



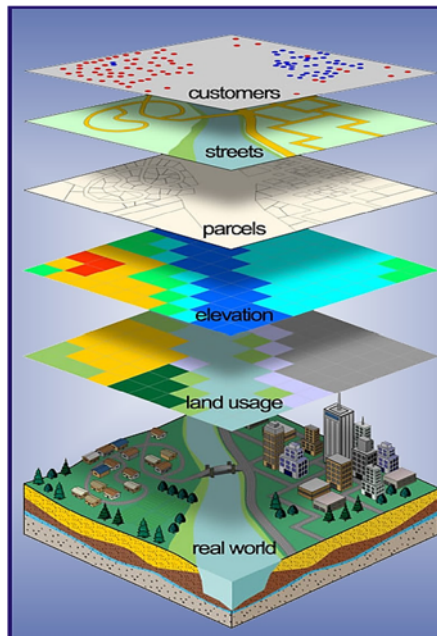
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ



ΧΡΙΣΤΙΝΑ Δ. ΣΑΒΒΙΔΟΥ

**“ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΧΩΡΙΚΩΝ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΑΚΡΟΠΟΤΑΜΟΥ ΚΑΒΑΛΑΣ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS”**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2018



ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

“Γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται σαφώς στην βιβλιογραφία. Τα σημεία όπου χρησιμοποιήθηκαν ιδέες, κείμενο ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στη βιβλιογραφία με πλήρη περιγραφή”



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την πτυχιακή μου εργασία και τις σπουδές μου στο Πανεπιστήμιο, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και από καρδιάς όλους όσους με στήριξαν σε αυτό το ταξίδι.

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο επιβλέποντα αυτής της εργασίας, Λέκτορα του Τμήματος Γεωλογίας, κ. Μουρατίδη Αντώνιο, για την ανάθεση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια σε όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Τον επίσης επιβλέποντα της εργασίας, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας, κ. Μαρίνο Βασίλειο, για τις χρήσιμες συμβουλές και τη βοήθεια κυρίως σε θέματα Τεχνικής Γεωλογίας.

Τον κ. Μακεδών Θωμά, μέλος του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού (ΕΔΙΠ) του Τμήματος Γεωλογίας, για το υλικό και τις οδηγίες κατά το αρχικό στάδιο της εργασίας.

Τον Καλαϊτζή Παναγιώτη, διδακτορικό φοιτητή του Τμήματος Γεωλογίας, για την άμεση ανταπόκριση στις απορίες μου και τις κατευθύνσεις ιδιαίτερα στο εργαστηριακό μέρος της εργασίας.

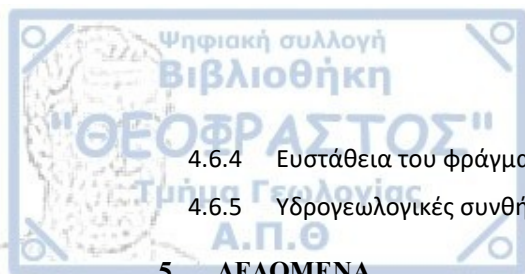
Τους φίλους μου και την οικογένειά μου για την ηθική συμπαράσταση κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής αυτής εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλους εκείνους, που άμεσα ή έμμεσα συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής, και τους οποίους δεν συμπεριέλαβα παραπάνω.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	II
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	III
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ).....	1
1.1.1 Γενικά στοιχεία	1
1.1.2 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή στα Συστήματα GIS.....	3
1.1.3 Γιατί είναι σημαντικά τα συστήματα GIS – Πλεονεκτήματα.....	4
1.1.4 Πεδία εφαρμογής GIS	5
1.1.5 Εφαρμογή των GIS στη Γεωλογία	6
1.2 Τεχνική Γεωλογία.....	7
1.3 Σκοπός	8
2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	9
2.1 Γεωγραφική θέση έργου	9
2.2 Γεωμορφολογία της περιοχής του έργου.....	11
2.3 Γενικές Γεωλογικές και Λιθοστρωματογραφικές συνθήκες	12
2.4 Τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής	15
3 ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΤΑΚΛΥΣΕΩΣ	18
3.1 Γεωγραφική θέση	18
3.2 Γεωλογικές συνθήκες της λεκάνης κατακλύσεως	18
3.3 Ευστάθεια φυσικών πρανών λεκάνης κατακλύσεως	19
3.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες - Στεγανότητα λεκάνης κατακλύσεως	20
4 ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	21
4.1 Εκλογή άξονα φράγματος.....	21
4.2 Εκτελεσθείσες Γεωερευνητικές Εργασίες.....	22
4.2.1 Ερευνητικές Γεωτρήσεις	22
4.2.2 Δοκιμές Υδροπερατότητας.....	23
4.2.3 Πιεζόμετρα.....	24
4.3 Γεωλογικές Συνθήκες	24
4.4 Δείκτης Ποιότητας Βραχώμαζας (RQD)	25
4.5 Αποσαθρωσιμότητα.....	25
4.6 Τεχνικογεωλογικά Συμπεράσματα	26
4.6.1 Μηχανική Συμπεριφορά Γρανодиορίτη	26
4.6.2 Τεχνικογεωλογικές ενότητες με βάση τον δείκτη ταξινόμησης GSI	28
4.6.3 Συνθήκες θεμελίωσης.....	30

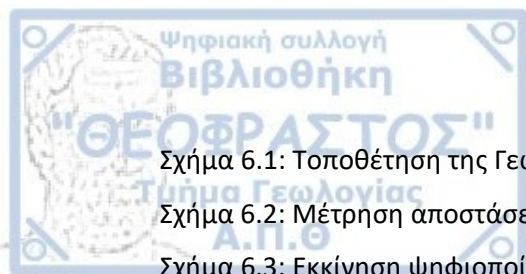


4.6.4	Ευστάθεια του φράγματος και των Αντερεισμάτων	30
4.6.5	Υδρογεωλογικές συνθήκες – Στεγανότητα	31
5	ΔΕΔΟΜΕΝΑ	32
5.1	Χαρτογραφικά και Άλλα Δεδομένα	32
5.2	Λογισμικά.....	33
5.2.1	Το λογισμικό ArcGIS.....	33
5.2.2	Google Earth	34
5.2.3	Coord_Gr.....	34
6	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	35
6.1	Εισαγωγή Δεδομένων.....	35
6.2	Γεωαναφορά	35
6.3	Ψηφιοποίηση	38
6.3.1	Δημιουργία Επίπεδου Πληροφορίας.....	39
6.3.2	Ψηφιοποίηση Δεδομένων	40
6.3.3	Ανάλυση και Επεξεργασία Δεδομένων.....	43
6.4	DEM	44
6.4.1	Υψομετρικός Χάρτης.....	45
6.4.2	Χάρτης Μορφολογικών Κλίσεων	45
6.4.3	Χάρτης Προσανατολισμού Μορφολογικών Κλίσεων	45
6.4.4	Χάρτης Σκιασμένου Αναγλύφου	46
6.5	Χαρτογραφική Απόδοση Αποτελεσμάτων	46
7	ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	55
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	59
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	64



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Θεματικά επίπεδα πληροφοριών (layers) στο GIS. (Πηγή: http://www.admitnetwork.org/work-packages/gis-gps/)	2
Σχήμα 1.2 : Αναπαράσταση της λειτουργίας ενός ΓΣΠ. (Πηγή : http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL8/).....	3
Σχήμα 2.1 : Γεωγραφική θέση του φράγματος Μαρμαρά Ακροποτάμου. (Πηγή χάρτη Google Earth τροποποιημένος από την συγγραφέα).....	9
Σχήμα 2.2 : Φωτορεαλιστική απεικόνιση αναγλύφου της λεκάνης τροφοδοσίας του ταμιευτήρα του φράγματος. (Πηγή: Διπλωματική εργασία Μπαμπατσάνη Α., “Το φράγμα Μαρμαρά Ακροποτάμου: Διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου και των δανειοθαλάμων”)......	10
Σχήμα 2.3 : Γεωγραφική θέση λεκάνης τροφοδοσίας του ταμιευτήρα του φράγματος Ακροποτάμου. (Πηγή Χάρτη: Google Earth τροποποιημένο από την συγγραφέα) Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.	
Σχήμα 2.4 : Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. (Πηγή : Τοπογραφικός Χάρτης Λεκάνης Τροφοδοσίας από “Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας”, 1995).	12
Σχήμα 2.5 : Σχηματική Γεωλογική τομή στην περιοχή Σιδηρόνερου Δράμας όπου απεικονίζονται η λιθοστρωματογραφική διαδοχή και η τεκτονική θέση των δύο ενοτήτων Σιδηρόνερου και Παγγαίου.	13
Σχήμα 2.6 : Γεωλογικός Χάρτης λεκάνης τροφοδοσίας και περιοχής του φράγματος. (Πηγή: “Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας”, 1995)	15
Σχήμα 4.1 : Σκαρίφημα της μορφολογίας στην περιοχή θεμελίωσης, θέση των ερευνητικών γεωτρήσεων και διάταξη των έργων. (Πηγή: “Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας”, 1995)	23
Σχήμα 4.2: Τομή κατά μήκος του άξονα θεμελίωσης όπου φαίνεται η μεταβολή της περατότητας με το βάθος. (Πηγή: “Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας”, 1995)	24
Σχήμα 4.3: Δείκτης ποιότητας βραχομάζας (RQD) και απόσταση ασυνεχειών κατά μήκος του άξονα θεμελίωσης. (Πηγή: “Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας”, 1995).....	25
Σχήμα 4.4: Τομή στον άξονα θεμελίωσης του φράγματος όπου φαίνεται η κατανομή του δείκτη ποιότητας βραχομάζας GSI.	30
Σχήμα 4.5: Τομή κατά μήκος του άξονα θεμελίωσης του φράγματος όπου φαίνεται το προτεινόμενο βάθος της κουρτίνας τσιμεντενέσεων.....	31



Σχήμα 6.1: Τοποθέτηση της Γεώτρησης Γ1 στον άξονα του φράγματος στο Google Earth.	37
Σχήμα 6.2: Μέτρηση αποστάσεων των τεσσάρων γωνιών από την Γεώτρηση Γ1.	38
Σχήμα 6.3: Εκκίνηση ψηφιοποίησης.	41
Σχήμα 6.4: Βήματα ψηφιοποίησης.	42
Σχήμα 6.5: Ολοκλήρωση της ψηφιοποίησης.....	43

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Τεχνικά στοιχεία ταμιευτήρα φράγματος Μαρμαρά Ακροποτάμου.....	18
Πίνακας 2 : Χαρακτηριστικές παράμετροι του φράγματος και των συνοδών έργων. (Πηγή : <i>Διπλωματική εργασία Μπαμπατσάνη Α., “Το φράγμα Μαρμαρά Ακροποτάμου: Διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου και των δανειοθαλάμων ”</i>)	21
Πίνακας 3 : Θέση, υψόμετρο και συντεταγμένες ερευνητικών γεωτρήσεων. (Πηγή: “Πρότυπη <i>Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας</i> ”, 1995)	22
Πίνακας 4: Ταξινόμηση της βραχώμαζας με βάση την αποσάθρωση. (Πηγή: “Πρότυπη <i>Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας</i> ”, 1995)	26
Πίνακας 5: Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI (Hoek & Marinos, 2000). (Πηγή: Παρουσιάσεις θεωρίας Τεχνικής Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ.)	29



1.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΣΓΠ)

1.1.1 Γενικά στοιχεία

Για τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) (Geographical Information Systems/ GIS) υπάρχουν πολλοί ορισμοί στη βιβλιογραφία, αλλά μπορούν τυπικά να οριστούν ως ένα «δυναμικό εργαλείο» συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάκτησης, μετασχηματισμού και απεικόνισης χωρικών δεδομένων σχετικών με φαινόμενα που απαντούν / εξελίσσονται στον πραγματικό κόσμο.

Σε μια πιο γενική μορφή, τα GIS είναι ένα εργαλείο «έξυπνου χάρτη» το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργούμενες από τον χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο διαδίκτυο).

Η λειτουργία των GIS στηρίζεται σε μία βάση δεδομένων (database) η οποία αποτελείται από μία σειρά πληροφοριακών επιπέδων (layers), τα οποία αφορούν την ίδια γεωγραφική περιοχή (Σχήμα 1.1). Το κάθε θεματικό επίπεδο μπορεί να περιλαμβάνει είτε μη επεξεργασμένα δεδομένα (τοπογραφικά, δορυφορικά κ.λπ.) είτε θεματικές πληροφορίες (είδος βλάστησης, τύποι εδαφών, αποτελέσματα ταξινόμησης δορυφορικών δεδομένων κ.λπ.). Όλα όμως τα δεδομένα είναι αυστηρά προσανατολισμένα σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα αναφοράς ώστε να είναι εφικτή η συνδυαστική αξιοποίησή τους.

Τα GIS αποτελούνται από τρία βασικά συστατικά τα οποία βρίσκονται σε ισορροπία και αλληλεξάρτηση. Τα τρία αυτά μέρη είναι:

- ❖ Τα μηχανήματα (hardware) που αποτελείται από την κεντρική μονάδα (CPU), τα περιφερειακά και το τερματικό (VDU).
- ❖ Το λογισμικό (software) που διακρίνεται σε έξι βασικές ομάδες:
 - Λογισμικό Εισαγωγής και Επαλήθευσης Στοιχείων
 - Λογισμικό Αποθήκευσης και Διαχείρισης Στοιχείων
 - Λογισμικό Μετασχηματισμού Στοιχείων

- Λογισμικό Παρουσίασης
- Λογισμικό Αναζητήσεων
- Λογισμικό Ανάλυσης Χώρου

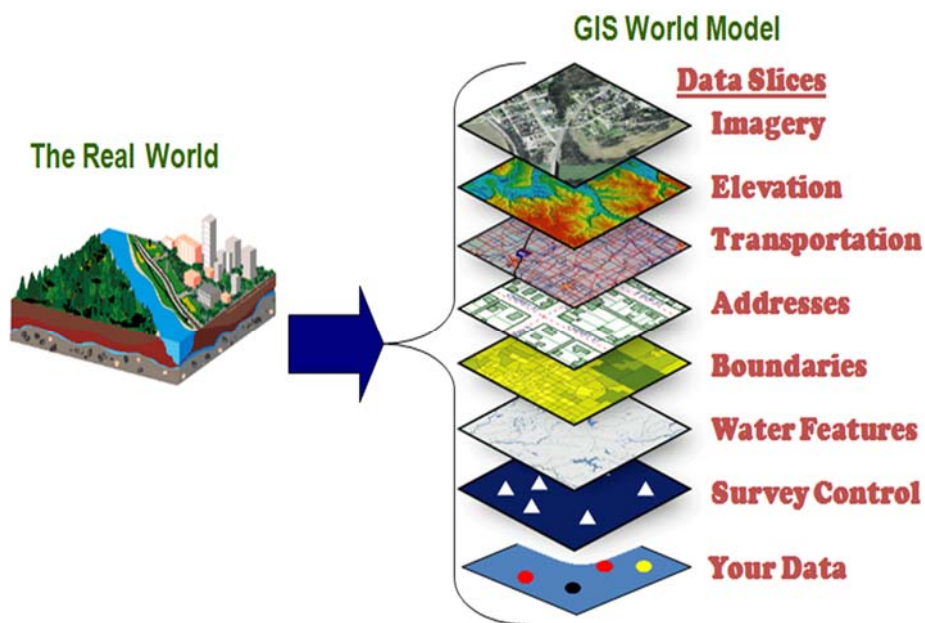
- ❖ Τα διαθέσιμα (resourceware), καλούνται να μετατρέψουν τα στοιχεία σε πληροφορία και χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθούν χρήσιμες πληροφορίες για το σύνολο των λογισμικών ενός GIS.

Βέβαια για να μπορέσει να αξιοποιηθεί ένα GIS υπάρχει ανάγκη συνεργασίας ανθρώπων διαφορετικών ειδικοτήτων και ύπαρξης εξειδικευμένου προσωπικού.

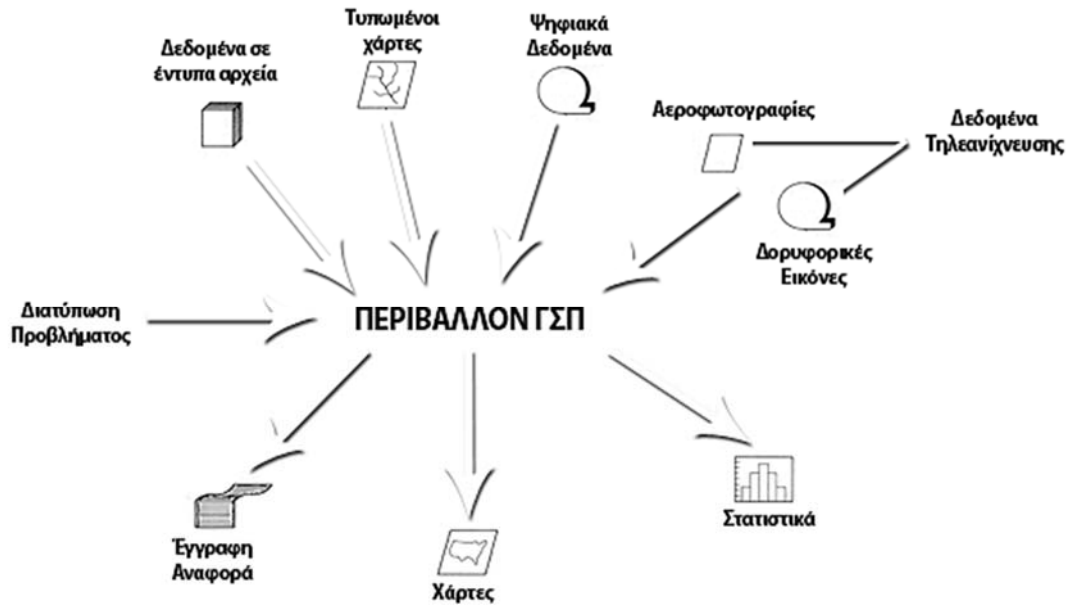
Τέλος, τα στάδια και οι βασικές διαδικασίες για την ολοκλήρωση και την εφαρμογή ενός GIS είναι:

- ❖ Ο καθορισμός του προβλήματος
- ❖ Η διαδικασία από στοιχεία σε πληροφορία
- ❖ Τα συμπεράσματα που παρουσιάζει το κάθε ένα

Στο Σχήμα 1.2 δίνεται μία αναπαράσταση της λειτουργίας ενός ΓΣΠ.



Σχήμα 1.1: Θεματικά επίπεδα πληροφοριών (layers) στο GIS. (Πηγή: <http://www.admitnetwork.org/work-packages/gis-gps/>)



Σχήμα 1.2 : Αναπαράσταση της λειτουργίας ενός ΓΣΠ. (Πηγή : <http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL8/>)

1.1.2 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή στα Συστήματα GIS

Η ανάγκη του ανθρώπου για συστηματική καταγραφή και ταξινόμηση των ιδιαίτερων στοιχείων της γήινης επιφάνειας, καθώς και η αναγκαιότητα διάθεσης ειδικών πληροφοριών που αφορούσαν στη γήινη επιφάνεια, ήταν οι αιτίες που οδήγησαν στην κατασκευή των πρώτων χαρτών, που απετέλεσαν την πρόδρομη μορφή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) (Χαλκιάς, 2006).

Τα GIS πέρασαν από την αρχή της δημιουργίας τους μέχρι σήμερα από διάφορα εξελικτικά στάδια, περίπου αντίστοιχα με τις γενιές των Η/Υ. Τα πρώτα συστήματα επεξεργασίας χωρικών δεδομένων έκαναν την εμφάνισή τους στο τέλος της δεκαετίας του '50 (Garner, 1993), ενώ το πρώτο "πραγματικό" Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα δημιουργήθηκε το 1962 από τον Roger Tomlinson στην Οττάβα του Καναδά και ονομάστηκε Canada Geographic Information System (CGIS). Το CGIS δημιουργήθηκε με σκοπό να παράγει στατιστικά αγροτικά στοιχεία για την αποτελεσματικότερη ανάπτυξη των χρήσεων γης στις αγροτικές περιοχές του Καναδά. Τα στοιχεία που περιείχε αναπτύσσονταν σε επτά χαρτογραφικά επίπεδα με τη μορφή των επάλληλων, αλλά ψηφιοποιημένων με ειδικό σαρωτή, χαρτών. Το CGIS σταμάτησε να χρησιμοποιείται στα μέσα της δεκαετίας του '90. Την ίδια περίπου εποχή ένας αρκετά μεγάλος αριθμός λογισμικών προϊόντων για αυτοματοποιημένη χαρτογραφία και GIS άρχισε να παράγεται στο Laboratory of Computer Graphics and Spatial Analysis του Πανεπιστημίου του Harvard. Η μεγάλη ανάπτυξη των

Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων συντελέστηκε τη δεκαετία του 1970 με την ίδρυση της εταιρείας Environmental Systems Research Institute (ESRI) η οποία παρήγαγε λογισμικό βασισμένο στις τεχνικές και εφαρμογές του Harvard. Το ακρωνύμιο GIS εισήχθη το 1970 και το πρώτο λογισμικό ΣΓΠ προέκυψε μόλις στα τέλη της δεκαετίας του '70 από το εργαστήριο της ESRI. Την δεκαετία του 1980 τα περισσότερα από τα πρώτα συστήματα GIS έπαυσαν να χρησιμοποιούνται, οπότε η κατασκευή Workstations (Sun, HP, Apollo, Intergraph) οδήγησε στη σύνταξη νέου λογισμικού σε λειτουργικό σύστημα UNIX. Αυτά τα υπολογιστικά συστήματα ήταν οι κύριες πλατφόρμες χρήσης των GIS γεγονός το οποίο άλλαξε ιδιαίτερα μετά από το 2000. Πλέον στην πλειονότητα τους τα προγράμματα GIS τρέχουν σε όλα σχεδόν τα λειτουργικά περιβάλλοντα με έμφαση στα Windows, με ιδιαίτερα φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον εργασίας και ιδιαίτερα χαμηλό κόστος ανάπτυξης και λειτουργίας.

1.1.3 Γιατί είναι σημαντικά τα συστήματα GIS – Πλεονεκτήματα

Σχεδόν οτιδήποτε συμβαίνει, γίνεται κάπου στη γη. Οι δραστηριότητες μας, στο μεγαλύτερο μέρος τους, περιορίζονται κοντά στην επιφάνεια της γης και επάνω σε αυτή. Δεν υπάρχει κανένα έργο που να ξεκίνησε χωρίς πρώτα να ρωτήσουμε το "ΠΟΥ;". Τα GIS σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν έτσι ώστε να μπορούν να απαντούν σε κρίσιμα και πολύπλοκα ερωτήματα, όπως η επιλογή ενός κατάλληλου χώρου για τη χωροθέτηση κάποιου έργου. Το GIS σήμερα δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να δημιουργούν τους δικούς τους ψηφιακούς χάρτες για την επίλυση πραγματικών προβλημάτων. Επίσης έχει εξελιχθεί σε ένα μέσο ανταλλαγής δεδομένων και συνεργασίας και πλέον αποτελεί μία συνεχείς, επικαλυπτόμενη και διαλειτουργική βάση δεδομένων παγκοσμίως, για σχεδόν όλα τα θέματα.

Πλεονεκτήματα

(Ασάρας κ.α., 2011)

1. Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή (π.χ. σε σκληρό δίσκο, δισκέτες κ.τ.λ.) με αποτέλεσμα αφενός μεν να καταλαμβάνουν μικρό χώρο, αφετέρου να είναι εύχρηστα.
2. Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι ποσοτικές πληροφορίες οι οποίες είναι δυνατόν να καταχωρούνται κατά οποιαδήποτε γεωγραφική μονάδα ή διάταξη π.χ. κατά νομό, κατά κοινοτική ή δημοτική περιφέρεια, κατά τοπογραφικό ή γεωλογικό φύλλο χάρτη, κατά συγκεκριμένο δίκτυο κανάβου κ.λπ.

3. Γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμούς αυτών. Υπάρχοντα δεδομένα είναι δυνατόν να ενσωματωθούν, με ή χωρίς αλλαγές και επεξεργασία, στη βάση δεδομένων, εφόσον είναι κατά χώρο προσανατολισμένα.
4. Τα υπάρχοντα ηλεκτρονικά όργανα και λογισμικά, επιτρέπουν διάφορες μορφές επεξεργασίας, όπως μετρήσεις, χαρτογραφικές επικαλύψεις, μετατροπές κ.λπ.
5. Γρήγορος και επαναλαμβανόμενος αναλυτικός έλεγχος ή εξέταση θεωρητικών μοντέλων για την εκτίμηση επιστημονικών κριτηρίων.
6. Οι διάφορες μορφές εξαγόμενων αποτελεσμάτων παράγονται πολύ γρήγορα, αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιοδήποτε γεωγραφική θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα.
7. Εύκολη ενημέρωση της βάσης δεδομένων η οποία επιτρέπει τον αποτελεσματικό εντοπισμό και ανάλυση των αλλαγών που έγιναν σε δύο ή περισσότερες περιόδους.
8. Πολλές μορφές ανάλυσης πραγματοποιούνται με πολύ μικρότερο κόστος απ' ότι με τις κλασσικές μεθόδους. Παραδείγματος χάρη, στην περίπτωση συνδυασμού πολλών θεματικών χαρτών ή του υπολογισμού των εκθέσεων και κλίσεων από έναν τοπογραφικό χάρτη.
9. Όλες οι αναλύσεις γίνονται κατά αντικειμενικό τρόπο, τα δε αποτελέσματα παράγονται αυτόματα.

1.1.4 Πεδία εφαρμογής GIS

Τα GIS χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων και τη λήψη αποφάσεων τόσο από εκπαιδευτικά ιδρύματα όσο και από κυβερνητικές οργανώσεις αλλά και από τον ιδιωτικό τομέα. Οι λειτουργίες ενός GIS μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπου υπάρχει ανάγκη για διαχείριση χωρικών δεδομένων ή ακόμα και για ανάλυση της χωρικής διάστασης των δεδομένων. Πολλοί κλάδοι μπορούν να επωφεληθούν από την τεχνολογία του GIS. Ενδεικτικά, μερικές από τις πλέον κοινές εφαρμογές των GIS είναι οι παρακάτω:

- ❖ Περιβαλλοντική Διαχείριση και Δασονομία
- ❖ Εκπαίδευση και Υγεία-Κοινωνική Πρόνοια
- ❖ Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης
- ❖ Πολεοδομία και Χωροταξία
- ❖ Κατασκευές έργων μεγάλης κλίμακας (π.χ. οδοποιία κ.α.)



- ❖ Διαχείριση Δικτύων Κοινής Ωφελείας (AM/ FM)
- ❖ Κτηματολόγιο και Κτηματογραφήσεις
- ❖ Τοπογραφία, Γεωδαισία και Υδρογραφία
- ❖ Γεωλογία και Υδρογεωλογία
- ❖ Δίκτυα Μεταφορών και Επικοινωνιών
- ❖ Πυροσβεστική, Δασική Υπηρεσία, Αστυνομία
- ❖ Προγραμματισμό δράσης έκτακτης ανάγκης
- ❖ Αυτόματη Πλοήγηση
- ❖ Διάθεση αποβλήτων
- ❖ Αρχαιολογία
- ❖ Γεωργία
- ❖ Ανάλυση Αγοράς

1.1.5 Εφαρμογή των GIS στη Γεωλογία

Μία από τις μεγαλύτερες και σπουδαιότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι γεωλόγοι και οι επιστήμονες της γης είναι η αφομοίωση, η διάδοση και η διαχείριση του μεγάλου εύρους ψηφιακών πληροφοριών και της συνεχώς αυξανόμενης ποσότητας αυτών. Στις γεωεπιστήμες χρειάζονται συστήματα που δεν παρέχουν μόνο ψηφιακά δεδομένα αλλά παρέχουν χρήσιμα εργαλεία που επιτρέπουν στους χρήστες να χειρίζονται, να αναζητούν, να επιλέγουν και να διασταυρώνουν οποιοδήποτε ετερογενή δεδομένα με αποδοτικότητα και ταχύτητα. Τα GIS είναι τα πιο ελπιδοφόρα και αποτελεσματικά συστήματα για τις συγκεκριμένες ανάγκες. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μεγάλη έκρηξη εφαρμογών GIS στις γεωεπιστήμες. Χρησιμοποιούνται στη γεωλογική χαρτογράφηση, σε εφαρμογές που σχετίζονται με την εμφάνιση και την κίνηση των υπόγειων υδάτων, στην εξερεύνηση και στην εξόρυξη ορυκτών, στη ταξινόμηση ζωνών κινδύνου κατολίσθησης, σε σεισμικές μελέτες κ.λπ.

Σύμφωνα με τους *Bonham & Graeme (1994)*, οι κυριότερες εφαρμογές των GIS μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες:

- χαρτογράφηση επικινδυνοτήτων (*hazard mapping*), που περιλαμβάνει την παραγωγή χαρτών επικινδυνότητας, κατολίσθησεων, χαρτών επικινδυνότητας ως προς την εκδήλωση θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας (τσουνάμι), χαρτών σεισμικής επικινδυνότητας, ζωνοποίηση αναμενόμενων επιδράσεων κ.α.,
- επιλογή καταλληλότητας χώρων για συγκεκριμένες χρήσεις,
- εκτίμηση πλουτοπαραγωγικών πηγών,

- διερεύνηση πιθανών συσχετίσεων και αιτιών μεταξύ δομημένων και μη δομημένων συνόλων πληροφορίας
- διερεύνηση των χωρικών συσχετίσεων μεταξύ των διαφόρων δεδομένων κατά την γεωλογική έρευνα μιας περιοχής.

Κάποιες από τις περιπτώσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί και εφαρμοστεί τα GIS για την επίλυση διαφορετικών γεωλογικών προβλημάτων σε διάφορα μέρη του κόσμου είναι η χαρτογράφηση μετρήσεων βαρύτητας και μαγνητικού πεδίου στο Mexico, ο προσδιορισμός και η πρόβλεψη γεωλογικά επικίνδυνων περιοχών στην Καλιφόρνια και η εξερεύνηση πετρελαίου στα Κεντρικά Απέννινα της Νότιας Ιταλίας. Τα GIS επίσης έχουν εφαρμοστεί στον τομέα της περιβαλλοντικής γεωλογίας για την μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μεταλλευμάτων βαρέων μετάλλων όπως το Cu, Zn και Fe στην Τουρκία. Τέλος, η μηχανική γεωλογία είναι ένας άλλος τομέας που εφαρμόστηκαν τα GIS για την αντιμετώπιση των γεωπεριβαλλοντικών προβλημάτων στην αστική ανάπτυξη.

1.2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η Τεχνική Γεωλογία αποτελεί νέο επιστημονικό κλάδο που ουσιαστικά διαπερνά δύο σαφώς καθορισμένους χώρους, της γεωλογικής επιστήμης και της μηχανικής. Έτσι, χρειάζεται πρωταρχικά ο σαφής καθορισμός του αντικειμένου για να υπάρχει διεθνής αποδοχή, δεδομένου ότι στις διάφορες χώρες επικρατούν διαφορετικές αντιλήψεις και υπάρχει διαφορετικό υπόβαθρο.

Σύμφωνα με τη *Διεθνή Ένωση Τεχνικής Γεωλογίας και Περιβάλλοντος* η Τεχνική Γεωλογία αναφέρεται στην έρευνα, μελέτη και επίλυση των τεχνικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ της γεωλογίας και των έργων-δραστηριοτήτων του ανθρώπου, καθώς επίσης στην πρόγνωση και στην ανάπτυξη μέτρων για την αποτροπή ή αντιμετώπιση των γεωλογικών επικινδυνοτήτων.

Στις αρχές του 1930 αναγνωρίστηκε η ανάγκη για μεγαλύτερη γεωλογική πληροφόρηση κατά τη θεμελίωση μεγάλων τεχνικών έργων. Σε αυτό βέβαια συνέλαβε η αστοχία μεγάλων τεχνικών έργων και η εκδήλωση φυσικών καταστροφικών φαινομένων.

Η Τεχνική Γεωλογία αναφέρεται στις εφαρμογές της γεωλογίας στη μελέτη, κατασκευή και λειτουργία των διαφόρων τεχνικών έργων με την εκτίμηση των τεχνικογεωλογικών

συνθηκών και τη πρόγνωση της συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών και υλικών, αλλά και στη διατήρηση της ισορροπίας του γεωλογικού περιβάλλοντος που τείνει να ανατραπεί λόγω των ανθρωπογενών παρεμβάσεων και των καταστροφικών γεωλογικών φαινομένων (Κούκης, 1993).

Συμπερασματικά, η Τεχνική Γεωλογία παίζει, σε συνδυασμό με την Εδαφομηχανική και τη Βραχομηχανική, σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό των τεχνικών έργων, ανάλογα με την κλίμακα του έργου και την πολυπλοκότητα της περιοχής και έχει σαν κύριο στόχο την ερμηνεία των γεωλογικών συνθηκών μέσω παραμέτρων που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν ή έστω να κατανοηθούν από το μηχανικό. Είναι ο πλέον απαιτητικός κλάδος των γεωεπιστημών λόγω του εύρους των γνώσεων που απαιτούνται για επιτυχή πρακτική.

1.3 ΣΚΟΠΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο την ψηφιοποίηση και οπτικοποίηση των γεωχωρικών δεδομένων του φράγματος Μαρμαρά Ακροποτάμου Ν. Καβάλας, καθώς επίσης και την έρευνα των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή του φράγματος, εφόσον πρόκειται για ένα μεγάλο τεχνικό έργο.

Σκοπός της εργασίας λοιπόν είναι η διαχείριση των στοιχείων και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων να γίνει μέσω της χρήσης των GIS. Η γεωλογική πληροφορία αποτυπώνεται σε χάρτες (ψηφιακούς) με την υιοθέτηση συμβόλων και τεχνικών. Οι γεωολογικοί και ειδικότερα οι τεχνικογεωολογικοί χάρτες αποτελούν το κύριο μέσο επικοινωνίας και ροής μεταξύ των διαφόρων επιστημών (Van Westen, 2004).

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΕΡΓΟΥ

Το φράγμα Μαρμαρά Ακροποτάμου ανήκει στο νομό Καβάλας μεταξύ των ορέων Παγγαίου και Συμβόλου. Πιο συγκεκριμένα βρίσκεται στους πρόποδες του όρους Συμβόλου επί του ποταμού Μαρμαρά (Σχήμα 2.1).

Ο ταμιευτήρας του φράγματος τροφοδοτείται από την Πιέρια Λεκάνη, η οποία καταλαμβάνει το δυτικό τμήμα του νομού και εκτείνεται από τις ΒΑ παρυφές του Παγγαίου και με ΒΑ-ΝΔ ανάπτυξη φτάνει μέχρι τις ακτές του Β.Αιγαίου. Η γεωγραφική θέση και το ανάγλυφο της λεκάνης τροφοδοσίας φαίνεται στα Σχήματα 2.2 και 2.3.

Η θέση θεμελίωσης του φράγματος τοποθετείται 10 km περίπου ΝΝΑ από την Κοινότητα Ακροποτάμου και 4 km περίπου ΒΒΔ από τα Λουτρά Ελευθερών. Ο Ακροπόταμος βρίσκεται περίπου 10 km από τη θέση του φράγματος.

Η απόσταση του φράγματος από τη θάλασσα δεν ξεπερνά τα 6 km και η απόστασή του από την πόλη της Καβάλας τα 4.5 km.

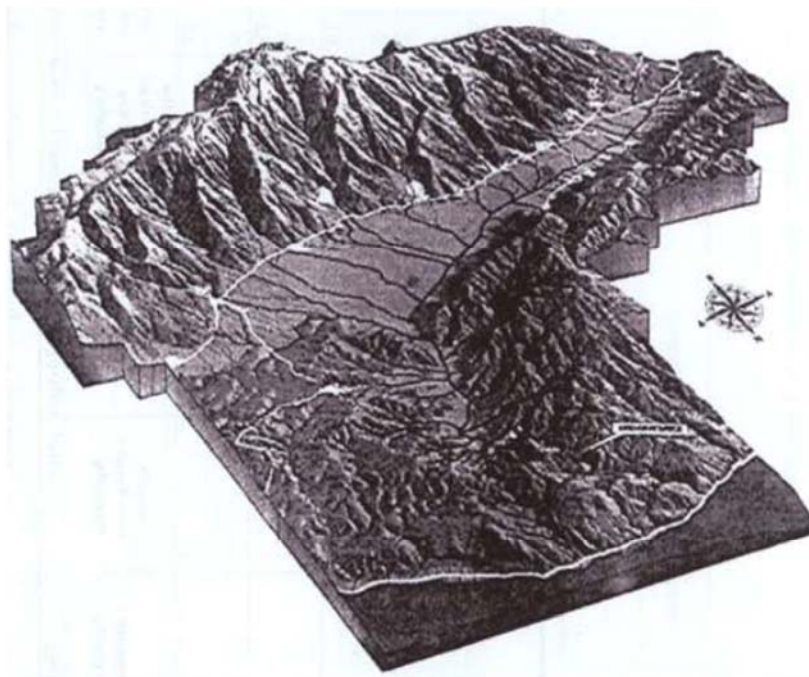
Η περιοχή μελέτης υπάγεται διοικητικά στον Δήμο Ορφανίου της Περιφερειακής Ενότητας Καβάλας και ειδικότερα στα διοικητικά όρια της Δημοτικής Ενότητας Ακροποτάμου.



Σχήμα 2.1 : Γεωγραφική θέση του φράγματος Μαρμαρά Ακροποτάμου. (Πηγή χάρτη Google Earth τροποποιημένος από την συγγραφέα)



Σχήμα 2.2: Γεωγραφική θέση λεκάνης τροφοδοσίας του ταμιευτήρα του φράγματος Ακροποτάμου. (Πηγή: Χάρτη: Google Earth τροποποιημένο από την συγγραφέα)



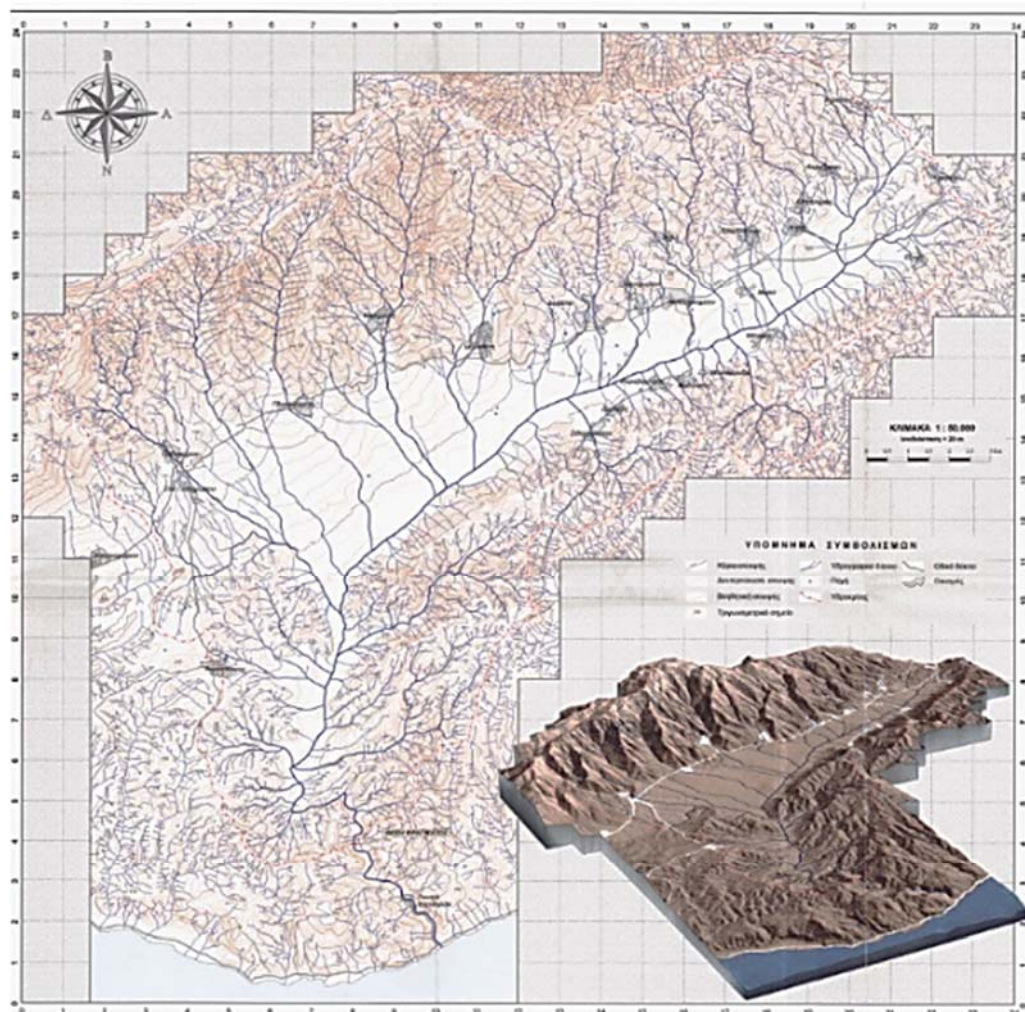
Σχήμα 2.3 : Φωτορεαλιστική απεικόνιση αναγλύφου της λεκάνης τροφοδοσίας του ταμιευτήρα του φράγματος. (Πηγή: Διπλωματική εργασία Μπαμπατσάνη Α., "Το φράγμα Μαρμαρά Ακροποτάμου: Διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου και των δανειοθαλάμων")

2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Το μέγιστο υψόμετρο της ευρύτερης περιοχής ανέρχεται στα 1956 m στην κορυφή «Αυγό» του όρους Παγγαίου ενώ τα χαμηλότερα υψόμετρα βρίσκονται κοντά στην κοίτη.

Η περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί ημιορεινή εφόσον το 65% της συνολικής περιοχής βρίσκεται σε υψόμετρα κάτω των 500 m ενώ αντίθετα ο ορεινός όγκος με υψόμετρα πάνω από 500 m καλύπτει μόνο το 35%. Οι μέγιστες κλίσεις συναντώνται στην περιοχή του Παγγαίου, στο βόρειο τμήμα και παίρνουν τιμές από 45%-50%. Το πεδινό τμήμα της λεκάνης τροφοδοσίας χαρακτηρίζεται από ήπιες κλίσεις 0%-5%, ενώ στην περιοχή του Συμβόλου που καλύπτει τη λεκάνη κατά μήκος στο νότιο τμήμα της, οι κλίσεις δεν υπερβαίνουν το 25%-30% (Κακλής Τ., 2011).

Η περιοχή διασχίζεται από τον ποταμό Μαρμαρά ο οποίος ακολουθώντας μια γενική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ κινείται παράλληλα και σε επαφή με τις παρυφές του όρους Συμβόλου. Στην περιοχή Μονόλιθος κάμπτεται προς Ν κατευθυνόμενος προς τον Στρυμονικό Κόλπο στον οποίο εκβάλλει στο ύψος των Λουτρών Ελευθερών. Στον Μαρμαρά συμβάλλουν πολλά ρέματα τα οποία δημιουργούνται στο όρος Παγγαίο και στο όρος Σύμβολο. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του ποταμού είναι η παρουσία πολλών μαιάνδρων κατά μήκος της κοίτης, οι οποίοι είναι συνυφασμένοι με την τεκτονική της περιοχής (σχιστότητα, διακλάσεις, ρήγματα). Η μαιανδρική πορεία που ακολουθεί ο ποταμός Μαρμαράς αρχίζει από την είσοδο του ταμειευτήρα και αλλάζοντας συνεχώς διεύθυνση ροής καταλήγει στην ακτή του Β. Αιγαίου. Στο Σχήμα 2.4 παρατίθεται ο Τοπογραφικός χάρτης της λεκάνης τροφοδοσίας όπου φαίνεται το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 2.4 : Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. (Πηγή : Τοπογραφικός Χάρτης Λεκάνης Τροφοδοσίας από "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995).

2.3 ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Σύμφωνα με τους Γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, φύλλα Λουτρά Ελευθέρων, Νικήσιανη και τη διαθέσιμη σχετική βιβλιογραφία (*Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, Δ. Μουντράκης, 2010*), στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος εντοπίζονται λιθολογικοί σχηματισμοί, που ανήκουν στην Ελληνική Ενδοχώρα και πιο συγκεκριμένα στην γεωτεκτονική ζώνη της Ροδόπης.

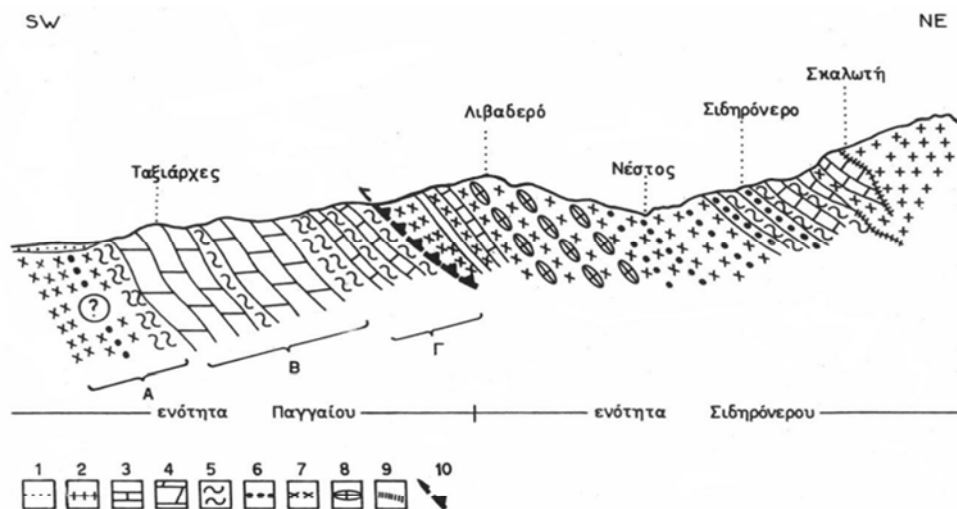
Η μάζα της Ροδόπης χαρακτηρίζεται από έλλειψη σαφούς στρωματογραφίας και γενικότερα ιζηματογενών πετρωμάτων ενώ αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα.

Διακρίνεται σε δύο τεκτονικές μονάδες :

(*Paranikolaou & Panagoroulos 1981, όπως αναφέρει ο Μουντράκης, 2010*)

- Την ανώτερη τεκτονική ενότητα του Σιδηρόνερου στα βόρεια κατά μήκος των ελληνοβουλγαρικών συνόρων. Αποτελείται κυρίως από ορθογνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και μιγματίτες και είναι η παλαιότερη ενότητα των πετρωμάτων.
- Την κατώτερη τεκτονική ενότητα του Παγγαίου που καταλαμβάνει τη δυτική, νοτιοδυτική Ροδόπη. Αποτελείται από έναν κατώτερο ορίζοντα με ορθογνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες, έναν μεσαίο ορίζοντα μαρμάρων μεγάλου πάχους και ένα κατώτερο ορίζοντα με εναλλαγές σχιστολίθων και μαρμάρων. Θεωρείται η νεότερη ενότητα πετρωμάτων.

Στο Σχήμα 2.5 απεικονίζεται μια γεωλογική τομή της μάζας της Ροδόπης με τις δύο ενότητες που την περιβάλλουν.



Σχήμα 2.5: Σχηματική Γεωλογική τομή στην περιοχή Σιδηρόνερου Δράμας όπου απεικονίζονται η λιθοστρωματογραφική διαδοχή και η τεκτονική θέση των δύο ενότητων Σιδηρόνερου και Παγγαίου.

1: προσχώσεις, 2: γρανίτες, 3: ενστρώσεις μαρμάρων, 4: ορίζοντας μαρμάρου μεγάλου πάχους, 5: μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, 6: αμφιβολίτες, 7: γνεύσιοι, 8: οφθαλμογνεύσιοι, 9: φαινόμενα διείδυσης του γρανίτη, 10: πιθανή επώθηση, Α, Β, Γ: οι τρεις ορίζοντες της ενότητας του Παγγαίου, κατώτερος, μεσαίος, ανώτερος, ?: πιθανή συνέχιση κάτω από τις προσχώσεις του κατώτερου ορίζοντα Α, ο οποίος παρατηρείται επιφανειακά σε νοτιότερες περιοχές. (Πηγή : Διδακτορική διατριβή Θωμαΐδου Ε., "Η γεωλογική δομή της νήσου Λέσβου")

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην ενότητα του Παγγαίου. Δομείται κυρίως από το γρανοδιορίτη της Καβάλας και από μάρμαρα τα οποία υπέρκεινται αυτού. Επιπλέον, σε διάφορες θέσεις εμφανίζονται κορρήματα τόσο από το γρανοδιορίτη, όσο και από τα μάρμαρα, ενώ στη κοίτη του ποταμού αναπτύσσονται ποτάμιες αποθέσεις.

Ο κατώτερος ορίζοντας της ενότητας Παγγαίου συγκροτείται από μία σχιστογενευσιακή σειρά όπου συναντώνται κυρίως γνεύσιοι και γενευσιακοί σχιστόλιθοι, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, πρασινοσχιστόλιθοι και αμφιβολίτες ενώ στο ανώτερο τμήμα της σειράς υπάρχουν εναλλαγές μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και μαρμάρων. Η σειρά των μεταμορφωμένων πετρωμάτων συναντάται σε εκτεταμένες περιοχές στις νότιες παρυφές του Παγγαίου και στις νότιες του όρους Συμβόλου. Η κατώτερη αυτή σειρά μεταβαίνει στη σειρά των μαρμάρων με την παρουσία αμφιβολιτών.

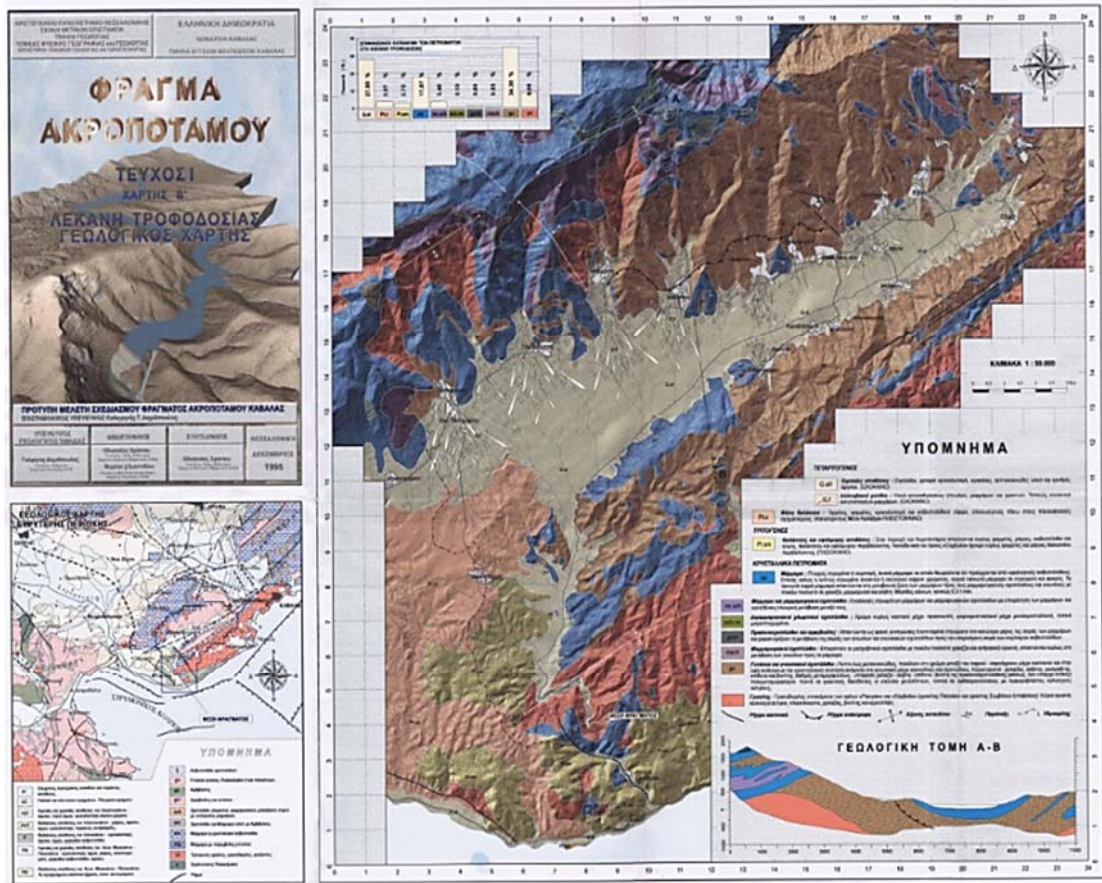
Τα μάρμαρα της περιοχής δεν χαρακτηρίζονται από έντονη στρώση. Αντίθετα είναι συμπαγή και λευκά και θεωρούνται ότι προέρχονται από υφαλογενείς ασβεστόλιθους. Επίσης, συναντώνται μάρμαρα καλώς ή λεπτώς στρωμένα, ανοιχτού ή τεφρού χρώματος με χαρακτηριστική ταινιωτή δομή. Τα συγκεκριμένα μάρμαρα απαντώνται στη μεταβατική ζώνη των μαρμάρων και της υποκείμενης σχιστογενευσιακής σειράς.

Σε τεκτονική επαφή με τα μάρμαρα βρίσκεται ο γρανοδιορίτης της Καβάλας ο οποίος αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Η τεκτονική αυτή επαφή θεωρείται ότι ανήκει στη τεκτονική γραμμή του Στρυμόνα. Τα γρανιτοειδή διεισδύουν στην ενότητα του Παγγαίου και χαρακτηρίζονται από μία γενική ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση ανάπτυξης. Η διείσδυση του πλουτωνίτη δημιουργεί συχνά φαινόμενα επαφής ενώ ταυτόχρονα τα περιβάλλοντα πετρώματα έχουν υποστεί τεκτονική παραμόρφωση με αποτέλεσμα τη δημιουργία προσανατολισμένης υφής, πτυχών και ζωνών μυλωνιτίωσης. Τα περιφερειακά τμήματα του γρανοδιορίτη στα οποία ανήκει και η περιοχή των έργων είναι σχιστοποιημένα και βρίσκονται σε συμφωνία με τα περιβάλλοντα μεταμορφωμένα πετρώματα, ενώ στο εσωτερικό τμήμα του γρανίτη παρουσιάζει τυχαίο προσανατολισμό των ορυκτολογικών συστατικών του.

Στην ευρύτερη περιοχή των έργων εμφανίζονται κορρήματα που προέρχονται τόσο από τον γρανοδιορίτη, όσο και από τα μάρμαρα. Τα κορρήματα που προέρχονται από τον γρανοδιορίτη έχουν μικρό πάχος και εμφανίζονται κυρίως στη βάση απότομων πρανών κατά μήκος του δρόμου. Τα κορρήματα που προέρχονται από τα μάρμαρα έχουν σημαντικά μεγαλύτερη έκταση και καλύπτουν ουσιαστικά ολόκληρο το πρανές στη νότια περιοχή των έργων (Λημόπουλος, 1997).

Τέλος, κατά μήκος του ποταμού εμφανίζονται διάφορες ποτάμιες αποθέσεις από άμμους, κροκάλες έως και ογκόλιθους.

Στο Σχήμα 2.6 παρατίθεται ο Γεωλογικός Χάρτης της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 2.6 : Γεωλογικός Χάρτης λεκάνης τροφοδοσίας και περιοχής του φράγματος. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καθάλας", 1995)

2.4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Τα πετρώματα της Ροδόπης εμφανίζονται μεταμορφωμένα και συγκροτούν αναμφίβολα μια παλιά (Παλαιοζωϊκή) κρυσταλλοσχιστώδη μάζα. Οι πρωτόλιθοι των μεταμορφωμένων πετρωμάτων ήταν είτε παλαιοζωϊκοί γρανίτες που δημιούργησαν αργότερα τους γνεύσιους είτε ιζηματα παλαιοζωϊκά που έδωσαν τα ανάλογα γνευσιοσχιστολιθικά πετρώματα και τα μάρμαρα.

Τρεις φάσεις πτυχώσεων έχουν μέχρι τώρα αναγνωρισθεί στη μάζα της Ροδόπης (Μουντράκης, 2010)

- Η πρώτη φάση προκάλεσε πτυχές ισοκλινείς, συμμεταμορφικές, γενικής αξονικής διεύθυνσης B-N. Η ηλικία της υποθέτεται ότι είναι Παλαιοζωϊκή σύγχρονη της πρώτης κύριας μεταμόρφωσης του κρυσταλλοσχιστώδους.
- Η δεύτερη φάση με πτυχές υποίσοκλινείς και άξονες διεύθυνσης BA-NΔ έως ABA-ΔNΔ συνοδεύεται από μια πολύ εμφανή γράμμωση που προέρχεται από την τομή της Παλαιοζωϊκής φύλλωσης των πετρωμάτων με μια δεύτερη σχιστότητα που συνόδευε αυτή τη δεύτερη φάση πτυχώσεων. Οι δομές της φάσης αυτής είναι εκείνες που κυριαρχούν στα πετρώματα της Ροδόπης και τα περισσότερα πλουτωνικά σώματα εμφανίζονται προσανατολισμένα κατά τη διεύθυνση των αξόνων αυτών κατέχοντας κυρίως τους πυρήνες των μεγααντικλίνων.
- Η Τρίτη φάση πτυχώσεων έχει πτυχές ανοιχτές διεύθυνσης αξόνων ΒΔ-ΝΑ που επαναπτυχώνουν τις πρωγενέστερες πτυχές.

Η ενότητα Παγγαίου, όπου ανήκει και η περιοχή του έργου, αποτελούμενη κατά το μεγαλύτερο μέρος από μάρμαρα, συγκροτεί ένα τυπικό μεταμορφικό πυρήνα (metamorphic core complex) ο οποίος αποκαλύπτεται κάτω από τα τεκτονικά καλύμματα του Σιδηρόνερου που είναι βαθύτεροι μεταμορφικοί ορίζοντες και από τους επίσης βαθύτερους ορίζοντες της Σερβομακεδονικής μάζας.

Στην περιοχή των έργων εμφανίζονται δύο τύποι ρηγμάτων:

- ο Τα κατακόρυφα ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και μεγάλη γωνία κλίσης που κυμαίνεται από 70° έως 90° .
- ο Τα υποοριζόντια ρήγματα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και μικρή γωνία κλίσης που κυμαίνεται από 10° έως 35° .

Οι δύο τύποι ρηγμάτων επηρεάζουν διαφορετικά την ποιότητα της βραχώμαζας γι' αυτό και έγινε αυτή η διάκριση παρ' όλο που γεωλογικά είναι κάπως αυθαίρετη. Η μεγαλύτερη διαφορά είναι ο τρόπος που παραμορφώνουν το υλικό. Στα κατακόρυφα ρήγματα η παραμόρφωση είναι ψαθυρή με θραύση υλικού και δημιουργία μιας ζώνης κατακλαστίτη ενώ τα υποοριζόντια ρήγματα χαρακτηρίζονται από μικρή γωνία κλίσης και πλαστική παραμόρφωση (Δημόπουλος, 1997). Τα υποοριζόντια ρήγματα ανιχνεύονται δύσκολα λόγω της μικρής κλίσης, παρ' όλα αυτά διαπιστώθηκε ότι έχουν μεγάλη συχνότητα εμφάνισης. Συμπερασματικά για την νεοτεκτονική και τη σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής έχουν καταλήξει στα εξής (Δημόπουλος 1997):

- Κυρία τεκτονική δομή στη περιοχή των έργων δεν υπάρχει. Οι οικογένειες ρηγμάτων που εμφανίζονται συνδέονται με τις μεγάλες δομές του ευρύτερου χώρου και αποτελούν παράλληλες και συνοδές διαρρήξεις αυτών.
- Η ομάδα των υποοριζόντιων ρηγμάτων που διαχωρίζει τα μάρμαρα από το γρανοδιόριτη στην περιοχή του φράγματος ανήκουν στη τεκτονική γραμμή του Στρυμόνα και σύμφωνα με τον *Dinter* από το Άνω Πλειόκαινο τα ρήγματα μικρής γωνίας γίνονται ανενεργά.
- Τα Α-Δ ρήγματα είναι τα σημαντικότερα διότι συνδέονται με τους σύγχρονους σεισμούς.
- Τα Β-Ν ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης παρουσιάζουν επαναδραστηριοποίηση. Στην περιοχή των έργων εμφανίζονται αντίστοιχα ρήγματα κυρίως κάθετα στον άξονα θεμελίωσης του φράγματος παράλληλα με τη κοίτη του ποταμού.
- Τα ΒΔ- ΝΑ ρήγματα μεγάλης γωνίας κλίσης έχουν την πιο συχνή εμφάνιση στην περιοχή των έργων και αποτελούν την μετεξέλιξη της παραμόρφωσης στη γραμμή Στρυμόνα. Στην περιοχή των έργων αυτής τη γεωμετρίας ρήγματα αποτελούν μικρές δομές με μικρό κίνδυνο επαναδραστηριοποίησης.
- Τα ΒΑ- ΝΔ ρήγματα έχουν και αυτά συχνή εμφάνιση στη περιοχή των έργων και η μεγαλύτερη δομή με αυτή τη γεωμετρία εμφανίζεται στην είσοδο της σήραγγας. Τα ρήγματα αυτά συνδέονται με το ρήγμα Καβάλας- Ξάνθης – Κομοτηνής, το οποίο αν και δεν παρουσιάζει αξιόλογη σεισμική δραστηριότητα θεωρείτε ότι το ρήγμα στην είσοδο της σήραγγας παρουσιάζει μεγαλύτερη πιθανότητα επαναδραστηριοποίησης από τα άλλα ρήγματα στην περιοχή των έργων.
- Τέλος η πιθανότητα ενεργοποίηση των υποοριζόντιων ρηγμάτων προϋποθέτει την ενεργοποίηση των ρηγμάτων με μεγάλη γωνία κλίσης. Επίσης η πιθανότητα ενεργοποίησης είναι συνάρτηση με το σημερινό πεδίο των τάσεων και του σεισμικού κινδύνου που δεν είναι ανησυχητικός.

3 ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΤΑΚΛΥΣΕΩΣ

3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

Η λεκάνη κατάκλυσης αποτελεί τμήμα της λεκάνης τροφοδοσίας (Πιέρια Λεκάνη) του φράγματος Μαρμαρά Ακροποτάμου, η οποία όπως αναφέρθηκε παραπάνω οριοθετείται από τους δύο μεγάλους ορεινούς όγκους, του όρους Συμβόλου και του Παγγαίου και παρουσιάζει ΒΑ-ΝΔ προσανατολισμό με αρκετά επίμηκες σχήμα.

Η λεκάνη κατάκλυσης καταλαμβάνει το ΝΑ άκρο της λεκάνης τροφοδοσίας. Πιο συγκεκριμένα βρίσκεται σε απόσταση 15 km νότια από την κοινότητα Ακροποτάμου επί του ποταμού Μαρμαρά και 4 km βόρεια των Λουτρών Ελευθερών.

Στον Πίνακα 1 παρατίθενται τα πιο σημαντικά τεχνικά στοιχεία του ταμιευτήρα.

Πίνακας 1 : Τεχνικά στοιχεία ταμιευτήρα φράγματος Μαρμαρά Ακροποτάμου.

Ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα	$4 \times 10^6 \text{ m}^3$
Συνολικός όγκος αποθήκευσης στην ΑΣΛ	$5 \times 10^6 \text{ m}^3$
Μέγιστο βάθος από την επιφάνεια της κοίτης	44 m
Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας ταμιευτήρα (ΑΣΛ)	60 m
Μέγιστη Στάθμη Πλημμύρας (ΜΣΠ)	62,8 m
Επιφάνεια ταμιευτήρα ΑΣΛ	$\sim 27000 \text{ m}^2$

3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΕΩΣ

Για την αποσαφήνιση της γεωλογικής δομής και της τεκτονικής της λεκάνης κατάκλυσης εκπονήθηκε στα πλαίσια της προμελέτης χαρτογράφηση της περιοχής σε κλίμακα 1:5000. Σύμφωνα με τη παραπάνω χαρτογράφηση οι πετρολογικοί σχηματισμοί από τους οποίους αποτελείται η λεκάνη κατάκλυσης είναι:

- Πυριγενή πετρώματα (Γρανοδιοριτικός βλαστομυλωνίτης)
- Μάρμαρα
- Ολοκαινικές αποθέσεις, σχηματισμοί Νεογενούς-Τεταρτογενούς, Αλπικοί σχηματισμοί

Όλοι οι σχηματισμοί της λεκάνης, παλαιότεροι και νεότεροι, έχουν επηρεαστεί από μια σειρά διαρρήξεων μιας κύριας ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης και μιας δευτερεύουσας ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρηγμάτων από τις οποίες διαμορφώθηκε και η σημερινή μορφή της λεκάνης.

Στο Παράρτημα Ι, στον Χάρτη 1 παρατίθεται ο Γεωλογικός χάρτης του ταμιευτήρα.

3.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΕΩΣ

Η λεκάνη κατάκλυσης όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αποτελεί το ΝΑ τμήμα της Πιέριας λεκάνης και αναπτύσσεται στη βραχώδη διαδρομή του ποταμού Μαρμαρά. Οι κλίσεις των πρανών χαρακτηρίζονται ήπιες, με μεγαλύτερες κλίσεις στο δεξιό αντέρεισμα της λεκάνης από 27° έως 36° ενώ στις άλλες θέσεις της λεκάνης οι κλίσεις των πρανών είναι μικρότερες των 30°.

Τα πετρώματα της περιοχής (γρανιτικά, μάρμαρα) έχουν υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση που όπως είναι γνωστό αυξάνει την πιθανότητα να παρουσιαστούν κατολισθήσεις στα φυσικά πρανή. Το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης κατάκλυσης αναπτύσσεται στο βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής. Ο γρανιτικός βλαστομυλωνίτης δεν αποτελεί κίνδυνο για την ασφάλεια του έργου καθώς η τεκτονική του καταπόνηση περιορίζεται στην επιφάνεια ενώ στις περιοχές όπου διακόπτεται από μικροασυνέχειες υπάρχει μεγάλη τραχύτητα στις επιφάνειες αποχωρισμού και το υλικό συμπεριφέρεται ως έδαφος με πολύ μεγάλη γωνία τριβής. Τα χαλαρά κροκαλοπαγή και τα αργιλικά υλικά παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αποκοπής μικροτεμαχίων, τα οποία θα επιχώσουν τη λεκάνη χωρίς να προκαλέσουν επικίνδυνες κατολισθήσεις για τον ταμιευτήρα και το φράγμα. Τέλος, τα τμήματα τα οποία αποτελούνται από τα χαλαρά λατυτοπαγή και υλικά κώνων κορρημάτων έχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο για κίνηση τεμαχίων με μεγαλύτερες πιθανότητες να προκαλέσουν κατολισθητικά φαινόμενα χωρίς όμως ο κίνδυνος που δημιουργούν για το φράγμα να είναι μεγάλος.

Στο Παράρτημα Ι, στον Χάρτη 2, παρατίθεται ο χάρτης μορφολογίας του ταμιευτήρα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

3.4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΕΩΣ

Οι διάφορες πτυχωσιγενείς και ρηξιγενείς δομές που αναπτύχθηκαν στα πετρώματα της περιοχής στα διάφορα στάδια δράσης συμπιεστικών και εφελκυστικών δυνάμεων καθώς και η ποιότητα των πετρωμάτων είναι σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την στεγανότητα της λεκάνης κατάκλυσης αλλά και ολόκληρου του φράγματος.

Επιπλέον η στεγανότητα της λεκάνης πιστοποιείται από τις παρακάτω διαπιστώσεις (Δημόπουλος 1997):

- 1) Στα ιζήματα της λεκάνης αναπτύσσεται ελεύθερος ορίζοντας με υψηλή υδροστατική στάθμη.
- 2) Στο αριστερό αντέρεισμα της λεκάνης εκδηλώνονται πηγές υπερχειλίσης που τροφοδοτούν τον ποταμό και αυξάνουν την παροχή του.
- 3) Η στάθμη του υπόγειου νερού στη βραχώμαζα ταυτίζεται με τη στάθμη του ποταμού Μαρμαρά.
- 4) Μικρές διαφυγές του νερού μπορούν να προκύψουν μόνο μέσα από τις ρηξιγενείς ζώνες.
- 5) Δεν παρατηρείται μείωση της παροχής του ποταμού από τη θέση εισόδου του στη λεκάνη μέχρι και τη θέση του φράγματος.
- 6) Η περατότητα του γρανιτικού βλαστομυλωνίτη είναι μικρότερη από την $K 10^{-6}$ m/sec και μειώνεται προς το βάθος σε $K 10^{-8}$ m/sec.
- 7) Εντός της Λεκάνης κατάκλυσης δεν συναντώνται καρστικοί σχηματισμοί μαρμάρων.

Συμπερασματικά διατυπώνεται ότι ελάχιστες πιθανότητες υπάρχουν να μη γεμίσει κάποια χρονική στιγμή ο ταμιευτήρας, στον οποίο θα έρχονται σημαντικά πλεονάσματα νερού που θα αποφορτίζονται από τα έργα εξόδου του ταμιευτήρα και κυρίως από τον υπερχειλιστή του φράγματος.

4 ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

4.1 ΕΚΛΟΓΗ ΑΞΟΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Στα πλαίσια της προκαταρκτικής μελέτης προτάθηκε με κριτήρια γεωμορφολογικά και γεωλογικά, ως κατάλληλη θέση για την κατασκευή του φράγματος, η θέση στους πρόποδες του όρους Συμβόλου επί του ποταμού Μαρμαρά και σε απόσταση 4 km ανάντη των Λουτρών Ελευθερών.

Στη θέση αυτή προκρίθηκε η κατασκευή χωμάτινου φράγματος με αργιλικό πυρήνα, με στέψη στο υψόμετρο των 68 m και ανώτατη στάθμη λειτουργίας της λίμνης (ΑΣΛ) στο υψόμετρο των 60 m. Το ελάχιστο πλάτος της στέψης είναι 9 m και το συνολικό μήκος του φράγματος στη στέψη είναι τα 162,5 m.

Τα κυριότερα τεχνικά στοιχεία του φράγματος και των συνοδών έργων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 που ακολουθεί:

Πίνακας 2 : Χαρακτηριστικές παράμετροι του φράγματος και των συνοδών έργων. (Πηγή : Διπλωματική εργασία Μπαμπατσάνη Α., "Το φράγμα Μαρμαρά Ακροποτάμου: Διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου και των δανειοθαλάμων")

Θέση του Έργου:		Επί του ποταμού «Μαρμαρά» και σε απόσταση 15 χιλιομέτρων Ν της Κοινότητας Ακροποτάμου
Χαρακτηριστικές υψομετρικές στάθμες (m)	Κοίτη χειμάρρου (απόλυτο υψ.)	22.50
	Στέψη φράγματος (απόλυτο υψ.)	65.00
	Στέψη υπερχείλιση	60.00
	Διάβρωση προσαγωγής υπερχείλιση	57.00
	Πυθμ. αγωγού εκτροπής ανάντη	27.00
	Πυθμ. αγωγού εκτροπής κατάντη	23.00
Χαρακτηριστικές υψομετρικές στάθμες νερού (m)	Ελάχιστη στάθμη (Υδροληψία - εκκένωση)	45.00
	Μέγιστη στάθμη σε ηρεμία	60.00
	Μέγιστη στάθμη πλημμύρα	62.80
Χαρακτηριστικοί όγκοι (m ³ x 10 ⁶)	Μέγιστη χωρητικότητα	5.10
	Ωφέλιμη χωρητικότητα	4.32
	Ετήσιος όγκος φερτών	0.18
	Νεκρός όγκος	0.78
Χαρακτηριστικές παράμετροι μελέτης υπερχείλιση	Τύπος υπερχείλιση	Μετωπικός
	Μήκος υπερχείλισης (m)	45.00
	Ύψος υπερχείλισης (m)	3.00
	Παροχή υπερχείλιση (m ³ /s)	443.00
	Περίοδος επαναφοράς (έτη)	500.00
	Μέγιστη στάθμη υπερχείλιση (m)	60.00
Χαρακτηριστικές παράμετροι μελέτης σήραγγας εκτροπής	Διατομή	Πεταλοειδής
	Διάμετρος διάνοιξης (m)	4.10
	Διάμετρος εσωτερική (m)	3.20
	Παροχή μελέτης (m ³ /s)	200.00
	Περίοδος επαναφοράς (έτη)	10.00
Χωμάτινο Φράγμα Ομογενές χωμάτινο με αργιλικό αμμοχαλκούδες υλικό πυρήνα	Όγκος (m ³ * 10 ³)	450 + 500.00
	Στέψη: υψόμετρο, (απόλυτο), (m)	65.00
	Στέψη: μήκος (m)	162.50
	Στέψη: πλάτος (m)	9.00
	Μέγιστο ύψος πάνω από τη θεμελίωση του πυρήνα, περίπου (m)	43.00
	Κλίση πρανών : ανάντη - κατάντη	2.5/1/25/1

4.2 ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

4.2.1 Ερευνητικές Γεωτρήσεις

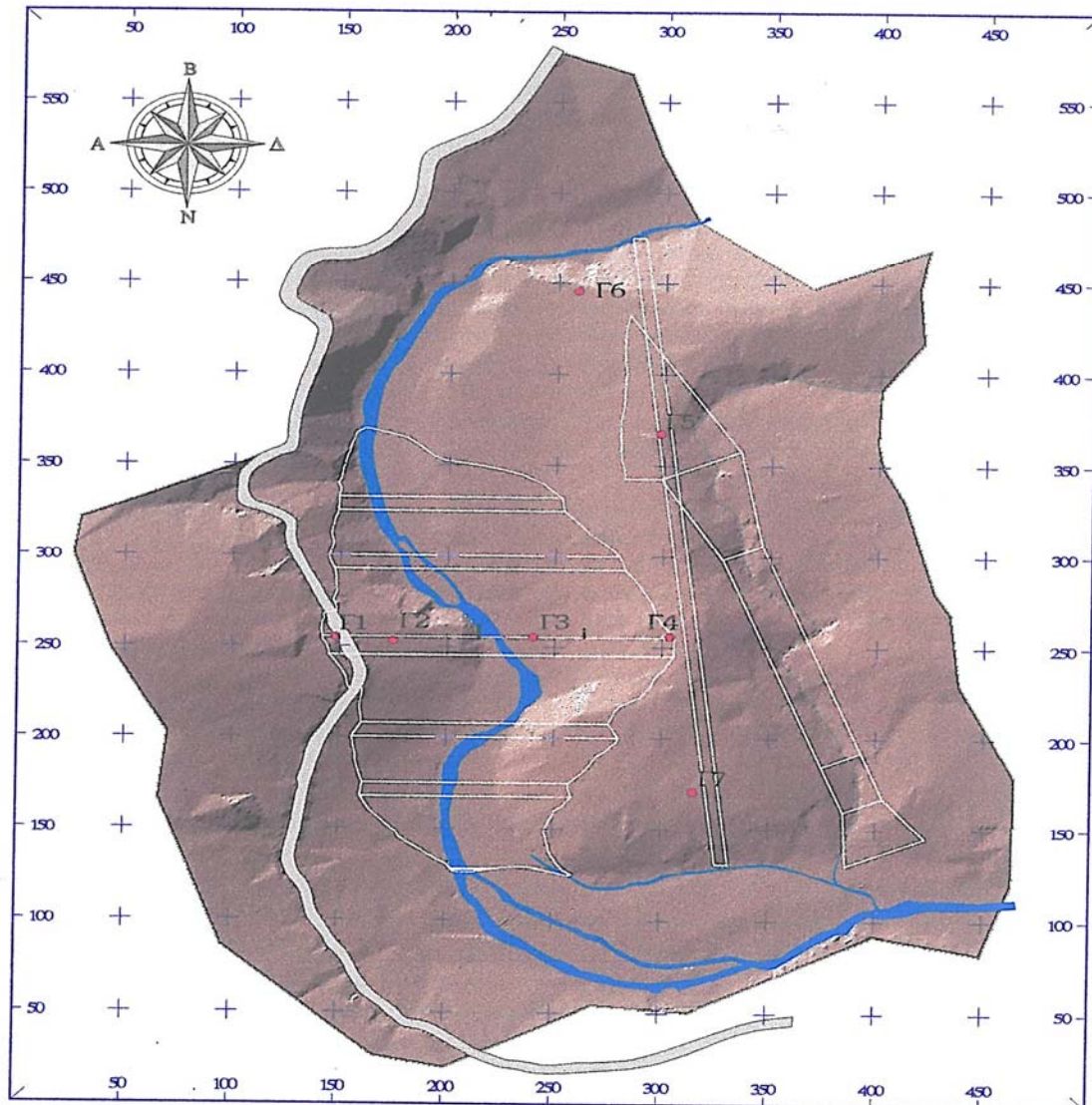
Στα πλαίσια της μελέτης προγραμματίστηκαν μια σειρά από γεωερευνητικές εργασίες, στις οποίες συμπεριλήφθηκαν και οι ερευνητικές γεωτρήσεις.

Προγραμματίστηκε η ανόρυξη επτά (7) ερευνητικών γεωτρήσεων, πέντε (5) εκ των οποίων στον άξονα του φράγματος, για τη διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών, τον καθορισμό του βάθους εκσκαφών και θεμελίωσης του πυρήνα του φράγματος καθώς επίσης και για τη μελέτη στεγανοποίησης των πετρωμάτων κάτω και γύρω από το φράγμα. Η θέση κάθε γεώτρησης φαίνεται στο σκαρίφημα του Σχήματος 4.1, ενώ στον Πίνακα 3 δίνονται συνοπτικά οι πληροφορίες για τη θέση και το βάθος κάθε γεώτρησης. Οι συντεταγμένες για κάθε γεώτρηση είναι σχετικές και δίνονται με βάση το σκαρίφημα του Σχήματος 4.1.

Στο Παράρτημα II, στην Εικόνα 4, παρατίθεται ένα παράδειγμα ενός Εντύπου Καταγραφής Γεώτρησης.

Πίνακας 3 : Θέση, υψόμετρο και συντεταγμένες ερευνητικών γεωτρήσεων. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)

Γεώτρηση α/α	Συντεταγμένες		Υψόμετρο m	Βάθος m	Κλίση °	Τοποθεσία
	χ	υ				
Γ1	148.1	254.6	59.3	40.0	90°	Δεξιό πρανές άξονα φράγματος
Γ2	174.9	252.7	49.1	25.0	78°	Δεξιό πρανές άξονα φράγματος
Γ3	239.8	255.2	25.3	30.0	90°	Κοίτη ρέματος - άξονας φράγματος
Γ4	289.5	254.7	63.7	45.0	90°	Αριστερό πρανές - Σήραγγα εκτροπής
Γ5	298.1	367.5	64.8	30.0	90°	Υπερχειλιστής - Σήραγγα εκτροπής
Γ6	259.1	445.4	45.5	19.0	90°	Είσοδος σήραγγας
Γ7	315.0	170.7	47.3	19.4	90°	Έξοδος σήραγγας



Σχήμα 4.1 : Σκαρίφημα της μορφολογίας στην περιοχή θεμελίωσης, θέση των ερευνητικών γεωτρήσεων και διάταξη των έργων. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)

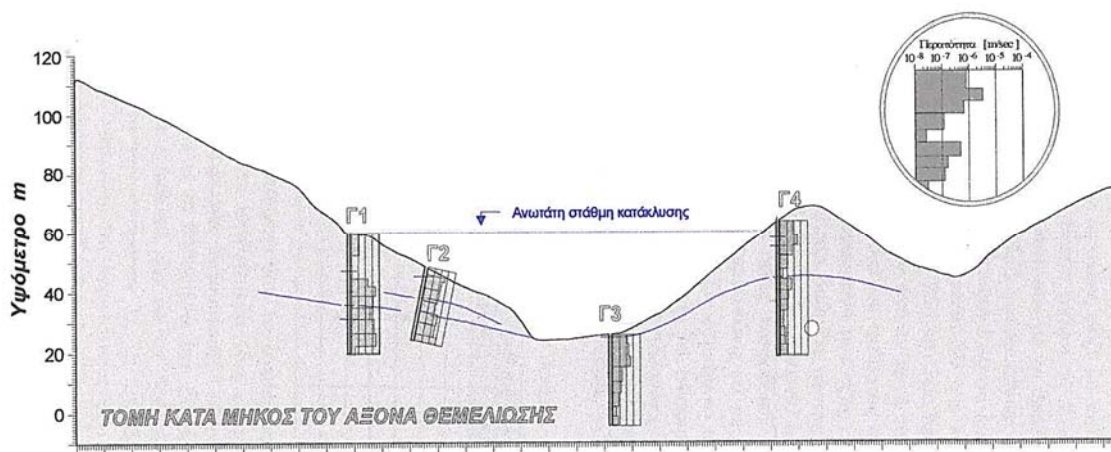
4.2.2 Δοκιμές Υδροπερατότητας

Για τον προσδιορισμό της υδροπερατότητας των πετρωμάτων στη θέση του φράγματος εκτελέστηκαν σε όλες τις γεωτρήσεις δοκιμές υδροπερατότητας κυρίως με την εφαρμογή της μεθόδου εισπίσεως ύδατος (Lugeon) και όπου αυτό δεν ήταν δυνατό με την εφαρμογή τη μεθόδου πίπτοντος φορτίου (Maag).

Στην τομή του Σχήματος 4.2 παρουσιάζεται η κατανομή των περατοτήτων κατά μήκος του άξονα του φράγματος, με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δοκιμές υδροπερατότητας.

4.2.3 Πιεζόμετρα

Στις γεωτρήσεις εγκαταστάθηκαν πιεζόμετρα για την παρακολούθηση της διακύμανσης της πιεζομετρίας. Οι μετρήσεις της διακύμανσης της στάθμης των υπόγειων υδάτων, έγιναν μετά το πέρας του γεωτρητικού προγράμματος. Ενώ αρχικά φαινόταν ότι η στάθμη του υπόγειου νερού είχε σταθεροποιηθεί, παρατηρήθηκε μια μεταβολή της στάθμης που δηλώνει ότι στην περιοχή των έργων αναπτύσσονται ανεξάρτητοι κρεμαστοί υδροφορείς. Η διακύμανση της πιεζομετρικής στάθμης είναι ορατή στην τομή του Σχήματος 4.2.



Σχήμα 4.2: Τομή κατά μήκος του άξονα θεμελίωσης όπου φαίνεται η μεταβολή της περατότητας με το βάθος. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)

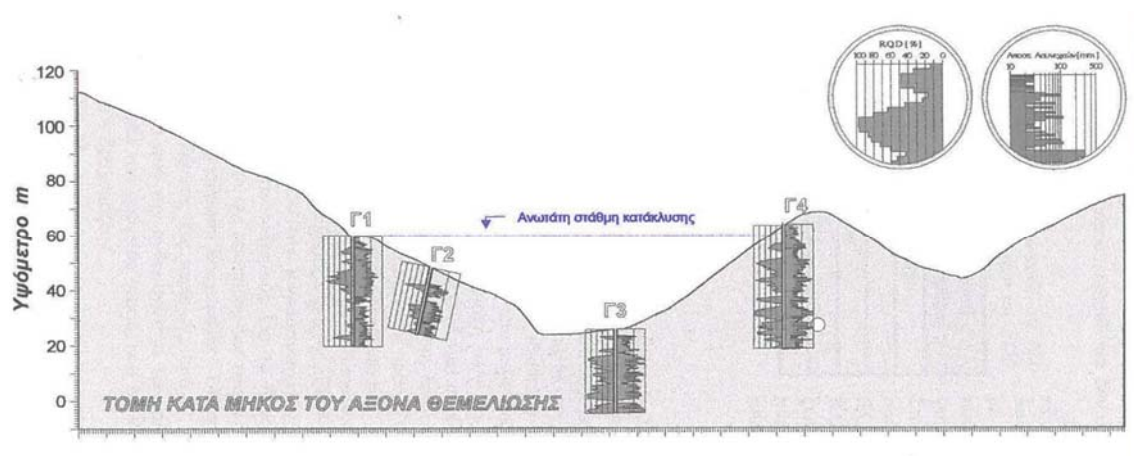
4.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Από την αξιολόγηση του Γεωλογικού χάρτη του ταμιευτήρα του φράγματος (Χάρτης Γ', Τεύχος II) και τα αποτελέσματα των ερευνητικών γεωτρήσεων, προέκυψε ότι το γεωλογικό υπόβαθρο στην περιοχή του φράγματος δομείται από γρανοδιορίτη. Σε κάθε γεώτρηση στην επιφάνεια διατρήθηκε ένας εδαφικός μανδύας γενικά μικρού πάχους. Στη γεώτρηση Γ2 διατρήθηκαν κάποια κορρήματα, ενώ στις υπόλοιπες γεωτρήσεις διατρήθηκε αποκλειστικά μόνο ο γρανοδιορίτης. Τα κορρήματα έχουν προέλευση από τα υπερκείμενα μάρμαρα και περιλαμβάνουν σε μικρό ποσοστό λατύπες, κροκάλες μαρμάρων και σπανίως ογκόλιθους, ενώ κυριαρχούν τα αργιλικά υλικά και οι άμμοι. Τα κορρήματα αυτά έχουν ένα χαρακτηριστικό βαθύ κόκκινο χρώμα σαν αποτέλεσμα της υπολειμματικής αποσάθρωσης των μαρμάρων (Δημόπουλος, 1995).

4.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ (RQD)

Ως Δείκτης Ποιότητας Βραχόμαζας (RQD), ορίζεται το ποσοστό του μήκους της βραχώδους πυρηνοληψίας που αποχωρίζεται σε τεμάχια με μήκος μεγαλύτερο των 10 cm, ως προς το συνολικό μήκος της πυρηνοληψίας.

Στην τομή του Σχήματος 4.3 παρουσιάζεται ο Δείκτης ποιότητας βραχόμαζας (RQD) και η απόσταση των ασυνεχειών κατά μήκος του άξονα θεμελίωσης και του άξονα της σήραγγας.



Σχήμα 4.3: Δείκτης ποιότητας βραχόμαζας (RQD) και απόσταση ασυνεχειών κατά μήκος του άξονα θεμελίωσης. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)

4.5 ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

Ο γρανίτης όταν είναι υγιής αποτελεί ένα από τα πετρώματα με τις μεγαλύτερες αντοχές, ενώ αντίθετα όταν έχει αποσαθρωθεί παρουσιάζει μια εντελώς διαφορετική συμπεριφορά που εξαρτάται από το βαθμό αποσάθρωσης που έχει υποστεί.

Στην περιοχή των έργων η αποσάθρωση σε συνδυασμό με την αποσυμπίεση του πετρώματος οδηγεί σε έντονο κερματισμό της βραχόμαζας. Οι μικροασυνέχειες και γενικά η μυλωνική δομή του γρανοδιορίτη, γίνονται εμφανέστερες και αποτελούν την κυρίαρχη δομή που καθορίζει την ποιότητα της βραχόμαζας.

Τα επιφανειακά τμήματα του γρανοδιορίτη είναι σχεδόν πλήρως αποσαθρωμένα, δημιουργώντας έτσι ένα αποσαθρωμένο κάλυμμα που περιβάλλει τον υγιή γρανοδιορίτη. Με το βάθος η αποσάθρωση μειώνεται, ενώ κατά θέσεις εμφανίζεται κατευθείαν το υγιές υπόβαθρο, χωρίς τη μεσολάβηση των εδαφικών οριζόντων και του αποσαθρωμένου καλύμματος.

Η ταξινόμηση της βραχόμαζας με βάση την αποσάθρωση δίνεται στον Πίνακα 4.

Όπως προκύπτει από την αξιολόγηση των γεωτρήσεων, η βραχομάζα στην περιοχή των έργων, ανήκει στις κατηγορίες II ως VI, με πιο συνήθη στην κατηγορία III.

Πίνακας 4: Ταξινόμηση της βραχομάζας με βάση την αποσάθρωση. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
<i>I_A</i>	Υγιής γρανίτης: Χωρίς ίχνος αποσάθρωσης.
<i>I_B</i>	Ελαφρά Αποσαθρωμένος Γρανίτης: Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών.
<i>II</i>	Μέτρια Αποσαθρωμένος Γρανίτης: Η αποσάθρωση είναι έντονη στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά στο βραχώδες υλικό.
<i>III</i>	Πολύ Αποσαθρωμένος Γρανίτης: Η αποσάθρωση είναι εκτεταμένη σε όλη τη βραχομάζα χωρίς αυτή να παρουσιάζει ευθρυπτότητα.
<i>IV</i>	Ισχυρά Αποσαθρωμένος Γρανίτης: Η αποσάθρωση είναι εκτεταμένη σε όλη τη βραχομάζα με κατά τόπους ευθρυπτότητα του υλικού.
<i>V</i>	Εντελώς Αποσαθρωμένος Γρανίτης: Πλήρης αποσύνθεση και μεγάλη ευθρυπτότητα της βραχομάζας. Διατηρεί την υφή και τη δομή της.
<i>VI</i>	Γρανιτικό Έδαφος: Η βραχομάζα έχει μετατραπεί σε έδαφος, η δομή και η υφή της έχουν καταστραφεί.

4.6 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.6.1 Μηχανική Συμπεριφορά Γρανодиорίτη

Ο γρανодиорίτης με βάση την ορυκτολογία, την δομή και την υφή του κατατάχθηκε σε οκτώ (8) τύπους. Παρακάτω δίνεται συνοπτικά ο κάθε τύπος γρανодиорίτη:

(Δημόπουλος, 1995)

- **Τύπος I** - Αποσαθρωμένος γρανодиорίτης: Η αποσάθρωση του υλικού είναι έντονη, παρατηρείται μεγάλη ευθρυπτότητα και το υλικό έχει υποβαθμισμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Αυτός ο τύπος συναντάται συνήθως κάτω από τον εδαφικό μανδύα και έχει γενικά μικρό πάχος. Επίσης, συναντήθηκε στο βάθος σε ζώνες έντονου τεκτονισμού.
- **Τύπος II** - Γρανодиорίτης με μικροασυνέχειες: Είναι ο κυρίαρχος τύπος που συναντάται. Η υφή και η δομή του υλικού δεν είναι σαφής, το πέτρωμα είναι έντονα κερματισμένο από μικροασυνέχειες, καμπυλόγραμμες και με ποικίλους

προσανατολισμούς. Η συνοχή κατά μήκος των ασυνεχειών είναι μικρή έως μηδενική, με αποτέλεσμα η βραχομάζα συνολικά να είναι σαθρή και με μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Εντούτοις ο έντονος κερματισμός προσδίδει μια ομοιογένεια και ισοτροπία στη βραχομάζα που σαφώς βελτιώνει τη συνολική συμπεριφορά της.

- **Τύπος III - Επουλωμένος γρανοδιορίτης:** Ανάλογη δομή με τον τύπο II με τη διαφορά ότι είναι μεν εμφανείς οι μικροασυνέχειες, αλλά έχουν ικανοποιητική συνοχή ώστε το πέτρωμα να συμπεριφέρεται σαν μαζώδες. Την βραχομάζα διατέμνουν οι μεγάλες ασυνέχειες που είναι η κυρίαρχη δομή. Οι μικροασυνέχειες είναι συνήθως κλειστές και επουλωμένες με ασβεστίτη, κατά θέσεις η επούλωση δεν είναι πλήρης και παρατηρούνται κενά.
- **Τύπος IV - Οφθαλμο - γρανοδιορίτης:** Πρόκειται για τη συνήθη μορφή του γρανοδιορίτη της Καβάλας που εμφανίζεται στο εσωτερικό της μάζας του. Στην περιοχή των έργων, όπως και στις γεωτρήσεις, εμφανίζεται σπανίως. Μάλλον αποτελεί τεμάχιο που διέφυγαν της παραμόρφωσης που έχουν υποστεί τα περιθώρια του γρανοδιορίτη. Το πέτρωμα είναι αρκετά συμπαγές με λίγες ασυνέχειες και με καλή μηχανική συμπεριφορά.
- **Τύπος V - Ζώνη ρήγματος - Ψαθυρή παραμόρφωση:** Πρόκειται για κατακλαστίτη στις ζώνες ρηγμάτων. Το πέτρωμα είναι έντονα κερματισμένο, μερικές φορές με λεπτόκοκκη δομή και με σαθρή συμπεριφορά. Η συνοχή του υλικού είναι πολύ μικρή, ενώ η γωνία εσωτερικής τριβής είναι μειωμένη λόγω της ύπαρξης λεπτόκοκκου υλικού. Ζώνες με τέτοιο υλικό παρουσιάζουν μικρή απόληψη πυρήνα λόγω της διάλυσης και έκπλυσης της πυρινοληψίας.
- **Τύπος VI - Ζώνη σχιστοποίησης - Πλαστική παραμόρφωση:** Ζώνες έντονης σχιστοποίησης με καμπυλόγραμμες και αποσφηνωμένες επιφάνειες. Το υλικό έχει παραμορφωθεί πλαστικά, αλλά διατηρεί τη συνοχή του. Γενικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού είναι ελαφρώς υποβαθμισμένα. Η σχιστοποίηση δημιουργεί μία έντονη ετερογένεια και ανισοτροπία στο υλικό ως προς τις μηχανικές και υδραυλικές του ιδιότητες.
- **Τύπος VII - Λευκοκρατικός μικροκρυσταλλικός μυλωνίτης:** Πρόκειται για το αποτέλεσμα της έντονης παραμόρφωσης. Το υλικό έχει λευκό έως λευκότεφρο χρώμα, είναι μικροκρυσταλλικό έως υαλώδες με έντονα ίχνη καολινίωσης.

Εμφανίζεται σε σχιστοποιημένες ζώνες υπό μορφή αποσφηνομένων κοιτών, έχει μικρή σκληρότητα και μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά.

- **Τύπος VIII** - Μελανοκρατικός μικροκρυσταλλικός μυλωνίτης: Ανάλογης προέλευσης με τον τύπο VII. Έχει σκούρο καφέ έως μαύρο χρώμα, είναι μικροκρυσταλλικό έως υαλώδες. Εμφανίζεται σε καμπυλόγραμμες και αποσφηνωμένες ζώνες με ίχνη πλαστικής παραμόρφωσης. Είναι σκληρό πέτρωμα, ομοιογενές και γενικά με ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά.
- **Τύπος IX** - Παρείσακτες κοίτες: Πρόκειται για υλικό πλούσιο σε φεμικά υλικά και κυρίως βιοτίτη. Εμφανίζεται υπό μορφή παρείσακτων κοιτών μέσα στη μάζα του γρανοδιορίτη. Πρόκειται για μάζες μικρής έκτασης που τα όριά τους με το γρανοδιορίτη είναι τεκτονικά (ζώνες σχιστοποίησης). Το υλικό έχει μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τον γρανοδιορίτη και αποσαθρώνεται πολύ πιο εύκολα σε σαθρό χωρίς συνοχή υλικό.

4.6.2 Τεχνικογεωλογικές ενότητες με βάση τον δείκτη ταξινόμησης GSI

Ο δείκτης GSI αποτελεί ένα σύστημα ταξινόμησης για την εκτίμηση της αντοχής των βραχωδών μαζών, για διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες κατά τις παρατηρήσεις πεδίου. Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας εκτιμώνται μακροσκοπικά με βάση την υφή του πετρώματος (αλληλοκλείδωμα βραχωδών τεμαχίων) και την επιφάνεια των ασυνεχειών (τραχύτητα και αποσάθρωση τοιχωμάτων).

Η εκτίμηση του GSI έγινε με βάση την φωτογραφική απεικόνιση των ερευνητικών γεωτρήσεων που περιλαμβάνει το τεύχος των Ερευνητικών Γεωτρήσεων της πρότυπης μελέτης και της βοήθειας του πίνακα του γεωλογικού δείκτη αντοχής GSI (Hoek & Marinos, 2000), που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.

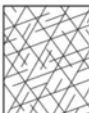
Με βάση την εκτίμηση των εμφανίσεων του γρανοδιορίτη στον άξονα θεμελίωσης του φράγματος, διακρίθηκαν τέσσερις (4) Τεχνικογεωλογικές Ενότητες (Τ.Ε):

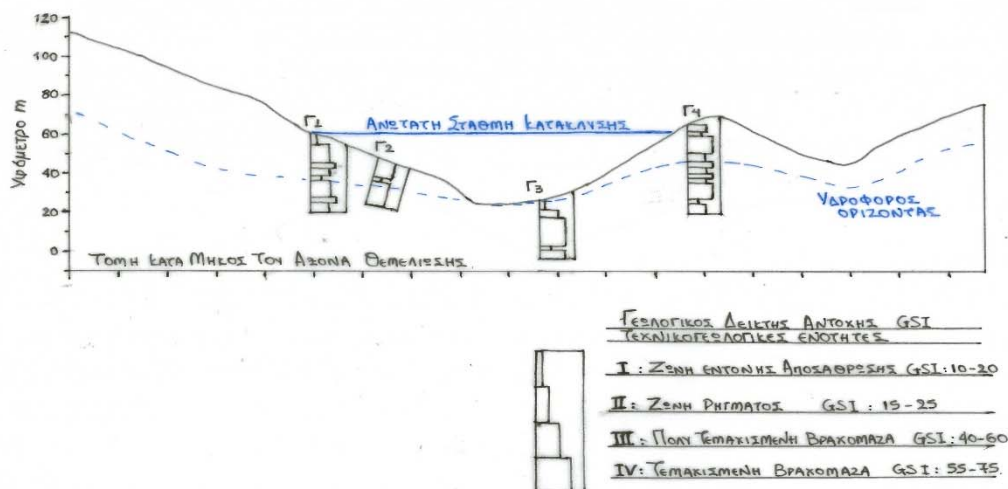
- Τ.Ε. I: Επιφανειακή ζώνη έντονης αποσάθρωσης GSI : 10-20
- Τ.Ε. II: Ζώνη Ρήγματος GSI : 15-25
- Τ.Ε. III: Πολύ τεμαχισμένη βραχώμαζα GSI : 40-60
- Τ.Ε. IV: Τεμαχισμένη βραχώμαζα GSI : 55-75

Στην τομή του Σχήματος 4.4 παρουσιάζεται η κατανομή του GSI σε σχέση με το βάθος.

Στο Παράρτημα II, στις Εικόνες 1,2 και 3 παρατίθεται ένα παράδειγμα της φωτογραφικής απεικόνισης των ερευνητικών γεωτρήσεων. Η συγκεκριμένη πυρηνοληψία είναι από την Γεώτρηση Γ1.

Πίνακας 5: Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI (Hoek & Marinos, 2000). (Πηγή: Παρουσιάσεις θεωρίας Τεχνικής Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ.)

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (Ε. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώδους εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI =35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γειτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθεις που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επιπέδες επιφάνειες (όπως διατηρημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώδους. Η αντοχή ορισμένων βραχομαζών μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτρησης, πτώχης και πολύ πτώχης κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →				
ΔΟΜΗ		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγιείς, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθωμένες και εξολλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης
	ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90			N/A	N/A
	ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχώδης με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	80	70			
	ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχώδης με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών	60	50			
	ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας	40	30			
	ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχώδης με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων	20				
	ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΗΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατημημένη ασθενής βραχώδης. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)	10				
		N/A	N/A			



Σχήμα 4.4: Τομή στον άξονα θεμελίωσης του φράγματος όπου φαίνεται η κατανομή του δείκτη ποιότητας βραχώμαζας GSI.

4.6.3 Συνθήκες θεμελίωσης

Το φράγμα που προβλέπεται να κατασκευαστεί είναι ένα χωμάτινο φράγμα και κατά ζώνες με αδιαπέρατο πυρήνα.

Το φράγμα αποτελείται από πέντε ζώνες, τον αδιαπέρατο πυρήνα από λεπτόκοκκο και χονδρόκοκκο φίλτρο και επιχώματα στήριξης ανάντη και κατόντη του σώματος αυτού. Προβλέπεται η εκσκαφή θεμελίου του αργιλικού πυρήνα που αποτελεί τη ζώνη 1 σε βάθος περίπου 2 m για τη περιοχή του γρανοδιοριτικού – βλαστομυλωνιτικού υποβάθρου. Εάν αποδειχθεί κατά την εκσκαφή ότι τα αποσαθρωμένα πετρώματα συνεχίζονται τότε η εκσκαφή θα γίνει σε μεγαλύτερο βάθος. Επιφανειακά θα εκσκαφτεί το στρώμα φυτικής Γης πάχους 0,5 m σε όλο το χώρο του φράγματος και θα απομακρυνθούν τα αποσαθρωμένα υλικά των πετρωμάτων στη περιοχή του πυρήνα. Το πάχος εκτιμάται από 0,5- 4 m και ενδέχεται να μην είναι ενιαίο σε όλη την επιφάνεια έδρασης του φράγματος. Προτείνεται εκσκαφή 0,5-1 m για την επιφάνεια έδρασης του φράγματος εκτός από τη θέση του αργιλικού πυρήνα και των φίλτρων που προτείνεται βάθος θεμελίωσης 2 m (όνυχας πυρήνα).

4.6.4 Ευστάθεια του φράγματος και των Αντερεισμάτων

Λόγω της απουσίας χαλαρών υλικών επικάλυψης του γρανοδιορίτη, δεν εντοπίστηκαν φαινόμενα κατολισθήσεων ή ερπυσμών σε όλη την επιφάνεια έδρασης του φράγματος

εκτός από μία περιοχή χαμηλά στο δεξιό αντέρεισμα της θέσεως του φράγματος όπου παρουσιάζονται χαλαρά υλικά κορρηματικών αποθέσεων και τα οποία προτείνεται να απομακρυνθούν κατά τη θεμελίωση του φράγματος.

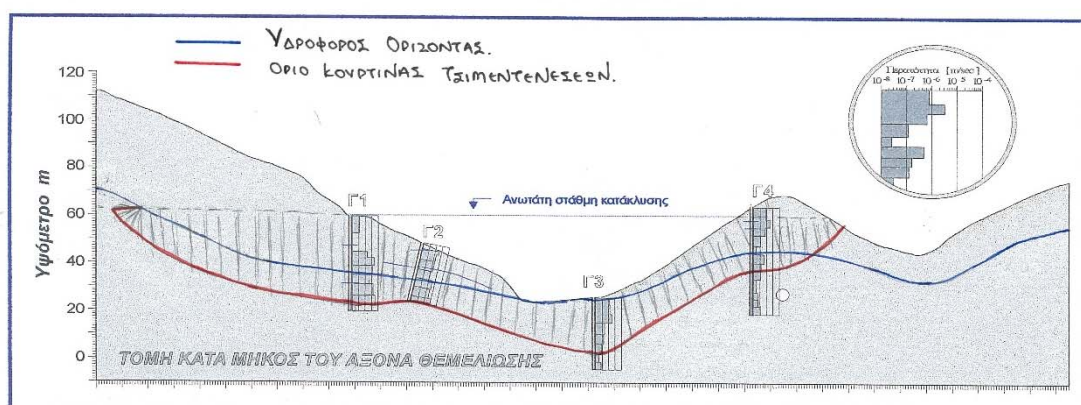
4.6.5 Υδρογεωλογικές συνθήκες – Στεγανότητα

Η στεγανότητα του υποβάθρου στη θέση θεμελίωσης του φράγματος αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα ασφαλείας του έργου. Η ακριβής εκτίμηση της περατότητας έγινε με επιτόπου δοκιμές υδροπερατότητας (Maag, Lefranc) στις γεωτρήσεις, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

Από τα αναλυτικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται για κάθε γεώτρηση στα «Έντυπα Καταγραφής Ερευνητικής Γεώτρησης» της πρότυπης μελέτης, προκύπτει ότι το 80% του συνολικού μήκους που διατρήθηκε χαρακτηρίζεται σαν ημιπερατό (10^{-7} έως και 10^{-5} m/sec) και το 20% σαν πρακτικά αδιαπέρατο ($<10^{-7}$ m/sec).

Η περατότητα του γρανοδιορίτης εξαρτάται από τον βαθμό κερματισμού και αποσάθρωσης και οι τιμές που προκύπτουν από τις δοκιμές εισπίεσεως κυμαίνονται περίπου στο 10^{-8} έως 10^{-5} m/sec. Η περατότητα του γρανοδιορίτη εκτός από την αποσάθρωση καθορίζεται κυρίως από τις ασυνέχειες που διακόπτουν τη δομή της βραχώμαζας καθώς επίσης και από τα χαρακτηριστικά τους και ελαττώνεται όσο αυξάνεται το βάθος.

Από την αξιολόγηση των παραπάνω στοιχείων, προέκυψε το προτεινόμενο βάθος κουρτίνας τσιμεντενέσεων, που παρουσιάζεται στη τομή με την κατανομή των περατοτήτων, κατά μήκος του άξονα του φράγματος.



Σχήμα 4.5: Τομή κατά μήκος του άξονα θεμελίωσης του φράγματος όπου φαίνεται το προτεινόμενο βάθος της κουρτίνας τσιμεντενέσεων.

Εισαγωγικά σχόλια

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Επίσης, αναφέρονται και περιγράφονται όλα τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

5.1 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΆΛΛΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Οι έντυποι χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούν τμήμα της «Πρότυπης Μελέτης Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας» του επιστημονικού υπεύθυνου καθηγητή Γ. Δημόπουλο που έλαβε χώρα το 1995. Λήφθηκαν από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, από τον κύριο Θωμά Μακεδών, Διδάκτορα Τεχνικής Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Οι έντυποι χάρτες είναι:

- Τοπογραφικός Χάρτης Λεκάνης Τροφοδοσίας 1:50.000. (Τεύχος I, Χάρτης Α')
- Γεωλογικός Χάρτης Λεκάνης Τροφοδοσίας 1:50.000. (Τεύχος I, Χάρτης Β')
- Μορφολογικός Χάρτης Λεκάνης Τροφοδοσίας 1:50.000. (Τεύχος I, Χάρτης Η')
- Γεωλογικός Χάρτης Ταμιευτήρα 1:5.000. (Τεύχος II, Χάρτης Γ')
- Μορφολογία Ταμιευτήρα, Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά 1:5.000. (Τεύχος II, Χάρτης Β')

Ακόμα από το περιβάλλον του E-learning (<https://elearning.auth.gr/>) και τις σημειώσεις του μαθήματος Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) λήφθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω χάρτες.

- Γεωλογικοί Χάρτες 1:50.000 (Φύλλα: Λουτρά Ελευθερών, Νικήσιανη, Ροδολίβος Στρατωνίκη).
- Τοπογραφικοί Χάρτες 1:50.000 (Φύλλα: Λουτρά Ελευθερών, Νικήσιανη, Ροδολίβος Στρατωνίκη).

Επίσης από τον κύριο Θ. Μακεδών έλαβα το Τεύχος III, Παράρτημα Α' με τις Ερευνητικές Γεωτρήσεις της «Πρότυπης Μελέτης Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας».

5.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

5.2.1 Το λογισμικό ArcGIS

Για τους σκοπούς της παρούσας πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το πακέτο λογισμικού ArcGIS 10.2 for Desktop το οποίο είναι προϊόν της εταιρίας ESRI (Environmental Systems Research Institute), η οποία ιδρύθηκε το 1969 και σήμερα αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους διεθνείς προμηθευτές των GIS.

(<https://en.wikipedia.org/wiki/Esri>)

Το ArcGIS 10.2 περιλαμβάνει πολλές εφαρμογές κάποιες εκ των οποίων είναι:

- ArcMap
- ArcCatalog
- ArcToolBox
- ArcScene
- ArcGlobe
- Spatial Analyst
- 3D Analyst

Παρακάτω αναφέρονται οι βασικοί ορισμοί των εφαρμογών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

ArcMap

Είναι από τις κύριες λειτουργίες του προγράμματος η οποία χρησιμοποιείται για την προβολή, επεξεργασία, ανάλυση και δημιουργία γεωχωρικών δεδομένων.

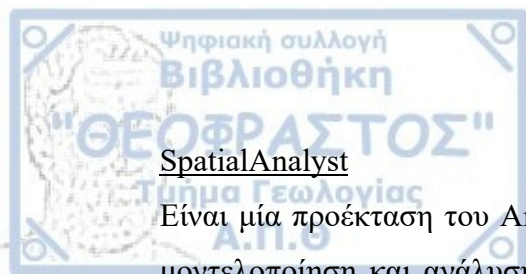
(<https://en.wikipedia.org/wiki/ArcMap>)

ArcCatalog

Είναι μία εφαρμογή μέσω της οποίας ο χρήστης μπορεί να περιηγηθεί και να διαχειριστεί όλα τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα σε τοπικούς δίσκους, καθώς επίσης και σε προσβάσιμες βάσεις δεδομένων. Η εφαρμογή παρέχει μία ενοποιημένη εικόνα όλων των δεδομένων υπό μορφή αρχείων ενώ παράλληλα ενσωματώνει πληροφορίες πολλών μορφών. (<http://wiki.gis.com/wiki/index.php/ArcCatalog>)

ArcToolBox

Είναι μια εφαρμογή η οποία ομαδοποιεί και οργανώνει σε εργαλειοθήκες όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την διεκπεραίωση μιας εργασίας στο ArcGIS ώστε να είναι ευκολότερη η εύρεσή τους από τον χρήστη. (<http://wiki.gis.com/wiki/index.php/ArcToolbox>)



SpatialAnalyst

Είναι μία προέκταση του ArcGIS, η οποία παρέχει εργαλεία για μια πιο ολοκληρωμένη μοντελοποίηση και ανάλυση ψηφιδωτών δεδομένων (raster). Μέσω της συγκεκριμένης εφαρμογής ο χρήστης μπορεί να αντλήσει νέες πληροφορίες από τα ήδη υπάρχοντα αρχεία, να αναλύσει χωρικές σχέσεις, να δημιουργήσει χωρικά μοντέλα και να πραγματοποιήσει σύνθετες λειτουργίες ψηφιδωτού χαρακτήρα πάντα.

(http://wiki.gis.com/wiki/index.php/ArcGIS_Spatial_Analyst)

5.2.2 Google Earth

Το Google Earth είναι ένα πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης της Γης το οποίο είναι διαθέσιμο στο Διαδίκτυο. Κατασκευάστηκε από την εταιρεία Keyhole Inc. με το όνομα Earth Viewer 3D. Όταν η εταιρεία αγοράστηκε από την Google το 2004, πήρε το σημερινό του όνομα. Το πρόγραμμα συνθέτει εικόνες και πληροφορίες από δορυφορικές φωτογραφίες, αεροφωτογραφίες, στοιχεία GIS και από πολλές πηγές σε επάλληλα στρώματα (που τα ονομάζει «επίπεδα» - στα αγγλικά levels), με σημαντική ευκολία χρήσης. Τα επίπεδα αυτά έχουν αφενός πληροφορίες που εισήγαγε η Google όπως πληροφορίες χάρτη με ονομασίες δρόμων ("Δρόμοι"), πληροφορίες για τον καιρό αλλά και πολλές άλλες πληροφορίες που προσθέτουν οι χρήστες του συστήματος όπως τρισδιάστατα κτίρια για αρκετές περιοχές / πόλεις του κόσμου με εργαλεία όπως τον Δημιουργό Κτιρίων, φωτογραφίες, τοπικές πληροφορίες. Η ανάλυση και η ηλικία των εικόνων ποικίλλουν. Οι φωτογραφίες είναι συνήθως από το 2004 ή και νωρίτερα με την ανάλυση να κυμαίνεται από 15 μέτρα για μεγάλο μέρος των ΗΠΑ, το ένα μέτρο (για πολλές ευρωπαϊκές χώρες) μέχρι και 15-30 εκατοστά για πόλεις όπως το Βερολίνο ή η Ζυρίχη. Στην πράξη το πρόγραμμα μπορεί να λειτουργήσει σε όλα τα συνηθισμένα υπολογιστικά συστήματα.

(https://el.wikipedia.org/wiki/Google_Earth)

5.2.3 Coord_Gr

Το Coord_Gr είναι ένα λογισμικό το οποίο έχει δημιουργηθεί από τον Ιωάννη Συγγρό και χρησιμεύει στον μετασχηματισμό των συντεταγμένων μεταξύ των διαφόρων Γεωδαιτικών Συστημάτων Αναφοράς.

6 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Εισαγωγικά σχόλια

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται όλες οι ενέργειες που απαιτήθηκαν μέχρι το τελικό αποτέλεσμα παραγωγής των χαρτών και οι εφαρμογές που υλοποιήθηκαν για το πέρας της πτυχιακής εργασίας. Όπως έχει προαναφερθεί στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ψηφιοποίηση και οπτικοποίηση των γεωχωρικών δεδομένων του φράγματος Μαρμαρά Ακροποτάμου Ν. Καβάλας σε περιβάλλον GIS. Τα GIS χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο στα περισσότερα στάδια της εργασίας για την σύνθεση, συσχέτιση, ανάλυση και παρουσίαση των πληροφοριών που συγκεντρώθηκαν, καθώς και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

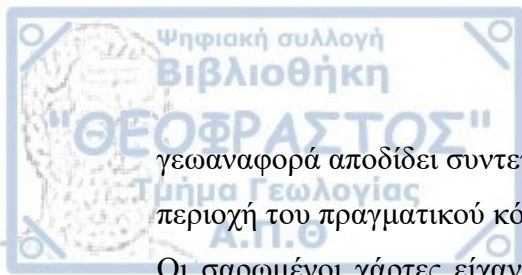
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Αφού συγκεντρώθηκαν όλα τα δεδομένα από τις παραπάνω πηγές όπως αναφέρθηκαν το επόμενο στάδιο ήταν η εισαγωγή τους στο ArcGIS. Οι έντυποι χάρτες σαρώθηκαν ώστε να μετατραπούν σε ψηφιακές εικόνες (tiff) και να μπορέσουν να εισαχθούν στη συνέχεια στο πρόγραμμα. Η χωρική ανάλυση αυτών των αρχείων εικόνας ήταν 400dpi με διαστάσεις κατά περίπτωση είτε 11424 x 8224 (χάρτες 1:50.000) ή 11328 x 12010 και 14813 x 13696 (χάρτες 1:5.000).

Επόμενο βήμα ήταν η εισαγωγή των δεδομένων στο ArcGIS με τη χρήση του εικονιδίου "Add Data" στη μπάρα με τα εικονίδια γρήγορης εκκίνησης. Για την προσθήκη των επιθυμητών αρχείων στον Πίνακα Περιεχομένων του ArcMap απαραίτητη είναι η εντολή "Add" ώστε να μπορέσουν να εισαχθούν στο πρόγραμμα. Εισάγοντας στη συνέχεια τα αρχεία δεν εμφανίζονται στο χώρο εργασίας διότι δεν έχουν Γεωαναφερθεί σε κάποιο συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς. Επόμενο βήμα λοιπόν ώστε να μπορέσει η εικόνα να επεξεργαστεί περαιτέρω είναι η Γεωαναφορά.

6.2 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ

Ως Γεωαναφορά (Georeference) ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία προσδίδονται πραγματικές γεωγραφικές συντεταγμένες επιθυμητού συστήματος αναφοράς συντεταγμένων σε μία ψηφιακή εικόνα που έχει προέλθει από σάρωση ενός αναλογικού χάρτη ή μίας αεροφωτογραφίας σε συσκευή σαρωτή (scanner). Με άλλα λόγια η



γεωαναφορά αποδίδει συντεταγμένες στην εικόνα, που αντιστοιχούν σε μια συγκεκριμένη περιοχή του πραγματικού κόσμου.

Οι σαρωμένοι χάρτες είχαν τυπωθεί εξ αρχής στην πρότυπη μελέτη σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς, πράγμα που δυσκόλεψε την γεωαναφορά τους. Χρειάστηκε, λοιπόν, να προηγηθεί η γεωαναφορά των Τοπογραφικών Χαρτών 1:50.000, ώστε στη συνέχεια με τη μέθοδο 'image to image' να πραγματοποιηθεί η γεωαναφορά των πρώτων.

Το Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ήταν το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ'87), το οποίο και χρησιμοποιείται σήμερα.

Με τη βοήθεια του Coord_Gr έγινε μετατροπή των συντεταγμένων των Τοπογραφικών Χαρτών από το Ευρωπαϊκό Γεωδαιτικό Σύστημα του 1950 (ED50) σε ΕΓΣΑ '87. Χρειάστηκαν 4 σημεία από τις γωνίες του χάρτη. Οι νέες συντεταγμένες σημειώθηκαν σε ένα φύλλο Excel.

Πριν ξεκινήσει η γεωαναφορά, ορίστηκε στο περιβάλλον του ArcMap ως σύστημα συντεταγμένων το ΕΓΣΑ '87 ακολουθώντας το παρακάτω μονοπάτι: Layers > Properties > Coordinate System > National Grids > Europe > Greek Grid (ΕΓΣΑ'87).

Έπειτα οι χάρτες εισήχθησαν στο ArcGIS για να γεωαναφερθούν. Από το μενού Customize, μέσω της εργαλειοθήκης ToolBars, ενεργοποιήθηκε η εργαλειοθήκη Georeferencing. Στη συνέχεια ενεργοποιήθηκε το εργαλείο Add Control Points, με τη βοήθεια του οποίου επιλέχθηκαν τα 4 σημεία του χάρτη (γωνίες), όπου οι συντεταγμένες ήταν πλέον γνωστές. Με δεξί κλικ πάνω στο κάθε σημείο (Control Points) και επιλέγοντας Input X and Y, εισήχθησαν οι νέες συντεταγμένες στο χάρτη. Ο έλεγχος της ακρίβειας του μετασχηματισμού έγινε από το παράθυρο View Link Table της Georeferencing toolbar, όπου εμφανίζεται το Μέσω Τετραγωνικό Σφάλμα (Total RMS). Το σφάλμα είναι ιδανικό να είναι όσο μικρότερο γίνεται. Τέλος, η αποθήκευση της γεωαναφοράς έγινε από τη λίστα επιλογών του μενού Georeferencing > Update Georeferencing και έπειτα με την επιλογή Rectify έγινε αποθήκευση της γεωαναφερμένης πλέον εικόνας σε νέο αρχείο. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τα τέσσερα φύλλα Τοπογραφικών Χαρτών 1:50.000 (Λουτρά Ελευθερών, Νικήσιανη, Ροδολίβος, Στρατωνίκη).

Ακολούθησε η γεωαναφορά των σαρωμένων χαρτών (1:50.000) με την μέθοδο της ταύτισης κοινών σημείων (image to image) με τους γεωαναφερμένους πλέον Τοπογραφικούς Χάρτες. Για την εκτέλεση αυτής της μεθόδου απαιτήθηκαν αρκετά σημεία από διάφορα μέρη του χάρτη, ώστε να είναι πιο ακριβής η γεωαναφορά. Επιλέγοντας

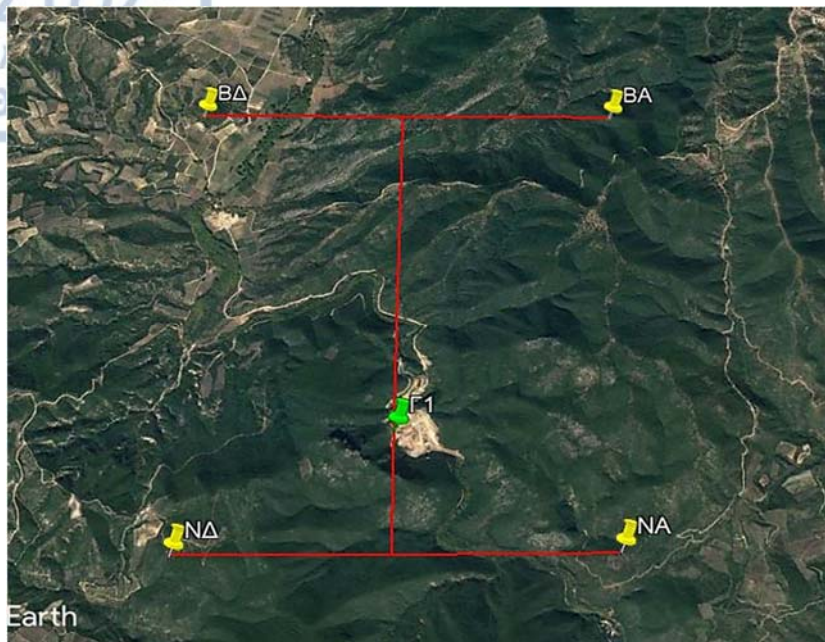
λοιπόν κοινά σημεία και χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες των γεωαναφερμένων χαρτών, ολοκληρώθηκε και η γεωαναφορά των σαρωμένων χαρτών (1:50.000).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την γεωαναφορά των σαρωμένων χαρτών 1:5.000 ήταν πιο πολύπλοκη διότι δεν υπήρχαν στη διάθεσή μου οι αντίστοιχοι χάρτες του Γ.Υ.Σ 1:5.000 ώστε να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν οι δικές τους συντεταγμένες.

Σο *Σχήμα 4.1*, το οποίο παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4, μετρήθηκε με χαράκι η απόσταση της Γεώτρησης Γ1 από την κοίτη. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το Google Earth και αφού πρώτα έγινε εστίαση στην περιοχή του φράγματος, τοποθετήθηκε η Γεώτρηση Γ1 στην αντίστοιχη απόσταση όπου είχε μετρηθεί στο βιβλίο (*Σχήμα 6.1*). Ταυτόχρονα στο χώρο εργασίας του ArcGIS προστέθηκε ο Γεωλογικός Χάρτης του Ταμιεντήρα 1:5.000 και τοποθετήθηκε κατά προσέγγιση η Γεώτρηση Γ1. Με τη χρήση του εργαλείου Measure, το οποίο βρίσκεται στην εργαλειοθήκη Tools του ArcMap, έγινε μέτρηση των αποστάσεων των τεσσάρων γωνιών του χάρτη από τη Γεώτρηση Γ1. Οι αντίστοιχες αποστάσεις με τον ίδιο προσανατολισμό μετρήθηκαν και στο Google Earth και σημειώθηκαν τα τέσσερα σημεία όπως φαίνεται στο *Σχήμα 6.2*. Ακολούθησε η εύρεση των συντεταγμένων των τεσσάρων γωνιών και έπειτα η μετατροπή τους από το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα του 1984 (WGS84) που χρησιμοποιούν οι δορυφορικές εικόνες του Google Earth, σε ΕΓΣΑ'87. Τελικά, χρησιμοποιώντας τις νέες συντεταγμένες ολοκληρώθηκε η γεωαναφορά των σαρωμένων χαρτών 1:5.000.



Σχήμα 6.1: Τοποθέτηση της Γεώτρησης Γ1 στον άξονα του φράγματος στο Google Earth.



Σχήμα 6.2: Μέτρηση αποστάσεων των τεσσάρων γωνιών από την Γεώτρηση Γ1.

6.3 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ

Ψηφιοποίηση είναι η διαδικασία αναπαράστασης συμβατικού υλικού σε ψηφιακό. Αυτή μπορεί να αφορά συμβατικά αντικείμενα οποιουδήποτε τύπου, όπως έντυπα τεκμήρια ή εικόνες, ήχο, βίντεο, τρισδιάστατα αντικείμενα, κλπ. Εφαρμόζεται όταν το υλικό που πρέπει να γίνει διαθέσιμο σε ψηφιακή μορφή υπάρχει μόνο σε συμβατική μορφή (ή και σε απαράδεκτης ποιότητας ψηφιακή μορφή). Σε περίπτωση κειμένου / εικόνων, περιλαμβάνει πρωτίστως τη σύλληψη και αποθήκευση του συμβατικού υλικού ως σειράς ψηφιακών εικόνων και πιθανώς τη μετατροπή του σε μορφή ακολουθίας ψηφιακών χαρακτήρων. Οι ψηφιοποιημένες πληροφορίες (π.χ. εικόνες σε TIFF, PDF, ...) είναι απομίμηση των εντύπων πληροφοριών, αλλά, ανάμεσα σε άλλα πλεονεκτήματά τους, υποστηρίζουν απομακρυσμένη πρόσβαση. Όμως σε ελάχιστο βαθμό έχουν τις ευελιξίες που έχει το πρωτογενές ψηφιακό υλικό, που δημιουργείται κατευθείαν ψηφιακά μέσω ενός υπολογιστή. Τα ψηφιακά αντικείμενα επιτρέπουν την απομακρυσμένη πρόσβαση, την ταυτόχρονη χρήση από πολλούς χρήστες όπου οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδρούν με το υλικό ανεξάρτητα, παρέχουν δυνατότητα επεξεργασίας και αναζήτησης. Ίσως το μεγαλύτερο κίνητρο για ψηφιοποίηση κειμένων και ακολούθως εφαρμογή της τεχνολογίας αναγνώρισης χαρακτήρων είναι η απομακρυσμένη πρόσβαση. (*«Εισαγωγή στις ψηφιακές βιβλιοθήκες»*, Ενδεικτικό Κεφάλαιο, <https://www.disigma.gr/vivlia/tehnika-vivlia/eisagvgh-stis-chfiakes-bibliouhkes.html>)

6.3.1 Δημιουργία Επίπεδου Πληροφορίας

Τα επίπεδα πληροφορίας (αρχεία shapefile, *.shp), αποτελούν το μέσο με το οποίο μπορούν να εισαχθούν στο σύστημα νέα δεδομένα με οργανωμένο τρόπο, τα οποία μάλιστα στη συνέχεια θα μπορούν να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία. Η δημιουργία ενός shapefile λαμβάνει χώρα στο Catalog, κάνοντας δεξί κλικ στον φάκελο μέσα στον οποίο θα αποθηκεύσουμε το νέο επίπεδο πληροφορίας και εν συνεχεία New > Shapefile. Εμφανίζεται η οθόνη Create New Shapefile όπου ορίζεται το όνομα του αρχείου και στο πεδίο Feature Type καθορίζεται το είδος των οντοτήτων που θα περιλαμβάνεται στο επίπεδο πληροφορίας. Τα συγκεκριμένα αρχεία (shapefile), είναι διανυσματικού τύπου, επομένως μπορεί να περιέχουν σημεία (points) , γραμμές (polylines) ή πολύγωνα (polygon). Από το κουμπί Edit ορίζεται το προβολικό σύστημα και τέλος πατώντας το OK δημιουργείται το shapefile. Κάθε shapefile περιλαμβάνει τον Πίνακα Περιγραφικών Δεδομένων (Attribute Table), όπου ο χρήστης μπορεί να εισάγει οποιαδήποτε πληροφορία όπως για παράδειγμα κείμενο, αριθμό, σύνδεσμο κ.α.

Για την προσθήκη χωρικών δεδομένων στο σύστημα μέσω της ψηφιοποίησης τα αρχεία *.shp στα οποία θα γίνει η καταχώρηση θα πρέπει να προϋπάρχουν και να είναι ενεργά στο χώρο εργασίας του ArcMap.

Για τους σκοπούς της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν και οι τρεις τύποι επιπέδων πληροφοριών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έτσι δημιουργήθηκαν τα εξής shapefiles:

Σημειακά Δεδομένα

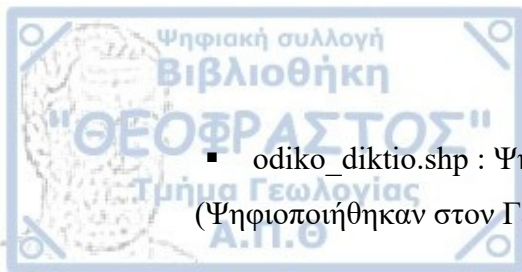
- Trigwnometrika_Simeia.shp : Ψηφιοποίηση όλων των τριγωνομετρικών σημείων και των κορυφών του χάρτη.
- gewtriseis.shp : Ψηφιοποίηση των Γεωτρήσεων στην περιοχή του φράγματος.

Γραμμικά Δεδομένα

- ydrografiko_fragma.shp : Ψηφιοποίηση του ποταμού Μαρμαρά.
- road.shp : Ψηφιοποίηση του οδικού δικτύου.
- faults.shp : Ψηφιοποίηση των ρηγμάτων.
- tectonic_contact.shp : Ψηφιοποίηση της τεκτονικής επαφής των σχηματισμών.

(Ψηφιοποιήθηκαν στον Γεωλογικό Χάρτη του ταμειυτήρα 1:5.000)

- fault_geologikos.shp : Ψηφιοποίηση των ρηγμάτων.
- thesi_fragmatos.shp : Ψηφιοποίηση της θέσης του φράγματος.
- ydrografiko_diktuo.shp : Ψηφιοποίηση του ποταμού Μαρμαρά.



- `odiko_diktio.shp` : Ψηφιοποίηση του οδικού δικτύου.
(Ψηφιοποιήθηκαν στον Γεωλογικό Χάρτη της λεκάνης τροφοδοσίας 1:50.000)

Πολυγωνικά Δεδομένα

- `geology_fragma.shp` : Ψηφιοποίηση των Γεωλογικών Σχηματισμών της περιοχής.
- `fragma.shp` : Ψηφιοποίηση του φράγματος και των συνοδών έργων.

(Ψηφιοποιήθηκαν στον Γεωλογικό Χάρτη του ταμιευτήρα 1:5.000)

- `Geology.shp` : Ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών.
- `Oikismoι.shp` : Ψηφιοποίηση των οικισμών.

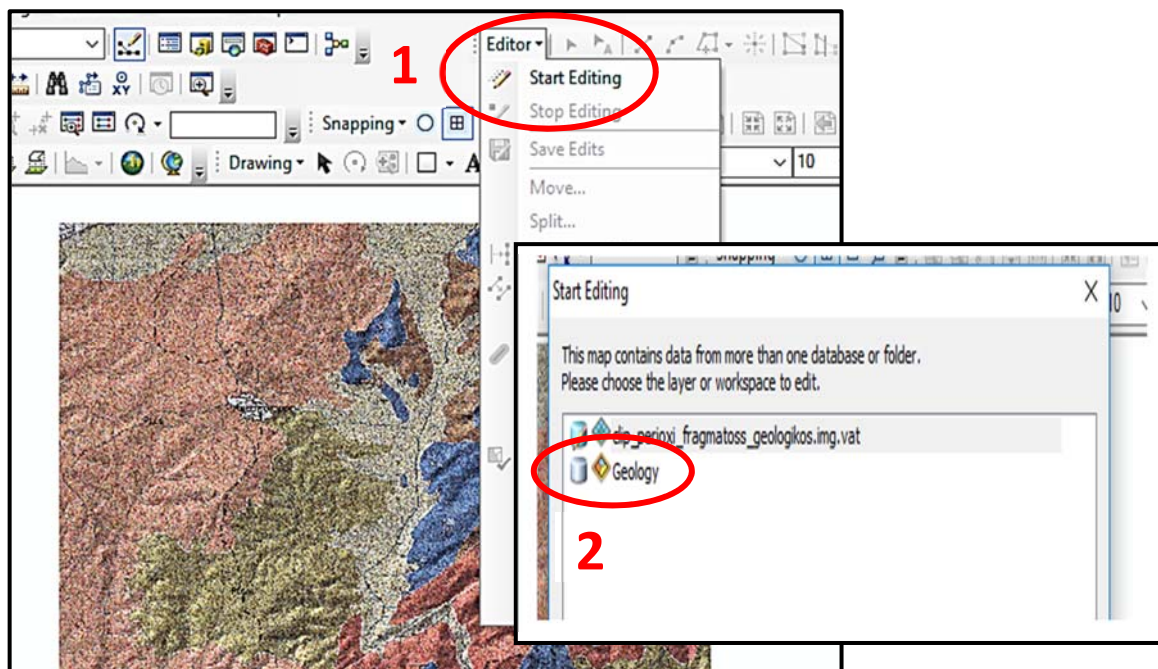
(Ψηφιοποιήθηκαν στον Γεωλογικό Χάρτη της λεκάνης τροφοδοσίας 1:50.000)

6.3.2 Ψηφιοποίηση Δεδομένων

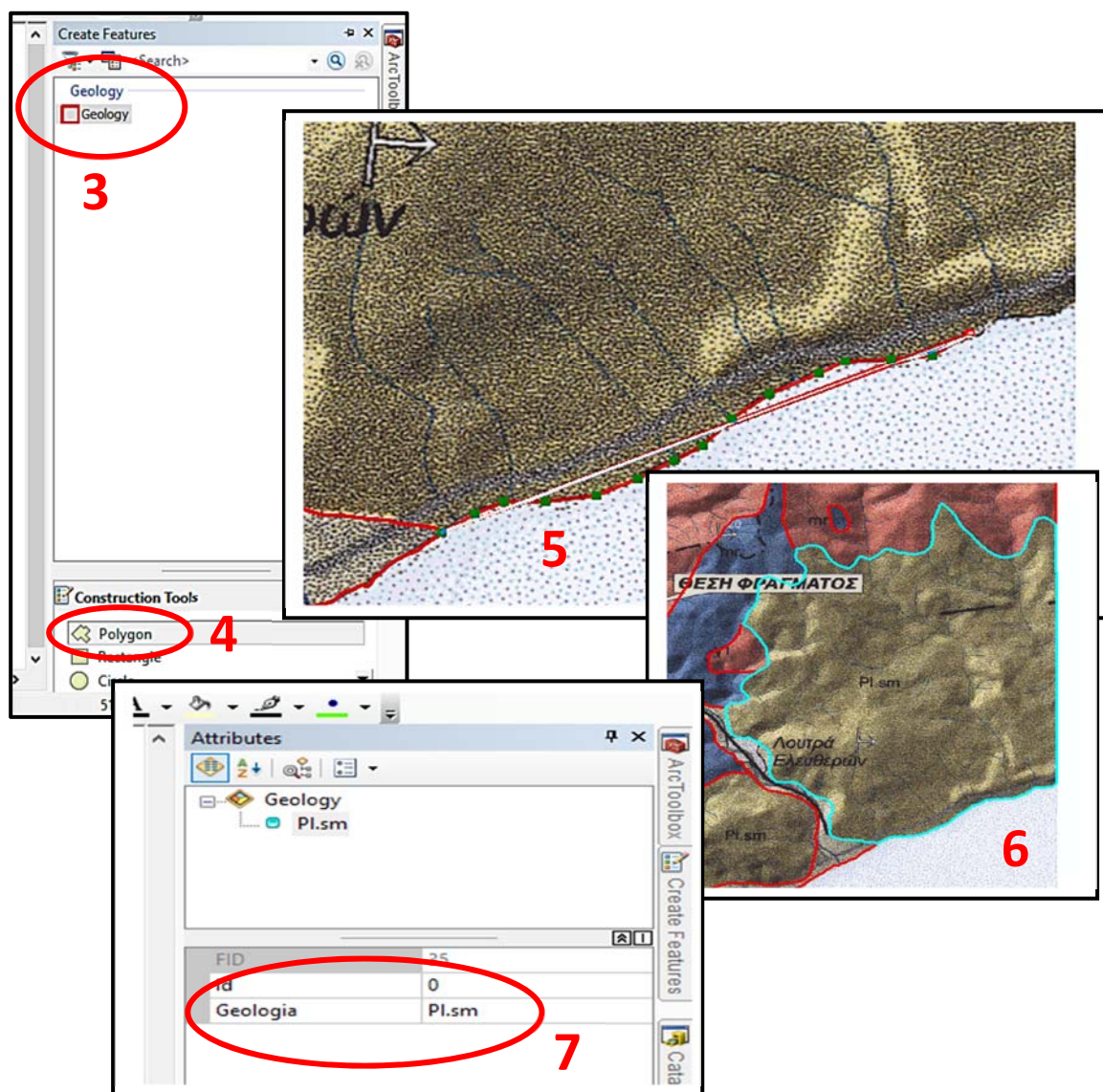
Πριν ξεκινήσει η ψηφιοποίηση, αποκόπηκαν από τους χάρτες μικρότερα τμήματα ώστε η πληροφορία μας να είναι συγκεντρωμένη στην περιοχή του φράγματος. Πρωτίστως, δημιουργήθηκαν δύο αρχεία shapefile (`clip_perioxi_fragmatos_geologikos.shp` και `clip_geol.tamieutira.shp`) για την περικοπή των χαρτών. Με το εργαλείο Clip που βρίσκεται στην εργαλειοθήκη ArcToolbox ακολουθώντας το μονοπάτι ArcToolbox > Data Management Tools > Raster > Raster Processing > Clip ενεργοποιήθηκε το παράθυρο Clip. Στο πεδίο Input Raster προστέθηκε ο χάρτης από τον οποίο έγινε η αποκοπή (Γεωλογικός χάρτης λεκάνης τροφοδοσίας 1:50.000 και Τοπογραφικός χάρτης ταμιευτήρα 1:5.000) και στο πεδίο Output extent προστέθηκε κάθε φορά το αντίστοιχο shapefile στο οποίο έγινε εξαγωγή της κομμένης εικόνας. Στο πεδίο Output Raster Dataset ορίστηκε το όνομα του αρχείου καθώς επίσης και ο φάκελος στον οποίο έγινε η αποθήκευση αυτού. Ολοκληρώνοντας, ενεργοποιήθηκε η επιλογή 'Use Input Features For Clipping Geometry (optional)' και πατώντας OK δημιουργήθηκε το αρχείο με το τμήμα της εικόνας που αποκόπηκε από τον χάρτη.

Έπειτα η ψηφιοποίηση πραγματοποιήθηκε μέσω της εργαλειοθήκης Editor η οποία ενεργοποιήθηκε από το μενού Customize > Toolbar > Editor. Από την εργαλειοθήκη επιλέχθηκε η εντολή Start Editing και κάθε φορά οριζόταν το επίπεδο εκείνο στο οποίο ήταν επιθυμητή η αποθήκευση των προς ψηφιοποίηση δεδομένων. Στο παράθυρο Create Features που ενεργοποιείται αυτόματα, επιλέχθηκε και πάλι το επιθυμητό επίπεδο πληροφορίας και στο κάτω μέρος του παραθύρου επιλέχθηκε το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε (point, polyline, polygon), ανάλογα με τη γεωμετρία του επιπέδου πληροφορίας που είχαμε επιλέξει στο πάνω τμήμα του παραθύρου. Στη συνέχεια, αφού

έγινε μεγέθυνση του χάρτη ξεκίνησε η ψηφιοποίηση των δεδομένων. Για κάθε ψηφιοποιημένο σημείο, γραμμή ή πολύγωνο, μέσω του εργαλείου Attributes, στην εργαλειοθήκη Editor, ενεργοποιούνται ο πίνακας περιγραφικών δεδομένων όπου εισάγονταν οι πληροφορίες που αφορούσαν την εκάστοτε οντότητα. Μετά το πέρας της ψηφιοποίησης των επιθυμητών δεδομένων, χρησιμοποιώντας την εντολή Save Edits της εργαλειοθήκης Editor, αποθηκεύτηκαν όλες οι τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν και έπειτα επιλέγοντας Stop Editing ολοκληρώθηκε η διαδικασία της ψηφιοποίησης. Στις παρακάτω εικόνες περιγράφεται επαρκώς ένα παράδειγμα ψηφιοποίησης δεδομένων της εργασίας. Το παράδειγμα αναφέρεται στην ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 6.3: Εκκίνηση ψηφιοποίησης.



Σχήμα 6.4: Βήματα ψηφιοποίησης.



Σχήμα 6.5: Ολοκλήρωση της ψηφιοποίησης.

6.3.3 Ανάλυση και Επεξεργασία Δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση της ψηφιοποίησης των δεδομένων ακολουθεί μια διαδικασία οπτικής απεικόνισης των δεδομένων, με σκοπό να δημιουργηθούν οι τελικοί χάρτες. Είναι σημαντικό τα χωρικά δεδομένα να εμφανίζονται στις διάφορες μορφές χαρτογραφικής τους απεικόνισης με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν εύκολα αντιληπτές οι θέσεις των αντικειμένων που απεικονίζονται, οι σχέσεις που διέπουν τα δεδομένα αυτά (ποιοτικές και ποσοτικές) καθώς και οι άλλες χωρικές και περιγραφικές πληροφορίες που περιλαμβάνονται σε μια απεικόνιση (Longley et. Al. 2005, Robinson et.al. 1984).

Στην περίπτωση που τα δεδομένα μας αποτελούνται από τα ίδια χαρακτηριστικά τότε επιλέγεται ένα σύμβολο ή κάποιο είδος γραμμής για την απεικόνιση τους. Αυτό πραγματοποιείται κάνοντας κλικ στο σύμβολο του θεματικού επιπέδου και πατώντας στο κουμπί Edit Symbol στο αναδυόμενο παράθυρο Symbol Selector. Το πρόγραμμα παρέχει μια πλούσια συλλογή από σύμβολα και είδη γραμμών κατάλληλα για διαφορετικούς θεματικούς χάρτες.

Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο όταν θέλουμε να διαφοροποιήσουμε δεδομένα τα οποία εμπεριέχονται ως ένα σύνολο πολύγωνων μέσα στο ίδιο shapefile. Η διαδικασία είναι πιο πολύπλοκη και ξεκινάει κάνοντας δεξί κλικ στο shapefile και επιλέγοντας Properties. Στο αριστερό τμήμα της καρτέλας Symbology, στο πεδίο Show, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι θεματικής χαρτογραφίας.

Η μέθοδος **Features** εμφανίζει με τον ίδιο τρόπο όλες τις οντότητες του θεματικού επιπέδου ασχέτως των πληροφοριών τους στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών.

Η μέθοδος **Categories** εμφανίζει με διαφορετικό τρόπο τις επιμέρους οντότητες, ανάλογα με την πληροφορία που περιέχεται στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών.

Η μέθοδος **Quantities** εφαρμόζεται μόνο σε αριθμητικά πεδία με σκοπό την ομαδοποίηση των τιμών. Θα πρέπει να καθοριστεί η μέθοδος με την οποία θα γίνει η ομαδοποίηση των τιμών όπως για παράδειγμα με ίσα εύρη τιμών, με ίσο πλήθος τιμών, κ.ά.

Η μέθοδος **Charts** δημιουργεί γραφήματα σε κάθε οντότητα ανάλογα με τις πληροφορίες του πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών και εφαρμόζεται επίσης μόνο σε αριθμητικά πεδία. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την γεωγραφική κατανομή παραπάνω της μιας περιγραφικής πληροφορίας.

Τέλος, η μέθοδος **Multiple Attributes** δημιουργεί σύνθετους θεματικούς χάρτες.

(Ευελπίδου, Κοτίνας, 2015, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Σημειώσεις Εργαστηρίου, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών)

Στην παρούσα εργασία ακολουθήθηκαν τα βήματα της πρώτης περίπτωσης για την οπτικοποίηση των θεματικών επιπέδων των τριγωνομετρικών σημείων, των γεωτρήσεων, του υδρογραφικού δικτύου, των δρόμων, των ρηγμάτων και των τεκτονικών επαφών και τέλος της θέσης τους φράγματος. Αντίθετα για την απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών, του φράγματος και των συνοδών έργων, καθώς επίσης και για τους οικισμούς, πραγματοποιήθηκε η δεύτερη διαδικασία.

6.4 DEM

Ως Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Terrain Model/DTM ή Digital Elevation Model/DEM) ορίζεται ένα σύνολο διακεκριμένων σημείων με γνωστή οριζοντιογραφική θέση και υψόμετρο, στοιχεία τα οποία με τη χρήση μαθηματικής συνάρτησης (μαθηματικό μοντέλο) συνθέτουν αξιόπιστα το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους *(Χατζόπουλος, 2006)*.

Η γνώση του αναγλύφου ή των μεταβολών αυτού και μάλιστα σε ψηφιακή μορφή, υπό τη μορφή ενός DEM, συνιστά απαραίτητο στοιχείο για την ανάκτηση, ενημέρωση ή χρήση ψηφιακών βάσεων δεδομένων για τοπογραφικούς και παράγωγους θεματικούς χάρτες.

Τα αρχεία αυτά είναι συνήθως τύπου raster (ψηφιδωτής μορφής) και έχουν αποθηκευμένη την πληροφορία τους σε εικονοστοιχεία (pixel). Είναι κατάλληλα για πολλαπλές χρήσεις σε περιβάλλον GIS ή λογισμικών ψηφιακής επεξεργασίας τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Οι υπάρχοντες τοπογραφικοί χάρτες αποτελούν σημαντική πηγή δημιουργίας DEM, καθώς παρέχουν τις απαραίτητες μορφολογικές λεπτομέρειες για την αναπαράσταση του αναγλύφου. Συνήθως, ψηφιοποιούνται οι ισοϋψείς καμπύλες και τα τριγωνομετρικά

σημεία, ενώ απαιτείται η εφαρμογή μεθόδων παρεμβολής για τον υπολογισμό των υψομέτρων ανάμεσα στις ισοϋψείς.

Στην παρούσα εργασία, το στάδιο ψηφιοποίησης των ισοϋψών για την δημιουργία του DEM παραλήφθηκε. Το DEM λήφθηκε κατευθείαν από το διαδίκτυο (<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>) με σκοπό να γίνει η κατάλληλη επεξεργασία και οι μορφοποιήσεις που απαιτούνταν για την παραγωγή των χαρτών. Μετά τη λήψη του αρχείου raster, χρησιμοποιώντας το εργαλείο Clip και τα βήματα που περιεγράφηκαν παραπάνω, το DEM κόπηκε στα μέτρα της περιοχής μελέτης. Έπειτα μέσα από επεξεργασία του DEM δημιουργήθηκε ένας υψομετρικός χάρτης, ένας χάρτης μορφολογικών κλίσεων και ένας προσανατολισμού αυτών και ένας χάρτης σκιασμένου αναγλύφου.

6.4.1 Υψομετρικός Χάρτης

Για τη δημιουργία του υψομετρικού χάρτη, από την επιλογή Properties και την καρτέλα Symbology πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες μορφοποιήσεις. Στο πεδίο Show επιλέχθηκε η επιλογή Classified και εν συνεχεία ορίστηκαν 10 κλάσεις με την μέθοδο natural breaks. Τέλος, επιλέχθηκε η κατάλληλη παλέτα χρωμάτων ώστε να αναδειχθεί το ανάγλυφο της περιοχής.

6.4.2 Χάρτης Μορφολογικών Κλίσεων

Για τη δημιουργία του χάρτη μορφολογικών κλίσεων μέσω του ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface, επιλέχθηκε η εντολή Slope. Στο παράθυρο διαλόγου που ενεργοποιήθηκε, ορίστηκε στο πεδίο Input Raster το DEM, ενώ στο πεδίο Output Raster καθορίστηκε ο χώρος στον οποίο αποθηκεύτηκε το νέο αρχείο. Τέλος, στο πεδίο Output measurement ορίστηκαν σαν επιλογή οι μοίρες και πατώντας το OK δημιουργήθηκε ο χάρτης μορφολογικών κλίσεων. Όπως και με τον υψομετρικό χάρτη, έγιναν οι κατάλληλες μορφοποιήσεις (ορισμός κλάσεων και παλέτα χρωμάτων) στην καρτέλα Properties για να αναδειχθεί καλύτερα ο χάρτης.

6.4.3 Χάρτης Προσανατολισμού Μορφολογικών Κλίσεων

Για τη δημιουργία του χάρτη προσανατολισμού μορφολογικών κλίσεων μέσω του ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface, επιλέχθηκε η εντολή Aspect. Και σε αυτή την περίπτωση ορίστηκε το DEM στο πεδίο Input Raster, καθώς επίσης και ο χώρος στον

οποίο αποθηκεύτηκε το αρχείο. Η δημιουργία του χάρτη ολοκληρώθηκε, ενώ για τις κλάσεις και την παλέτα χρωμάτων δεν χρειάστηκε να γίνουν αλλαγές.

6.4.4 Χάρτης Σκιασμένου Αναγλύφου

Για τον χάρτη σκίασης ακολουθήθηκε το ίδιο μονοπάτι μέσω της εργαλειοθήκης ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface και επιλέχθηκε η εντολή Hillshade. Στο παράθυρο διαλόγου που ενεργοποιήθηκε εφαρμόστηκαν ακριβώς οι ίδιες ενέργειες όπως και για την δημιουργία του χάρτη μορφολογικών κλίσεων. Κατά την ολοκλήρωση του χάρτη σκιασμένου αναγλύφου, ορίστηκαν από το παράθυρο Properties οι κλάσεις και η επιθυμητή παλέτα χρωμάτων.

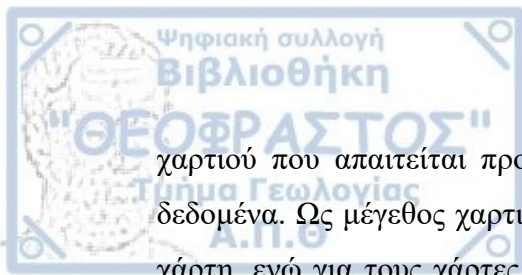
6.5 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με την ολοκλήρωση όλης της ανωτέρω διαδικασίας φτάνουμε στο στάδιο όπου όλα τα δεδομένα πρέπει να οργανωθούν και να συνθέσουν τους θεματικούς χάρτες. Το ArcGIS παρέχει τη δυνατότητα χαρτογραφικής απόδοσης των αποτελεσμάτων. Ένας χάρτης πρέπει να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την κλίμακά του, το σύστημα αναφοράς, καθώς και διάφορα εποπτικά στοιχεία, όπως τίτλο, δείκτη βορρά, υπόμνημα καθώς και οι ένθετοι χάρτες. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκαν επτά (7) χάρτες.

1. Γεωλογικός χάρτης περιοχή του φράγματος.
2. Τοπογραφικός χάρτης περιοχή φράγματος.
3. Γεωλογικός χάρτης στη θέση θεμελίωσης του φράγματος.
4. Υψομετρικός χάρτης της περιοχής του φράγματος.
5. Χάρτης μορφολογικών κλίσεων στην περιοχή του φράγματος.
6. Χάρτης προσανατολισμού μορφολογικών κλίσεων στην περιοχή του φράγματος.
7. Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου στην περιοχή του φράγματος.

Ακολουθεί η διαδικασία της διαμόρφωσής τους, έτσι ώστε να δίνονται όλα τα χαρτογραφικά στοιχεία, να είναι αναγνώσιμες με ευκολία όλες οι χωρικές πληροφορίες και το σύνολό τους να είναι ευπαρουσίαστο.

Το παράθυρο στο οποίο πραγματοποιήθηκε η τελική διαμόρφωση των χαρτών, είναι αυτό του χώρου διαμόρφωσης που ονομάζεται Layout και βρίσκεται στην κάτω αριστερή γωνία του πλαισίου. Αρχικά εισήχθησαν τα προς χαρτογράφηση δεδομένα και έπειτα από την ακολουθία File > Page and Print setup, ορίστηκε το μέγεθος και ο προσανατολισμός του



χαρτιού που απαιτείται προκειμένου να οργανωθούν ή ακόμα και να εκτυπωθούν τα δεδομένα. Ως μέγεθος χαρτιού ορίστηκε το A2 για τον Γεωλογικό και τον Τοπογραφικό χάρτη, ενώ για τους χάρτες που προέκυψαν από το DEM ορίστηκε το A4 με οριζόντιο προσανατολισμό (Landscape) και στις δύο περιπτώσεις. Αφού προσαρμόστηκε και ο κεντρικός χάρτης μέσα στο Data Frame της σελίδας, επιλέγοντας την επιθυμητή κλίμακα, ακολούθησε η εισαγωγή του συμβόλου προσανατολισμού (North Arrow), του δείκτη της κλίμακας (Scale bar & Scale text) και του υπομνήματος (Legend), μέσω της καρτέλας Insert, επιλέγοντας κάθε φορά την αντίστοιχη επιλογή. Από την ίδια καρτέλα έγινε και η εισαγωγή του ένθετου χάρτη που δείχνει την θέση της περιοχής μελέτης σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή δημιουργώντας ένα καινούριο Data Frame. Στο νέο Data Frame προστέθηκε ένα αρχείο το οποίο περιείχε όλους τους νομούς της Ελλάδας. Από την επιλογή Properties του Data Frame και την καρτέλα Extent Indicators, επιλέχθηκε το πλαίσιο δεδομένων που περιείχε το αποτέλεσμα, δηλαδή το αρχείο με τους νομούς της Ελλάδας. Επιπλέον στην καρτέλα Insert, με την επιλογή Neatline προστέθηκε ένα πλαίσιο στο οποίο ενσωματώθηκε ο τίτλος του χάρτη, ο τίτλος της εργασίας, το πανεπιστήμιο με το λογότυπό του Τμήματος Γεωλογίας και το όνομα του δημιουργού των χαρτών. Τέλος, από το μονοπάτι View > Data frame properties > Grids > New grid, δημιουργήθηκε ένας κάνναβος συντεταγμένων στο προβολικό σύστημα που είχαν ήδη οι χάρτες, δηλαδή στο ΕΓΣΑ87. Ολοκληρώνοντας την μορφοποίηση του κάθε χάρτη, για την αποθήκευσή του υπό μορφή εικόνας (jpeg, tiff κ.α.) χρησιμοποιήθηκε η εντολή Export Map από το μενού File. Στο αναδυόμενο παράθυρο ορίστηκε το όνομα του χάρτη καθώς επίσης και το είδος του αρχείου, tiff στην συγκεκριμένη περίπτωση. Τελευταία στην επιλογή Options που βρίσκεται στο κάτω μέρος του παραθύρου, ορίστηκε η ανάλυση της εικόνας που θα εξαχθεί στα 300 dpi.

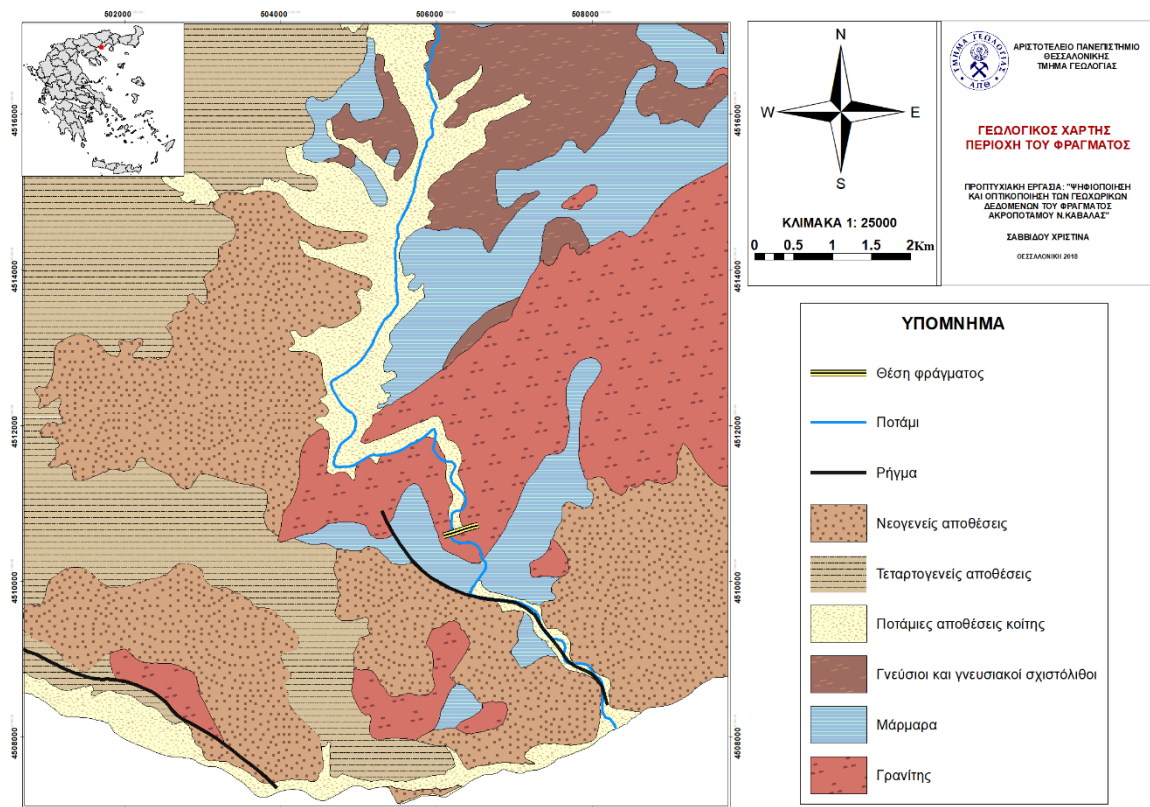
7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να αναδειχθούν τα γεωχωρικά δεδομένα του φράγματος Μαρμαρά Ακροποτάμου μέσα από τους χάρτες που δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον GIS και κατά συνέπεια να τονιστεί ότι τα GIS αποτελούν αναντίρρητα ένα πολύ σημαντικό ή/και απαραίτητο εργαλείο για τους γεωλόγους.

Ως αποτέλεσμα της εισαγωγής, διαχείρισης, επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων σε περιβάλλον GIS, προέκυψαν οι γεωθεματικοί χάρτες και άλλα ψηφιακά προϊόντα (ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου-κατανομών) που παρουσιάζονται παρακάτω.

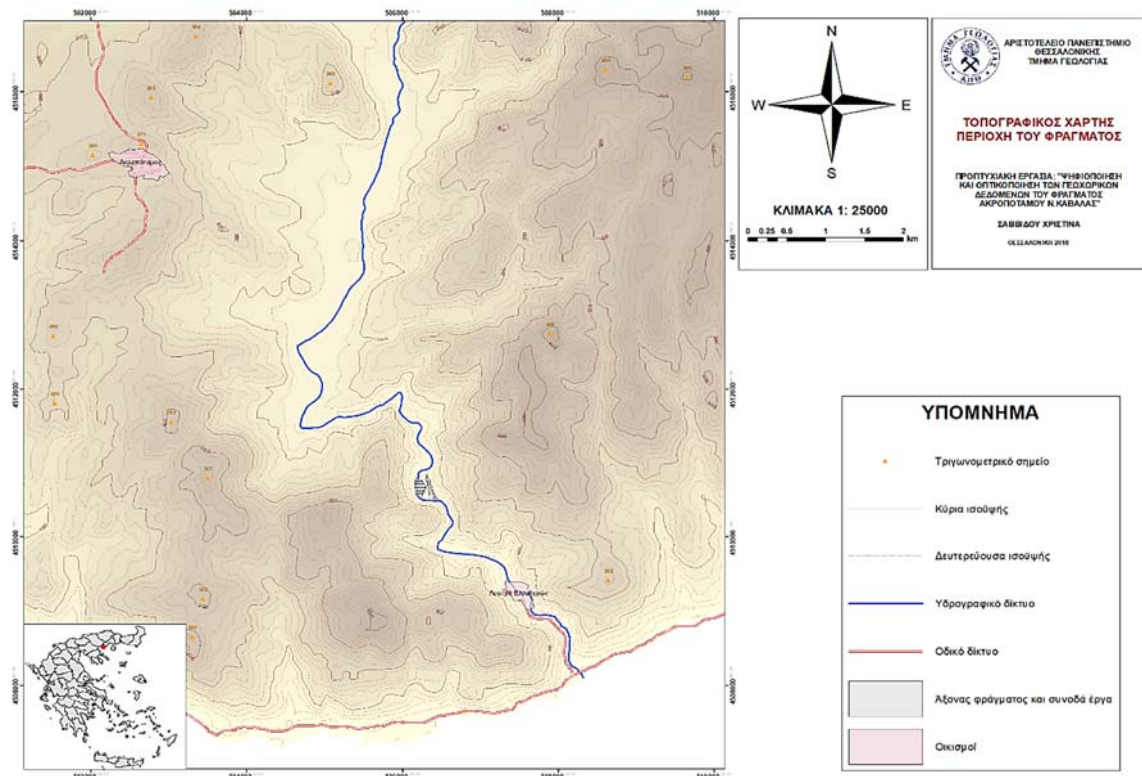
Οι θεματικοί χάρτες περιλαμβάνουν αναλυτικό υπόμνημα και όλα τα λοιπά γραφικά, χαρτογραφικά και εποπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την καλύτερη ανάγνωση και ερμηνεία της χωρικής πληροφορίας που εμπεριέχεται σε αυτές.

Γεωλογικός Χάρτης Περιοχή του Φράγματος : Χάρτης με κλίμακα 1:25000 όπου απεικονίζεται η θέση του έργου και οι γεωλογικοί σχηματισμοί γύρω από αυτό, τα ρήγματα και το ποτάμι.

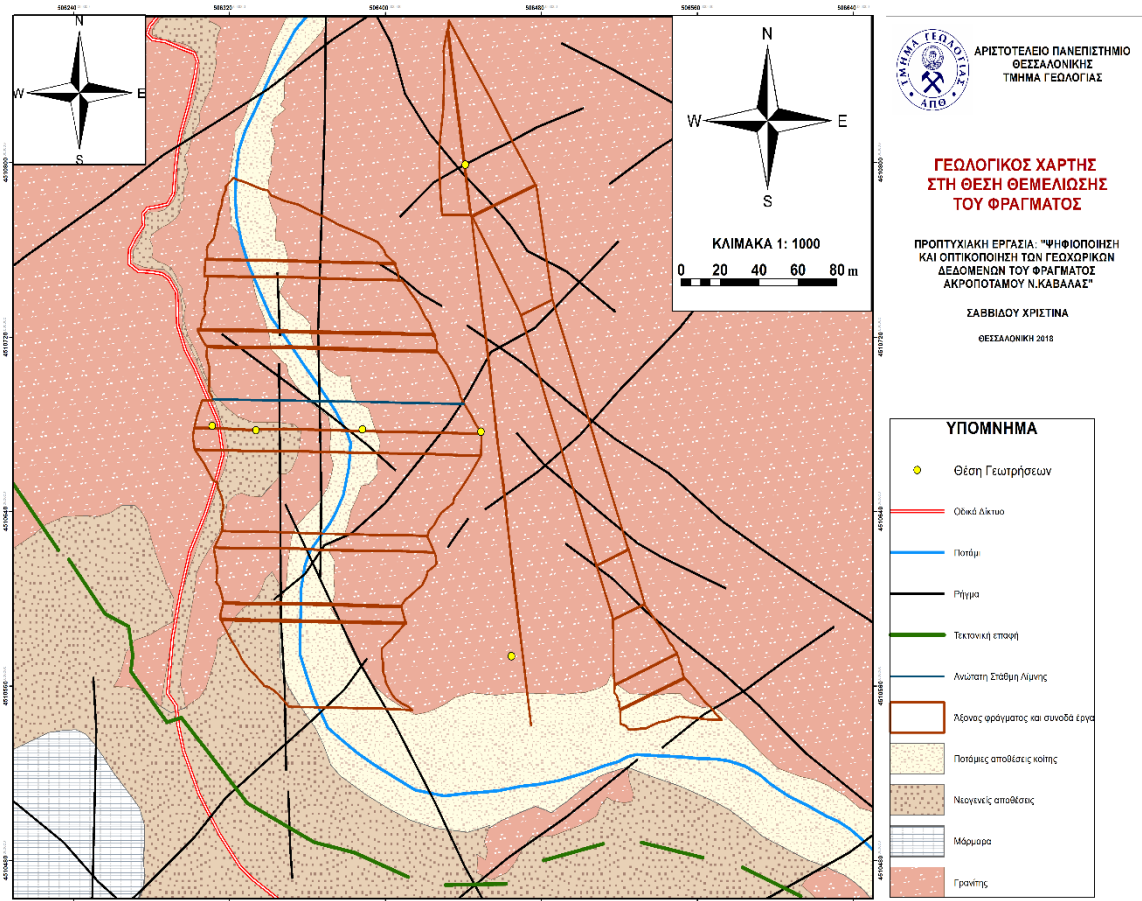


Τοπογραφικός Χάρτης Περιοχή του Φράγματος : Χάρτης με κλίμακα 1:25000 όπου απεικονίζονται τα τριγωνομετρικά σημεία, οι ισοϋψείς καμπύλες (κύριες και

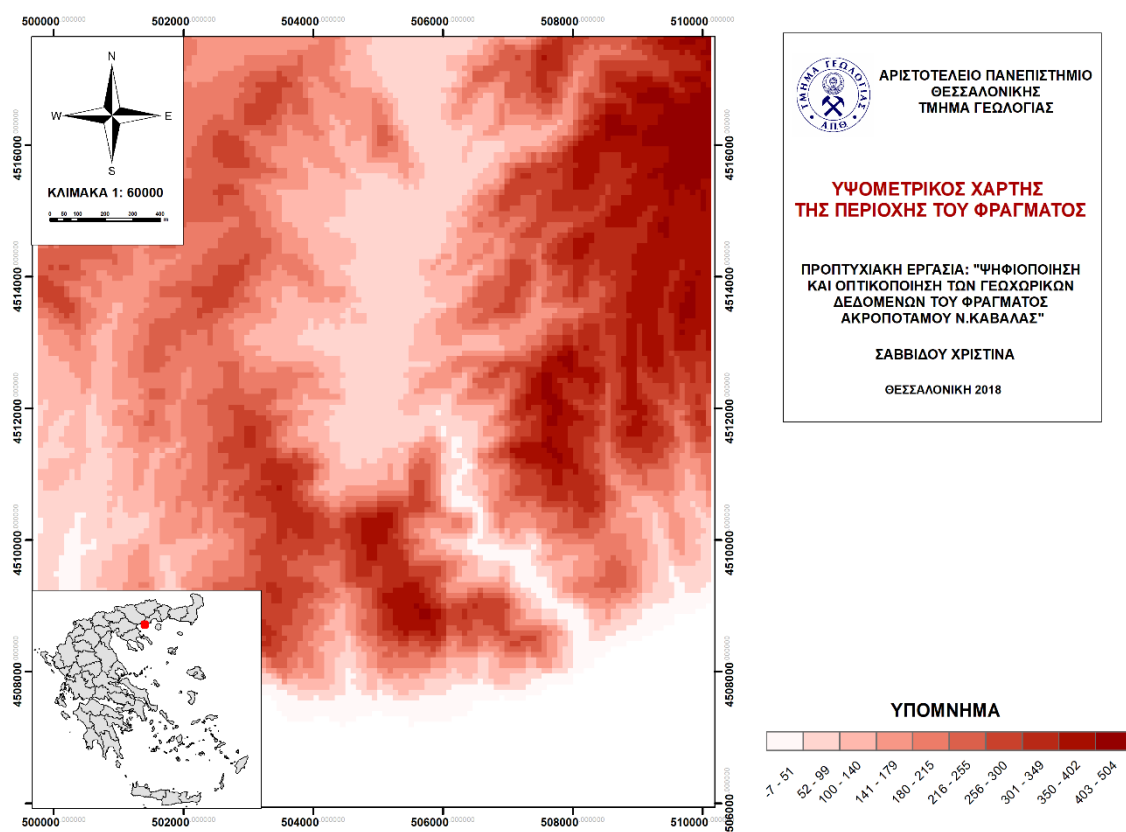
δευτερεύουσες), το υδρογραφικό και το οδικό δίκτυο, ο άξονας του φράγματος και τα συνοδά έργα και τέλος οι πιο κοντινοί οικισμοί στην περιοχή του φράγματος.



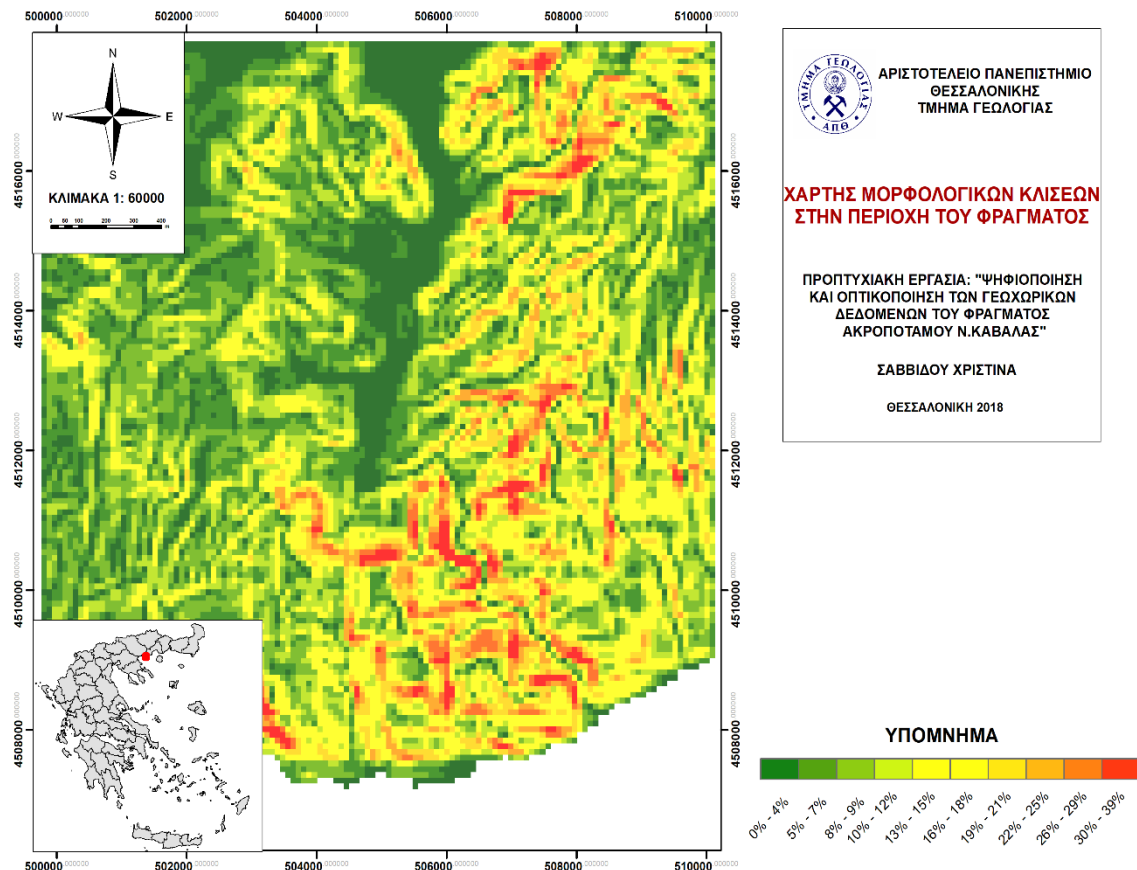
Γεωλογικός χάρτης στη θέση θεμελίωσης του φράγματος : Χάρτης με κλίμακα 1:1000 όπου απεικονίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί ακριβώς στη θέση του φράγματος, τα ρήγματα και η τεκτονική επαφή των σχηματισμών, ο ποταμός Μαρμαράς και το οδικό δίκτυο. Επίσης στον συγκεκριμένο χάρτη εκτός από το φράγμα και τα συνοδά έργα φαίνονται και οι θέσεις των γεωτρήσεων.



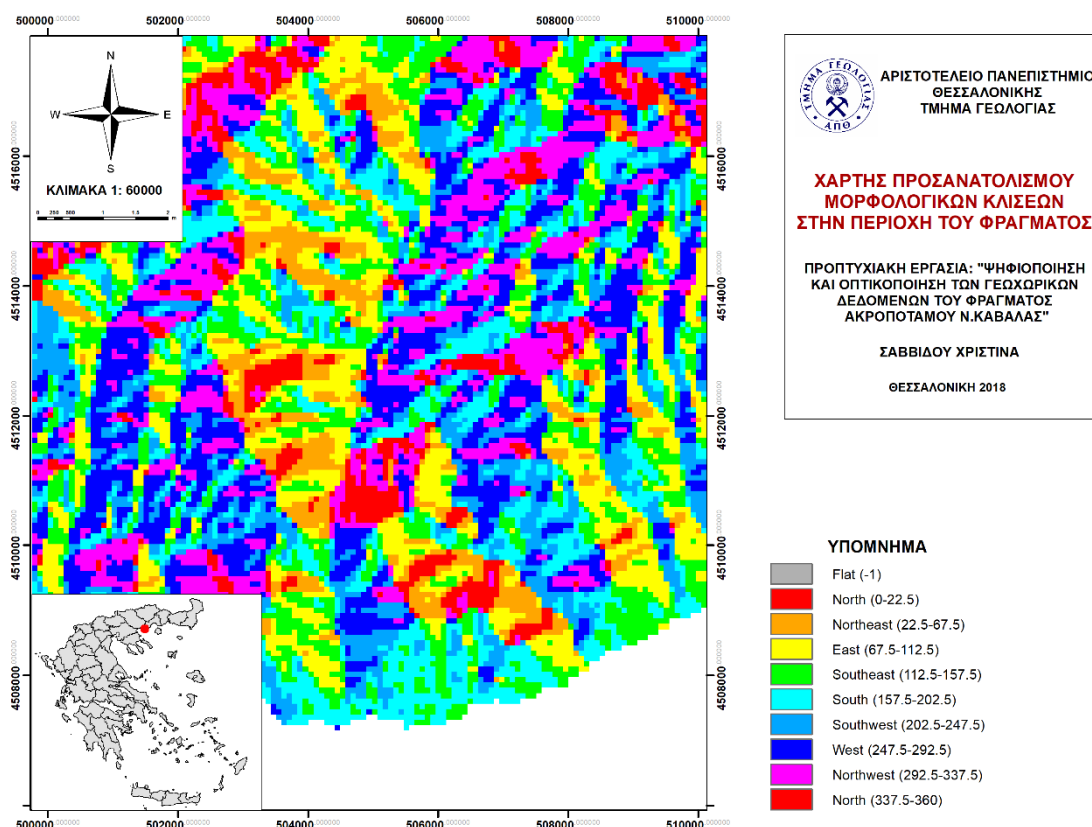
Υψομετρικός Χάρτης της περιοχής του φράγματος : Χάρτης με κλίμακα 1:6000 όπου φαίνεται η διαμόρφωση των υψομέτρων όπως έχει ομαδοποιηθεί σε 10 κλάσεις. Παρατηρούμε ότι στην περιοχή του φράγματος κυριαρχούν προφανώς τα χαμηλά υψόμετρα ενώ όσο απομακρυνόμαστε από την περιοχή προς τους ορεινούς όγκους εκατέρωθεν του φράγματος τα υψόμετρα μεγαλώνουν.



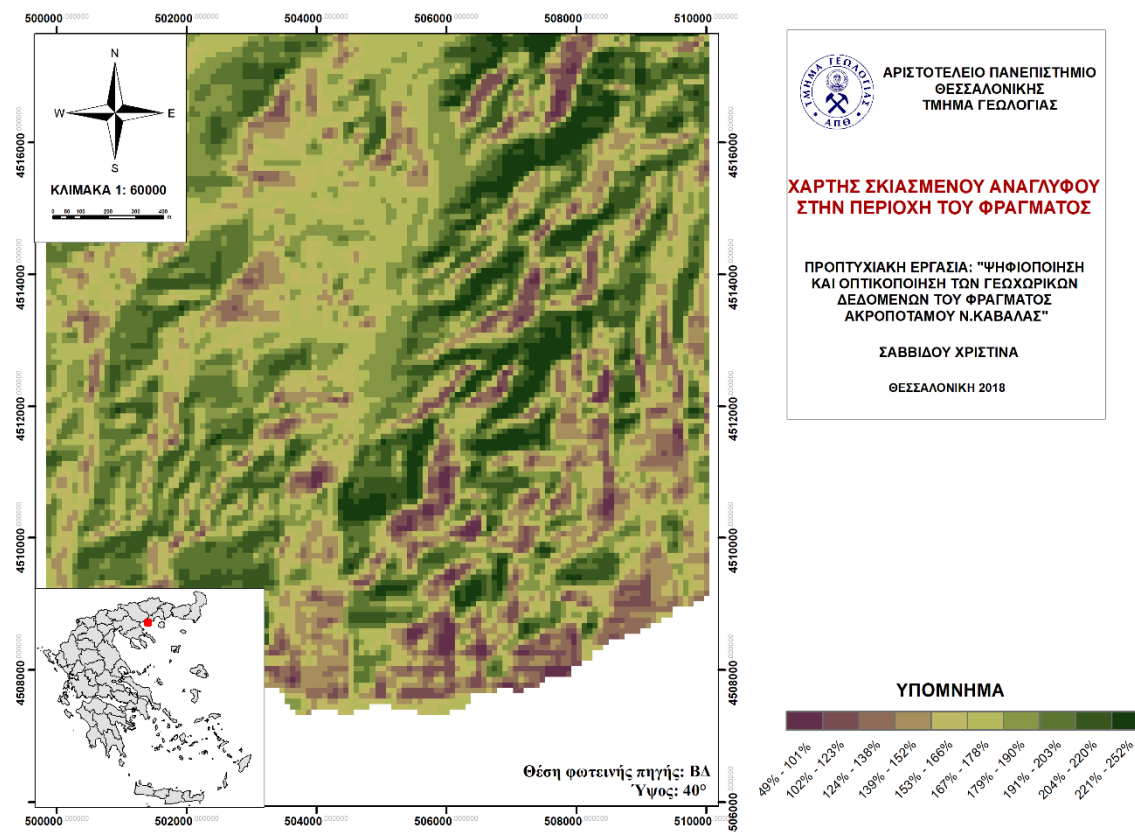
Χάρτης Μορφολογικών Κλίσεων στην περιοχή του φράγματος : Χάρτης με κλίμακα 1:6000 όπου απεικονίζονται οι μορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου στην περιοχή του φράγματος, ομαδοποιημένες σε 10 κλάσεις. Παρατηρούμε ότι οι μέγιστες κλίσεις βρίσκονται ΝΔ του φράγματος και Β προς την Πιέρια λεκάνη και παίρνουν τιμές από 26% έως και 39%.



Χάρτης Προσανατολισμού Μορφολογικών Κλίσεων στην περιοχή του φράγματος :
Χάρτης με κλίμακα 1:6000 όπου απεικονίζονται οι διευθύνσεις των μορφολογικών κλίσεων σε 10 κλάσεις. Οι κύριες διευθύνσεις προσανατολισμού των κλίσεων όπως φαίνεται στο χάρτη είναι κυρίως προς τα Δυτικά και προς τα Ανατολικά, λιγότερες προς Νότια και έπειτα προς όλες τις άλλες διευθύνσεις.



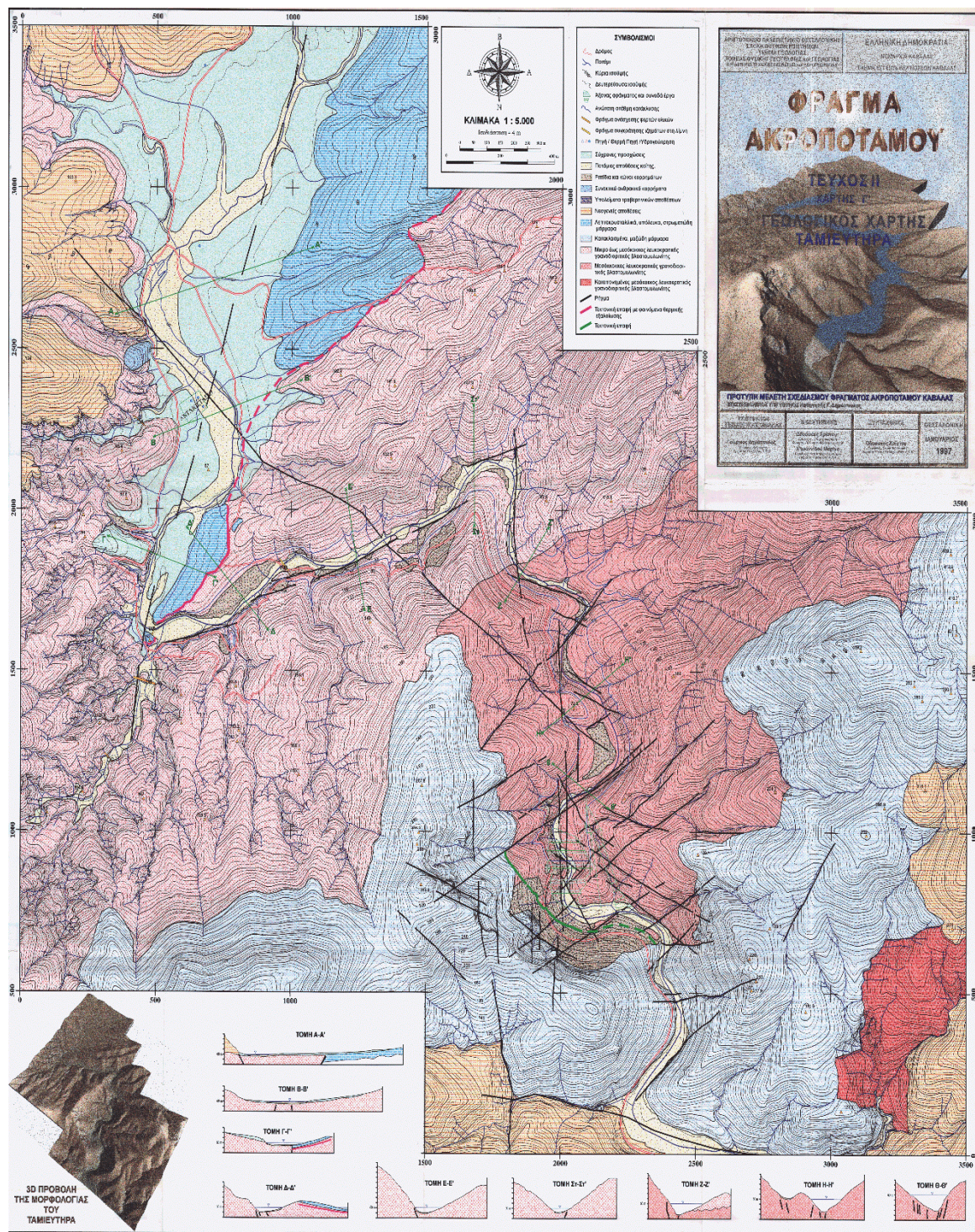
Χάρτης Σκιασμένου Αναγλύφου στην περιοχή του φράγματος : Χάρτης με κλίμακα 1:6000 όπου απεικονίζεται η κατανομή του σκιασμένου αναγλύφου. Η θέση της φωτεινής πηγής είναι στα ΒΔ ενώ το ύψος είναι 40°.



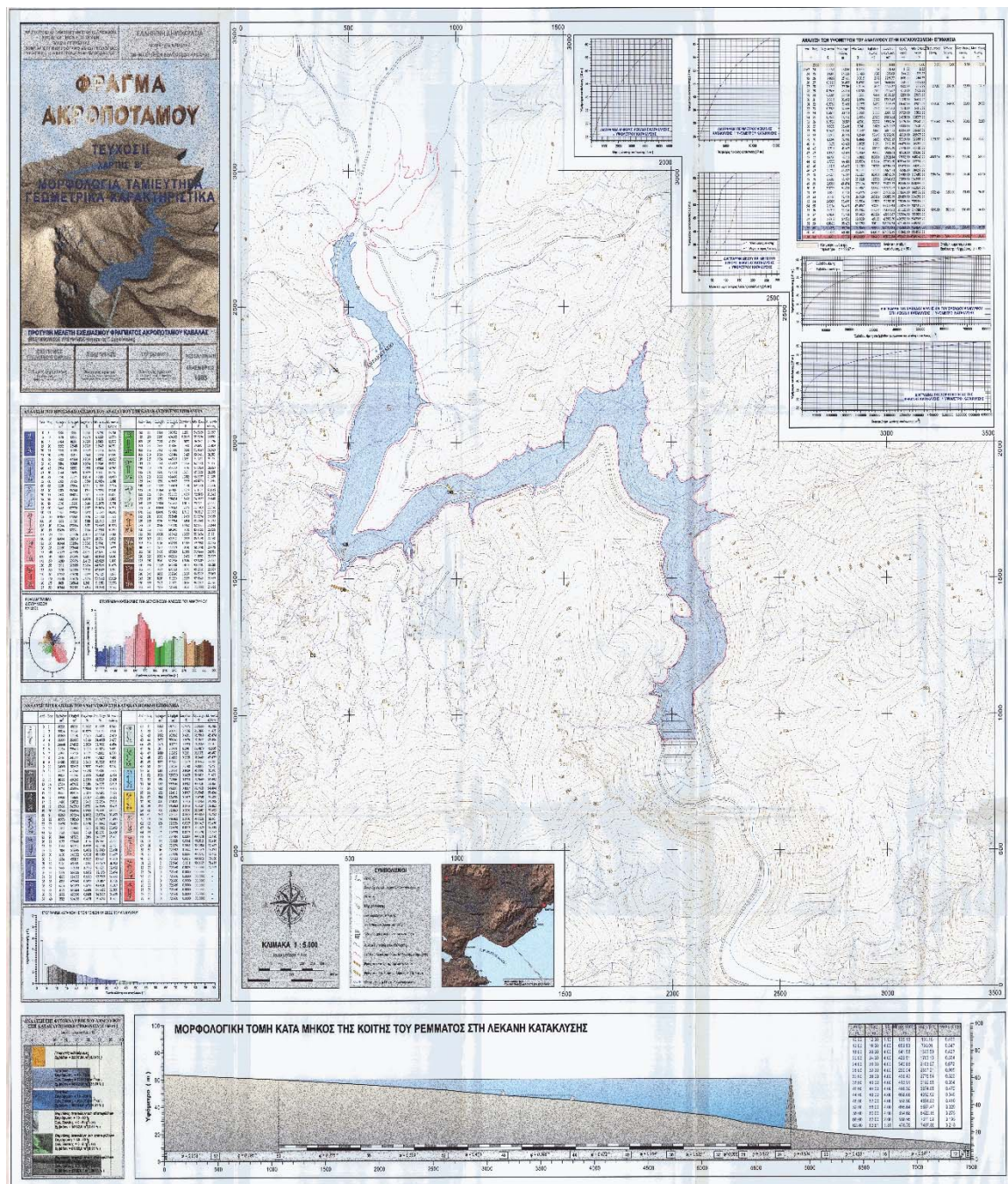
Συμπερασματικά τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών παρείχαν το καλύτερο περιβάλλον για τη συλλογή, αποθήκευση, διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση και χαρτογραφική απεικόνιση των σύνθετων γεωπληροφοριών. Οι θεματικοί χάρτες που προέκυψαν παρέχουν στον αναγνώστη πολύτιμη γεωπληροφορία και συνιστούν την κατάλληλη υποδομή για ένα πλήθος χρήσεων για κάθε μελλοντική έρευνα, μελέτη και σχεδιασμό έργου ή δράσης.



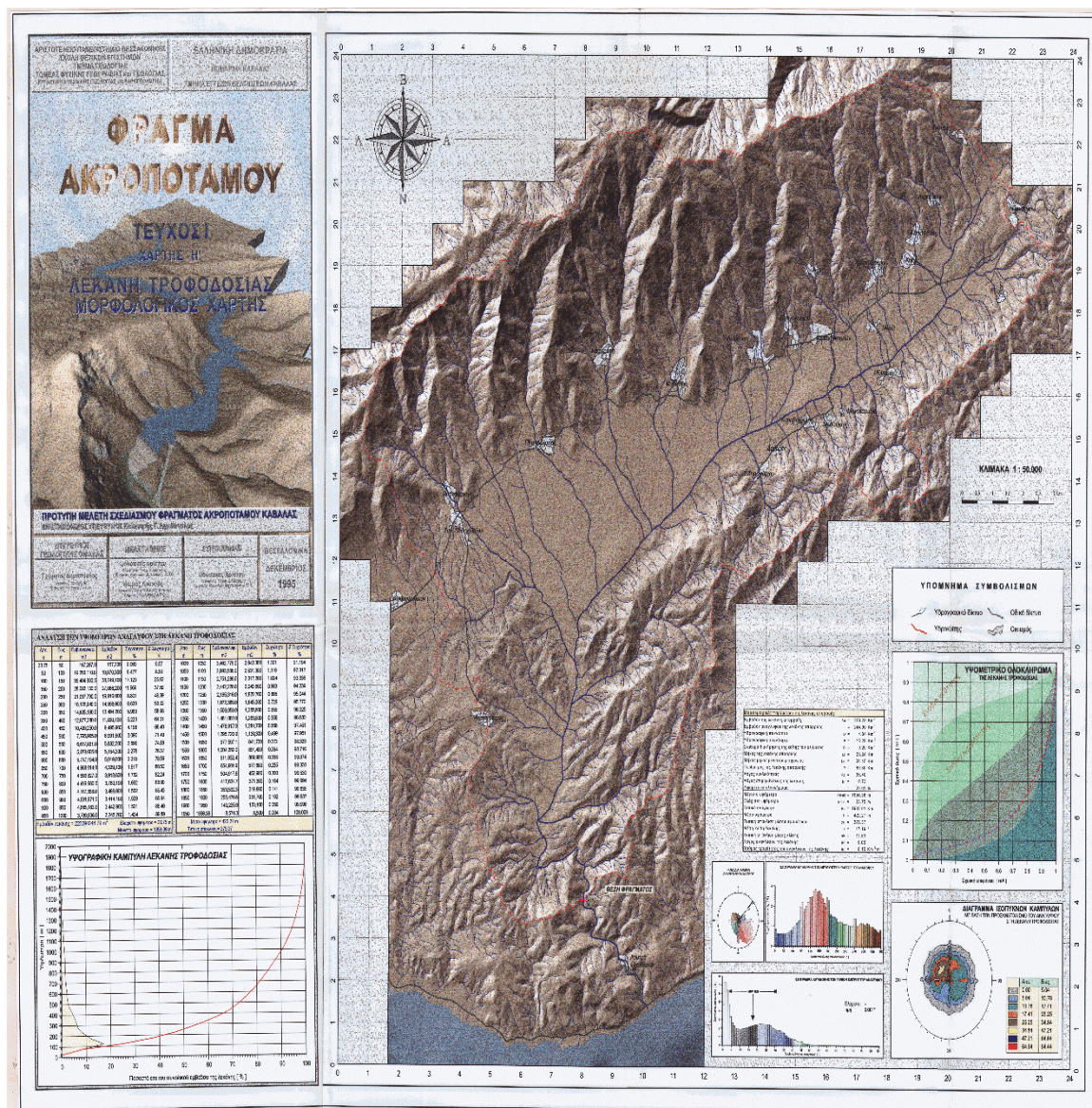
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι



Χάρτης 1: Γεωλογικός Χάρτης Ταμειεύτρη. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)



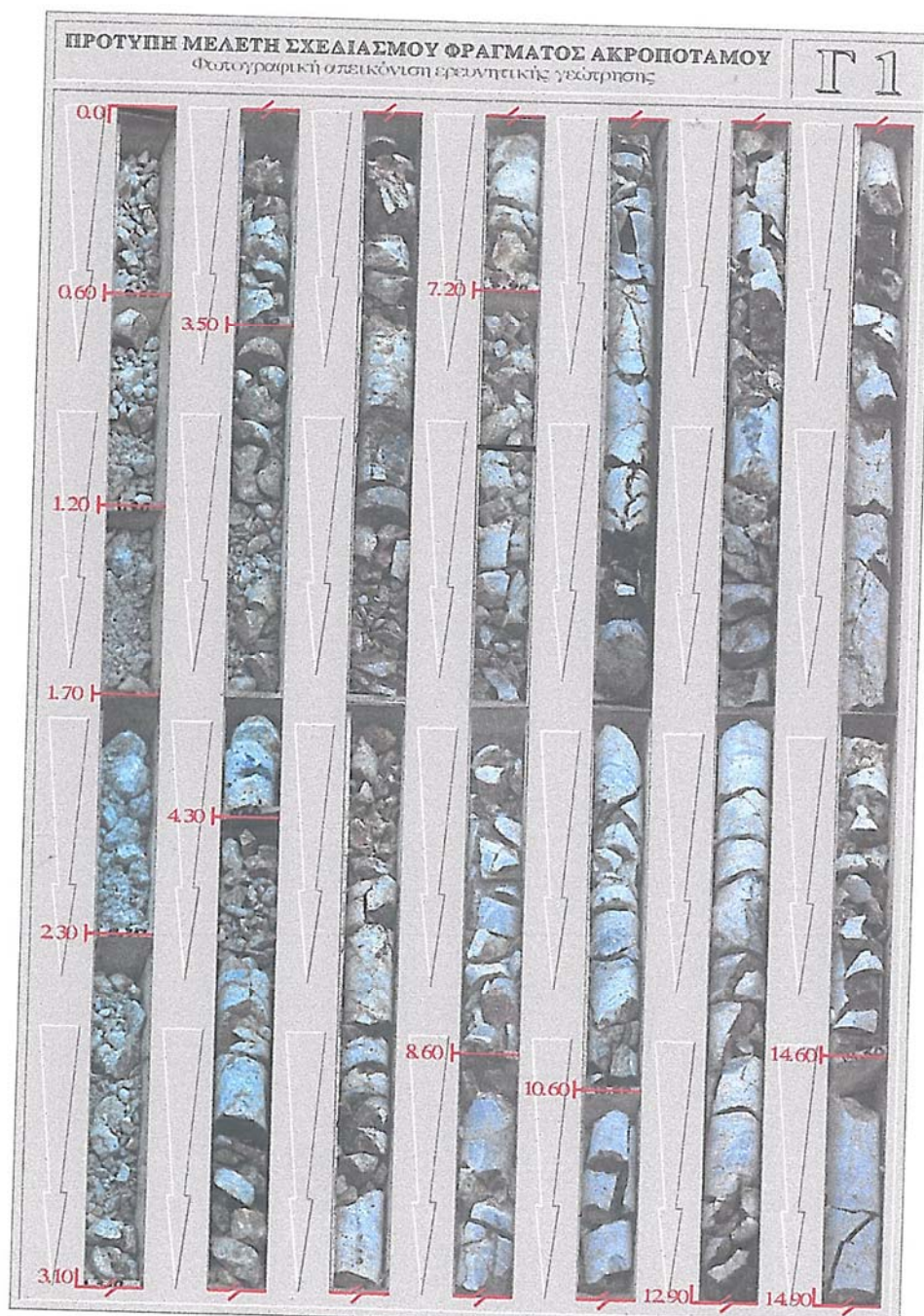
Χάρτης 2: Μορφολογία Ταμειευτήρα. Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)



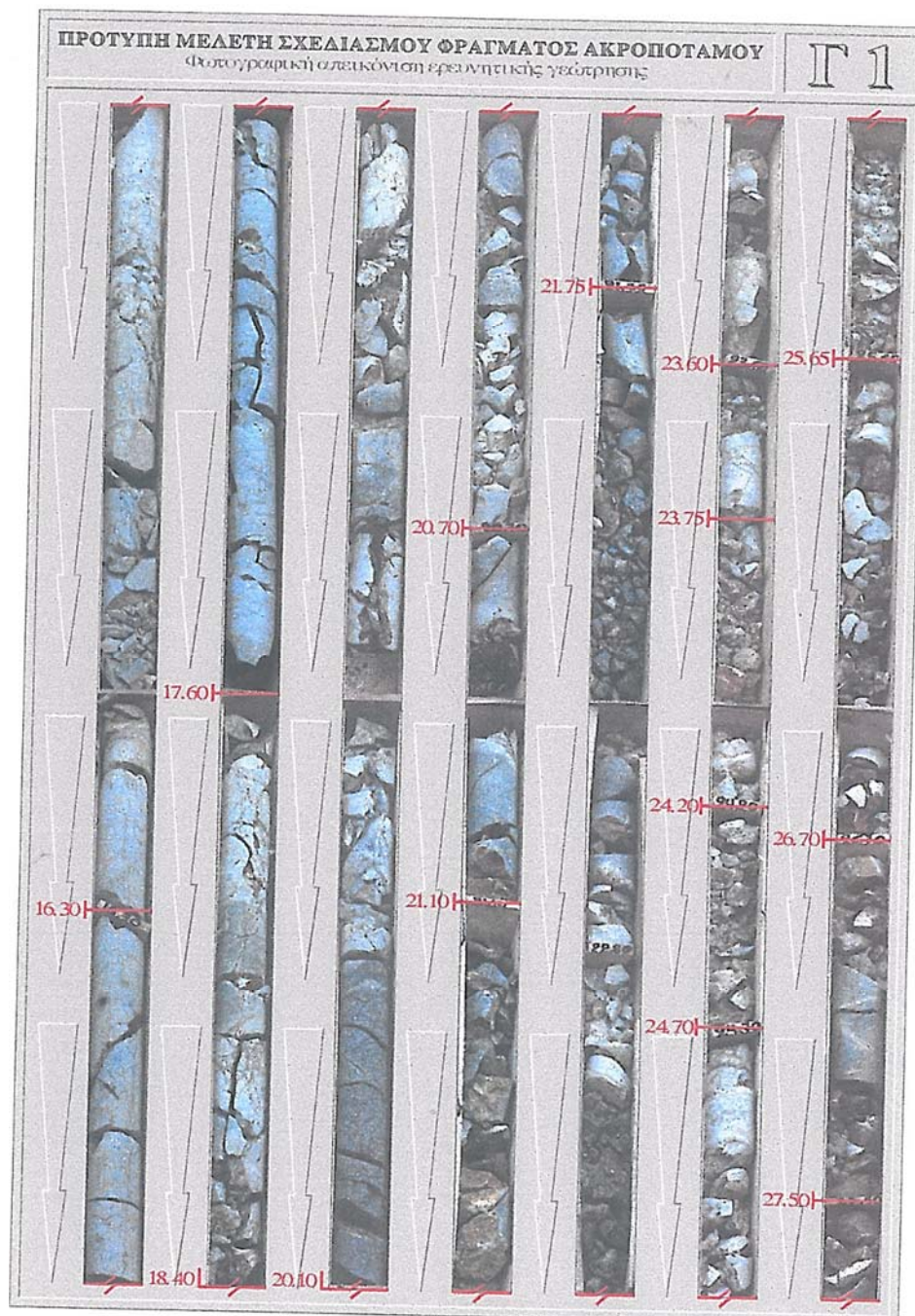
Χάρτης 3: Λεκάνη Τροφοδοσίας. Μορφολογικός Χάρτης. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)



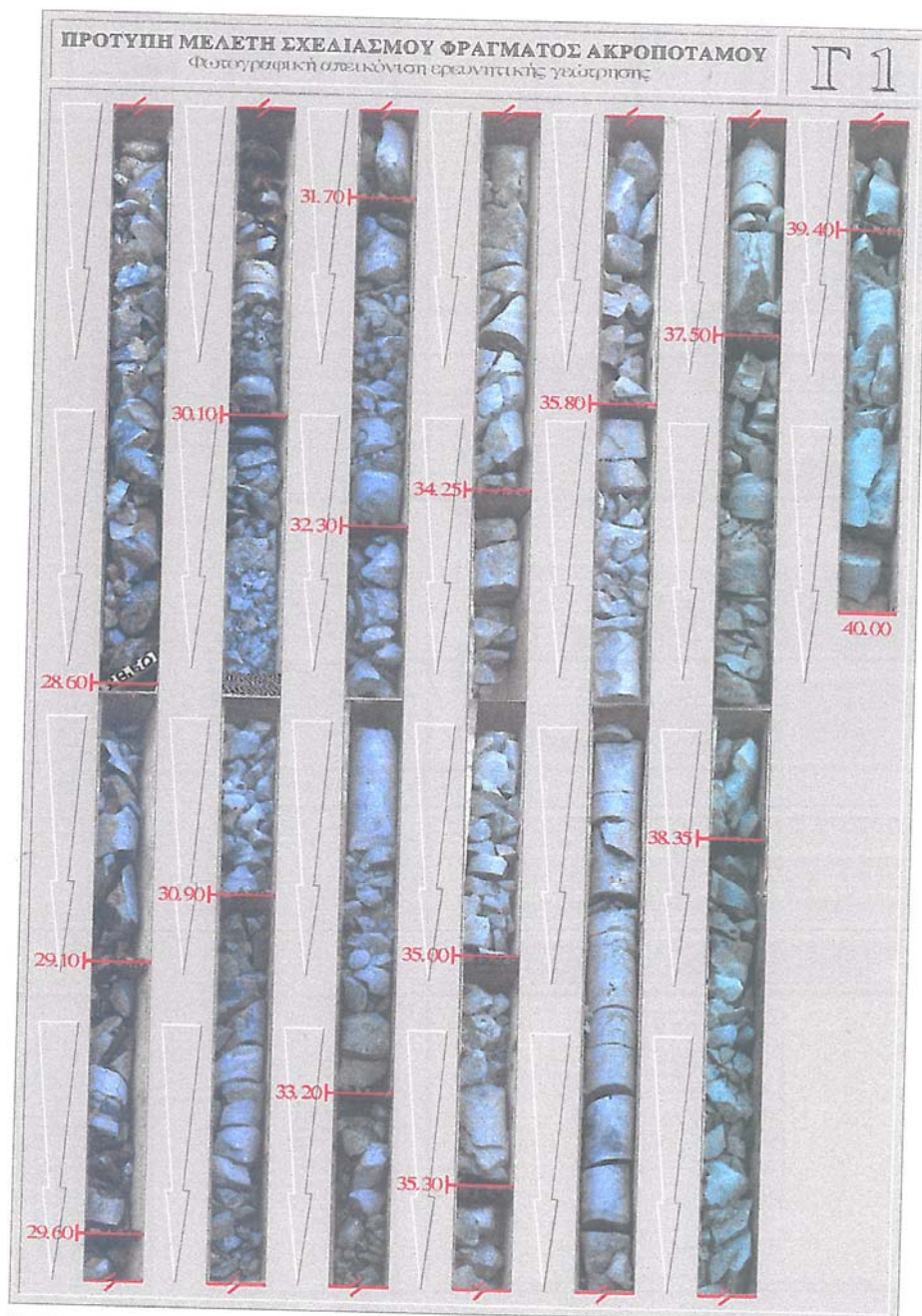
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II



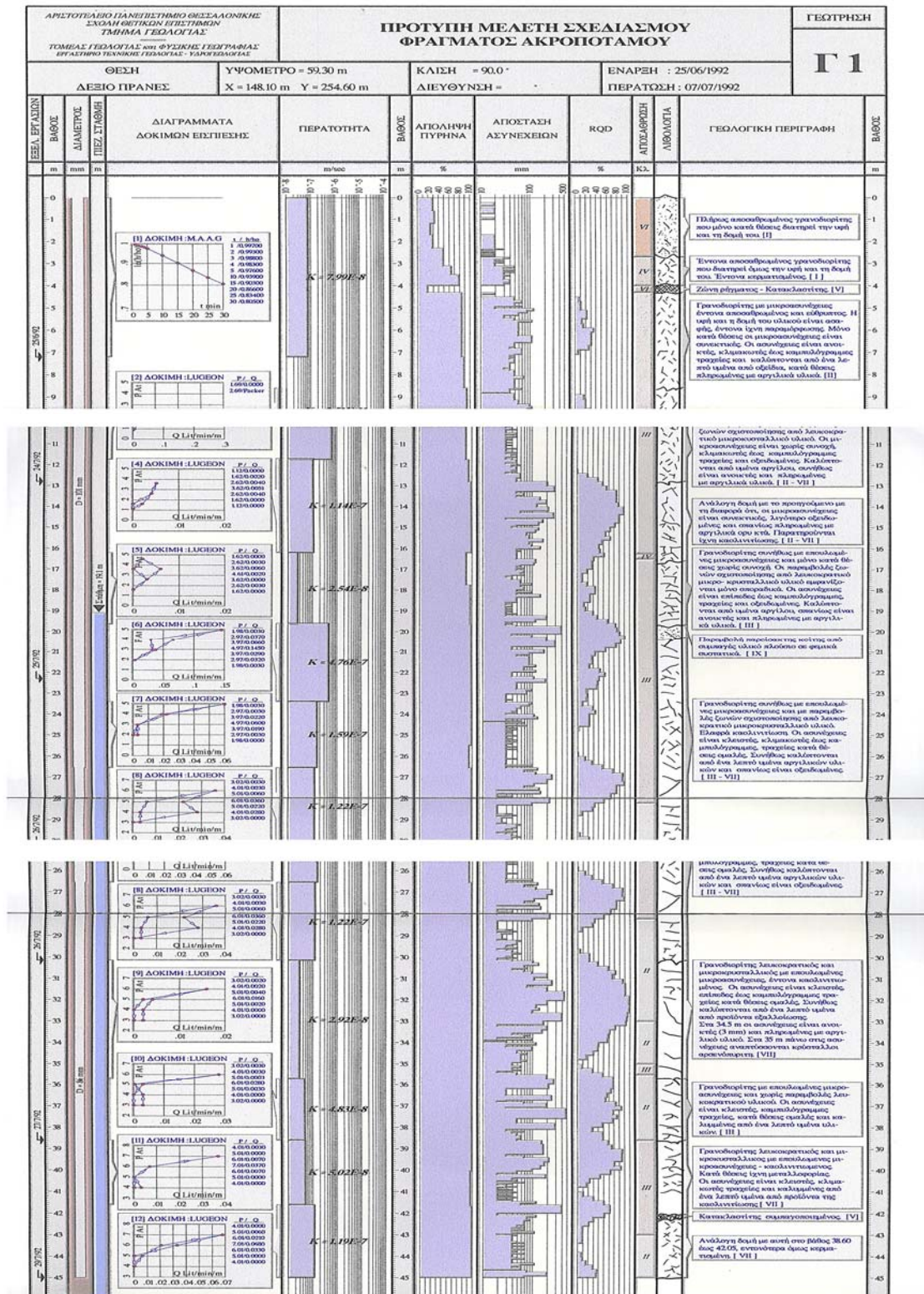
Εικόνα 1: Φωτογραφική απεικόνιση της πυρηνοληψίας στη Γεώτρηση Γ1. Εικόνα 1/3. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)



Εικόνα 2: Φωτογραφική απεικόνιση της πυρηνοληψίας στη Γεώτρηση Γ1. Εικόνα 2/3. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)



Εικόνα 3: Φωτογραφική απεικόνιση της πυρηνοληψίας στη Γεώτρηση Γ1. Εικόνα 3/3. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)



Εικόνα 4: Φύλλο Καταγραφής Γεώτρησης. (Πηγή: "Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας", 1995)

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Αστάρης, Θ. , Οικονομίδης, Δ. , Μουρατίδης, Α. (2011). Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εκδόσεις Δίσιγμα, Θεσσαλονίκη.
- Δημόπουλος, Γ. (1995). Πρότυπη Μελέτη Σχεδιασμού Φράγματος Ακροποτάμου Καβάλας. Τεύχος ΙΙΙ, Παράρτημα Α', "Ερευνητικές Γεωτρήσεις", Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη .
- Ευελπίδου, Ν., Αντωνίου, Β. (2015). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/1044>
- Ευελπίδου, Ν., Κοτίνας, Β. (2015). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Σημειώσεις Εργαστηρίου, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/GEOL123/%CE%A52204%20%28%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF%29/GIS%20Lab%20notes_20160301.pdf
- Θωμαΐδου, Ε. (2009). Η Γεωλογική δομή της νήσου Λέσβου. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. , Θεσσαλονίκη
- Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κονταξάκη, Σ., Τομαή, Ε. (2015). Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας. Αρχές και Τεχνολογίες. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/6392>
- Κακλής, Τ. (2011). Υδρογεωλογική μελέτη και μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων Πιερίας λεκάνης Ν. Καβάλας. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη.
- Κόλιο, Ν., Κουτσίνος, Σ., Καρυδάκη, Γ., Αρβανίτη, Α. (2006). Αποτελέσματα της γεωθερμικής έρευνας στην περιοχή Ακροποτάμου Ν. Καβάλας. Επιχειρησιακό πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα» Γ' ΚΠΣ. Έργο: Μελέτη Καταγραφής, Αποτίμησης, Προσομοίωσης και Αξιολόγησης των Γεωθερμικών πεδίων της χώρας. Θεσσαλονίκη.
- Κόσσυβα, Θ. (2017). Μελέτη των κύριων κλιματικών παραμέτρων και των μεταβολών τους για τον ελλαδικό χώρο με τη βοήθεια στατιστικής ανάλυσης και GIS. Διπλωματική εργασία, Αθήνα.
- Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. (2002). Τεχνική Γεωλογία. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Κυπριάδου, Α. (2015). Σχεδίαση και υλοποίηση ενός Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος σε περιβάλλον ArcGIS. Πτυχιακή εργασία, Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Τ.Ε.Ι Καβάλας.
- Μουντράκης, Δ. (2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Μουρατίδης, Α. (2010). Συμβολή της υποστηριζόμενης από GPS και GIS διαστημικής τηλεπισκόπησης στη μορφοτεχνική έρευνα της Κεντρικής Μακεδονίας. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Μπαμπατσάνη, Α. (2016). Το φράγμα Μαρμαρά Ακροποτάμου: Διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου και των δανειοθαλάμων. Διπλωματική εργασία, Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Έργων Υποδομής, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Νικολακόπουλος, Κ., Κατσάνου, Κ., Λαμπράκης, Ν. (2015). Υδρολογία με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και δεδομένων τηλεπισκόπησης. Κεφάλαιο 4: Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εκδόσεις Κάλλιπος.
<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2521>

Παπανικολάου, Δ., Κράνη, Χ., (2004). The Transmed Atlas. The Mediterranean Region from Crust to Mantle. Απόσπασμα από τη Γεωτομή VII. <http://eptect.geol.uoa.gr/>

Σουβατζή, Γ. (2017). Μελέτη σκοπιμότητας για την κατασκευή φράγματος στη θέση Βάρσαμα (Ανώγεια). Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Τζωρτζάκης, Ι. (2016). Σημειώσεις για το μάθημα Εφαρμογές Γεωπληροφορικής στα τεχνικά έργα - 2^η Έκδοση. <http://geopliroforiki.weebly.com/bookgeopliroforiki2016.html>

Τσαγκαράτος, Π. (2012). Διερεύνηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών με την χρήση πληροφοριακών συστημάτων. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μηχανουργών, Ε.Μ.Π, Αθήνα.

Τσόμπος, Π., Ζερβάκου, Α. (2012). Η συμβολή των ΓΣΠ στην πολύ-γεωθεματική χαρτογράφηση αστικών περιοχών σε κλίμακα 1:5000. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και Μελετών – ΙΓΜΕΜ. Παρουσίαση για το 12^ο Εθνικό Συνέδριο ΧΕΕΕ. http://xeec.web.auth.gr/HCS/HCS_Conf_el/parousiaseis_pdf_2012/5_4_tsompos_zervakou.pdf

Τσιούγκου, Ν. (2015). Δημιουργία διαδραστικού χάρτη της νήσου Μήλος. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Φιλιππίδης, Ε., (2008). Γεωαναφορά Χάρτη. Τεύχος Ν^ο1. Σημειώσεις στο εργαστηριακό μέρος του μαθήματος: «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών», Τμήμα Πληροφορικής και Επικοινωνιών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών, Σέρρες.

Φλογερά, Ζ. (2013-14). Καταγραφή και Αξιολόγηση του κοινωνικού εξοπλισμού με χρήση ΓΣΠ-Δημιουργία εφαρμογών. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Χαλκιάς, Χ. , Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (Geographical Information Systems – GIS). Παρουσίαση για σεμινάριο “Εισαγωγή στη Γεωπληροφορική”, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

https://www.slideshare.net/JohnTzortzakis/ss-44126622?qid=d6e0f1b3-6006-42d8-85e8-06d1b6817639&v=&b=&from_search=12

Χαλκιάς, Χ., Γκούσια, Μ. (2015). Γεωγραφική ανάλυση με την αξιοποίηση της γεωπληροφορικής. Κεφάλαιο 5: Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους. Εκδόσεις Κάλλιπος.
<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/4550>

Χατζόπουλος, Χ., (2009). Αποτύπωση και καταγραφή εξωτερικών χώρων του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

ΔΙΕΘΝΗΣ

Ahmad, A. (2007). Applications of GIS in Geology. <https://pdfs.semanticscholar.org/112d/d1826a37fa8d44f9e35173359bfb7a963f3d.pdf>

Champati, R. (2010, December). GIS in Geoscience. The recent trends. <https://www.geospatialworld.net/article/gis-in-geoscience-the-recent-trends/>



Haithcoat T. , GIS Introduction & Overview. University of Missouri, Coloumbia.
<http://www.gisresources.com/gis-introduction-overview-university-missouricolumbia/>

Martin, D., (1996) Geographic Informations Systems. (second edition) Socioeconomic Applications. Routledge, London and New York.

Papanikolaou D. & Panagopoulos A. (1981). On the structural style of Southern Rhodope, Greece. Geologica Balcanica, 11.3, 13-22.

Sutton T., Dassau, Sutton M., (2009). A Gentle Introduction to GIS. South Africa.
<https://www.topfreebooks.org/a-gentle-introduction-to-gis/>

Schmandt, M. , GIS Commons: An Introductory Textbook on Geographic Informations Systems. Department of Geography, Sacramento State University. <http://giscommons.org/>

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΑ SITE

<https://www.esri.com>

<http://wiki.gis.com>

<https://dasarxeio.com>

<http://topolab.tripod.com>

<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>

<https://www.geosoft.com>

<http://www.admitnetwork.org/work-packages/gis-gps/>

<http://www.moa.gov.cy>

<http://www.clslearn.com>