



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

**ΨΗΦΙΑΚΗ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΧΙΟ
(ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΥΜΙΑΝΑ – ΝΕΝΗΤΑ)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΜΑΡΙΑΤΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΥ

Επιβλέπουσα: Σαγιά Αθηνά
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2011

(Υπογραφή)

.....

ΜΑΡΙΑΤΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

© 2011 – All rights reserved

Σε αυτούς που δεν τα παρατάνε ποτέ...

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία δεν θα μπορούσε να έχει εκπονηθεί χωρίς την βοήθεια ορισμένων ανθρώπων που έδρασαν καταλυτικά προκειμένου να ολοκληρωθεί.

Αρχικά οφείλω να ευχαριστήσω την κ. Αθηνά Σαγιά, Καθηγήτρια του τομέα Θερμότητας της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας με καθοδήγησε δείχνοντας μου πάντα αμέριστη συμπαράσταση και εμπιστοσύνη. Θέλω να την ευχαριστήσω θερμά για την κατανόησή της και για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τέτοιο θέμα.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στο Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και ιδιαίτερα στον κ. Κων/νο Βασιλειάδη, Δ/ντή της Βιβλιοθήκης, για την πολύτιμη βοήθειά του, τις συμβουλές και τη βιβλιογραφική υποστήριξη που μου παρείχε. Σημαντική βοήθεια παρείχαν επίσης οι κ.κ. Ξενάκης και Καβουρίδης της Δ/νσης Γεωθερμίας, χωρίς τους οποίους η εργασία δεν θα είχε πραγματοποιηθεί. Δίχως δισταγμό μου παρείχαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και με πραγματικά τεράστια υπομονή με βοήθησαν σε κάθε πρόβλημα που παρουσιάστηκε. Η διάθεση αυτών των ανθρώπων να βοηθήσουν ήταν ιδιαίτερα συγκινητική και ήταν πραγματικά τιμή μου που συνεργάστηκα μαζί τους.

Η βοήθεια της υποψήφιας Διδάκτορος Ζωής Σαγιά, ήταν ιδιαίτερα σημαντική γιατί με τις παρατηρήσεις της βοήθησε στις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν.

Θέλω να ευχαριστήσω τον φίλο μου Φλώκο Αντώνη, Τοπογράφο Μηχανικό, για την κατανόηση και βοήθεια που μου παρείχε δουλεύοντας μαζί μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Λόζυ Παπαδοπούλου για την πολύτιμη βοήθειά της και την Όλγα Σπύρου – Σιούλα, και τον Λεωνίδα Κοντοκώστα Τοπογράφο Μηχανικό Ε.Μ.Π. για τις παρατηρήσεις του.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Οικογένειά μου, που πιστεύουν σε μένα και με στηρίζουν πάντα ότι και αν κάνω.

Περίληψη

Αντικείμενο της έρευνας στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη των θερμικών ανωμαλιών που παρουσιάζονται στο νησί της Χίου. Με την αύξηση της ενεργειακής ζήτησης που παρουσιάζεται παγκόσμια και τη στροφή που επιχειρείται προς ηπιότερες μορφές ενέργειας, η γεωθερμία αναμένεται να παίξει πρωταγωνιστικό ρόλο με τις πολλαπλές εφαρμογές της. Αρχικά γίνεται εισαγωγή στα πετρώματα και την τεκτονική του νησιού προκειμένου να είναι σαφές το υπόβαθρο το οποίο μελετάται. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στον τρόπο με τον οποίο δημιουργείται η θερμική ενέργεια στο εσωτερικό της γής, η δομή ενός γεωθερμικού συστήματος και οι τρόποι δημιουργίας του. Σημαντική ενότητα αποτελεί η αναφορά στο αντικείμενο της οπτικοποίησης, η οποία εστιάζει στην απεικόνιση μοντέλων τριών διαστάσεων. Ακολουθεί η υλοποίηση, με την απόδοση ψηφιακού μοντέλου του υπεδάφους σε διαφορετικά βάθη, από γεωλογικά δεδομένα τα οποία προέρχονται από το Ι.Γ.Μ.Ε. Η δημιουργία των ψηφιακών μοντέλων γίνεται με την χρήση του λογισμικού πακέτου Surfer, μέσω των μεθόδων Kriging και Moving Average, βάσει των οποίων προέκυψαν χάρτες και εποπτικά σχέδια τα οποία σχολιάζονται και αναλύονται στο τέλος της εργασίας.

Λέξεις Κλειδιά: <<Χίος, γεωθερμία, γεωθερμική ενέργεια, οπτικοποίηση δεδομένων, ψηφιακά μοντέλα υπεδάφους, Ι.Γ.Μ.Ε. >>

Exexutive summary

This thesis focuses on the study of thermal anomalies observed in Chios island. Geothermics is expected to play a key role in the near future due to its multiple applications, as the increasing demand for energy is turning towards renewable sources. The thesis introduction concentrates on the island's rocks and tectonics with the aim to provide an explicit picture of the underground examined. The generation of thermal energy in earth's interior, the structure of a geothermal system and the ways of this system's establishment are further elements of consideration in this paper. Another important point is the visualization, which focuses on the three dimensional imaging of models. The implementation with the digital imaging of the underground model in several depths follows, based on geological data from the Institute of Geology and Mineral Exploration. Digital models are produced with the use of Surfer software through the "Kriging" and "Moving Average" methods. The maps and charts resulting from these two mapping methods are commented and analysed at the end of the thesis.

Keywords: <<Chios, geothermics, geothermal energy, data visualization, digital terrain models, Institute of Geological and Mineral Research>>

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.1	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	16
1.2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	16
1.3	ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	17
1.3.1	<i>Καθορισμός του αντικειμένου</i>	17
1.3.2	<i>Συλλογή στοιχείων</i>	18
1.3.3	<i>Επεξεργασία στοιχείων</i>	18
1.3.4	<i>Αξιολόγηση αποτελεσμάτων – Προτάσεις – Συμπεράσματα</i>	18
2	ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΧΙΟΥ	19
2.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	19
2.2	ΕΤΥΜΟΛΟΓΙΑ – ΜΥΘΟΛΟΓΙΑ	21
2.3	ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	22
2.3.1	<i>Η σφαγή της Χίου</i>	23
2.4	Η ΜΑΣΤΙΧΑ, ΤΟ ΠΡΟΪΟΝ ΤΗΣ ΧΙΟΥ	23
2.5	ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	26
2.6	ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	28
3	ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	29
3.1	ΓΕΩΛΟΓΙΑ	29
3.1.1	<i>Λιθολογικές ενότητες</i>	29
3.1.2	<i>Λιθολογικοί σχηματισμοί</i>	29
3.2	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	35
3.3	ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	37
4	ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	39
4.1	Η ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΓΗΣ	39
4.2	ΟΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ	40
4.3	Η ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΓΗΣ	41
4.4	ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ	42
4.5	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	45
4.6	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	46
4.6.1	<i>Κριτήριο με βάση την ενθαλπία</i>	47
4.6.2	<i>Κριτήριο με βάση την μετάδοση θερμότητας</i>	48
4.6.3	<i>Κριτήριο του γεωθερμικού μέσου</i>	48
4.7	Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΑΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	48
4.8	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	52
5	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	55
5.1	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	55
5.1.1	<i>Αντικείμενο της γεωθερμικής έρευνας</i>	56
5.2	ΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	57
5.3	ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΝΕΡΑ	62
5.3.1	<i>Προέλευση των θερμομεταλλικών νερών</i>	62
5.4	ΟΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΗΣ ΧΙΟΥ	64
5.4.1	<i>Περιοχή Θυμιανών</i>	64
5.4.2	<i>Περιοχή Νενήτων</i>	65
6	ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	66
6.1	ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΣ	66
6.2	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	67

6.3	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ.....	67
6.3.1	<i>Τρισδιάστατη αναπαράσταση (3D)</i>	67
6.4	Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ.....	68
6.4.1	<i>Απεικόνιση της κλίμακας</i>	68
6.4.2	<i>Τρισδιάστατη απόδοση</i>	69
6.4.3	<i>Διαδικασία <i>tiptmapping</i></i>	70
6.5	ΧΡΗΣΗ ΙΣΟΨΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ.....	71
6.5.1	<i>Ακρίβεια ισοΨών</i>	71
6.5.2	<i>Γενίκευση ισοΨών</i>	71
6.5.3	<i>Ισοδιάσταση</i>	71
6.5.4	<i>Χρωματισμός ζωνών</i>	71
6.6	ΣΚΙΑΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ.....	72
7	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	73
7.1	ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	73
7.2	ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	77
7.3	ΜΕΘΟΔΟΣ MOVING AVERAGE.....	79
7.4	ΜΕΘΟΔΟΣ KRIGING.....	81
7.4.1	<i>Δισδιάστατοι ψηφιακοί χάρτες</i>	81
7.4.2	<i>Τρισδιάστατοι ψηφιακοί χάρτες <i>wireframe</i></i>	82
7.4.3	<i>Συγκεντρωτικοί χάρτες</i>	86
7.5	ΈΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ.....	90
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	95
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	97
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	99
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	103

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1-Η περιοχή της Χίου η οποία ερευνάται στην παρούσα εργασία	17
Εικόνα 2-Η θέση της Χίου στον Ελλαδικό χώρο	19
Εικόνα 3-Η Χίος όπως φαίνεται από δορυφόρο της NASA.....	20
Εικόνα 4-Αγγείο του 5ου αιώνα π.Χ. (Αρχαιολογικό μουσείο Χίου)	22
Εικόνα 5-Η σφαγή της Χίου, Ευγένιος Ντελακρουά	23
Εικόνα 6-Το "Κέντημα των σχίνων"	24
Εικόνα 7-Η Μαστίχα.....	25
Εικόνα 8-Γεωλογικός χάρτης της Χίου.....	33
Εικόνα 9-Λιθοστρωματική στήλη των παλαιοζωικών σχηματισμών της Ν. Χίου	34
Εικόνα 10-Σχηματική απεικόνιση της δομής της Γής	39
Εικόνα 11-Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις τεκτονικές πλάκες.....	41
Εικόνα 12-Τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών	43
Εικόνα 13-Περιοχές έντονου γεωθερμικού ενδιαφέροντος σε παγκόσμια κλίμακα.....	44
Εικόνα 14-Αναπαράσταση ενός γεωθερμικού συστήματος	46
Εικόνα 15-Οι εκπομπές CO ₂ σε παγκόσμιο επίπεδο ανά χώρα, το έτος 2000.....	49
Εικόνα 16-Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία, στο Nesjavellir στην Ισλανδία	52
Εικόνα 17-Η ροή της γεωθερμικής θερμότητας στην Ευρώπη	55
Εικόνα 18-Η διακύμανση της θερμότητας στην Ευρώπη σε βάθος 5.000m.....	57
Εικόνα 19-Το ηφαιστειακό τόξο του Ν. Αιγαίου	58
Εικόνα 20-Τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα	58
Εικόνα 21-Δημιουργία γεωθερμικού ταμειυτήρα από μετεωρικό νερό	63
Εικόνα 22-Τα στοιχεία της τρισδιάστατης απόδοσης.....	69
Εικόνα 23-Καμπυλότητα μιας επιφάνειας μετρημένη με διαφορετικές κλίμακες βασισμένες στις ζώνες χαρακτηριστικών στο mirmap	70
Εικόνα 24-Τρισδιάστατη απεικόνιση του χάρτη της περιοχής μέσω του λογισμικού.	74
Εικόνα 25-Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων.....	75
Εικόνα 26-Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της μελετώμενης περιοχής.....	76
Εικόνα 27-Διάγραμμα αλληλεπίθεσης θερμοκρασιών στα επίπεδα των 50, 100 και 200 m βάθους.....	80
Εικόνα 28-Ψηφιακό μοντέλο υπεδάφους -50m wireframe	83
Εικόνα 29-Ψηφιακό μοντέλο υπεδάφους -100m wireframe	84
Εικόνα 30-Ψηφιακό μοντέλο υπεδάφους -200m wireframe	85
Εικόνα 31-Συγκεντρωτικός χάρτης θερμοκρασιών σε βάθος 50m.....	87
Εικόνα 32-Συγκεντρωτικός χάρτης θερμοκρασιών σε βάθος 100m.....	88
Εικόνα 33-Συγκεντρωτικός χάρτης θερμοκρασιών σε βάθος 200m.....	89

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1-Δήμοι και Δημοτικά Διαμερίσματα της Χίου	26
Πίνακας 2-Κατανομή πληθυσμού και έκτασης του Δήμου Χίου	27
Πίνακας 3-Η Δημογραφική εξέλιξη του νησιού κατά τη δεκαετία 1991-2001	27
Πίνακας 4-Κλιματολογικά στοιχεία της Νήσου Χίου	28
Πίνακας 5-Θερμική αγωγιμότητα πετρωμάτων	35
Πίνακας 6-Ταξινόμηση γεωθερμικών πόρων (°C)	47
Πίνακας 7-Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ευρώπη το 2007.....	51
Πίνακας 8-Αξιοποίηση γεωθερμίας για άμεσες χρήσεις στην Ελλάδα μέχρι το 2000	54
Πίνακας 9 - Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας.....	59
Πίνακας 10 - Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας.....	59
Πίνακας 11-Έκταση θερμικής ανωμαλίας για μέγιστες θερμοκρασίες.....	90
Πίνακας 12-Έκταση θερμικής ανωμαλίας για ελάχιστες θερμοκρασίες	90
Πίνακας 13-Η Γεωλογική χρονολογική κλίμακα	98

1 *Εισαγωγή*

1.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν σκοπό να οπτικοποιήσει γεωλογικά δεδομένα με θερμοκρασίες από το υπέδαφος του κάμπου της Χίου, τα οποία προήλθαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών Μελετών. Το αναγνωρισμένο γεωθερμικό πεδίο, χαμηλής ενθαλπίας, το οποίο και συναντάται στη συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να αποτελέσει λύση στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην ανάπτυξη της περιοχής, εάν αξιοποιηθεί κατάλληλα. Τα δεδομένα καλύπτουν μια ευρύτερη περιοχή του νοτιοανατολικού τμήματος της Χίου και με την επεξεργασία τους μέσω του λειτουργικού προγράμματος Surfer, κάνουν στον αναγνώστη άμεσα αντιληπτή την αναγνώριση της θερμικής ανωμαλίας που υπάρχει στο υπέδαφος του νησιού και μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω ανάλυσης.

1.2 Περιοχή Μελέτης

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελούν οι περιοχές των Νενήτων και Θυμιανών της νήσου Χίου, οι οποίες εκτείνονται σε 45 km² περίπου και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξαιτίας του γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας που παρουσιάζουν (Εικόνα 1).



Εικόνα 1-Η περιοχή της Χίου η οποία ερευνάται στην παρούσα εργασία [1]

1.3 Φάσεις της διπλωματικής εργασίας

1.3.1 Καθορισμός του αντικειμένου

Η πρώτη φάση περιλαμβάνει τον καθορισμό του αντικειμένου της εργασίας με τρόπο σαφή ώστε να είναι κατανοητά τα στοιχεία που είναι αναγκαία για την εξέλιξή της.

1.3.2 Συλλογή στοιχείων

Στη φάση αυτή πραγματοποιείται η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων που απαιτούνται και θα χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό των θερμικών ανωμαλιών των περιοχών που θα μελετηθούν. Τα στοιχεία αυτά αφορούν γεωλογικά, χαρτογραφικά, γεωθερμικά και τοπογραφικά δεδομένα τα οποία παραχωρήθηκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών Μελετών Ελλάδος και ιδιαίτερα από τους κ. Καβουρίδη, κ. Ξενάκη και κ. Βασιλειάδη. Επίσης αρκετά στοιχεία όπως και η απαραίτητη βιβλιογραφία, συγκεντρώθηκαν από την κεντρική βιβλιοθήκη του Ινστιτούτου Γεωλογικών Μελετών αλλά και από τις βιβλιοθήκες του Ε.Μ.Π., του Ευγενίδειου Ιδρύματος, καθώς και από διάφορους σχετικούς διαδικτυακούς τόπους.

1.3.3 Επεξεργασία στοιχείων

Για τον προσδιορισμό των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικά και γεωθερμικά δεδομένα, τα οποία επεξεργάστηκαν από λογισμικά πακέτα όπως το Surfer v9.

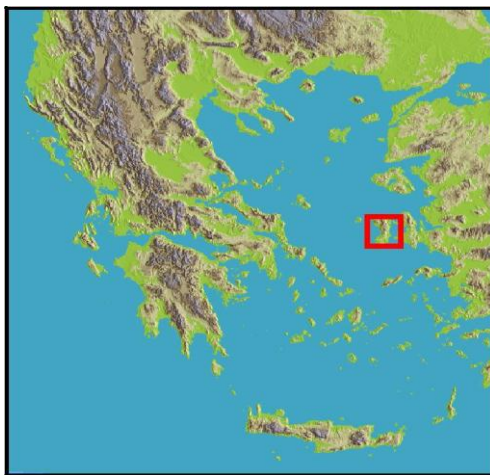
1.3.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων – Προτάσεις – Συμπεράσματα

Στη φάση αυτή γίνεται μια προσπάθεια εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων για την κατάσταση των γεωθερμικών πεδίων των περιοχών που εξετάζονται και γίνονται προτάσεις για την καλύτερη δυνατή αξιοποίησή τους.

2 *Γενική περιγραφή της νήσου Χίου*

2.1 Γενικά στοιχεία

Η Χίος είναι ένα από τα μεγαλύτερα νησιά της Ελλάδας, με το εμβαδόν της να καλύπτει 842km² κατατάσσοντάς την πέμπτη σε μέγεθος στον ελλαδικό χώρο, ενώ το μήκος των ακτών της φθάνει τα 213km. Βρίσκεται κοντά στα Μικρασιατικά παράλια και απέχει μόλις 5km από τη χερσόνησο του Καραμπουρνού (Εικόνα 2).



Εικόνα 2-Η θέση της Χίου στον Ελλαδικό χώρο

Το σχήμα της είναι επιμήκες που φθάνει τα 43km ενώ το πλάτος της περίπου τα 9,5km (Εικόνα 3). Το έδαφος της Χίου είναι κατά το κύριο μέρος του ορεινό που διασχίζεται από Βορρά προς Νότο από την οροσειρά Πελιναίο που χαμηλώνει στα νότια, στην περιοχή των Μαστιχοχωριών. Στα βόρεια της Χίου βρίσκεται η ψηλότερη κορυφή, ο Άγιος Ηλίας, με μέγιστο υψόμετρο τα 1.297m. Τα πεδινά τμήματα βρίσκονται σε περιορισμένες

εκτάσεις, με σημαντικότερο τον Κάμπο, που βρίσκεται νοτίως της πόλης της Χίου καθώς και τον ελαιώνα της Βολισσού.

Η βλάστηση της Χίου είναι περιορισμένη και εξαρτάται κυρίως από κλιματολογικούς παράγοντες καθώς και από τα διαφορετικά γεωλογικά στρώματα τα οποία υπάρχουν στο νησί. Η χαμηλή βλάστηση επικρατεί στο μεγαλύτερο μέρος του νησιού ενώ στις κοιλάδες υπάρχει καλλιέργεια ελιών, εσπεριδοειδών κ.α., ενώ σε περιορισμένες εκτάσεις υπάρχουν και δάση πεύκης.

Στη Χίο λειτουργούν τρία τμήματα του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Το νησί διαθέτει διεθνές αεροδρόμιο που συνδέεται με τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου, την ηπειρωτική Ελλάδα και τα Τουρκικά παράλια καθώς αποτελεί αξιόλογο τουριστικό προορισμό. Το οδικό δίκτυο του νησιού συνδέει τα διάφορα χωριά – κωμοπόλεις μεταξύ τους καθώς και με την πόλη της Χίου.



Εικόνα 3-Η Χίος όπως φαίνεται από δορυφόρο της NASA [2]

Συντεταγμένες: 38°22'58.88"N 26°02'40.05"E / 38.3830222, 26.0444583

2.2 Ετυμολογία – Μυθολογία

Η Χίος η οποία ήταν βασίλειο του Οينوπίωνα, πήρε το όνομά της από μια Νύμφη, τη Χίο η οποία ήταν κόρη του Ωκεανού, ενώ άλλοι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι το όνομα της δόθηκε επειδή στην περιοχή έπεφτε πολύ χιόνι.

Σύμφωνα με τον αρχαίο συγγραφέα Ίωνα, το νησί στην αρχή ήταν έρημο. Όταν πήγε εκεί ο Ποσειδώνας γέννησε ένα γιό από κάποια Νύμφη κατά τη διάρκεια χιονόπτωσης, ο οποίος ονομάστηκε Χίος και από αυτόν ονομάστηκε και το νησί με το ίδιο όνομα. Ο Ποσειδώνας γέννησε και άλλους δύο γιούς στη Χίο από άλλη Νύμφη, τον Άγγελο και το Μέλανα. Από αυτόν το Μέλανα ή από το γιό του Οينوπίωνα, πήρε το όνομά της η Μέλανα άκρη της Χίου, η οποία βρίσκεται απέναντι από τα Ψαρά.

Στο νησί υπάρχει και η ομώνυμη πόλη την οποία έκτισε ο Οينوπίωνας, όπου βασιλεύαν εκεί οι απόγονοι του Ποσειδώνα όταν πήγε ο τελευταίος και τους πήρε την εξουσία όντας ισχυρότερος. Κατά τη διάρκεια της βασιλείας του Οينوπίωνα, ήλθαν στο νησί οι Κάρες από την Καρία και οι Άβαντες από την Εύβοια οι οποίοι και παρέμειναν στο νησί. Στη συνέχεια πήγε ο Άφικλος από την Ιστιαία της Εύβοιας με άλλη αποικία και πήρε τη βασιλεία του νησιού από τους απόγονους του Οينوπίωνα. Μετά από τέσσερις γενιές, βασιλιάς ήταν κάποιος επίσημος ονομαζόμενος Έκτορας, ο οποίος σκότωσε όλους τους Κάρες ενώ έδωσε από το νησί τους Άβαντες.

Ο Μακαρεύς από την Λέσβο, έστειλε το γιό του με σκοπό να δημιουργήσει αποικία στο νησί. Όταν ήλθαν οι Ίωνες στη Μικρά Ασία, πήγε στη Χίο κάποιος Εγέρτιος, ο οποίος είχε μαζί του λαό από διάφορα μέρη της Ελλάδας. Με αυτόν τον τρόπο εικάζεται ότι πήγαν και οι Πελασγοί στη Χίο. Ο Έκτορας κατάλαβε μετά τον πόλεμο που αναφέρθηκε προηγουμένως, ότι θα ήταν καλό να ενωθεί η Χίος στο Πανιώνιο, όπου και έλαβε τρίποδα από τους Ίωνες νικώντας σε έναν αγώνα.

Η Χίος επίσης συνδέεται με τον Ωρίωνα, γιό του Ποσειδώνα, ο οποίος ήταν φημισμένος κυνηγός που ερωτεύθηκε την κόρη του Οينوπίωνα, Μερόπη, όταν επισκέφθηκε το νησί. Όταν ο Ωρίωνας τη ζήτησε σε γάμο από τον Οينوπίωνα, αυτός του ανέθεσε να εξολοθρεύσει όλα τα άγρια θηρία του νησιού. Ο Ωρίωνας ολοκλήρωσε με επιτυχία τον άθλο αλλά όταν ο Οينوπίωνας αθέτησε τον λόγο του, ο πρώτος έκλεψε τη Μερόπη. Ο Οينوπίωνας αφού τον συνέλαβε, τον τύφλωσε και τον έδωσε από τον νησί.

Η Χίος κατά περιόδους είχε και άλλα ονόματα όπως Αιθάλη, Πιτυούσα, Μάκρις και Οφιούσα. Αιθάλη διότι είχε ηφαίστεια όρη, Μάκρις για το επιμήκες σχήμα της όπως και η Εύβοια. Πιτυούσα γιατί είχε πολλά πευκοδάση και Οφιούσα λόγω των πολλών φιδιών που συναντώνται στο νησί. Επίσης στη Χίο υπήρχε και δάσος από φοίνικες, στο οποίο είχε

κτιστεί ναός της Πολιούχου Αθηνάς. Μέσα σε αυτόν το ναό λέγεται ότι δημιουργήθηκε ο μαύρος οίνος, ο οποίος θεωρούνταν από τους καλύτερους στην αρχαιότητα [3].

2.3 Ιστορικά στοιχεία

Το νησί κατοικήθηκε την Πρώιμη Νεολιθική Εποχή (6.000-5.000 π.Χ.) σύμφωνα με ενδείξεις από αρχαιολογικά ευρήματα που έχουν ανασκαφεί στην περιοχή του Εμπορίου. Οι πρώτοι κάτοικοι του νησιού θεωρείται ότι ήταν οι Ίωνες, οι οποίοι αποίκισαν πολλά από τα νησιά του Αιγαίου καθώς και τα παράλια της Μικράς Ασίας. Οι πόλεις αυτές γνώρισαν ιδιαίτερη ανάπτυξη και συνετέλεσαν αποφασιστικά στην εξέλιξη του ελληνικού πολιτισμού. Ο Όμηρος όπως και αρκετά σημαντικά ιστορικά πρόσωπα είχαν καταγωγή από τη Χίο όπως ο Γλαύκος, ο ιστορικός Θεόπομπος και πολλοί γλύπτες όπως ο Λυσίας και ο Μένιππος.

Οι Ιωνικές πόλεις είχαν συγκροτήσει συμμαχία μαζί με ορισμένα από τα νησιά του Αιγαίου, αλλά στα τέλη του 6^{ου} αιώνα π.Χ. κατακτήθηκαν τελικά από τους Πέρσες. Το 500 π.Χ. ξεκίνησε η Ιωνική επανάσταση απέναντι στο Δαρείο, η οποία έφερε τη ρήξη της Αθήνας με τους Πέρσες. Όταν η Χίος θέλησε να απομακρυνθεί από την Αθηναϊκή Συμμαχία στην οποία είχε προσφύγει, οι Αθηναίοι τους τιμώρησαν το 412 π.Χ. Στη συνέχεια κατακτήθηκε από τον Μέγα Αλέξανδρο και ύστερα από τους Ρωμαίους οι οποίοι είχαν επεκταθεί σε ολόκληρη τη Μεσόγειο εκείνη την περίοδο.



Εικόνα 4-Αγγείο του 5ου αιώνα π.Χ. (Αρχαιολογικό μουσείο Χίου) [4]

2.3.1 Η σφαγή της Χίου

Η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία από την ίδρυσή της είχε στην κυριαρχία της τη Χίο, όπως και τον υπόλοιπο ελλαδικό χώρο. Μετά την Τέταρτη Σταυροφορία το 1204 μ.Χ., οι Γενουάτες εγκαταστάθηκαν στη Χίο, η οποία παρουσίασε ιδιαίτερη οικονομική ανάπτυξη μέχρι την κατάκτησή της από τους Τούρκους το 1566. Το 1821 η Σάμος μαζί με τη Χίο πήραν μέρος στην Εθνική επανάσταση, με τους Τούρκους να απαντάνε με ιδιαίτερη σκληρότητα σφάζοντας 25.000 άτομα και εξανδραποδίζοντας περισσότερους από 80.000. Οι εναπομείναντες Χιώτες μετοίκησαν σε άλλα νησιά αλλά και στο εξωτερικό. Αργότερα την 1^η Ιουνίου 1822 ο Κανάρης θέλοντας να εκδικηθεί, ανατίναξε μέσα στο λιμάνι της Χίου τη ναυαρχίδα του τουρκικού στόλου, σκοτώνοντας τον Ναύαρχο Καρά - Αλή μεταξύ άλλων. Η σφαγή της Χίου προκάλεσε παγκόσμια συγκίνηση, όπου γνωστοί καλλιτέχνες όπως ο Ουγκώ και ο Ντελακρουά (Εικόνα 5) αποθανάτισαν σε έργα τους το μαρτυρικό αυτό γεγονός. Ο ισχυρός σεισμός του 1881 προκάλεσε πολλά θύματα αλλά η ζωή στο νησί ξαναπήκε σε κανονική ροή το 1912 όπου και ενώθηκε με το νεοσύστατο Ελληνικό κράτος.



Εικόνα 5-Η σφαγή της Χίου, Ευγένιος Ντελακρουά

2.4 Η Μαστίχα, το προϊόν της Χίου

Η μαστίχα είναι ένα μοναδικό προϊόν παγκοσμίως, το οποίο παράγεται από το μαστιχοδέντρο (μαστιχοφόρος σχίνος) και αποτελεί ένα ιδιαίτερο είδος ρετινιού, το οποίο συναντάται αποκλειστικά στο νησί της Χίου. Σήμερα η μαστίχα είναι ευρωπαϊκώς κατοχυρωμένη και προστατευόμενη και έχει ενταχθεί στο πρόγραμμα με Προστασία

Ονομασίας Προέλευσης (Π.Ο.Π.). Η καλλιέργεια μαστίχας ήταν γνωστή από αρχαιοτάτων χρόνων και ήταν ο λόγος που το νησί αποτέλεσε στόχο κατακτητών πολυάριθμες φορές. Για να αντιμετωπιστούν οι επιδρομές αυτές, τα «Μεσαιωνικά Χωριά» χτίστηκαν σαν οχυρά για να αντιμετωπίζονται οι επιδρομές από τους πειρατές που έρχονταν για να κλέψουν μαστίχα αλλά και για να εξανδραποδίσουν γυναίκες. Κατά τη διάρκεια της Γενουατικής αλλά και της Τουρκικής κατοχής, δόθηκαν ιδιαίτερα προνόμια στα χωριά στα οποία καλλιεργούνταν η μαστίχα μαζί με προνομιακές φοροαπαλλαγές.

Για να παραχθεί η μαστίχα από τους σχίνους, χαράσσεται ο κορμός του δέντρου σε διάφορα σημεία, από τα οποία αρχίζει και ρέει η ρετσίνα (Εικόνα 6). Όταν έρθουν σε επαφή με τον αέρα, οι σταγόνες ρετσίνας στερεοποιούνται και παίρνουν μια χαρακτηριστική κρυσταλλική μορφή. Η διαδικασία χαράγματος των σχίνων ονομάζεται «Κέντημα» και γίνεται μεταξύ 1^{ης} Ιουλίου και 31^{ης} Οκτωβρίου.



Εικόνα 6-Το "Κέντημα των σχίνων"

Καλλιεργείται μόνο στο νότιο μέρος του νησιού, παρ' όλο που φύτεται σχεδόν παντού. Τα 21 Μαστιχοχώρια όπως λέγονται έχουν το καθένα ξεχωριστή φυσιογνωμία, με διαφορετική διάλεκτο, νοοτροπία, φορεσιές και έθιμα.

Τα προϊόντα τα οποία παράγονται από τη μαστίχα είναι πολυάριθμα. Η μαστίχα ως ρητίνη αναφέρεται συνολικά σε έντεκα εθνικές φαρμακοβιομηχανίες, ενώ στις Η.Π.Α. χρησιμοποιείται στην παρασκευή των φαρμάκων της χολής. Επίσης το μαστιχέλαιο έχει

εφαρμογή στις παθήσεις της μήτρας σαν ήπιο θερμαντικό, στυπτικό και μαλακτικό. Καθαρίζει τα καρκινώματα που εμφανίζονται κυρίως στο στομάχι και επιδρά με τονωτικό τρόπο στο πρόσωπο δίνοντας του λαμπερό χρώμα.

Οι σημερινές χρήσεις της Μαστίχας έχουν επεκταθεί μερικές από τις οποίες είναι:

- Στα παγωτά.
- Στην παραγωγή ελαστικών.
- Στη βιομηχανία τσίχλας.
- Στην Υφαντουργεία.
- Σε αντισηπτικά σαπούνια.
- Σαν μπαχαρικό.

Σήμερα περίπου 5.000 οικογένειες εργάζονται στην καλλιέργεια της μαστίχας με σημαντικά οικονομικά οφέλη. Το μεγαλύτερο ποσοστό του προϊόντος, σχεδόν 90% εξάγεται κυρίως προς τις Αραβικές χώρες όπου και γνωρίζει ιδιαίτερη επιτυχία.

Χωρίς αμφισβήτηση η Μαστίχα (Εικόνα 7) αποτελεί το γνωστότερο προϊόν της Χίου αλλά δεν είναι το μόνο το οποίο μπορεί να συναντήσει κανείς στο νησί. Μερικά δημοφιλή προϊόντα είναι:

- Γλυκά του κουταλιού.
- Ποτά, μεταξύ των οποίων αρκετά λικέρ και ούζα.
- Κεραμικά προϊόντα.
- Χειροποίητα είδη λαϊκής τέχνης.
- Βότανα, μεταξύ των οποίων τσάι του βουνού, ρίγανη, μέλι, φασκόμηλο κ.α.



Εικόνα 7-Η Μαστίχα

2.5 Πληθυσμιακά στοιχεία

Η Χίος που περιλαμβάνει τα νησιά Ψαρά και Οινούσες και αποτελείται συνολικά από 10 Δήμους, που πλέον έχουν ενοποιηθεί σε έναν. Στον πίνακα 1, παρουσιάζονται οι Δήμοι μαζί με τα Δημοτικά Διαμερίσματά τους.

Πίνακας 1-Δήμοι και Δημοτικά Διαμερίσματα της Χίου [5]

Δήμοι	Δημοτικά Διαμερίσματα
Αγίου Μηνά	Θυμιανών, Νεοχωρίου
Αμανής	Βολισσού, Αγ. Γάλακτος, Διευχών, Κεράμου (οικισμός Αγιασμάτων), Κουρουνίων, Λεπταπόδων, Μελανίου, Ν. Ποταμιάς, Νενητουρίων, Παρπαριάς, Πираμάς, Πισπιλούντος, Τρυπών, Φυτών, Χαλάνδρων
Ιωνίας	Καλλιμασιάς, Βουνού, Έξω Διδύμας, Θολοποταμίου, Καταρράκτου, Κοινής, Μέσα Διδύμας, Μυρμηγκίου, Νενήτων, Παγίδος, Φλατσίων
Καμποχώρων	Χαλκείου, Αγ. Γεωργίου, Συκούση, Βαβιλών, Βασιλεωνοίκου, Βερβεράτου, Δαφνώνος, Ζυφθιά
Καρδαμύλων	Καρδαμύλων, Αμάδων, Βικίου, Καμπών, Πιτυούντος, Σπαρτούντος,
Μαστιχοχωρίων	Πυργίου, Αρμολίων, Βέσσης, Ελάτας, Καλαμώτης, Λιθίου, Μεστών, Ολύμπων, Πατρικών
Ομηρούπολης	Βροντάδου, Αναβάτου, Αυγωνύμων, Καρυών, Λαγκαδάς, Σιδηρούντος, Συκτάδας
Οινουσσών	Οινουσσών
Χίου	Χίος
Ψαρών	Ψαρών

Η κατανομή της έκτασης σε στρέμματα ανά Δήμο και με τον πληθυσμό παρουσιάζεται παρακάτω στον πίνακα 2, με στοιχεία από την απογραφή του 2001.

Πίνακας 2-Κατανομή πληθυσμού και έκτασης του Δήμου Χίου [6]

Δήμοι	Έκταση (στρέμματα)	Πληθυσμός
Αγίου Μηνά	13.049	2.686
Αμανής	158.392	2.668
Ιωνίας	48.272	4.650
Καμποχώρων	50.571	3.154
Καρδαμύλων	182.480	2.920
Μαστιχοχωρίων	211.687	4.744
Οινουσσών	17.427	686
Ομηρούπολης	155.015	7.335
Χίου	22.823	23.779
Ψαρών	44.511	422

Η μεταβολή του πληθυσμού κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας φαίνεται στον πίνακα 3, που ακολουθεί.

Πίνακας 3-Η Δημογραφική εξέλιξη του νησιού κατά τη δεκαετία 1991-2001 [5]

Δημογραφική Εξέλιξη Νησιού			
Έτος	Πληθυσμός	Μεταβολή (%)	Πυκνότητα (άτομα/τ.μ.)
2001	28057	-0,60	33,28
1991	28226	0,00	33,48

2.6 Κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα της Χίου είναι ένα τυπικό μεσογειακό κλίμα. Κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα ζεστά, ξερά καλοκαίρια και οι δροσεροί, σύντομοι χειμώνες. Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους υπάρχει μεγάλη ηλιοφάνεια.

Μεταξύ των περιοχών της Ελλάδος, η Χίος κατατάσσεται τρίτη σε ώρες ηλιοφάνειας, ενώ παράλληλα έχει τις περισσότερες ώρες δίχως νέφη. Η θερμοκρασία της σπάνια ξεπερνάει τους 28 °C λόγω των μελτεμιών (βόρειοι-βορειοανατολικοί άνεμοι) που πνέουν σταθερά σε όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η βροχόπτωση ενώ γενικά είναι άφθονη ποικίλλει έντονα κατά τη διάρκεια του έτους. Η βροχή γενικά είναι σπάνια τους καλοκαιρινούς μήνες αλλά οι χειμώνες είναι ευμετάβλητοι και υγροί (Πίνακας 4). Η μέση υγρασία ποικίλλει από 65% τον χειμώνα με 60% τους καλοκαιρινούς μήνες.

Πίνακας 4-Κλιματολογικά στοιχεία της Νήσου Χίου [7]

Κλιματολογικά στοιχεία για την Νήσο Χίο													
Μήνας	Ιαν.	Φεβρ.	Μαρτ.	Απρ.	Μάιος	Ιουν.	Ιουλ.	Αύγ.	Σέπτ.	Οκτ.	Νοέμ.	Δεκ.	Έτος
Μέση υψηλότερη °C (°F)	11 (52)	11 (52)	13 (55)	17 (63)	22 (72)	26 (79)	28 (82)	28 (82)	25 (77)	20 (68)	16 (61)	13 (55)	19.2 (66.5)
Μέση χαμηλότερη °C (°F)	5 (41)	5 (41)	6 (43)	9 (48)	13 (55)	17 (63)	19 (66)	19 (66)	16 (61)	12 (54)	9 (48)	6 (43)	11.3 (52.4)
Βροχόπτωση mm (inches)	100 (3.94)	78 (3.07)	61 (2.4)	44 (1.73)	24 (0.94)	4 (0.16)	1 (0.04)	0 (0)	8 (0.31)	23 (0.91)	55 (2.17)	122 (4.8)	520 (20.47)

3

Γεωλογία - Τεκτονική

3.1 Γεωλογία

3.1.1 Λιθολογικές ενότητες

Οι επικρατέστερες λιθολογικές ενότητες που υπάρχουν στο νησί από τις νεότερες προς τις παλαιότερες είναι οι παρακάτω [8]:

1. Μεταλπικά ιζήματα που αποτελούνται από σύγχρονες προσχώσεις, Νεογενείς λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις κυρίως από ιλυολίθους, αργίλους και ψαμμίτες.
2. Μεσοζωικά πετρώματα τα οποία είναι κυρίως ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Πελαγονικής Ζώνης.
3. Προαλπικά κλαστικά πετρώματα Παλαιοζωϊκής ηλικίας τα οποία έχουν παρεμβολές ασβεστολιθικών φακών.
4. Ηφαιστειακά πετρώματα: Αντιπροσωπεύονται από εκχύσεις λάβας, όξινης έως βασικής σύστασης με εμφανίσεις ηφαιστειακών κέντρων στο νότιο και βόρειο μέρος του νησιού. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα που έλαβε χώρα κατά το κάτω-μέσο Μειόκαινο, προηγήθηκε της έναρξης της Μειοκαινικής ιζηματογένεσης στην περιοχή και πιθανώς συνδέεται με την έναρξη των εφελκυστικών κινήσεων που άρχισαν αυτή την περίοδο και είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων και βαθιών ρηγμάτων που βοήθησαν την άνοδο του μάγματος.

3.1.2 Λιθολογικοί σχηματισμοί

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί που συναντάμε στην περιοχή της έρευνας, αλλά και γενικότερα στο νησί σύμφωνα με την γεωλογική χρονολογική κλίμακα, η οποία

παρουσιάζεται στο παράρτημα Α , από τους παλαιότερους προς τους νεότερους είναι (Εικόνα 8):

3.1.2.1 Παλαιοζωικό

Η δομή του νησιού στρωματογραφικά τελειώνει με το Παλαιοζωικό (Εικόνα 9). Οι σχηματισμοί του Παλαιοζωικού καταλαμβάνουν το δυτικό και βορειοδυτικό τμήμα της νήσου και εκτείνονται μέχρι τις βόρειο-ανατολικές ακτές στην περιοχή των Καρδαμύλων. Στο βορειοδυτικό τμήμα, ξεκινούν από τις βόρειες ακτές του χωριού Καμπία και εκτεινόμενοι μέσω των δυτικών κλιτύων του Πεληναίου Όρους, τελειώνουν ανατολικότερα του χωριού Σιδηρούντα.

Το Παλαιοζωικό υπόβαθρο συνίσταται κυρίως από γκραουβάκες με παρεμβολές ασβεστολιθικών φακών, σχιστολιθικών, τόφφων, κροκαλοπαγών και πυριτόλιθων [9].

▪ Γραουβάκες

Πρόκειται για συμπαγή λεπτόκοκκα πετρώματα χρώματος τεφροπράσινου. Παρατηρούνται συγκεντρώσεις μεταλλικών ορυκτών του αντιμονίου και εντός των ρωγμών, πυκνές συγκεντρώσεις λευκών αδιαφανών κρυστάλλων δολομίτη, φακοειδούς σχήματος. Παρατηρούνται ακόμα συγκεντρώσεις του λεπτόκοκου, κίτρινου χρώματος, ορυκτού βαλλενίτη (Sb_2O_3), δευτερογενούς προϊόντος οξειδωσης του θειούχου αντιμονίου. Σε λεπτές τομές παρατηρούνται θραύσματα χαλαζία, άστριοι, μοσχοβίτης, χλωρίτης, ενίοτε βιοτίτης, ανθρακικά ορυκτά και οξειδία του σιδήρου. Επίσης παρατηρείται έντονη μυλονιτοποίηση και πλήρωση των κατακερατισμένων πετρωμάτων από υδροθερμικά διαλύματα. Αποτέλεσμα είναι ο εμπότισμός τους σε χαλαζία, υπό μορφή φλεβοειδών συγκεντρώσεων και σε ασβεστίτη σε μικρότερη αναλογία [9].

▪ Ηφαιστειακοί τάφροι

Πρόκειται για λεπτοκρυσταλλικά συμπαγή πετρώματα με κογχώδη θραύση, τεφρού χρώματος. Μακροσκοπικά διακρίνονται διάσπαρτα λευκά κρυσταλλίδια καθώς και επιμήκη προσανατολισμένα λιθικά τεμαχίδια σκοτεινότερου χρώματος. Επιφανειακά παρατηρείται φλοιώδες επίχρισμα κίτρινου χρώματος. Στο στερεοσκοπικό μικροσκόπιο αυτό παρουσιάζεται υπό την μορφή βοτρυοειδών συγκεντρώσεων κίτρινου χρώματος με λάμψη υαλώδη. Πρόκειται για το δευτερογενές ορυκτό ιαροσίτης, ένυδρο θειικό άλας του σιδήρου και καλίου.

Από μικροσκοπικές παρατηρήσεις του Ι.Γ.Μ.Ε. αποδεικνύεται ότι τα πετρώματα αυτά είναι εντόνως εξαλλοιωμένοι ηφαιστειακοί τόφφοι μέσης βασικότητας. Διακρίνονται σε μεγάλο ποσοστό κρύσταλλοι από εξαλλοιωμένα όξινα πλαγιόκλαστα, ενώ σε μικρότερο ποσοστό παρουσιάζονται κρύσταλλοι Κ-ούχων αστρίων. Επίσης εντοπίζονται άφθονα μικρά τεμάχια ηφαιστειακών πετρωμάτων, σε πολλά από τα οποία διατηρείται ο

τραχειτικός ιστός καθώς και λίγα θραύσματα σχιστολιθικού σερικιτικού πετρώματος. Σποραδικά παρατηρούνται συγκεντρώσεις μεταλλικών ορυκτών, μορφής υποστρογγυλών κόκκων. Πρόκειται για κόκκους ιλμενίτη και τιτανομαγνητίτη, δευτερογενή προϊόντα προερχόμενα από εξαλλοίωση πρωτογενών ορυκτών.

Η θεμελιώδης μάζα του πετρώματος είναι κρυπτοκρυσταλλική ως λεπτοκρυσταλλική με αρκετά λεπτοφυλλάρια αργιλικών ορυκτών, είναι δε έντονα εμποτισμένη από σκοτεινόχρωμες άμορφες ουσίες, πιθανόν οργανικής προέλευσης. Στο μεγαλύτερο μέρος της εμφάνισής τους τα πετρώματα αυτά δεν εμφανίζονται τεκτονικά κατακερματισμένα.

Σε πολλά σημεία της Ν. Χίου κυρίως στην Κεντρική Ανατολική – Νότια περιοχή της Χίου, υπάρχουν διάσπαρτοι ηφαιστειακοί τόφφοι, οι οποίοι μεταβλήθηκαν από εξαλλοίωση σε μοντμοριλονίτη και μπετονίτη. Τα ίδια ιχνοστοιχεία εμφανίζονται σε πολλά σημεία των εδαφών στα Μαστιχοχώρια. Είναι πιθανόν εκτός του κλίματος, τα εδαφολογικά στοιχεία να συμβάλλουν στην ανάπτυξη των θαμνωδών δέντρων της Μαστίχας [9].

▪ Πιρυτόλιθος

Πρόκειται για κρυπτοκρυσταλλικό πέτρωμα χρώματος τεφρού, διασχζόμενο από πυκνό δίκτυο λεπτοτάτων φλεβιδίων. Μακροσκοπικώς διακρίνονται εντός ρωγμών και κοιλοτήτων πλούσιες συγκεντρώσεις σε μεταλλικά ορυκτά του αντιμονίου. Στο μικροσκόπιο φαίνεται να είναι έντονα κατακερματισμένο, κρυπτοκρυσταλλικό έως λεπτοκρυσταλλικό πέτρωμα, αποτελούμενο από μίγμα διοξειδίου του πυριτίου, λεπτοφυλλάρια σερικίτου και ανθρακικών ορυκτών. Το πέτρωμα διασχίζεται προς κάθε κατεύθυνση από μικρορωγμές και φλεβίδια, πληρούμενο από χαλαζία και ανθρακικά ορυκτά [9].

▪ Ηφαιστειακοί σχηματισμοί

Από το νησί δε λείπουν ηφαιστειακές εκδηλώσεις που αντιπροσωπεύονται από εκχύσεις λάβας, όξινης έως βασικής σύστασης με εμφανίσεις ηφαιστειακών κέντρων στο νότιο και βόρειο μέρος του νησιού. Φαίνεται ότι η ηφαιστειακή δραστηριότητα που έλαβε χώρα κατά το κάτω-μέσο Μειόκενο, προηγήθηκε της έναρξης της Μειοκαινικής ιζηματογένεσης στην περιοχή και πιθανώς συνδέεται με την έναρξη των εφελκυστικών κινήσεων που άρχισαν αυτήν την περίοδο και είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων και βαθιών ρηγμάτων που βοήθησαν την άνοδο του μάγματος [9].

3.1.2.2 *Μεσοζωικό*

Σε αυτό το στρώμα συναντάμε κυρίως ανθρακικά πετρώματα που αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθους και δολομίτες Ιουρασικής – Τριαδικής ηλικίας. Είναι παχυστρωματώδεις τεφροί – ανοιχτοτεφροί και καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του νησιού. Γενικότερα παρουσιάζονται έντονα τεκτονισμένοι, καρστικοί και το πάχος τους

υπερβαίνει συνολικά τα 2.000m. Η σειρά στη βάση της αποτελείται από ψαμμίτες και κροκκαλοπαγή με ενστρώσεις ψαμμιτών [9].

3.1.2.3 Παλαιογενές

Ένας ορίζοντας κροκκαλοπαγών με παρεμβολές μαργαϊκών άμμων, Παλαιογενούς ηλικίας και πάχους 40m τουλάχιστον, εμφανίζεται μεταξύ των νεογενών και μεσοζωικών πετρωμάτων [9].

3.1.2.4 Νεογενές

Η Νεογενής σειρά αποτελείται από τρεις κύριες ενότητες οι οποίες είναι: α) «Σιδηρούχος ψαμμίτης» , β) «αργιλοαμμώδης σειρά» , γ) «ασβεστούχοι ιλυόλιθοι» [8].

- Σιδηρούχος ψαμμίτης

Το κατώτερο στρώμα της νεογενούς σειράς αποτελείται από κιτρινότεφρες λεπτοστρωματώδεις μάργες, έντονα αμμούχες και ενίοτε συναντώνται κροκάλες από το υπόβαθρο και ασβεστικά συγκρίματα. Τα εγκλείσματα αυτά προέρχονται από το Μεσοζωικό υπόβαθρο και είναι γωνιώδη με κλίσεις νοτιοδυτικές. Πάνω σε αυτά τα στρώματα και στην περιοχή των Θυμιανών, υπάρχουν αργιλούχες μάργες, πλούσιες σε χαλαζιακή άμμο.

Στο επόμενο στρώμα συναντάται η σειρά του σιδηρούχου ψαμμίτη η οποία είναι πλούσια σε ιλύ, ελαφρώς ανθρακούχα, λιγότερο συνεκτική με χρώμα υπόφαιο έως ερυθρό και μέγιστο πάχος τα 150m. Το πέτρωμα αυτό ονομάζεται και “Θυμιανούσικη πέτρα” και χρησιμοποιείται ιδιαίτερα σε κτίσματα και αρχοντικά της Χίου αφού έχει ιδιαίτερη διακοσμητική αξία.

- Αργιλοαμμώδης σειρά

Η ηλικία της τοποθετείται στο Μέσο με Ανώτερο Μειόκαινο και συνίσταται από πράσινες άμμους και χάλικες με ερυθρά ιλύ και πάχος που δεν υπερβαίνει τα 150m. Επίσης συναντάται λεπτή σειρά κησιριώδους τόφφου, με μέγιστο πάχος τα 40m, ενώ επίσης εμφανίζονται ερυθροί άργιλοι και ιλύες, με φακούς λεπτόκοκκης άμμου και ενστρώσεις ψαμμίτη μικρού πάχους που φθάνουν τα 120m.

- Ασβεστούχοι ιλυόλιθοι

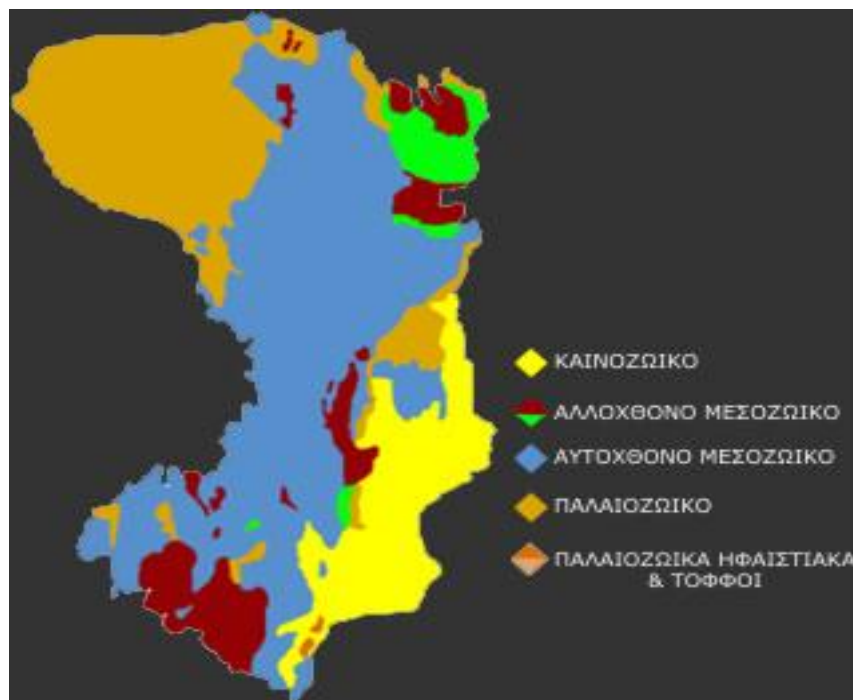
Η σειρά αυτή αποτελείται από λεπτά στρώματα πράσινης ασβεστούχου αργίλου, σε θέσεις αμμούχου, με ενστρώσεις τεφρού μαργαϊκού υλικού, που γίνεται όλο και πιο σκοτεινό λόγω των λιγνιτικών στρωμάτων τα οποία αναπτύσσονται κυρίως στο νότιο μέρος της λεκάνης.

Είναι ιδιαίτερα πλούσια σε πανίδα και τα χρώματα που επικρατούν εδώ είναι από κίτρινο – λευκόκίτρινο έως τεφρό όταν συναντώνται ανθρακομιγείς ενστρώσεις με πάχος που φθάνει τα 250m.

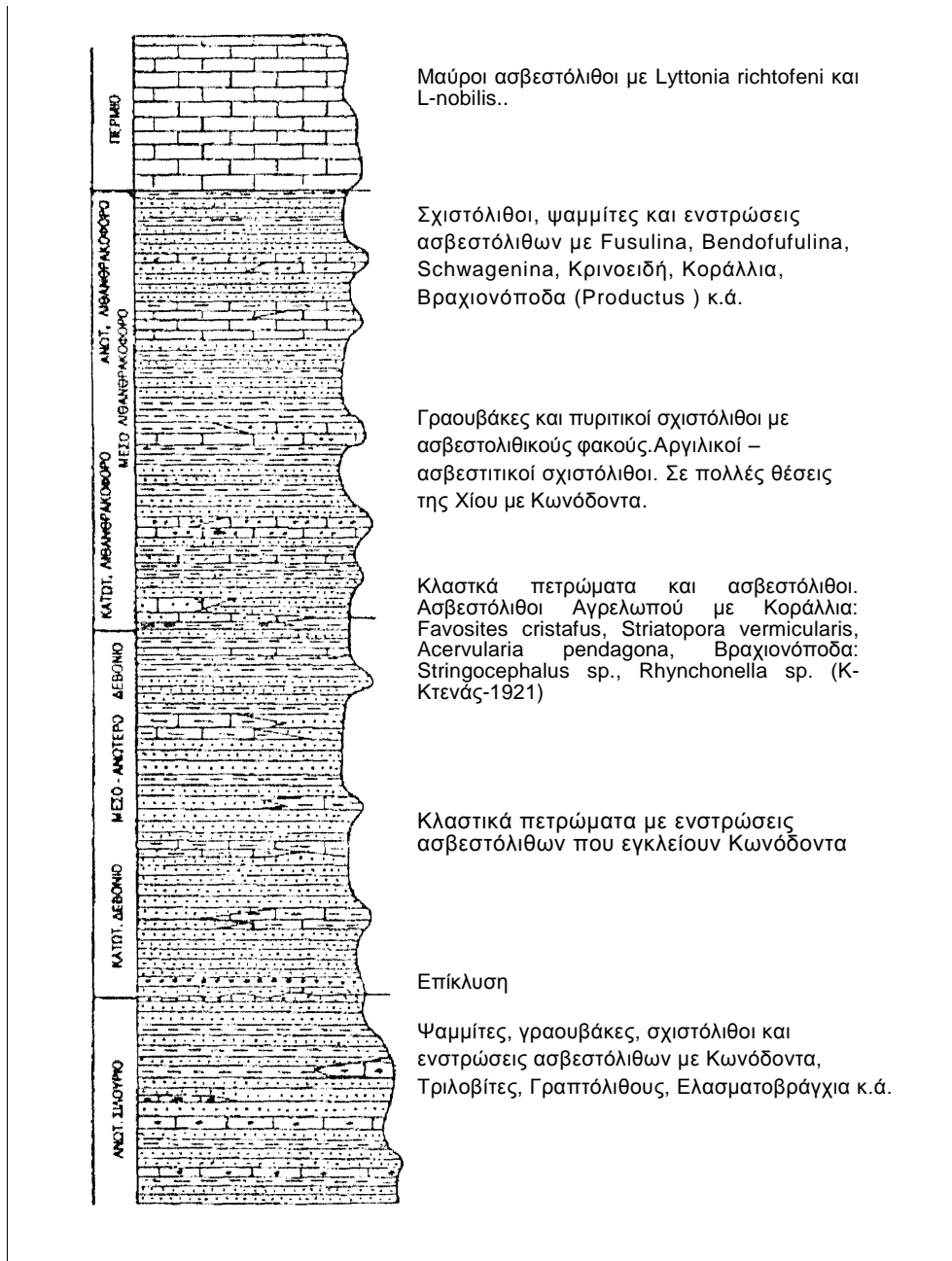
Η πεδινή περιοχή του κάμπου της Χίου πάχους λίγων μέτρων, καλύπτεται από έναν αλλουβιακό μανδύα σύγχρονων ποταμοχερσαίων και παράκτιων αποθέσεων Τεταρτογενούς ηλικίας.

3.1.2.5 Τεταρτογενές

Πρόκειται για παράκτιες αποθέσεις, πρόσφατα κορύματα και λατυπτοπαγή διαφόρου μεγέθους.



Εικόνα 8-Γεωλογικός χάρτης της Χίου [10].



Εικόνα 9-Λιθοστρωματική στήλη των παλαιοζωικών σχηματισμών της Ν. Χίου [11]

3.2 Ειδική θερμική αγωγιμότητα πετρωμάτων

Για να αξιολογηθεί το δυναμικό γεωθερμικών συστημάτων χαμηλής ενθαλπίας, απαιτείται γνώση των θερμοκρασιών του υπεδάφους σε βάθος τουλάχιστον 2km. Οι αποκλίσεις της θερμοκρασίας σε μια περιοχή μπορούν να αντανakλούν τις διακυμάνσεις της θερμικής ροής, τη θερμική αγωγιμότητα ή και τα δύο αυτά μεγέθη, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αβεβαιότητες στην παραγωγή δεδομένων τα οποία προέρχονται από τις θερμικές ροές που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια, σε βάθη 100 με 250m. Στον πίνακα 5 παρατίθενται οι τιμές για τη θερμική αγωγιμότητα των πιο συνηθισμένων τύπων πετρωμάτων.

Πίνακας 5-Θερμική αγωγιμότητα πετρωμάτων [12]

Τύπος πετρώματος	Ειδική θερμική αγωγιμότητα (W/m·K)
Γρανίτες	2.5 - 3.8
Βασάλτες	1.7 – 2.5
Πυριγενή	4.2 – 5.8
Ασβεστόλιθοι	1.7 – 3.3
Δολομίτες	~5.0
Ψαμμίτες	1.2 – 4.2
Σχιστόλιθοι	0.8 – 2.1
Ορυκτό άλας	5.3 – 7.2
Χαλαζίτες	2.33 – 7.45
Ηφαιστειακοί τόφφοι	1.2 – 2.1
Θαλάσσια ιζήματα μεγάλου βάθους	0.6 – 0.8

Πρέπει να αναφερθούν οι παρακάτω παρατηρήσεις οι οποίες αφορούν τον πίνακα 5:

- 1) Για τους περισσότερους τύπους πετρωμάτων, η ειδική θερμική αγωγιμότητα ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό. Σε μερικά πετρώματα τα οποία βρίσκονται σε ορισμένες περιοχές, οι περισσότερες από τις αναφερόμενες τιμές του πίνακα μπορεί να είναι μικρότερες σε ποσοστό κατά 20 με 30 τοις εκατό. Οι βιβλιογραφικές αναφορές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας, ανάλογα με την περιοχή, πρέπει να επιλέγονται με ιδιαίτερη επιμέλεια και προσοχή για τον υπολογισμό της θερμικής ροής.
- 2) Σε πετρώματα τα οποία είναι πλούσια σε χαλαζία, τα οποία είναι ιδιαίτερα πορώδη και έχουν χαμηλή αγωγιμότητα, η ειδική θερμική αγωγιμότητα μπορεί να πάρει πολλές τιμές, συνεπώς είναι δύσκολη η γενίκευση κατά περιοχές.
- 3) Οι βιβλιογραφικές τιμές για το σχιστόλιθο είναι κατά κανόνα αναξιόπιστες. Τα αργιλικά ιζηματογενή πετρώματα είναι πιθανώς τα πιο δύσκολα να αντικατοπτρίσουν με ακρίβεια το δείκτη της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας. Σε πολλά σημεία παρουσιάζουν σχίσματα και είναι ανεπαρκώς ενοποιημένα ενώ είναι σχεδόν αδύνατον να διατηρηθούν στη φυσική τους κατάσταση μετά την εξαγωγή τους από το έδαφος. Επίσης είναι ανισοτροπικά και οι μετρήσεις ειδικής θερμικής αγωγιμότητας σε σπασμένα δείγματα ή σε θραύσματα διάτρησης (τα πιο συχνά με τις υπάρχουσες μεθόδους) θα αποδώσουν λάθος μετρήσεις γιατί αντικατοπτρίζουν το γεωμετρικά σταθμισμένο μέσο όρο αγωγιμότητας αντί της πραγματικής κάθετης αγωγιμότητας. Στο πλαίσιο των γεωθερμικών πόρων χαμηλής θερμοκρασίας οι τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας δεν ισχύουν εάν οι θερμοκρασίες ενδιαφέροντος βρίσκονται αποκλειστικά σε σχιστολιθικές ζώνες.
- 4) Οι βιβλιογραφικές τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση της διακύμανσης της αγωγιμότητας αναλόγως του βάθους και συνεπώς όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, παρέχουν τις αποκλίσεις της θερμοκρασίας για τα περισσότερα κρυσταλλικά εδάφη και για έναν περιορισμένο αριθμό ιζηματογενών εδάφων. Για τα ανθρακικά πετρώματα η αναλογία ασβεστόλιθων προς τους δολομίτες σε μια δεδομένη περιοχή πρέπει να είναι γνωστή. Σε περιοχές με σχιστόλιθους, μια ακριβής εκτίμηση της αναλογίας των σχιστόλιθων προς την άμμο είναι προαπαιτούμενη και σε ιζηματογενείς λεκάνες, όπου η προηγούμενη αναλογία ποικίλλει έντονα σε αυτές τις περιοχές, κατά μια αναλογία με δείκτη 2 για την ίδια ροή θερμότητας.

Η κύρια αντιστοιχία μεταξύ της θερμικής ροής και των αποκλίσεων της θερμοκρασίας μπορεί να σημαίνει ότι η θερμική αγωγιμότητα συγκεντρώνεται γύρω από μια γενική τιμή σε περιφερειακή κλίμακα, παρά τις μικρές λιθολογικές διαφορές που μπορεί να

παρατηρούνται. Ωστόσο ορισμένες διαφορές στην ειδική θερμική αγωγιμότητα σχετίζονται με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής και οι αποκλίσεις της θερμοκρασίας αντανακλούν το γεωλογικό περιβάλλον αλλά όχι τη ροή της θερμότητας [12].

3.3 Τεκτονική

Η σημερινή κατάσταση της Χίου είναι αποτέλεσμα της μεγάλης τεκτονικής επεξεργασίας που υπέστησαν τα στρώματα της κυρίως κατά τη διάρκεια της μεγάλης αλπικής ορογένεσης, καθιστώντας την τεκτονική της Χίου ιδιαίτερα πολύπλοκη σύμφωνα με τον καθηγητή Η. Παρασκευαΐδη, ενώ η διάβρωση συντέλεσε αποφασιστικά στην τωρινή διαμόρφωση του αναγλύφου της [13].

Σε ολόκληρο το νησί συναντώνται πολλά ρήγματα σε μικρά και μεγάλα κομμάτια και τα οποία περιλαμβάνουν ολόκληρη τη σειρά στρωμάτων. Τα ρήγματα παρουσιάζονται κυρίως σε δύο κατευθύνσεις με απόκλιση ΒΑ - ΝΔ και πιο συχνά ΒΔ – ΝΑ. Τα ρήγματα προσβάλλουν σε βάθος ολόκληρη τη σειρά πετρωμάτων μέχρι του Παλαιοζωικού υποβάθρου αφήνοντας άθικτα μόνο τα Τεταρτογενή.

Βαθύτερες ανωμαλίες παρουσιάζονται στη Χίο, οι οποίες προκλήθηκαν από τεκτονικές κινήσεις και παρουσιάζονται εκτός από αυτά τα νέα ρήγματα. Η ρηξιγενής φάση είναι μεταπλειοκαινική και σχετίζεται με την καταβύθιση της Αιγηίδος.

Κατά τη φάση μετακινήσεων του αλπικού υποβάθρου, παρουσιάστηκαν στα Νεογενή διαρρήξεις, ανορθώσεις ενώ πιο σπάνια συναντώνται και μικρές πτυχές. Την ίδια περίοδο τα Μεσοζωικά στο δυτικό άκρο της λωρίδας των Νεογενών, κατά τη μετακίνησή τους υπέστησαν ελαφρά επώθηση επί των Νεογενών.

Τα Μεσοζωικά στρώματα παρουσιάζουν ιδιαίτερη αναστάτωση γιατί πτυχώθηκαν έντονα κατά τη διάρκεια της αλπικής ορογένεσης. Λόγω της σχετικής πλαστικότητας τους, σχηματίστηκαν πτυχές από τις ορογενετικές πιέσεις, σύγκλινα και αντίκλινα, οι περισσότερες από τις οποίες διερράγησαν και τα άκρα τους μετακινήθηκαν κατά διάφορους τρόπους.

Η ποικίλη σύσταση των Μεσοζωικών και Παλαιοζωικών δημιούργησε και άλλες κινήσεις, οι οποίες με τη σειρά τους μετατόπισαν τα Μεσοζωικά επί των Παλαιοζωικών. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν ζώνες μυλονιτοποίησης στην επαφή των δύο συστημάτων και αναστροφή πτυχών με σχηματισμό λεπίων και κατακερματισμό των μορφών, όπως αυτή εμφανίζεται στη δυτική επαφή των Μεσοζωικών με τα Παλαιοζωικά.

Η επώθηση των αλλόχθονων τεμάχων επί του αυτόχθονος υποστρώματος δημιούργησε σημαντική ανωμαλία και επιπρόσθετα η παρουσία των αλλόχθονων δημιούργησε διάφορες μορφολογικές διαφορές. Τα Παλαιοζωικά τα οποία πτυχώθηκαν πριν την

απόθεση των Μεσοζωικών έχουν αρκετά ασθενείς μορφές πτυχών και ρηγμάτων. Κατά την αλπική πτύχωση, υπέστησαν τη μεγαλύτερη επεξεργασία η οποία και μετέβαλε τα στρώματα σε μια άμορφη μάζα.

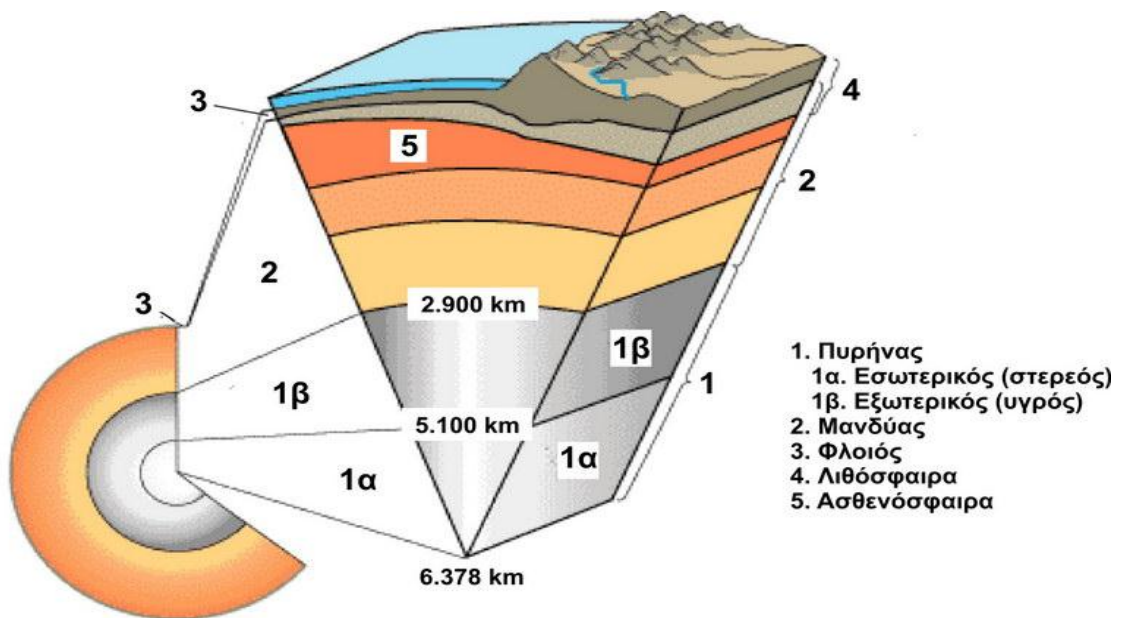
Από τα παραπάνω προκύπτει, σύμφωνα με τη μελέτη του καθηγητή Η. Παρασκευαΐδη [13], ότι από τα ρήγματα μικρής και μεγάλης ηλικίας τα στρώματα έχουν καταταμηθεί σε τεμάχια, γεγονός που δημιουργεί δυσμενείς υδρογεωλογικές συνθήκες όσον αφορά το σχηματισμό υπόγειων αποθεμάτων ύδατος και πηγών. Επίσης ο κατακερματισμός και οι ποικίλες κλίσεις των στρωμάτων και των επαφών, δημιουργούν διάφορες διευθύνσεις στην εσωτερική ροή των υπογείων υδάτων όπου αυτά εμφανίζονται.

Όπως και στον υπόλοιπο Ελλαδικό χώρο, οι Νεογενείς αποθέσεις της περιοχής έχουν υποστεί τις διάφορες μεταλπικές φάσεις παραμόρφωσης, συμπίεσης και εφελκυσμού. Αποτέλεσμα αυτών των εφελκυστικών τάσεων, οι οποίες ξεκίνησαν το κάτω Πλειόκαινο και συνεχίζουν μέχρι και σήμερα, είναι η δημιουργία κανονικών ρηγμάτων τα οποία και δικαιολογούν την κυκλοφορία γεωθερμικών ρευμάτων και την άνοδό τους στην επιφάνεια [8].

4 Γεωθερμία

4.1 Η δομή της Γής

Η Γή είναι ένας πεπλατυσμένος πλανήτης, ελλειψοειδής με διάμετρο περίπου τα 12.750 χλμ. περίπου. Όπως κάθε σώμα που περιστρέφεται, παρουσιάζει στο κέντρο του (ισημερινός) πλάτυση και στα άκρα του (Πόλοι) συμπίεση. Το 71% της επιφάνειας της Γής αποτελείται από θάλασσα, ενώ μόνο το 21% αποτελεί την ξηρά. Μόλις στις αρχές του 20^{ου} αιώνα καθορίστηκε ότι το εσωτερικό του πλανήτη μας (Εικόνα 10) αποτελείται από τρία κύρια μέρη: α) το φλοιό, β) το μανδύα και γ) τον πυρήνα [14].



Εικόνα 10-Σχηματική απεικόνιση της δομής της Γής [14]

Ο φλοιός που αποτελεί το εξωτερικό στρώμα, είναι άκαμπτος και ιδιαίτερα λεπτός σε σχέση με τα άλλα δύο στρώματα. Κάτω από τους ωκεανούς το πάχος τους διαφοροποιείται ελαφρά και σε γενικές γραμμές φθάνει τα 5km σε πάχος. Αντίθετα κάτω από τις ηπείρους, το πάχος του φλοιού παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις και φθάνει τα 30km κατά μέσο όρο. Και τα δύο είδη του φλοιού επικάθονται σε ένα τμήμα του μανδύα (τον εξωτερικό μανδύα) που είναι σχετικά άκαμπτος, με τα δύο αυτά στρώματα να αποτελούν μαζί τη λιθόσφαιρα, η οποία επιπλέει πάνω στο πυκνότερο και παχύρρευστο υλικό της ασθενόσφαιρας. Κάτω από τον φλοιό υπάρχει ο μανδύας, ένα πυκνό και θερμό στρώμα πετρωμάτων, σε ημιστερεά κατάσταση με πάχος 2.900 km. Αντιπροσωπεύει το 83% του όγκου της Γής και διακρίνεται σε εξωτερικό και εσωτερικό. Ο μανδύας ο οποίος περιέχει περισσότερο σίδηρο, μαγνήσιο και ασβέστιο από το φλοιό, είναι θερμότερος και πυκνότερος γιατί η πίεση και η θερμοκρασία μέσα στη Γή αυξάνονται αναλόγα με το βάθος. Στο κέντρο της Γής βρίσκεται ο πυρήνας ο οποίος είναι σχεδόν δύο φορές πυκνότερος από το μανδύα κυρίως λόγω της σύστασής του (σίδηρος και κράμα νικελίου) και αποτελεί το 1.7% της συνολικού βάρους του πλανήτη. Αποτελείται από δύο κύρια τμήματα: ένα υγρό εξωτερικό στρώμα πάχους 2.200km και ένα πλήρως συμπαγές εσωτερικό στρώμα, πάχους 1.250km. Καθώς η Γή περιστρέφεται ο εξωτερικός πυρήνας στροβιλίζεται δημιουργώντας έτσι το μαγνητικό πεδίο που υπάρχει στον πλανήτη [14].

4.2 Οι τεκτονικές πλάκες

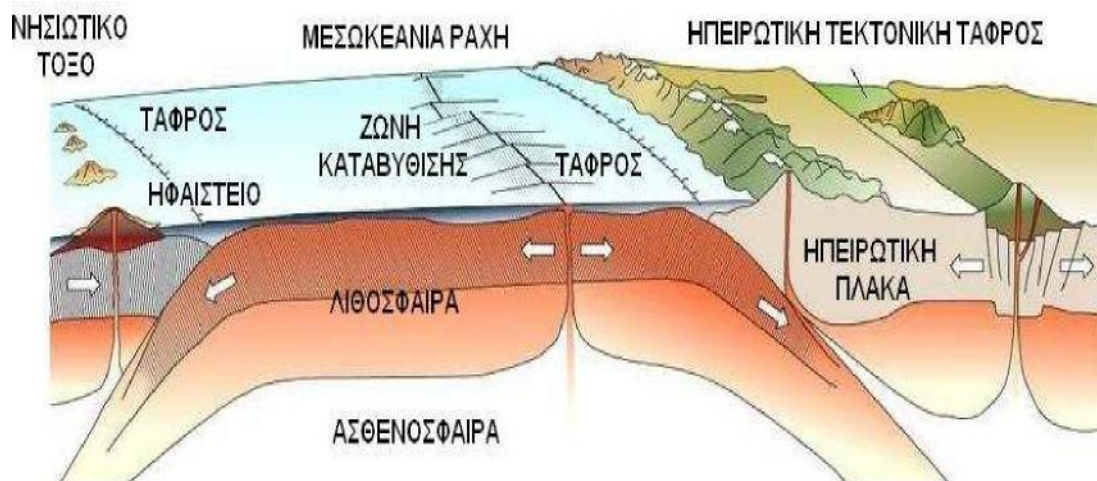
Οι τεκτονικές πλάκες είναι τεράστιας έκτασης, ακανόνιστου σχήματος γεωλογικές πλάκες, συμπαγούς πετρώματος που σε γενικές γραμμές αποτελούνται από την ηπειρωτική και την ωκεάνιο λιθόσφαιρα. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες έως χιλιάδες χιλιόμετρα κατά μήκος της Γής.

Η λιθόσφαιρα σύμφωνα με την σύγχρονη θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών, χωρίζεται σε επτά μικρές και οκτώ μεγάλες πλάκες. Μερικές από αυτές βρίσκονται αποκλειστικά κάτω από ωκεανούς, καμία δεν περιλαμβάνει αποκλειστικά ηπειρωτικές περιοχές ενώ οι περισσότερες περιλαμβάνουν ηπειρωτικές και θαλάσσιες περιοχές. Είναι άκαμπτες και στα όριά τους παρουσιάζουν έντονες παραμορφώσεις, ενώ το πάχος τους κυμαίνεται μεταξύ των 70 – 125 km.

Κατά την κίνησή τους στο παχύρρευστο υπόστρωμα της ασθενόσφαιρας (Εικόνα 11), στα όρια των πλακών μπορεί να συμβούν τα παρακάτω [15]:

- Οι λιθοσφαιρικές πλάκες να συγκλίνουν μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση η μία βυθίζεται κάτω από την άλλη οπότε οπότε το υλικό της τήκεται κάτω από τις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις που ασκούνται ενώ μπορεί να σημειωθεί και καταστροφή του φλοιού.

- Οι λιθοσφαιρικές πλάκες αποκλίνουν. Σε αυτήν την περίπτωση οι πλάκες απομακρύνονται η μια από την άλλη, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενού χώρου ο οποίος γεμίζει με υλικό που ανεβαίνει από την ασθενόσφαιρα. Το μάγμα μόλις έλθει σε επαφή με τον αέρα ή το νερό των ωκεανών, ψύχεται και στερεοποιείται δημιουργώντας νέο φλοιό στην επιφάνεια.
- Τα ρήγματα μετασχηματισμού αποτελούν τα όρια των πλακών συνεπώς καμμία μεταβολή δεν λαμβάνει μέρος. Το όριο των πλακών σε αυτήν την περίπτωση είναι μεγάλα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης.



Εικόνα 11-Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις τεκτονικές πλάκες [16]

4.3 Η θερμότητα στο εσωτερικό της Γής

Η θερμοκρασία της Γής πρακτικά παραμένει σχεδόν σταθερή, παραμένοντας στους 4.000 °C, αφού η θερμοκρασία του μανδύα έχει μειωθεί περίπου 300 °C τα τελευταία 3 δισεκατομμύρια χρόνια. Το συνολικό θερμικό φορτίο ανέρχεται στα 12,6x10²⁴ MJ, ενώ αντίστοιχα του φλοιού φθάνει τα 5,4x10²¹ MJ [17].

Η θερμοκρασία της Γής αυξάνει σταθερά από την επιφάνεια προς το εσωτερικό, της με το ρυθμό της γεωθερμικής βαθμίδας (°C/m) η οποία έχει μέση τιμή τους **33 °C/km**. Σε περιοχές όπου υπάρχει ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον, η τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας μπορεί να φθάσει σε πολλαπλάσιες τιμές της κανονικής. Οι περιοχές αυτές

αποτελούν ζώνες με υψηλά θερμικά φορτία τα οποία προέρχονται από θερμά ρευστά σε σχετικά μικρά βάθη. Αντίθετα η γεωθερμική βαθμίδα μπορεί να έχει και τιμές μικρότερες από τους 10 °C/km σε περιοχές όπου η λεκάνη του γεωλογικού υποβάθρου έχει συμπληρωθεί από ιζήματα τα οποία είναι χρονολογικά πρόσφατα.

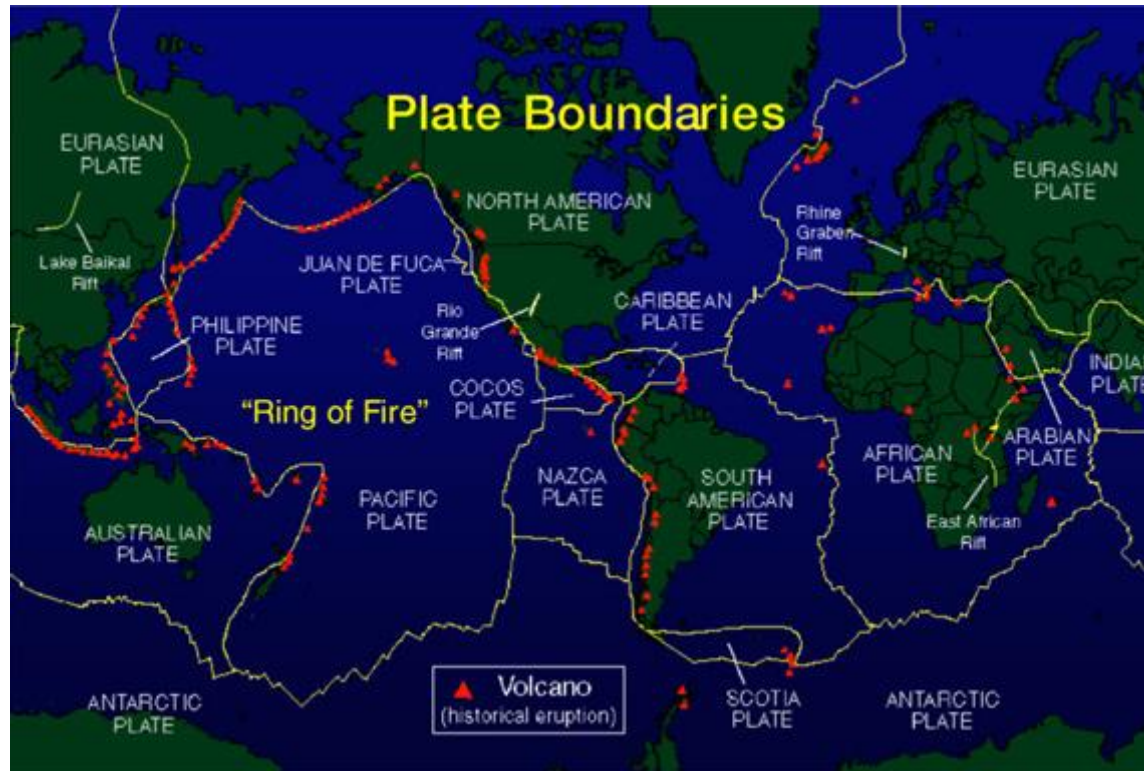
4.4 Γεωθερμία και τεκτονικές πλάκες

Η μετάδοση θερμότητας από ένα θερμό σημείο προς ένα άλλο χαμηλότερης θερμοκρασίας ονομάζεται **θερμική ροή**. Οι περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν μια θετική θερμική ανωμαλία δηλαδή έχουν αυξημένη θερμική ροή, μπορούν να εντοπιστούν με ειδικές μετρήσεις. Συνδέονται άμεσα με την άνοδο του μάγματος σε περιοχές με μικρό βάθος και εξαρτώνται από τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων.

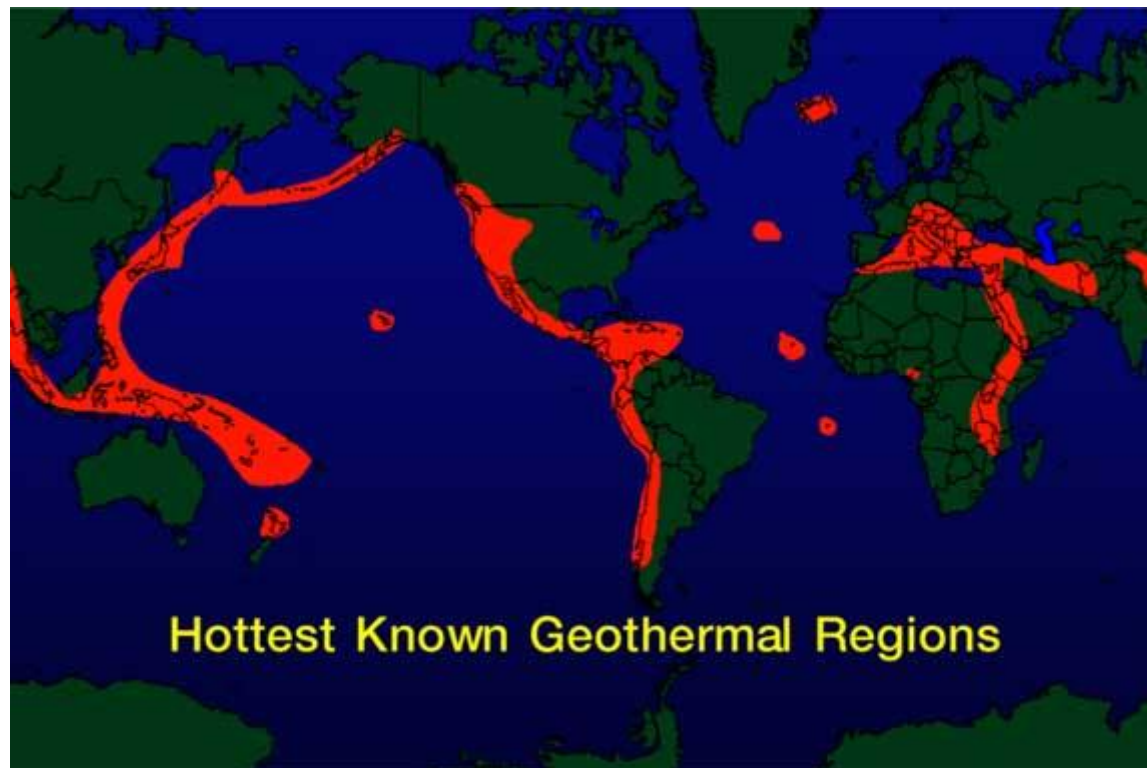
Σε παγκόσμιο επίπεδο παρουσιάζεται μια σταθερή θερμική ροή, με μέσο όρο τα 55 mW/m² ενώ στις περιοχές με έντονο γεωθερμικό ενδιαφέρον, οι τιμές αυτές μπορούν να φτάσουν και τα 300 mW/m² (Εικόνα 13). Οι περιοχές αυτές σχετίζονται άμεσα με τη θέση και την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών (Εικόνα 12) και είναι [15]:

- Οι περιοχές όπου βυθίζονται οι λιθοσφαιρικές πλάκες, δηλαδή τα νησιωτικά τόξα και εκεί όπου εντοπίζεται έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα.
- Οι περιοχές ηπειρωτικών βυθισμάτων όπως το βύθισμα της Ανατολικής Αφρικής, η πεδιάδα της Ουγγαρίας κ.α.
- Οι μεσοωκεάνιες ράχες και οι περιοχές στις οποίες παρατηρείται απομάκρυνση των ωκεάνιων λιθοσφαιρικών πλακών.
- Οι ηπειρωτικές περιοχές διογκώσεων. Στον πυθμένα του ωκεανού έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχουν ηφαίστεια στα οποία ο κώνος τους μετατοπίζεται κατά μήκος ευθείας γραμμής, χωρίς αυτή να ταυτίζεται με κάποιο ρήγμα. Μια πιθανή αιτία αποτελεί το γεγονός ότι το θερμό ανοδικό ρεύμα μεταφοράς του άνω μανδύα του φλοιού δημιουργεί στο συγκεκριμένο σημείο θερμή κηλίδα. Η λιθοσφαιρική πλάκα περνάει από το σημείο κρούσεως του συγκεκριμένου ρεύματος, το κατώτερο μέρος του φλοιού το οποίο είναι βασαλτικό, τήκεται και με τον τρόπο αυτό δημιουργείται το ηφαίστειο. Όταν το θερμό ανοδικό ρεύμα συναντήσει κάποια ηπειρωτική πλάκα τότε δημιουργεί τις ηπειρωτικές περιοχές διογκώσεων όπως έχουν παρατηρηθεί στο Air της Σαχάρας, στο Jos της Νιγηρίας, ανατολικά της Σμύρνης με το γεωθερμικό πεδίο του Kizilderde και αλλού.

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι γνωστές θερμές περιοχές με έντονο γεωθερμικό ενδιαφέρον και τα όρια των λιθσφαιρικών πλακών.



Εικόνα 12-Τα όρια των λιθσφαιρικών πλακών [18]



Εικόνα 13-Περιοχές έντονου γεωθερμικού ενδιαφέροντος σε παγκόσμια κλίμακα [18].

4.5 Γεωθερμικό σύστημα

Ο ελλαδικός χώρος θεωρείται ότι είναι ιδιαίτερος προνομιούχος από γεωθερμικής πλευρά λόγω των κατάλληλων συνθηκών που επικρατούν. Το ηφαιστειακό τόξο που υπάρχει στο κεντρικό Αιγαίο δημιουργεί προϋποθέσεις για την ύπαρξη πεδίων υψηλής ενθαλπίας με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη Νίσυρο, ενώ σε ορισμένες περιοχές οι ιδανικές γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν, δημιουργούν προϋποθέσεις για την ύπαρξη πεδίων χαμηλής και μέσης ενθαλπίας με τη γεωθερμική βαθμίδα να σημειώνει τιμές αρκετά υψηλότερες της μέσης συναντώμενης.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω των έντονων μαγματικών δραστηριοτήτων και της τεκτονικής που υπάρχει σε μια περιοχή, είναι η αιτία για τη δημιουργία «γεωθερμικών συστημάτων».

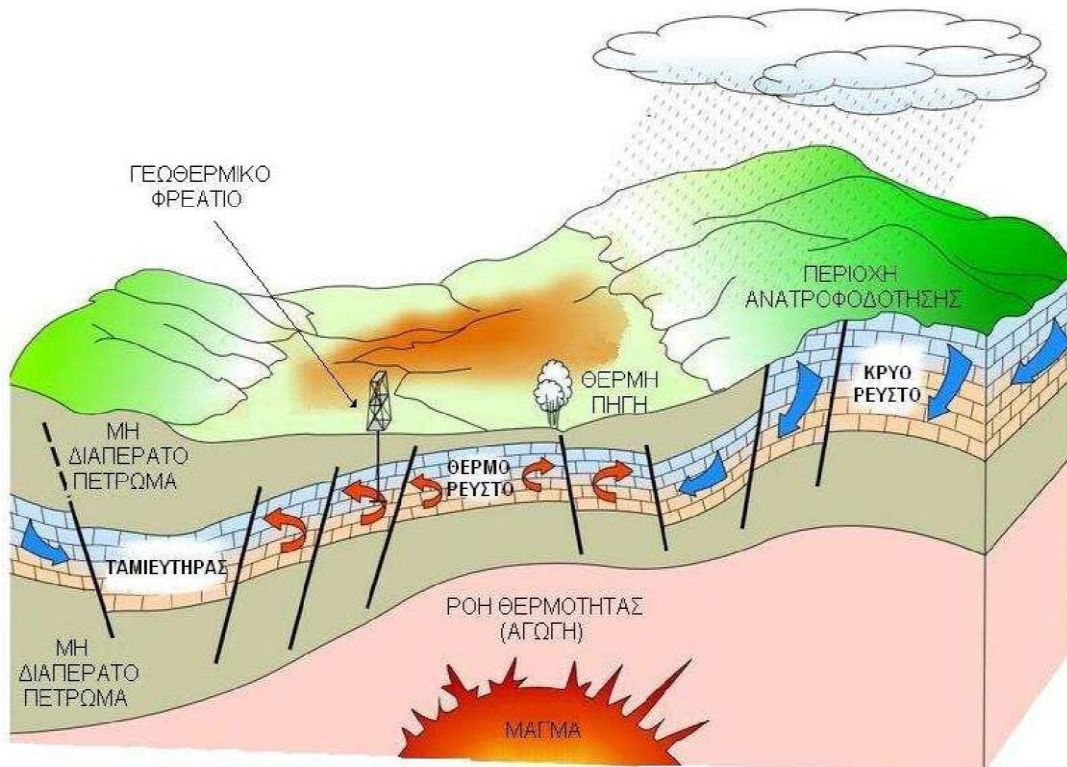
Το γεωθερμικό σύστημα (Εικόνα 14) συναντάται στον ανώτερο φλοιό της Γής και στο εσωτερικό του υπάρχει «κινούμενο νερό» το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μια πηγή σε μια δεξαμενή θερμότητας, η οποία συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια [19].

Τα τρία στοιχεία που απαρτίζουν ένα γεωθερμικό σύστημα είναι: α) **η εστία θερμότητας**, β) **ο ταμιευτήρας**, γ) **το γεωθερμικό ρευστό**.

Η **εστία θερμότητας** μπορεί να είναι είτε μια μαγματική διείσδυση αρκετά υψηλής θερμοκρασίας, που συνήθως ξεπερνάει τους 600 °C η και η οποία έχει φτάσει σε μικρά βάθη της τάξης των 5 έως 10 km ή σε συστήματα με χαμηλές θερμοκρασίες η κανονική θερμοκρασία των πετρωμάτων, η οποία αυξάνει ανάλογα με το βάθος.

Ο **ταμιευτήρας** είναι ένας σχηματισμός από θερμά υδατοπερατά πετρώματα. Μέσα από αυτόν τα ρευστά μπορούν να κυκλοφορούν όπως και να αντλούν θερμότητα. Πάνω από τον ταμιευτήρα τις περισσότερες φορές, συναντάται ένα κάλυμμα αδιαπέρατων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας συνδέεται συνήθως με μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, μέσω της οποίας το μετεωρικό ή επιφανειακό νερό κατεβαίνει και αντικαθιστά μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από αυτόν και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται από γεωτρήσεις.

Το **γεωθερμικό ρευστό** στις περισσότερες περιπτώσεις είναι νερό το οποίο έχει προέλευση μετεωρική ή θαλάσσια και ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον ταμιευτήρα, βρίσκεται αναλόγως σε υγρή ή αέρια κατάσταση. Συχνά το ρευστό είναι εμπλουτισμένο με χημικά στοιχεία και αέρια όπως CO₂, H₂S₂ κλπ.



Εικόνα 14-Αναπαράσταση ενός γεωθερμικού συστήματος [16]

Η θερμική συναγωγή πραγματοποιείται λόγω της θέρμανσης σε ένα πεδίο βαρύτητας. Από την εστία του γεωθερμικού συστήματος παράγεται ενέργεια, η οποία είναι στην πραγματικότητα η θερμότητα που προκαλεί αυτό το φαινόμενο. Τα γεωθερμικά ρευστά όταν θερμανθούν μειώνεται η πυκνότητά τους, με αποτέλεσμα να κινούνται σε ανώτερα στρώματα του φλοιού ενώ αντικαθίστανται από ρευστά μικρότερης θερμοκρασίας τα οποία τα αναπληρώνουν συνεχώς. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι να υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας στα ανώτερα τμήματα του γεωθερμικού συστήματος, με τα κατώτερα στρώματα να σημειώνουν χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Κάθε γεωθερμικό σύστημα παρουσιάζει τις δικές του ιδιαιτερότητες και ιδιομορφίες, οι οποίες μπορεί να είναι θερμοκρασιακές, γεωλογικές και φυσικοχημικές, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο διαφορετικούς τύπους συστημάτων.

4.6 Γεωθερμικοί πόροι

Η θερμική ενέργεια η οποία βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από μια ορισμένη περιοχή μεταξύ της επιφάνειας της Γής και ενός συγκεκριμένου βάθους στο φλοιό, ορίζεται ως «**γεωθερμικός πόρος**». Το ποσό της ενέργειας το οποίο μπορεί να αποκτηθεί με τρόπο νόμιμο και οικονομικά συμφέροντα κάποια χρονική στιγμή, μέσα στα επόμενα εκατό χρόνια, αποτελεί τον ωφέλιμο και προσβάσιμο γεωθερμικό πόρο. Οι πόροι που έχουν τις

παραπάνω προϋποθέσεις καλούνται «αποθέματα» και είναι άμεσα αξιοποιήσιμοι με κόστος που ανταγωνίζεται άλλες πηγές ενέργειας. Οι πόροι αυτοί έχουν ανακαλυφθεί και αξιολογηθεί με τη βοήθεια γεωτρητικών, γεωχημικών και άλλων γεωλογικών ερευνών [20].

4.6.1 Κριτήριο με βάση την ενθαλπία

Η ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών αποτελεί το πιο κοινό κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών πόρων. Αυτά τα ρευστά λειτουργούν σαν φορέας θερμότητας που τη μεταφέρουν από τα πετρώματα που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη στην επιφάνεια. Η ενθαλπία χρησιμοποιείται με σκοπό να εκφράσει τη θερμική ενέργεια που περιέχεται στα ρευστά και μπορεί να δώσει μια άποψη της ενεργειακής αξίας που περιέχουν. Βάσει των παραπάνω, οι γεωθερμικοί πόροι ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας σύμφωνα με το ενεργειακό περιεχόμενο αλλά και τις μορφές αξιοποίησης που μπορεί να τύχουν. Έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι ταξινόμησης, από αρκετούς συγγραφείς ενώ δεν υπάρχει ακόμα κοινά αποδεκτή μέθοδος (Πίνακας 6).

Πίνακας 6-Ταξινόμηση γεωθερμικών πόρων (°C) [21, 22 , 23, 24, 19, 25]

		Muffler & Cataldi (1978)	Hochstein (1990)	Bendiritter & Cormy (1990)	Nicholson (1993)	Axelsson & Gunlaugsson (2000)	Sanyal (2005)
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	400	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Πολύ υψηλή
	350						
	300						Υψηλή
	250						
	200	Μέση	Μέση	Χαμηλή	Μέση		
	150						
	100	Μέση	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Πολύ χαμηλή	
	50	Χαμηλή				Χαμηλή	Αδυναμία ηλεκτρικής παραγωγής

4.6.2 Κριτήριο με βάση την μετάδοση θερμότητας

Άλλο κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών πόρων αποτελεί η κυκλοφορία του γεωθερμικού μέσου στον ταμιευτήρα και το μηχανισμό μεταφοράς της θερμότητας, παρουσιάζοντας με αυτόν τον τρόπο την κατάσταση ισορροπίας που υπάρχει μέσα στον ταμιευτήρα.

Στα δυναμικά συστήματα, υψηλής ή και χαμηλής θερμοκρασίας, ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με θερμό νερό το οποίο στη συνέχεια αποφορτίζεται είτε γιατί το θερμό ρευστό ανέβηκε μέχρι την επιφάνεια είτε γιατί άρχισε να γεμίζει τους υδατοπερατούς υπόγειους σχηματισμούς [23].

Στα στατικά συστήματα υπάρχει σχεδόν μηδενική τροφοδοσία του ταμιευτήρα και η μεταφορά θερμότητας γίνεται αποκλειστικά με τη βοήθεια του μηχανισμού αγωγής, η οποία και αποτελεί την κύρια διαφορά από τα δυναμικά συστήματα, ενώ συναντάται κυρίως σε συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας.

4.6.3 Κριτήριο του γεωθερμικού μέσου

Τελευταίο κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών πόρων είναι βάση της σύστασης του γεωθερμικού μέσου, το οποίο τις περισσότερες φορές αποτελείται από υγρό και αέριο μείγμα. Συνεπώς διακρίνονται δύο είδη γεωθερμικών πόρων: α) αυτοί που έχουν κυρίαρχο στοιχείο το νερό σε υγρή φάση και β) αυτοί που έχουν κυρίαρχο στοιχείο το νερό σε αέρια φάση.

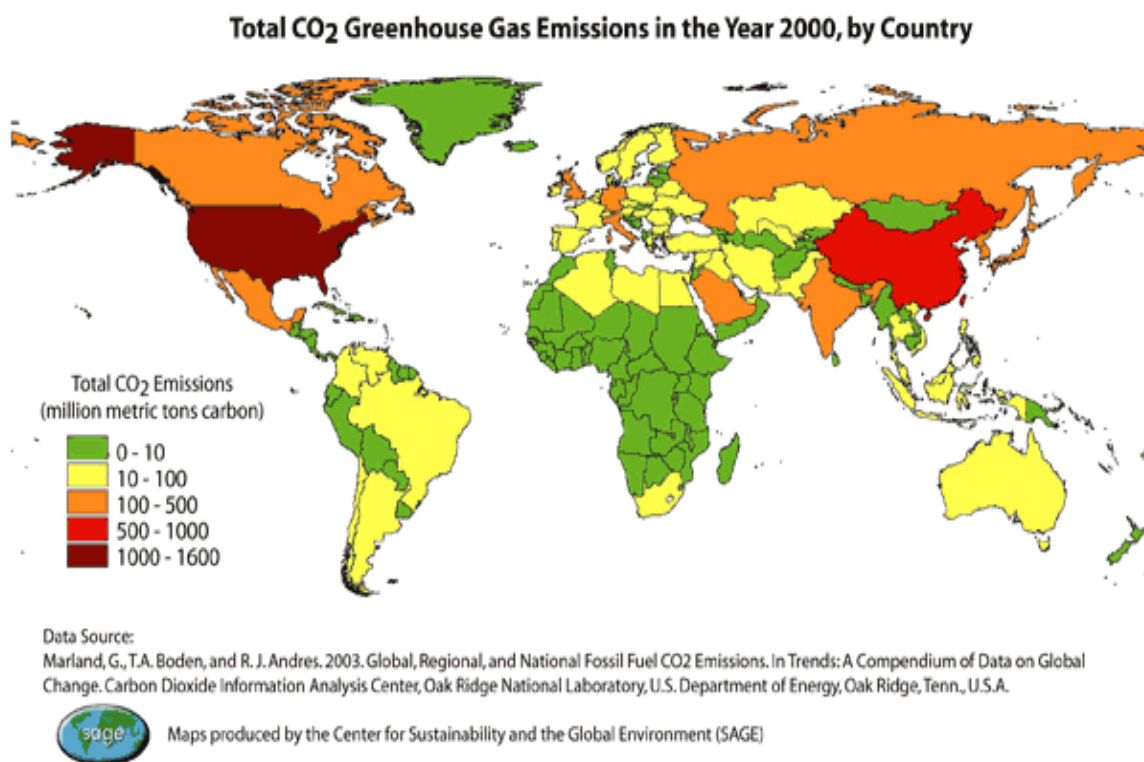
Στα συστήματα που κυριαρχεί η υγρή φάση του νερού, η θερμοκρασία κυμαίνεται συνήθως από 125 °C ως 225 °C και αποτελούν τα πιο διαδομένα γεωθερμικά συστήματα. Μέσα στην υγρή φάση μπορεί να υπάρχουν και αέρια με την μορφή φυσαλίδων ενώ αναλόγως της πίεσης και της θερμοκρασίας που επικρατεί μπορεί να παραχθούν μείγμα υγρό και αέριου νερού, θερμού νερού και υγρού ατμού.

Σε συστήματα στα οποία η αέρια φάση του νερού είναι κυρίαρχη, η αέρια και η υγρή φάση συνυπάρχουν στον ταμιευτήρα, ενώ σε αυτή την περίπτωση η αέρια φάση ελέγχει συνεχώς την πίεση. Δεν συναντάται ιδιαίτερα συχνά, ενώ πιο γνωστά είναι το Lardello στην Ιταλία και το Geysers στην Καλιφόρνια [19].

4.7 Η γεωθερμία σαν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

Από την αρχή της η ανθρωπότητα βασιζόταν πάντα σε καύσιμα προκειμένου να παράγει ενέργεια. Οι παραδοσιακές πηγές καυσίμων είναι το ξύλο, το κάρβουνο, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Αν και τα παραπάνω καύσιμα σε συνδυασμό τους, τροφοδοτούσαν ανέκαθεν τις ενεργειακές ανάγκες, η εμφάνιση του φαινομένου του

θερμοκηπίου από τις εκπομπές των καυσαερίων και η απόλυτη εξάρτηση της ενέργειας από το πετρέλαιο έχουν καταστήσει άμεση και επιτακτική την ανάγκη για την αντικατάστασή τους. Επιπρόσθετα αυτά τα καύσιμα προέρχονται από μια γεωλογική βάση η οποία δεν αναπληρώνεται και χρειάστηκαν εκατομμύρια χρόνια για το σχηματισμό της. Σαν αποτέλεσμα αυτό το είδος καυσίμων δεν μπορεί να ανανεωθεί, ενώ παράλληλα η εξόρυξή τους και θα γίνεται συνεχώς όλο και πιο δύσκολη συνεπώς και πιο ακριβή [26].



Εικόνα 15-Οι εκπομπές CO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο ανά χώρα, το έτος 2000 [27].

Για τους παραπάνω λόγους έχει σημειωθεί ιδιαίτερο και αυξανόμενο συνεχώς ενδιαφέρον στην εύρεση πηγών ενέργειας οι οποίες θα ελαττώσουν την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και θα οδηγήσουν στην εξάλειψη του φαινομένου του θερμοκηπίου που υπάρχει στον πλανήτη μας (Εικόνα 15).

Τα κριτήρια τα οποία θεωρούνται απαραίτητα στην εξασφάλιση της βιωσιμότητας μιας μορφής ενέργειας η οποία θα ενεργούσε συμπληρωματικά ή θα καθιστούσε μη αναγκαία τη χρήση ορυκτών καυσίμων είναι τα παρακάτω:

- Είναι ανανεώσιμη.
- Περιορίζει ή έχει μηδαμινές εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

- Μπορεί να αποκτηθεί με κόστος ανταγωνιστικό των υπάρχουσων μορφών ενέργειας.
- Είναι επαρκής σε τέτοιο βαθμό που να καλύπτει σημαντικό μέρος των ενεργειακών αναγκών της αγοράς.

Τα παραπάνω κριτήρια μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλές μορφές εναλλακτικής ενέργειας εαν γίνει κατανοητό πως χρησιμοποιούνται τα ορυκτά καύσιμα και πως συμβάλλουν στην δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η γεωθερμική ενέργεια έχει όλες τις προϋποθέσεις για να καλύψει τα παραπάνω κριτήρια. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά της είναι ότι δεν απαιτείται καύσιμο αφού βασίζεται στη συνεχή ροή θερμότητας, η οποία προέρχεται από τα έγκατα της Γής. Για κάθε κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο παράγεται από τη γεωθερμική ενέργεια, οι εκπομπές αερίων που θα προερχόντουσαν από ένα συμβατικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα, θα αντιστοιχούσαν σε μια μείωση της τάξης του 90% και σε πολλές περιπτώσεις θα μηδενιζόταν τελείως.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς. Μια τέτοια εφαρμογή είναι στον κλιματισμό των κτιρίων. Κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της Γής διαρρέεται από ενέργεια. Αν και η θερμοκρασία στο πρώτα μέτρα της επιφάνειας επηρεάζεται έντονα από τις καιρικές συνθήκες αλλά και από την δραστηριότητα του ήλιου, σε βάθος περίπου δέκα μέτρων, η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή λόγω της θερμότητας που προέρχεται από το εσωτερικό της Γής. Αυτή η ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον κλιματισμό κτιρίων χρησιμοποιώντας γεωθερμικές αντλίες οι οποίες λόγω της υψηλής αποδοτικότητάς τους, απαιτούν ελάχιστη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Σε συνδυασμό μάλιστα με άλλα ενεργειακά προγράμματα μπορεί να μειωθεί σημαντικό ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται.

Σε πολλές περιοχές η μέτρια θερμική ροή ή αλλιώς η χαμηλή ενθαλπία, πλέον μπορεί να βρεί εφαρμογή σε βιομηχανική χρήση, η οποία μέχρι τώρα χρησιμοποιούσε αποκλειστικά ορυκτά καύσιμα. Η απευθείας εφαρμογή μπορεί να περιλαμβάνει ξήρανση υλικών, γεωργικές δραστηριότητες, χρήση σε θερμοκήπια, παραγωγή χαρτιού κ.α. Αν και η χρήση τέτοιων εφαρμογών έχει αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί με επιτυχία, παραμένει σχετικά άγνωστη στο ευρύ κοινό και παραμένει ανεκμετάλλευτη. Σε περιοχές όπου παρατηρείται υψηλή θερμική ροή ή αλλιώς υψηλή ενθαλπία, οι θερμοκρασίες που σημειώνονται είναι αρκετά υψηλές ώστε να επιτρέψουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 16).

Στον Πίνακα 7 που ακολουθεί παρατίθεται η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση για το έτος 2007.

Πίνακας 7-Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ευρώπη το 2007 [28].

Χώρα	Δυναμικότητα MWt	Χρήση TJ/yr	Παράγοντας Χωρητικότητας	Δεδομένα 2007
Αλβανία	9.6	8.5	0.03	X
Αυστρία	352.0	2229.9	0.20	
Λευκορωσία	2.0	13.3	0.21	
Βέλγιο	63.9	431.2	0.21	
Βουλγαρία	109.6	1671.5	0.48	
Κροατία	114.0	681.7	0.19	
Τσεχία	204.5	1220.0	0.19	
Δανία	330.0	4400.0	0.42	
Φινλανδία	260.0	1950.0	0.24	
Γαλλία	308.0	5195.7	0.53	
Γεωργία	250.0	6307.0	0.80	
Γερμανία	952.0	6060.0	0.18	X
Ελλάδα	74.8	567.2	0.24	
Ουγγαρία	694.2	7939.8	0.36	
Ισλανδία	1844.0	24500.0	0.42	
Ιρλανδία	20.0	104.1	0.17	X
Ιταλία	650.0	8000.0	0.39	X
Λιθουανία	21.3	458.0	0.68	
F.Y.R.O.M.	62.3	598.6	0.30	X
Ολλανδία	253.5	685.0	0.09	
Νορβηγία	600.0	3085.0	0.16	
Πολωνία	210.0	1108.0	0.16	X
Πορτογαλία	30.6	385.3	0.40	
Ρουμανία	145.1	2841.0	0.62	
Ρωσσία	308.2	6143.5	0.63	X
Σερβία	88.8	2375.0	0.85	
Σλοβακία	187.7	3034.0	0.51	
Σλοβενία	49.6	729.6	0.47	
Ισπανία	22.3	347.2	0.49	
Σουηδία	3840.0	36000.0	0.30	
Ελβετία	650.0	5500.0	0.23	X
Τουρκία	1385.0	24000.0	0.53	X
Ουκρανία	10.9	118.8	0.35	
Ην. Βασίλειο	10.2	45.6	0.14	
Σύνολο	14114.1	158734.5	-	-



Εικόνα 16-Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία, στο Nesjavellir στην Ισλανδία

4.8 Εφαρμογές της γεωθερμίας στα νησιά του Αιγαίου

Οι κυριότερες εφαρμογές της γεωθερμίας στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στα νησιά του Αιγαίου, προορίζονται κυρίως σε θερμοκήπια, καλλιέργειες, σε κέντρα υδροθεραπείας, με τα τελευταία χρόνια να γνωρίζουν ιδιαίτερη ανάπτυξη [29].

Αναλυτικότερα είναι:

1. Θέρμανση χώρων.

Προς το παρόν η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για την θέρμανση χώρων, είναι ιδιαίτερα περιορισμένη και στην Ελλάδα τη συναντούμε στην Τραϊανούπολη της Θράκης, σε ορισμένες κατοικίες και σε ένα κτήριο της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (με χρήση αντλιών θερμότητας).

2. Λουτροθεραπείες.

Στον ελλαδικό χώρο η λουτροθεραπεία για διάφορες παθήσεις κρίνεται αρκετά διαδεδομένη με συνολικά εγκατεστημένα 56 κέντρα λουτροθεραπείας, με τα 12 από αυτά να είναι σε νησιά του Αιγαίου.

Στα λουτροθεραπεία της Ελλάδας υπολογίζεται ότι η συνολική θερμική ισχύς ανέρχεται στα 35 MWth.

3. Θερμοκήπια και καλλιέργειες.

Συνολική έκταση 7,5 εκταρίων με γεωθερμικά θερμοκήπια λειτουργούν στη Μυτιλήνη, στη Μήλο και στη Νίσυρο με την εγκατεστημένη ισχύ να φθάνει τα 8MWth. Στις καλλιέργειες η χρήση της γεωθερμίας κρίνεται περιορισμένη, αλλά υπάρχουν προβλέψεις για μελλοντικές επεκτάσεις με την τρέχοντα χρήση να καλύπτει τα 12 εκτάρια.

Η θερμοκρασία των γεωθερμικών νερών που χρησιμοποιείται σε θερμοκήπια και σε καλλιέργειες, στην συντριπτική πλειοψηφία είναι μικρότερη από τους 50 °C. Το γεωθερμικό νερό επανεισάγεται σε ποσοστό 20% με την τιμή αυτή να αυξάνεται συνεχώς.

4. Αφαλάτωση.

Στην Κίμωλο έχει εγκατασταθεί μια μονάδα αφαλάτωσης από το 2001, η οποία για την λειτουργία της χρησιμοποιεί τη γεωθερμική ενέργεια. Η συγκεκριμένη μονάδα αποδίδει 500 T.O.E./year (1 T.O.E = 8.000.000 kcal/h). Ανάλογη μονάδα πρόκειται να εγκατασταθεί και στη Μήλο μελλοντικά.

5. Ιχθυοκαλλιέργειες.

Αρχικά εφαρμόσθηκε στο Πόρτο Λάγος για την προστασία των ψαριών από το ψύχος σε μια τεχνητή γούρνα. Το νερό που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από δύο γεωτρήσεις στην περιοχή της Νέας Κεσσάνης και η εγκατεστημένη ισχύς της μονάδας ανέρχεται στα 2 MWth.

6. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην Μήλο είχε λειτουργήσει από το 1985-1988 μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 2 MWth, όταν έκλεισε λόγω των έκλυσεων H₂S στην ατμόσφαιρα.

7. Άλλες χρήσεις.

Χρήση της γεωθερμίας γίνεται τα τελευταία χρόνια στην περιοχή Θερμά στη Νιγρίτα, για την καλλιέργεια του βοτάνου “spirulina”.

Συνοπτικά το γεωθερμικό πεδίο της Ελλάδας είναι αξιόλογο, αν και ακόμα η αξιοποίησή του βρίσκεται σε πολύ μικρό στάδιο κυρίως λόγω του αυξημένου κόστους, αλλά οι δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης και αξιοποίησής του κρίνονται ιδιαίτερα μεγάλες. Οι δυναμικότητες των συστημάτων γεωθερμικής ενέργειας άμεσης χρήσης στην Ελλάδα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 8 που ακολουθεί.

Πίνακας 8-Αξιοποίηση γεωθερμίας για άμεσες χρήσεις στην Ελλάδα μέχρι το 2000 [29]

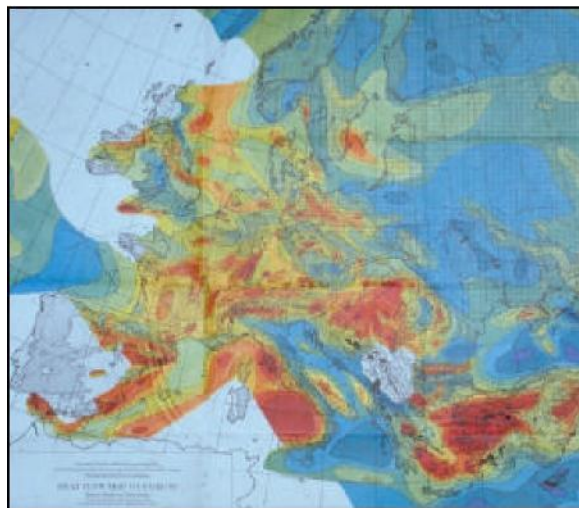
ΧΡΗΣΗ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MWth)	ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (TJ/yr =10¹²J/yr)
Θέρμανση χώρων	1.13	13.3
Θερμοκήπια	20.6	20.5
Ιχθυοκαλλιέργειες	-	-
Λουτροθεραπεία	35	164
Αφαλάτωση	1,8	-
Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	0.4	3.1
Σύνολο	22.1	221

5 Γεωθερμικά πεδία

5.1 Γεωθερμική έρευνα

Ο όρος γεωθερμικό πεδίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια περιοχή στην οποία παρατηρείται επιφανειακή γεωθερμική δραστηριότητα (Εικόνα 17). Όταν η δραστηριότητα αυτή δεν παρατηρείται, τότε ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια περιοχή στην οποία αντιστοιχεί ο γεωθερμικός ταμιευτήρας ο οποίος βρίσκεται στο υπέδαφος [26].

Η έρευνα ενός γεωθερμικού πεδίου αποτελεί βασικό κομμάτι της εκμετάλλευσης του διαθέσιμου γεωθερμικού δυναμικού μιας περιοχής. Η έρευνα αποτελεί την πρώτη φάση αξιολόγησης για την πιθανή αξιοποίηση ενός πεδίου και περιλαμβάνει το σχεδιασμό, διαδικασίες και στόχους, προκειμένου να αποδείξει την πιθανή αξιοποίηση του πόρου που εξετάζεται.



Εικόνα 17-Η ροή της γεωθερμικής θερμότητας στην Ευρώπη [30].

5.1.1 Αντικείμενο της γεωθερμικής έρευνας

Η γεωθερμική έρευνα μπορεί να βρεί εφαρμογή σε:

- i. Επιβεβαίωση της ύπαρξης ενός ωφέλιμου γεωθερμικού πεδίου.
- ii. Εκτίμηση του μεγέθους του πόρου.
- iii. Καθορισμό του τύπου του γεωθερμικού πεδίου.
- iv. Εντοπισμό παραγωγικών ζωνών.
- v. Προσδιορισμό των γεωθερμικών φαινομένων.
- vi. Καθορισμό των γεωθερμικών ρευστών που θα παραχθούν από το πεδίο μέσω των παραγωγικών γεωτρήσεων.
- vii. Συλλογή των βασικών δεδομένων, πάνω στα οποία θα βασιστούν τα αποτελέσματα της μελλοντικής παρακολούθησης του πεδίου.

Οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες παίζουν ιδιαίτερο ρόλο σε όλες τις φάσεις γεωθερμικής έρευνας, ακόμη και στον καθορισμό των ερευνητικών και παραγωγικών γεωτρήσεων. Μπορούν επίσης να μας δώσουν πληροφορίες για δεδομένα τα οποία προκύπτουν από άλλες μέθοδους, την εκτίμηση του δυναμικού γεωθερμικού πεδίου και τέλος τη δημιουργία ενός μοντέλου του γεωθερμικού συστήματος (Εικόνα 18). Τα στοιχεία που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και στη φάση παραγωγής, σχετικά με την ορθή χρήση του γεωθερμικού ταμιευτήρα αλλά και γενικότερα του πεδίου.

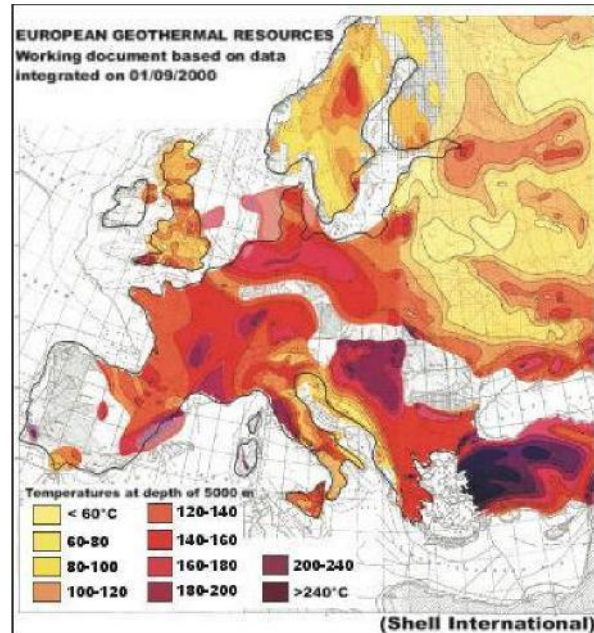
Οι γεωχημικές έρευνες μπορούν να καθορίσουν σε καλό βαθμό τη φύση των γεωθερμικών ρευστών, την ελάχιστη αναμενόμενη θερμοκρασία και της ομοιογένειας της παροχής των ρευστών αλλά και να προσδιορίσουν την πηγή τροφοδοσίας του ταμιευτήρα. Πραγματοποιούνται με δειγματοληψίες που αποτελούνται από χημικές ή και ιστοτοπικές αναλύσεις του νερού και των αερίων των γεωθερμικών επιφανειακών εκδηλώσεων. Το κόστος των γεωχημικών ερευνών είναι σχετικά χαμηλό σε σχέση με άλλες μεθόδους και χρησιμοποιούνται σαν πρώτο βήμα για την περαιτέρω έρευνα του πεδίου που μελετάται.

Οι γεωφυσικές έρευνες είναι:

- Η θερμική έρευνα
- Η γεωηλεκτρική και ηλεκτρομαγνητική μέθοδος
- Η σεισμική μέθοδος
- Η βαρυτομετρική μέθοδος
- Η μαγνητική μέθοδος

Πολλές από τις παραπάνω μεθόδους εφαρμόζονται για να δώσουν πληροφορίες που αφορούν τον καθορισμό του σχήματος, του μεγέθους, του βάθους και άλλων γεωλογικών δομών οι οποίες θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα γεωθερμικό ταμιευτήρα. Το

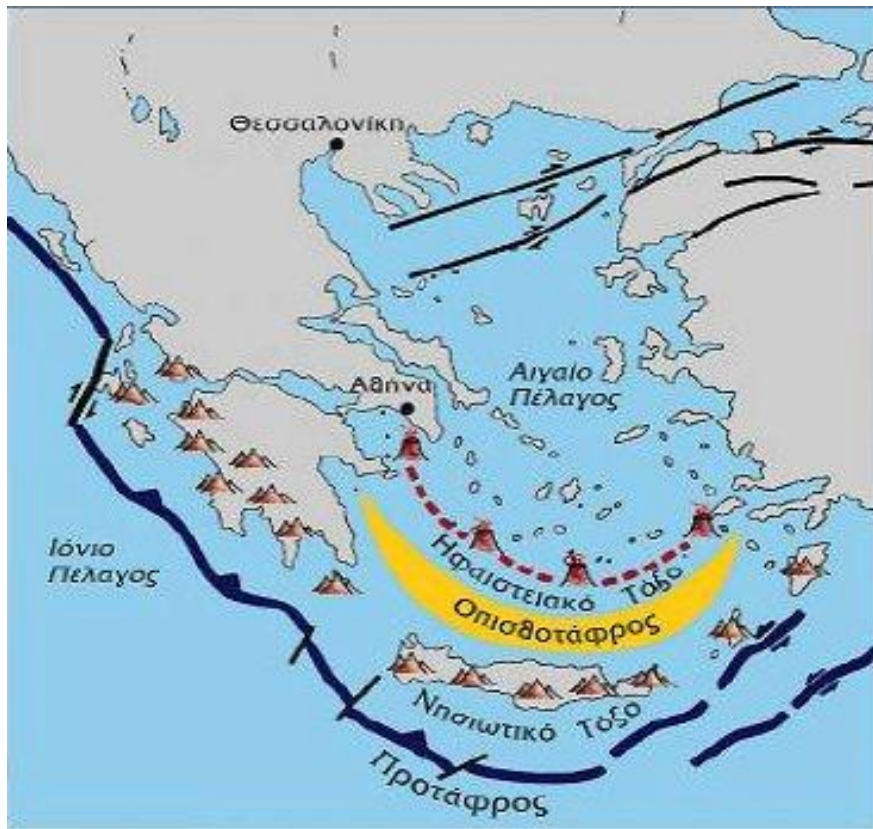
μειονέκτημά τους είναι ότι δεν δίνουν πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη των ρευστών που αποτελούν κυρίαρχο μέλημα μιας γεωθερμικής έρευνας. Για το λόγο αυτό οι συγκεκριμένες μέθοδοι εφαρμόζονται κυρίως κατά τα τελευταία στάδια του ερευνητικού προγράμματος.



Εικόνα 18-Η διακύμανση της θερμότητας στην Ευρώπη σε βάθος 5.000m [31].

5.2 Τα ελληνικά γεωθερμικά πεδία

Η Ελλάδα λόγω των ιδιαίτερων γεωλογικών συνθηκών και της θέσης της, παρουσιάζει ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται από τα πολλά γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας τα οποία εντοπίζονται σε ολόκληρη τη χώρα (Εικόνα 20) όπως αυτά των Θυμιανών και Νενήτων, τα οποία μελετώνται από την παρούσα διπλωματική εργασία. Αντίθετα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας εντοπίζονται πάνω στο ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου (Εικόνα 19) με τα νησιά Μήλο και Νίσυρο να είναι τα πιο χαρακτηριστικά. Παρακάτω παρατίθενται πίνακες με τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής (Πίνακας 10) και υψηλής ενθαλπίας (Πίνακας 9) μαζί με τα κύρια χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 19-Το ηφαιστειακό τόξο του Ν. Αιγαίου [32].



Εικόνα 20-Τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα [32].

Πίνακας 9 - Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας [33].

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ ΠΕΔΙΟΥ (km ²)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΒΑΘΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ (m)	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)	ΠΙΕΣΗ (atm)
Μήλος	50	280 – 320	1.000 – 1.380	339	11 – 29
Νίσυρος	3,5	>350	1.400 – 1.900	75	12

Πίνακας 10 - Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας [33].

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ ΠΕΔΙΟΥ (km ²)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ (°C)	ΒΑΘΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ (m)	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)
Άγκιστρο Σερρών	1,5	40 - 48	100 - 300	80
Σιδηρόκαστρο Σερρών	4	40 - 75	30 - 500	200
Λιθότοπος Ηρακλείας	45	40 - 62	300 - 450	---
Θερμά Νιγρίτας Σερρών	10	40 - 64	70 - 500	1.000
Λαγκαδάς Θεσσαλονίκης	6	33 - 40	<210	300
Λεκάνη Ανθεμόντα Θεσ/νικης	13	25 - 40	>100	15
Ελαιοχώρια Χαλκιδικής	25	42	250	---
Σάνη - Άφυτος Κασσάνδρας	5	35 - 45	500	100
Αρίστηνο Αλεξανδρούπολης	20	30 - 90	150 - 450	200
Σάππες Ροδοπης	9	30 - 40	50 - 380	100
Λίμνη Μητρικού	7	30 - 40	350 - 500	---
Ν.Κεσσάνη Ξάνθης	25	40 - 83	160 - 500	>300
Ν.Εράσμιο-Μάγγανα Ξάνθης	16	27 - 68	350 - 500	250
Ερατεινό Καβάλας	14	65 - 70	650	300
Ακροπόταμος Καβάλας	6,9	45 – 90	100-185 / 240-515	415

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ ΠΕΔΙΟΥ (km ²)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ (°C)	ΒΑΘΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ (m)	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)
Σουσάκι Κορινθίας	3	60 - 76 / <75	50-200 / 600-900	600
Συκιές Άρτας	10	32 - 51	>320	100
Άργενος Λέσβου	1	90	<150	300
Στύψη Λέσβου	20	90	150 - 200	---
Πολιχνίτος Λέσβου	10	65 - 95	50 - 200	300
Νένητα Χίου	5	78 - 82	300 - 500	60
Σαντορίνη	25	30 - 65	50 - 250	---
Μήλος	63	60 - 99	50 - 200	750
Σούδα Χανίων	---	32	---	---
Ιεράπετρα Λασιθίου	---	25	---	---
Κυλλήνη Ηλείας	---	35	---	---
Καϊάφας Ηλείας	---	35 - 40	---	---
Μέθανα Αττικής	---	32 - 38	---	---
Αντίρριο Αιτωλοακαρνανίας	---	38	---	---
Λουτράκι Κορινθίας	---	32	---	---
Θερμοπύλες Φθιώτιδας	---	37 - 39	---	1.000
Πλατύστομο Φθιώτιδας	---	25 - 35	---	10
Υπάτη Φθιώτιδας	---	32	---	---
Καμένα Βούρλα Φθιώτιδας	---	24 - 48	---	---
Αιδηψός Ευβοίας	---	72 - 85	---	240
Ληλάντιο Πεδίο Ευβοίας	---	29 - 31	---	---

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ ΠΕΔΙΟΥ (km ²)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ (°C)	ΒΑΘΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ (m)	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)
Βούλα Αττικής	---	30	---	---
Κίμωλος	---	25 - 61	---	200
Αγ. Φωκάς	---	45	---	---
Αγ. Κήρυκος	---	50	---	---
Αμάραντος Ιωαννίνων	---	25	---	---
Ζάζαρη Χειμαδίτιδα Φλώρινας	---	29 - 33	---	15
Αλεξάνδρεια Ημαθίας	---	38	---	200
Σκύδρα Πέλλας	---	27 - 40	---	---
Αριδαία Πέλλας	---	24 - 40	---	200
Νυμφόπετρα Θεσσαλονίκης	---	39 - 40	---	200
Ίβηρα Σερρών	---	40	---	---
Αγ. Παρασκευή Χαλκιδικής	---	41	---	---
Τυχερό Θράκης	---	35	---	350
Θέρμη Λήμνου	---	44	---	---
Καλλονή Λέσβου	---	45	---	---
Γέρας Λέσβου	---	38	---	---
Λισβόρι Λέσβου	---	65	---	---
Αγιάσματα Χίου	---	38	---	---

5.3 Θερμομεταλλικά νερά

Ο ρόλος των ρηγματών και των ασυνεχειών που εμφανίζονται στα πετρώματα από τις διάφορες τεκτονικές κινήσεις του εδάφους, είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Τα κενά αυτά που σχηματίζονται, επιτρέπουν την άνοδο του θερμομεταλλικού νερού. Σε πολλές περιπτώσεις κάτω από την επιφάνεια γίνονται αναμίξεις επιφανειακού νερού που έχει εισχωρήσει στο υπέδαφος με υπέρθερμο νερό που αναδύεται, καθώς και ατμών ή αερίων με τα ανθρακικά αέρια να παίζουν ιδιαίτερο ρόλο.

Σε περιοχές που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα παρατηρείται ανάμιξη θαλασσινού νερού, το οποίο και διαμορφώνει ουσιαστικά τα θερμομεταλλικά νερά.

Συνεπώς τα θερμομεταλλικά νερά αποτελούν ειδική περίπτωση του κύκλου του νερού, ο οποίος εκτυλίσσεται κάτω από την επιφάνεια.

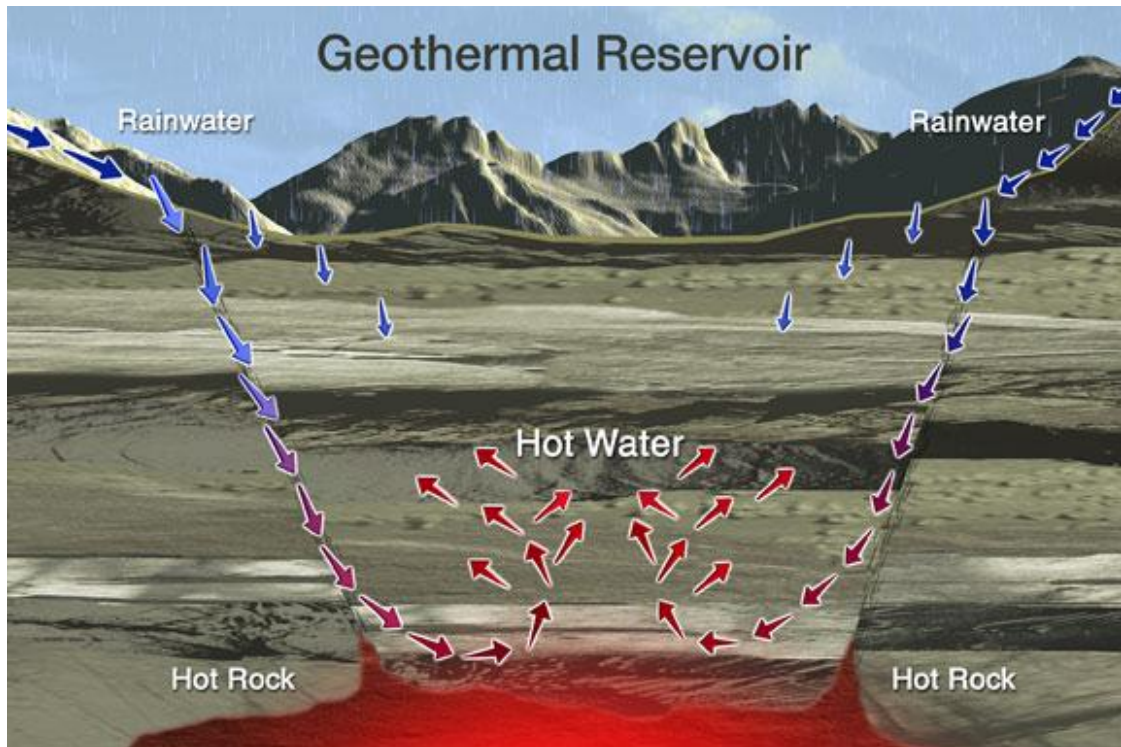
5.3.1 Προέλευση των θερμομεταλλικών νερών

Τα θερμομεταλλικά νερά κατά κανόνα ανέρχονται μέσα από ζώνες ρηγματών. Σε βάθος 12.000 m μέσα από το φλοιό, η θερμοκρασία του νερού φθάνει σε κρίσιμη θερμοκρασία (365 °C) και η πίεση που ασκείται σε τέτοιο βάθος πρέπει να είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης για το νερό (217.5atm). Συνεπώς το νερό μπορεί να βρίσκεται σε υγρή κατάσταση μέχρι εκείνο το βάθος και πιθανώς να υπάρχουν δύο πιθανές προελεύσεις για τα θερμομεταλλικά νερά [34].

5.3.1.1 Προέλευση μετεωρική

Είναι απλά, μετεωρικά επιφανειακά νερά τα οποία πέρασαν μέσα από τις ρωγμές των πετρωμάτων και η κυκλοφορία τους έγινε κάτω από τους νόμους της βαρύτητας. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής τους τα νερά αυτά εμπλουτίστηκαν με συστατικά τα οποία προήλθαν από τα πετρώματα, ενώ η θερμοκρασία τους αυξήθηκε λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας (Εικόνα 21).

Η θερμοκρασία τους σπάνια ξεπερνάει τους 35 – 40 °C. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των θερμομεταλλικών νερών είναι κατά κανόνα ανάλογα των περιοχών από τα οποία προέρχονται. Αυτός είναι και ο λόγος που η περιεκτικότητα σε άλατα μεταβάλλεται έντονα και παρουσιάζει ποικιλία τιμών, ενώ έχει παρατηρηθεί ότι ελέγχονται από τις υδρομετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής που προέρχονται.



Εικόνα 21-Δημιουργία γεωθερμικού ταμιευτήρα από μετεωρικό νερό [35].

5.3.1.2 Προέλευση ενδογενής

Σε αρκετές περιπτώσεις η κυκλοφορία των θερμομεταλλικών νερών με πολύ υψηλές θερμοκρασίες δεν ερμηνεύεται από την κυκλοφορία των μετεωρικών νερών. Οπότε θα πρέπει να θεωρηθεί ότι πρόκειται για νερά τα οποία προέρχονται από μεγάλο βάθος, τα ενδογενή νερά.

Τα ενδογενή νερά έχουν σταθερή παροχή, η οποία δεν επηρεάζεται από τα μετεωρολογικά φαινόμενα και από τις εποχές του έτους, ενώ μπορεί να έχουν τρεις βασικές προελεύσεις:

- **Μαγματική:** Με την κρυστάλλωση του μάγματος ελευθερώνονται πτητικά συστατικά τα οποία διαφεύγουν. Αυτά αποτελούνται από υδρογόνο και υδρατμούς ενώ συνοδεύονται από φθόριο, χλώριο, θείο, άνθρακα, φώσφορο και βόριο. Τα θερμομεταλλικά νερά ενδογενούς προέλευσης έχουν χημική σύσταση η οποία δεν εξαρτάται από το πέτρωμα από το οποίο εμφανίζονται. Η περιεκτικότητά τους σε άλατα, η θερμοκρασία και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά τους είναι σχεδόν σταθερά.
- **Ηφαιστειακή:** Τα ενδογενή θερμομεταλλικά νερά μπορούν να προέρχονται από τη στερεοποίηση μάγματος ή και από υδρατμούς ηφαιστειακής προέλευσης. Μια διαδικασία απόσταξης και συμπύκνωσης της υγρασίας των πετρωμάτων μπορεί

να αποτελεί την πηγή προέλευσής τους. Συνήθως οι υδρατμοί αυτοί προέρχονται από ανθρακικά αέρια όπως N, HCl, HF, SO₃.

- Προέλευση από χημικές αντιδράσεις: Μερικές από τις χημικές αντιδράσεις που συντελούνται στο φλοιό, έχουν σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση νερού. Αρκετές φορές τα θερμομεταλλικά νερά μπορεί να προέρχονται από συνδυασμό των ανωτέρω προελεύσεων. Η ανάδυση νερού από το υπέδαφος μπορεί να προέρχεται από προηγούμενη κατείδυσή του και η επάνοδός του στην επιφάνεια να δίνει τα θερμομεταλλικά νερά.

5.4 Οι γεωθερμικές πηγές της Χίου

Η Χίος είναι χαρακτηρισμένη σαν νησί με γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας, ενώ οι ροές θερμότητας που έχουν καταγραφεί φθάνουν τα 100 – 120 mW/m, τιμή η οποία είναι διπλάσια από τον παγκόσμιο μέσο όρο που ανέρχεται στα 55 mW/m περίπου.

Σύμφωνα με την έκθεση «Αναγνωριστική γεωθερμική έρευνα στην νήσο Χίο» [35] διαπιστώνονται τέσσερις περιοχές με αυξημένο γεωθερμικό ενδιαφέρον οι οποίες είναι:

- 1) Περιοχή Αγιασμάτων, βόρειες ακτές.
- 2) Περιοχή Θυμιανών, Ανατολική Χίος.
- 3) Περιοχή Νενήτων, ΝΑ Χίος.
- 4) Περιοχή Αγ. Μαρκέλας, ΒΔ Χίος.

5.4.1 Περιοχή Θυμιανών

Στα Θυμιανά έχουν εντοπισθεί δύο περιοχές με θερμομεταλλικά νερά, με την πρώτη να βρίσκεται στο ακρωτήριο της Αγίας Ελένης. Η θερμοκρασία της φθάνει τους 27,9 °C και η παροχή της τα 2 m³/h. Το νερό αποτελείται κατά τα τρία τέταρτα από θαλασσινό νερό. Η δεύτερη πηγή που έχει εντοπισθεί είναι υποθαλάσσια και βρίσκεται σε βάθος δύο περίπου μέτρων. Η θερμοκρασία του νερού είναι 31,4 °C και η παροχή της είναι 5 – 10 m³/h.

Οι κόκκινοι σιδηρούχοι ψαμμίτες και οι μάργες του Ανώτ. Μειόκαινου, που αποτελούν την λεγόμενη «Θυμιανούσικη πέτρα» αποτελούν τον κύριο γεωλογικό σχηματισμό της περιοχής. Ασβεστόλιθοι και δολομίτες, αποτελούν το υπόβαθρο των παραπάνω σχηματισμών και ανήκουν στο Τριαδικό – Ιουρασικό. Λόγω του έντονου τεκτονισμού τους παρουσιάζουν σημαντική δευτερογενή περατότητα και αποτελούν, για τα γεωθερμικά ρευστά έναν καλό ενδεχόμενο ταμιευτήρα.

Επίσης δυτικά του οικισμού και σε συνέχεια στρώσης, επικάθονται των σιδηρούχων ψαμμιτών, αργιλοαμμώδεις σχηματισμοί του Ανώτερου Μειόκαινου – Πλειόκαινου. Τα κύρια ρήγματα στη συγκεκριμένη περιοχή έχουν προσανατολισμό Β-ΒΔ.

Η «Θυμιανούσικη πέτρα» εμποδίζει τη διαφυγή θερμότητας, είναι μάλλον αδιαπέρατη και αποτελεί το κάλυμμα του ταμιευτήρα σωρεύοντας με αυτόν τον τρόπο θερμότητα, η οποία μεταβιβάζεται στα γεωθερμικά ρευστά δίνοντας θερμοκρασίες 27,9 °C και 31,4 °C, για την πηγή της Αγ. Ελένης και την υποθαλάσσια πηγή αντίστοιχα.

Η διείδυση της θάλασσας η οποία ψύχει σε σημαντικό βαθμό τα γεωθερμικά ρευστά, αλλά και το μικρό πάχος του καλύμματος της περιοχής, αποτελούν σημαντικό μειονέκτημα στην ανάπτυξη και καλύτερη αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου [35].

5.4.2 Περιοχή Νενήτων

Στα Νένητα που βρίσκονται στο νότιο τμήμα της Χίου, έχουν ανακαλυφθεί υποθαλάσσιες θερμές πηγές σε απόσταση 10 – 100 μέτρων από την ακτή και σε βάθη που κυμαίνονται από 3 – 10 μέτρα. Οι πηγές αυτές είναι διάσπαρτες και καλύπτουν σημαντική έκταση κατά μήκος της γραμμής, με κατεύθυνση Α – Δ . Οι θερμοκρασίες τους κυμαίνονται από τους 28 °C και φθάνουν μέχρι τους 51 °C, ενώ γύρω από τις πηγές έχουν εντοπισθεί αποθέσεις μικρών υδροθερμικών στοιχείων.

Ο γεωλογικός σχηματισμός της περιοχής αποτελείται κυρίως από λιμναίους ασβεστόλιθους του Ανώτερου Μειόκαινου με εναλλαγές μαργών, πράσινης αργίλου και καστανής άμμου, ενώ πολύ συχνά συναντώνται λεπτές στρώσεις λιγνίτη. Το συνολικό πάχος φθάνει τα 400m ενώ ο σχηματισμός είναι έντονα τεκτονισμένος.

Τα ρήγματα έχουν διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και ΒΑ – ΝΔ, ενώ συναντώνται και ρήγματα του Τεταρτογενούς με διεύθυνση Β – Ν.

Το Τεταρτογενές είναι υπό μορφή αλλουβίων, κυρίως μεταξύ των χωριών Νένητα και Βουνός και κατά μήκος των ρεματιών. Υπόβαθρο των σχηματισμών αυτών αναμένονται οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες του Τριασικού – Ιουρασικού που εμφανίζονται δυτικά της συγκεκριμένης περιοχής και έχουν σημαντικό πάχος, διαρρήξεις και καρστική επίδραση.

Στους τεκτονισμένους ασβεστόλιθους και δολομίτες του υποβάθρου μπορεί να εντοπισθεί ένας καλός ταμιευτήρας γεωθερμικών ρευστών. Η παραδοχή ύπαρξης δολομιτικού υποβάθρου ενισχύεται από το σχηματισμό νερών τα οποία είναι πλούσια σε μαγνήσιο. Το κάλυμμα του υποβάθρου αποτελείται από ασβεστόλιθους, μάργες, και άργιλους του Πλειστόκαινου οι οποίοι και εμποδίζουν τη διάχυση της θερμότητας [35].

6

Οπτικοποίηση δεδομένων

6.1 Αρχές της οπτικοποίησης και ορισμός

Οπτικοποίηση είναι η διαδικασία η οποία αποδίδει τα τρισδιάστατα χωρικά δεδομένα από «γεωμετρικά» σε «συμβολικά». Με αυτόν τον μετασχηματισμό μπορούν οι ερευνητές να οπτικοποιήσουν δεδομένα τα οποία προέρχονται από το γεωγραφικό χώρο, να μελετήσουν τις διακυμάνσεις που προκύπτουν και να προβούν σε συμπεράσματα [37].

Η οπτικοποίηση στη χαρτογραφία έχει σαν στόχο την απεικόνιση του αναγλύφου με αναπαραστατικό τρόπο. Αποτέλεσμα αυτής της οπτικοποίησης είναι η απεικόνιση της μορφολογίας του εδάφους με λεπτομερή τρόπο, ενώ επίσης μπορούν να απεικονιστούν ποσοτικά, ποιοτικά δεδομένα και θεματικές πληροφορίες σε χάρτες δύο ή τριών διαστάσεων [38].

Οι αρχές της οπτικοποίησης της τοπογραφίας σύμφωνα με τον Sheppard είναι πέντε. Σύμφωνα με την πρώτη αρχή, ο αντιπροσωπευτικός χαρακτήρας της οπτικοποίησης πρέπει να αναπαριστά βασικά χαρακτηριστικά της τοπογραφίας της περιοχής. Η δεύτερη αρχή αφορά την ακρίβεια, σύμφωνα με την οποία πρέπει να αναπαριστάται η πραγματική όψη της τοπογραφίας, ενώ στην αρχή της σαφήνειας αναφέρεται ότι τα στοιχεία του εδάφους πρέπει να είναι ευπροσδιόριστα. Στην τέταρτη αρχή αναφέρεται το ενδιαφέρον που πρέπει να προκαλεί το αποτέλεσμα στον παρατηρητή, αποσπώντας την προσοχή του για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Στην πέμπτη αρχή αναφέρεται το επίπεδο ακρίβειας του αποτελέσματος [39].

6.2 Γεωγραφική οπτικοποίηση

Η γεω-οπτική αφορά το μεγαλύτερο μέρος των περισσότερων Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (G.I.S.) και έχει πολυάριθμες εφαρμογές. Ορίζεται ως η διαδικασία αξιοποίησης δεδομένων με γεω-αναφορά και αποτελεί πεδίο έρευνας και πρακτικής, το οποίο αναπτύσσει οπτικές μεθόδους και εργαλεία για την υποστήριξη χωρικών εφαρμογών και γεω-δεδομένων [40].

Η γεω-οπτική βρίσκει εφαρμογή σε συστήματα πλοήγησης οχημάτων, συστήματα ελέγχου κ.α και έχει σαν αντικείμενο την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα εργαλεία και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων. Το G.I.S. και η Χαρτογραφία συμβάλλουν σε στρατηγικές οπτικού σχεδιασμού και αναπαραστάσεων και προσφέρουν δυνατότητες για τη σύνδεση της οπτικής αναπαράστασης με βάσεις δεδομένων [41].

6.3 Τρισδιάστατη οπτικοποίηση

Η τρισδιάστατη οπτικοποίηση αναφέρεται στην αναπαράσταση τρισδιάστατων αντικειμένων και επιφανειών στο χώρο. Ένας από τους κύριους λόγους που κάνει την τρισδιάστατη οπτική αναγκαία είναι ότι ο παρατηρητής μπορεί να μελετήσει το μοντέλο από διαφορετικές οπτικές γωνίες και να δει ένα αντικείμενο ή περιοχή σε τρεις διαστάσεις κατανοώντας καλύτερα την πολυπλοκότητα των επιφανειών και τη γεωμετρία του εξεταζόμενου μοντέλου [41].

Επίσης μέσω της τρισδιάστατης οπτικοποίησης είναι πλέον δυνατή η αλληλεπίδραση του παρατηρητή με τις τρεις διαστάσεις, επιτρέποντας την ανάλυση δεδομένων ενώ ταυτόχρονα οι έννοιες και ιδέες του σχεδιασμού αποδίδονται ευκολότερα. Επίσης ο σχεδιασμός πολύπλοκων σημείων μπορεί να αναπαρασταθεί και κατανοηθεί από τον παρατηρητή με πιο σαφή και κατανοητό τρόπο.

6.3.1 Τρισδιάσταση αναπαράσταση (3D)

Η οπτικοποίηση ενός τοπίου και των γεω-πληροφοριών σε τρεις διαστάσεις βασίζεται στο ψηφιακό μοντέλο του εδάφους.

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους αποδίδει την επιφάνεια του υψηλότερου επιπέδου του εδάφους. Περιέχει γεωμετρικές πληροφορίες λαμβάνοντας υπόψιν του ότι υπάρχει η πιθανότητα το τοπίο να περιέχει πληροφορίες οι οποίες αφορούν κτήρια, σχήματα και άλλα δεδομένα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν σε στατικές αναλύσεις οι οποίες μπορεί να γίνουν.

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο διαχειρίζονται τα γεωμετρικά δεδομένα, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες [42].

- **GRID DTM**

Με τον όρο GRID DTM αναφερόμαστε σε έναν επίπεδο κάνναβο (grid) συγκεκριμένης ανάλυσης π.χ. 50m, 100m με κάθε σημείο του καννάβου να έχει ένα συγκεκριμένο ύψος. Για την απεικόνιση των δεδομένων δεν απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς γιατί δεν είναι απαραίτητες οι συντεταγμένες για το κάθε σημείο ξεχωριστά. Πρέπει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα από τη δημιουργία ενός GRID είναι 2.5 D και όχι 3D.

- **TIN**

Το TIN είναι ένα δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των ψηφιακών επιφανειών εδάφους. Η κατασκευή του βασίζεται σε δύο χαρακτηριστικά και πιο συγκεκριμένα στις συντεταγμένες x , y , z και στις ακμές. Το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει είναι ένα μωσαϊκό από τρίγωνα τα οποία αναπαριστούν μια συνεκτική επιφάνεια. Η κλίση των επιφανειών ορίζεται από το υψόμετρο κάθε σημείου της επιφάνειας, το οποίο υπολογίζεται μέσω της παρεμβολής x , y , z των γειτονικών κορυφών του τριγώνου στο οποίο ανήκει.

Η κάθε κορυφή κωδικοποιείται βάσει του υψομέτρου και της θέσης του, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα σύνολο τριγώνων από διαφορετικά μεγέθη και σχήματα. Τα τρίγωνα που προκύπτουν είναι μικρά όταν τα σημεία των δεδομένων είναι κοντά μεταξύ τους (π.χ. σε περιοχές με μεγάλες αλλαγές υψομέτρου) ενώ αντίθετα όταν τα σημεία είναι αραιά το μέγεθος των τριγώνων αυξάνεται.

Η ακρίβεια του μοντέλου εξαρτάται από την αξιοπιστία των δεδομένων ενώ ένα από τα προβλήματα τα οποία προκύπτουν κατά τη δημιουργία του TIN είναι η δημιουργία επίπεδων τριγώνων.

6.4 Η έννοια της κλίμακας

Η έννοια της κλίμακας χαρακτηρίζεται από τρία στοιχεία και συγκεκριμένα από τη χαρτογραφική κλίμακα, από τη συχνότητα δειγματοληψίας καθώς επίσης και από τη χωρική έκταση [41].

6.4.1 Απεικόνιση της κλίμακας

Η κλίμακα μπορεί να απεικονιστεί με διάφορους τρόπους. Στην παραδοσιακή χαρτογραφική προσέγγιση υπάρχει η σχέση μεταξύ του μεγέθους της χαρτογραφικής αναφοράς και της χαρτογραφικής αναπαράστασης [43].

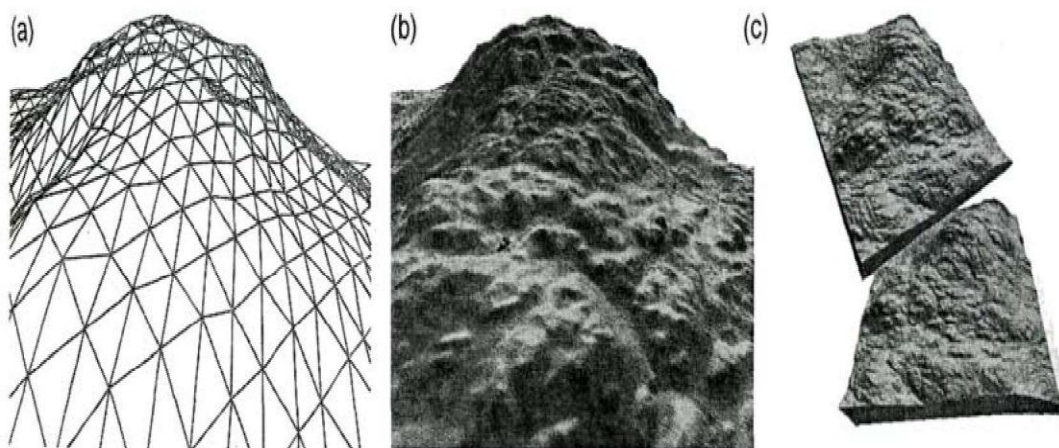
Ενώ η ύπαρξη της κλίμακας είναι απαραίτητη στην πλειοψηφία των χαρτών, σε δυναμικούς χάρτες κρίνεται ακατάλληλη. Στην τρισδιάστατη αναπαράσταση η κλίμακα δεν έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού αντικαθίσταται από το επίπεδο λεπτομέρειας στο οποίο αναπαρίστανται η ευκρίνεια και η χωρική έκταση, γνωστή και σαν γεωγραφική κλίμακα [44].

6.4.2 Τρισδιάστατη απόδοση

Η κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων βασίζεται στη χρήση γεωμετρίας. Κάθε αντικείμενο έχει τη δική του γεωμετρία ανάλογη της δομής των χωρικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται από το G.I.S.

Σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον απόδοσης, το αποτέλεσμα της οπτικοποίησης πρέπει να είναι κάποια χαρακτηριστική επιφάνεια με υφή στην οποία θα απεικονίζεται η λεπτομερής χωρική θέση της γεωμετρίας της περιοχής. Η δυναμική τρισδιάστατη απόδοση έχει σαν βασική προϋπόθεση τη διαδικασία μετασχηματισμού όπου εαν μεταβληθεί η προβολή των χαρακτηριστικών στην οθόνη, μπορεί να προσομοιωθεί η κίνηση στον τρισδιάστατο χώρο.

Η απόδοση των δυναμικών δεδομένων σε τρεις διαστάσεις μπορεί να δημιουργήσει εναλλακτικούς τρόπους οπτικοποίησης πολλαπλών κλιμάκων της πληροφορίας (Εικόνα 22). Για την τρισδιάστατη απόδοση έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες όπως η VRML, η Java3D, η OpenGL κλπ.



Εικόνα 22-Τα στοιχεία της τρισδιάστατης απόδοσης: (a) γεωμετρία, (b) υφή και (c) όψη μετασχηματισμού [41].

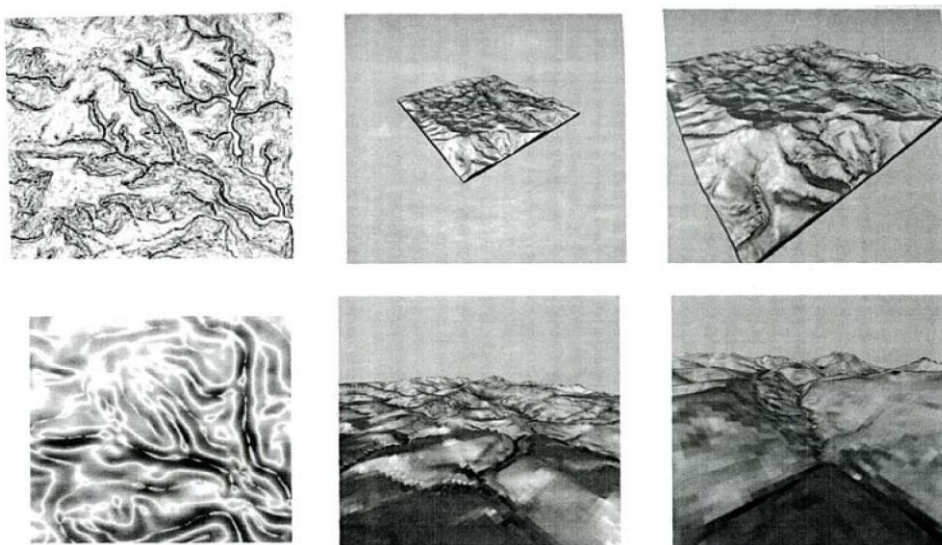
6.4.3 Διαδικασία *mirmapping*

Στη ψηφιακή ανάλυση όταν η απόδοση της υφής είναι απαραίτητη, είναι ιδιαίτερα πιθανό να υπάρξει τεράστια ποσότητα πληροφορίας συγκεντρωμένη. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι βελτιστοποίησης της επεξεργασίας με πιο διαδομένη τη χρήση για την απεικόνιση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων, γνωστή και σαν *mirmapping* [41].

Στη διαδικασία αυτή προϋπολογίζονται βελτιστοποιημένες συλλογές από εικόνες *bitmap*, οι οποίες συνοδεύουν τη βασική απόδοση υφής προκειμένου να αυξηθεί η ταχύτητα κατά τη διαδικασία της απόδοσης.

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι τα χαρακτηριστικά που απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα, να υπολογίζονται σε διαφορετικά *mirmap* επίπεδα. Με αυτόν τον τρόπο ο παρατηρητής όταν αλλάζει θέση, αυτή να απεικονίζεται με μια διαφορετική αλληλουχία χαρακτηριστικών. Συνέπεια της παραπάνω διαδικασίας είναι η αύξηση της αποδοτικότητας και της ταχύτητας με την οποία αποδίδονται σκηνές πλούσιες σε χαρακτηριστικά, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο στις επιφανειακές ιδιότητες να αναπαριστώνται οπτικά ταυτόχρονα με διαφορετικά μεγέθη κλίμακας.

Όταν υπάρχουν επιφανειακές μετρήσεις, οι οπτικές αναπαραστάσεις του συνόλου των μετρήσεων μετατοπίζονται σε μια *mirmap* ζώνη και κάθε επίπεδο αντιστοιχεί σε μια διαφορετική κλίμακα, όπως στην Εικόνα 23, όπου οι αποστάσεις των κορυφών δείχνουν το μέγεθος των καμπυλών που υπολογίστηκαν πάνω σε μια μεγάλη έκταση. Όταν ο παρατηρητής μετακινείται γύρω από μια περιοχή αλλάζει δυναμικά η αναπαράσταση, αφού η κλίμακα λειτουργεί σαν εξαρτημένη μεταβλητή.



Εικόνα 23-Καμπυλότητα μιας επιφάνειας μετρημένη με διαφορετικές κλίμακες βασισμένες στις ζώνες χαρακτηριστικών στο *mirmap* [41].

6.5 Χρήση ισοϋψών καμπυλών

Η ακριβέστερη μέθοδος για την απόδοση των υψομετρικών πληροφοριών είναι οι ισοϋψείς καμπύλες, οι οποίες είναι γραμμές που ενώνουν τα σημεία τα οποία έχουν το ίδιο υψόμετρο. Πρόκειται για ισαπέχουσες οριζόντιες επιφάνειες που προκύπτουν μέσα από την τρισδιάστατη επιφάνεια του εδάφους και από την ορθή προβολή των ιχνών στην επιφάνεια του χάρτη [45].

6.5.1 Ακρίβεια ισοϋψών

Η ακρίβεια των ισοϋψών περιλαμβάνει τη σχετική και την απόλυτη ακρίβεια. Η σχετική ακρίβεια αναφέρεται στη σχέση των ισοϋψών μεταξύ τους και υπολογίζεται εύκολα ενώ η απόλυτη ακρίβεια δίνει ακριβή υψόμετρα και είναι περισσότερο πολύπλοκη.

6.5.2 Γενίκευση ισοϋψών

Το πάχος της γραμμής των ισοϋψών καμπυλών μπορεί να περιορίζει το βαθμό καμπυλότητας, με αποτέλεσμα μια ισοϋψής καμπύλη να μην μπορεί να αντικατοπτρίσει κάθε υψομετρική μεταβολή. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο γενικεύονται ανεξάρτητα από την κλίμακα στην οποία βρίσκονται. Αυτή η γενίκευση γίνεται για να τοποθετηθούν οι ισοϋψείς όσον το δυνατόν ακριβέστερα, να αποδοθούν και να απεικονιστούν πιο σωστά τα στοιχεία του εδάφους.

6.5.3 Ισοδιάσταση

Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των ισοϋψών έχει ιδιαίτερη σημασία αφού η αύξηση της ισοδιάστασης έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των λεπτομερειών στην απόδοση της επιφάνειας. Η επιλογή της ισοδιάστασης βασίζεται στην ακρίβεια και στην πληρότητα των δεδομένων, τον σκοπό και την κλίση του χάρτη. Η πολύ μικρή ισοδιάσταση έχει σαν αποτέλεσμα το συνωστισμό των ισοϋψών στον χάρτη. Συνήθως η ισοδιάσταση είναι σταθερή, γιατί όταν μεταβάλλεται αποδίδεται δύσκολα οπτικά.

6.5.4 Χρωματισμός ζωνών

Ο χρωματισμός κατά ζώνες είναι η πιο γνωστή μέθοδος αναπαράστασης πληροφοριών. Τα χρώματα των ζωνών σε χάρτες μικρής κλίμακας μπορούν να συνδυαστούν με τεχνικές σκίασης ή με εικονογραφικές τεχνικές.

6.6 Σκίαση αναγλύφου

Οι ισοϋψείς καμπύλες απεικονίζουν με ακρίβεια τα υψόμετρα του τοπίου αλλά το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει δεν είναι ρεαλιστικό. Για τη ρεαλιστική απεικόνιση των ανάγλυφων επιφανειών χρησιμοποιούνται τα χρώματα και η υφή, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η αλληλεπίδραση του φωτός με το σκοτάδι.

Για να γίνει η σκίαση του αναγλύφου σε έναν χάρτη με διαφορές φωτεινότητας πρέπει να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Αρχικά γίνεται υπόθεση ότι το φως προέρχεται από μια σταθερή κατεύθυνση και υψόμετρο και ανακλάται από διάφορες πλαγιές μιας ανακλαστικής επιφάνειας, ενώ αντίθετα ο παρατηρητής βλέπει το χάρτη από μια ορθογώνια άποψη. Συνήθως η φωτεινή πηγή εντοπίζεται σε οποιαδήποτε θέση παρέχει πλάγιο φωτισμό ή στο ζενίθ.

Το αποτέλεσμα του ρεαλισμού όταν προκύπτει από τη χρήση πλήρους χρωματισμού είναι εξαιρετικό, ιδιαίτερα όταν ενσωματώνονται παραλλαγές που αντιστοιχούν στη βλάστηση, στις εποχές και στις μεταβολές χρωματισμού της επιφάνειας [45].

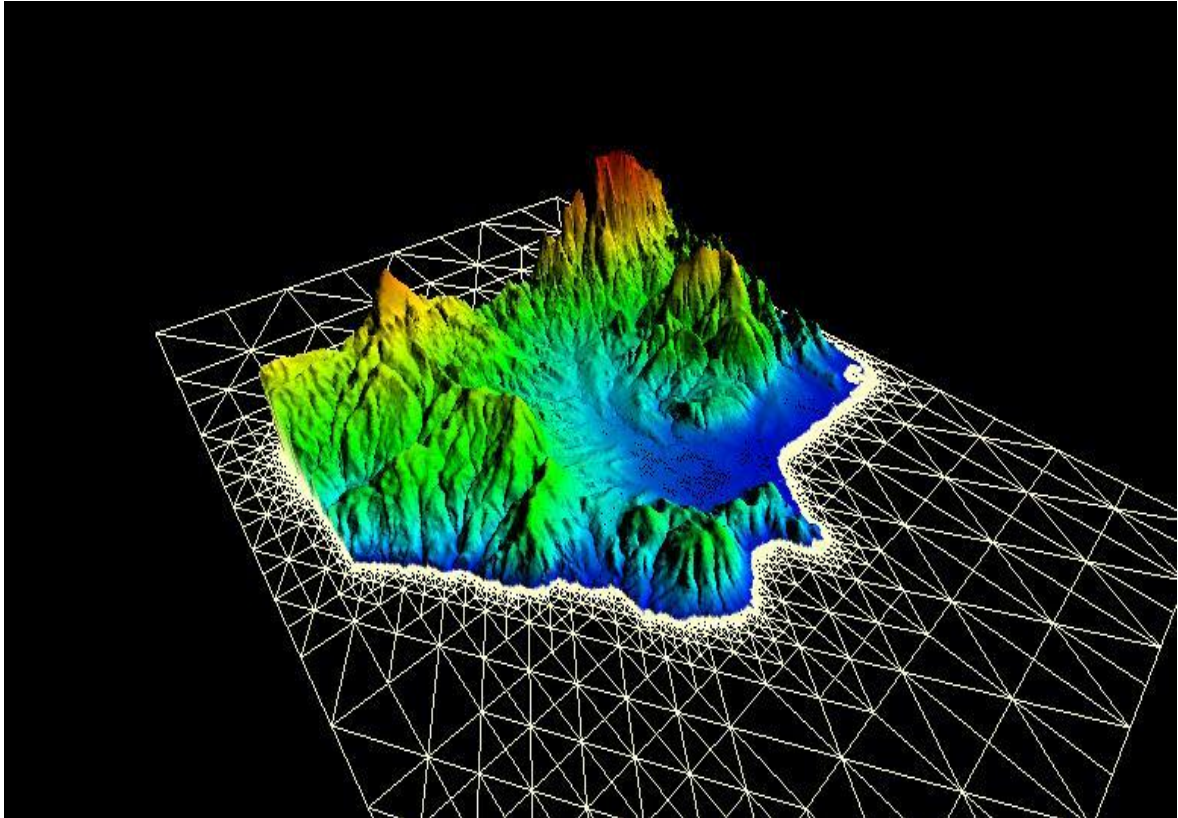
7 *Ανάλυση δεδομένων*

7.1 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

Τα δεδομένα τα οποία δόθηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε. για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας ήταν ο ψηφιακός χάρτης εδάφους της υπό μελέτης περιοχής σε τύπο αρχείου “.adf” (Εικόνα 26) και μια τεράστια βάση δεδομένων σε μορφή “.mdb” με 174.979 σημεία στα οποία αναφέρονται η θερμοκρασία του κάθε σημείου και οι συντεταγμένες xyz οι οποίες είναι ορισμένες σύμφωνα με το «Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 – ΕΓΣΑ 87’» με ελλειψοειδές αναφοράς GRS – 80.

Τα δεδομένα αυτά αφορούν τον «κάμπο της Χίου» συγκεκριμένα τις περιοχές Θυμιανά – Νένητα και φθάνουν μέχρι το βάθος των 600m από τις παραγωγικές γεωτρήσεις που έγιναν. Η παρούσα εργασία ασχολείται με τα βάθη που αφορούν τα 50, 100 και 200m του υπεδάφους της υπό μελέτης περιοχής.

Με κατάλληλα φίλτρα στην βάση δεδομένων εξήχθησαν τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται στην εργασία, βάσει των οποίων κατασκευάστηκαν οι χάρτες του υπεδάφους όπου απεικονίζεται η κατανομή στο χώρο της γεωθερμικής βαθμίδας.



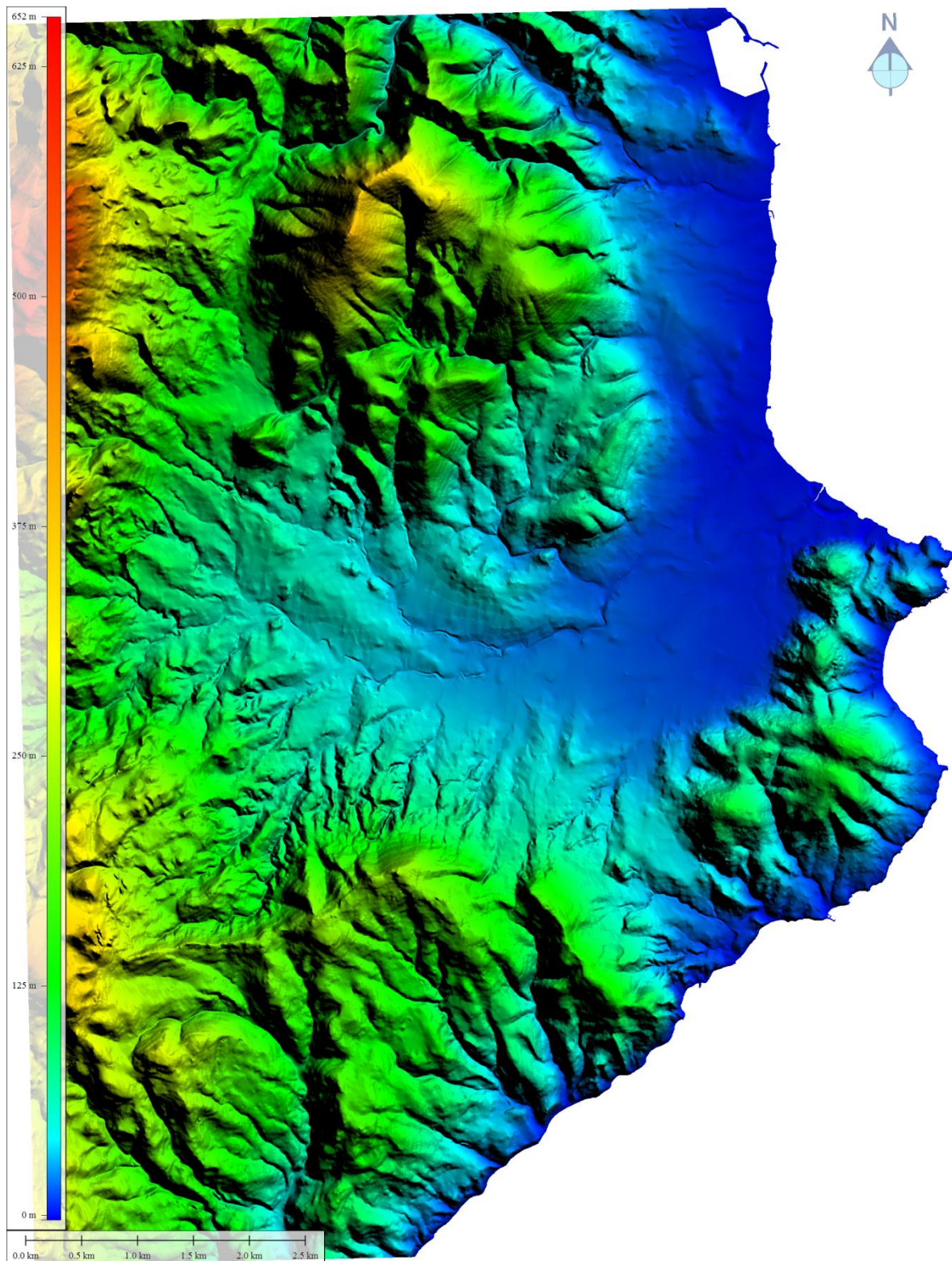
Εικόνα 24-Τρισδιάστατη απεικόνιση του χάρτη της περιοχής μέσω του λογισμικού.

Αρχικά χρειάστηκε η μετατροπή της βάσης δεδομένων σε μορφή “.xls” προκειμένου να τα δεδομένα να είναι σε αναγνώσιμη μορφή από το λειτουργικό πρόγραμμα “Surfer” το οποίο και θα χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία των χαρτών.

Επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία ενός DTM αρχείου σε μορφή “.grd” το οποίο απεικονίζει τα δεδομένα σύμφωνα με τον αλγόριθμο της μεθόδου που θα επιλεγεί. Η διαδικασία γίνεται μέσω του λειτουργικού Surfer από το μενού “Grid” → “Data”, για την εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα όπου και επιλέγεται η επιθυμητή μέθοδος οπτικοποίησης.

Αρ	X	Y	Z	temperature
137300	685512,5	4245387,5	53,125	19,06
137869	685937,5	4245462,5	53,125	18,16
136425	685812,5	4245062,5	53,125	18,49
137672	685612,5	4245437,5	53,125	18,78
135731	685337,5	4244837,5	53,125	19,63
136423	685812,5	4245012,5	53,125	18,49
137297	685512,5	4245312,5	53,125	19,06
137198	685487,5	4245212,5	53,125	19,3
137870	685937,5	4245487,5	53,125	18,16
135544	685437,5	4244487,5	53,125	19,15
135546	685462,5	4244462,5	53,125	19,15
137899	685787,5	4245512,5	53,125	18,68
137171	685412,5	4245187,5	53,125	19,29
137901	685787,5	4245537,5	53,125	18,68
137204	685487,5	4245287,5	53,125	19,3
137203	685487,5	4245262,5	53,125	19,3
137202	685462,5	4245262,5	53,125	19,3
137172	685437,5	4245162,5	53,125	19,29
137200	685487,5	4245237,5	53,125	19,3
137896	685762,5	4245512,5	53,125	18,68
137903	685762,5	4245587,5	53,125	18,68
137169	685412,5	4245162,5	53,125	19,29
135547	685462,5	4244487,5	53,125	19,15
137904	685787,5	4245562,5	53,125	18,68
137197	685462,5	4245237,5	53,125	19,3
137905	685787,5	4245587,5	53,125	18,68
137195	685462,5	4245212,5	53,125	19,3
137194	685412,5	4245287,5	53,125	19,3
137193	685437,5	4245237,5	53,125	19,3
137174	685437,5	4245187,5	53,125	19,29
137191	685437,5	4245212,5	53,125	19,3
137190	685412,5	4245237,5	53,125	19,3
137189	685412,5	4245212,5	53,125	19,3

Εικόνα 25-Απόσπασμα από τη βάση δεδομένων.



Εικόνα 26-Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της μελετώμενης περιοχής.

7.2 Επιλογή κατάλληλης μεθόδου οπτικοποίησης

Για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου υπεδάφους υπάρχουν πολλές μέθοδοι οι οποίες απεικονίζουν με διαφορετικό τρόπο τα δεδομένα που υπάρχουν, αφού η κάθε μια υπολογίζει με διαφορετικό αλγόριθμο τις τιμές των κομβικών σημείων.

Για τη δημιουργία ενός DTM αρχείου στο λογισμικό πακέτο του Surfer συναντάμε τις παρακάτω μεθόδους:

- **Inverse Distance to a Power.** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια «απλή» μέθοδο σταθμισμένου μέσου όρου για να υπολογίσει τιμές στις ακμές των δικτύων. Δεν εξάγει δεδομένα εκτός από αυτά που βρίσκει στο αρχείο δεδομένων αλλά τείνει να σχεδιάζει κύκλους γύρω από κάθε σημειακό δεδομένο.
- **Kriging.** Απεικονίζει γραφήματα χωρικής αυτοσυσχέτισης. Είναι η πλέον κατάλληλη μέθοδος απεικόνισης όταν τα δεδομένα είναι τακτικά καταναμημένα. Χρησιμοποιεί την μέθοδο παρεμβολής για να υπολογίσει τις τιμές άγνωστων δεδομένων από τις γειτονικές περιοχές.
- **Minimum Curvature.** Προσπαθεί να απεικονίσει όλα τα δεδομένα χρησιμοποιώντας την επαναληπτική προσέγγιση. Ένα μειονέκτημα στη μέθοδο αυτή είναι η τάση να εξάγει εξαιρετικά μεγάλες ή μικρές τιμές σε περιοχές χωρίς δεδομένα.
- **Modified Shepard's Method.** Προσπαθεί να συνδυάσει την Inverse Distance to a Power με έναν αλγόριθμο εξομάλυνσης των καμπυλών. Τείνει να οξύνει το κέντρο που δημιουργείται από την Inverse Distance to a Power. Δημιουργεί τιμές για τον άξονα z και εκτός του εύρους τιμών δεδομένων.
- **Natural Neighbor.** Χρησιμοποιεί ένα σταθμισμένο μέσο όρο των γειτονικών παρατηρήσεων. Η παρούσα μέθοδος δημιουργεί καλά αποδιδόμενα περιγράμματα από συνόλα τιμών, τα οποία περιέχουν πυκνά δεδομένα σε ορισμένες περιοχές και αραιά δεδομένα σε άλλες. Δεν δημιουργεί δεδομένα σε περιοχές που δεν έχουν σε αυτά και δεν δημιουργεί τιμές για τον άξονα z εκτός του εύρους τιμών δεδομένων.
- **Nearest Neighbor.** Χρησιμοποιεί το πλησιέστερο σημείο έτσι ώστε να αναθέσει μια τιμή στην ακμή του δικτύου. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για να μετατρέψει τακτικά καταναμημένα XYZ δεδομένα σε αρχεία grid. Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν δημιουργεί τιμές για τον άξονα z εκτός του εύρους τιμών δεδομένων.
- **Polynomial Regression.** Αυτή η μέθοδος επεξεργάζεται τα δεδομένα έτσι ώστε να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις τάσεις και στα σχήματα που απεικονίζονται. Χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάλυση των επιφανειακών διακυμάνσεων αλλά

μπορεί να εξάγει δεδομένα τα οποία θα ξεφεύγουν από το εύρος τιμών στον άξονα z.

- **Radial Basis Function.** Είναι παρόμοια με την kriging αλλά παράγει ελαφρώς διαφορετικά αποτελέσματα.
- **Triangulation with Linear Interpolation.** Υπολογίζει μια ομάδα τριγώνων από τα σημειακά δεδομένα και χρησιμοποιεί γραμμική παρεμβολή μέσα στο κάθε τρίγωνο από τον υπόλογοισμό των ακμών του. Τείνει να παράγει τριγωνικά περιγράμματα για μικρές σειρές δεδομένων αλλά μπορεί και να διαχειριστεί δύσκολες καταστάσεις όπως επίπεδα υψώματα και κοιλότητες του αναγλύφου. Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν δημιουργεί τιμές για τον άξονα z εκτός του εύρους τιμών δεδομένων.
- **Moving Average.** Είναι η πλέον κατάλληλη μέθοδος για μεγάλα και πολύ μεγάλα πακέτα δεδομένων (>1000 τιμές δεδομένων). Εξομαλύνει τις ακραίες τιμές και τις έντονες διακυμάνσεις, ενώ αποτελεί μια λογική εναλλακτική μέθοδο για την Nearest Neighbor στην δημιουργία grid από μεγάλα και αραιά κατανεμημένα πακέτα δεδομένων.
- **Data Metrics.** Χρησιμοποιείται για την δημιουργία αρχείων grid πληροφοριών τα οποία σχετίζονται με τα δεδομένα.
- **Local Polynomial.** Βρίσκει μεγάλη εφαρμογή όταν υπάρχουν μεγάλα πακέτα δεδομένων τα οποία είναι τοπικά ομαλά, χωρίς έντονες διακυμάνσεις.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Kriging για την κατασκευή των 2D και 3D χαρτών αλλά και η μέθοδος Moving Average, για την κατασκευή ενός συγκεντρωτικού σχήματος αλληλεπίθεσης των θερμοκρασιών με εποπτικό χαρακτήρα (Εικόνα 27).

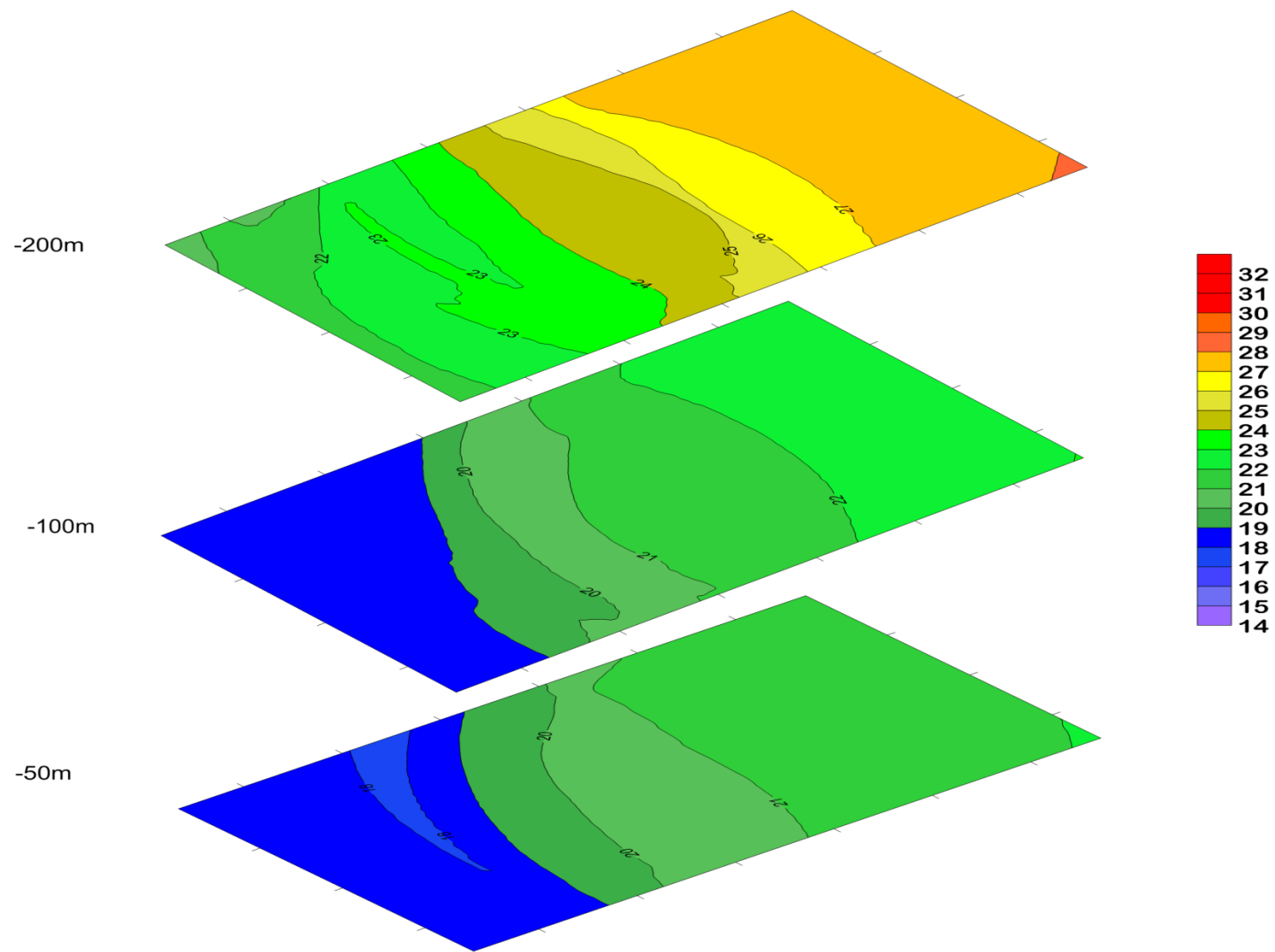
Σημαντικό ρόλο στο αποτέλεσμα που προκύπτει, διαδραματίζει το μέγεθος του pixel, το οποίο σχετίζεται με το μήκος της ακτίνας, το οποίο είναι πενταπλάσιο του μέγεθους του pixel. Στην παρούσα εργασία το μέγεθος του pixel είναι ίσο με 500m που σημαίνει ότι το μήκος της ακτίνας είναι ίσο με 2500m. Το συγκεκριμένο μέγεθος pixel προέκυψε από μια σειρά πειραμάτων κατά τα οποία δημιουργήθηκαν αντίστοιχα τα ψηφιακά μοντέλα τόσο με μεγαλύτερο μέγεθος pixel όσο και με μικρότερο. Τιμές με μεγαλύτερο μέγεθος pixel, δημιουργούν στο μοντέλο έντονες διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα να μην αποδίδεται σωστά η θερμοκρασία στις συντεταγμένες που της αντιστοιχούν, ενώ αντίθετα τιμές με μικρότερο μέγεθος pixel δημιουργούσαν περιοχές στον χάρτη κενές δεδομένων, λόγω του ότι το μήκος της ακτίνας ήταν αρκετά μικρό σε σχέση με τις αποστάσεις των δεδομένων.

7.3 Μέθοδος *Moving Average*

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν υπάρχει μεγάλος όγκος δεδομένων και δημιουργεί ενδιάμεσες τάσεις και διακυμάνσεις σε περιοχές που πρέπει να απεικονιστούν. Επίσης υπολογίζει τιμές βάσει του μέσου όρου τιμών σε περιοχές οι οποίες είναι κενές δεδομένων.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να κατασκευαστεί ο εποπτικός χάρτης της εικόνας 28 ο οποίος δείχνει την αλληλεπίθεση των θερμοκρασιών στην περιοχή μελέτης, προκειμένου να γίνει καλύτερα αντιληπτό το μέσο εύρος των θερμοκρασιών που επικρατούν στο υπέδαφος σε βάθος 50, 100 και 200 m.

Με τον συγκεκριμένο αλγόριθμο έχουν περιοριστεί στον χάρτη που δημιουργήθηκε οι ακραίες τιμές που παρουσιάζονται στην περιοχή μελέτης. Η θερμική ανωμαλία εμφανίζεται συγκεντρωμένη από άποψη τιμών και ο αναγνώστης μπορεί να παρατηρήσει τις τιμές που αντιστοιχούν σε χαμηλές θερμοκρασίες να περιορίζονται συνεχώς μέχρι το βάθος των 200m, όπου οι θερμοκρασίες αυξάνονται αισθητά σε σχέση με τα μικρότερα βάθη μελέτης.



Εικόνα 27-Διάγραμμα αλληλεπίθεσης θερμοκρασιών στα επίπεδα των 50,100 και 200 m βάθους.

7.4 Μέθοδος Kriging

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι μια από τις γεωστατικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν γραφήματα χωρικής αυτοσυσχέτισης. Όμως επειδή είναι πρακτικά αδύνατον να υπάρχουν δεδομένα για κάθε επιθυμητό σημείο, η παρεμβολή είναι σημαντική στην ανάλυση, στην δημιουργία γραφημάτων και στην κατανόηση δεδομένων τα οποία απαιτούν δυό ή και τρεις διαστάσεις για να οπτικοποιηθούν.

Η μέθοδος Kriging είναι ιδιαίτερα ευέλικτη και χρησιμοποιεί στατιστικά μοντέλα τα οποία χαρτογραφούν προβλέψεις καθώς και προβλέψεις σφαλμάτων και πιθανοτήτων. Η ευελιξία του συγκεκριμένου μοντέλου βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή στην ανάλυση αποφάσεων. Αποτελεί μέθοδο παρεμβολής η οποία «προβλέπει» τις τιμές άγνωστων δεδομένων από γειτονικές περιοχές ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιεί το σφάλμα της προβλεπόμενης τιμής που υπολογίζεται από τη χωρική κατανομή των προβλεπόμενων τιμών. Επίσης υποθέτει ότι τα δεδομένα προέρχονται από μια σταθερή, στοχαστική διαδικασία ενώ σε μερικές περιπτώσεις τα δεδομένα προέρχονται από κανονικά κατανομημένες κατανομές.

7.4.1 Δισδιάστατοι ψηφιακοί χάρτες

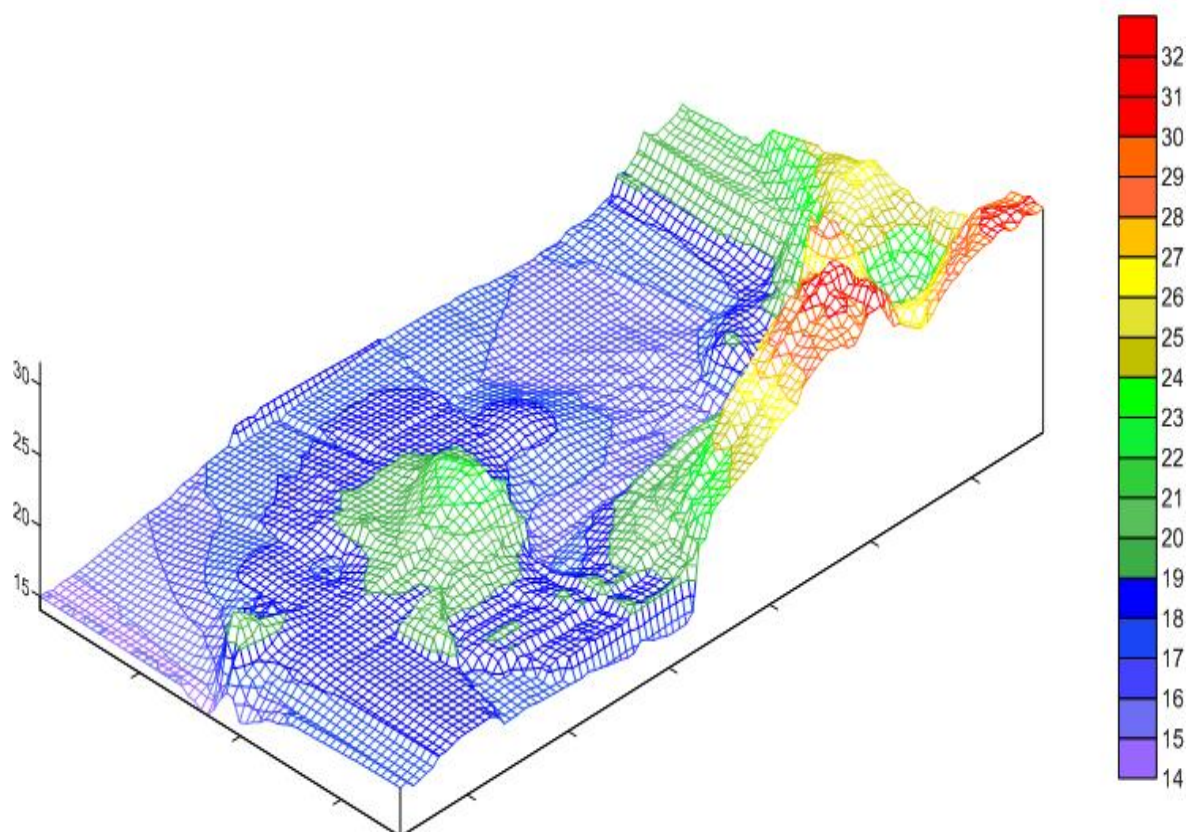
Η αναφερόμενη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να δημιουργηθούν οι χάρτες δύο διαστάσεων του υπεδάφους της υπό μελέτης περιοχής. Για τη δημιουργία των χαρτών επιλέχθηκε η μέθοδος “Contour”, δηλαδή ενός περιγράμματος μέσα στο οποίο θα απεικονίζονται οι θερμοκρασιακές τιμές.

Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκαν οι ισοθερμοκρασιακές καμπύλες που αφορούν το υπέδαφος της περιοχής οι οποίες στην συνέχεια χρωματίστηκαν. Με τη χρωματική παλέτα που επιλέχθηκε, από έντονα ψυχρά χρώματα για τις χαμηλές θερμοκρασίες προς τα αντίστοιχα θερμά για τις υψηλές, μπορεί να γίνει κατανοητή η θερμική ανωμαλία και η επέκτασή της στα βάθη των 50, 100 και 200m. Στη συνέχεια έγινε εξαγωγή του αρχείου σε μορφή “.dxf”, όπου και επεξεργάστηκε από σχεδιαστικό πρόγραμμα τύπου «CAD» προκειμένου να προστεθούν το σημείο του Βορρά και να είναι έτοιμο προς εκτύπωση σε κατάλληλη κλίμακα.

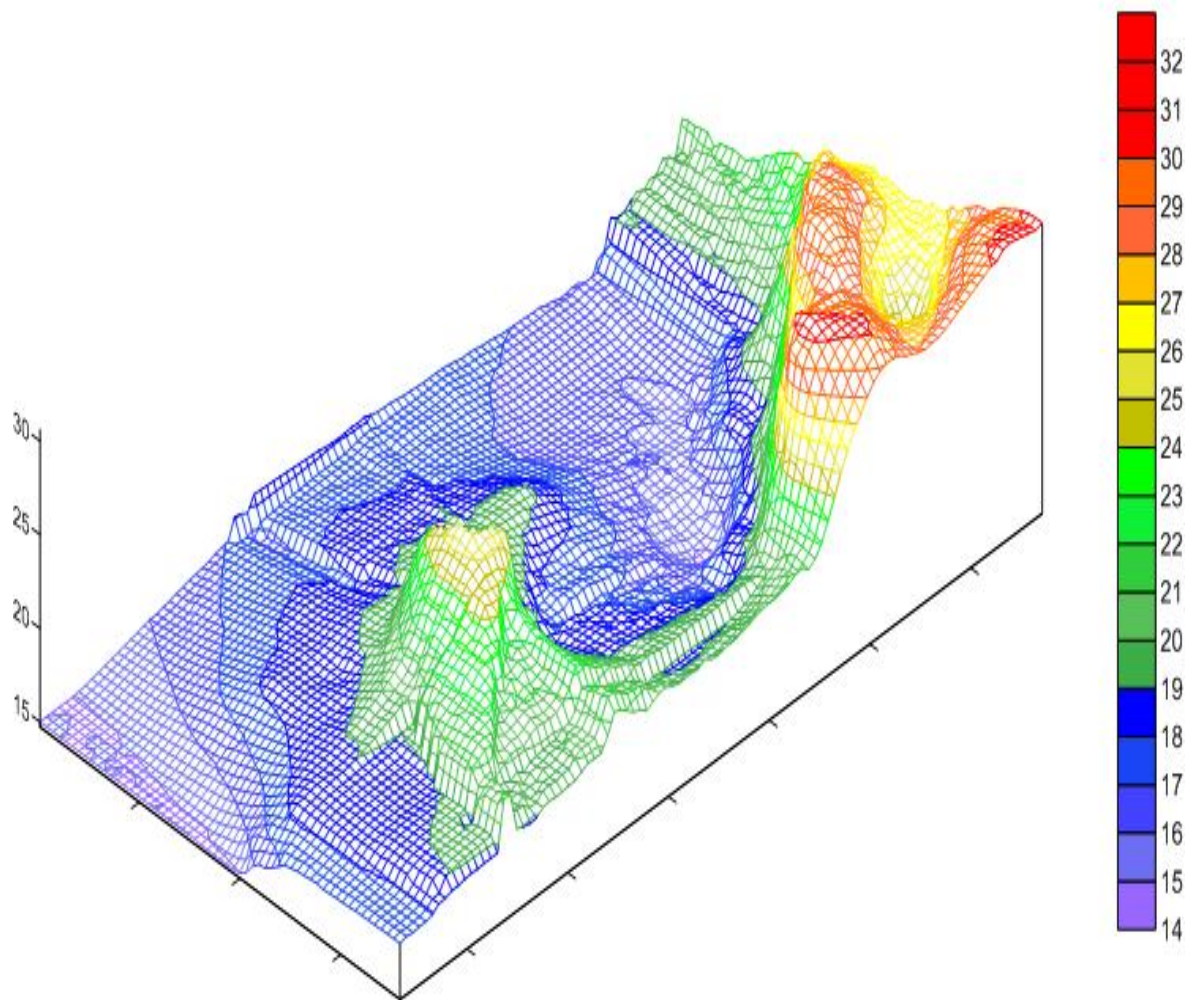
7.4.2 Τρισδιάστατοι ψηφιακοί χάρτες *wireframe*

Στην συνέχεια παρατίθενται οι χάρτες υπεδάφους για τα βάθη των 50, 100 και 200m, οι οποίοι δημιουργήθηκαν με τον συγκεκριμένο αλγόριθμο απεικόνισης και είναι της μορφής *wireframe*, δηλαδή αποτελούνται από ένα δίκτυο γραμμών οι οποίες ενώνονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας με αυτόν τον τρόπο τον τρισδιάστατο χάρτη. Η κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, η οποία παρατίθεται στο υπόμνημα.

Για τους συγκεκριμένους χάρτες χρησιμοποιήθηκαν βάθη τα οποία έχουν εύρος +/- 4m της αναφερόμενης τιμής προκειμένου να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία στην απεικόνιση του τρισδιάστατου μοντέλου. Επίσης με αυτόν τον τρόπο δίνεται η αίσθηση του βάθους και του ύψους της θερμικής ροής καθώς και της κατανομής που ακολουθεί η τελευταία μέσα στο χώρο, δίνοντας στο μέτρο του δυνατού της περιχάραξη του γεωθερμικού πεδίου.

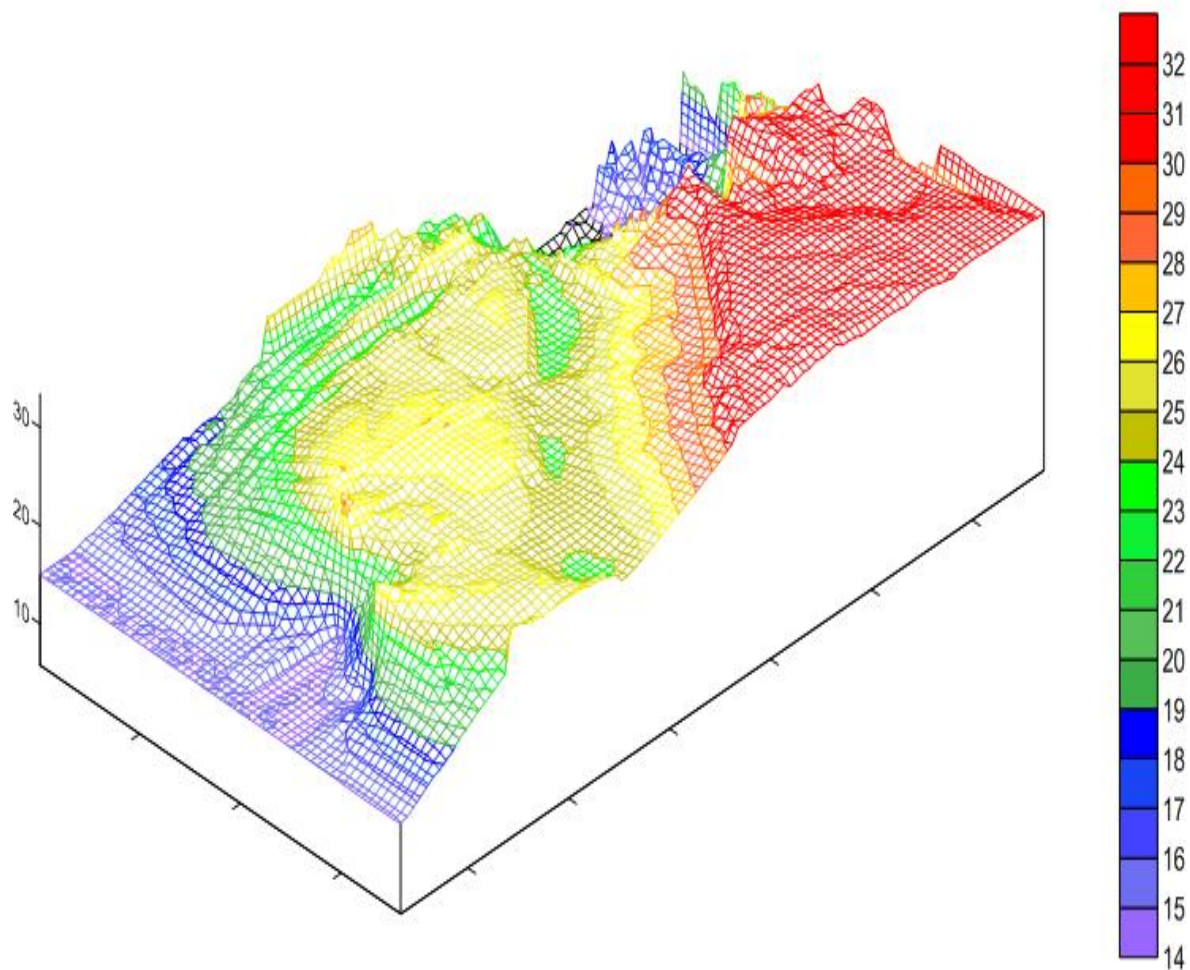


Τρισδιάστατος χάρτης θερμοκρασιών βάθους 50m
Εικόνα 28-Ψηφιακό μοντέλο υπεδάφους -50m wireframe



Τρισδιάστατος χάρτης θερμοκρασιών βάθους 100m

Εικόνα 29-Ψηφιακό μοντέλο υπεδάφους -100m wireframe



Τρισδιάστατος χάρτης θερμοκρασιών βάθους 200m

Εικόνα 30-Ψηφιακό μοντέλο υπεδάφους -200m wireframe

7.4.3 Συγκεντρωτικοί χάρτες

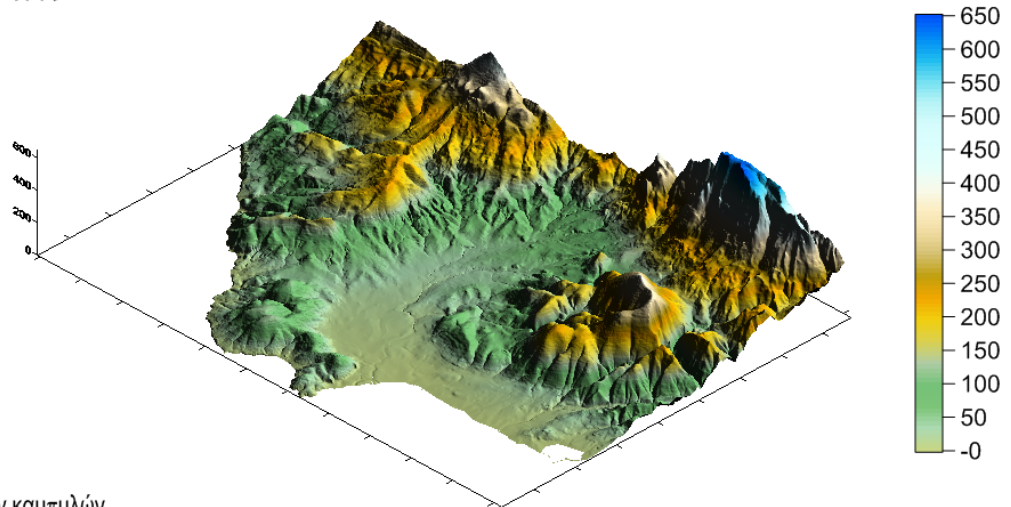
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι συγκεντρωτικοί χάρτες που δημιουργήθηκαν με τη συγκεκριμένη μέθοδο και στους οποίους παρουσιάζεται σε τρισδιάστατη μορφή το ανάγλυφο της υπό μελέτης περιοχής καθώς και ο ισοθερμοκρασιακός χάρτης μαζί με την τρισδιάστατη απεικόνισή του.

Για την κατακόρυφη στοίχιση των σχημάτων χρησιμοποιήθηκε η εντολή από το κεντρικό μενού του προγράμματος «Stack Maps», μέσω της οποίας οι χάρτες που έχουν εισαχθεί προς επεξεργασία στοιχίζονται κάθετα.

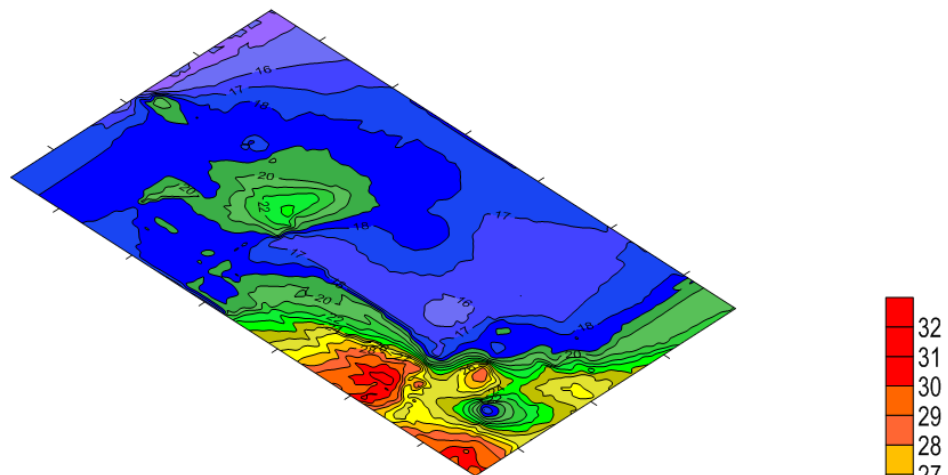
Για τον χάρτη της περιοχής χρησιμοποιήθηκε η επιλογή “3D Surface Map” η οποία μαζί με την επιλογή “Terrain” για την χρωματική απεικόνισή της αποδίδουν αναπαραστατικά το ανάγλυφο της περιοχής.

Με αυτόν τον τρόπο ο αναγνώστης είναι σε θέση να έχει μια γενική εποπτεία της περιοχής των θερμοκρασιών που σημειώνονται, μέσω της κατάλληλης χρωματικής κλίμακας που παρουσιάζεται στους χάρτες καθώς και την ροή της θερμικής ανωμαλίας μέσα στο υπέδαφος.

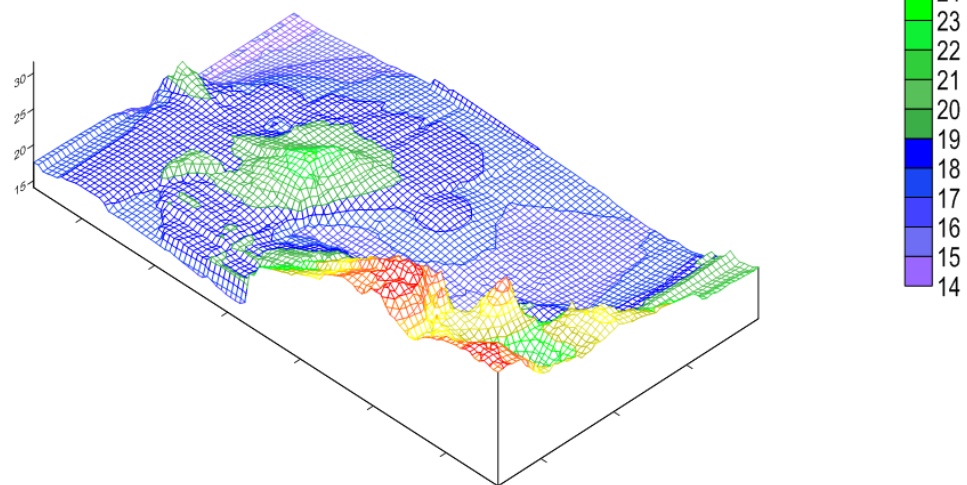
Χάρτης περιοχής



Χάρτης ισόθερμων καμπυλών



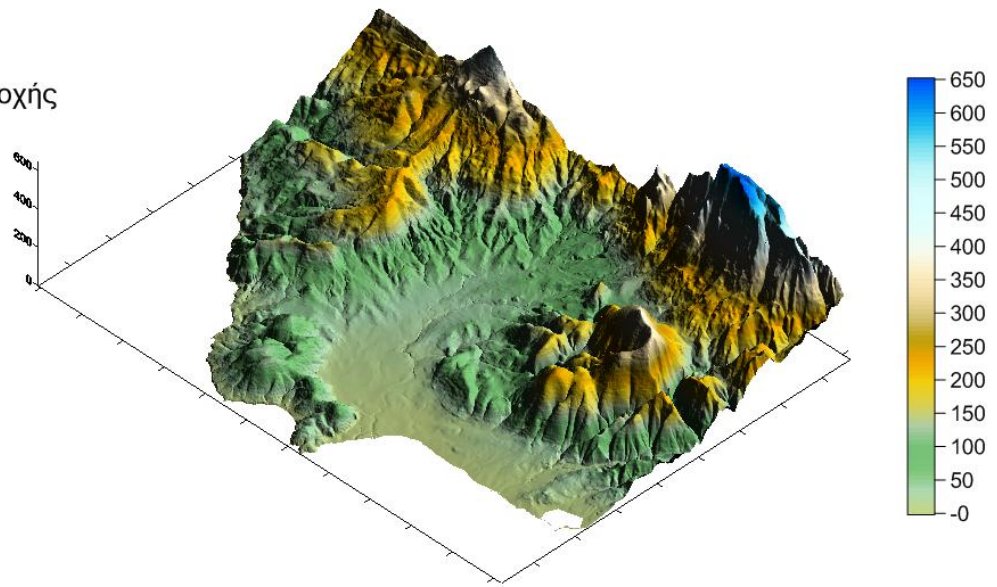
Χάρτης τρισδιάστατης αναπαράστασης θερμοκρασιών



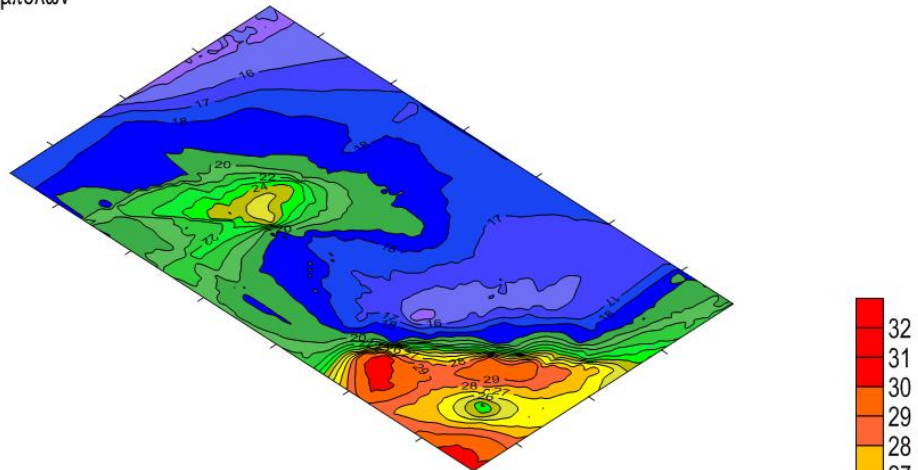
Βάθος -50m

Εικόνα 31-Συγκεντρωτικός χάρτης θερμοκρασιών σε βάθος 50m.

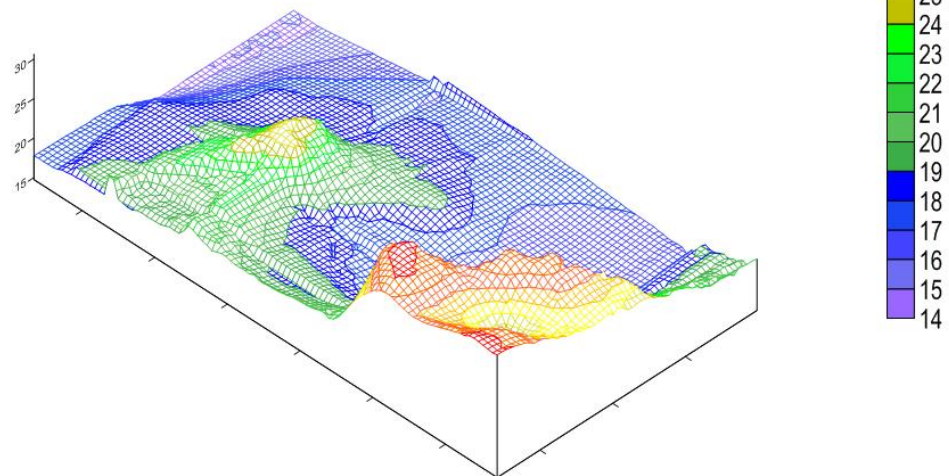
Χάρτης περιοχής



Χάρτης ισόθερμων καμπυλών



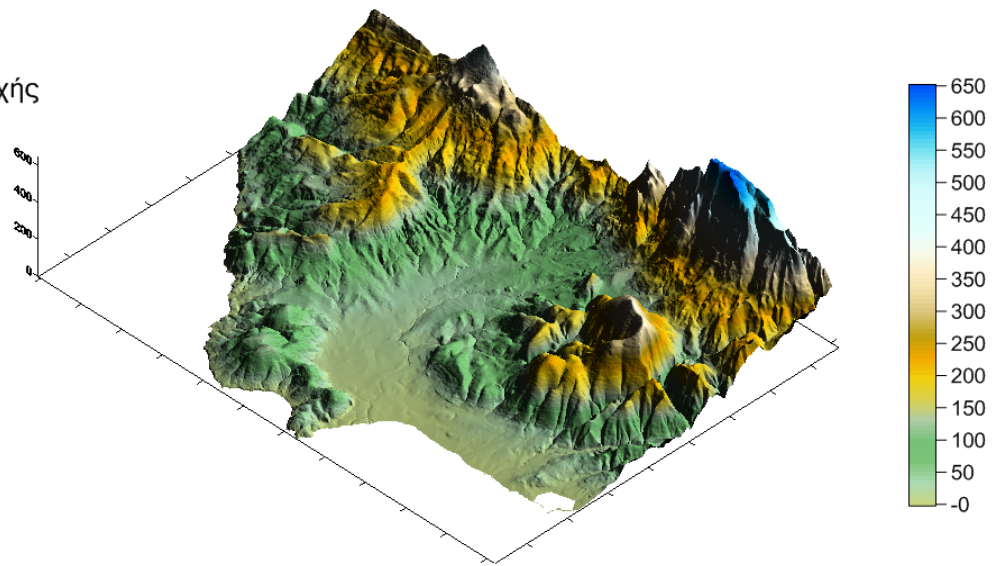
Χάρτης τρισδιάστατης αναπαράστασης θερμοκρασιών



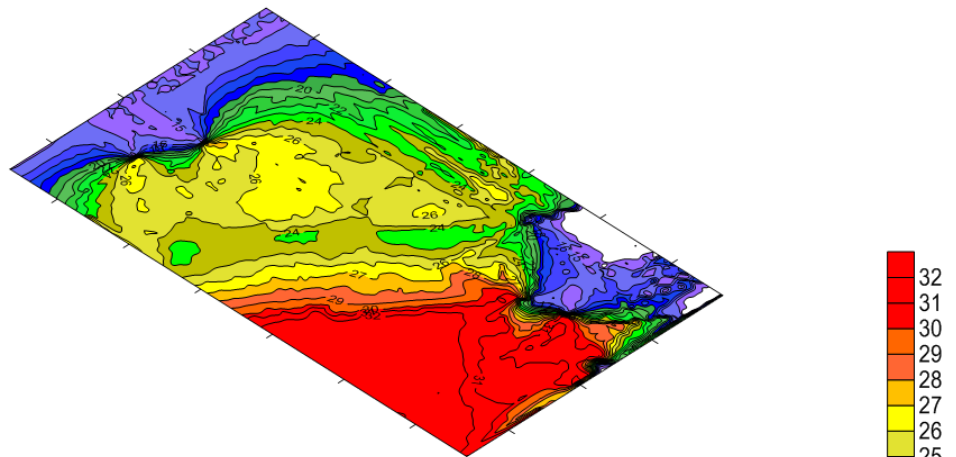
Βάθος -100m

Εικόνα 32-Συγκεντρωτικός χάρτης θερμοκρασιών σε βάθος 100m.

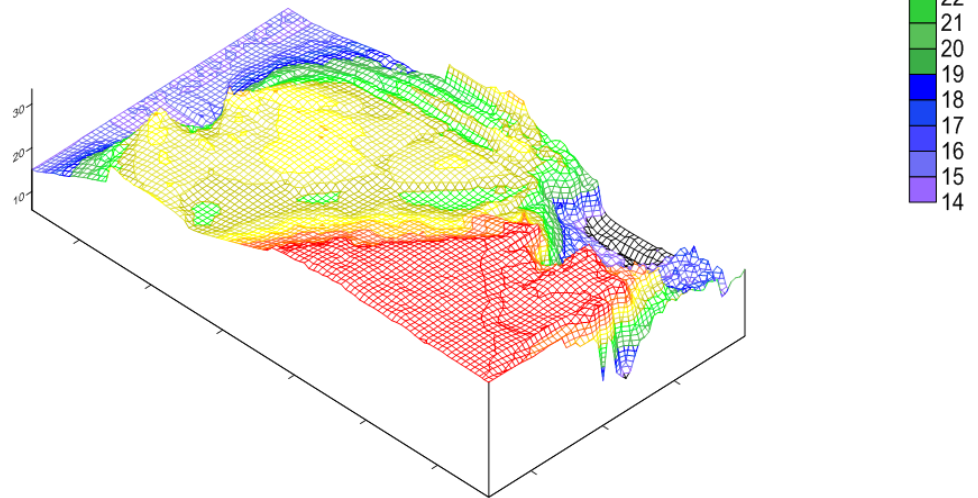
Χάρτης περιοχής



Χάρτης ισόθεμων καμπυλών



Χάρτης τρισδιάστατης αναπαράστασης θερμοκρασιών



Βάθος -200m

Εικόνα 33-Συγκεντρωτικός χάρτης θερμοκρασιών σε βάθος 200m.

7.5 Έκταση της θερμικής ανωμαλίας

Το λειτουργικό πρόγραμμα Surfer μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε προσεγγιστικά, την έκταση περιοχών στους χάρτες και οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον μελετητή.

Στο πρόγραμμα Surfer επιλέχθηκαν μέσω της εντολής «Polyline» από το κεντρικό μενού, οι περιοχές με τις μέγιστες θερμοκρασίες από όπου και προκύπτει το συνολικό εμβαδόν της περιοχής που ορίζουμε.

Για να γίνει η μέτρηση της έκτασης της θερμικής ανωμαλίας, χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες ισόθερμων καμπυλών για τα βάθη των 50, 100 και 200m. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν αποκλειστικά οι θερμοκρασίες με εύρος από 28 έως 32 °C, προκειμένου να γίνει καλύτερα κατανοητό το μέγεθος της θερμικής ανωμαλίας το οποίο μελετάμε και παρουσιάζει τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες από ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος (Πίνακας 11).

Σαν μέτρο σύγκρισης με την ίδια διαδικασία θα εκτιμηθεί το μέγεθος της περιοχής το οποίο παρουσιάζει χαμηλότερες θερμοκρασίες από 14 έως 22 °C (Πίνακας 12).

Πίνακας 11-Έκταση θερμικής ανωμαλίας για μέγιστες θερμοκρασίες

Βάθος (m)	Έκταση θερμικής ανωμαλίας με θερμοκρασίες από 28 έως 32°C (km ²)
50	6.2
100	8.2
200	22

Πίνακας 12-Έκταση θερμικής ανωμαλίας για ελάχιστες θερμοκρασίες

Βάθος (m)	Έκταση θερμικής ανωμαλίας με θερμοκρασίες από 14 έως 24 °C (km ²)
50	20.5
100	18.3
200	11.2

8

Συμπεράσματα – προτάσεις

Από την επεξεργασία και αξιολόγηση των θερμομετρικών στοιχείων συντάχθηκαν χάρτες με ισόθερμες καμπύλες καθώς και οι τρισδιάστατες απεικονίσεις τους σε βάθη των 50, 100 και 200m (παρατίθενται στο παράρτημα Β) στις οποίες απεικονίζεται η κατανομή της θερμικής ροής στον χώρο. Από την επισκόπηση των εικόνων αυτών, προκύπτουν τα παρακάτω στοιχεία:

- Η πύκνωση των ισόθερμων καμπυλών στα ανατολικό μέρος σε βάθος 50m, προσδιορίζει σαφέστατα την ύπαρξη θερμικής ανωμαλίας. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούνται θερμοκρασίες οι οποίες υπερβαίνουν τους 28°C σε έκταση που προσεγγιστικά φθάνει τα 6 km². Σε μεγαλύτερα βάθη όπως των 100 και 200m, παρατηρείται ο διαχωρισμός της θερμικής ανωμαλίας στην περιοχή του κάμπου της Χίου, με το ανατολικό μέρος της περιοχής να σημειώνει τη μεγαλύτερη πυκνότητα της θερμικής ροής. Στην Εικόνα 27, όπου και παρουσιάζεται ο συνθετικός χάρτης αλληλεπίθεσης των θερμοκρασιών στα βάθη που μελετώνται, μπορεί να γίνει εμφανέστερη αυτή η διαφορά όπου οι χαμηλότερες θερμοκρασίες περιορίζονται σταδιακά σε μικρότερη έκταση.
- Από τους συγκεντρωτικούς χάρτες μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι διαγράφονται δύο ζεστοί υδροφόροι ορίζοντες. Ο πρώτος βρίσκεται σε βάθος 50 μέτρων και είναι πιο κοντά στην θάλασσα. Η μέση θερμοκρασία του ανέρχεται στους 26 - 28°C και η εγγύτητά του στην θάλασσα πιθανώς να αποτελεί την κύρια αιτία που παρουσιάζει χαμηλότερες θερμοκρασίες. Σε βάθος περίπου 80 μέτρων συναντάται ο δεύτερος υδροφόρος ορίζοντας ο οποίος είναι θερμότερος, με θερμοκρασίες που φθάνουν τους 32°C. Από τα σχήματα παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει το βάθος, αυξάνεται και η έκταση των μεγάλων θερμοκρασιών με αποτέλεσμα να καλύπτουν μεγαλύτερη έκταση του υπεδάφους. Αυτή η συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας ανάλογα με το βάθος, οφείλεται στην στεγανότητα των γεωλογικών σχηματισμών

που βρίσκονται στα ανώτερα στρώματα με τις θερμοκρασίες σε βάθος 200m να καλύπτουν 22 km², έκταση που κρίνεται ιδιαίτερα μεγάλη. Επίσης στο χάρτη των 200m στην βορειο-δυτική περιοχή μελέτης παρουσιάζονται ορισμένες λευκές περιοχές. Σε αυτές δεν αντιστοιχούν γεωλογικά δεδομένα και η μέθοδος Kriging δεν εξήγαγε συμπληρωματικές τιμές προκειμένου να καλυφθούν τα κενά.

- Η μελέτη των γεωθερμικών νερών συνδέεται άμεσα με την αξιοποίησή τους. Ενδεικτικά στην περιοχή των Θυμιανών τα γεωθερμικά νερά μπορούν να αξιοποιηθούν άμεσα με εφαρμογές σε αθλητικές και τουριστικές δραστηριότητες όπως spa, πισίνες και κολυμβητήρια. Επίσης μέσω των γεωθερμικών αντλιών μπορεί να γίνει αξιοποίηση για τη θέρμανση και ψύξη κτιρίων.
- Στην περιοχή των Νενήτων, οι εφαρμογές που μπορεί να αξιοποιηθούν είναι περισσότερες λόγω της μεγαλύτερης θερμοκρασίας των γεωθερμικών ρευστών. Πιο συγκεκριμένα, θέρμανση και ψύξη κτιρίων, ιχθυοκαλλιεργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, ιαματικός τουρισμός και αφαλάτωση νερού είναι εφαρμογές οι οποίες μπορούν να αξιοποιήσουν τη γεωθερμική ενέργεια της περιοχής.

Παράρτημα Α

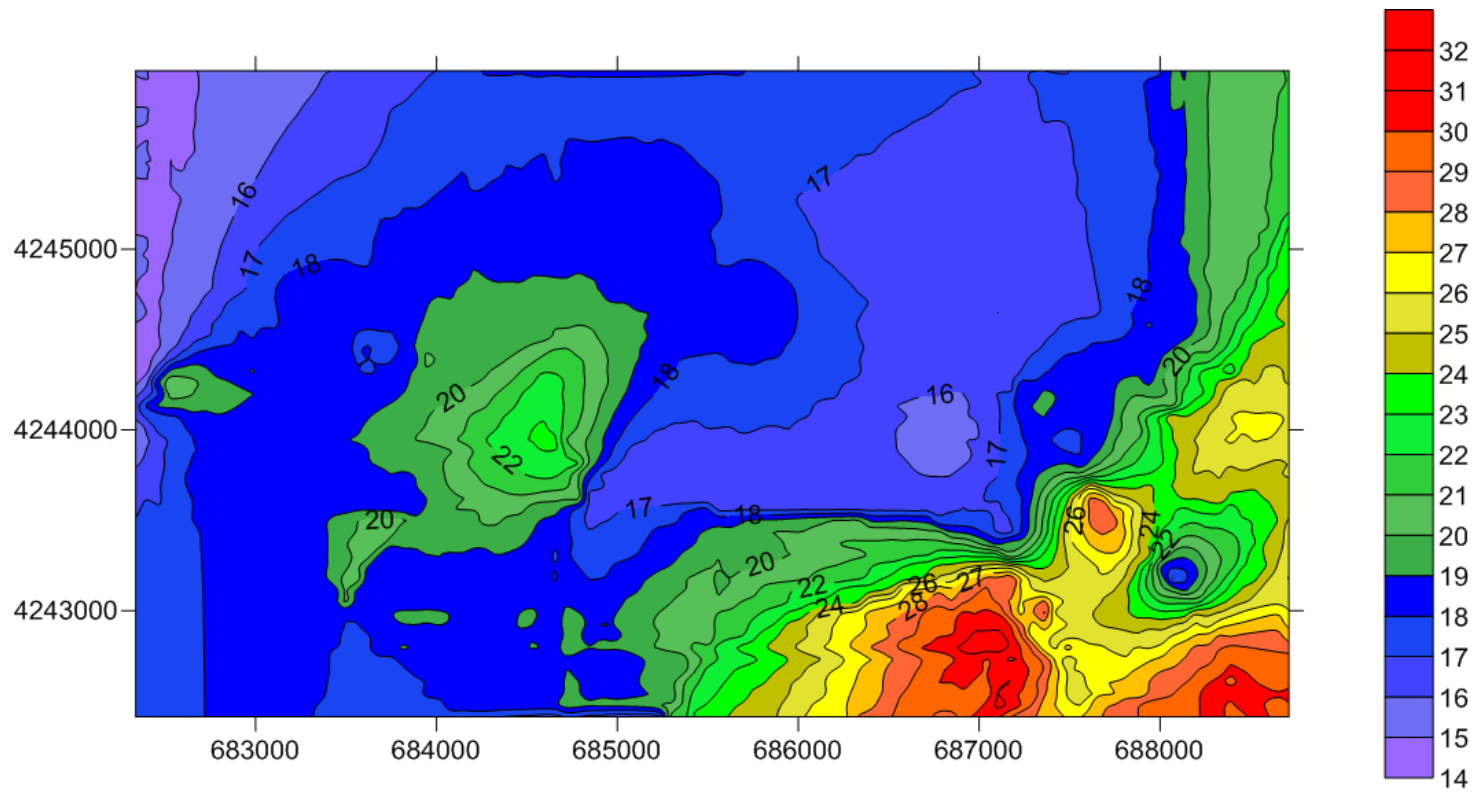
Γεωλογική Χρονολογική Κλίμακα

Πίνακας 13-Η Γεωλογική χρονολογική κλίμακα

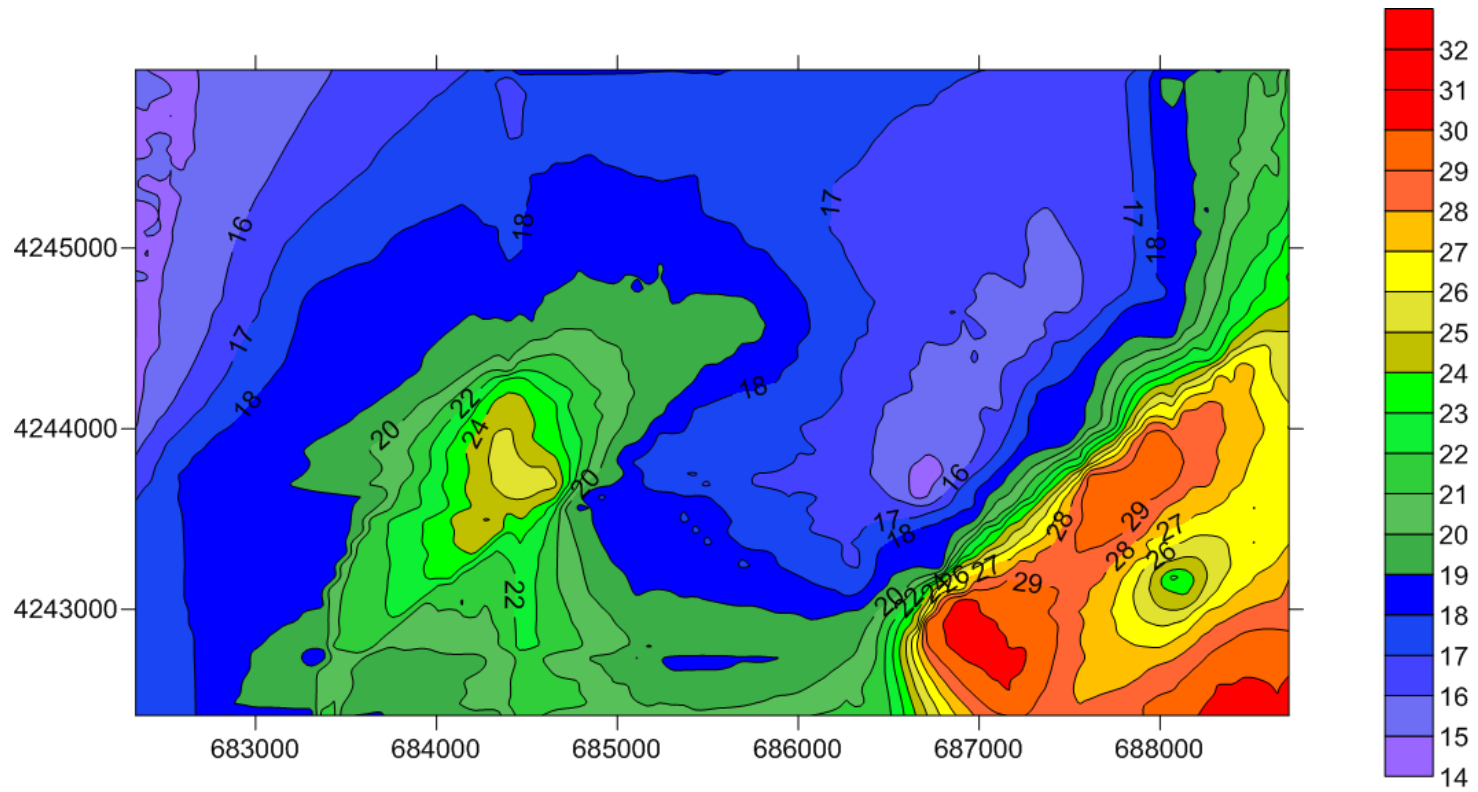
Αιώνας	Περίοδος	Εποχή	Εκ. Έτη Πρίν
ΚΑΙΝΟΖΩΙΚΟΣ	ΝΕΟΓΕΝΗΣ	Ολόκαινος	0,01
		Πλειστόκαινος	1,6
		Πλειόκενος	6,3
		Μειόκαινος	23
	ΠΑΛΑΙΟΓΕΝΗΣ	Ολιγόκαινος	36,6
		Ηώκαινος	53
		Παλαιόκαινος	66
ΜΕΣΟΖΩΙΚΟΣ	ΚΡΗΤΙΔΙΚΗ		135
	ΙΟΥΡΑΣΙΚΗ		205
	ΤΡΙΑΔΙΚΗ		250
ΠΑΛΑΙΟΖΩΙΚΟΣ	ΠΕΡΜΙΑ		290
	ΛΙΘΑΝΘΡΑΚΟΦΟΡΟΣ		355
	ΔΕΒΟΝΙΟΣ		410
	ΣΙΛΟΥΡΙΟΣ		438
	ΚΑΜΒΡΙΟΣ		570
ΠΡΟΚΑΜΒΡΙΟ			4600 - 570

Παράρτημα Β

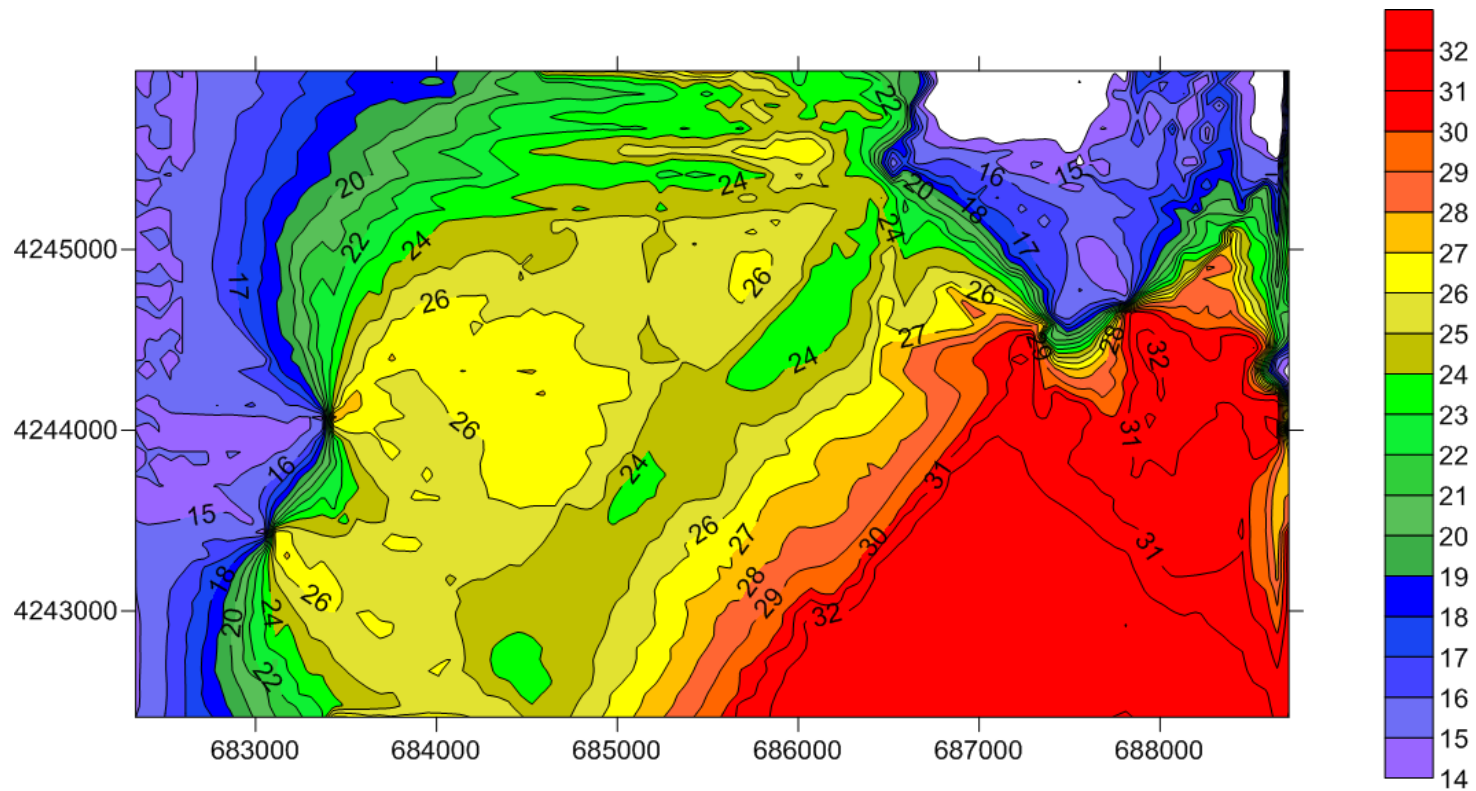
Δισδιάστατοι ισοθερμοκρασιακοί χάρτες



Βάθος -50m



Βάθος -100m



Βάθος -200m

Βιβλιογραφία

1. http://www.ofsl.gr/images/Doryforikes/Chios_Nasa.jpg, (11/2010).
2. NASA – Earth Sciences and Image Analysis, Online: <http://eol.jsc.nasa.gov> (11/2010).
3. Σταγειρίτης Αθ., 1815-1820, Ωγυγία ή Αρχαιολογία, Βιέννη, Επανέκδοση 1996, Ελεύθερη Σκέψις.
4. Ψηφιακές Συλλογές του Υπουργείου Πολιτισμού και Τουρισμού, Online: <http://collections.culture.gr/> (11/2010).
5. Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, Online: <http://www.ypai.gr/site/home.csp>, (11/2010).
6. Ελληνική Στατιστική Αρχή, Online:<http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>, (11/2010).
7. <http://www.weather2travel.com/climate-guides/greece/chios.php>, (11/2010).
8. Βακαλόπουλος, Π., Βρέλλης, Γρ., Καβουρίδης, Θ., Ξενάκης, Μ., 2007, Έρευνα και εντοπισμός γεωθερμικών πεδίων στη νήσο Χίο (Θυμιανά – Νένητα), Μελέτη καταγραφής, αποτίμησης γεωθερμικών πεδίων της χώρας, Επιχειρησιακό πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα» Γ΄ ΚΠΣ, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
9. Τσαμαντουρίδης Π., Χωριανόπουλος Π., 1977, Έκθεσις επί της κοιτασματολογικής αναγνωρίσεως της Νήσου Χίου, Αθήνα: Ι.Γ.Μ.Ε.
10. www.chioscaves.gr, (11/2010).
11. Herget G., Die Geologie von Nord – Chios (Agais), 1968, Marburg.
12. Nathenson M., Guffanti M., Sass J., Munrow R., 1982, Regional Heat Flow and Temperature Gradients, USGS.
13. Παρασκευαΐδης Η., 1974, Αναγνωριστικά υδρογεωλογικά μελέται Νήσων Αιγαίου, Τεύχος 3, Νήσος Χίος, Αθήνα: Ι.Γ.Μ.Ε.
14. Kious W., Tilling R., 1996, This Dynamic Earth, USGS.
15. Glassley W., 2010, Geothermal Energy-Renewable Energy and the Environment, CRC Press.
16. International Geothermal Association, www.geothermal-energy.org, (11/2010).
17. Armstead H.C.H., 1983, Geothermal Energy, E. & F. N. Spon, London.

18. Geothermal Education Office, www.geothermal.marine.org, (12/2010).
19. Hochstein, M.P., 1990, Classification and assessment of geothermal – resources. In: Dickson, M.H. and Fanelli M., eds., Small Geothermal Resources: A Guide to Development Utilization, UNITAR, New York.
20. Muffler P. and Cataldi R., 1978, Methods for regional assessment of geothermal resources, Geothermics.
21. Reed M. J., Assessment of Low – Temperature Geothermal Resources of the United States, 1982, Geological Survey Circular 892.
22. Benderitter Y. and Cormy G., 1990, Possible approach to geothermal research and relative costs. In: Dickson M.H. and Fanelli M., eds UNITAR, New York.
23. Nicholson K., 1993, Geothermal Fluids, Springer Verlag, Berlin.
24. Axelsson G. and Gunlaugsson E., 2000, Background: Geothermal utilization, management and monitoring. In: Long-term monitoring of high- and low enthalpy fields under exploitation, WGC 2000, Short courses, Japan.
25. Sanyal S., 2005, Classification of Geothermal Systems - A possible Scheme, Geothermex Inc.
26. Stefansson V., 2000, The renewability of geothermal energy, Proc. World Geothermal Energy, Japan. On CD-ROM.
27. Basu P., 2005, Third world Bears brunt of global warming impacts, University of Wisconsin – Madison.
28. Antics M., Sanner B., 2007, Status of Geothermal Energy Use and Resources in Europe.
29. Fytikas M., Andritsos N., Karydakis G., Kolios N., Mendrinou D., Papachristou M., 2000, Geothermal Exploration and Development Activities in Greece during 1995-1999.
30. Cermak V., Rybach L., 1979, Terrestrial Heat Flow In Europe, Springer.
31. European Resources – Working Document, 2000, Shell Geothermal Europe B.V.
32. Ινστιτούτο Γεωλογικών Μελετών – Τομέας Υδάτινων Πόρων και Περιβάλλοντος – Διεύθυνση Γεωθερμίας και Θερμομεταλλικών Υδάτων, 2007, Τα γεωθερμικά πεδία της χώρας (χαρακτηρισμός σύμφωνα με το Ν. 3175/2003), Αθήνα.
33. Φύτικας Μ., Παπαχρήστου Μ., Γεωθερμική ενέργεια στη Μήλο και αξιοποίησή της, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.
34. Γκιώνη-Σταυροπούλου Γ., 1983, Απογραφή θερμομεταλλικών πηγών Ελλάδος Ι. Αιγαίο Πέλαγος. Υδρολογικές και υδρογεωλογικές έρευνες, Αρ.39. Αθήνα: Ι.Γ.Μ.Ε.
35. Geothermal Education Office, www.geothermal.marine.org, (12/2010).
36. Σαραντέας, Α., Φυτίκας, Μ., 1989, Αναγνωριστική γεωθερμική έρευνα στη νήσο Χίο, Αθήνα: Ι.Γ.Μ.Ε.

37. McCormick B. H., Defanti T. A. and Brown M.D., Eds., 1987, Visualization in Scientific Computing, Computer Graphics.
38. Τσουχλαράκη Α., 1996, Ψηφιακή εικονική αναπαράσταση αναγλύφου στην ανάλυση τοπίου, Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ.
39. Sheppard S., 1989, Visual Simulation, A User's Guide for Architects, Engineers and Planners, Van Norstrand Reinhold, New York.
40. MacEachren A. M., Hardisty F., Dai X. P., & Pickle L., 2003, Supporting visual analysis of federal geospatial statistics communications of the ACM.
41. Dykes J., MacEachren A. M., Kraak M. J., 2005, Exploring Geovisualization, Elsevier Ltd.
42. Mach R., Petschek P., 2007, Visualization of Digital Terrain and Landscape Data, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
43. Lam N. and Quattrochi D., 1992, On issues of scale, resolution and fractal analysis in the mapping sciences, Professional.
44. Bertin L., 1983, Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps, Madison: University of Wisconsin Press (French Edition, 1977).
45. Robinson A. H., Morrison J. L., Muehrcke P. C., Kimerling J., Guptill S.C., 2002, Στοιχεία χαρτογραφίας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.