από τη γενική εικόνα των παραμορφώσεων του νησιού, μελετήθηκαν οι περιοχές του Κλέφτικου, του Σαρακήνικου και των Θειωρυχείων.

ΧΑΡΤΗΣ 9: Αποτύπωση παραμορφώσεων στη νήσο Μήλο



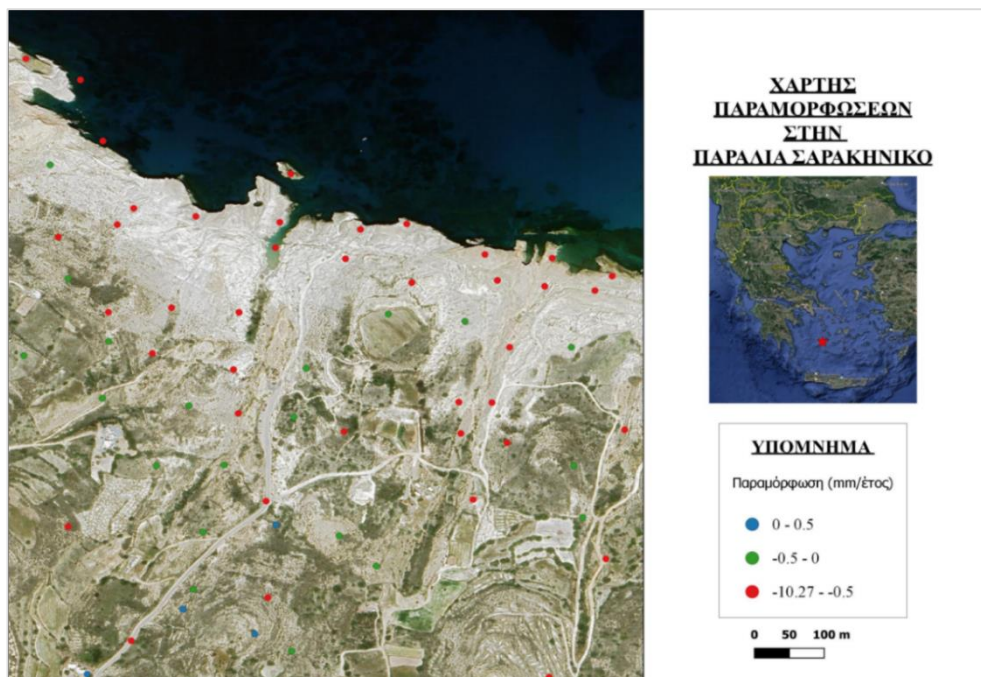
Στο ΧΑΡΤΗ 10 αποτυπώνονται οι παραμορφώσεις στην παραλία Κλέφτικο της Μήλου. Παρατηρείται, ότι η βράχο-στήλη που βρίσκεται στο θαλάσσιο χώρο υφίσταται παραμορφώσεις και σε συνδυασμό με τη διάβρωση από τα θαλάσσια κύματα είναι πιθανό να οδηγηθεί σε κατάρρευση.

ΧΑΡΤΗΣ 10: Αποτύπωση παραμορφώσεων στη παραλία Κλέφτικο



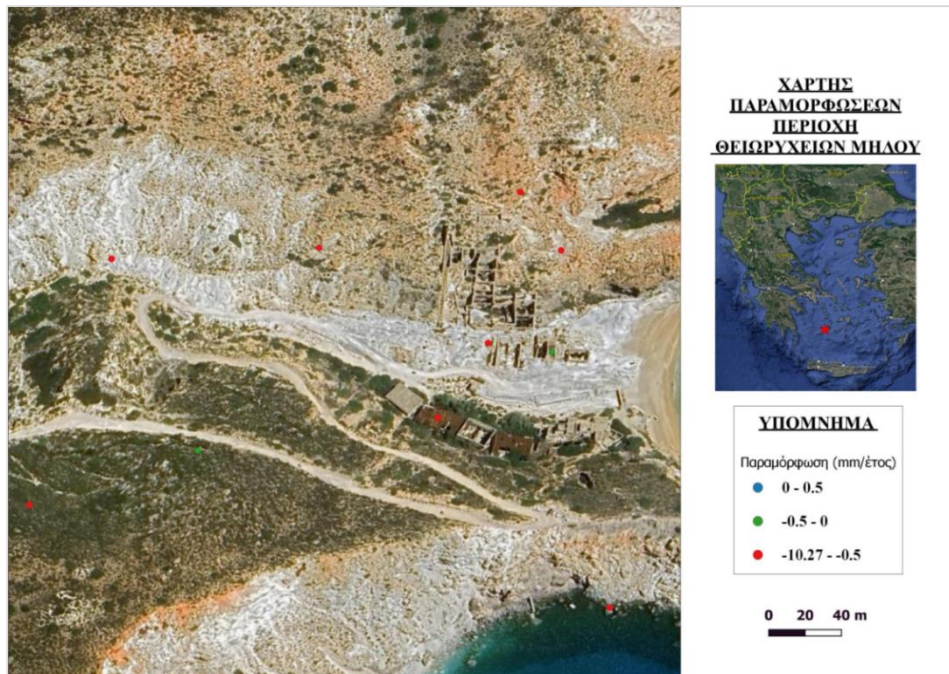
Στο ΧΑΡΤΗ 11 αποτυπώνονται οι παραμορφώσεις στην παραλία Σαρακήνικο. Φαίνεται, ότι είναι μια περιοχή με σχετικά έντονες παραμορφώσεις.

ΧΑΡΤΗΣ 11: Αποτύπωση παραμορφώσεων στο Σαρακήνικο.



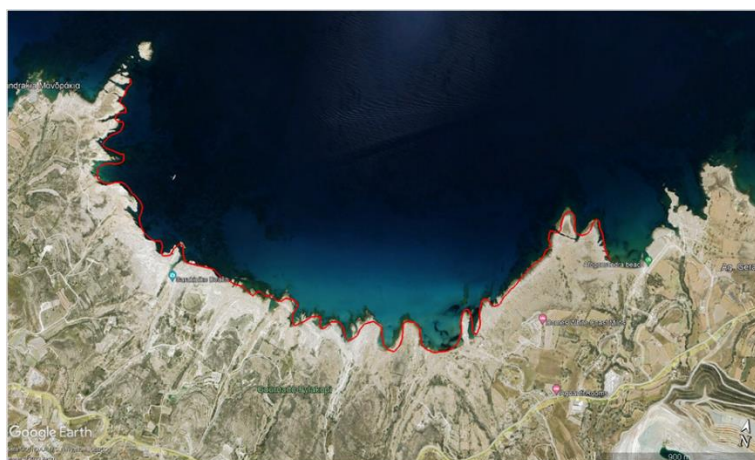
Στο ΧΑΡΤΗ 12 αποτυπώνονται οι παραμορφώσεις στην περιοχή των Θειωρυχείων. Φαίνεται, ότι είναι μια περιοχή που σημειώνονται παραμορφώσεις γύρω από την περιοχή των εγκαταστάσεων, αλλά και στο δρόμο που υπάρχει για να προσεγγιστεί ο χώρος. Σε περίπτωση καθίζησης υπάρχει η πιθανότητα κατάρρευσης των εγκαταστάσεων.

ΧΑΡΤΗΣ 12: Αποτύπωση παραμορφώσεων στην περιοχή των Θειωρυχείων.



Google Earth

Σε σχέση με τη μελέτη της παράκτιας ζώνης του Σαρακήνικου στο Google Earth™, μεταξύ 1985-2023, οι πρώτες δύο εικόνες (ΕΙΚΟΝΑ 46,47), του 1985 και 2006, δεν είναι δυνατό να αξιολογηθούν, λόγω χαμηλής χωρικής ανάλυσης και αδυναμία χάραξης της μορφολογίας της ακτής. Στην ΕΙΚΟΝΑ 48 αποτυπώνεται ο συνδυασμός των δυο παραπάνω εικόνων. Στη συνέχεια παρατίθενται τα δυο ακραία παραδείγματα των εικόνων της ακτογραμμής του 1985 και του 2023 (ΕΙΚΟΝΑ 49,50).



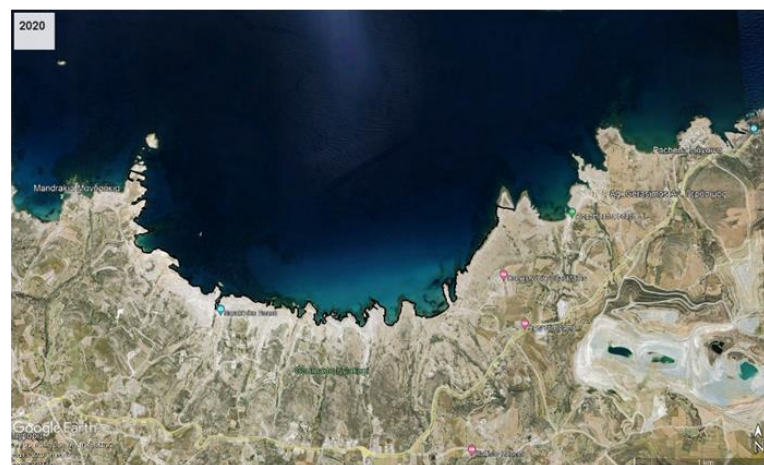
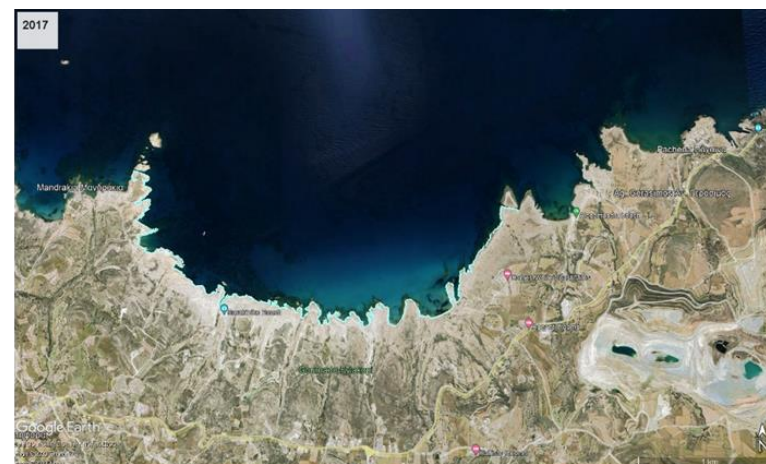
ΕΙΚΟΝΑ 43: Ακτογραμμή Σαρακήνικου – 1985.

[illegible]

ΕΙΚΟΝΑ 45: Ακτογραμμή Σαρακήνικου - Σύγκριση 1985 (κόκκινο) - 2023 (κίτρινο).



ΕΙΚΟΝΑ 46: Ακτογραμμή Σαρακήνικου - Εικόνες ετών 2006, 2011, 2013, 2014.



ΕΙΚΟΝΑ 47: Ακτογραμμή Σαρακήνικου - Εικόνες ετών 2016, 2017, 2020.



Με τη χρήση του λογισμικού Google Earth Studio™ δημιουργήθηκαν τρισδιάστατες (3D) κινούμενες εικόνες/βίντεο, για δυο περιοχές της Μήλου, το Ηφαίστειο της Φυριπλάκας και τα Θειωρυχεία. Μέσω αυτής της τρισδιάστατης (3D) κινούμενης εικόνας/βίντεο γίνεται παρουσίαση των δυο περιοχών, οι οποίες έχουν γενικά δύσκολη πρόσβαση. Στη συνέχεια δίνεται η περιγραφή της κινούμενης εικόνας για κάθε περιοχή.

Ηφαίστειο Φυριπλάκας

Το αρχικό πλάνο αποτυπώνει ολόκληρο του νησί της Μήλου. Στη συνέχεια εστιάζει στη περιοχή του ηφαιστείου. Ακολουθούν πλάνα αποτύπωσης του κρατήρα και μένουν για μερικά δευτερόλεπτα. Στο επόμενο καρέ γίνεται κάθετη λήψη ώστε να αποτυπωθούν οι δυο εσωτερικοί μικρότεροι κρατήρες. Τέλος, η λήψη ολοκληρώνεται με την αποτύπωση της νοτιοανατολικής πλευράς του νησιού.

Ακολουθεί μια τυπική περιγραφή ξενάγησης που αφορά την περιοχή του ηφαιστείου και θα μπορούσε να αξιοποιηθεί σε περίπτωση χρήσης της τρισδιάστατης (3D) κινούμενης εικόνας/βίντεο για τουριστικούς σκοπούς:

Στη νότια πλευρά του νησιού συναντάται το μεγαλύτερο ηφαίστειο της Μήλου, το οποίο διατηρείται σε πολύ καλή κατάσταση. Ο κρατήρας έχει εσωτερική διάμετρο περίπου 1700 m και ύψος περίπου 220 m. Σχηματίστηκε από τη συσσώρευση περλιτικής τέφρας και άμμου ανακατεμένη με θραύσματα λάβας εκτός από τον κύριο κρατήρα του ηφαιστείου υπάρχουν δυο ανεξάρτητα απ' αυτόν εσωτερικά ηφαιστειακά οικοδομήματα. Το πρώτο είναι πολύ μικρός και όμοιος με τον κύριο κρατήρα, διαμέτρου 400m και ύψους 50m. Το δεύτερο έχει πολύπλοκη και ασαφή γεωμετρία, λόγω της μακροχρόνια δράσης υδροθερμικών ρευστών που έχουν εξ αλλοιωθεί τα προϊόντα του.

Θειωρυχεία

Το αρχικό πλάνο αποτυπώνει ολόκληρο του νησί της Μήλου. Στη συνέχεια εστιάζει στη περιοχή των Θειωρυχείων. Ακολουθεί ένα πλάνο της περιοχής από την πλευρά της θάλασσας ώστε να δοθεί η αίσθηση της μορφολογίας. Στη συνέχεια το πλάνο εστιάζει στην πλευρά των ορυχείων και μένει για μερικά δευτερόλεπτα. Η τρισδιάστατη (3D) κινούμενη εικόνα/βίντεο ολοκληρώνεται με το πλάνο από την πλευρά των εγκαταστάσεων που αντιστοιχούν στα εγκαταλελειμένα γραφεία και τα σπίτια.

Ακολουθεί μια τυπική περιγραφή ξενάγησης που αφορά την περιοχή των Θειωρυχείων και θα μπορούσε να αξιοποιηθεί σε περίπτωση χρήσης της τρισδιάστατης (3D) κινούμενης εικόνας/βίντεο για τουριστικούς σκοπούς.

Το θείο από την αρχαιότητα αποτέλεσε σημαντικό προϊόν εκμετάλλευσης με σκοπό τη στίλβωση των μετάλλων και τις θεραπευτικές, αντισηπτικές και απολυμαντικές ιδιότητές του. Στη περιοχή Παλιόρεμα υπήρχε σημαντικό απόθεμα θείου. Το 1862 ξεκίνησε η εκμετάλλευση του ορυχείου ως το 1905 που σταμάτησε εντελώς η λειτουργία του λόγω της φτηνής παραγωγής από την Αμερική. Τη δεκαετία του 1930 υπήρξε πλήρης λειτουργία του ορυχείου. Τότε αναπτύχθηκαν και οι εγκαταστάσεις που σώζονται έως σήμερα. Το θειωρυχείο σταμάτησε να

λειτουργεί το 1960 ενώ η επιχείρηση έκλεισε οριστικά το 1978. Στις εγκαταστάσεις που υπάρχουν στην περιοχή σήμερα παρατηρείται η σκάλα φορτοεκφόρτωσης, στοές, γραφεία και σπίτια όπου ζούσαν οι εργαζόμενοι οι οποίοι έφταναν τη Δευτέρα το πρωί με το καράβι και έφευγαν το Σάββατο.

6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕ ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ

Η περιοχή της Νυμφόπετρας αποτελεί τη περίπτωση μελέτης της μεσαίας κλίμακας. Αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες της Τηλεπισκόπησης τόσο της εναέριας όσο και της επίγειας. Για την εξέταση της Εναέριας Τηλεπισκόπησης χρησιμοποιήθηκαν τα ΣμηΕΑ και αποτυπώθηκε η μορφολογία του εδάφους. Το αποτέλεσμα της σάρωσης παρουσιάζεται ΕΙΚΟΝΑ 51.



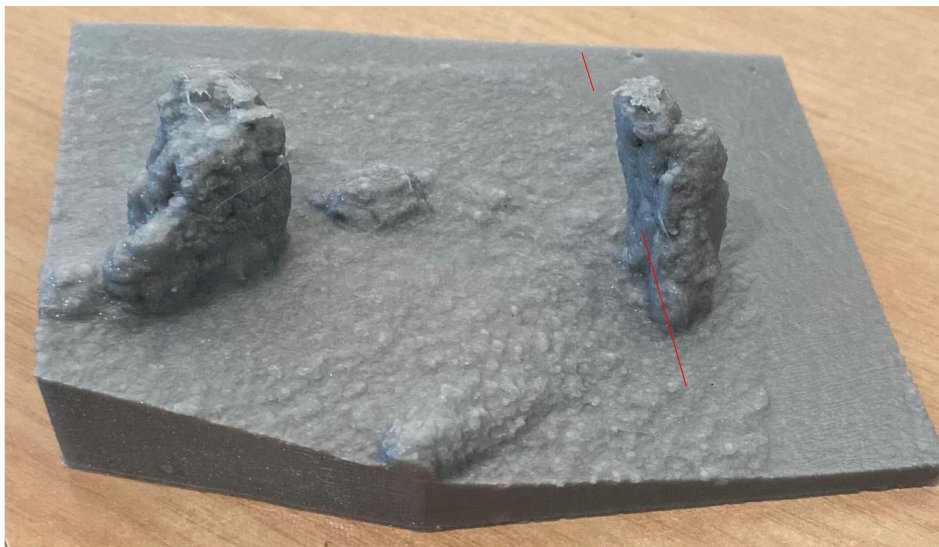
ΕΙΚΟΝΑ 51: Τελικό αποτέλεσμα από τη λήψη εικόνων ΣμηΕΑ. (πηγή: Σταμούλη, Μ. & Τζούρα, Α., 2022)

Τηλεπισκόπησης. Με επιπλέον επεξεργασία και συνδυασμό των δυο τύπων Τηλεπισκόπησης προκύπτει το αποτέλεσμα της ΕΙΚΟΝΑΣ 52. Στην εικόνα αυτή δίνεται η δυνατότητα παρατήρησης με περισσότερη λεπτομέρεια.



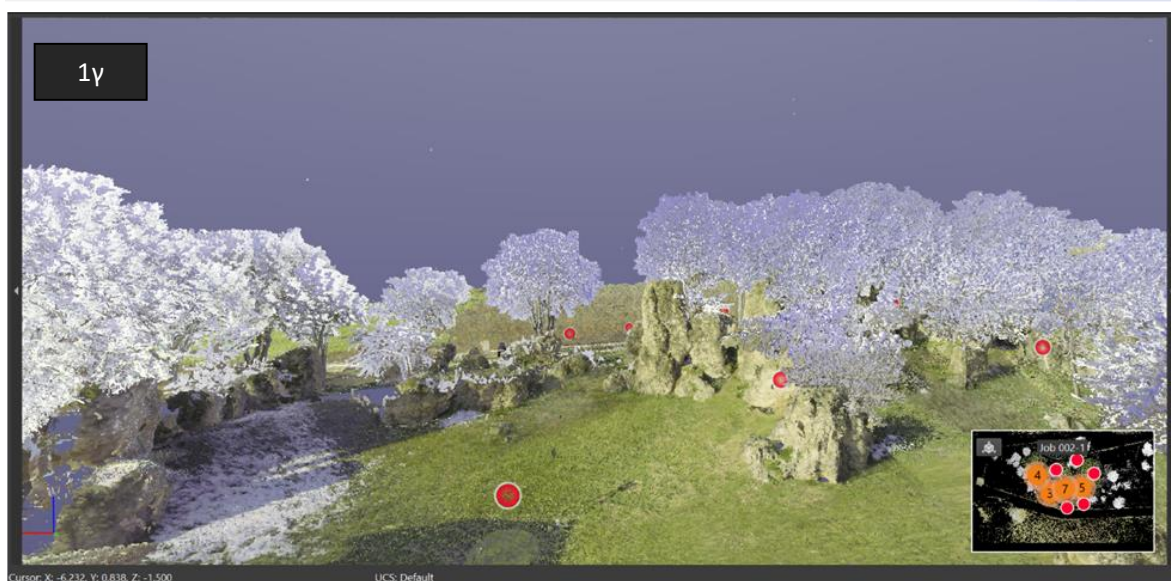
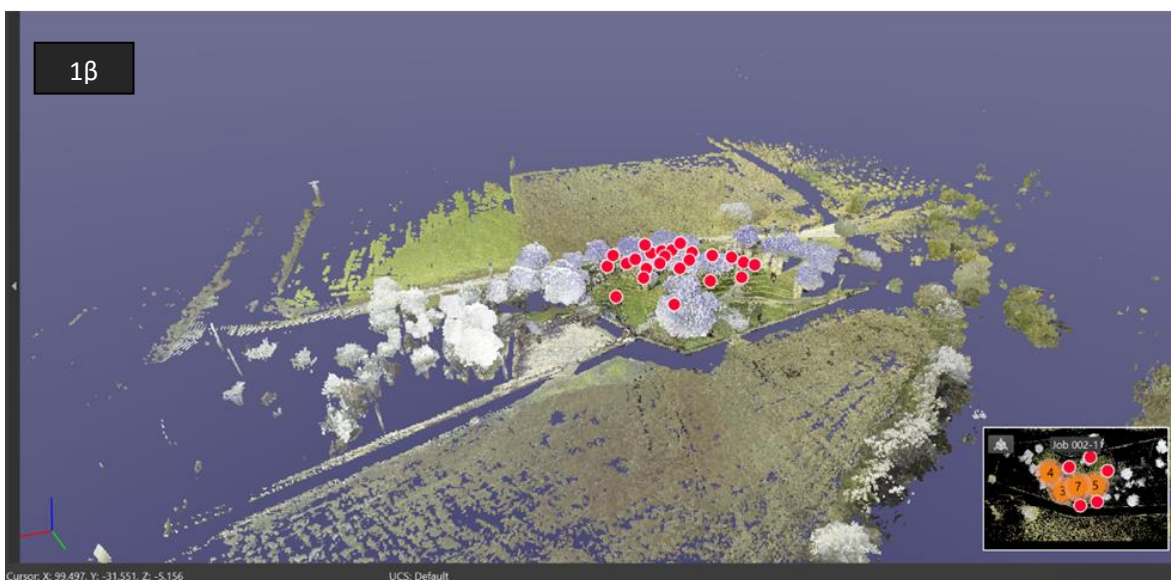
ΕΙΚΟΝΑ 52: Τρισδιάστατη αποτύπωση γεωτόπου Νυμφόπετρας (πηγή: Σταμούλη, Μ. & Τζούρα, Α., 2022)

Με κατάλληλη επεξεργασία του νέφους σημείων που συλλέχθηκε από τους επίγειους σαρωτές λέιζερ, ένα μέρος τους χρησιμοποιήθηκε για τρισδιάστατη εκτύπωση. Το μοντέλο εκτυπώθηκε σε ένα ενδεικτικό, μικρό μέρος του γεωτόπου, αλλά σε μια αρκετά ρεαλιστική απεικόνιση με τη χρήση του εκτυπωτή τριών διαστάσεων Ultimaker S5 (EIKONA 53). Από την τρισδιάστατη εκτύπωση παρατηρείται μεγάλη λεπτομέρεια στις μορφές που αποτυπώνονται, τόσο στα πετρώματα όσο και στο έδαφος. Αξιοσημείωτη είναι η διάκριση του ορίου μεταξύ του εδάφους που καλύπτεται από βλάστηση με τον πλακόστρωτο διάδρομο της θέσης.

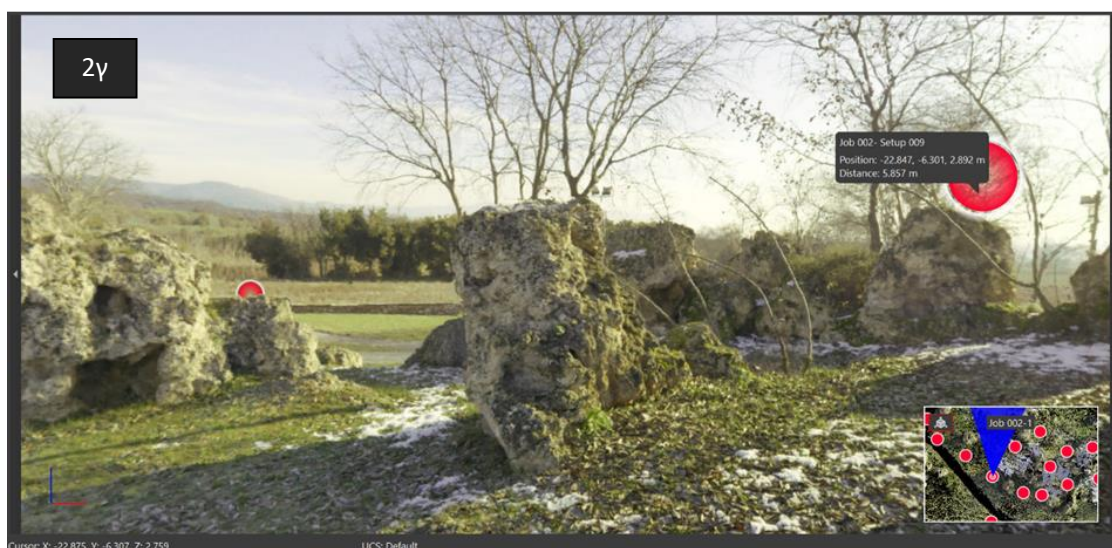


EIKONA 48: Εκτυπωμένη τρισδιάστατη (3D) μορφή γεωτόπου Νυμφόπετρας. Μεγάλη λεπτομέρεια αποτύπωσης των μορφών. Η κόκκινη γραμμή δείχνει το όριο του εδάφους που καλύπτεται από βλάστηση με την αρχή του πλακόστρωτου δρόμου. (πηγή: Σταμούλη, Μ & Τζούρα Α., 2022)

Στις ακόλουθες EIKONEΣ 54 και 55 παρουσιάζεται απόσπασμα της εικονικής περιήγησης ως αποτέλεσμα της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών από το εξειδικευμένο προσωπικό του Τμήματος Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Σταμούλη & Τζούρα, 2022). Τα ενδεικτικά στιγμιότυπα των εικόνων από το πρόγραμμα Jet Stream View αποτυπώνουν τις θέσεις της επίγειας κάμερας σάρωσης του γεωτόπου της Νυμφόπετρας. Στις εικόνες 1α, 1β, 1γ αποτυπώνονται με κόκκινα σημεία οι θέσεις στις οποίες τοποθετήθηκαν οι σαρωτές και αναφέρουν στοιχεία για τη σάρωση. (EIKONA 54), ενώ οι εικόνες 2α, 2β, 2γ είναι εστιασμένες στις επιμέρους όψεις (EIKONA 55). Επιπλέον, μετακινώντας την εικόνα γίνεται η περιήγηση στο χώρο.



ΕΙΚΟΝΑ 54: Θέσεις κάμερας σάρωσης. Αποτέλεσμα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας με κατάλληλα λογισμικά από το Τμήμα Αγρ. Τοπογράφων Μηχ. του ΑΠΘ (πηγή: Σταμούλη, Μ. & Τζούρα, Α., 2022)



ΕΙΚΟΝΑ 55: Επιμέρους όψεις. Αποτέλεσμα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας με κατάλληλα λογισμικά από το Τμήμα Αγρ. Τοπογράφων Μηχ. του ΑΠΘ (πηγή: Σταμούλης, Μ. & Τζούρα, Α., 2022)

6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΗ ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Στη περίπτωση μελέτης της μεγάλης κλίμακας εξετάστηκαν ενδεικτικά αντικείμενα τα οποία χαρακτηρίζονται ως γεωλογική κληρονομιά όπως ορυκτά και απολιθώματα με διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά ώστε να προκύψει ποια αντικείμενα θα μπορούσαν να αποδώσουν καλύτερα ψηφιακά τα χαρακτηριστικά τους βάσει το διαθέσιμο εξοπλισμό. Όσον αφορά τα ορυκτά εξετάστηκαν τα οποία ήταν λευκά (άστριοι) και διαφανή (γύψος) (EIKONA 56, 57), και τα οποία ο σαρωτής (structure light sensor) δε μπορούσε να τα αποτυπώσει, γιατί η ακτίνα αντανακλώνταν. Στην περίπτωση των γρανατών (EIKONA 58), που ήταν μικρά δείγματα, δεν ήταν επίσης δυνατή η αποτύπωση. Η γεωμετρία παίζει σημαντικό ρόλο, όπως το παράδειγμα του ακτινωτού (έντονες απολήξεις) ασβεστίτη με αιματίτη (EIKONA 59), που δεν μπορούσε να αποτυπωθεί σωστά η μορφή του και το ορυκτό του ροδοχρωσίτη. Τέλος Όσον αφορά τα απολιθώματα που εξετάστηκαν ήταν, το δόντι μαστόδοντα (EIKONA 60), λόγω της αδαμαντίνης αντανακλούσε τη δέσμη φωτός λείζερ και πάλι ήταν δύσκολη η αποτύπωση και το απολίθωμα του κρανίου της αρκούδας των σπηλαίων.



EIKONA 56: Λόγω χρώματος δεν ήταν δυνατή η αποτύπωση των αστρίων. (Προσωπικό αρχείο Z.Πανταζοπούλου)



EIKONA 57: Γύψος. Λόγω της γυαλιστερής επιφάνειας αντανακλούσε τη δέσμη φωτός και δεν ήταν δυνατή η σάρωση του με τη χρήση structure light sensor. (Προσωπικό αρχείο Z.Πανταζοπούλου)



ΕΙΚΟΝΑ 58: Γρανάτης, ο οποίος, λόγω του μικρού μεγέθους, δεν ήταν δυνατό να σαρωθεί με τη χρήση structure light sensor. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου)



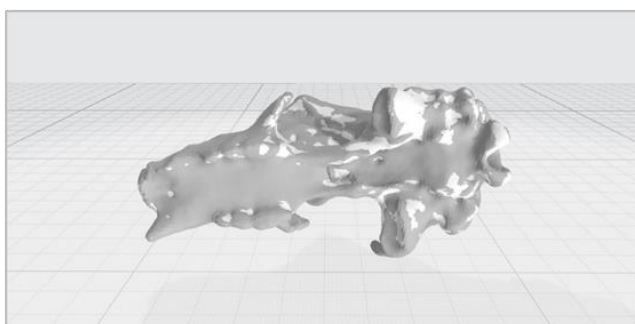
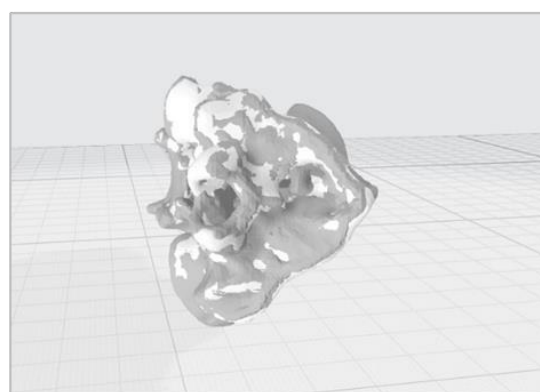
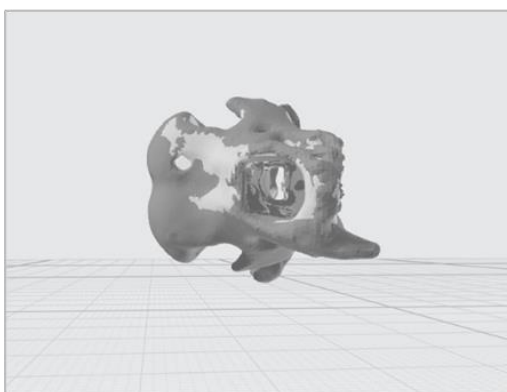
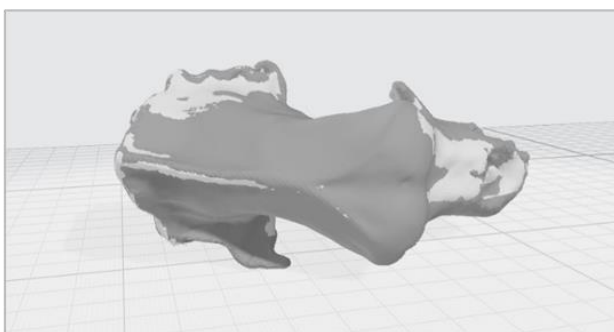
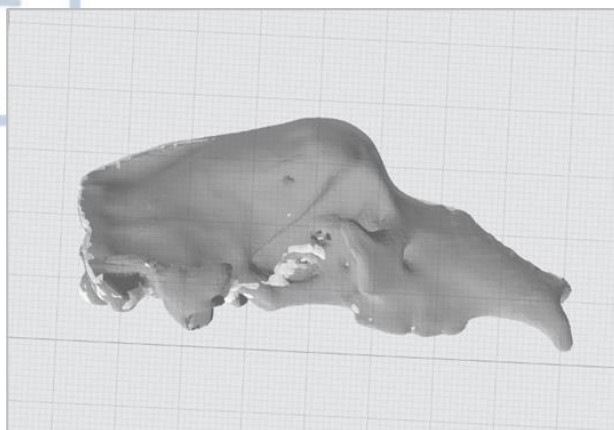
ΕΙΚΟΝΑ 59: Κρύσταλλος ασβεστίτη με λεπτόκοκκο αιματίτη. Λόγω της γεωμετρίας του με τις έντονες απολήξεις δεν ήταν δυνατή η σάρωση του με τη χρήση structure light sensor. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου)



ΕΙΚΟΝΑ 60: Δόντι μαστόδοντα. Λόγω της αδαμαντίνης αντανάκλα τη δέσμη φωτός λείζερ, γεγονός που δυσκολεύει την αποτύπωση. (Προσωπικό αρχείο Ζ.Πανταζοπούλου)

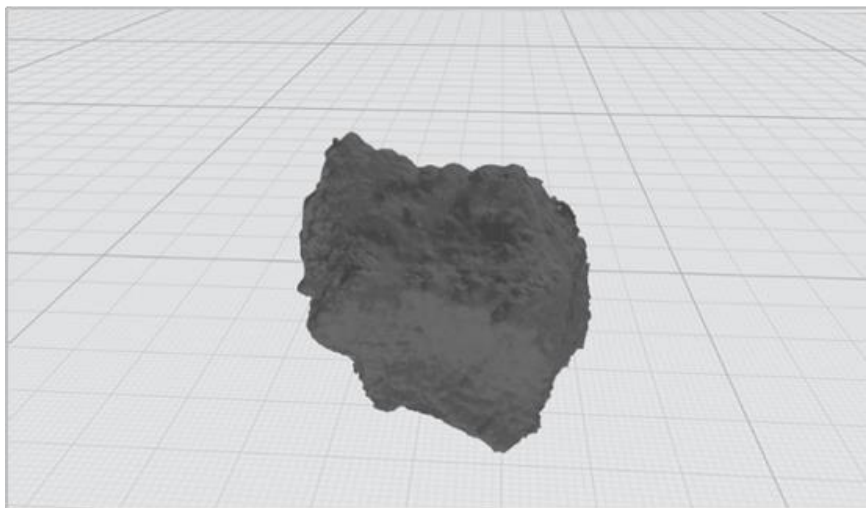
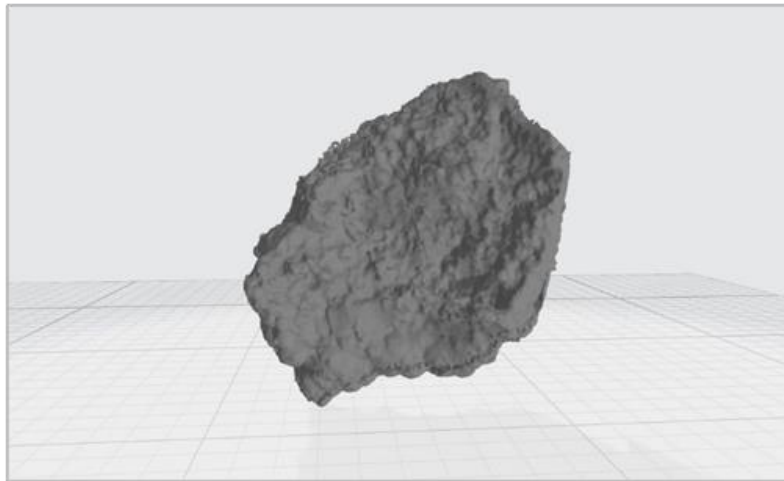
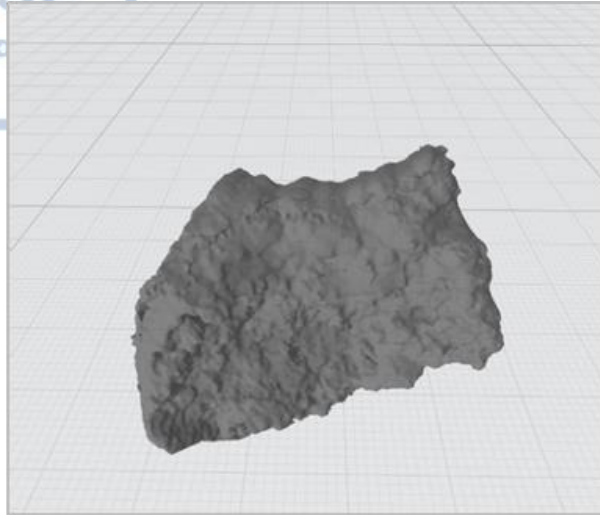
Το δείγμα ορυκτού του ροδοχρωσίτη αποτυπώθηκε λόγω του κατάλληλου μεγέθους, χρώματος υφής και γεωμετρίας. το οποίο είχε κατάλληλο μέγεθος, χρώμα, υφή και γεωμετρία. Χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την περίπτωση ο σαρωτής LiDAR Camera L515.

Από τη σάρωση του κρανίου της αρκούδας των σπηλαίων προέκυψε το αποτέλεσμα ΕΙΚΟΝΑ 61. Η τρισδιάστατη απεικόνιση του απολιθώματος έγινε με το λογισμικό 3D Viewer.



ΕΙΚΟΝΑ 61: Τρισδιάστατη απεικόνιση κρανίου αρκούδας σπηλαίων (*Ursus spelaeus*) σε διάφορες όψεις παρατήρησης. Αποτέλεσμα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας με κατάλληλα λογισμικά από το Τμήμα Αγρ. Τοπογράφων Μηχ. του ΑΠΘ.

Στη συνέχεια ακολουθεί η τρισδιάστατη αποτύπωση του ορυκτού του ροδοχρωσίτη από το λογισμικό 3D Viewer (ΕΙΚΟΝΑ 62).



ΕΙΚΟΝΑ 62: Τρισδιάστατη απεικόνιση ορυκτού ροδοχρωσίτη σε διάφορες όψεις παρατήρησης. Αποτέλεσμα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας με κατάλληλα λογισμικά από το Τμήμα Αγρ. Τοπογράφων Μηχ. του ΑΠΘ.

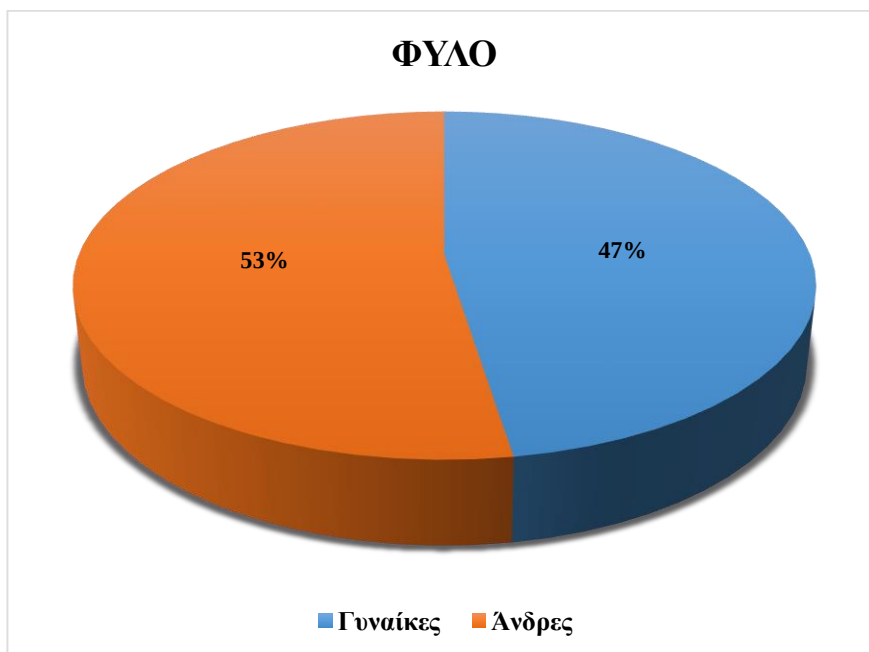
Στη συνέχεια ακολουθούν ενδεικτικά στιγμιότυπα εικόνων από το πρόγραμμα Jet Stream View που αποτυπώνουν τις θέσεις της επίγειας κάμερας σάρωσης του γεωτόπου της Νυμφόπετρας. Στις εικόνες 1α, 1β, 1γ αποτυπώνονται οι θέσεις της κάμερας (ΕΙΚΟΝΑ 63), ενώ οι εικόνες 2α, 2β, 2γ είναι εστιασμένες στις επιμέρους όψεις (ΕΙΚΟΝΑ 64).

6.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ

Εφαρμογή στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση

Στην εφαρμογή αυτή συμμετείχαν φοιτητές και φοιτήτριες πρώτου έτους σπουδών του τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ. Ο αριθμός συμμετεχόντων ήταν 40, ισορροπημένος ως προς το φύλο (53% άνδρες και 47% γυναίκες).

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: Ποσοστό συμμετοχής στο ερωτηματολόγιο με βάση το φύλο.



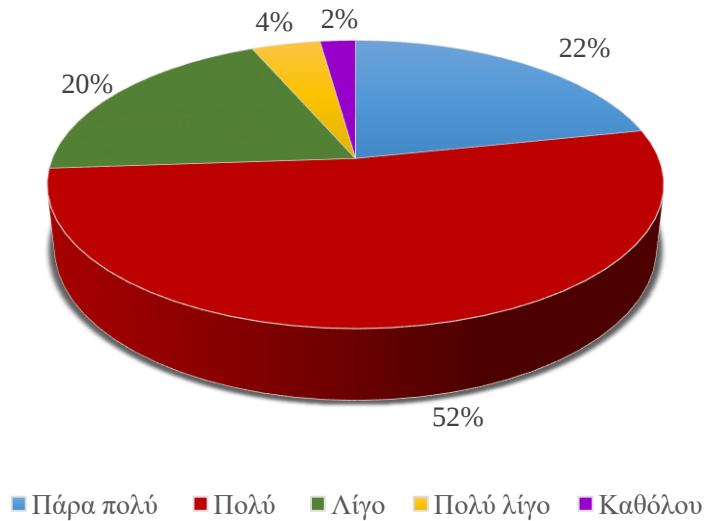
Στον παρακάτω πίνακα (ΠΙΝΑΚΑ 7) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι ερωτήσεις που τέθηκαν στους συμμετέχοντες, καθώς και το ποσοστό των απαντήσεων σε κάθε επιλογή πριν και μετά τη διάλεξη. Στη συνέχεια, παρατίθεται το αποτέλεσμα της ποσοτικοποίησης των απαντήσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Απαντήσεις ερωτηματολογίων

Ερωτήσεις	Ποσοστό πριν τη διάλεξη	Ποσοστό μετά τη διάλεξη	Αποτέλεσμα πριν τη διάλεξη	Αποτέλεσμα μετά τη διάλεξη	Διαφορά αποτελέσματος
Το προσωπικό ενδιαφέρον τους για το αντικείμενο της Γεωγραφίας	Καθόλου: 0% Πολύ λίγο: 10% Λίγο: 42,5% Πολύ: 35% Πάρα πολύ: 12,5%	Καθόλου: 0% Πολύ λίγο: 8,7% Λίγο: 37% Πολύ: 32,6% Πάρα πολύ: 21,7%	2,5	2,673	+0,173 (+6,9%)
Το προσωπικό ενδιαφέρον τους για το διάστημα και τις σχετικές τεχνολογίες	Καθόλου: 2,5% Πολύ λίγο: 7,5% Λίγο: 12,5% Πολύ: 50% Πάρα πολύ: 27,5%	Καθόλου: 2,2% Πολύ λίγο: 2,2% Λίγο: 21,7% Πολύ: 37% Πάρα πολύ: 37%	2,925	3,046	+0,121 (+4,1%)
Αν η επιστήμη της Γεωγραφίας έχει σχέση με την τεχνολογία	Δεν είμαι σίγουρος/η: 5% Πολύ λίγο: 0% Λίγο: 20% Πολύ: 57,5% Πάρα πολύ: 17,5%	Δεν είμαι σίγουρος/η: 2,2% Πολύ λίγο: 0% Λίγο: 4,3% Πολύ: 43,5% Πάρα πολύ: 50%	2,825	3,391	+0,566 (+20%)
Κατά πόσο οι δορυφορικές εικόνες μπορούν να συμβάλλουν διδακτικά/ερευνητικά στο αντικείμενο της Γεωγραφίας	Δε γνωρίζω: 0% Σίγουρα όχι: 0% Μάλλον όχι: 0% Μάλλον ναι: 27,5% Σίγουρα ναι: 72,5%	Δε γνωρίζω: 0% Σίγουρα όχι: 0% Μάλλον όχι: 0% Μάλλον ναι: 8,7% Σίγουρα ναι: 91,3%	3,725	3,913	+0,188 (+5%)
Αν η τρισδιάστατη απεικόνιση/εκτύπωση μπορεί να συμβάλλει διδακτικά/ερευνητικά στο αντικείμενο της γεωγραφίας	Δε γνωρίζω: 7,5% Σίγουρα όχι: 0% Μάλλον όχι: 0% Μάλλον ναι: 27,5% Σίγουρα ναι: 65%	Δε γνωρίζω: 0% Σίγουρα όχι: 0% Μάλλον όχι: 0% Μάλλον ναι: 15,2% Σίγουρα ναι: 84,8%	3,425	3,848	+0,423 (+12,3%)

Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4) στην τελευταία ερώτηση του δεύτερου ερωτηματολογίου (η οποία αυτοδίκαια δεν υπήρχε στο πρώτο ερωτηματολόγιο) και αφορούσε στη βελτίωση της εικόνας που είχαν οι συμμετέχοντες για το αντικείμενο της Γεωγραφίας μετά τη διάλεξη.

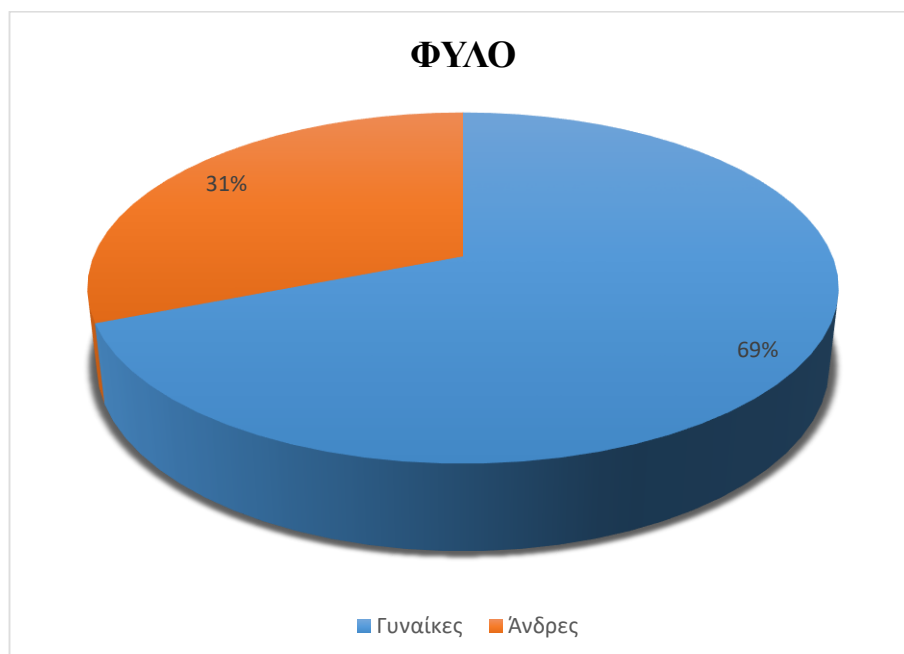
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: Ποσοστό βελτίωσης της εικόνας των συμμετεχόντων για το αντικείμενο της Γεωγραφίας.

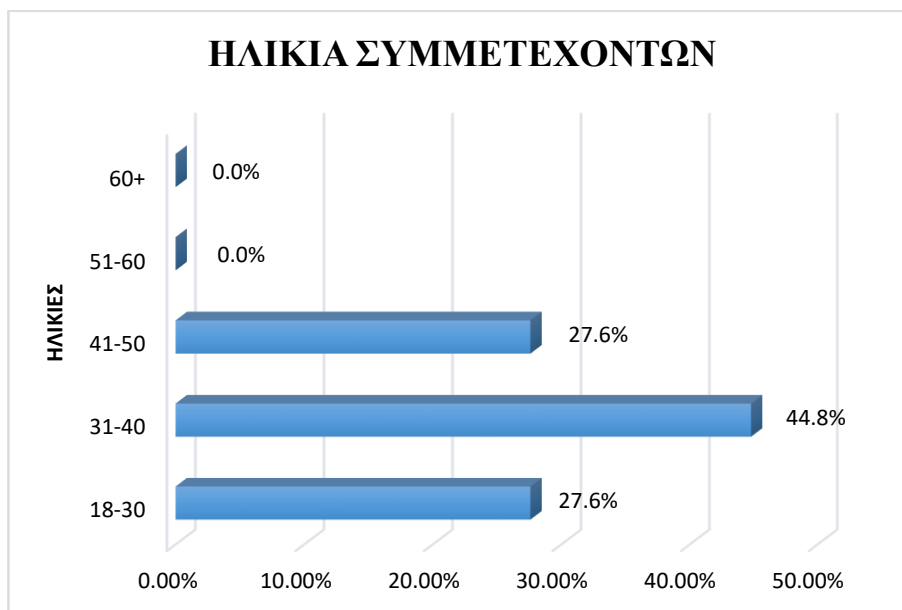
Εφαρμογή στην Εκπαίδευση Εκπαιδευτών

Από τους 29 εκπαιδευτικούς που συμμετείχαν, το 69% ήταν γυναίκες και το 31% άνδρες (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5).



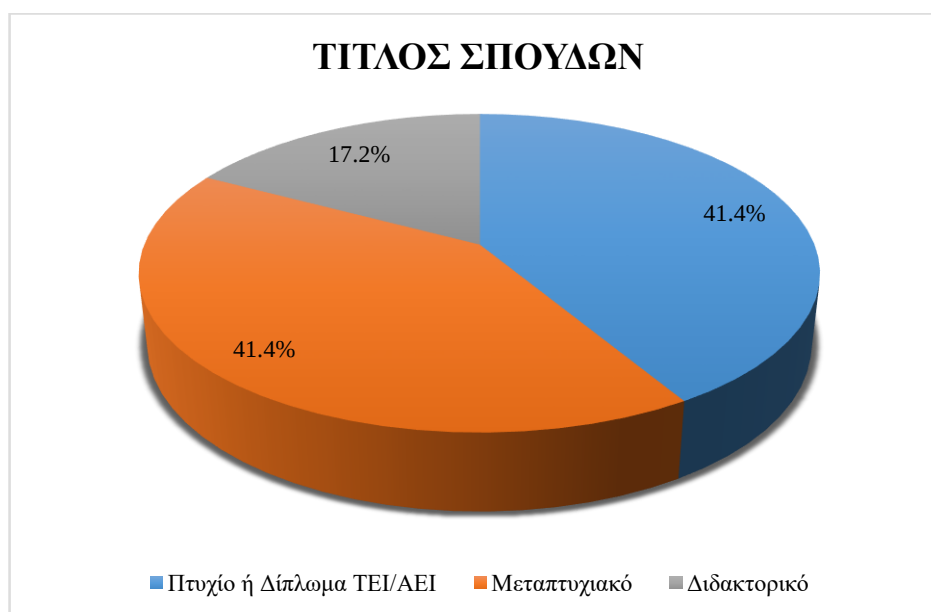
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: Ποσοστό συμμετοχής στο ερωτηματολόγιο με βάση το Φύλο.

Οι συμμετέχοντες ηλικιακά κυμαινόνταν από 18 έως 50 ετών. Συγκεκριμένα, όπως προκύπτει από το ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6, το ποσοστό 27,6% αντιστοιχεί στις ηλικίες 18 έως 30ετών, το ποσοστό 44,8% αντιστοιχεί σε ηλικίες 31 έως 40 και το ποσοστό 27,6% αντιστοιχεί στις ηλικίες 41 έως 50 ετών.



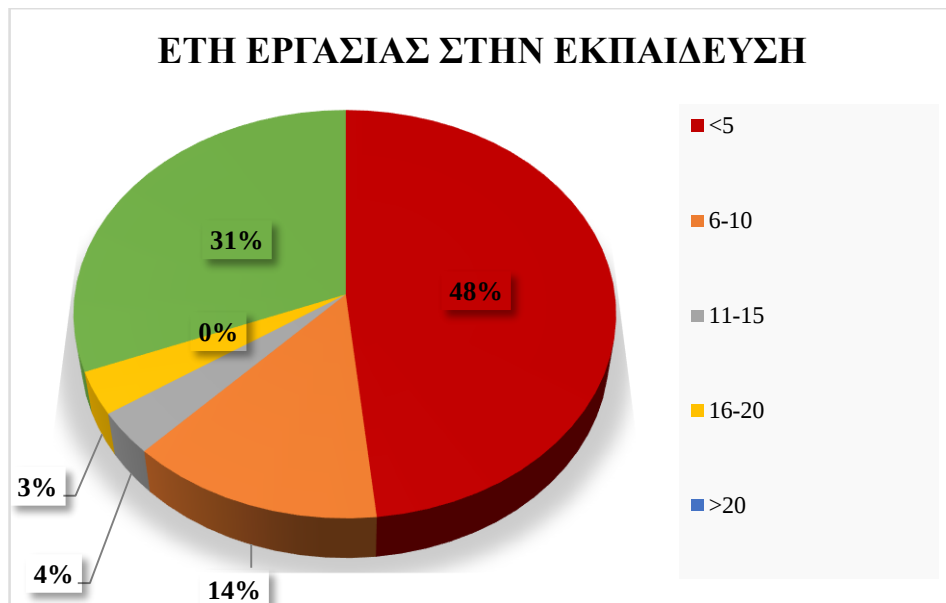
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: Ποσοστό συμμετοχής στο ερωτηματολόγιο με βάση την Ηλικία.

Από το ερώτημα που αφορά στο επίπεδο σπουδών, δηλαδή ποιος είναι ο ανώτερος τίτλος σπουδών που είχαν οι συμμετέχοντες, προκύπτει, πως το ποσοστό Πτυχίου/Διπλώματος και Μεταπτυχιακού τίτλους σπουδών λαμβάνουν την ίδια τιμή (27,6%), ενώ το 17,2% είναι κάτοχοι Διδακτορικού τίτλου (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7).



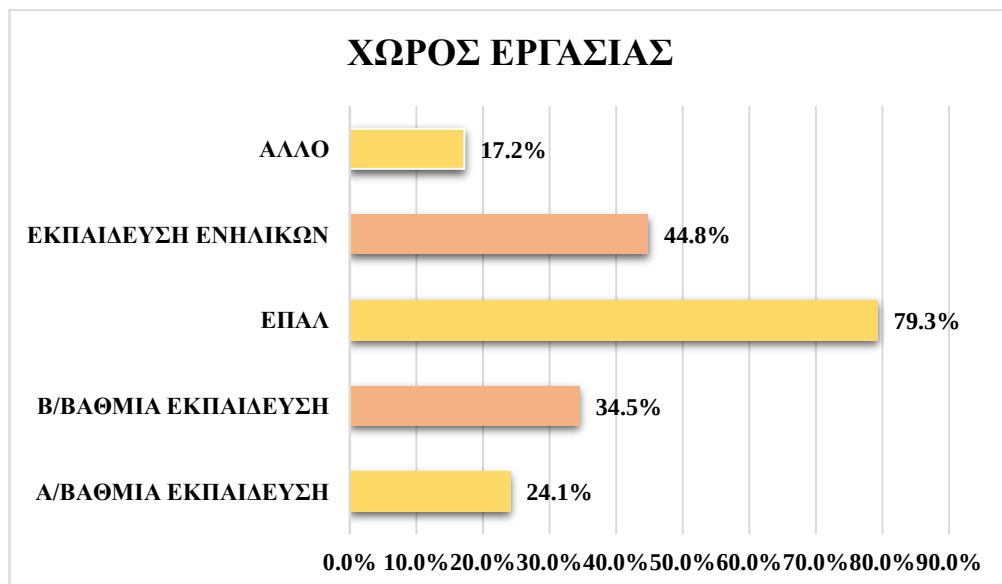
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: Ποσοστό συμμετοχής στο ερωτηματολόγιο, με βάση τον Τίτλο Σπουδών.

Από τις απαντήσεις που αφορούν στο ερώτημα σχετικά με τα έτη εργασίας στην εκπαίδευση, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ασχολείται με την εκπαιδευτική διαδικασία για λιγότερα από 5 έτη, ενώ ακολουθεί το 31%, το οποίο δηλώνει πως δεν έχει εργαστεί ακόμα ως εκπαιδευτικός. Μια ακόμα σημαντική παρατήρηση είναι ότι δεν υφίστανται εκπαιδευτικοί με εργασιακή εμπειρία άνω των 20 ετών (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: Έτη εργασίας των συμμετεχόντων στην εκπαίδευση.

Οι συμμετέχοντες δήλωσαν σε ποσοστό 79,3%, ότι ο δυνητικός χώρος εργασίας τους, δηλαδή ότι ο χώρος στον οποίο θα διδάξουν, είναι το ΕΠΑΛ. Ακολουθεί η Εκπαίδευση Ενηλίκων σε ποσοστό 44,8%, η Δευτεροβάθμια εκπαίδευση σε ποσοστό 34,5%, 24,1% η Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση και 17,2% άλλοι χώροι διδασκαλίας (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9).



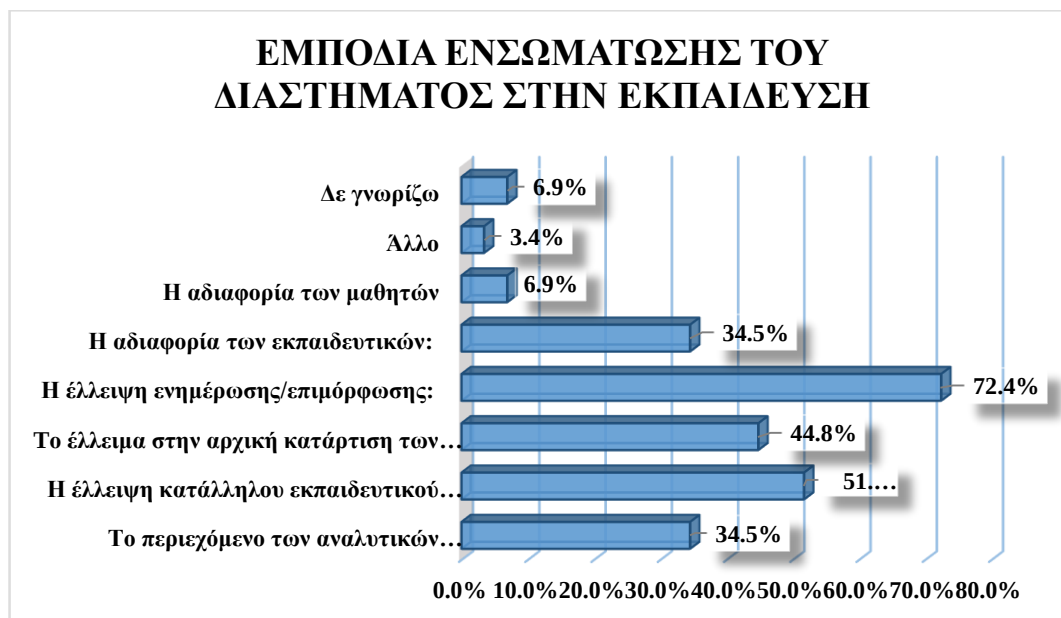
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: Δυνητικός χώρος εργασίας, στον οποίο οι συμμετέχοντες μπορούν να διδάξουν τα μαθήματά τους.

Στον ΠΙΝΑΚΑ 8 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι ερωτήσεις που τέθηκαν στους συμμετέχοντες, καθώς και το ποσοστό των απαντήσεων σε κάθε επιλογή πριν και μετά τη διάλεξη. Στη συνέχεια, παρατίθεται το αποτέλεσμα της ποσοτικοποίησης των απαντήσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Απαντήσεις ερωτηματολογίων

Ερωτήσεις	Ποσοστό πριν την διάλεξη	Ποσοστό μετά τη διάλεξη	Αποτέλεσμα πριν τη διάλεξη	Αποτέλεσμα μετά τη διάλεξη	Διαφορά αποτελέσματος
Σχέση των τυπικών σπουδών τους συνολικά (πτυχίο/δίπλωμα/μεταπτυχιακό/διδασκαλικό) με το διάστημα	Καθόλου: 75,9% Πολύ λίγο: 6,9% Λίγο: 6,9% Πολύ: 10,3% Πάρα πολύ: 0%	Καθόλου: 53,6% Πολύ λίγο: 3,6% Λίγο: 21,4% Πολύ: 17,9% Πάρα πολύ: 3,6%	0,516	1,145	+0,629 (+ 121,8%)
Αν σε προσωπικό επίπεδο είχαν ενδιαφέρον για το διάστημα και τις σχετικές τεχνολογίες	Καθόλου: 3,4% Πολύ λίγο: 13,8% Λίγο: 31% Πολύ: 44,8% Πάρα πολύ: 6,9%	Καθόλου: 7,1% Πολύ λίγο: 3,6% Λίγο: 39,3% Πολύ: 35,7% Πάρα πολύ: 14,3%	2,378	2,465	+0,087 (+3,65%)
Αν στα μαθήματα που διδάσκουν αν υπάρχει κάποια σχέση ή αν περιλαμβάνονται ενότητες που να σχετίζονται με το διάστημα	Δεν είμαι σίγουρος/η: 34,5% Πολύ λίγο: 27,6% Λίγο: 20,7% Πολύ: 13,8% Πάρα πολύ: 3,4%	Δεν είμαι σίγουρος/η: 17,9% Πολύ λίγο: 10,7% Λίγο: 39,3% Πολύ: 21,4% Πάρα πολύ: 10,7%	1,24	1,963	+0,723 (+58,3%)
Αν κατά τη γνώμη τους τα μαθήματα που διδάσκουν θα μπορούσαν να ωφεληθούν από την ενσωμάτωση εκπαιδευτικού υλικού ή/και δραστηριοτήτων σχετικών με το διάστημα	Δε γνωρίζω: 17,2% Σίγουρα όχι: 0% Μάλλον όχι: 37,9% Μάλλον ναι: 31% Σίγουρα ναι: 13,8%	Δε γνωρίζω: 14,3% Σίγουρα όχι: 3,6% Μάλλον όχι: 7,1% Μάλλον ναι: 42,9% Σίγουρα ναι: 32,1%	2,24	2,749	+0,509 (+22,7%)

Στο ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10 προκύπτει πως το 72,4 % των συμμετεχόντων θεωρούν ότι η έλλειψη ενημέρωσης/επιμόρφωσης αποτελεί το μεγαλύτερο εμπόδιο στην ενσωμάτωση στην εκπαίδευση. Για το 51,7% εμπόδιο αποτελεί η έλλειψη κατάλληλου εκπαιδευτικού υλικού και ακολουθεί με 44.8% το έλλειμμα στην κατάρτιση των εκπαιδευτικών.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: Απόψεις των συμμετεχόντων για τα εμπόδια της ενσωμάτωσης του Διαστήματος στην Εκπαιδευτική διαδικασία.

Σύμφωνα με το ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11 σημειώνεται βελτίωση της εικόνας των συμμετεχόντων για τη σχέση της εκπαίδευσης με το διάστημα- των σχετικών γεωχωρικών τεχνολογιών- μετά την ενημέρωση για τις δυνατότητες και ευκαιρίες που προσφέρουν. Το ποσοστό αυξήθηκε κατά 78%, πολύ έως πάρα πολύ.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: Ποσοστό του βαθμού βελτίωσης της εικόνας των συμμετεχόντων για τη σχέση εκπαίδευσης – διαστήματος (και των σχετικών γεωχωρικών τεχνολογιών) μετά την ενημέρωση.

Οι γεωχωρικές τεχνολογίες είναι ευρέως διαθέσιμες και προσβάσιμες στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων όλων των ηλικιών. Οι άνθρωποι έρχονται σε επαφή με αυτές από τη χρήση ή την απεικόνιση χωρικών πληροφοριών, μέσω κινητών τηλεφώνων και άλλων φορητών συσκευών, οι οποίες φέρουν για παράδειγμα πλοηγούς ή άλλες εφαρμογές, όπως το Google Earth™. Ωστόσο, η γνώση της συλλογής και διαχείρισης πληροφοριών σχετικά με γεωγραφικά και γεωεπιστημονικά θέματα μέσω σύγχρονων και υψηλής τεχνολογίας πηγών, όπως οι δορυφόροι, είναι μια ανάγκη που το εκπαιδευτικό σύστημα καλείται να καλύψει (Δρακάτου κ.ά., 2017).

Η χρήση της Τηλεπισκόπησης και η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων μέσω των GIS βοηθούν τους μαθητές όλων των βαθμίδων εκπαίδευσης να απεικονίσουν, να αξιολογήσουν και να καταλήξουν σε συμπεράσματα, σχετικά με περιβαλλοντικά, γεωγραφικά και χωρικά δεδομένα (Makinster et al., 2014). Ένα ακόμα πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση δορυφορικών εικόνων ή εικόνων από μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι η ικανότητα των μαθητευομένων να αναπτύξουν την χωρική τους σκέψη, δηλαδή να κατανοήσουν την εικόνα της Γης από ψηλά και να μπορούν να ερμηνεύσουν την απεικόνιση αυτής (Goodchild 2006, Δρακάτου κ.α. 2017). Γενικά, η ενσωμάτωση των τεχνολογιών της Τηλεπισκόπησης στην εκπαίδευση, μπορεί να υποστηρίξει την ανάπτυξη εμπλουτισμένου μαθησιακού περιβάλλοντος, το οποίο προωθεί δεξιότητες υψηλής διανόησης, ουσιαστικής μάθησης και επιστημονικής έρευνας (Bowman 2015, Makinster et al. 2014, Κάβουρας κ.α. 2016), αλλά και να οδηγήσει σε μια διαφορετική προσέγγιση των θετικών επιστημών.

Η διαθεσιμότητα των πληροφοριών που παρέχονται από τηλεπισκοπικές εικόνες ποικίλει, ανάλογα και με την ανάλυση (χωρική, χρονική, φασματική) της εικόνας. Η διαθεσιμότητα αυτή περιορίζεται ακόμη περισσότερο όσον αφορά στη γεωλογική κληρονομιά, εκτός από τις περιπτώσεις κάποιας ιδιαίτερης (δημοφιλούς) τοποθεσίας. Η πλειοψηφία των γεωτόπων και ιδιαίτερα όσων βρίσκονται πιο μακριά από τις αστικές περιοχές, έχει γενικά απαιτήσεις μεγάλης ακρίβειας γεωχωρικών δεδομένων, αλλά χαμηλότερη διαθεσιμότητα σε εικόνες και ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα εδάφους υψηλής ανάλυσης. Συνεπώς, η μελέτη της χώρο-χρονικής μεταβολής τους πραγματοποιείται κυρίως με επίγεια ή εναέρια μέσα τηλεπισκόπησης.

Η ανάπτυξη των ΣμηΕΑ τα τελευταία χρόνια και η ικανότητά τους να φέρουν υψηλής ανάλυσης κάμερες, τα μετατρέπει σε πολύ χρήσιμα εργαλεία, με εφαρμογή σε διάφορα επιστημονικά πεδία. Τα ΣμηΕΑ μπορούν να λαμβάνουν εικόνες κατακόρυφα ή υπό γωνία, σε διάφορες κλίμακες, οι οποίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το ύψος πτήσης τους. Χρησιμοποιώντας τα για τη μελέτη γεωτόπων, μπορούν να παρέχουν πανοραμικές εικόνες ή να απεικονίζουν τον περιβάλλοντα χώρο με επίκεντρο την υπό μελέτη θέση (Santos et al., 2018). Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν έναν καταλυτικό ρόλο στη χαρτογράφηση γεωτόπων. Είναι μια εναλλακτική, χαμηλού κόστους επιλογή, για τη συλλογή υψηλής ανάλυσης δεδομένων στις δύο ή τρεις διαστάσεις. Επίσης, η ραγδαία ανάπτυξη εργαλείων συλλογής, επεξεργασίας και ανάλυσης τέτοιων γεωχωρικών δεδομένων προσφέρει πολλά στη διαχείριση των γεωπάρκων, όχι μόνο στη χαρτογράφηση αλλά και στη λήψη αποφάσεων για τη διατήρηση, προστασία και προώθηση αυτών (Papadopoulou et al., 2022).

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές λείζερ χρησιμοποιούνται σε νέες μεθόδους μέτρησης όγκων και εξέτασης φυσικών χαρακτηριστικών της Γης. Αν και η χαρτογράφηση και η μέτρηση της Γης πραγματοποιείται εκατοντάδες χρόνια τώρα, η χρήση αυτών των εργαλείων δίνει ταχύτητα και ακρίβεια στη διαδικασία. Παρέχουν τη δυνατότητα λήψης εκατομμυρίων μετρήσεων σε μερικά δευτερόλεπτα με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Η τεχνολογία 3D σάρωσης

με λέιζερ εφαρμόζεται χωρίς επαφή με το αντικείμενο παρατήρησης, ως μη καταστροφική μέθοδος, η οποία καταγράφει ψηφιακά το σχήμα φυσικών αντικειμένων, χρησιμοποιώντας μια δέσμη φωτός λέιζερ. Οι σαρωτές δημιουργούν δεδομένα με τη μορφή «νεφών σημείων» (point clouds) από την επιφάνεια ενός φυσικού αντικειμένου, αποτυπώνοντας το ακριβές μέγεθος και το σχήμα του στον κόσμο του υπολογιστή, ως ψηφιακή τρισδιάστατη αναπαράσταση (Mohamed, 2018).

Η χρήση του τρισδιάστατου (3D) σαρωτή λέιζερ στη μεγάλη κλίμακα, μπορεί να εφαρμοστεί για τη σάρωση ενός μικρότερου αντικειμένου, όπως ένα απολίθωμα ή ένα ορυκτό. Μέσω αυτής της διαδικασίας θα παραχθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο, με στόχο την μελέτη αυτού για εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς σκοπούς, χωρίς να τίθεται για παράδειγμα το απολίθωμα σε «κίνδυνο» με την συνεχή έκθεσή του. Σαρώνοντάς το ανά τακτά διαστήματα (ανάλογα την έκθεση και χρήση του) μπορεί να δημιουργηθεί μια ψηφιακή βιβλιοθήκη αυτού του αντικειμένου και να παρατηρούνται οι επιπτώσεις που θα έχει σε αυτό. Αρά να μπορεί να γίνει σύγκριση με το αρχικό και να προταθούν κατάλληλα μέτρα προστασίας και συντήρησης του. Επιπλέον μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να παραχθεί αντίγραφο του που να εκτείνεται ώστε να προστατευτεί το φυσικό αντικείμενο. Επιπλέον, μέσω του ψηφιακού αρχείου δίνεται η δυνατότητα να “μοιραστεί” η μελέτη και η γνώση πιο εύκολα σε όλα τα μήκη και πλάτη της γης.

Η περίοδος της πανδημίας (2020-2022), λόγω περιορισμών των εκ του σύνεγγυς συναντήσεων (συνέδρια, εργασιών πεδίου), καθώς και των εκπαιδευτικών και τουριστικών δραστηριοτήτων, έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη τεχνικών τρισδιάστατης απεικόνισης θέσεων και αντικειμένων με γεωλογικό ενδιαφέρον. Η τρισδιάστατη απεικόνιση αναπαριστά πιο ρεαλιστικά τις διάφορες πληροφορίες. Έτσι, το κοινό, το οποίο δεν είναι εξοικειωμένο με την επιστήμη της Γης, δύναται να έχει μια πιο «καθαρή» εικόνα της πραγματικότητας. Συναφείς τεχνολογικές εφαρμογές, που προάγουν την γεωγραφική γνώση και είναι ελεύθερα διαθέσιμες στο ευρύ κοινό, όπως το Google Earth™, είναι μάλιστα σχετικά εύκολο στους χρήστες.

Τα τρισδιάστατα μοντέλα είναι γενικά πολύ χρήσιμα, γιατί πολύ εύκολα γίνονται αντιληπτές οι διαστάσεις τους, το σχήμα και η μορφή τους. Γι' αυτό έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν στην εκπαιδευτική διαδικασία. Η χρήση τους στην εκπαίδευση των Γεωεπιστημών βοηθά στην άμεση κατανόηση διαδικασιών (π.χ. διάβρωση), τη μορφή οργανισμών που δεν υπάρχουν πια (απολιθώματα), αλλά και την κρυσταλλική δομή των ορυκτών. Συνεπώς, η εκτύπωση αυτών των μοντέλων μετατρέπει τη διδασκαλία και την έρευνα σε πιο αποτελεσματική και πιο προσιτή στους μαθητές, αποτελώντας ταυτόχρονα και ένα δυναμικό εργαλείο για τον δάσκαλο (Hasiuk, 2014).

Σε πολλές συλλογές μουσείων σε ολόκληρο τον κόσμο δεν εκθέτουν τα πραγματικά γεωλογικά αντικείμενα, όπως απολιθώματα ή ορυκτά, αλλά αντίγραφα αυτών, κάτι που αποτελεί μια εξαιρετική λύση για την περίπτωση των σπάνιων και ιδιαίτερων αντικειμένων. Τα πλαστικά αντίγραφα είναι χρήσιμα κυρίως σε περιπτώσεις μεγάλων σκελετών, όπως ενός δεινοσαύρου, τα οποία στη πραγματική τους μορφή μπορεί να είναι ημιτελή αλλά και πολύ βαριά. Το τεχνητό προϊόν που προκύπτει αποτελεί μια εκπαιδευτική και επιστημονική πηγή, γιατί προστατεύει το πραγματικό δείγμα από την καταστροφή. Επιπλέον μπορεί να θεωρηθεί ένα χρηματικά οικονομικό καλλιτεχνικό προϊόν (De Miguel, 2021) ή αναμνηστικό ενθύμιο από την επίσκεψη στο μουσείο. Συνεπώς, η σάρωση και η τρισδιάστατη εκτύπωση αυτών των αντικειμένων αποτελεί μια ακόμα λύση για εκπαιδευτικούς, επιστημονικούς, τουριστικούς και αισθητικούς σκοπούς.

Εικόνες από μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality/VR). Ο συνδυασμός των πανοραμικών εικόνων ΣμηΕΑ με τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα μπορεί να συμβάλει στην

προώθηση της γεωλογικής κληρονομιάς και στον τρόπο που παρουσιάζονται οι σχετικές με αυτήν πληροφορίες. Μπορούν να αναπτυχθούν εικονικές διαδρομές για την ενίσχυση των εμπειριών. Αυτές οι δυνατότητες μπορούν να αξιοποιηθούν για εκπαιδευτικούς, καθώς και για τουριστικούς σκοπούς, γιατί αναπαριστούν τις γεωλογικές ή γεωμορφολογικές πτυχές μιας θέσης και προωθούν τη γεωλογική κληρονομιά (Santos et al., 2018).

Αναφορικά με τη (επίγεια) φασματοραδιομετρία, η λογική εφαρμογής της είναι αντίστοιχη με αυτή των οπτικών δορυφορικών εικόνων, με διαφοροποίηση ως προς τη χρησιμότητα στα διαφορά στάδια διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς. Έτσι, οι περισσότερες γεωλογικές εφαρμογές της φασματοραδιομετρίας εστιάζουν στη χρήση του ορατού, εγγύς υπέρυθρου και βραχέως υπέρυθρου μήκους κύματος, (Zhao et al., 2018) προσφέροντας μια απλή, μη καταστροφική, γρήγορη και αποτελεσματική προσέγγιση. Η τελευταία συμπληρώνει τις παραδοσιακές και πολυπλοκότερες γεωχημικές μεθόδους, για τον χαρακτηρισμό ορυκτών και υφών πετρωμάτων. Διευκολύνει έτσι τη μελέτη γεωλογικών διεργασιών, την αναζήτηση φυσικών πόρων και την ανακατασκευή παλαιοπεριβαλλόντων και παλαιοκλιμάτων. (Ramakrishnan & Bharti 2015, Zhao et al. 2018)

Άρα, οι τηλεπισκοπικές εικόνες και η τρισδιάστατη εκτύπωση/απεικόνιση που χρησιμοποιούνται για την διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς, μπορούν να βρουν εφαρμογή στη διδασκαλία αλλά και στην έρευνα. Δίνεται έτσι η δυνατότητα σε πολλούς ανθρώπους να έρθουν σε επαφή με σπουδαία ή σπάνια ευρήματα, σε μορφή τρισδιάστατης εκτύπωσης/απεικόνισης, αλλά και να εξετάσουν μεγάλους γεωτόπους ή γεωπάρκα, μέσω δορυφορικών εικόνων, παρατηρώντας για παράδειγμα διαχρονικές μεταβολές ή την κλιματική επιρροή σε αυτά.

7.1 ΕΘΝΙΚΗ (Η ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ) ΚΛΙΜΑΚΑ

Η εθνική κλίμακα αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της διατριβής. Η κλίμακα αυτή βασίστηκε στην ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων, η οποία συγκεντρώνει θέσεις γεωλογικού ενδιαφέροντος. Οι θέσεις αυτές αποτελούν μέρος της γεωλογικής κληρονομιάς της Ελλάδος και παρουσιάζεται η χωρική τους υπόσταση, αλλά και κάποιες βασικές τους πληροφορίες. Μεθοδολογικά, τα αποτελέσματα αφορούν αντίστοιχες ή μικρότερες κλίμακες (όχι απαραίτητα σε εθνικό επίπεδο) και ως εκ τούτου μπορούν να εφαρμοστούν σε περιφερειακό ή παγκόσμιο επίπεδο, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων γεωχωρικών δεδομένων.

Η βάση γεωλογικής κληρονομιάς αναπτύχθηκε σε περιβάλλον GIS κι αυτό αποτελεί ένα σημείο τομής με τη μικρή κλίμακα μελέτης. Ωστόσο, σε συνδυασμό με τα DEM, η βάση χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της πρόβλεψης ανόδου της στάθμης της θάλασσας στα επόμενα 100 χρόνια και πώς αυτό θα επηρεάσει, σε όλη την Ελλάδα, τις παραθαλάσσιες περιοχές, οι οποίες αποτελούν ή περιλαμβάνουν στοιχεία γεωλογικής κληρονομιάς. Τονίζεται, ότι για τον ίδιο σκοπό μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε άλλο ακριβέστερο DEM είναι/γίνει διαθέσιμο στο μέλλον. Επιπλέον, μελετήθηκε η αλλαγή χρήσης γης σε μια μικρή απόσταση από θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς για όλη τη χώρα. Αντίθετα, στη μικρή κλίμακα, αξιοποιώντας και τη γεωβάση, η μελέτη εστίασε στη Νήσο Μήλο, η οποία αποτελεί μια περιοχή με πολλές γεωλογικές ιδιαιτερότητες και για αυτό κι επιλέχθηκε.

Στη μελέτη εθνικής κλίμακας, η συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των GIS αφορά στα διαχειριστικά στάδια του εντοπισμού και οριοθέτησης της γεωλογικής κληρονομιάς. Επιπλέον, συμβάλλουν στην παρακολούθηση των θέσεων ενδιαφέροντος, μέσω της διαχρονικής αποτύπωσης και μελέτης μέτρων προστασίας και πρόβλεψης πιθανών

μελλοντικών προβλημάτων. Στη συνολική εικόνα που μπορεί να προκύψει από το δυναμικό εργαλείο της βάσης, κάθε θέση γεωκληρονομιάς μπορεί να αξιολογείται σε τοπικό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα για την αξιοποίηση τους και προβολή για εκπαιδευτικούς, επιστημονικούς και τουριστικούς σκοπούς.

Η τελευταία δυνατότητα είναι χρήσιμη σε δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς, γιατί μπορούν να γνωρίσουν θέσεις με γεωλογικό ενδιαφέρον στην περιοχή τους και να τις εντάξουν σε τουριστικές διαδρομές ή θεματικές διαδρομές. Επιπλέον, είναι σημαντικό για τις τοπικές κοινωνίες να γνωρίζουν τη γεωλογική εξέλιξη της περιοχής τους και να περνάει αυτή η γνώση από γενεά σε γενεά, γιατί αποτελεί μέρος της παράδοσης τους. Μπορούν επίσης να αναπτυχθούν διαδρομές συνδεδεμένες με μύθους ή παραδόσεις, με τοπικές γεύσεις και να αναπτυχθούν οι τοπικές κοινωνίες συνολικά.

Η βάση δεδομένων γεωλογικής κληρονομιάς αναφέρεται ως δυναμικό εργαλείο, γιατί αναδεικνύει πάσης φύσεως θέσεις με γεωλογικό ενδιαφέρον. Εμπλουτίζεται συνεχώς και διορθώνεται όταν κρίνεται απαραίτητο, ώστε τελικά να είναι αξιοποιήσιμη (και) από τοπικούς φορείς, με στόχο τη γνωστοποίηση των θέσεων αυτών στο ευρύ κοινό, καθώς και την ανάπτυξη του αισθήματος ευθύνης των πολιτών στη διατήρηση των στοιχείων γεωλογικής κληρονομιάς στις επόμενες γενεές. Η εκπαίδευση και η ευαισθητοποίηση - πρώτα σε τοπικό και μετά σε εθνικό επίπεδο- είναι μείζονος σημασίας για την προστασία τοποθεσιών, οι οποίες αποτελούν χαρακτηριστικά σημεία παρουσίας της γεωλογικής εξέλιξης του πλανήτη.

Στον ακόλουθο πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 9) παρουσιάζονται τα στάδια διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς, στα οποία μπορούν κατά περίπτωση να συμβάλουν η Τηλεπισκόπηση και τα GIS στην εθνική κλίμακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Στάδια διαχείρισης γεωκληρονομιάς στα οποία συμβάλουν η Τηλεπισκόπηση και τα GIS στην εθνική κλίμακα

Εθνική Κλίμακα	
Στάδια Διαχείρισης	Συμβολή Τηλεπισκόπησης & GIS
Εντοπισμός (έρευνα, ανασκαφή θέσεων ενδιαφέροντος)	✓
Οριοθέτηση (Χωρικός περιορισμός θέσης μελέτης ή θέσης εύρεσης αντικειμένου μελέτης)	✓
Χαρτογράφηση-Καταγραφή / Σάρωση	✗
Ερμηνεία (Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών)	✗
Προστασία (συντήρηση και προσδιορισμός μέτρων προστασίας)	✓
Παρακολούθηση (της διαχρονικής εξέτασης του υπό μελέτη στοιχείου όσο και έλεγχο της αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας που έχουν εφαρμοστεί)	✓
Μέτρα ανάδειξης - Δημιουργία έργων πρόσβασης & υπαίθριων πάρκων	✓
Αξιολόγηση	✓
Αξιοποίηση (εκπαιδευτικούς, τουριστικούς, πολιτιστικούς σκοπούς)	✓
Προβολή (στοχεύει στην ανάδειξη και γνωστοποίηση των θέσεων αυτών)	✓

7.2 ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Για τη μελέτη της συμβολής της Τηλεπισκόπησης και των GIS στη διαχείριση της μικρής κλίμακας γεωλογικής κληρονομιάς χρησιμοποιήθηκε η διαστημική (κυρίως δορυφορική) Τηλεπισκόπηση. Οι δορυφόροι, που αποτελούν τα εργαλεία λήψης πληροφοριών ανάλογα με τον εξοπλισμό (αισθητήρες) που φέρουν, καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία ανακλάται, σκεδάζεται ή εκπέμπεται από τους στόχους μελέτης. Η πληροφορία αυτή, συνηθέστερα, με τη μορφή εικόνας ή ως άλλα δεδομένα (π.χ. DEM), είναι πολυδιάστατη και προσφέρει τη δυνατότητα διερεύνησης του φυσικού, γεωλογικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

Για την εξέταση της συμβολής της Τηλεπισκόπησης και των GIS στη διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς στη μικρή κλίμακα μελετήθηκε η περιοχή της Νήσου Μήλου. Η μελέτη αφορούσε στη θερμική ανωμαλία του νησιού, τη διάβρωση σε κάποιες περιοχές, τη διαδικασία παρατήρησης της αποκατάστασης του τοπίου (βλάστηση) σε θέσεις εκμετάλλευσης και την παραμόρφωση που μπορεί να υφίσταται κατά τόπους. Για την διεξαγωγή της μελέτης οι πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες, τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα και τα δεδομένα ραντάρ που χρησιμοποιήθηκαν, αξιοποιήθηκαν σε συνέργεια με τις δυνατότητες των GIS, τα οποία ήταν και τα κύρια εργαλεία για την επεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Παρατηρείται, ότι η συμβολή τόσο της Τηλεπισκόπησης όσο και των GIS είναι σημαντική σε όλα τα στάδια της διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα εντοπισμού νέων πιθανών γεωθερμικών πεδίων, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν π.χ. για τουριστικούς σκοπούς. Επίσης, τόσο οι αρχαίες όσο και οι σύγχρονες θέσεις εκμετάλλευσης (λατομεία, ορυχεία, μεταλλεία) αποτελούν μέρος της γεωλογικής κληρονομιάς, λόγω των πληροφοριών που προσφέρουν. Η εκ του μακρώθεν παρατήρησή τους συμβάλλει στα στάδια διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς. Συγκεκριμένα στην οριοθέτηση, χαρτογράφηση παρακολούθηση και προβολή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παρακολούθηση της αποκατάστασης του τοπίου σε θέσεις εκμετάλλευσης, όπως είναι τα ορυχεία και τα μεταλλεία, τα οποία βάσει της νομοθεσίας θα πρέπει να υπόκεινται σε καθεστώς αποκατάστασης μετά το πέρας της χρήσης τους.

Ιδιαίτερα για το στάδιο της παρακολούθησης, εξετάστηκε και η συμβολή των πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης δορυφορικών εικόνων, τόσο των ελεύθερα διαθέσιμων (Google Earth™) όσο και των εμπορικών, με την παρατήρηση της διαχρονικής διάβρωσης της ακτής του Σαρακήνικου και της βραχοδομής του Κλέφτικου. Η μελέτη αυτή δε προσφέρει κάτι καινούργιο, γιατί η διαχρονική σύγκριση μιας ακτογραμμής με δορυφορικά δεδομένα έχει μελετηθεί αρκετά στο παρελθόν. Ωστόσο, αυτό που προσπαθεί να τονίσει η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι το κατά πόσο η χωρική ανάλυση έχει καθοριστικό ρόλο στην παρατήρηση μέσω δορυφορικών εικόνων. Στις εικόνες χαμηλής ανάλυσης, η χάραξη της μεταβολής της μορφολογίας μιας ακτής είναι συνήθως ανεπαρκής, εκτός αν οι μεταβολές της ακτογραμμής είναι πολύ μεγάλες. Αναφορικά με την παρακολούθηση της παραμόρφωσης, μπορούν να εντοπιστούν θέσεις γεωκληρονομιάς που κινδυνεύουν (π.χ. από κατάρρευση).

Η ανάλυση των εικόνων για τις πιο πρόσφατες χρονολογίες βελτιώνεται συνεχώς, ωστόσο ασάφεια στη χάραξη προκαλεί και ο κυματισμός της θάλασσας, αλλά και η διαφορετική γωνία λήψης κάθε δορυφορικής εικόνας με τη δημιουργία σκιών, που αλλοιώνουν την αναγνώριση της μορφολογίας. Η λύση είναι να λαμβάνονται εικόνες από τον ίδιο δορυφόρο, με την ίδια γωνία λήψης, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ασάφεια. Φυσικά, η διαθεσιμότητα/αγορά πολύ υψηλής ανάλυσης εικόνων και η μεγάλη συχνότητα λήψης τους (ακόμα και κάθε μέρα) μπορούν να δίνουν κατά περίπτωση σημαντικά δεδομένα για τις όποιες αλλαγές.

Στο στάδιο της αξιοποίησης και της προβολής μπορεί να συμβάλλει το λογισμικό Google Earth Studio™ (ή αντίστοιχα λογισμικά/εφαρμογές), το οποίο διατίθεται ελεύθερα. Μέσω αυτού, είναι δυνατή η ανάπτυξη βίντεο και η παρουσίαση των θέσεων ενδιαφέροντος, όπου η πρόσβαση ή οι εν γένει συνθήκες είναι προβληματικές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περιοχή των Θειωρυχείων, στην περιοχή Παλιορέματος της ΝΑ πλευράς του νησιού. Οι πλαγιές της ρεματιάς αποτελούνται από παλιές στοές απόληψης θειαιφίου και στυπτήρια (Jones and Hall 2010, Voudouris et al. 2014). Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (§ 3.2) η αξία του θείου ήταν γνωστή από την αρχαιότητα γι' αυτό οι τρόποι παραγωγής και επεξεργασίας τους καθώς και η αρχιτεκτονική και η λιθοδόμηση των κτιρίων της περιοχής καθιστούν τα Θειωρυχεία σημαντικό μνημείο της βιομηχανικής κληρονομιάς

της Ελλάδος. Παρ' αυτά είναι δύσκολη έως επικίνδυνη η επίσκεψη στο χώρο λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, της έλλειψης εξαερισμού στις στοές και των αναθυμιάσεων. Συνεπώς, δεν είναι εύκολη η ξενάγηση στο χώρο, άρα με τη χρήση αυτού του εργαλείου ο επισκέπτης μπορεί να δει και να μάθει για τα Θειωρυχεία με ασφάλεια. Εξάλλου, με τη χρήση του εν λόγω λογισμικού, δίνεται η δυνατότητα προβολής της θέσης με οπτικό υλικό, χωρίς να χρειάζεται η επί τόπου παρουσία του δημιουργού.

Τα προβλήματα που προέκυψαν από τη χρήση των δυο λογισμικών (Google Earth Studio™ και Google Earth™) είναι, ότι η ανάλυση της εικόνας που προσφέρεται είναι μεν υψηλή αλλά η ανάλυση του αναγλύφου είναι σχετικά χαμηλή, συνεπώς το τελικό αποτέλεσμα δεν είναι το βέλτιστο. Συγκεκριμένα, δεν είναι δυνατή η αποτύπωση του αναγλύφου σε παραθαλάσσιες περιοχές γιατί βρίσκονται στο επίπεδο της θάλασσας. Επιπλέον στα Θειωρυχεία δεν αποτυπώνονται τα χαρακτηριστικά των κτιρίων που βρίσκονται στις πλαγιές του ρέματος. Δεν είναι δυνατή η κατανόηση του ύψους και το μόνο που γίνεται αντιληπτό είναι το σχήμα και το μέγεθος.

Στον ακόλουθο πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 10) παρουσιάζονται τα στάδια διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς, στα οποία μπορούν κατά περίπτωση να συμβάλουν η Τηλεπισκόπηση και τα GIS στη μικρή κλίμακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Στάδια διαχείρισης γεωκληρονομιάς στα οποία συμβάλουν η Τηλεπισκόπηση και τα GIS στη μικρή κλίμακα

Μικρή Κλίμακα		
Στάδια Διαχείρισης	Συμβολή Διαστημικής Τηλεπισκόπησης	Συμβολή GIS
Εντοπισμός (έρευνα, ανασκαφή θέσεων ή αντικειμένων ενδιαφέροντος)	✓	✓
Οριοθέτηση (Χωρικός περιορισμός θέσης μελέτης ή θέσης εύρεσης αντικειμένου μελέτης)	✓	✓
Χαρτογράφηση-Καταγραφή / Σάρωση	✓	✓
Ερμηνεία (Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών)	✓	✓
Προστασία (συντήρηση και προσδιορισμός μέτρων προστασίας)	✓	✓
Παρακολούθηση (της διαχρονικής εξέτασης του υπό μελέτη στοιχείου όσο και τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας που έχουν εφαρμοστεί)	✓	✓
Μέτρα ανάδειξης - Δημιουργία έργων πρόσβασης & υπαίθριων πάρκων	✓	✓
Αξιολόγηση	✓	✓
Αξιοποίηση (εκπαιδευτικούς, τουριστικούς, πολιτιστικούς σκοπούς)	✓	✓
Προβολή (στοχεύει στην ανάδειξη και γνωστοποίηση των θέσεων αυτών)	✓	✓

7.3 ΜΕΣΑΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ

Για τη μελέτη της συμβολής της Τηλεπισκόπησης και των GIS στη διαχείριση της μεσαίας κλίμακας γεωλογικής κληρονομιάς χρησιμοποιήθηκαν εναέριοι σαρωτές και επίγειοι σαρωτές λείζερ. Όπως προέκυψε από τη μελέτη, η χρήση των GIS δε βρίσκει κάποια

ιδιαίτερη εφαρμογή σε αυτή τη κλίμακα. Ωστόσο, η Τηλεπισκόπηση συμβάλλει σε κάποια στάδια διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς. Μελετώντας αρχικά την συμβολή της εναέριας Τηλεπισκόπησης, παρατηρείται, ότι βοηθά σε όλα τα στάδια της διαχείρισης. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη προσφέρουν αμεσότητα, υψηλή ταχύτητα εκτέλεσης των σαρώσεων και κάλυψη μεγάλων εκτάσεων. Η υψηλής ποιότητας αποτυπώσεις ψηφιακών εικόνων σε συνδυασμό με φωτογραμμετρικές μεθόδους, δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων, βελτιώνοντας τις αποτυπώσεις γεωτόπων.

Σε αυτήν την περίπτωση, η Τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο στάδιο της έρευνας μιας θέσης γεωλογικού ενδιαφέροντος, στην οριοθέτηση της περιοχής της, στη χαρτογράφηση αυτής και στην ερμηνεία της ως προς τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της. Επιπλέον, μπορεί να συμβάλλει στην πρόταση μέτρων προστασίας και παρακολούθησης τόσο των ίδιων των μέτρων όσο και της χωρο-χρονικής εξέλιξης της τοποθεσίας.

Μελετώντας τη θέση με την εναέρια μορφή Τηλεπισκόπησης, μπορούν να προταθούν και τρόποι ανάδειξής της, μέσω κατάλληλων μέσων πρόσβασης, σημείων σήμανσης ή θέσεων θέασης, αν αυτό ενδείκνυται. Τέλος, η αξιολόγηση, αξιοποίηση και προβολή της θέσης ενδιαφέροντος είναι τα τρία τελικά στάδια της διαχείρισης, στα οποία η εναέρια Τηλεπισκόπηση μπορεί να συμβάλλει. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της τρισδιάστατης αποτύπωσης, γιατί βοηθά στην πιο εμπειριστατωμένη αξιολόγηση της, την αξιοποίηση της για εκπαιδευτικούς και επιστημονικούς σκοπούς, εφόσον μπορούν να μελετηθούν καλύτερα φαινόμενα διαχρονικής εξέλιξης (όπως η διάβρωση που μπορεί να υφίσταται), η μορφολογία του αναγλύφου, αλλά και για τουριστικούς σκοπούς, αναπτύσσοντας εικονικές περιηγήσεις στο χώρο. Τέλος, μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης μέρους της περιοχής ενδιαφέροντος ή και ολόκληρης της τοποθεσίας, μπορεί π.χ. να δημιουργηθεί ένα αναμνηστικό αντικείμενο.

Όσον αφορά στην επίγεια Τηλεπισκόπηση, τα στάδια του εντοπισμού και οριοθέτησης δεν είναι αυτά, στα οποία μπορεί να συμβάλλει. Ωστόσο, η σάρωση και πιο εστιασμένη ερμηνεία της θέσης ενδιαφέροντος είναι στάδια, στα οποία η συμβολή της είναι πολύ σημαντική. Επιπλέον, λόγω της πιο μεγάλης κλίμακας, στην οποία χρησιμοποιείται αυτός ο τύπος Τηλεπισκόπησης, δίνει τη δυνατότητα για την πρόταση πιο στοχευμένων μέτρων προστασίας. Ωστόσο, δε συμβάλλει στο στάδιο των μέτρων ανάδειξης, αλλά στην αξιολόγηση, αξιοποίηση και προβολή, μέσω της τρισδιάστατης απεικόνισης και εκτύπωσης.

Στον ακόλουθο πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 11) παρουσιάζονται τα στάδια διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς στα οποία μπορούν κατά περίπτωση να συμβάλουν η Τηλεπισκόπηση και τα GIS στη μεσαία κλίμακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Στάδια διαχείρισης γεωκληρονομιάς στα οποία συμβάλουν η Τηλεπισκόπηση και τα GIS στη μεσαία κλίμακα

Μεσαία Κλίμακα			
Στάδια Διαχείρισης	Συμβολή Εναέριας Τηλεπισκόπησης	Συμβολή Επίγειας Τηλεπισκόπησης	Συμβολή GIS
Εντοπισμός (έρευνα, την ανασκαφή θέσεων ή αντικειμένων ενδιαφέροντος)	✓	✗	✗
Οριοθέτηση (Χωρικός περιορισμός θέσης μελέτης ή θέσης εύρεσης αντικειμένου μελέτης)	✓	✗	
Χαρτογράφηση-Καταγραφή / Σάρωση	✓	✓	
Ερμηνεία (Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών)	✓	✓	
Προστασία (συντήρηση και προσδιορισμός μέτρων προστασίας)	✓	✓	
Παρακολούθηση (της διαχρονικής εξέτασης του υπό μελέτη στοιχείου όσο και τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας που έχουν εφαρμοστεί)	✓	✓	
Μέτρα ανάδειξης - Δημιουργία έργων πρόσβασης & υπαίθριων πάρκων	✓	✗	
Αξιολόγηση	✓	✓	
Αξιοποίηση (εκπαιδευτικούς, τουριστικούς, πολιτιστικούς σκοπούς)	✓	✓	
Προβολή (στοχεύει στην ανάδειξη και γνωστοποίηση των θέσεων αυτών)	✓	✓	

7.4 ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Για τη μελέτη της συμβολής της Τηλεπισκόπησης και των GIS στη διαχείριση της μεγάλης κλίμακας γεωλογικής κληρονομιάς χρησιμοποιήθηκαν επίγειοι σαρωτές λέιζερ. Όπως

προέκυψε από τη μελέτη, η χρήση των GIS δε βρίσκει εφαρμογή σε αυτή τη κλίμακα. Ωστόσο, η Τηλεπισκόπηση συμβάλλει σε κάποια στάδια διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς. Για την μεγάλης κλίμακας γεωλογική κληρονομιά, που αντιστοιχεί σε απολιθώματα και πετρώματα τα στάδια του εντοπισμού και οριοθέτησης δεν μπορούν να εξεταστούν. Η συμβολή της Τηλεπισκόπησης σημειώνεται στο στάδιο της σάρωσης του αντικειμένου και στην ερμηνεία αυτού. Από τη σάρωση του αντικειμένου προκύπτει η τρισδιάστατη απεικόνιση του, συνεπώς μπορούν να προταθούν μέτρα προστασίας αλλά και να εξετάζεται η εξέλιξη των μέτρων ή ακόμα και η επίδραση του περιβάλλοντος σε αυτό (στάδιο παρακολούθησης). Επιπλέον συμβάλλει στην αξιολόγηση του, ως προς τις πληροφορίες που προσφέρει το εκάστοτε αντικείμενο. Τέλος, στα στάδια της αξιοποίησης και προβολής των αντικειμένων, η Τηλεπισκόπηση έχει καθοριστικό ρόλο για σκοπούς εκπαιδευτικούς, επιστημονικούς και τουριστικούς.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της επίγειας τηλεπισκόπησης στη μεγάλη κλίμακα συμβάλλουν στη διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς, στα στάδια της διαχρονικής προστασίας και της αξιοποίησης για σκοπούς ερευνητικούς, εκπαιδευτικούς και τουριστικούς. Συγκεκριμένα, συμβάλλουν στη μελέτη των ευρημάτων, εφόσον το αντικείμενο μπορεί να εκτυπωθεί σε φυσικές διαστάσεις και να μελετηθεί ταυτόχρονα από περισσότερους από έναν ερευνητές, καθώς και στην ερμηνεία των ευρημάτων (π.χ. απολιθωμάτων), ως προς τη σημασία τους για την κατανόηση του παλαιοπεριβάλλοντος και της παλαιογεωγραφίας μιας περιοχής. Στην προστασία και συντήρηση συμβάλλει η επίγεια τηλεπισκόπηση, εφόσον τα αντικείμενα μπορούν να σαρωθούν και να διατηρηθούν για τις μελλοντικές γενεές, αλλά και να προταθούν μέτρα συντήρησης και ανάδειξης. Έχει επίσης ρόλο στην προώθηση της επιστημονικής γνώσης, μέσω της δημοσιοποίησης αποτελεσμάτων, καθώς και της χρήσης τους σε μουσεία και εκθέσεις, όπου βοηθά με την εκπαιδευτική και τουριστική αξία των σαρωμένων (ψηφιακών ή/και εκτυπωμένων) αντικειμένων.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα από τη χρήση ψηφιακών μοντέλων στην εκπαίδευση, καθώς είναι φθηνή η παραγωγή τους και μπορούν εύκολα να διαμοιραστούν. Η απόκτηση αυτών των τρισδιάστατων μοντέλων μπορεί να ενταχθεί στη συλλογή ενός εικονικού μουσείου και να εξεταστούν, μελετηθούν ή είναι προσβάσιμα από ανθρώπους που δεν έχουν την δυνατότητα να επισκεφτούν τα μουσεία με φυσική παρουσία. Γνωστά μουσεία στο εξωτερικό, όπως τα Smithsonian Institute και Cyark, προσφέρουν αυτή τη δυνατότητα και παρέχουν διαδραστική εικονική περιήγηση, δημιουργώντας στον χρήστη μια συναρπαστική εμπειρία. Συνεπώς, η παραπάνω σάρωση και αποτύπωση μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί σε Μουσεία Φυσικής Ιστορίας, για την έκθεση των ορυκτών/πετρωμάτων και απολιθωμάτων τους.

Στον ακόλουθο πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 12) παρουσιάζονται τα στάδια διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς, στα οποία στα οποία μπορούν κατά περίπτωση να συμβάλουν η Τηλεπισκόπηση και τα GIS στη μεγάλη κλίμακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Στάδια διαχείρισης γεωκληρονομιάς στα οποία συμβάλουν η Τηλεπισκόπηση και τα GIS στη μεγάλη κλίμακα

Μεγάλη Κλίμακα		
Στάδια Διαχείρισης	Συμβολή Επίγειας Τηλεπισκόπησης	Συμβολή GIS
Εντοπισμός (έρευνα, την ανασκαφή θέσεων ή αντικειμένων ενδιαφέροντος)	X	X
Οριοθέτηση (Χωρικός περιορισμός θέσης μελέτης ή θέσης εύρεσης αντικειμένου μελέτης)	X	
Χαρτογράφηση-Καταγραφή / Σάρωση	✓	
Ερμηνεία (Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών)	✓	
Προστασία (συντήρηση και προσδιορισμός μέτρων προστασίας)	✓	
Παρακολούθηση (της διαχρονικής εξέτασης του υπό μελέτη στοιχείου όσο και τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας που έχουν εφαρμοστεί)	✓	
Μέτρα ανάδειξης - Δημιουργία έργων πρόσβασης & υπαίθριων πάρκων	✓	
Αξιολόγηση	✓	
Αξιοποίηση (εκπαιδευτικούς, τουριστικούς, πολιτιστικούς σκοπούς)	✓	
Προβολή (στοχεύει στην ανάδειξη και γνωστοποίηση των θέσεων αυτών)	✓	

7.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των Τηλεπισκοπικών δεδομένων, σε κατά περίπτωση συνέργεια με τα GIS, μπορούν να συμβάλλουν και στα τελευταία (ανώτερα) στάδια διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς, για επιστημονικούς, εκπαιδευτικούς, και τουριστικούς σκοπούς. Εν προκειμένω, τα αποτελέσματα των τεσσάρων πρώτων περιπτώσιολογικών μελετών αξιοποιήθηκαν στην εκπαιδευτική διαδικασία - συγκεκριμένα σε φοιτητές τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, αλλά και στην εκπαίδευση εκπαιδευτών–

υλοποιώντας ουσιαστικά μία ακόμη μελέτη περίπτωσης, η οποία καλύπτει τα ανώτερα στάδια διαχείρισης της γεωκληρονομιάς.

Αρχικά, στην περίπτωση των φοιτητών, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα των δυο ερωτηματολογίων, το ενδιαφέρον τους για το αντικείμενο της Γεωγραφίας, το διάστημα και τις σχετικές γεωχωρικές τεχνολογίες αυξήθηκε σημαντικά. Οι φοιτητές πλέον θεωρούν, πως οι δορυφορικές εικόνες αποτελούν ένα σημαντικό διδακτικό και ερευνητικό μέσο, που συμβάλει στο αντικείμενο της Γεωγραφίας, εφόσον από το 72,5 % (σίγουρα ναι) πριν την εκπαιδευτική παρέμβαση, ανήλθε στο 91,3% αμέσως μετά. Επίσης, το ποσοστό της συμβολής της τρισδιάστατης απεικόνισης/εκτύπωσης αρχικά ήταν 65% (σίγουρα ναι), ενώ μετά την παρουσίαση και παροχή αρκετών πληροφοριών και παραδειγμάτων τρισδιάστατης (3D) απεικόνισης και εκτύπωσης, το αντίστοιχο ποσοστό αυξήθηκε στο 84,8%. Η αλλαγή της άποψης των συμμετεχόντων για το αντικείμενο της Γεωγραφίας και των σχετικών τεχνολογιών γίνεται ξεκάθαρη, μέσω της τελευταίας ερώτησης του δεύτερου ερωτηματολογίου. Η πιο σημαντική ίσως παρατήρηση, ήταν πως βελτιώθηκε σημαντικά -σε ποσοστό 52,2% (πολύ) και 21,7% (πάρα πολύ), δηλαδή σε συνολικά άνω του 70% - η άποψη των φοιτητών και φοιτητριών σχετικά με το αντικείμενο της Γεωγραφίας και κατ' επέκταση αναγνωρίστηκε η συμβολή των δορυφορικών εικόνων και της τρισδιάστατης εκτύπωσης/απεικόνισης σε αυτό. Συνεπώς, μέσω των δορυφορικών εικόνων και των τρισδιάστατων μοντέλων, αναπτύσσεται πολύ καλύτερα η χωρική σκέψη και η αντίληψη της επιφάνειας της Γης.

Όσον αφορά στην περίπτωση των εκπαιδευτών, οι καθοριστικές απαντήσεις που χαρακτηρίζουν τις στάσεις των συμμετεχόντων, είναι πως θεωρούν σε ποσοστό 72,4%, ότι η έλλειψη ενημέρωσης και επιμόρφωσης αποτελεί βασικό εμπόδιο στην ενσωμάτωση του διαστήματος στην εκπαίδευση, σε ποσοστό 51,7% εμπόδιο αποτελεί η έλλειψη κατάλληλου εκπαιδευτικού υλικού και σε ποσοστό 44,8% το έλλειμμα της κατάρτισης των εκπαιδευτών. Αφού ολοκληρώθηκε η παρουσίαση με ενσωμάτωση αποτελεσμάτων Τηλεπισκόπησης, η άποψή τους σχετικά με την αρχική εικόνα που είχαν για την σχέση της εκπαίδευση με τη διαστημική Τηλεπισκόπηση βελτιώθηκε σε συνολικό ποσοστό 78% - από πολύ (39%) έως πάρα πολύ (39%). Επιπλέον, σημαντική ήταν και η βελτίωση της εικόνας που είχαν οι εκπαιδευτικοί, ως προς το κατά πόσον το υλικό που παρακολούθησαν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στα μαθήματα που διδάσκουν. Συγκεκριμένα, αυξήθηκε από 44,8% (13,8% σίγουρα ναι και 31% μάλλον ναι) σε 75% (32,1% σίγουρα ναι και 42,9% μάλλον ναι), κάτι που καταδεικνύει και επιβεβαιώνει την έλλειψη ενημέρωσης/επιμόρφωσης ως πολύ σημαντικό παράγοντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωλογία κάθε τόπου αποτελεί θεμελιώδη λίθο για την κατανόηση τόσο του τρόπου ζωής των ανθρώπων που κατοικούν εκεί όσο και των παραδόσεων, αλλά και των μύθων τους. Τα στοιχεία της γεωλογίας, τα οποία συνθέτουν τη γεωλογική κληρονομιά, οφείλουν να εντοπισθούν και να αναγνωρισθούν από τους ανθρώπους του κάθε τόπου, γιατί μεταξύ άλλων αποτελούν μέρος της εξέλιξης της γεωλογικής ιστορίας του πλανήτη. Η διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς είναι πολύ σημαντική σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο, διότι ενισχύει την αναγνώριση περισσότερων θέσεων γεωλογικού ενδιαφέροντος, θέτει τα χωρικά της όρια και προτείνει μέτρα προστασίας, συντήρησης και ανάδειξής της. Έτσι, αυτό το κομμάτι της ιστορίας της εξέλιξης της Γης γίνεται γνωστό και διαφυλάσσεται για τις επόμενες γενεές. Η Τηλεπισκόπηση και τα GIS, ως ανερχόμενα εργαλεία με ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, έχουν τη δυνατότητα να συμβάλλουν στη διαχείριση της γεωλογικής κληρονομιάς. Στο πλαίσιο μελέτης αυτής της συμβολής, επιλέχθηκε για την παρούσα διατριβή η εξέταση διαφορετικών σε κλίμακα θέσεων και αντικειμένων γεωλογικής κληρονομιάς.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε διάφορες χαρτογραφικές κλίμακες, γιατί ως γεωλογική κληρονομιά θεωρείται ένα υπό μελέτη αντικείμενο – περιοχή, είτε αντιστοιχεί σε μικρό-κληρονομιά (όπως τα μικροαπολιθώματα ή οι ορυκτολογικές τομές) ή σε μακρο-κληρονομιά, η οποία αντιστοιχεί στις περιπτώσιολογικές μελέτες που άπτονται της διατριβής. Να σημειωθεί, ότι και η μελέτη με το μικροσκόπιο των προαναφερθέντων αντικειμένων μικρό-κληρονομιάς μπορεί να θεωρηθεί, τυπικά, πως αποτελεί τηλεπισκοπική τεχνική. Εντούτοις, αφενός εμπίπτει σε άλλο, ευρέως καθιερωμένο, γνωστικό πεδίο και αφετέρου συνήθως ενέχει προηγούμενη εκτεταμένη επαφή (και μάλιστα κατά περίπτωση καταστρεπτική) με το υπό εξέταση αντικείμενο. Ως εκ τούτου, αποτελεί μια πτυχή τηλεπισκόπησης η οποία δεν αφορά στην παρούσα διατριβή.

Το πεδίο της εφαρμογής μεθόδων Τηλεπισκόπησης για τη διαχείριση της κληρονομιάς (πολιτιστικής ή γεωκληρονομιάς) είναι ένα νέο και δυναμικά ανερχόμενο πεδίο. Το γεγονός αυτό συνδέεται με την συστηματική διαθεσιμότητα πληθώρας τηλεπισκοπικών (δορυφορικών κ.α.) δεδομένων διαφορετικού τύπου, καθώς και με τη θεαματική βελτίωση της προσβασιμότητας (συμπεριλαμβανομένης της φορητότητας) σε γεωχωρικές τεχνολογίες αιχμής (σάρωση με συστήματα λείζερ, τρισδιάστατες αναπαραστάσεις και εκτυπώσεις, εξελιγμένα ψηφιακά φασματοραδιόμετρα χειρός, διευρυμένες δυνατότητες GIS κ.α.).

Οι δυνατότητες της Τηλεπισκόπησης και των GIS δε μπορούν να βρουν εφαρμογή σε όλα τα στάδια διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς και για όλες τις κλίμακες. Συνεπώς, τόσο η θεωρούμενη κλίμακα της γεωλογικής κληρονομιάς όσο και το στάδιο διαχείρισης διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο, ως προς τις δυνατότητες συμβολής των εν λόγω εργαλείων της Γεωχωρικής Επιστήμης και Τεχνολογίας.

Η γενική πρωτοτυπία της παρούσας διατριβής έγκειται τόσο στην ολιστική αντιμετώπιση της γεωλογικής κληρονομιάς, όσο και στη διερεύνηση της συμβολής της Τηλεπισκόπησης και των GIS σε όλες τις κλίμακες και τα στάδια διαχείρισής της. Μελετά τη γεωλογική κληρονομιά στις κλίμακες: εθνική, μικρή, μεσαία και μεγάλη, δίνοντας τη δυνατότητα να εφαρμοστούν οι τρεις τύποι της Τηλεπισκόπησης και να εξεταστούν ως προς την συμβολή τους σε κάθε στάδιο της διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς. Η μελέτη αυτή συμπληρώνεται μέσω της εξέτασης της χρήσης των GIS στα στάδια διαχείρισης. Τα αποτελέσματα όλων των σταδίων μελέτης της συμβολής των δυο αντικειμένων, σε σχέση με τη γεωλογική κληρονομιά του Ελληνικού Χώρου, χρησιμοποιούνται σε μια πρακτική εφαρμογή στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης

στον τουρισμό, σε δραστηριότητες μουσείων που απευθύνονται σε παιδιά, ενήλικες, αλλά και σε άτομα με ειδικές ανάγκες.

Η ανάπτυξη της βάσης δεδομένων για τη γεωκληρονομιά σε περιβάλλον GIS παρέχει πληροφορίες με όσο το δυνατό μεγαλύτερη χωρική ακρίβεια, η οποία επιτρέπει το συνδυασμό με περαιτέρω τηλεπισκοπικά και άλλα γεωχωρικά προϊόντα/πληροφορίες. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτουν νέα στοιχεία για τη γεωκληρονομιά σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο, τα οποία δε μπορούσαν να εξαχθούν μέχρι σήμερα σε αυτήν την έκταση και ακρίβεια. Ο όσο το δυνατό πιο ακριβής εντοπισμός του σημείου γεωλογικής κληρονομιάς δίνει περαιτέρω δυνατότητες μελέτης, όπως της επίδρασης της ανόδου της στάθμης της θάλασσας μέσω υψομετρικών δεδομένων τηλεπισκόπησης, καθώς και της επίδρασης των αλλαγών χρήσεων γης πλησίον των θέσεων γεωλογικής κληρονομιάς. Επίσης, τα GNSS, ως ο τρίτος πυλώνας της Γεωχωρικής Επιστήμης και Τεχνολογίας (μετά τα GIS και την Τηλεπισκόπηση), συνέβαλαν αυτοδίκαια και μπορούν να συμβάλλουν περαιτέρω στην ακριβέστερη χωροθέτηση της γεωλογικής κληρονομιάς. Η συλλογή της πληροφορίας της γεωλογικής εξέλιξης που φανερώνουν αυτές οι θέσεις, είναι επίσης καθοριστικός παράγοντας ανάπτυξης της βάσης.

Οι ως άνω εφαρμογές αποτελούν κάποια ενδεικτικά και χαρακτηριστικά παραδείγματα του εύρους των δυνατοτήτων των γεωχωρικών εργαλείων. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, αλλά και για τον καθορισμό μέτρων προστασίας, τα οποία θα προταθούν στις αρμόδιες αρχές για τη διαφύλαξη των θέσεων γεωλογικής κληρονομιάς που πιθανά χρήζουν προστασίας. Σημαντικό κρίνεται επίσης το ότι η ύπαρξη της (ανοικτής στο ευρύ κοινό) γεωβάσης ανοίγει πολλές μελλοντικές δυνατότητες αξιοποίησής της από κάθε ενδιαφερόμενο χρήστη, σε συνδυασμό με κάθε είδους σχετική γεωχωρική πληροφορία.

Η ανάπτυξη της βάσης γεωχωρικών δεδομένων σε περιβάλλον GIS αποτελεί ένα μεγάλο και σημαντικό τμήμα της παρούσας διατριβής, του οποίου η δυσκολία και ο όγκος εργασίας που απαιτείται ενδέχεται να υποσκελίζεται από την «ελκυστικότητα» των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Η αναζήτηση, ακριβής χωρικός εντοπισμός και επιβεβαίωση γνωστών και λιγότερο γνωστών θέσεων γεωλογικής κληρονομιάς είναι μια αρκετά επίπονη διαδικασία, η οποία απαιτεί ενδελεχή μελέτη για κάθε ένα στοιχείο γεωκληρονομιάς. Ωστόσο, η ακρίβεια αυτή είναι που προσδίδει τη μεγάλη προστιθέμενη αξία στη βάση δεδομένων, καθώς επιτρέπει το συνδυασμό με τηλεπισκοπικά και άλλα γεωχωρικά δεδομένα αντίστοιχης τάξης μεγέθους ακρίβειας, με πληθώρα εφαρμογών.

Στα πλαίσια ανάπτυξης της βάσης δεδομένων, κατηγοριοποιήθηκε η γεωλογική κληρονομιά, ώστε να καλύψει την πλούσια γεωλογία της Ελλάδος. Γενικά, τόσο η βάση δεδομένων όσο και η κατηγοριοποίηση της γεωλογικής κληρονομιάς είναι μια δυναμική διαδικασία, η οποία συνεχώς θα ανανεώνεται, θα εμπλουτίζεται και θα διορθώνεται αν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Οι γεώτοποι που εντάχθηκαν στην βάση δεν έχουν αξιολογηθεί με βάση κάποιο κριτήριο, γιατί στόχος είναι να δημιουργηθεί ένας ψηφιακός γεωχωρικός κατάλογος, όπου θα εμφανίζονται όλοι οι γνωστοί ή άγνωστοι γεώτοποι, ώστε να μπορούν να γίνουν περισσότερο γνωστοί στο ευρύ κοινό, για ερευνητικούς, εκπαιδευτικούς, τουριστικούς και αισθητικούς σκοπούς.

Επιπλέον, μέσω των ενδεικτικών θεματικών χαρτών που προέκυψαν από τα δεδομένα της βάσης, μπορεί ο εκάστοτε χρήστης να κατανοήσει εύκολα και γρήγορα τη θέση σημείων ενδιαφέροντος. Ως περαιτέρω πληροφορίες, για μια πιο εστιασμένη μελέτη, μπορούν να ενταχθούν θέσεις παροχής πληροφοριών για κάθε σημείο γεωκληρονομιάς (π.χ. πινακίδες ή κέντρα πληροφόρησης), ή/και να προταθούν κατάλληλες θέσεις, ώστε να τοποθετηθούν τέτοια σημεία πληροφόρησης. Επιπρόσθετα, έχοντας διαθέσιμη τη βάση της γεωλογικής κληρονομιάς σε περιβάλλον GIS, δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης γεωδιαδρομών που

συνδέουν περιοχές με την ίδια θεματική. Ένα τέτοιο παράδειγμα θα μπορούσε να ήταν μια «διαδρομή των σπηλαίων της Ελλάδος».

Εναλλακτικά, τα στοιχεία γεωκληρονομιάς θα μπορούσαν να ενταχθούν σε υπάρχουσες διαδρομές, όπως στους «Δρόμους του Κρασιού». Επιλέγοντας για παράδειγμα την οινική διαδρομή του κρασιού των *Θεών του Ολύμπου*, η οποία παρέχει στους επισκέπτες γνωριμία με τον οικισμό της Ραψάνης, την επίσκεψη στον αρχαιολογικό χώρο του Δίου και του Πλαταμώννα, στους παραδοσιακούς οικισμούς της Σκοτίνας και του Παλαιού Παντελεήμονα, στο Λιτόχωρο και τον Όλυμπο, στα Τέμπη, στις παραλίες της Λεπτοκαρυάς, του Μαρκύγιαλου και της Μεθώνης, θα μπορούσε, με γνώμονα τη βάση δεδομένων της γεωλογικής κληρονομιάς, να προστεθούν επιπλέον θέσεις γεωλογικού ενδιαφέροντος. Κάποια τέτοια παραδείγματα θέσεων επίσκεψης είναι η Παλαιοντολογική Έκθεση στη Νεοκαισάρεια και το Μουσείο Γεωλογικής Ιστορίας του Ολύμπου, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Λεπτοκαρυάς.

Αναφορικά με την πρωτοτυπία στις επιμέρους περιπτωσιολογικές μελέτες στις τρεις βασικές κλίμακες (μικρή-μεσαία-μεγάλη), τεκμηριώθηκαν ψηφιακά σημαντικά στοιχεία γεωκληρονομιάς (απολίθωμα, ορυκτό, Νυμφόπετρα), ενώ μελετήθηκαν διάφορες παράμετροι της γεωκληρονομιάς της Μήλου (ολιστικά ως προς τους δυνατούς τρόπους παρέμβασης με Τηλεπισκόπηση και GIS), ως ενδεικτικές περιπτώσεις συμβολής των γεωχωρικών τεχνολογιών και δεδομένων. Επιπλέον, ως προς τα ανώτερα στάδια διαχείρισης και ειδικότερα την αξιοποίηση της γεωκληρονομιάς, τεκμηριώθηκε με απτά και μετρήσιμα αποτελέσματα η συμβολή των γεωχωρικών δεδομένων για εκπαιδευτικούς σκοπούς σε διαφορετικές συνθήκες και ακροατήρια, μέσω της πέμπτης και τελευταίας περιπτωσιολογικής μελέτης. Τέλος, με βάση τα αποτελέσματα της διατριβής, παρέχονται κατευθυντήριες γραμμές με τη μορφή πινάκων, ως προς τη χρήση γεωχωρικών δεδομένων συναρτήσει της κλίμακας και του σταδίου διαχείρισης της γεωκληρονομιάς.

Τα αποτελέσματα από τις εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης και των GIS είναι κυρίως υπό μορφή χαρτών και τρισδιάστατων μοντέλων, τα οποία απεικονίζονται ή μπορούν να εκτυπωθούν. Ειδικά τα τρισδιάστατα μοντέλα, σε όποια μορφή κι αν είναι, έχουν πολλά πλεονεκτήματα και βρίσκουν εφαρμογή σε εκπαιδευτικούς, επιστημονικούς και τουριστικούς σκοπούς. Η γεωλογική κληρονομιά σε πολλά σημεία «εφάπτεται» με την πολιτιστική. Σε αυτά τα σημεία επαφής βρίσκουν εφαρμογή η Τηλεπισκόπηση ή/και τα GIS. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα ορυχεία, τα λατομεία και τα μεταλλεία, τα οποία θεωρούνται και γεωλογική κληρονομιά, εφόσον παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την περιοχή στην οποία αναπτύσσονται ως προς τη γεωλογία, τη τεκτονική, τη στρωματογραφία. Φανερώνουν επίσης στοιχεία της γεωλογικής ιστορίας και της εξέλιξης της. Επιπλέον, όσον αφορά στα αρχαία λατομεία/ορυχεία, παρέχουν πολιτιστικής αξίας πληροφορίες ως προς τον τρόπο εκμετάλλευσης, τον τρόπο μεταφοράς των υλικών, αλλά και τα χρησιμοποιούμενα εργαλεία.

Το θέμα της αποκατάστασης του τοπίου στους σύγχρονους χώρους εξόρυξης/εκμετάλλευσης επιβάλλεται νομικά μετά την ολοκλήρωση των εργασιών. Με τη χρήση δορυφορικών εικόνων υπάρχει δυνατότητα εξέτασης της εικόνας του τοπίου πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκμετάλλευση. Συνεπώς, μπορεί να συμβάλει στη χαρτογράφηση της περιοχής και στη μελέτη της αποκατάστασης. Επιπλέον, με τη χρήση ΣμηΕΑ υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας μοντέλου κάθε χώρου εκμετάλλευσης, ώστε και μετά την αποκατάσταση του τοπίου να είναι δυνατή η εξέταση και μελέτη του για σκοπούς εκπαίδευσης σε γεωλόγους, δασολόγους, γεωπόνους και αρχιτέκτονες τοπίου. Ιδιαίτερα οι σημερινοί ενεργοί χώροι εκμετάλλευσης, μπορούν λόγω της διαθεσιμότητας μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης δεδομένων (επιπέδου mm ή cm), να καταγραφούν και να μοντελοποιηθούν στα πρότυπα ενός «ψηφιακού δίδυμου» (digital twin) (π.χ.: <https://business.esa.int/projects/digital-mine>).

Η διάθεση όλων αυτών των πληροφοριών θα δημιουργήσει νέες συναισθηματικές συνδέσεις με αντικείμενα πολιτιστικής και ιστορικής σημασίας, δίνοντας στους επισκέπτες ένα νέο επίπεδο κατανόησης του (γεωλογικού) παρελθόντος, ενισχύοντας την ενσυναίσθηση και την ευαισθητοποίηση του κοινού σε θέματα που αφορούν στη γεωλογική κληρονομιά. Ο τουρισμός έχει επίσης μεγάλες προοπτικές χρήσης και προβολής αυτών των τεχνολογιών, προσφέροντας στους επισκέπτες τη δυνατότητα να αλληλοεπιδρούν με τρισδιάστατα (3D) σαρωμένα αντικείμενα σε, εικονικές (virtual), ενισχυμένες (augmented) ή «μικτές πραγματικότητες» (mixed/blended realities).

Η χρήση ενός κατάλληλου τρισδιάστατου (3D) σαρωτή λέιζερ στη μεγάλη κλίμακα μπορεί να εφαρμοστεί για τη σάρωση ενός μικρότερου αντικειμένου, όπως ένα απολίθωμα ή ένα πέτρωμα. Μέσω της σάρωσης των αντικειμένων με γεωλογική αξία παράγεται ένα τρισδιάστατο μοντέλο αυτού, με στόχο τη μελέτη του για εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς σκοπούς, χωρίς να τίθεται για παράδειγμα το απολίθωμα σε «κίνδυνο» με την συνεχή έκθεση και χρήση του. Σαρώνοντας το, δίνεται επίσης η δυνατότητα μελέτης ανά πάσα στιγμή, αλλά και η αποστολή του σε ψηφιακή μορφή σε οποιοδήποτε μέρος της Γης, προωθώντας την έρευνα και την εκπαίδευση.

Εξάλλου, τα ψηφιακά μοντέλα επιτρέπουν τη μελέτη σημαντικών αντικειμένων, όπως απολιθώματα, ορυκτά, μοναδικά ή/και σπάνια για να συναντώνται σε συλλογές μουσείων ή εκθέσεων ή πολύ ευαίσθητα για να εκτίθενται. Επιπλέον, επιτρέπουν στους φοιτητές/τριες να συνεχίσουν να εργάζονται για την έρευνά τους, όταν οι αίθουσες παρατήρησης (εργαστήρια) δεν είναι διαθέσιμες, ή όταν είναι εκτός ωραρίου λειτουργίας του πανεπιστημίου ή βρίσκονται μακριά από την πανεπιστημιούπολη (Cunningham, 2021).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτέλεσε η περίοδος της πρόσφατης πανδημίας (2020-2021), που είχε ως αποτέλεσμα τον εγκλεισμό και την απαγόρευση της εισόδου στους πανεπιστημιακούς ή ερευνητικούς χώρους. Γενικότερα, σε περιόδους που δεν είναι δυνατό να βρίσκεται ο/η μελετητής στο χώρο έρευνας, θα μπορεί να προχωρήσει σε επόμενα ερευνητικά βήματα, χωρίς καθυστέρηση, καθώς η σάρωση δίνει δυνατότητα για ακριβείς μετρήσεις, χαρακτηρισμό της υφής κ.τ.λ.

Επίσης, οι γεωχωρικές τεχνολογίες των GIS και της Τηλεπισκόπησης μπορούν να αξιοποιηθούν για άλλους εκπαιδευτικούς σκοπούς, ώστε οι μαθητές ή το ευρύτερο κοινό να έρθει σε επαφή με αντικείμενα σπάνια αλλά πολύ σημαντικά για την ιστορία του ανθρώπου, όπως για παράδειγμα το Κρανίο των Πετραλώνων, το οποίο είναι ένα από τα σημαντικότερα παλαιoανθρωπολογικά ευρήματα της Ελλάδας, με μεγάλη σημασία για την εξέλιξη του γένους *Homo* (άνθρωπος) (Κουφός κ.ά., 2007). Με μία σάρωση του εν λόγω αντικειμένου θα μπορούν πρακτικά όλοι οι ενδιαφερόμενοι να μελετήσουν το συγκεκριμένο εύρημα και άλλα αντίστοιχα σημαντικά ευρήματα, στα οποία τόσο το ευρύ κοινό όσο και οι επιστήμονες δύσκολα έχουν πρόσβαση. Επιπλέον, είναι δυνατή η δημιουργία ολόκληρων ψηφιακών βιβλιοθηκών από σαρώσεις πετρωμάτων, στη λογική ανοικτών διαδικτυακών εφαρμογών τρισδιάστατης ή/και επαυξημένης πραγματικότητας (π.χ. <https://sketchfab.com/>).

Αναμφίβολα, η εργασία με ψηφιακά μοντέλα προσφέρει μια πληθώρα πλεονεκτημάτων για έρευνα και μελέτη. Ωστόσο, η εργασία με φυσικά μοντέλα αντί για ψηφιακά είναι κρίσιμη για την πλήρη μελέτη του αντικειμένου. Το αποτέλεσμα της μάθησης από εικονογραφήσεις σχολικών βιβλίων, φυσικά και ψηφιακά μοντέλα ενισχύει την ικανότητα του μαθητή να αναγνωρίζει ανατομικές ή γεωμετρικές δομές. Ωστόσο, υπάρχουν παράγοντες, που δεν επιτρέπουν πάντα τη μελέτη φυσικών μοντέλων. Έτσι, η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει στους μαθητές και τους ερευνητές να ξεπεράσουν αυτό το ζήτημα μετατρέποντας τα ψηφιακά μοντέλα σε φυσικά (τρειςδιάστατα (3D) εκτυπωμένα μοντέλα), χωρίς ωστόσο τις πληροφορίες χρώματος από την επιφάνεια του δείγματος.

Τέλος, στην κατεύθυνση εναρμονισμού με κοινωνίες ισότητας, η ανάπτυξη τρόπων διευκόλυνσης ατόμων με κινητικά προβλήματα ή προβλήματα όρασης μέσω τέτοιων εφαρμογών, δίνουν περισσότερες ευκαιρίες μάθησης και νέων εμπειριών σε ιδιαίτερες

ομάδες του πληθυσμού. Συγκεκριμένα, άτομα με κινητικά προβλήματα μπορούν να περιηγηθούν εικονικά σε χώρους, όπως π.χ. τα Θειωρυχεία της Μήλου ή θέσεις ανασκαφής απολιθωμάτων, εύκολα, μέσω του υπολογιστή τους. Άτομα με προβλήματα όρασης, μέσω της σάρωσης και της τρισδιάστατης εκτύπωσης, μπορούν να «δουν» με τα χέρια τους απολιθώματα, όπως έναν χαυλιόδοντα, όπως προτάθηκε και στην παλαιοντολογική έκθεση της Νεοκαισάρειας στο νομό Πιερίας αλλά και το κρανίο της αρκούδας των σπηλαίων και πολλά άλλα.

Εν κατακλείδι, παρατίθενται τρεις συνολικοί, συμπερασματικοί πίνακες (ΠΙΝΑΚΑΣ 13, 14, 15), οι οποίοι προσδιορίζουν για κάθε στάδιο της διαχείρισης της γεωλογικής κληρονομιάς ανάλογα με τη κλίμακα μελέτης της, τον τύπο Τηλεπισκόπησης, την ελάχιστη τυπική ανάλυση (χωρική, φασματική, χρονική) και τους αισθητήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, καθώς επίσης σημειώνεται και δυνητική ή μη εφαρμογή των GIS. Τέλος παρουσιάζεται η ανάλυση SWOT, η οποία αφορά στη σχέση της υπό μελέτη κλίμακας με τον τύπο της Τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιείται. Η ανάλυση SWOT στοχεύει στην ανάδειξη των Δυνατοτήτων (Strengths), των Αδυναμιών (Weaknesses), των Ευκαιριών (Opportunities) και των Απειλών (Threats), που μπορεί να συναντώνται κάθε φορά, ανάλογα με τον τύπο κλίμακας που μελετάται και την επιλογή του τύπου Τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιείται.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Συμπερασματικός πίνακας για τη μικρή κλίμακα

Μικρή Κλίμακα (<1:1000)											
Στάδια Διαχείρισης Γεωλογικής Κληρονομιάς	Τύπος Τηλεπισκόπησης	Τυπικές Ελάχιστες Απαιτήσεις Ανάλυσης			Αισθητήρες		GIS	Ανάλυση SWOT Σχέση Μικρής Κλίμακας- Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης			
	Δορυφορική	Χωρική ⁵	Χρονική ⁶	Φασματική ⁷	Οπτικοί	Ραντάρ		Δυνατά Σημεία(S)	Αδύνατα Σημεία (W)	Ευκαιρίες (O)	Απειλές (T)
Εντοπισμός	✓	μέση	χαμηλή	υψηλή	✓	✓	✓	1. Η δυνατότητα αγοράς εικόνων υψηλής ως πολύ υψηλής ανάλυσης 2 Υψηλής ανάλυσης εικόνες δωρεάν σε νέας τεχνολογίας συστήματα 3 Συχνότητα λήψης εικόνων 4 Επίδραση σύννεφων	1 Η χαμηλή ανάλυση παλαιότερων εικόνων 2 Η μη ύπαρξη εικόνων 3	1 Μελέτη διαφορετικών πτυχών του ίδιου αντικειμένου χρησιμοποιώντας διαφορετικό αισθητήρα 2 Σε παραθαλάσσιες εικόνες, ο κυματισμός της θάλασσας	1 Η γωνία λήψης των εικόνων 2 Σε
Οριοθέτηση	✓	μέση	χαμηλή	υψηλή	✓	✓	✓				
Χαρτογράφηση- Καταγραφή / Σάρωση	✓	μέση	χαμηλή	υψηλή	✓	✓	✓				
Ερμηνεία	✓	μέση	χαμηλή	υψηλή	✓	✓	✓				
Προστασία	✓	μέση	μέση	υψηλή	✓	✓	✓				
Παρακολούθηση	✓	μέση	μέση	υψηλή	✓	✓	✓				
Μέτρα ανάδειξης - Δημιουργία έργων πρόσβασης & υπαίθριων πάρκων	✓	μέση	χαμηλή	υψηλή	✓	✓	✓				
Αξιολόγηση	✓	μέση	χαμηλή	υψηλή	✓	✓	✓				
Αξιοποίηση	✓	πολύ υψηλή	χαμηλή	υψηλή	✓	✓	✓				
Προβολή	✓	πολύ υψηλή	χαμηλή	υψηλή	✓	✓	✓				

⁵ Πολύ υψηλή: 0.3-2m, Υψηλή: 2-10m, Μέση: 10-30m, Χαμηλή: 30-60m

⁶ Πολύ υψηλή: 0-1 ημέρες, Υψηλή: 1-5 ημέρες, Μέση: 5-15 ημέρες, Χαμηλή: >15ημέρες

⁷ Πολύ υψηλή/Υπερφασματική (hyperspectral): >10 φασματικές ζώνες, Υψηλή/Πολυφασματική (multispectral):3-10 φασματικές ζώνες, Χαμηλή: 1-3 φασματικές ζώνες

ΠΙΝΑΚΑΣ 14: Συμπερασματικός πίνακας για τη μεσαία κλίμακα

Μεσαία Κλίμακα (1:1000 - 1:100)												
Στάδια Διαχείρισης Γεωλογικής Κληρονομιάς	Τύπος Τηλεπισκόπησης		Τυπικές Ελάχιστες Απαιτήσεις Ανάλυσης			Αισθητήρες		GIS	Ανάλυση SWOT Σχέση Μεσαία Κλίμακας- Εναέριας/ Επίγειας Τηλεπισκόπησης			
	Εναέρια	Επίγεια Ls/Sp ⁸	Χωρική UAV-Ls/Sp	Χρονική ⁹	Φασματική ¹⁰ UAV-Ls/Sp ¹¹	Οπτικοί	Ραντάρ		Δυνατά Σημεία (S)	Αδύνατα Σημεία (W)	Ευκαιρίες (O)	Απειλές (T)
Εντοπισμός	✓	✗	cm	χαμηλή/✗	χαμηλή/✗	✓	✗	✗	1 Μεγαλύτερη ανάλυση εικόνας 2.Δυνατότητα διαχρονικής παρακολούθησης μεγάλης ανάλυσης	1 Εξοπλισμός 2 Κατάλληλα λογισμικά Επεξεργασίας 3 Επίδραση εξωτερικών συνθηκών	1 Χρονικής παρακολούθησης η θέσης 2 Δημιουργία 3D μοντέλων 3 Δημιουργία 3D αναπαράσταση	1 Μεταβολές θερμοκρασίας 2 Άνεμος
Οριοθέτηση	✓	✗	cm	χαμηλή/✗	χαμηλή/✗	✓	✗	✗				
Χαρτογράφηση- Καταγραφή / Σάρωση	✓	✓/✗	cm έως mm	χαμηλή/✗	χαμηλή/✗	✓	✗	✗				
Ερμηνεία	✓	✓	cm/nm	χαμηλή/✗	χαμηλή/υψηλή	✓	✗	✗				
Προστασία	✓	✓/✗	cm	μέση/✗	υψηλή/✗	✓	✓	✗				
Παρακολούθηση	✓	✓/✗	cm έως mm	μέση/✗	υψηλή/✗	✓	✓	✗				
Μέτρα ανάδειξης - Δημιουργία έργων πρόσβασης & υπαίθριων πάρκων	✓	✗	m	χαμηλή/✗	υψηλή/✗	✓	✗	✗				
Αξιολόγηση	✓	✓	cm έως m /nm	χαμηλή/✗	χαμηλή/υψηλή	✓	✗	✗				
Αξιοποίηση	✓	✓	cm έως mm /nm	χαμηλή/✗	χαμηλή/υψηλή	✓	✗	✗				
Προβολή	✓	✓/✗	cm έως mm	χαμηλή/✗	χαμηλή/✗	✓	✗	✗				

⁸ Laser Scanner / Spectroradiometer

⁹ Πολύ υψηλή: 0-1 ημέρες, Υψηλή: 1-5 ημέρες, Μέση: 5-15 ημέρες, Χαμηλή: >15ημέρες

¹⁰ Πολύ υψηλή/Υπερφασματική (hyperspectral): >10 φασματικές ζώνες, Υψηλή/Πολυφασματική (multispectral):3-10 φασματικές ζώνες, Χαμηλή: 1-3 φασματικές ζώνες

¹¹ UAV-Laser Scanner / Spectroradiometer

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: Συμπερασματικός πίνακας για τη μεγάλη κλίμακα

Μεγάλη Κλίμακα (>1:100)											
Στάδια Διαχείρισης Γεωλογικής Κληρονομιάς	Τύπος Τηλεπισκόπησης	Τυπικές Ελάχιστες Απαιτήσεις Ανάλυσης			Αισθητήρες		GIS	Ανάλυση SWOT Σχέση Μεγάλης Κλίμακας- Επίγειας Τηλεπισκόπησης			
	Επίγεια Ls /Sr ¹⁴	Χωρική Ls /Sr	Χρονική ¹² Ls /Sr	Φασματική ¹³ Ls /Sr ¹⁴	Οπτικοί	Ραντάρ		Δυνατά Σημεία (S)	Αδύνατα Σημεία (W)	Ευκαιρίες (O)	Απειλές (T)
Εντοπισμός	X/✓	X/nm	X	X/υψηλή	✓	X	X	1 Δημιουργία πραγματικών διαστάσεων αντικειμένων	1 Περιορισμός λόγω φυσικών χαρακτηριστικών αντικειμένων 2 Εξοπλισμός 3 Λογισμικά Επεξεργασίας	1 Χρονική παρακολούθηση θέσης 2 Δημιουργία 3D μοντέλων 3 Δημιουργία 3D αναπαράστασης	1 Κόστος εξοπλισμού
Οριοθέτηση	X/✓	X/nm	X	X/υψηλή	✓	X	X				
Χαρτογράφηση-Καταγραφή / Σάρωση	✓	mm/X	χαμηλή/X	χαμηλή/X	✓	X	X				
Ερμηνεία	✓	mm / nm	χαμηλή/X	χαμηλή/υψηλή	✓	X	X				
Προστασία	✓	mm	χαμηλή/X	χαμηλή/X	✓	X	X				
Παρακολούθηση	✓	mm	χαμηλή/X	χαμηλή/X	✓	X	X				
Μέτρα ανάδειξης - Δημιουργία έργων πρόσβασης & υπαίθριων πάρκων	✓	mm	χαμηλή/X	χαμηλή/X	✓	X	X				
Αξιολόγηση	✓	mm / nm	χαμηλή/X	χαμηλή/υψηλή	✓	X	X				
Αξιοποίηση	✓	mm / nm	χαμηλή/X	χαμηλή/υψηλή	✓	X	X				
Προβολή	✓	mm	χαμηλή/X	X	✓	X	X				

¹² Πολύ υψηλή: 0-1 ημέρες, Υψηλή: 1-5 ημέρες, Μέση: 5-15 ημέρες, Χαμηλή: >15ημέρες

¹³ Πολύ υψηλή/Υπερφασματική (hyperspectral): >10 φασματικές ζώνες, Υψηλή/Πολυφασματική (multispectral): 3-10 φασματικές ζώνες, Χαμηλή: 1-3 φασματικές ζώνες

¹⁴ Laser Scanner / Spectroradiometer

Abdel-Maksoud, K.M. Emam, M.A. (2019). Hidden geology in Ancient Egypt, *Geoheritage*, 11, 897–907.

Abdullah Q.A. (2014). Classification of the Unmanned Aerial Systems.

Agapiou A., Lysandrou V., Alexakis D., Themistocleous K., Cuca B., Argyriou A., Sarris A., Hadjimitsis D. (2015). Cultural heritage management and monitoring using remote sensing data and GIS: The case study of Paphos area, Cyprus, Elsevier, *Computers, Environment and Urban Systems* 54 230 – 239
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.09.003>.

Allen, T.F.H., Starr, T.B. (1982). *Hierarchy Perspectives for Ecological Complexity*. University of Chicago Press.

AL-Saedi M., Almulla S., Jassem R. (2022). Applied remote sensing technique, and GIS to choose suitable Geopark in south east Iraq, *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, Volume 13, Special Issue 6, DOI: 10.47750/pnr.2022.13.S06.419.

Austin, R. (2010). *Unmanned Aircraft Systems: UAVs Design, development and deployment*, United Kingdom: Wiley.

Australian Heritage Commission. (1996). *Australian Natural Heritage Charter for conservation of places of natural heritage significance*. Published by the Australian Committee for the International Union for the Conservation of Nature (ACIUCN), Australian Heritage Commission, Canberra, ACT.

Avery, T. E., Berlin, G.L. (1992). *Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation* (5th edition). New York: Mc Millan Publishing Company.

Ballarin M., Ballelli C., Vernier P. (2020). Replicas In Cultural Heritage: 3d Printing And The Museum Experience, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2, 2018 ISPRS TC II Mid-term Symposium “Towards Photogrammetry 2020”, 4–7 June 2018, Riva del Garda, Italy, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-55-2018>.

Ballesteros D., Caldevilla P., Vila R., Barros X., Rodríguez-Rodríguez L., García-Ávila M., Sahuquillo E., Llorente M., Díez J., Fuertes-Fuente M., Timón-Sánchez S., Lombera-Hermida A., Álvarez I., Pérez-Cáceres I., Acebo M., Amaré P., García J., Martín-González F., Alemparte M. (2022). A GIS-supported Multidisciplinary Database for the Management of UNESCO Global Geoparks: the Courel Mountains Geopark (Spain), *Geoheritage*, <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00654-3>.

Bamler, R., Hartl, P. (1998). Synthetic aperture radar interferometry. *Inverse Problems* 14, R1–R54.

Barrett E.C., Curtis L.F. (1982). *Introduction to Environmental Remote Sensing*, London, John Wiley and Sons, Halsted Press.

Barsi J, Schott J., Hook S., Raqueno N., Markham B., Radocinski R. (2014). Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration, Remote Sensing, ISSN 2072-4292.

Baryshnikov, G.F., Tsoukala, E. (2010). New analysis of the Pleistocene carnivores from Petralona Cave (Macedonia, Greece) based on the Collection of the Thessaloniki Aristotle University. *Geobios*, 43: 389-402,

Belward, A.S., Skøien, J.O. (2015). Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 103. pp. 115–128.

Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sens.*, 40, pp. 2375–2383.

Bernhard Rabus, Michael Eineder, Achim Roth, Richard Bamler, The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 57, Issue 4, (2003), Pages 241-262, ISSN 0924-2716, [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(02\)00124-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(02)00124-7) (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271602001247>)

Bobrowsky P., Cronin V.S., Di Capua G., Kieffer S.W., Peppoloni S. (2017). The Emerging Field of Geoethics. In: *Scientific Integrity and Ethics with Applications to the Geosciences*, edited by L.C. Gundersen. Special Publication American Geophysical Union, John Wiley and Sons, Inc.

Bollati, I., Pelfini, M., & Pellegrini, L. (2012). A geomorphosites selection method for educational purposes: a case study in Trebbia Valley (Emilia Romagna, Italy). *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 35(1), 23–35.

Bonham-Carter, G. (1994). *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. Oxford; New York: Pergamon.

Bowman, B. (2015). Teacher knowledge and geospatial technologies, *Conversations on Knowledge for Teaching Education Technologies: Now and in the Future*, conversationsonkft.weebly.com.

Bradbury J. (1993). A Preliminary Geoheritage Inventory of the Eastern Tasmania Terrane. A Report to Parks and Wildlife Service, Tasmania.

Brilha H. (2002). Geoconservation and protected areas. *Environmental Conservation* 29(3): 273-276.

Brilha J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review, *Geoheritage*, 8:119–134 DOI 10.1007/s12371-014-0139-3.

Brocx M., Semeniuk V. (2007). Geoheritage and geoconservation - history, definition, scope and scale, *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 90: 53-87.

Brocx M., Semeniuk V. (2015). *Using the Geoheritage Tool-Kit to Identify Inter-related Geological Features at Various Scales for Designating Geoparks: Case Studies from Western Australia* Springer International Publishing Switzerland, E. Errami et al. (eds.),

From Geoheritage to Geoparks, Geoheritage, Geoparks and Geotourism, DOI 10.1007/978-3-319-10708-0_17.

Brocx M., Semeniuk V. (2015). *Geology: From Antiquity to Modern Day Geoheritage and Geoconservation, with Britain as a Case Study*, Springer International Publishing Switzerland, E. Errami et al. (eds.), *From Geoheritage to Geoparks, Geoheritage, Geoparks and Geotourism*, DOI 10.1007/978-3-319-10708-0_3.

Brutto M. Lo, Garraffa A., Meli P. (2014). UAV Platforms For Cultural Heritage Survey: First Results, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5, 2014 ISPRS Technical Commission V Symposium, 23 – 25 June 2014, Riva del Garda, Italy.

Burlando M., Firpo M., Queirolo C., Rovere A., Vacchi M. (2011). From Geoheritage to Sustainable Development: Strategies and Perspectives in the Beigua Geopark (Italy), *Geoheritage*, 3:63–72, Springer, DOI 10.1007/s12371-010-0019-4.

Burrough P.A. (1986). *Principles of Geographical Information Systems for land Resources Assessment*, Oxford University Press, New York.

Calvo J., Triantaphyllou M., Requeiro M., Stamatakis M., (2012), Alternating diatomaceous and volcanoclastic deposits in Milos Island, Greece. A contribution to the upper Pliocene–lower Pleistocene stratigraphy of the Aegean Sea, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 321–322, Elsevier

Campbell, B.J. (1996). *Introduction to Remote Sensing*. New York, London: Virginia Polytechnic Institute and State University, The Guilford Publications Press, 2nd edition.

Carcavilla L., Durán Valsero J., García-Cortés, Á., López-Martínez J. (2009). Geological Heritage and Geoconservation in Spain: Past, Present, and Future. *Geoheritage*, 75–91.

Carton A., Coratza P., Marchetti M. (2005). Guidelines for geomorphological sites mapping: examples from Italy. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement*. n° 3 Géomorphosites: définition, évaluation et cartographie 11(3):209–218. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.374>.

Cayla N. (2014). An Overview of New Technologies Applied to the Management of Geoheritage, *Geoheritage* 6:91–102, DOI 10.1007/s12371-014-0113-0.

Chen F., You J., Tang P., Zhou W., Masini N., Lasaponara R. (2017). Unique performance of spaceborne SAR remote sensing in cultural heritage applications: Overviews and perspectives, *Archaeological Prospection*. 25:71–79, John Wiley & Sons, Ltd.

Clark, D.B., Read, J.M., Clark, M.L., Cruz, A.M., Dotti, M.F, Clark, D.A. (2004). Application of 1-m and 4-m resolution satellite data to ecological studies of tropical rain forests. *Ecological Applications*. 14 (1). pp. 61–74.

Cowley D. (2010). *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*, 11th EAC Heritage Management Symposium, Reykjavík, Iceland, 25-27 March 2010, EAC Occasional Paper No. 5, Europae Archaeologia Consilium (EAC), Association Internationale sans But Lucratif (AISBL), Siège social.

Crofts R., Gordon J. (2014). Geoconservation in protected areas, parks vol 20.2 November, 10.2305/IUCN.CH.2014.PARKS-20-2.RC.en.

Cuca B., Hadjimitsis D. (2017). Space technology meets policy: An overview of Earth Observation sensors for monitoring of cultural landscapes within policy framework for Cultural Heritage, Elsevier, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.05.001>.

Cushnie, J.L. (1987). The interactive effect of spatial resolution and degree of internal variability within land-cover types on classification accuracies. *International Journal of Remote Sensing*. 8 (1). pp. 15–29.

DeMiguel D., Brilha J., Alegret L., Arenillas I., Arz J. A., Gilabert, V., Strani, F., Valenciano, A., Villas, E., Azanza, B. (2021). Linking geological heritage and geoethics with a particular emphasis on palaeontological heritage: the new concept of “palaeontoethics”, *Geoheritage* 13:69 <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00595-3>.

Daskalopoulou K., Gagliano A., Calabrese S., Manfredi L., Hantzis K., Kyriakopoulos K., Walter A. (2018), Gas geochemistry and CO₂ output estimation at the island of Milos, Greece, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Elsevier

Derooina J P., Rania Bou Kheirb, Abdallah C. (2017). Geoarchaeological remote sensing survey for cultural heritage management. Case study from Byblos (Jbail, Lebanon), *Journal of Cultural Heritage* 23 37–43, Elsevier, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2016.04.014>.

Dhanda A., Reina Ortiz M., Weigert A., Paladini A., Min A., Gyi M., Su S., Fai S., Santana Quintero M. (2019). Recreating Cultural Heritage Environments For Vr Using Photogrammetry, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W9, 8th Intl. Workshop 3D-ARCH “3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures”, 6–8 February 2019, Bergamo, Italy, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-305-2019>.

Dingwall P., Weighell T., Badman T. (2005). Geological world heritage: a global framework, A Contribution to the Global Theme Study of World Heritage Natural Sites, Protected Area Programme, IUCN.

Dixon G. (1996). Geoconservation: an international review and strategy for Tasmania. Miscellaneous Report, Parks & Wildlife Service, Tasmania, 101pp.

Dowling R.K. (2013). Global Geotourism – An Emerging Form of Sustainable Tourism. *Czech Journal of Tourism* 2(2): 59–79. DOI: 10.2478/cjot-2013-0004.

Droj G. (2010). Cultural Heritage Conservation by GIS, <https://www.researchgate.net/publication/236161824>.

Dungan, J.L., Perry, J.N., Dale, M.R.T., Legendre, P., Citron-Pousty, S., Fortin, M.-J., Jakomulska, A., Miriti, M. & Rosenberg, M.S. (2002). A balanced view of scale in spatial statistical analysis. *Ecography*, 25 (February), pp. 626–640.

Eberhard, R. (ed) 1997 Pattern & Process: Towards a regional approach to National Estate assessment of geodiversity. Environment Australia Technical Series No 2.

Elfadaly, A., Shams Eldein A., Lasaponara R. (2020). Cultural Heritage Management Using Remote Sensing Data and GIS Techniques around the Archaeological Area of Ancient Jeddah in Jeddah City, Saudi Arabia, Sustainability, 12, 240; doi:10.3390/su12010240.

Emery, B., Camps, A., Rodriguez-Cassola, M. (2017). Introduction to Satellite Remote Sensing: Atmosphere, Ocean, Land and Cryosphere Applications. 1st edition. Amsterdam, Netherlands; Cambridge, MA: Elsevier.

Erikstad L. (2012). Geoheritage and geodiversity management – the questions for tomorrow, Elsevier, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pgeola.2012.07.003>.

Errami E., Schneider G., Ennih N., Randrianaly H.N., Bendaoud A., Noubhani A., Norman N., Allan M., Vasconcelos L., Costa L., Al-Wosabi M., Al-Subbary A., Mabvuto-Ngwira P., Okunlola G., Lawal Halliru S., Andrianaivo L., Siby S., Ketchemen B., Gauly M., Hassine M., Azki F., Juliette T., Lattrache K., Omulo M., Bobrowsky P. (2015). Geoheritage and Geoparks in Africa and the Middle-East: Challenges and Perspectives Springer International Publishing Switzerland E. Errami et al. (eds.), From Geoheritage to Geoparks, Geoheritage, Geoparks and Geotourism, DOI 10.1007/978-3-319-10708-0_1.

Farr, T. G., Kobrick, M. (2000). Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data, Amer. Geophys. Union Eos, 81, 583-585.

Fassoulas C., Mouriki D., Dimitriou-Nikolakis P., Iliopoulos G. (2011). Quantitative Assessment of Geotopes as an Effective Tool for Geoheritage Management, Geoheritage 4:177–193, DOI 10.1007/s12371-011-0046-900.

Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., Rocca, F., Massonnet, D. (2007). InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation, ESA TM-19, ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands.

Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 38, pp. 2202 – 2212.

Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 39, pp. 8 – 20.

Foumelis, M., Delgado Blasco, J.-M., Brito, F., Pacini, F., Papageorgiou, E., Pishehvar, P., P. Bally (2022). "SNAPPING Services on the Geohazards Exploitation Platform for Copernicus Sentinel-1 Surface Motion Mapping" Remote Sensing 14, no. 23: 6075. <https://doi.org/10.3390/rs14236075>.

Fytikas, M., Marinelli, G. (1976). Geology and geothermics of the island of Milos (Greece) (No. NP-22876). Institute of Geology and Mining Research, Athens (Greece); Pisa Univ. (Italy). Instituto di Mineralogia e Petrografia.

Fytikas, M., Innocenti, F., Kolios, N., Manetti, P., Mazzuoli, R., Poli, G., Villari, L., (1986). Volcanology and petrology of volcanic products from the island of Milos and neighbouring islets. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 28(3-4), 297-317.

Gabriel, A.K. and Goldstein, R.M. (1988). Crossed orbit interferometry: theory and experimental results from SIR-B. *Int. J. Remote Sens.* 9, pp. 857–72.

Gabriel, A.K., Goldstein, R.M., Zebker, H.A. (1989). Mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry. *J. Geophys. Res.* 94, pp. 9183–91.

Gahegan, M., Ehlers, M. (2000). A framework for the modelling of uncertainty between remote sensing and geographic information systems. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 55, 176–188.

Ganas A., Karakonstantis A., Kapetanidis V., Tsironi V., Karamitros I., Efstathiou E., Karasante I., Kassaras I. (2022), Ground deformation and microseismicity patterns onshore Milos, Cyclades, Greece, 16th International Congress of the Geological Society of Greece, 17-19/10/2022, Patra Greece, *Bulletin of the Geological Society of Greece*

Ganesh B., Vincent S., Pathan S., Benitez S. (2022). Machine learning based landslide susceptibility mapping models and GB-SAR based landslide deformation monitoring systems: Growth and evolution, Elsevier, [https:// doi.org/ 10.1016/ j.rsase.2022.100905](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100905).

Geological Society of Australia. (2006). *Heritage Policy*. Geological Society of Australia Inc., Sydney, NSW.

Georgopoulos A., Oikonomou C., Adamopoulos E., Stathopoulou E.K. (2016). Evaluating Unmanned Aerial Platforms For Cultural Heritage Large Scale Mapping, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B5, 2016, XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B5-355-2016.

Gerhard Krieger, Manfred Zink, Markus Bachmann, Benjamin Bräutigam, Daniel Schulze, Michele Martone, Paola Rizzoli, Ulrich Steinbrecher, John Walter Antony, Francesco De Zan, Irena Hajnsek, Kostas Papathanassiou, Florian Kugler, Marc Rodriguez Cassola, Marwan Younis, Stefan Baumgartner, Paco López-Dekker, Pau Prats, Alberto Moreira, TanDEM-X: A radar interferometer with two formation-flying satellites, *Acta Astronautica*, Volume 89, 2013, Pages 83-98, ISSN 0094 5765, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.03.008>.

Gonggrijp G. P. (1999). Geodiversity: the key to a holistic approach in renaturation. In: D Baretino, M Vallejo, & E Gallego (eds), *Towards the balanced Management and conservation of the geological heritage in the new millennium*. Sociedad Geológica de Espana, Madrid, 77-80.

Goodchild, M.F. (2006). Geographical information science: fifteen years later. In P.F. Fisher editor, *Classics from IJGIS: Twenty years of the International Journal of Geographical Information Science and Systems*. Boca Raton: CRC Press, 424, 199–204.

Goodchild, M.F. (2011). Scale in GIS: An overview. *Geomorphology*. 130 (1–2). p.pp. 5–9.

Gordon G., Crofts R., Díaz-Martínez E., Woo K. (2018). Enhancing the Role of Geoconservation in Protected Area Management and Nature Conservation, *Geoheritage* 10:191–203 DOI 10.1007/s12371-017-0240-5.

Goussios D., Faraslis I. (2022). Integrated Remote Sensing and 3D GIS Methodology to Strengthen Public Participation and Identify Cultural Resources, *Land*, 11, 1657. <https://doi.org/10.3390/land11101657>.

Gray, M. (2008). Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association*, 119, 287–298

Greenwood F. (2015). *Drones and Aerial Observation: New Technologies for Property Rights, Human Rights, And Global Development A Primer – Section How to Make Maps With Drones*, pp. 35, New America.

Hadjimitsis D., Agapiou A., Alexakis D., Sarris A. (2013). Exploring natural and anthropogenic risk for cultural heritage in Cyprus using remote sensing and GIS, *International Journal of Digital Earth*, 2013 Vol. 6, No. 2, 115–142, <http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2011.602119>.

Hadjimitsis D., Cuca B., Lysandrou V., Masini., Themistocleous K., Agapiou A., Lasaponara R., Schreier G. (2020). *Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscapes, Best Practices and Perspectives Across Europe and the Middle East*, Springer Remote Sensing/Photogrammetry ISBN 978-3-030-10978-3 ISBN 978-3-030-10979-0 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-030-10979-0>.

Haidu I. (2016). What is Technical Geography – a letter from the editor. *Geographia Technica*. 11: 1–5. doi:10.21163/GT_2016.111.01.

Hasiuk F. (2014). Making things geological: 3D printing in the geosciences, *GSA Today*, v. 24, no. 8, doi: 10.1130/GSATG211GW.1.

He P., Cheng X., Liu Y. (2020). Research on the Application of Space Information Technology in Geoheritages for Land-use Planning Purposes, *WMCAUS, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 960042106 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/960/4/042106.

Henriques M.H., R. P. dos Reis, Brilha J., Mota T. (2011). Geoconservation as an Emerging Geoscience, *Geoheritage* 3:117–128 DOI 10.1007/s12371-011-0039-8.

Herrera-Franco, G., Carrión-Mero, P., Montalván-Burbano, N., Caicedo-Potosí, J., Berrezueta, E. (2022). Geoheritage and Geosites: A Bibliometric Analysis and Literature Review. *Geosciences*, 12, 169. <https://doi.org/10.3390/geosciences12040169>.

Hooper, A., Segall, P., Zebker, H. (2007). Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis, with application to Volcán Alcedo, Galápagos. *J. Geophys. Res.*, 112, B07407, doi: 10.1029/2006JB004763.

Hrasna M. (2002). Geoenvironment and geofactors of the environment-the basic concepts of environmental geology, *Acta Geologica Univ. Com. Bratislava*, No 57.

Hua Wu and Zhao-Liang Li, 2009, Scale Issues in Remote Sensing: A Review on Analysis, Processing and Modeling, *Review, Sensors* 2009, 9, 1768-1793; doi:10.3390/s90301768

Ilinca V., Milu V., Peligrad S., Gheuca I. (2022). The Albești Limestone: a geoheritage and cultural heritage in Romania, *Journal of Maps*, Taylor & Francis Group, <https://doi.org/10.1080/17445647.2022.2135465>.

Jensen, J.R. (2004). *Introductory Digital Image Processing*. 3rd Ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.

Jensen, J.R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall.

Jones E., Hall A. (2010), Stypteria phorime as alunogen in solution: Possible pointer to the gradual cooling of the Melos geothermal system

Jong, S.M. De, Meer, F.D. Van der. (2004). *Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain*. *Remote Sensing and Digital Image Processing*. S. M. De Jong & F. D. Van der Meer (eds.). Dordrecht: Springer Netherlands.

Joyce E. B. (1997). *Assessing Geological Heritage* In: R. Eberhard (ed), *Pattern & Processes: Towards a Regional Approach to National Estate assessment of geodiversity*. Environment Australia Technical Series No 2, Canberra, ACT, pp. 37-39.

Karagianni A. (2021). *Terrestrial Laser Scanning And Satellite Data In Cultural Heritage Building Documentation*, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVI-M-1-2021 28th CIPA Symposium "Great Learning & Digital Emotion", 28 August–1 September 2021, Beijing, China.

Katsanos, G., Karakasi, K. E., Karolos, I. A., Kofinas, A., Antoniadis, N., Tsioukas, V., & Tsoulfas, G. (2022). Volumetric assessment of hepatic grafts using a light detection and ranging system for 3D scanning: Preliminary data. *World Journal of Hepatology*, 14(7), 1504.

Kepalaitė I. (2015). *The Importance of Geoheritage and Geo Top of the Charts in Environmental Studies*, *Environment, Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference*. Volume II, 133-136 Technology. Resources, Rezekne, Latvia.

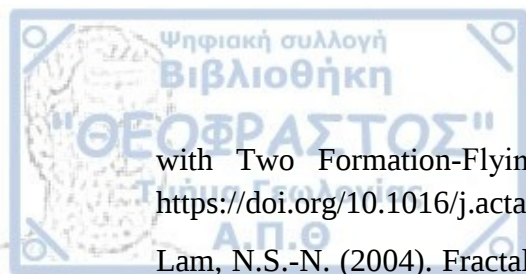
Kiernan K. (1997). *Landform classification for geoconservation*. In: R Eberhard (ed), *Pattern & Processes: Towards a Regional Approach to National Estate assessment of geodiversity*. Environment Australia Technical Series No 2.

Kohl M., Magnussen S.S., Marchetti M. (2006). *Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory*.

Komoo I. (2000). *Geoheritage Conservation and its Potential for Geopark Development in Asia - Oceania*. Geoparks Review Office of the World Geoparks Network, Beijing, China.

Kozłowski. (1999). *Programme of geodiversity conservation in Poland*. Polish Geological Institute Special Papers 2: 15-18.

Krieger, Gerhard, Manfred Zink, Markus Bachmann, Benjamin Bräutigam, Daniel Schulze, Michele Martone, Paola Rizzoli. (2013). "TanDEM-X: A Radar Interferometer



with Two Formation-Flying Satellites.” *Acta Astronautica* 89 (August): 83–98.
<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.03.008>.

Lam, N.S.-N. (2004). *Fractals and Scale in Environmental Assessment and Monitoring*. In: *Scale and geographic inquiry: Nature, society, and method*. Blackwell Publishing.

Legge P., King R. (1992). Geological Society of Australia Inc Policy on Geological Heritage in Australia. *The Australian Geologist* 85: 18-19.

Leontaritis A., Kouli K., Pavlopoulos K., (2020), The glacial history of Greece: a comprehensive review, *Mediterranean Geoscience Reviews* (2020) 2:65–90, <https://doi.org/10.1007/s42990-020-00021-w>, Springer

Levin, N. (1999). *Fundamentals of Remote Sensing*. Remote Sensing Laboratory, Geography Department, Tel Aviv University, GIS unit, The society for the Protection of Nature in Israel.

Liang, S. and Wang, J. (2020). *Advanced remote sensing: terrestrial information extraction and applications*. Second edition. Amsterdam: Academic Press.

Lillesand, T., Kiefer, R. W. and Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*, 7th Edition. 7th edition. Wiley.

Liu, J. G. and Mason, P. J. (2016). *Image Processing and GIS for Remote Sensing: Techniques and Applications*. 2nd edition. Wiley-Blackwell.

Lloyd, C. D. (2010). *Spatial data analysis: an introduction for GIS users*. Oxford; New York: Oxford University Press.

Loon, A. J. V. (2008). Geological education of the future. *Earth-Science Reviews*, 86, 247–254

Lou U., Wu S., You C., Chung C., Valsami E., Baltatziz E. (2023), Lithium isotope systematics and water/rock interactions in a shallow-water hydrothermal system at Milos island, Greece, *Marine Chemistry*, Elsevier

Loveland, T. R., Dwyer, J. L. (2012). Landsat: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment* 122: 22–29, doi: 10.1016/j.rse.2011.09.022.

Lozios, S., Soukis, K., & Antoniou, V. (2015). Τοπογραφικοί χάρτες και μορφολογικές δομές αναγλύφου [Chapter]. In Lozios, S., Soukis, K., & Antoniou, V. 2015. Γεωλογική χαρτογράφηση και ασκήσεις υπαίθρου [Undergraduate textbook]. Kallipos, Open Academic Editions. <https://hdl.handle.net/11419/1269>

Lucie Kubalíková, Karel Kirchner, Aleš Bajer. (2021). *Geomorphological Resources for Geoeducation and Geotourism*, Springer Nature Singapore Pte Ltd. R. B. Singh et al. (eds.), *Global Geographical Heritage, Geoparks and Geotourism, Advances in Geographical and Environmental Sciences*, https://doi.org/10.1007/978-981-15-4956-4_18

Lukinbeal, C. (2016). Scale and Its Histories. *Yearbook of the Association of Pacific Coast Geographers*. 78 (1). pp. 15–27.

Maguire D.J., (1991). An overview and definition of GIS, in D.J. Maguire et al. (ed), Geographical Information Systems: Principles and applications. Longman Scientific & Technical, London, pp.9-20.

MaKinster, J., Trautmann, N. & Barnett, M. (2014). Teaching science and investigating environmental issues With Geospatial Technology. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Manni R. (2012). Paleontological Museums and Geoethics. Ann Geophys 55(3):469–472.

Marceau, D.J. (1999). The scale issue in social and natural sciences. Canadian Journal of Remote Sensing. 25 (July), pp. 347–356.

Marchev, P., Kaiser-Rohrmeier, M., Heinrich, C., Ovtcharova, M., von Quadt, A., & Raicheva, R. (2005). 2: Hydrothermal ore deposits related to post-orogenic extensional magmatism and core complex formation: The Rhodope Massif of Bulgaria and Greece. Ore Geology Reviews, 27(1-4), 53-89.

Massonnet, D., Feigl, K. (1998). Radar interferometry and its' application to changes in the earth's surface. Rev. Geophys. 36 (4), pp. 441-500.

Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adranga, F., Pelger, G., Feigl, K., Rabaut, T. (1993). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. Nature, 364, pp. 138-142.

Mather, M.P. (1999). Computer Processing of Remotely-Sensed Images. UK: J. Wiley & Sons, 2nd edition p. 292.

Mather, P. (2011). Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction.

McNulty A. E., 2000. Industrial Minerals in Antiquity: Melos in the Classical and Roman Periods. Unpubl. PhD. Thesis. Department of Archaeology and Division of Earth Sciences. University of Glasgow.

McFeeters, S.K. (1996). The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. International Journal of Remote Sensing, 17, 1425-1432. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714>

Mendoza R., Rey J., Martínez J., Hidalgo M. C. (2022). Geological and Mining Heritage as a Driver of Development: The NE Sector of the Linares-La Carolina District (Southeastern Spain), Geosciences, 12, 76. <https://doi.org/10.3390/geosciences12020076>.

Miguel D., Brilha J., Alegret L., Arenillas I., Arz J., Gilabert V., Strani F., Valenciano A., Villas E., Azanza B., (2021). Linking geological heritage and geoethics with a particular emphasis on palaeontological heritage: the new concept of “palaeontoethics”, Geoheritage <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00595-3>.

Mohamed Abdel-Monem Sayed. (2018). Potential of 3d laser point cloud data usage for the tourism industry, 12th International Conference on Civil and Architecture Engineering, ICCAE-12-2018, Military Technical College Kobry El-Kobbah, Cairo, Egypt.

Mouratidis A., Ampatzidis D. (2019). European Digital Elevation Model Validation against Extensive Global Navigation Satellite Systems Data and Comparison with SRTM DEM and ASTER GDEM in Central Macedonia (Greece), ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2019, 8, 108; doi:10.3390/ijgi8030108, MDPI.

Mouratidis A., Briole P., Katsambalos K. (2010). SRTM 3" DEM (versions 1, 2, 3, 4) validation by means of extensive kinematic GPS measurements: a case study from North Greece, International Journal of Remote Sensing, 31:23,6205-6222, DOI:10.1080/01431160903401403.

National Geographic Society. (2018). Geo-education: essential preparation for an interconnected world. <https://www.nationalgeographic.org/education/geo-education-essential-preparation-interconnected-world/>.

National Geographic. (2020). About Geotourism. National Geographic, <https://www.nationalgeographic.com/maps/geotourism/about/>.

Nazarudd D.A. (2019). Selected geosites for geoheritage, geotourism, and geoconservation in Songkhla Province, Southern Thailand. Quaestiones Geographicae 38(1), Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 161–177, ISSN 0137-477X, e ISSN 2081-6383.

Newsome D., Dowling R.K. (2010). Geotourism: The Tourism of Geology and Landscape. Goodfellow Publishers, Oxford, p.320.

Nieto, L.M. (2001). Geodiversidad: Propuesta de una definición integradora. Bol. Geológico Min. 112, 3–12.

Noszczyk T., Gawronek P. (2020). Remote Sensing and GIS for Environmental Analysis and Cultural Heritage, Remote Sens. 12, 3960; doi: 10.3390/rs12233960.

Ormeling, F. (2009). Technical Geography Core concepts in the mapping sciences. p. 482. ISBN 978-1-84826-960-6.

Osborne R.A.L. (2000). Geodiversity: Green geology in action Presidential address for 1999-2000. Proceedings of the Linnaean Society of New South Wales 122: 149-173.

Papadopoulou E.E., Papakostantinou A., Vasilakos C., Zouros N., Tataris G., Proestakis S., Soulakellis N. (2022). Scale issues for geoheritage 3D mapping: The case of Lesvos Geopark, Greece, International Journal of Geoheritage and Parks 10 435–446, <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.08.006>.

Papanikolaou D., Lekkas E., Mirkou M.R., Syskakis D. (1990). Geodynamic aspects during early Pliocene in Milos Island, Cyclades, Aegean Sea. Int. Earth Sciences Congress on the Aegean Region (IESCA), Izmir 1990, Abstracts p.237.

Parcharidis I., Gartzos E., Psomiadis E. (2001), Evaluation of remote sensing methods for the detection of hydrothermal alteration zones in Milos island, Greece

Payne A. (2009). Laser Scanning for Archaeology: A Guide to Good Practice.

Peppoloni S, Bilham N, Di Capua G. (2019). Contemporary geoethics within the geosciences. In: Bohle M (ed) Exploring geoethics: ethical implications, societal contexts, and professional obligations of the geosciences. Palgrave Pivot, pp. 25–7.

Peppoloni S., Di Capua G. (2014). The meaning of Geoethics. In: Wyss M. And Peppoloni S. (Eds), Geoethics: ethical challenges and case studies in Earth Science, 450 p., Elsevier, Waltham, Massachusetts, ISBN: 9780127999357.

Peppoloni S., Di Capua G. (2020). Geoethics as global ethics to face grand challenges for humanity. In: Di Capua G., Brobowski P.T., Kieffer S.W., Palinkas C. (eds) Geoethics: status and future perspectives. Geological Society, London, Special Publications, 508, 1–17.

Peppoloni, S.; Di Capua, G. (2015). The meaning of geoethics. In Ethical Challenges and Case Studies in Earth Sciences; Wyss, M., Peppoloni, S., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands,; pp. 3–14.

Pérez-Aguilar, A.; Juliani, C.; de Barros, E.J.; Magalhães de Andrade, M.R.; de Oliveira, E.S.; Braga, D.d.A.; Santos, R.O., (2013). Archaeological gold mining structures from colonial period present in Guarulhos and Mairiporã, São Paulo State, Brazil, Geoheritage, 5, 87–105.

Pieraccini, M., Guidi, G., & Atzeni, C. (2001). 3D digitizing of cultural heritage. Journal of Cultural Heritage, 2(1), 63–70.

Pijet-Migón E., Migón P. (2022). Geoheritage and Cultural Heritage—A Review of Recurrent and Interlinked Themes, Geosciences 2022, 12, 98. <https://doi.org/10.3390/geosciences12020098>.

Poulos S.E., Ghionis G., Maroukian H. (2009). Sea-level rise trends in the Attico–Cycladic region (Aegean Sea) during the last 5000 years. Geomorphology, 107(1–2):10–17. doi: 10.1016/j.geomorph.2007.05.022.

Prosser C. (2019). Communities, Quarries and Geoheritage—Making the Connections, Geoheritage, <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00355-4>.

Prosser, C. (2002a). Terms of endearment. Earth Heritage 17: 12–13. Joint Nature Conservation Committee, English Nature, Scottish Natural Heritage and the Countryside Council for Wales.

Prosser, C. (2002b). Also speaking the same language. Earth Heritage 18: 24–25. Joint Nature Conservation Committee, English Nature, Scottish Natural Heritage and the Countryside Council for Wales.

Rabeder, G., Tsoukala, E. (1990). Morphodynamic analysis of some cave-bear teeth from Petralona Cave (Chalkidiki, North-Greece). Beiträge zur Paläontologie von Österreich, 16: 103–109.

Rabus B., Eineder M., Roth, A., Bamler, R. (2003). The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 57, Issue 4, Pages 241–262,

Rajyalakshmi, D., Raju, K.K., Varma, G.P.S. (2016). Taxonomy of Satellite Image and Validation Using Statistical Inference. 2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC). pp. 352–361.

Ramakrishnan D., Bharti R. (2015). "Hyperspectral remote sensing and geological applications". Current Science: 879–891.

Regolini-Bissig G. (2010). Mapping geoheritage for interpretive purpose: definition and interdisciplinary approach. In: Regolini-Bissig G., Reynard E. (eds) Mapping Geoheritage, Géovisions, Geography Institute, Lausanne, 35. pp. 1–13.

Reynard E., Brilha J. (2018). Geoheritage- Assessment, Protection, and Management, Elsevier, ISBN: 978-0-12-809531-7.

Richards J.A. (1986). Remote Sensing Digital Image Analysis. An introduction, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Richards, J. A & Jia, X., (2006). Remote Sensing Digital Image Analysis

Richards, J.A. (2013). Remote Sensing Digital Image Analysis. Fifth. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Risbøl O., Briese C., Doneus M., Nesbakken A. (2014). Monitoring cultural heritage by comparing DEMs derived from historical aerial photographs and airborne laser scanning, Elsevier, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2014.04.002>.

Rucker F. (2010). Eyes of the Army - U.S. Army Roadmap for UAS 2010-2035, U.S Army.

Santos I., Henriques R., Mariano G., Pereira D. (2018). Methodologies to Represent and Promote the Geoheritage using Unmanned Aerial Vehicle, Multimedia Technologies and Augmented Reality, Geoheritage, <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0305-0>.

Sayre, N.F. (2005). Ecological and geographical scale. Progress in Human Geography. 3. pp. 276–290.

Schowengerdt, R.A. (2007). Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. 3rd Ed. Academic Press.

Semeniuk V. (1997). The linkage between biodiversity and geodiversity. In: R Eberhard (ed), Pattern & Processes: Towards a Regional Approach to National Estate assessment of geodiversity. Technical Series No. 2, Australian Heritage Commission & Environment Forest Taskforce, Environment Australia, Canberra, p 51 - 58.

Serrano-Juan A., Vázquez-Suñe E., Monserrat O., Crosetto M., Hoffmann C., Ledesma A., Criollo R., Pujades E., Velasco V., Garcia-Gil A., Alcaraz M. (2016). Gb-SAR interferometry displacement measurements during dewatering in construction works. Case of La Sagrera railway station in Barcelona, Spain, Elsevier, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.02.014>.

Shahbaz, M., Guergachi, A., Noreen, A., Shaheen, M. (2012). Classification by Object Recognition in Satellite Images by using Data Mining. Proceedings of the World Congress on Engineering.

Sharples C. (2002). Concepts and principles of geoconservation. Tasmanian Parks & Wildlife Service, Hobart.

Sharples, C. (1993). A Methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes. Report to Forestry Commission Tasmania, Hobart, Tasmania.

Sharples, C. (1995). Geoconservation in forest management principles and procedures. *Tasforests* 7: 37-50.

Sheng, G., Yang, W., Xu, T. & Sun, H. (2011). High-resolution satellite scene classification using a sparse coding based multiple feature combination. *International Journal of Remote Sensing*. 33 (8). pp. 2395–2412.

Sheppard, E. & McMaster, R.B. (2004). Scale and geographic inquiry: Nature, society, and method. Blackwell Publishing.

Shishido, H., Ito, Y., Kawamura, Y., Matsui, T., Morishima, A., & Kitahara, I., (2017). Proactive preservation of World Heritage by crowdsourcing and 3D reconstruction technology. Paper presented at the 2017 IEEE, International Conference on Big Data (Big Data), Boston.

Skidmore, A. (2003). Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing. Available at: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780203302217>.

Slater P.N. (1980). Remote Sensing: Optics and Optical System. Addison - Wesley: Reading Mass.

Sotiriadis L., Psilovikos A., Astaras Th. (1972). Origin and formation of some characteristic geomorphological occurrences in the tectonic valley of Langada - Volvi. "Nymphopetres".

Sousa J., Ruiz A., Hanssen R., Bastos L., Gil A., Galindo-Zaldívar J., Sanz de Galdeano C., 2009, PS-InSAR processing methodologies in the detection of field surface deformation—Study of the Granada basin (Central Betic Cordilleras, southern Spain), Elsevier Ltd., *Journal of Geodynamics* 49 (2010) 181–189, doi:10.1016/j.jog.2009.12.002

Spyrou E., Triantaphyllou M., Tsourou T., Vassilakis E., Asimakopoulos C., Konsolaki A., Markakis D., Marketou-Galari D., Skentos A. (2022). Assessment of Geological Heritage Sites and Their Significance for Geotouristic Exploitation: The Case of Lefkas, Meganisi, Kefalonia and Ithaki Islands, Ionian Sea, Greece, *Geosciences*, 12, 55. <https://doi.org/10.3390/geosciences12020055>.

Stevens C. (1994). Defining geological conservation. Keynote Address In: D O'Halloran, C., Green, M., Harley, M., Stanley, J. Knill (eds), *Geological and Landscape Conservation*. Proceedings of the Malvern International Conference 1993. Geological Society, London, UK.

Subramanian S. (2001). Evaluation of digital elevation models created from different satellite images, India.

Szepesi J., Ésik Z., Soós I., Németh B., Sütő L., Novák T., Harangi S., Lukács R., (2020). Identification of Geoheritage Elements in a Cultural Landscape: a Case Study from Tokaj Mts, Hungary, The European Association for Conservation of the Geological Heritage, <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00516-w>.

Tapete D. (2016). Trends and perspectives of space-borne SAR remote sensing for archaeological landscape and cultural heritage applications, Elsevier, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.07.017>.

Tapete D. (2018). Remote Sensing and Geosciences for Archaeology, Geosciences, 8, 41; doi:10.3390/geosciences8020041.

Themistocleous K., Agapiou A., Cuca B., Hadjimitsis D. (2015). Unmanned Aerial Systems And Spectroscopy For Remote Sensing applications In Archaeology, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-7/W3, 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 11–15 May 2015, Berlin, Germany, doi:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1419-2015.

Theodosiou Ir. (2010). Designation Of Geosites- Proposals For Geoparks In Greece, Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. 43, Proceedings of the 12th International Congress Patras, May.

Thomas F.M. (2016). New keywords in the geosciences– some conceptual and scientific issues, Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 37 (1), 1-12.

Tičar J., Komac B., Zorn M., Ferk M., Hrvatin M., Ciglič R. (2017). From urban geodiversity to geoheritage: The case of Ljubljana (Slovenia), Quaestiones Geographicae 36(3) doi: 10.1515/quageo- 2017-0023 ISSN 0137-477X.

Tsirambides A., Filippidis A. (2016). Gold Metallogeny of the Servomacedonian - Rhodope metallogenic belt (SRMB), Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. L, p. 2037-2046, Proceedings of the 14 th International Congress, Thessaloniki,

Tsoukala, E. (1989). Contribution to the study of the Pleistocene fauna of large mammals (Carnivora, Perissodactyla, Artiodactyla) from Petralona Cave, Chalkidiki (N. Greece). Ph. D. Thesis, Scientific Annals, School of Geology, Aristotle University, 8: 1-360, I-LXII plates, Thessaloniki.

Tucci G., Bonora V., Conti A., Fiorini L. (2017). High-Quality 3d Models And Their Use In A Cultural Heritage Conservation Project, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W5, 26th International CIPA Symposium, 28 August–01 September 2017, Ottawa, Canada, doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-687-2017.

Tzouvaras M., Kouhartsiouk D., Agapiou A., Danezis C., Hadjimitsis D. (2019). The Use of Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) Images and Open-Source Software for Cultural Heritage: An Example from Paphos Area in Cyprus for Mapping Landscape

Changes after a Magnitude Earthquake, Remote Sens. 11, 1766; doi: 10.3390/rs11151766.

Vaiphasa, C., Piamduaytham, S., Vaiphasa, T. & Skidmore, A.K. (2011). A normalized difference vegetation index (NDVI) time-series of idle agriculture lands: A preliminary study. Engineering Journal. 15 (1). pp. 9–16.

Vlachopoulos N., Voudouris P. (2022). Preservation of the Geoheritage and Mining Heritage of Serifos Island, Greece: Geotourism Perspectives in a Potential New Global Unesco Geopark, Geosciences, MDPI, 12, 127. <https://doi.org/10.3390/geosciences12030127>.

Voudouris P., Mavrogonatos C., Melfos V., Alfieris D., Stamatakis M. (2014), Alunite occurrences in Greece: Geological-Mineralogical constraints and exploitation, Coastal Landscapes, Mining activities & Preservation of Cultural Heritage, 17-20/09/2014, Milos island

Wang P., Xing C., Pan X., Zhou X., Shi B. (2021). Microdeformation monitoring by permanent scatterer GB-SAR interferometry based on image subset series with short temporal baselines: The Geheyan Dam case study, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109944>.

Wang, K., Xiang, W., Guo, X. & Liu, J. (2012). Remote Sensing of Forestry Studies. In: Global Perspectives on Sustainable Forest Management. InTech.

Wang, Y., Wu, F., Li, X., & Chen, L. (2019). Geotourism, geoconservation, and geodiversity along the belt and road: A case study of Dunhuang UNESCO Global Geopark in China. Proceedings of the Geologists' Association, 130(2), 232–241.

Warner, T.A., Nellis, M.D. & Foody, G.M. (2009). Remote Sensing Scale and Data Selection Issues. In: The SAGE Handbook of Remote Sensing. Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1SP United Kingdom: SAGE Publications Ltd, pp. 3–17.

Williams M., McHenry M. (2020). The Increasing Need for Geographical Information Technology (GIT) Tools in Geoconservation and Geotourism, Geoconservation Research, Volume 3 / Issue 1 / pages (17-32) e-ISSN: 2645-4661 p-ISSN: 2588-7343.

Wilson A. (2022). The use of remote sensing and digital tools for cultural heritage management and archaeological research, LevantThe Journal of the Council for British Research in the Levant, <https://doi.org/10.1080/00758914.2022.2051901>.

Wiseman J., El-Baz F., (2007). Remote Sensing in Archaeology, Springer Science, e-ISBN 10 0-387-44455-6.

Woodcock, C. E. (2008). Free access to Landsat imagery, Science 320: 1011–1012. doi:10.1126/science.320.5879.1011a.

Wu, H. & Li, Z.L. (2009). Scale issues in remote sensing: A review on analysis, processing and modeling. Sensors. 9 (3). pp. 1768–1793.

Wu, J. & Li, H. (2006). Concepts of Scale and Scaling. In: J. Wu, K. B. Jones, H. Li, & O. L. Loucks (eds.). Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications. Springer Science & Business Media.

Wulder, M. A., Masek, J. G., Cohen, W. B., Loveland, T. R., and Woodcock, C. E. (2012). Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment* 122: 2–10. Doi: 10.1016/j. rse.2012.01.010.

Yu, L., Liang, L., Wang, J., Zhao, Y., Cheng, Q., Hu, L., Liu, S., Yu, L., Wang, X., Zhu, P., Li, X., Xu, Y., Li, C., Fu, W., Li, X., Li, W., Liu, C., Cong, N., Zhang, H., Sun, F., Bi, X., Xin, Q., Li, D., Yan, D., Zhu, Z., Goodchild, M.F. & Gong, P. (2014). Meta-discoveries from a synthesis of satellite-based land-cover mapping research. *International Journal of Remote Sensing*. 35 (13). p.pp. 4573–4588.

Yusry M., Simon N., Unjah T. (2018). Geodiversity and geoheritage assessment in Hulu Langat district, Selangor, Malaysia, *Geo Journal of Tourism and Geosites*, Year XI, vol. 23, no. 3, 2018, p.861-872,ISSN 2065-0817, E-ISSN 2065-1198.

Zafeiropoulos G., Drinia H., Antonarakou A., Zouros N. (2021) From Geoheritage to Geoeducation, Geoethics and Geotourism: A Critical Evaluation of the Greek Region, *Geosciences*,11, 381. [https:// doi.org/10.3390/geosciences11090381](https://doi.org/10.3390/geosciences11090381).

Zagorchev I. Nakov R. (1998). Geological Heritage of Europe (Special Issue). *Geologica Balcanica* 28. 3-4.

Zebker, H.A., Goldstein, R.M. (1986). Topographic mapping from interferometry synthetic aperture radar observations, *J. Geophys. Res.*, 91, (B5), pp. 4993-4999.

Zhao, L. Hong, H. Liu, J. Fang, Q. Yao, Y. Tan, W. Yin, K. Wang, C. Chen, M. Algeo, T. J. (2018). Assessing the utility of visible-to-shortwave infrared reflectance spectroscopy for analysis of soil weathering intensity and paleoclimate reconstruction, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 512: 80–94. doi:10.1016/j.palaeo.2017.07.007. S2CID 133726583.

Zhe Zhu, Shi Qiu, Binbin He, and Chengbin Deng. (2018). Cloud and Cloud Shadow Detection for Landsat Images: The Fundamental Basis for Analyzing Landsat Time Series, DOI: 10.1201/9781315166636-1:<https://www.researchgate.net/publication/324975294>.

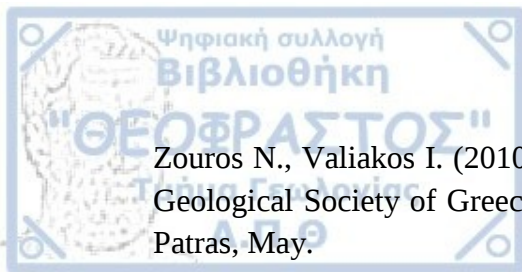
Zhou X., Kuiper K., Wijbrans J., Boehm K., Vroon P., (2021) Eruptive history and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of the Milos volcanic field, Greece, *Geochronology*, EGU

Zhu, X. (2016). GIS for environmental applications: a practical approach. London; New York, NY: Routledge.

Zouros N. (2004). The European Geoparks Network. Geological heritage protection and local development. *Episodes* 27(3):165–171.

Zouros N. (2005). Assessment, protection, and promotion of geomorphological and geological sites in the Aegean area, Greece, p. 227-234, <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.398>, Open Edition Journals.

Zouros N. (2007). Geomorphosite assessment and management in protected areas of Greece. The case of the Lesvos Island coastal geomorphosites. *Geogr Helv* 62(3):169–180.



Zouros N., Valiakos I. (2010). Geoparks Management And Assessment, Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. 43, Proceedings of the 12th International Congress Patras, May.

Zouros, N., Valiakos, I. (2008). Geosites assessment and management in protected areas of Greece. The case of the Lesvos Petrified Forest Geopark. Proceedings of the 3rd International UNESCO Conference on Geoparks, Osnabrück, Germany.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αλεξάκης Δ. (2009). Η συμβολή της γεωμορφολογίας με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη Χαρτογράφηση αρχαιολογικών θέσεων, διδακτορική διατριβή, Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Αποσπόρης Π. (2020). Το Βιβλίο των DRONES, Ολοκληρωμένος οδηγός για τα συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών, Εκδόσεις Παπαζήση ΑΕΒΕ.

Αστάρας Θ. (2011). Τηλεπισκόπηση - Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες, εκδόσεις Γκιούρδας Β., ISBN-13: 9789603879039.

Αστάρας, Θ., Οικονομίδης, Δ., Μουρατίδης, Α. (2007). Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.), διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Βαλιάκος Η. (2018). Γεωγραφία, Αξιολόγηση και Διαχείριση Γεώτοπων της Ελλάδας, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή κοινωνικών επιστημών, Τμήμα Γεωγραφίας, Μυτιλήνη.

Βουγιουκαλάκης Γ. (1992). «Έκθεση ηφαιστειολογικών και τεκτονικών παρατηρήσεων στη νήσο Μήλο για το σεισμό της 20/2/92», Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

Βαλιάκος Η., 2018, Γεωγραφία, Αξιολόγηση και Διαχείριση Γεώτοπων της Ελλάδας, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή κοινωνικών επιστημών, Τμήμα Γεωγραφίας, Μυτιλήνη

Βελιτζέλος Ε., Μουντράκης Δ., Ζούρος Ν., Σουλακέλης Ν., (2002), Ατλαντας των Γεωλογικών μνημείων του Αιγαίου, Υπουργείο Αιγαίου

Βουγιουκαλάκης Γ. (2005). Στα γαλάζια ηφαίστεια. ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ, Δημοτική Επιχείρηση Πολιτιστικής και Τουριστικής Ανάπτυξης Δήμου Θήρας, Ινστιτούτο μελέτης και παρακολούθησης ηφαιστείου Σαντορίνης.

Βουγιουκαλάκης Γ., 1992, «Έκθεση ηφαιστειολογικών και τεκτονικών παρατηρήσεων στη νήσο Μήλο για το σεισμό της 20/2/92», Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

Δρακάτου Μ.Α., Γαλάνη Α., Ισαάκ Π. (2017). Ενίσχυση του ενδιαφέροντος των μαθητών για την Τηλεπισκόπηση και τις δορυφορικές εικόνες μέσα από τη μη τυπική εκπαίδευση, Πρακτικά Εργασιών 5ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην

Εκπαιδευτική Διαδικασία», σ. 4-14, Ανώτατη Σχολή Παιδαγωγικής & Τεχνολογικής Εκπαίδευσης, 21-23 Απριλίου 2017. ISSN 2529-0924, ISBN 978-618-83186-0-1.

Ζούρος Ν., Βαλιάκος Η. (2007). Αξιολόγηση και Διαχείριση Γεωτόπων, 8ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Αθήνα, 4 – 7 Οκτωβρίου 2007.

Ι.Γ.Μ.Ε. Περιοδική Έκδοση, (2011). Η Συμβολή του Ινστιτούτου της Βιώσιμης και Ανταγωνιστικής Ανάπτυξης της Ελλάδας, Τεύχος 12, ISSN:1791-2210.

Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κόκλα, Μ., Κονταξάκη, Σ., Πανόπουλος, Γ., & Τομαή, Ε. (2016). Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας - Ολοκληρωμένη Προσέγγιση και Ειδικά Θέματα. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.

Καρτάλης Κ., Φείδας Χ. (2019). Αρχές και εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, εκδόσεις Τζιόλα.

Καρτάλης, Κ., Φειδάς, Χ. (2006). Αρχές και εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, εκδόσεις Γκιούρδας.

Κοντόση Κ., (2007), Τα GIS στην εκπαιδευτική διαδικασία. Δυνατότητες και προοπτικές χρησιμοποίησής τους στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, 2ο Εκπαιδευτικό Συνέδριο: Γλώσσα, Σκέψη και Πράξη στην Εκπαίδευση, Ιωάννινα, 19-21/10/2007

Κουτρομπά Δ. (2018). Τα ορυχεία της Μήλου: Η καταγραφή μιας διαχρονικής βιομηχανικής δραστηριότητας, Ερευνητική Εργασία, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Κουφός Γ., Τσουκαλά Ε. (2007). Πετράλωνα ένα σπήλαιο, μια προϊστορία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Λόζιος, Σ., Σούκης, Κ., Αντωνίου, Β. (2015). Τοπογραφικοί χάρτες και μορφολογικές δομές αναγλύφου. Γεωλογική χαρτογράφηση και ασκήσεις υπαίθρου, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις Κάλλιπος, <https://hdl.handle.net/11419/1269>.

Μέλφος Β. (2009) Ο Πράσινος Θεσσαλικός Λίθος και τα λατομεία της Χασάμπαλης, Δήμος Νέσσωνας ΔΗ.ΚΕ.ΔΗ.Ν, ISBN: 978-960-6700-38-5.

Μερτίκας, Σ.Π. (1999) Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή ανάλυση εικόνας, εκδόσεις ΙΩΝ.

Μουρατίδης Α. (2010). Συμβολή της υποστηριζόμενης από GPS και GIS διαστημικής Τηλεπισκόπησης στη μορφοτεκτονική έρευνα της Κεντρικής Μακεδονίας, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Νικολάου Μ., (2005). Ορυκτά, Πετρώματα και Πολιτισμός, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας

Οικονόμου Α. (2019). Πολιτιστική Κληρονομιά, Υλική Και Άυλη: Δυο Όψεις Του Ίδιου Νομίσματος; Το Παράδειγμα Της Αγοροδιατροφικής Παράδοσης, <https://www.academia.edu/45025389/>.

Παπαδοπούλου Α. (2014). Ανάκτηση, Αξιοποίηση, Αποκατάσταση Τοπίων Εκμετάλλευσης Ορυκτού Πλούτου, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Τομέας Αρχιτεκτονικού & Αστικού Σχεδιασμού.

Παπανικολάου Μ., Παπανικολάου Δ., Βασιλάκης Ε. (2011). Μεταβολές της Στάθμης της Θάλασσας και Επιπτώσεις στις Ακτές. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος.

Παρχαρίδης Ι. (2015). Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, Θεωρία και εφαρμογές, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, ISBN: 978-960-603-443-5.

Πατώνης Φ., Σημειώσεις Μαθήματος Σχεδίου- Απεικόνιση βασικών στοιχείων υποβάθρου τοπογραφικού διαγράμματος, ακαδημαϊκό έτος 2014-2015, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Κτηματολογίου, Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας.

Παυλίδης Σ., (2022). Η δημιουργία του Αιγαίου, Γερμανός

Ποϊραζίδης Κ., Βούλγαρης, Μ Δ, Κεφαλάς, Γ, Λορίλια, Ρ Σ. (2013). Βασικές Αρχές Της Τηλεπισκόπησης Επιμέλεια-Απόδοση Στα Ελληνικά, e-book.

Σημιαϊκής Κ. (1985).Γεωθερμική έρευνα νησιώτικου συμπλέγματος Μήλου υπέρ Δ.Ε.Η. – Συμπεράσματα νεοτεκτονικής μελέτης, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

Σημιαϊκής Κ., (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη νησιώτικου συμπλέγματος Μήλου, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

Σουλακέλλης Ν., Ζούρος Ν., (1998), Ψηφιακός χάρτης γεωλογικών μνημείων της Λέσβου με την χρήση ΓΣΠ. 3ο Διεθνές Συμπόσιο «Διαχείριση προστατευόμενων περιοχών - Μνημεία της Φύσης»

Σούλιος Γ. (2004). Γενική Υδρογεωλογία, Τρίτος Τόμος, ΣΤ. Αποθέματα και διαχείριση του υπόγειου νερού, εκδόσεις Αδερφών Κυριακίδη Α.Ε., ISBN 960-343-784-0.

Σταμούλη Μ., Τζούρα Α. (2022). Τρισδιάστατη αποτύπωση του γεωλογικού πάρκου της Νυμφόπετρας, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

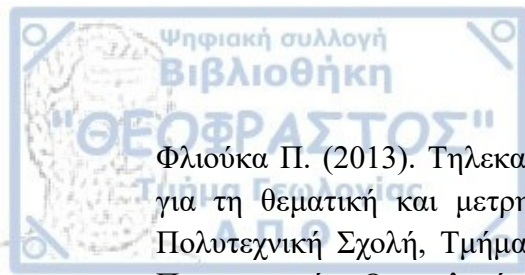
Σταρίδας Σ., Γαλανάκης Δ., (2016), Γεωδιαδρομές στη Μήλο, Διεύθυνση Γενικής Γεωλογίας και Γεωλογικών Χαρτογραφήσεων, Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών

Τσιούκας Β. (2009). Χρήση νέων τεχνολογιών στην 3D αποτύπωση μνημείων και χώρων, σημειώσεις σεμιναρίου ΤΕΕ, Ξάνθη.

Τσόκας Γρηγόρης Ν. (1985). Γεωφυσική διασκόπηση των νησιών Μήλος και Κίμωλος, Επιστημονική Επετηρίδα της Σχολής Θετικών Επιστημών Α.Π.Θ., παράρτημα αριθμ. 50 του 23ου τόμου, σ. 12-21, σ. 108-126.

Τσούλος Λ., Σκοπελίτη Α., Στάμου Α. (2015). Χαρτογραφική Σύνθεση και Απόδοση σε Ψηφιακό Περιβάλλον, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, ISBN: 978-960-603-271-4.

Φαλτσέτα Σ. (1997). Το Γεωπεριβάλλον στο Χωροταξικό Σχεδιασμό: Μεθοδολογία Προσέγγισης. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Τμήμα Αστικής και Περιφερειακής Ανάπτυξης. Πάντειος. Σελ. 9,33,21.



Φλιούκα Π. (2013). Τηλεκατευθυνόμενα μη επανδρωμένα συστήματα λήψης εικόνων για τη θεματική και μετρητική τεκμηρίωση του αστικού και περιαστικού χώρου, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης, Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Νικόλαος Β., (2004). «Γεωθερμία», εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη.

Φυτίκας Μ., (1977). Γεωλογική και Γεωθερμική μελέτη της νήσου Μήλου, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Χαλκιάς, Χ. (2001). Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Σημειώσεις.

Ψιλοβίκος Α., (1977). Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδοίας (ΛΑγκαδα-Βόλβη), Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

URL	ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑ	ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΣΤΗ ΣΕΛΙΔΑ
URL 01	www.spilaio-perama.gr	20-08-23
URL 02	kefaloniageopark.gr	10-09-23
URL 03	igmegeoheritage.weebly.com/	10-12-23
URL 04	www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/passive-sensors	
URL 05	sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions	
URL 06	www.usgs.gov	
URL 07	antiparosroutes.com	10-09-23
URL 08	lesvosmuseum.gr	10-09-23
URL 09	lemnosgeomonuments.gr	10-09-23
URL 10	miloterranean.gr	10-09-23
URL 11	topoguide.gr	10-09-23
URL 12	nisyrosgeopark.gr	10-09-23
URL 13	sitia-geopark.gr	10-09-23
URL 14	www.psiloritisgeopark.gr	10-09-23
URL 15	geoparklavreotiki.gr	10-09-23
URL 16	whc.unesco.org/en/list/1695	15-12-23
URL 17	whc.unesco.org/en/statesparties/GR/	15-12-23
URL 18	www.eagme.gr/site/services	
URL 19	www.discovergreece.com/cyclades/milos	25-11-23
URL 20	www.dji.com/gr/mavic-mini	
URL 21	aca-apac.com/my/products/product-detail/blk360	
URL 22	3dtarget.it	
URL 23	ultimaker.com	
URL 24	structure.io	
URL 25	intelrealsense.com	
URL 26	climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-level	30-10-23
URL 27	www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products	
URL 28	gis.web.auth.gr	
URL 29	gis.web.auth.gr/Webmaps/Geoheritage_171023_v3/index.html	
URL 30	teachablemath.com/cut-shape-area-perimeter/	
URL 31	education.nationalgeographic.org	
URL 32	www.isprs.org	
URL 33	http://www.hellenicgeoparks.gr/	
URL 34	https://www.europeangeoparks.org/	
URL 35	http://www.globalgeopark.org	
URL 36	http://www.mfi-miliasgrevenon.gr	
URL 37	https://www.milosminingmuseum.com	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρατίθεται στη συνέχεια η λίστα με τις θέσεις γεωλογικής κληρονομιάς που έχουν καταχωρισθεί στη βάση δεδομένων :

Name				
Gorge Avlona Lemnos	Quarry Ancient marble Flerio Naxos	Gorge of Ridomo	Mt.Olympus	Fossils of Pikerimi
Waterfall of Avlona Lemnos	Folded Paros Granite	Pothole of Syrintra	Geoforms "Palaces"	Doline of Aforismos
Tafoni – Mushroom weathering formation of St. Ioannis Lemnos	Mirror of the Larsos fault	Gorge of Vyros	Granite sculptures Kalamitsi Sithonia	Mines Firé -Agios Ioannis Kinigos to
Trigies Cape Lemnos	Cave of Orfeu	Quarry ancient of Proastio Messenia	Granite beaches Kavourotrypes Sithonia	Cave of Liondari
Faraklo Spheroidal Weathering Lemnos	Quarry Marble at Tarti	Doline of Gaitson	Granite beaches Karidi /sithonia	Vichos mines
Erosion formations of St. Ermolaos Lemnos	St.Hermogenis Limestone Lesvos	Pothole of Lykourgous	Prohistoric ochre mine entrance Thasos	Ancient Quarry of Karavi
Erosion Formations of St. Efthymia Lemnos	Column lavas Panaghiass Lesvos	Doline Skilbovatsa	Paggiao Mines	Ancient Quarry of Koutala
Tombolo Prassa Limani Lemnos	Olymbos Mount Lesvos	Cave of Stavropigi	Chionotrypa Mt.Falakro	Cave of Kakouvoulas
Tombolo St. Efthymia Lemnos	Columnar Volcanic Rock at Psaronas Chios	Polje of Lousi	Nestos gorge	Cave of Nimfoliptos
Waterfall Katsaitis Lemnos	Chios Ammonites	Gorge of Vouraikos	Marmaritsa iron ore veins and beds	Pothole -Thrakia Sykia Varis
Limnian Earth mining site	Cave Agio Galas	Moraines Glacial on Chelmos	Fault of Maronia-Makri Active	Acropolis Lycabettus
Quarry Hephaistia Lemnos	Dwarf elephants	Alpine lake Mavrolimni	Poseidon Coastguards Petrola Komotini	Fossils -Tourkovounia
Cape Poumias Quarry Lemnos	Gorge Of Xetryptiti	Kaastria Conglomerates	Kalamo Dhrepos Itea	Cave of Pan
Firiplaka Volcano Melos	Argilos Beach Creta	Sand dunes Kotychi - Strofylia	Polje-Livadhi Arachovas	Doline- Megalo Vathychori
Submarine Gas Melos	Cave of Pelekita	Keri Formations	Cave -Korykion Andron	Doline- Mikro Vathychori
Thiorichia	Quarry Ancient Pelekita	Kalamaki evaporites	Pothole - Eptastomos	Doline- Megalos Krifitis
Quarry Alik Thasos	Fault- Erimoupolis Thrust Creta	Gherakas Clays	Pothole -Drakokarkaros	Pothole of Skotini
Quarry Saliara Thasos	Quarry ancient Labyrinth	Kounopetra Kefalonia	Cave -Neraidospilia	Erosion formation- Mushroom-shaped
Quarry Vathy Thasos	Ghrias Pites Creta	Pothole of Agia Eleousa	Cave -Baroutospilia	Ancient quarry Pouria
Cave Dragon Thasos	Kourtsa karstic landscape	Pothole of Agalaki	Vagonetto Fokida Mining Park	Sand Dunes - Nefina
Cave Atspas Thasos	Folds Vossakos	Folds-The stone eye Antipaxoi	Bauxite in Viotia	Sand Dunes - Poliochmi
Vria Quarry	Voulismeno Aloni	Doline of Mt Pantokrator	Plaka Sykias	Sand Dunes of Kavala
Quarry Tranovaltos Kamvounion	Brackish karst spring of Almyros	Cave of Liapades (undersea) Corfu	Pothole -Oeta	Salt pans Toyrida 1
Quarries Marble Paros	Ghiouchtas tectonic horn	Kokinopilos Preveza	Fossils in Perachora	Salt pans Tourida 2
Quarry -mushroom quarries of Vania Creta	Fault Plakia	Theoghefiro Zitsa	Coastal geoforms in Corinthian gulf	Salt pans Kaloni Lesvos
Cave of Maria Creta	Folds in Katsiveli	Ionian Zone Flysch Zagori	Fossilized beach lines in Corinthia gulf	Salt pans Polichnitoi Lesvos
Gorge Karteros Heraklion	Geoforms in Trypiti Creta	Cave -Trypa tou Orniou	Fossils in Skaloma	Salt pans Kitros Pieria
Cave Kamares Creta	Cave Maronia	Pothole Chasma tou Epous	Fambouro gorge fault, Mt Geraneia	Salt pans Pydna Pieria
Cave Ideon Antron Creta	Fault Keras	Pothole of Provatina	Corinth Canal	Salt pans Angelochori Thessaloniki
Cave Elephant (underwater) Chania	Komolithi	Fault of Astraka	Acrocorinth	Salt pans Mesi Komotini
Thermal Spring Kandarou Bay Melos	Elafonisi sand dunes	Fault Plane of Konitsa	Fault - Kakia Skala	Salt pans Kessanis Xanthi
Thermal Spring Achivadolimni Melos	Fossilized beach lines of Crete	Vythos Pendalofos Grevena	Cave of Skironas	Salt pans Melos
Thermal Spring Komia	Kythera fossiliferous deposits	Nostimo fossilized forest Kastoria	Therma Loutra in Souvala	Salt pans Zakynthos
Thermal Spring Voudia Melos	Cave Glyfadha or Vlychadha Diros	Trypio Lithari Pertouli	Paleochora Dacites	Tunnel of Eupalinos Samos
Thermal Spring Fyripotamos Melos	Cave of Alepotryra Dirou	Cave of Beis	Keri Rock	Salt pans of Samos
Volcano Trachila	Cave of Apidima	Glacial lakes of Flega	Cave of Peristeri Methana	Salt pans Tigaki Kos
Glaronissia	Cave of Franchthi	Pillow lavas of Mikrolivadho	Mines of Lavrio	Salt pans Lefkimi Corfu
Vani Melos	Cave of Katafygi	Amphibolite Sole	Chaos	Salt pans Paros
Quarry marble Kinkaros Naxos	Cave of Katafygio tou Vatsinidi	Trypimeni Petra	Cave of Keratea	Salt pans Tokkon Lefkada
Quarry Ancient marble Naxos	Quarries Prastio tufa	Sarantaporo Neogene plane	Cave of Vravra	Salt pans Alexandros Lefkada
Quarry Karea 1	Quarry Karea 2	Cave of Thermos Voulas	Cave of Antartes	Salt pans Anavissos- Park
				Quarry Gouva

Name				
Nymfopetres	Folds Apoplystra	Theokafta Epidavrou	Cave Koutouki Paiania	Thermal Springs Lakkos Adamantas
The Petrified Forest of Lesvos	Sand Dunes - Ag.Pavlos	Sidari Corfy	Cave Anemotrypa	Thermal Springs Alikes Melos
Vatika Petrified Palm Forest Agios Nikolaos	Triopetra Beach	Cave Theopetra	Cave Melidoni	Quarry Achini
Cave of Lakes-Kastria	Cave of Matala	Girapetra	Cave Milatos	Quarry Thalassa
Meteora	Fault Amorfo	Volax Tinos	Cave Sfentoni	Quarry Machera
Cave St.Georgiou Kilkis	Crater Stefanos Nisyros	Volax-Faltado Tinos	Thermal Springs Methana	Quarry Roman era
Thracian Meteora	Cave Holy of the Apocalypse	Volcano of Mikrothives	Thermal Springs Kamena Vourla	Tafoni Formation Antiparos
Boucharia-Nohtaria	Gorge Vikos	Volcano of Oxilithos	Thermopiles Thermal Springs	Piles of excavation materials
Mirror rift Arkitsa	Stone Forest (Petrino Dasos)	Cave of Papafragas	Thermal Springs Kaifas	Iron & manganese oxides
Thermal Springs of Edipsos	Petrified Forest of Lefkimi	Cave Sykias	Thermal Springs Killini	Tafoni of Myrina
Gorge Samaria	Cave of Dasia	Cave Zervati	Thermal Springs Ikaria Ag.Kirikas	Varos Petrified Tree Trunk Lemnos
Gorge Ha	Cave The of Cyclops	Cave Melissani	Thermal Springs Loutraki	Vougatzidika Ichnofossils Lemnos
Gorge Nekroi	Cave of Agios Vartholomeos	Cave Drogarati	Thermal Springs Oraia Eleni	Chavouli Moudros Fossil Site Lemnos
Gorge Kotsyfos	Cave of Agios Ioannis/Fousa in Michos Lesvos	Agios Thomas Kefalonia	Thermal Springs Loutra Pozar	Profitis Ilias Volcanic Dome Lemnos
Cave Dark Tharroynion	Cave of Magaras in Alifanta	Aenos mountain range of Kefalonia	Thermal Springs Traianoupolis	Kodias Volcanic Dome Lemnos
Thermal Springs of Therma Samothrace	Cave of Agios Fillipos	Monoliths of Anogi	Thermal Springs Eleyferes	Kakavos Volcanic Domes Lemnos
Gorge Fonias	Cave of Euripides	Pillow lavas	Thermal Springs of Lagkadas	St. Pavlos Volcanic Dome Lemnos
Cave of Koumelou	Cave of Bekiri	Rhyodacitis Domes	Thermal springs of Apollonia	Evgatis Volcanic Dome Lemnos
Cave Alistrati	Cave of Koutalas	Crater Andreas Nisyros	Thermal Springs of Ammoudara	Myrina Volcanic Dome Lemnos
Cave Aggitis	Cave Katafyki	Crater Mikros Polyvotis	Thermal Springs of Ypati	Palaiokastros Volcanic Dome Lemnos
Cave Perama	Cave of Milopotamos/ Agia Sofia	Crater Alexandros Nisyros	Thermal Springs Sidirokastros	Thermal Springs Therma Lemnos
Cave Petralona	Cave of Antiparos	Lava flow structure	Thermal Springs Smokovo	Fault Kaspakas Lemnos
Skiadi	Cave of Za	Crater Strongyli	Thermal Springs Polichnitos	Fault St. Charalambos Plakas Lemnos
The Bears Melos	Cave of Agios Ioannis	Sinkholes of Argostoli	Thermal Springs Geras Bay	Fault Poliochni (harbour) Lemnos
Kleftiko Beach	Cave of Kefalas	Crater Mikri Kameni	Thermal Springs Eftalous	Cape Kavalaris Fault Lemnos
Sarakiniko Beach	Cave Skalia	Volcano Nea Kameni	Thermal Springs of Aggistro	Cape Ropalo Coastal Tectonic Formations Lemnos
Volcano Methana	Cave Epta Parthenon	Volcano Palaia Kameni	Thermal Springs of Kythnos	St. Sotira Tectonic Formations Lemnos
Sand Dunes Korission Lake	Cave of Charkadio Tilos	Thermal Springs	Thermal Springs Agiasmata	Fault Roussopouli Lemnos
Sand Dunes of Lemnos	Caves Blue	Dolines at Didyma	Thermal Springs of Kalymnos	Cape St. Sozon Fault Formations Lemnos
Tripti Beach	Cave Megistis	Dolines at Didyma	Thermal Springs Therma	Fault Pachymnos Lemnos