

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

**Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗ
ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΗΝ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗ**

Πτυχιακή εργασία του Ηλία Πέππα

Αθήνα, Ιούλιος 2013

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

**Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗ
ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΗΝ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗ**

Πτυχιακή εργασία του Ηλία Πέππα

Τριμελής Επιτροπή:

Παυλόπουλος Κοσμάς, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)

Καρύμπαλης Ευθύμιος, Επίκουρος Καθηγητής

Παρχαρίδης Ισαάκ, Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	
1.1. Περιγραφή μεθοδολογίας.....	8
2. ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΙΣΤΡΟΥ	
2.1. Γεωγραφική θέση Κρήτης, Νομού Λασιθίου, Ίστρου, Καλού Ποταμού.....	9
2.2. Κλιματολογικά στοιχεία.....	10
2.3. Υδατικοί πόροι.....	12
2.4. Χλωρίδα.....	13
3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	
3.1. Μέθοδοι Γεωμορφολογικής Ανάλυσης.....	15
3.2. Γεωλογία Κρήτης.....	16
3.3. Σεισμικότητα Κρήτης.....	18
3.4. Γεωλογία – Γεωμορφολογία Ίστρου.....	19
4. ΠΟΤΑΜΙΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	
4.1. Ποτάμιες διεργασίες και γεωμορφές.....	22
4.2. Υδρογραφικά δίκτυα.....	22
4.3. Υδρογραφικό δίκτυο Καλού Ποταμού.....	23
5. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ	
5.1. Ιστορική αναδρομή.....	25
5.2. Θεωρία γεωμορφολογικής χαρτογράφησης.....	28
5.3. Γεωμορφολογική χαρτογράφηση και γεωμορφές.....	30

5.4. Γεωμορφολογική χαρτογράφηση και τηλεπισκόπηση.....	32
5.5. Εφαρμογές της γεωμορφολογικής χαρτογράφησης.....	34

6. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΙΣΤΡΟΥ

6.1. Εργασία πεδίου.....	38
6.2. Δημιουργία γεωμορφολογικού χάρτη μέσω Quantum GIS.....	41
6.3. Αντιστοίχιση ψηφιακών δεδομένων με τον online χάρτη του Κτηματολογίου...	44

7. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

7.1. Συσχέτιση γεωμορφολογικών δεδομένων με τη μορφή και τις διεργασίες του υδρογραφικού δικτύου του Καλού Ποταμού.....	46
---	----

8. ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Χάρτης 1: Χάρτης Κρήτης.....	9
Χάρτης 2: Χάρτης βροχομετρικών δεδομένων Κρήτης.....	11
Χάρτης 3: Γεωλογικός χάρτης Κρήτης.....	17
Χάρτης 4: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδος.....	18
Χάρτης 5: Χάρτης κλίσεων Ίστρου.....	20
Χάρτης 6: Γεωμορφολογικός χάρτης Ίστρου.....	43
Χάρτης 7: Υδρογραφικό δίκτυο Καλού Ποταμού.....	45
Χάρτης 8: Σημαντικότεροι παραπόταμοι και κεντρική κοίτη Καλού Ποταμού.....	46
Εικόνα 1: Αποψη περιοχής Ίστρου.....	38

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί τον καρπό του συνδυασμού θεωρητικής μελέτης και εργασίας πεδίου και είναι το αποτέλεσμα προσωπικής δουλειάς και άψογης συνεργασίας με τον Επιβλέποντα, Αναπληρωτή Καθηγητή Κοσμά Παυλόπουλο, τον Επίκουρο Καθηγητή Ευθύμιο Καρύμπαλη και τον Επίκουρο Καθηγητή Ισαάκ Παρχαρίδη, τους οποίους και ευχαριστώ προσωπικά για τις συμβουλές και τις παρατηρήσεις τους, που κατέστησαν δυνατό το όλο εγχείρημα.

Η ενασχόληση με την παρούσα εργασία, μου έδωσε την ευκαιρία να εμβαθύνω τις γνώσεις μου στον τομέα της Γεωμορφολογίας, τον οποίο και θεωρώ έναν από τους πιο ενδιαφέροντες από το ήδη αξιόλογο και ευρύτατο φάσμα του προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου Αθηνών, διότι δίνει τη δυνατότητα της ουσιαστικής και λεπτομερούς ερμηνείας της μορφής του άμεσου περιβάλλοντός μας και των διεργασιών που έχουν οδηγήσει στην παρούσα μορφή του.

Έτσι, οι γνώσεις που προσφέρει ο τομέας κρίνονται ως ιδιαίτερα σημαντικές από πρακτικής άποψης, αφού συμβάλλουν στην πρόληψη κινδύνων γεωλογικής φύσεως όπως οι πλημμύρες και οι κατολισθήσεις και επιτρέπουν την ελεγχόμενη επέμβαση του ανθρώπου στο περιβάλλον.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι «Η συμβολή της γεωμορφολογικής ανάλυσης στη μελέτη των υδρογραφικών δικτύων» και ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το Ίστρον του νομού Λασιθίου της Κρήτης, όπου και διεξήχθη επιτόπια έρευνα με σκοπό την χαρτογράφηση σημείων γεωλογικού ενδιαφέροντος και την αποτύπωσή τους σε ψηφιακό χάρτη. Η έρευνα εστιάζει στο υδρογραφικό δίκτυο του Καλού Ποταμού ή ποταμού Ίστρου, όπως είναι επίσης γνωστός.

Αρχικά συλλέχθηκαν τα γενικότερα φυσικογεωγραφικά στοιχεία της περιοχής της Κρήτης και κατόπιν της περιοχής μελέτης και στην πορεία έγινε ανάλυση των γεωλογικών, τεκτονικών και γεωμορφολογικών στοιχείων της περιοχής. Εν συνεχεία, έγινε περιγραφή της εργασίας πεδίου που εκπονήθηκε κατά το 2004 και με τη χρήση του λογισμικού Quantum GIS έγινε ψηφιοποίηση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του Ίστρου και χάραξη του υδρογραφικού του δικτύου.

Τέλος, διενεργήθηκε η συσχέτιση των γεωμορφολογικών δεδομένων με τη μορφή και τις διεργασίες του Καλού Ποταμού, η οποία οδήγησε σε ποικίλα συμπεράσματα σχετικά με την αλληλεπίδραση των υδρογραφικών δικτύων με το εγγύς περιβάλλον τους.

ABSTRACT

The subject of this thesis paper is “The contribution of geomorphological analysis to the study of hydrological networks”. Istron of Crete was selected as the study area and fieldwork was conducted there with the purpose of mapping spots of geological interest and depicting them on a digital map. The study focuses on the hydrological network of Kalos Potamos, also known as Istron river.

The first step was the gathering of general geographical info about Crete and the study area, combined with geological, tectonic and geomorphological analysis of the region. Subsequently, there was a description of the field study that was conducted in 2004 and then, with the help of the Quantum GIS open source software, it was possible to digitize the geomorphological characteristics of Istron and the corresponding hydrological network.

In the end, there was an analysis about the correlation of geomorphological data with the form and processes of Kalos Potamos, which led to various conclusions regarding the interaction between hydrological networks and their immediate environment.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διενέργεια γεωμορφολογικής ανάλυσης της περιοχής του Ίστρου του νομού Λασιθίου Κρήτης και η συσχέτιση των γεωμορφολογικών δεδομένων με τη μορφή και τις διεργασίες του υδρογραφικού δικτύου.

Το Ίστρον βρίσκεται στη Βορειοανατολική Κρήτη, στον κόλπο του Μιραμπέλλου, σε ένα αλλουβιακό ριπίδιο Ολοκαινικής ηλικίας. Η τοποθεσία του οικισμού κοντά σε γνωστές μινωικές περιοχές, όπως η Ψήρα, το Καβούσι και τα Γουρνιά, όπως και τα διάφορα αρχαιολογικά ευρήματα, αποδεικνύουν την σπουδαιότητα της θέσης και τον σημαντικό ρόλο που διαδραμάτισε κατά τους προϊστορικούς και ιστορικούς χρόνους.

Η παρουσία του Καλού Ποταμού στην περιοχή έπαιξε πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωσή της, επηρεάζοντας έτσι από αρχαιοτάτων χρόνων και την ανθρώπινη δραστηριότητα και παρουσία στο χώρο αυτό. Στην κοιλάδα του Ίστρου, η οποία χαρακτηρίζεται από αλλουβιακές αποθέσεις, υπάρχουν αρκετοί οικισμοί, ενώ το έδαφος είναι ιδιαίτερα εύφορο. Ο κίνδυνος πλημμυρών κάνει την εμφάνισή του κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά όχι αρκετά έντονα ώστε να δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στην περιοχή.

Στην μελέτη που ακολουθεί εξετάζεται η περιοχή του Ίστρου από γεωλογική και γεωμορφολογική άποψη και ο ρόλος του υδρογραφικού δικτύου του Καλού Ποταμού στη διαμόρφωση των υφιστάμενων σχηματισμών. Για να επιτευχθεί αυτό, εκτελείται περιγραφική γεωμορφολογική ανάλυση, σε συνδυασμό με γεωμορφολογική χαρτογράφηση μέσω του προγράμματος Quantum GIS, η οποία επιτρέπει την εξαγωγή των ανάλογων συμπερασμάτων.

1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

1.1. Περιγραφή μεθοδολογίας

Αρχικά, αντλήθηκαν πληροφορίες σχετικά με τα φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά της Κρήτης γενικότερα και της περιοχής μελέτης ειδικότερα, όπως άλλωστε ενδείκνυται για κάθε εργασία που περιλαμβάνει την μελέτη μιας συγκεκριμένης περιοχής για οποιοδήποτε λόγο.

Ακολούθησε γεωλογική, τεκτονική και γεωμορφολογική ανάλυση της Κρήτης και του Ίστρου, η οποία προήλθε από παρατηρήσεις προηγούμενων μελετών, παρατηρήσεις τοπογραφικών και γεωλογικών χαρτών και επιτόπιες παρατηρήσεις που προέκυψαν από ερευνητική αποστολή του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου Αθηνών στην περιοχή, με επικεφαλής τον Αναπληρωτή Καθηγητή Κοσμά Παυλόπουλο.

Σειρά είχε η ανάλυση της μορφής του υδρογραφικού δικτύου του Καλού Ποταμού της Ανατολικής Κρήτης, η οποία διενεργήθηκε ύστερα από ψηφιοποίηση του υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή μελέτης. Για τις ανάγκες αυτής της ψηφιοποίησης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Quantum GIS, ένα open source σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών, που δεν είναι τόσο πλήρες και ευρέως διαδεδομένο όσο το ArcGIS, όμως παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με το λογισμικό της ESRI, που το καθιστούν κατάλληλο για εργασία από το σπίτι. Πέρα από το υδρογραφικό δίκτυο, ψηφιοποιήθηκαν και οι πιο σημαντικές γεωμορφές της περιοχής μελέτης.

Έτσι, στο τέλος, μετά και από εξέταση υδρολιθολογικού χάρτη της περιοχής από το Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών, διενεργήθηκε συσχέτιση μεταξύ των γεωμορφολογικών δεδομένων και των μορφών και των διεργασιών του υδρογραφικού δικτύου, η οποία βασίστηκε στον συνδυασμό γεωμορφολογικών, λιθολογικών και υδρογραφικών δεδομένων για την περιοχή μελέτης.

2. ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΙΣΤΡΟΥ

2.1. Γεωγραφική θέση Κρήτης, Νομού Λασιθίου, Ίστρου, Καλού Ποταμού

Η γεωγραφική θέση της Κρήτης εντοπίζεται μεταξύ των γεωγραφικών συντεταγμένων $34^{\circ} 50' - 35^{\circ} 40' \text{B}$ πλάτος και $23^{\circ} 30' - 26^{\circ} 20' \text{A}$ μήκος Greenwich. Είναι το νοτιότερο νησί της Ελλάδας. Βρίσκεται στη ζώνη σύγκρουσης της Αφρικανικής λιθосφαιρικής πλάκας με την Ευρασιατική και ορίζει τα όρια του Ελληνικού τόξου, με συνέπεια τον έντονο τεκτονικό τεμαχισμό της και σχετικά μεγάλη σεισμικότητα. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί διατρέχονται από ένα πυκνότατο δίκτυο τεκτονικών ρηγμάτων. Ο τεκτονισμός και ο τεμαχισμός των πετρωμάτων, κυρίως των ανθρακικών, έχει μεγάλη σημασία σε ό,τι αφορά τη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής.



Χάρτης 1: Χάρτης της Κρήτης, όπου έχει σημειωθεί η περιοχή μελέτης (Google Maps)

Ο νομός Λασιθίου έχει έκταση 1.823 τ. χλμ και σύμφωνα με την απογραφή του 2001 έχει πληθυσμό 76.319 κατοίκους, εκ των οποίων οι 38.355 είναι αγροτικός πληθυσμός και οι 37.964 αστικός. Πρωτεύουσα του νομού Λασιθίου είναι ο Άγιος Νικόλαος. Ο νομός αυτός είναι ο ανατολικότερος των νομών της Κρήτης και βρέχεται βόρεια από το Κρητικό πέλαγος, ανατολικά από το Καρπάθιο πέλαγος, νότια από το Λιβυκό πέλαγος και δυτικά συνορεύει με τον νομό Ηρακλείου. Σε αυτόν τον νομό υπάγονται και κάποιες νησίδες, εκ των οποίων κάποιες είναι κατοικημένες, όπως η Σπιναλόγκα, η Χρυσή, οι Άγιοι Πάντες, το Μικρονήσι και η Καλυδώνα.

Το Ίστρον βρίσκεται στο νομό Λασιθίου, στη βορειοανατολική Κρήτη, νότια του Αγίου Νικολάου, στον κόλπο του Μιραμπέλλου. Η ευρύτερη περιοχή του Ίστρον είναι μια περιοχή με ιδιαίτερο αρχαιολογικό ενδιαφέρον καθώς διαθέτει αρχαιολογικά ευρήματα από την Μινωική, την Ρωμαϊκή, καθώς και την Νεολιθική εποχή (Hayden 2004).

Τέλος, ο ποταμός Ίστρον, πιο γνωστός ως «Καλός Ποταμός», εκτείνεται από τα δυτικά προς το Καλό Χωριό και εκβάλλει στη θάλασσα από τα ανατολικά του Πρινιάτικου Πύργου. Στην περιοχή υπάρχει ένας ακόμη ποταμός, ο Ξηροπόταμος, ο οποίος πηγάζει από τους λόφους Κολούμπους και εκτείνεται ανατολικά και βόρεια, ενώ εκβάλλει στη θάλασσα μέσω της μικρής κοιλάδας στο Φρουζί (Hayden 2004).

2.2. Κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα της Κρήτης γενικότερα είναι εύκρατο και πλησιάζει προς το θαλάσσιο. Στα ορεινά όμως τείνει προς τον ορεινό τύπο κλίματος. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος κυμαίνεται μεταξύ 14 και 15 βαθμών Κελσίου. Η νέφωση είναι σε γενικές γραμμές ασθενής και μειώνεται όσο προχωράμε από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι βροχοπτώσεις αυξάνονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από τα παράλια προς την ηπειρωτική χώρα (Δανδράκης 1960).

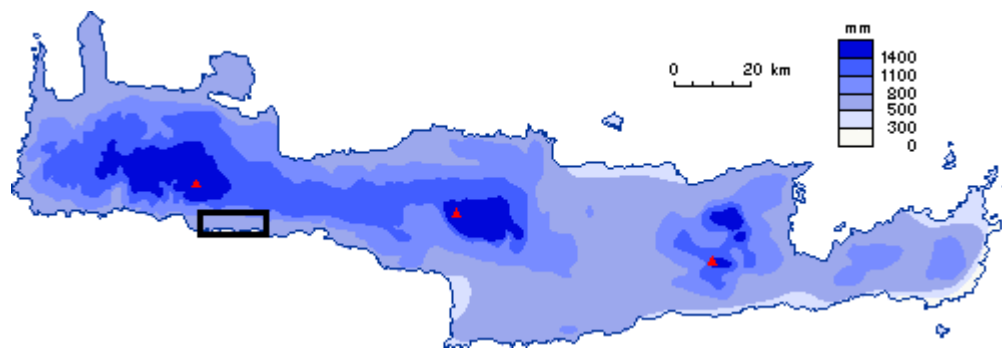
Ο τύπος κλίματος της περιοχής του Καλού Χωριού είναι ένας μεταβατικός ενδιάμεσος τύπος μεταξύ του χερσαίου Μεσογειακού και του ερημοειδούς Μεσογειακού, στον οποίο υπάγεται κυρίως η νοτιοανατολική Κρήτη. Το κύριο χαρακτηριστικό του κλίματος είναι η γλυκύτητα και η ηπιότητα. Η ψυχρή εποχή είναι ήπια και σε αυτό συντελεί η συχνή άφιξη των θερμών και υγρών ΝΔ αερίων μαζών, αφού, λόγω θέσης, η περιοχή δεν επηρεάζεται τόσο από τους ψυχρούς ανέμους της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης.

Η **μέση ημερήσια θερμοκρασία** κυμαίνεται μεταξύ 12,2 βαθμών Κελσίου τον Ιανουάριο και 25,9 βαθμών Κελσίου τον Ιούλιο. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία

κυμαίνεται μεταξύ 15,5 βαθμών Κελσίου τον Ιανουάριο και 28,6 βαθμών Κελσίου τον Ιούλιο, ενώ η μέση ελάχιστη μεταξύ 9,4 βαθμών Κελσίου τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο και 22,2 βαθμών Κελσίου τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Δεν παρουσιάζεται θερμοκρασία υπό του μηδενός.

Η μέση **σχετική υγρασία** είναι ελάχιστη τον Ιούνιο (58,8%) και μέγιστη τον Δεκέμβριο (71,4%).

Το **μέσο ετήσιο ύψος βροχής** του βροχομετρικού σταθμού Σητείας για την περίοδο 1931-1992 είναι 491,4 mm (ημίξηρος τύπος: 200-500 mm). Η μέση μηνιαία βροχόπτωση είναι μέγιστη τον Δεκέμβριο (93,1 mm) και ελάχιστη τον Ιούλιο (0,6 mm). Αντίστοιχα, ο αριθμός ημερών βροχής κυμαίνεται μεταξύ 13,9 ημερών τον Ιανουάριο και 0,1 ημερών τον Ιούλιο. Το χιόνι είναι εξαιρετικά σπάνιο και ο μέσος αριθμός ημερών με χιόνι είναι ίσος με 0,5 ημέρες τον Ιανουάριο.



Χάρτης 2: Χάρτης βροχομετρικών δεδομένων Κρήτης (University of Manchester, 2012)

Από τα **ανεμολογικά στοιχεία** προκύπτει ότι:

- α) επικρατούσα διεύθυνση ανέμου είναι η βορειοδυτική και έπονται η νοτιοδυτική, η νότια και η βόρεια,
- β) εκτός από τους θερινούς μήνες (οπότε επικρατούν άνεμοι έντασης 3-4 Beauforts), επικρατέστερη σε ποσοστό ένταση είναι η νηνεμία (0 Beauforts) και
- γ) ο μέσος αριθμός ημερών με ένταση μεγαλύτερη των 6B (ισχυρός άνεμος) είναι μέγιστος τον Μάρτιο (2,3 ημέρες) και ελάχιστος τον Μάιο και τον Σεπτέμβριο (0,7 ημέρες).

Η **μέση νέφωση** κυμαίνεται μεταξύ 4,8 (όγδοα) τον Ιανουάριο και 0,6 τον Ιούλιο. Ο μέσος αριθμός αίθριων ημερών (νέφωση μεταξύ 0 και 1,5 όγδοα) κυμαίνεται μεταξύ 2,4 τον Ιανουάριο και 28,5 ημερών τον Ιούλιο.

Η **ομίχλη** (όπως και η **πάχνη**) είναι σπάνια στην περιοχή (μέσος αριθμός ημερών ομίχλης 0,3 ημέρες τον Μάρτιο, 0,1 ημέρες τον Απρίλιο, 0 για τους υπόλοιπους μήνες του έτους).

Ο **μέσος αριθμός ημερών δρόσου** είναι μέγιστος τον Νοέμβριο (5,5 ημέρες) και ελάχιστος κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών ημερών (Στοιχεία μετεωρολογικής υπηρεσίας Πολεμικής Αεροπορικής Μοίρας Τανάγρας, 341 και 330 ΜΠΚ).

2.3. Υδατικοί πόροι

Υδατικό δυναμικό

Η ευρύτερη περιοχή του Καλού Χωριού και της Σητείας, αποτελεί την κύρια υδρολογική λεκάνη ολόκληρου του Ανατολικού τμήματος του Νομού Λασιθίου με κύρια μισγάγγεια τον ποταμό Παντέλη, ο οποίος καταλήγει κοντά στο νότιο άκρο της πόλης. Η κοιλάδα της Σητείας έχει περίπου 6 km μήκος και το πλάτος της κυμαίνεται λιγότερο από 0,5 km στο νότιο άκρο της μέχρι περισσότερο από 1 km στο βόρειο άκρο της.

Ο ποταμός Παντέλης (Στόμιος) εισέρχεται στην κοιλάδα από το νότιο άκρο της, μέσω ενός στενού φαραγγιού που έχει διανοιχθεί μέσα σε μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Στις εκβολές του είχαν σημειωθεί κατά το παρελθόν πλημμύρες και υλικές ζημιές, η γέφυρα όμως που κατασκευάστηκε πρόσφατα βελτίωσε αρκετά την κατάσταση του παραλιακού οδικού άξονα στο σημείο αυτό. Ο ποταμός και η υπάρχουσα περιφερειακή αντιπλημμυρική τάφρος εκτιμάται ότι προσφέρουν επαρκή αντιπλημμυρική προστασία στην πόλη (Λιονής 2002).

Η περιοχή της Ανατολικής Κρήτης γενικά και η περιοχή της Σητείας ειδικότερα διαθέτει πλούσιο υπόγειο υδατικό δυναμικό, το οποίο θα μπορούσε μελλοντικά να αξιοποιηθεί.

Υδρολιθολογία - Υδρογεωλογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης από υδρολιθολογικής απόψεως μπορεί να διακριθούν σε:

- Υδατοστεγανούς, όπως η σειρά φυλλιτών-χαλαζιτών-σχιστολίθων και οι άργιλοι (εκτός από ρηγματωμένους χαλαζίτες).
- Ημιδιαπερατούς, όπως τα λατυποκροκαλοπαγή, οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, οι αμμομάργες, οι αργιλικές προσχώσεις με άμμους και κροκάλες.
- Υδατοπερατούς, όπως αλλουβιακές προσχώσεις χωρίς άργιλο (άμμοι, χάλικες, κροκάλες), λόγω πορώδους και ανθρακικά γενικά πετρώματα, λόγω δευτερογενούς πορώδους (από τεκτονικά αίτια και καρστική διεργασία). Στα τελευταία κατατάσσονται οι παλαιοζωϊκοί ασβεστόλιθοι (Λιονής 2002).

2.4. Χλωρίδα

Η βλάστηση της Κρήτης είναι σχεδόν αποκλειστικά μεσογειακή. Αποτελείται γενικότερα από θάμνους αλλά κυρίως από φρύγανα, βάτα, καθώς και δάση πεύκου, κυπαρισσίων και δρυός. Ακόμα παρατηρούνται και τύποι βλάστησης οι οποίοι αποτελούνται από πεύκα, χαρουπιές καθώς και βελανιδιές, έλατα και άλλα είδη κωνοφόρων τα οποία απαντώνται σε μεγάλα υψόμετρα. Επίσης, η Κρήτη είναι γνωστή για την ποικιλία βοτάνων που διαθέτει, μερικά από τα οποία φυτρώνουν μόνο στις βουνοπλαγιές της. Άξιο αναφοράς είναι και το περίφημο φοινικόδασος της Κρήτης, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή Βάι στην ανατολική Κρήτη. Γνωστές επίσης είναι και οι εξαγωγές οπωροκηπευτικών προϊόντων που πραγματοποιεί η Κρήτη στην Ελλάδα και το εξωτερικό.

Η περιοχή του Καλού Χωριού αποτελείται και αυτή σε μεγάλο βαθμό από θαμνώδη βλάστηση, όπως και όλο το νησί άλλωστε, με μια εμφανή παρουσία ψηλής βλάστησης, όπως πλατάνια και ελιές καθώς και καλαμιές, που συναντώνται κυρίως κατά μήκος του Καλού Ποταμού αλλά και στις εκβολές του, όπως προέκυψε από την επιτόπια έρευνα που διεξήχθη στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

3.1. Μέθοδοι Γεωμορφολογικής Ανάλυσης

Βασικό αντικείμενο της επιστήμης της Γεωμορφολογίας είναι η μελέτη της εξέλιξης μιας περιοχής στην πάροδο του χρόνου, σε ό,τι αφορά την γεωλογική της υπόσταση. Γενικότερα, με τον όρο «γεωμορφολογική εξέλιξη» εννοούμε την δυναμική διαδικασία μετάβασης από ένα περιβάλλον σε ένα άλλο διαφορετικών συνθηκών που χαρακτηρίζει μια χρονική περίοδο εξαρτώμενη από την γεωλογική δομή της περιοχής, την τεκτονική της εξέλιξη, τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, την ένταση και τον χρόνο επίδρασης των διεργασιών, τις ανθρώπινες επεμβάσεις κ.α.

Η διαδικασία περιγραφής της γεωμορφολογικής εξέλιξης, καλείται «γεωμορφολογική ανάλυση». Σκοπός της γεωμορφολογικής ανάλυσης είναι η απόκτηση γνώσεων για το παλαιοπεριβάλλον και την εξέλιξη του στον χώρο μελέτης, καθώς και τον τρόπο αξιοποίησης του φυσικού δυναμικού της περιοχής με τον καλύτερο δυνατό τρόπο από τον άνθρωπο χωρίς την διατάραξη των φυσικών ισορροπιών (Καρκάνας 2004).

Για την γεωμορφολογική μελέτη και ανάλυση μιας περιοχής υπάρχουν 2 κύριες μέθοδοι: η περιγραφική γεωμορφολογική ανάλυση (στην οποία θα εστιάσουμε) και η ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση.

Η περιγραφική γεωμορφολογική ανάλυση βασίζεται κυρίως στην συλλογή στοιχείων και πληροφοριών των γεωμορφών τα οποία απεικονίζουν την πραγματική υπάρχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους γεωμορφολογικούς παράγοντες και τις συνθήκες που επηρεάζουν και διαμορφώνουν το σημερινό ανάγλυφο.

Η ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση βασίζεται κυρίως στις μετρήσεις των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των υδρολογικών λεκανών απορροής όπου μετά από την κατάλληλη στατιστική επεξεργασία παρέχουν την εικόνα της εξέλιξης μιας περιοχής. Στα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την συγκεκριμένη μέθοδο λαμβάνονται υπόψιν

και οι υφιστάμενες γεωλογικές και κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής. (Παυλόπουλος 2005).

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη εργασία εστιάζει στην περιγραφική γεωμορφολογική ανάλυση και συγκεκριμένα στον τρόπο με τον οποίο συμβάλλει στην μελέτη των υδρογραφικών δικτύων.

3.2. Γεωλογία Κρήτης

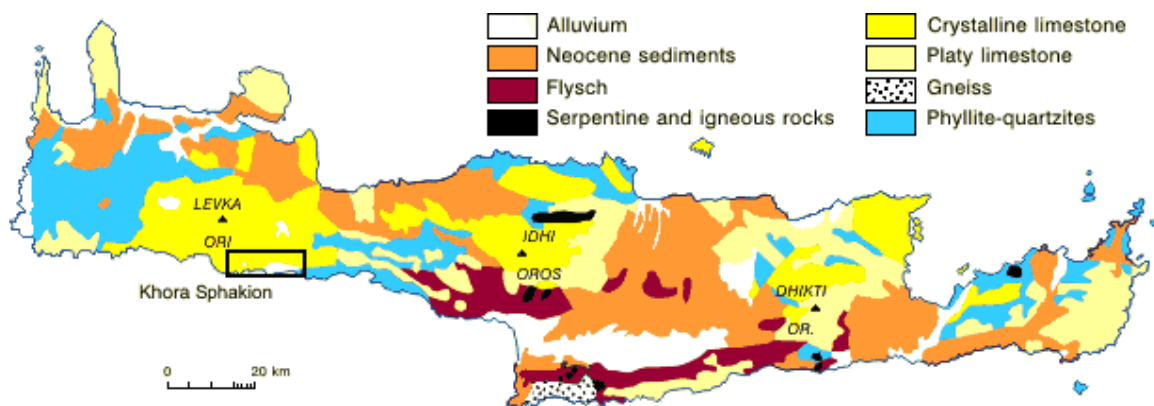
Σε ό,τι αφορά την γεωλογική της εξέλιξη, η Κρήτη εντάσσεται στο πλαίσιο της γεωλογικής εξέλιξης του ευρύτερου ελλαδικού χώρου. Η σημερινή μορφή του νησιού είναι αποτέλεσμα γεωλογικών εξελίξεων που εντάσσονται χρονικά στις εποχές του Ανώτερου Τριτογενούς και του Τεταρτογενούς, δηλαδή στο Μειόκαινο, το Πλειόκαινο, το Πλειστόκαινο και το Ολόκαινο, καλύπτοντας έτσι μία περίοδο περίπου 30 εκατομμυρίων ετών.

Η γενικότερη γεωλογική δομή της Κρήτης χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη *αλπικών* και *προαλπικών* πετρωμάτων, που συνθέτουν ένα πολύπλοκο οικοδόμημα τεκτονικών καλυμμάτων (Φυτρολάκης 1980, Bonneau 1984), ενώ εμφανίζονται πολλά *μεταλπικά* ιζήματα που καλύπτουν τις λεκάνες που χωρίζουν τα ψηλά όρη του νησιού. Το σύνολο των τεκτονικών καλυμμάτων της περιοχής δημιουργείται από έναν αριθμό τεκτονικών ενοτήτων που τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη και, ανάλογα με την τεκτονο-στρωματογραφική τους θέση χωρίζονται από μία κύρια ρηξιγενή ζώνη απόσπασης σε δύο ομάδες, τα ανώτερα και τα κατώτερα καλύμματα (Kilias et al. 1993, Fassoulas et al. 1994).

Τα κατώτερα καλύμματα αποτελούνται από το κάλυμμα των Πλακωδών Ασβεστολίθων, το κάλυμμα του Τριπαλίου και το κάλυμμα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών. Το κατώτερο από αυτά, το κάλυμμα των Πλακωδών Ασβεστολίθων, γνωστό και ως Plattenkalk, αποτελείται από νηριτικά και πελαγικά, ανθρακικά κυρίως, πετρώματα (Φυτρολάκης

1978). Επόμενο είναι το κάλυμμα του Τριπαλίου, το οποίο περιλαμβάνει ανακρυσταλλωμένα ανθρακικά κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθους και δολομίτες, Τριαδικής έως Κάτω Ιουρασικής ηλικίας (Φυτρολάκης 1980).

Τέλος, στην ανώτερη τεκτονικά θέση από τα κατώτερα καλύμματα βρίσκεται το κάλυμμα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών, το οποίο με τη σειρά του αποτελείται από δύο επιμέρους τμήματα: το ανώτερο, με φυλλίτες, σχιστόλιθους, χαλαζίτες, μάρμαρα και μεταηφαιστειακά πετρώματα και το κατώτερο, με μετά-γραουβάκες, χαλαζίτες, σχιστόλιθους, δολομίτες και εβαπορίτες.



Χάρτης 3: Γεωλογικός χάρτης Κρήτης (University of Manchester, 2012)

Τα ανώτερα καλύμματα αποτελούνται από τεκτονικές ενότητες που παρουσιάζουν συσχέτιση με τις αντίστοιχες της κεντρικής Ελλάδος και των Κυκλάδων (Bonneau 1984, Seidel et al. 1982). Έτσι, έχουμε τα αμεταμόρφωτα αλπικά καλύμματα της Τρίπολης και της Πίνδου και στην ανώτερη θέση το μεταμορφωμένο κάλυμμα των Αστερουσίων και το κάλυμμα των Οφιόλιθων.

Σε ό,τι αφορά τα μεταλπικά πετρώματα της Κρήτης, αυτά αποτελούνται από νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα που επικάθονται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς. Τα νεογενή ιζήματα αποτελούνται από εκτεταμένες αποθέσεις μαργών, κροκαλών και μαργαϊκών ασβεστολίθων και τα τεταρτογενή από αποθέσεις άμμου, κροκαλών, αργίλων και χαλίκων.

3.3. Σεισμικότητα Κρήτης

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό 2003, η Κρήτη εντάσσεται στην δεύτερη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας, η οποία συνεπάγεται σεισμική εδαφική επιτάχυνση $0,24 \cdot g$. Τα πετρώματα της περιοχής μελέτης κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες, από άποψης σεισμικής επικινδυνότητας:

- α. Μικρής σεισμικής επικινδυνότητας: οι ασβεστόλιθοι, οι σχιστόλιθοι, φυλλίτες, χαλαζίτες και τα άλλα πετρώματα του ημιμεταμορφωμένου συστήματος και ο φλύσχης.
- β. Μέτριας σεισμικής επικινδυνότητας: τα προσχωματικά εδάφη, οι αμμώδεις μάργες, τα χαλαρά τεταρτογενή κροκαλοπαγή.



Χάρτης 4: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδος (ΤΕΕ, 2003)

γ. Μεγάλης σεισμικής επικινδυνότητας: τα πλευρικά κορήματα και ο μανδύας αποσάθρωσης των φυλλιτών και του φλύσχη κ.α. (Βιδάκη Μ. 1995).

3.4. Γεωλογία – Γεωμορφολογία Ίστρου

Η κύρια τοπογραφία της περιοχής του Ίστρου σχηματίστηκε ήδη από το Πλειστόκαινο ή και νωρίτερα και εύκολα μπορεί να υποθέσει κάποιος ότι το σημερινό τοπίο δεν έχει αλλάξει πολύ από την Νεολιθική εποχή.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από έξι κύριες γεωμορφολογικές ενότητες, και δύο συστήματα αποστράγγισης (Καλός Ποταμός, Ξηροπόταμος). Έχουμε δηλαδή:

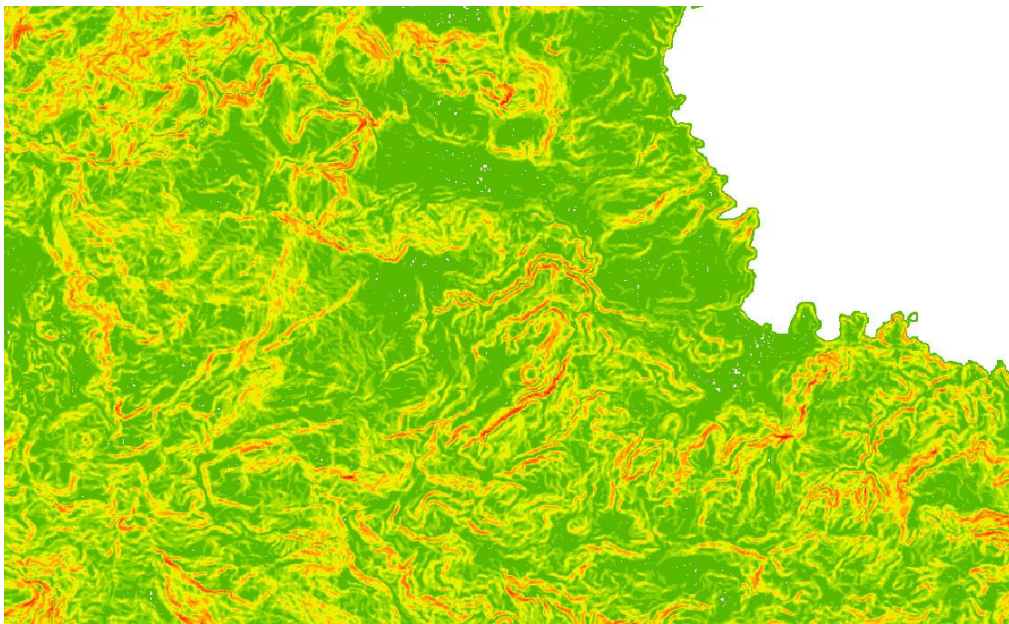
- 1) την κοιλάδα του Ίστρου με την πεδιάδα κατακλύσεως,
- 2) την ακτογραμμή και τα ακρωτήρια,
- 3) την λεκάνη της Πρίνας,
- 4) την λεκάνη των Μεσσελερών,
- 5) το όρος Σκιναύρια,
- 6) τις πλαγιές και τους λόφους νότια του Βρυόκαστρου και τους λόφους του Κολούμπου στα νότια (Παυλόπουλος et al. 2005, Moody 1997, Hayden 2004).

Έξι είναι και οι κύριοι τύποι πετρωμάτων που απαντώνται στην περιοχή:

- 1) κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι
- 2) μάργες
- 3) ψαμμίτες
- 4) γρανοδιορίτες
- 5) κροκαλοπαγή
- 6) λατυπο-κροκαλοπαγείς ασβεστόλιθοι (ΙΓΜΕ, Φ. Αγίου Νικολάου 1/50.000, 1987).

Σύμφωνα με τους Φυτρολάκη (1980) και Φασουλά (2001), οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι καλύφθηκαν κατά τη διάρκεια του Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου από μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή, ενώ τα κροκαλοπαγή πράσινου χρώματος που σχηματίζουν τη βάση των νεογενών αποθέσεων αποτελούνται από κροκάλες φυλλιτών, δολομιτών, ασβεστολίθων και κερατολίθων.

Κατά την ανάδυση της περιοχής την εποχή του Ανώτερου Πλειόκαινου, οι νεογενείς αποθέσεις και οι σχηματισμοί των ασβεστόλιθων και των πυριγενών πετρωμάτων άρχισαν να διαβρώνονται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ιζημάτων ιλυοαμμώδους σύστασης, που αποτελούνται κυρίως από μοσχοβίτες, γαλακτόχρωμους χαλαζίες και γωνιώδεις όστριους (Hayden 2004, Myer 1984, Παυλόπουλος et al 2005).



Χάρτης 5: Χάρτης Κλίσεων Ίστρου, όπου το πράσινο χρώμα υποδεικνύει χαμηλή κλίση, το κίτρινο μέση κλίση και το κόκκινο μεγάλη κλίση (Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών)

Στα νότια της περιοχής και κατά μήκος της κοιλάδας του Καλού Ποταμού, κυριαρχούν οι αλλουβιακές προσχώσεις, ενώ στο βόρειο τμήμα εντοπίζονται φυλλίτες σε διάφορα στάδια μεταμορφώσεως επιζώνης, οι οποίοι περιέχουν ενστρώσεις κροκαλλοπαγών. Τα πετρώματα αυτά κατά περιοχές εκλύουν σημαντικά σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων.

Από τεκτονικής άποψης, ο κόλπος του Μιραμπέλλου χαρακτηρίζεται από την παρουσία δύο κύριων νεοτεκτονικών διευθύνσεων (Α-Δ και ΒΒΑ-ΝΝΔ), οι οποίες σχετίζονται με ρηξιγενείς γραμμές. Ως αποτέλεσμα, η περιοχή χωρίζεται σε επιμέρους νεοτεκτονικές μακροδομές διαφόρων τάξεων, που συνθέτουν μια αρκετά πολύπλοκη εικόνα (Καροτσιέρης et al 2000).

4. ΠΟΤΑΜΙΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

4.1. Ποτάμια διεργασίες και γεωμορφές

Η μορφολογία του αναγλύφου των χερσαίων μορφών του πλανήτη έχει διαμορφωθεί σε μεγάλο βαθμό από την δράση του τρεχούμενου νερού. Η μορφολογία που προκύπτει από το ρέον νερό ονομάζεται ποτάμια μορφολογία και οι διεργασίες που εμπλέκονται στη δημιουργία αυτού του τύπου αναγλύφου και σχετίζονται με την επιφανειακή απορροή ονομάζονται ποτάμια διεργασίες. Οι κυριότερες από αυτές είναι η διάβρωση, η μεταφορά και η απόθεση (Καρύμπαλης 2013).

Οι γεωμορφές που προκύπτουν από τη δράση των ποτάμιων διεργασιών ονομάζονται ποτάμια γεωμορφές και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους: γεωμορφές διάβρωσης και γεωμορφές απόθεσης (Καρύμπαλης 2013). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν, εκτός των άλλων, οι κοιλάδες σχήματος V και U, τα φαράγγια, οι αναβαθμίδες και οι επιφάνειες ισοπέδωσης και στην δεύτερη οι αλλουβιακές αποθέσεις, τα αλλουβιακά ριπίδια και οι κώνοι αποθέσεων.

4.2. Υδρογραφικά δίκτυα

Ως υδρογραφικό δίκτυο, ορίζουμε το δίκτυο που σχηματίζεται σε μία περιοχή από την ύπαρξη ανεξάρτητων ποταμών που συνδέονται μεταξύ τους (Παπαπέτρου-Ζαμάνη 1995). Εναλλακτικά, μπορούμε να πούμε ότι πρόκειται για το σύνολο των ρευμάτων, χειμάρρων, παραποτάμων και ποταμών μέσω των οποίων αποστραγγίζεται μία περιοχή (Παυλόπουλος 2008). Στον σχηματισμό των υδρογραφικών δικτύων υπεισέρχεται μεγάλος αριθμός παραγόντων, όπως είναι οι αρχικές κλίσεις των κλιτύων, η γεωλογική δομή, η διαφορά αντοχής των πετρωμάτων, ο πρόσφατος διαστρωσιμός και η πρόσφατη γεωμορφολογική και γεωλογική ιστορία της υδρογραφικής λεκάνης. Έτσι, η μελέτη των δικτύων αυτών θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική και χρήσιμη για την ερμηνεία των γεωμορφών και αντιστρόφως (Παπαπέτρου-Ζαμάνη 1995).

Σε ό,τι αφορά τη μορφή τους, όπως αυτή προσδιορίζεται από την γωνία διακλάδωσης των παραποτάμων τους, τα υδρογραφικά δίκτυα χωρίζονται στις εξής κατηγορίες: *δενδριτικός* τύπος, *κλιμακωτός* τύπος, *ακιδωτός* τύπος, *ορθογώνιος* τύπος, *σύνθετος* τύπος, *ανώμαλος* τύπος, *κεντρομόλος* τύπος, *ακτινωτός* τύπος, *παράλληλος* τύπος και *κεκαμένος* τύπος (Παπαπέτρου-Ζαμάνη 1995).

Η *υδρογραφική υφή* είναι ένας ακόμη όρος που περιγράφει τη μορφή των υδρογραφικών δικτύων και καθορίζεται από δύο παράγοντες, σύμφωνα με τον Horton (1945): Την *υδρογραφική πυκνότητα*, δηλαδή το συνολικό μήκος των κλάδων μιας υδρογραφικής λεκάνης, προς τη συνολική επιφάνεια της λεκάνης αυτής και την *συχνότητα των κλάδων*, δηλαδή των συνολικό αριθμό των κλάδων μιας λεκάνης προς τη συνολική της επιφάνεια. Με τη σειρά της, η υδρογραφική υφή μπορεί να χαρακτηριστεί ως *τραχεία* και *λεπτή*. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε αραιό υδρογραφικό δίκτυο μικρής συχνότητας και στη δεύτερη πυκνό υδρογραφικό δίκτυο μεγάλης συχνότητας (Παπαπέτρου-Ζαμάνη 1995). Πολλές φορές το ίδιο υδρογραφικό δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει και τους δύο τύπους υδρογραφικής υφής σε διαφορετικά τμήματα της λεκάνης απορροής του.

4.3. Υδρογραφικό δίκτυο Καλού Ποταμού

Ο Καλός Ποταμός περνάει από την βόρεια πλευρά της κοιλάδας του Ίστρου στο δυτικό του τμήμα και ο παραπόταμος Μακαρόνια από το φαράγγι Κατσικαδάρα, στα νότια, ενώνεται με τον ποταμό στα βόρεια του χωριού Πύργος. Στην κοιλάδα υπάρχουν τέσσερις πηγές, εκ των οποίων οι δύο παρουσιάζουν ροή: η μία από αυτές βρίσκεται στα βόρεια του Καλού Χωριού και η άλλη στα βόρεια του Πύργου (Hayden 2004).

Το κεντρικό σύστημα του Ίστρου τροφοδοτείται κυρίως από τη δύση και τον νότο. Οι δυτικοί κλάδοι προέρχονται από το οροπέδιο του Καθαρού και την Πλατιά Κορυφή, ένα βουνό με υψόμετρο 1485 μέτρων που βρίσκεται στα νοτιοανατολικά του Καθαρού. Ένα βαθύ φαράγγι που αποτελεί μέρος του όλου συστήματος βρίσκεται στα νότια του χωριού

Κρουστάς. Από εκεί και πέρα, είναι πολλοί οι ξηροί κλάδοι που ενεργοποιούνται κατά τις χειμερινές βροχές, ενώ, όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν και κάποιες πηγές που συνεισφέρουν στην συνολική απορροή (Hayden 2004).

Το υδρογραφικό δίκτυο του Καλού Ποταμού ανήκει στην κατηγορία των δικτύων δενδριτικού τύπου, χαρακτηρίζεται δηλαδή από «την ακανόνιστη διακλάδωση των παραποτάμων προς διάφορες κατευθύνσεις με διαφορετικές γωνίες» (Παπαπέτρου – Ζαμάνη 1995). Η κοίτη του ποταμού συνδυάζει στοιχεία από τις τρεις βασικές μορφές κοιτών με κάποια ευθεία τμήματα, λίγα διακλαδιζόμενα και αρκετά μαιανδρικά. Η ροή του είναι συνεχής σε κάποια τμήματά του σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, ενώ άλλα παρουσιάζουν εποχική απορροή, κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου παρουσιάζεται η μέγιστη τιμή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (Hayden 2004). Στις περιπτώσεις αυτές αυξάνεται και η πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρών.

Σε ό,τι αφορά την υδρογραφική υφή του Καλού Ποταμού, την ανάπτυξη δηλαδή των κλάδων της υδρολογικής του λεκάνης, αυτή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί τραχεία, αφού έχουμε σχετικά αραιό υδρογραφικό δίκτυο μικρής συχνότητας, ειδικά όσο πλησιάζουμε προς τις εκβολές του στον κόλπο του Μιραμπέλλου. Στο ΒΔ και στο νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής του το δίκτυο είναι πιο πυκνό, ενώ στο ανατολικό της τμήμα αραιώνει σε πολύ μεγάλο βαθμό.

5. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ

5.1. Ιστορική αναδρομή

Κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα και κατά τα πρώτα χρόνια του 20^{ου}, η μελέτη των γεωμορφών χαρακτηριζόταν από μία στατική, περιγραφική φυσιογραφία. Μερικοί μόνο ερευνητές στην Αμερική και την Ευρώπη (Agassiz, John Wesley, Ferdinand Hayden και G.K. Gilbert) αναγνώριζαν την επιρροή των φυσικών δυνάμεων στη μορφή του τοπίου (Short, Blair 1986).

Κατά το 1899, με την έκδοση του «The Geographical Cycle», ο William Morris Davis εισήγαγε στην στατική φυσιογραφία της εποχής του την έννοια του δυναμισμού. Η έννοια του «κύκλου αποσάθρωσης» που εισήγαγε ο Davis, επέφερε επαναστατικές αλλαγές στον τρόπο που η επιστημονική κοινότητα αντιλαμβανόταν την Γεωμορφολογία. Σύμφωνα με αυτή, το τοπίο μεταβάλλεται και εξελίσσεται δυναμικά, μέσω ενός κύκλου αλλαγής που προκαλείται από τις εξωτερικές δυνάμεις του νερού και της ατμόσφαιρας. Μία παρόμοια κατεύθυνση εισήχθη και στην γαλλική Γεωμορφολογική σκηνή περίπου στο ίδιο χρονικό διάστημα, μέσω της ανάπτυξης του “Geologie Dynamique”.

Ωστόσο, στην πράξη, το μεγαλύτερο μέρος της γεωμορφολογικής έρευνας εξακολουθούσε να χαρακτηρίζεται από το μοντέλο της στατικής περιγραφικής φυσιογραφίας, στα πλαίσια του οποίου οι περιγραφές γίνονταν μέσω κειμένου, συνοδευόμενου από καλλιτεχνικά διαγράμματα που απεικόνιζαν τα συμπεράσματα του εκάστοτε συγγραφέα. Αν και τα διαγράμματα αυτά αποτελούσαν πολλές φορές εξαιρετικές απεικονίσεις των γεωμορφολογικών διαδικασιών, έτειναν να είναι εξιδανικευμένα ποιοτικά πορτραίτα και όχι ποσοτικώς επαληθεύσιμες γραφικές αναλύσεις του τοπίου (Short, Blair 1986).

Στη δεκαετία του '20, η φωτογραφία είχε αναπτυχθεί σε βαθμό αρκετό ώστε να είναι σε θέση να αποδειχθεί χρήσιμη στους γεωμορφολόγους, κάτι που όμως δεν συνέβη. Παρ’

όλα αυτά, υπήρχαν κάποιοι που την χρησιμοποίησαν νωρίς. Από το 1840 κιόλας, ο Γάλλος J. Arago επισήμανε την χρησιμότητα της φωτογραφίας στην τοπογραφική χαρτογράφηση. Επίσης, οι πρώτοι φωτογράφοι Nadar και Triboulet πειραματίστηκαν τραβώντας αεροφωτογραφίες από το αερόστατό τους. Κατά το 1899, ο Albert Heim δημοσίευσε τις φωτογραφίες που τράβηξε κατά τη διάρκεια μιας πτήσης με αερόστατο πάνω από τις Άλπεις, μαζί με τις παρατηρήσεις του. Πρόκειται ίσως για τον πρώτο άνθρωπο που χρησιμοποίησε την αεροφωτογραφία ως εργαλείο γεωμορφολογικής ανάλυσης (Short, Blair 1986).

Στις αρχές του 20^{ού} αιώνα, μέχρι τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, το μεγαλύτερο μέρος της γεωμορφολογικής έρευνας εστίαζε σε συγκεκριμένα τμήματα του τοπίου και δεν ακολουθούσε μία συνολική προσέγγιση στα πλαίσια ευρύτερων περιοχών.

Ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος αποτέλεσε σταθμό για την επιστήμη της Γεωμορφολογίας, αφού η μη στατική φύση των πολεμικών αναμετρήσεων της εποχής έφερε ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις, κυρίως στον τομέα της αεροφωτογραφίας και της φωτοερμηνείας. Έτσι, έγινε εφικτή η ακριβέστερη και αποτελεσματικότερη μελέτη των γεωμορφών. Επιπλέον, τεχνικές ποσοτικής ανάλυσης που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια άλλων επιστημών, εφαρμόστηκαν στη γεωμορφολογική έρευνα, αφού οι ποιοτικές περιγραφές και τα καλλιτεχνικά διαγράμματα των φυσιογράφων δεν παρείχαν τις πληροφορίες που χρειάζονταν για την λεπτομερή και ακριβή αναλυτική μελέτη των γεωμορφών. Κατά τη δεκαετία του '60, ο λεπτομερής γεωμορφολογικός χάρτης αποτελούσε πλέον το βασικό μέσο της ερευνητικής μεθόδου στην Γεωμορφολογία, αν και με πολλές αποκλίσεις ανά χώρα, σε ό,τι αφορά το περιεχόμενο και τον τρόπο υλοποίησης των χαρτών ανά χώρα (Short, Blair 1986).

Για να επιτευχθεί όμως αυτό, χρειάστηκε να μεσολαβήσει το συνέδριο της Διεθνούς Γεωγραφικής Ένωσης (IGU), κατά το 1958 στην Στοκχόλμη, στα πλαίσια του οποίου ιδρύθηκε η Επιτροπή Γεωμορφολογικής Χαρτογράφησης (Subcommission on Geomorphological Mapping). Η συγκεκριμένη επιτροπή είχε ως σκοπό της να εισάγει και να αναπτύξει τη μεθοδολογία της γεωμορφολογικής χαρτογράφησης, να υιοθετήσει

ένα ενιαίο σύστημα γεωμορφολογικής χαρτογράφησης, ώστε να εξασφαλιστεί η συμβατότητα και να προβάλει τις πρακτικές εφαρμογές της γεωμορφολογικής χαρτογράφησης στον τοπικό και περιφερειακό οικονομικό σχεδιασμό, ώστε να προκύψει μία εποικοδομητική χρήση της επιφάνειας της γης (Short, Blair 1986).

Στην συνεδρίαση της επιτροπής, το 1962, στην Κρακοβία της Πολωνίας, αντιμετωπίστηκε πρακτικά το πρόβλημα της ανομοιομορφίας στη μορφή των χαρτών, μέσω της δημιουργίας ενός συνόλου λεπτομερών κανόνων που θα διασφάλιζαν την επίτευξη μιας κοινής χαρτογραφικής μεθοδολογίας, σε ό,τι αφορά την αποτύπωση των γεωμορφών. Το 1968 είχαμε την αναβάθμιση της επιτροπής σε Επιτροπή Γεωμορφολογικής Έρευνας και Χαρτογράφησης (Commission of Geomorphic Survey and Mapping) και την ανάθεση σε αυτή της δημιουργίας του Εγχειριδίου Λεπτομερούς Γεωμορφολογικής Χαρτογράφησης και του υπομνήματος ενός διεθνούς γεωμορφολογικού χάρτη της Ευρώπης, σε κλίμακα 1: 2.500.000. Ο χάρτης δημοσιεύθηκε το 1971 και το εγχειρίδιο, μία συλλογή άρθρων από 20 γεωμορφολόγους, το 1972.

Όπως έχει σημειώσει και ο Demek (1982), οι νέες εξελίξεις στη Γεωμορφολογία από το 1970 κι έπειτα, έχουν αυξήσει ουσιαστικά την θεωρητική και πρακτική σημασία της γεωμορφολογικής χαρτογράφησης. Υπάρχει καλύτερη κατανόηση των αλληλοσυγκρουόμενων αλληλεπιδράσεων των ενδογενετικών και εξωγενετικών δυνάμεων, χάρη σε νέες θεωρίες τεκτονικής και στην ανάπτυξη μεθόδων παρατήρησης της γης από το διάστημα. Μία νέα έμφαση στην «Οικολογική Γεωμορφολογία» έχει συσχετίσει την κατανόηση του αναγλύφου με την ανθρώπινη ζωή και δραστηριότητα. Νέες ερευνητικές μέθοδοι έχουν κάνει την εμφάνισή τους, που σχετίζονται κυρίως με τις αεροφωτογραφίες, τις εικόνες από ραντάρ και από δορυφόρους και την ανάλυση δεδομένων και την αυτοματοποιημένη παραγωγή χαρτών από τους υπολογιστές (Short, Blair 1986).

Παρά τις εργασίες της Επιτροπής Γεωμορφολογικής Έρευνας και Χαρτογράφησης, εξακολουθούν να υπάρχουν διαφωνίες σε ό,τι αφορά τη φύση των γεωμορφολογικών χαρτών και το περιεχόμενό τους. Ο αριθμός των υπομνημάτων που αντιπροσωπεύει

διαφορετικές προσεγγίσεις και μεθοδολογίες, έχει πολλαπλασιαστεί. Στην πλειονηφία των περιπτώσεων, αντιπροσωπεύουν μία εθνική ή τοπική προοπτική και σπάνια ικανοποιούν τις απαιτήσεις της εμπειριστατωμένης γεωμορφολογικής χαρτογράφησης.

Αν και έχει υπάρξει πρόοδος, παραμένουν ορισμένα σημαντικά προβλήματα, αφού το θέμα της κατάλληλης κλίμακας, ειδικά στην περίπτωση χαρτών εκτεταμένων περιοχών σε μικρή κλίμακα, δεν έχει διευθετηθεί. Όπως έχει επισημάνει ο Demek, μέχρι να λυθούν όλα τα προαναφερθέντα προβλήματα, «δεν μπορεί να υπάρξει περαιτέρω πρόοδος στην Γεωμορφολογία ως επιστήμη» (Short, Blair 1986)..

5.2. Θεωρία γεωμορφολογικής χαρτογράφησης

Η ανάπτυξη της γεωμορφολογικής χαρτογράφησης έχει ακολουθήσει διαφορετικές οδούς σε διαφορετικές χώρες, λόγω των ειδικότερων ενδιαφερόντων και της έμφασης που δίνουν οι εκάστοτε γεωμορφολόγοι σε διαφορετικά πράγματα, αλλά και λόγω της διαφοροποίησης που παρατηρούνται στις γεωμορφές ανά περιοχή. Η περισσότερο λεπτομερής γεωμορφολογική χαρτογράφηση έως τώρα έχει γίνει στην Ευρώπη. Σε γενικές γραμμές, οι Αμερικανοί γεωμορφολόγοι ενδιαφέρονται κυρίως για μελέτες ειδικών χαρακτηριστικών ή την χαρτογράφηση συγκεκριμένων παραγόντων του αναγλύφου και όχι τόσο για την διεκπεραίωση εμπειριστατωμένων μελετών. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται, εν μέρει, στο μειωμένο ενδιαφέρον των Αμερικανών για την ενοποιητική προσέγγιση της Γεωγραφίας (Short, Blair 1986).

Μερικοί Ευρωπαίοι γεωμορφολόγοι, κυρίως Γάλλοι, Τσεχοσλοβάκοι και Ούγγροι, έχουν επιλέξει την λιθολογική-δομική μονάδα ως το βασικό στοιχείο στην ανάλυση γεωμορφών. Άλλοι, κυρίως Πολωνοί, Ρώσοι, Ρουμάνοι και Γερμανοί, θεωρούν ως βασική μονάδα τη γεωμορφή. Το Εγχειρίδιο της Λεπτομερούς Γεωμορφολογικής Χαρτογράφησης και το Υπόμνημα του Διεθνούς Χάρτη της Ευρώπης στην κλίμακα 1: 2.500.000 γενικά ακολουθούν τις Πολωνικές, Ρωσικές και Γερμανικές συμβάσεις. Στη Μεγάλη Βρετανία, οι γεωμορφολόγοι έχουν αναπτύξει ένα «εμπειρικό σύστημα»,

βασισμένοι στον διαχωρισμό του τοπίου σε «πλαγιές και επίπεδα». Παρόμοια συστήματα έχουν υιοθετηθεί από μερικούς Βέλγους και Καναδούς γεωμορφολόγους, επειδή τους δίνουν τη δυνατότητα να δίνουν ποσοτικές αξίες σε όλες τις γεωμορφές, γενικά σε βάρος της ακρίβειας εκτιμήσεων για τη χρονολογία. Επιπλέον, μερικοί γεωμορφολόγοι έχουν επιχειρήσει να συνδυάσουν ορισμένες από τις προαναφερθείσες προσεγγίσεις (Short, Blair 1986).

Στην Αυστραλία, το Division of Land Research and Regional Survey of The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) ανέπτυξε ένα σύστημα γεωμορφολογικής χαρτογράφησης για έρευνες πρώτων υλών, βασισμένη σε ένα concept μονάδων γης και συστημάτων γης. Η προσέγγιση αυτή «είχε ως στόχο να παρέχει μία βασική και λειτουργική υποδιαίρεση του τοπίου» (Christian and Stewart, 1968). Μία μονάδα γης οριζόταν ως μία περιοχή στην οποία κυριαρχούσε ένα είδος επιφάνειας με παρόμοια προέλευση και που τώρα διαθέτει παρόμοια τοπογραφία, σύσταση εδάφους, βλάστηση και κλίμα. Το σύστημα γης ήταν «ένα σύνολο μονάδων γης που σχετίζονται γεωγραφικά και γενεσιολογικά» (Christian, 1958). Αυτό το σύστημα, το οποίο είναι ιδιαίτερα καλά προσαρμοσμένο σε γρήγορες αναγνωριστικές έρευνες μεγάλων περιοχών βασισμένες στις πληροφορίες που προέρχονται από αεροφωτογραφίες, έχει χρησιμοποιηθεί στην χαρτογράφηση μεγάλων περιοχών της Αυστραλίας και της Νέας Γουινέας (Mabbutt and Stewart, 1963).

Η ανάπτυξη ενός διεθνούς υπομνήματος, γνωστού ως "Unified Key", και η εφαρμογή του σε έναν διεθνή γεωμορφολογικό χάρτη της Ευρώπης, το πρώτο φύλλο του οποίου έχει ήδη εκδοθεί, θεωρείται βήμα προς τα εμπρός από τους περισσότερους Ευρωπαίους γεωμορφολόγους, όμως ακόμη υπάρχουν πολλά πράγματα που πρέπει να γίνουν. Υπάρχει εκτίμηση, αλλά, προς το παρόν, όχι παγκόσμια αποδοχή του Unified Key ως βασικού υπομνήματος. Ο Demek (1982) επισημαίνει πόσο επιθυμητή είναι η καθιέρωση ενός και μοναδικού υπομνήματος για γεωμορφολογικούς χάρτες σε διάφορες κλίμακες, αλλά, όπως τονίζει, τα υπομνήματα που έχουν προταθεί έως τώρα «δεν πληρούν όλες τις προϋποθέσεις». Παρά τον μεγάλο αριθμό διαφορών πάντως, υπάρχει μία υποκείμενη ενότητα στην κατάταξη του εδάφους. Όλοι οι γεωμορφολόγοι επιθυμούν να

αναγνωρίσουν την πιο απλή γεωμορφή με χαμηλή μεταβλητότητα και όλοι προσπαθούν να συνδυάσουν τις γεωμορφές αυτές σε μία ιεραρχία ολοένα αυξανόμενων περιοχών (Gardiner, 1976).

5.3. Γεωμορφολογική χαρτογράφηση και γεωμορφές

Η γεωμορφολογική χαρτογράφηση ξεκινά με την αναγνώριση των θεμελιωδών μονάδων που συνθέτουν το τοπίο. Η εγκαθίδρυση της φύσης και του χαρακτήρα αυτών των μονάδων είναι σημαντική για την επιτυχία οποιασδήποτε γεωμορφολογικής έρευνας. Ωστόσο, δεν υπάρχει μία ενιαία συμφωνημένη ομάδα που να ικανοποιεί όλους τους τύπους και όλες τις κλίμακες της ερευνητικής χαρτογράφησης. Ο Miyogi (1970) έχει περιγράψει την γεωμορφική μονάδα σε γενικές γραμμές ως «μία μεμονωμένη, γενεσιολογικά ομογενή γεωμορφή, που παράγεται από μία προσδιορισμένη κατασκευαστική ή καταστροφική γεωμορφολογική διαδικασία». Οι περισσότεροι γεωμορφολόγοι θα συμφωνούσαν με τον ορισμό αυτό, αλλά θα διαφωνούσαν στα περιγραφικά χαρακτηριστικά της γενετικά ομογενούς γεωμορφής. Επιπροσθέτως, αν και οι περισσότερες γεωμορφές μπορούν να θεωρηθούν «γενεσιολογικά ομογενείς», σε ό,τι αφορά τις παρούσες διεργασίες, οι περισσότερες γεωμορφές οφείλουν τα χαρακτηριστικά τους, εν μέρει, σε διαδικασίες διαφορετικού είδους, που έχουν λάβει χώρα στο παρελθόν. Ο Wright (1972) έχει επισημάνει ότι: «... κάθε τμήμα της επιφάνειας της γης είναι το προϊόν μισ εξέλιξης που καθορίζεται από το γονικό γεωλογικό υλικό, γεωμορφολογικές διεργασίες, κλίμα στο παρελθόν και το παρόν και τον χρόνο». Οι περισσότεροι γεωμορφολόγοι θα συμφωνούσαν ότι είναι απαραίτητο να προσεγγιστεί το τοπίο στα πλαίσια διακριτών μοτίβων που είναι, εν μέρει, επαναλαμβανόμενα. Όποτε είπε ο Gardiner (1976), «οι μονάδες γης, όπως και να είναι ορισμένες, επαναλαμβάνονται στο τοπίο σε αναγνωρίσιμα μοτίβα» (Short, Blair 1986).

Υπάρχουν δύο γενικότερες προσεγγίσεις στην ερώτηση των γεωμορφολογικών μονάδων, οι οποίες διαχωρίζονται από τον Speight (1974) σε Μοντέλο Γεωμορφολογικών Στοιχείων (Landform Elements Model) και Μοντέλο Γεωμορφολογικών Μοτίβων

(Landform Patterns Model). Θεωρεί ότι οι δύο αυτές προσεγγίσεις είναι συμπληρωματικές. Κάθε μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει οποιοδήποτε κομμάτι γης, με την επιλογή να εξαρτάται από την κλίμακα και τον σκοπό της χαρτογράφησης. Στο Μοντέλο Γεωμορφολογικών Στοιχείων, οι μονάδες του τοπίου συγκρίνονται με «μία απλή κυρτή γεωμετρική επιφάνεια χωρίς έντονες αποκλίσεις», με έμφαση στις κλίσεις του εδάφους και την μέτρησή τους. Στο Μοντέλο Γεωμορφολογικών Μοτίβων (Landform Patterns Model), η επιφάνεια της γης θεωρείται ως ένα «τρισδιάστατο κυκλικό ή επαναλαμβανόμενο φαινόμενο, στα πλαίσια του οποίου απλά στοιχεία επαναλαμβάνονται σε ημι-τακτά χρονικά διαστήματα σε καθορισμένο μοτίβο». Εδώ οι μονάδες είναι τα στοιχεία που διαμορφώνουν τα μοτίβα. Τα ρωσικά, πολωνικά και τσεχοσλοβακικά συστήματα γεωμορφολογικής χαρτογράφησης είναι ανάμεσα σε αυτά που ακολουθούν το μοντέλο γεωμορφολογικών μοτίβων, όπου οι βασικές μονάδες είναι μορφοδομές που ταιριάζουν σε μια ένθετη ταξινόμηση μορφών (Bashenina, 1978). Οι Βρετανοί γεωμορφολόγοι και μερικοί άλλοι, χρησιμοποιούν ένα μοντέλο γεωμορφολογικών στοιχείων που κατατάσσει της βασικές μονάδες του αναγλύφου σε γεωμετρικούς όρους ως έδρες και τμήματα ορισμένα από μετρήσεις των κλίσεων και των εκτάσεων (Savigear, 1965). Άλλα εθνικά γκρουπ έχουν αναπτύξει συστήματα που ακολουθούν παραλλαγές των δύο προαναφερθέντων μοντέλων.

Οι διαφορές στην αναγνώριση των γεωμορφολογικών μονάδων συνδέονται με ζητήματα περιφερειοποίησης και κλίμακας. Σε διαφορετικές κλίμακες, καλύπτοντας περιοχές διαφορετικού μεγέθους, διαφορετικά χαρακτηριστικά μπορούν να προσδιοριστούν ως βασικές ομοιογενείς μονάδες. Η επιλογή μονάδας εξαρτάται από την κλίμακα της ανάλυσης. Οι Howard and Mitchell (1980) έχουν πει ότι η πιο ξεκάθαρη και απλή βάση ταξινόμησης είναι η «ταξινόμηση των τοπίων σε ομογενείς μονάδες κατάλληλες για την χαρτογραφική κλίμακα που απαιτείται για τον συγκεκριμένο σκοπό». Μία ιεράρχηση των μονάδων της γης μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα στις περισσότερες περιοχές, ανάλογα με την κλίμακα της χαρτογράφησης. Το τοπίο, σύμφωνα με τον Nicholayev (1974) ένα «πολύ-επίπεδο γεωσύστημα». Σε κάθε επίπεδο, διαφορετικές ταξινομικές μονάδες σχηματίζουν τις βασικές γεωμορφολογικές μονάδες του αναγλύφου. Όταν μελετώνται μεγαλύτερες περιοχές σε μικρότερες κλίμακες, μικρότερα χαρακτηριστικά

και διεργασίες τείνουν να χάνονται από τη συνολική εικόνα, ενώ μεγαλύτερα χαρακτηριστικά αδιόρατα στις μεγαλύτερες κλίμακες, έρχονται στο προσκήνιο.

Η γεωμορφολογία είναι ένα πολύπλοκο αντικείμενο με πολλαπλές προσεγγίσεις στην γεωμορφολογική ανάλυση και πολλαπλές κλίμακες χαρτογράφησης. Η φύση της γεωμορφολογικής μονάδας ελέγχεται από το επιλεγμένο μοντέλο της ανάλυσης και της κλίμακας της χαρτογράφησης που απαιτούνται. Η βασική γεωμορφολογική μονάδα δεν είναι μια ενιαία οντότητα ή χαρακτηριστικό, αλλά πρέπει να είναι προσεκτικά επιλεγμένη ώστε να είναι ουσιαστικά ομοιογενής και αδιαίρετη στην επιλεγμένη κλίμακα. Παρά το γεγονός ότι όλοι γενικά συμφωνούν ότι η βασική γεωμορφολογική μονάδα θα πρέπει να είναι μια ομοιογενής οντότητα, μπορεί να οριστεί με βάση το γενετικό ή δομικό σχέδιο, την προσέγγιση που ακολουθείται από την IGU και τους περισσότερους Ευρωπαίους γεωμορφολόγους ή και αναφορικά με την τοποθεσία και τις διαστάσεις των γεωμετρικών στοιχείων, με βάση τις κατευθυντήριες γραμμές του βρετανικού συστήματος (Short, Blair 1986).

Οι περισσότεροι λεπτομερείς γεωμορφολογικοί χάρτες αναπτύσσονται για μικρές περιοχές σε αρκετά μεγάλες κλίμακες, συνήθως ανάμεσα σε 1:10 000 και 1:50 000. Ένας σημαντικός τομέας με αυξανόμενο ενδιαφέρον στην γεωμορφολογία είναι η δυνατότητα περιφερειακής ανάλυσης των γεωμορφών σε εκτεταμένο χωρικό επίπεδο. Η έρευνα απαιτεί την περιφερειοποίηση των γεωμορφολογικών χαρτών. Ένας αριθμός μεθόδων έχει προταθεί για αυτό, μέσω του οποίου μπορεί να αναπτυχθεί μια ιεραρχία των γεωμορφολογικών περιοχών (Gellert, 1972).

5.4. Γεωμορφολογική χαρτογράφηση και τηλεπισκόπηση

Η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται στη Γεωλογία κυρίως για τη βελτίωση των συμβατικών μεθόδων σύνταξης και ερμηνείας γεωλογικών χαρτών σε εκτεταμένες περιοχές. Εικόνες του δορυφόρου Landsat εφαρμόζονται σε ποικίλα γεωλογικά

προβλήματα που είναι δύσκολο να επιλυθούν αποκλειστικά και μόνον με συμβατικές μεθόδους (Μερτίκας 1999).

Η σύνταξη των συμβατικών γεωλογικών χαρτών περιλαμβάνει παρατηρήσεις πεδίου και εργαστηριακές μετρήσεις που εξαρτώνται από την έκθεση των πετρωμάτων, την προσπελασιμότητα της περιοχής και το διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό. Με τις τεχνικές, όμως, της Τηλεπισκόπησης, είναι δυνατόν να ληφθούν συγκεκριμένες πληροφορίες γεωλογικής δομής και λιθολογίας πιο αποτελεσματικά από ό,τι στο έδαφος. Σε καλώς εκτεθειμένες περιοχές, γεωλογικοί χάρτες μπορούν να κατασκευαστούν από εικόνες Landsat και SPOT ακόμη και αν υπάρχουν πολύ περιορισμένες μετρήσεις πεδίου, επειδή πολλές από τις κύριες γεωλογικές ομάδες και ιδιότητες απεικονίζονται στις εικόνες αυτές (Μερτίκας 1999).

Η κάλυψη του δορυφόρου Landsat για περιοχή 185 km x 170 km, με χαμηλή γωνία ύψους του Ήλιου και επανάληψη της λήψης κάθε 16 μέρες κάνει τη γεωλογική εικόνα χρήσιμη στη γεωλογική χαρτογράφηση. Η μικρή γωνία φωτισμού του Ήλιου επιτυγχάνεται με το να αναγκασθεί ο δορυφόρος να τεθεί σε τροχιά τέτοια ώστε να τέμνει τον ισημερινό γύρω στις 10:00 π.μ. τοπική ώρα. Η χαμηλή αυτή γωνία ύψους του Ήλιου αυτή την ώρα της ημέρας δημιουργεί σκιές λόγω των γεωλογικών δομών και της τοπογραφίας, δίνοντας έμφαση και τονίζοντας έτσι το τοπογραφικό ανάγλυφο στις εικόνες (Μερτίκας 1999).

Επίσης, τα γραμμικά εκείνα στοιχεία που είναι ορατά σε κάποια εικόνα –και τα οποία ονομάζονται γραμμώσεις- ενδέχεται να αντιστοιχούν σε ζώνες αδυναμίας του φλοιού της Γης, οι οποίες συχνά αποτελούν ρήγματα (Μερτίκας 1999).

Ο τόνος και η υφή των εικόνων radar χρησιμοποιούνται για τη διάκριση εδαφών και πετρωμάτων. Διαφορετικά πετρώματα καθίστανται διακριτά στις εικόνες εξαιτίας των διαφορών που εμφανίζουν στην τραχύτητα της επιφάνειάς τους, καθώς και εξαιτίας της διηλεκτρικής τους σταθεράς και της αγωγιμότητάς τους (Μερτίκας 1999).

5.5. Εφαρμογές της γεωμορφολογικής χαρτογράφησης

Ο σύγχρονος λεπτομερής γεωμορφολογικός χάρτης παρέχει ένα μοναδικό μέσο για την αποτύπωση όλων των διαφορετικών παραγόντων και χαρακτηριστικών του φυσικού τοπίου με έναν τακτικό επιστημονικό τρόπο. Ένας τέτοιος χάρτης είναι το μοναδικό αναλυτικό εργαλείο ως τώρα μέσω του οποίου είναι δυνατή η προσέγγιση της απεικόνισης της πολύπλοκης επιφάνειας της γης και των δυναμικών διεργασιών της. Έχει άμεση επιστημονική αξία για την έρευνα και στην θεωρητική γεωμορφολογία και ομοίως χρησιμεύει ως βάση από την οποία μπορούν να προκύψουν εφαρμοσμένοι χάρτες, επικεντρωμένοι σε ειδικά χαρακτηριστικά του τοπίου, που μπορούν να βοηθήσουν σε μία ποικιλία διαφορετικών τύπων της εφαρμοσμένης γεωμορφολογικής έρευνας (Short, Blair 1986).

Η λεπτομερής γεωμορφολογική χαρτογράφηση οδηγεί σε έναν αριθμό εφαρμογών στη βασική επιστημονική έρευνα που είναι απαραίτητη για την συνεχιζόμενη ανάπτυξη της γεωμορφολογίας. Όπως επισήμανε ο Klimaszewski (1982), η χαρτογράφηση μπορεί να παρέχει μία ακριβή εικόνα των δυναμικών διεργασιών του αναγλύφου, η οποία με τη σειρά της:

Επιτρέπει την αναπαραγωγή της διαδικασίας ανάπτυξης του αναγλύφου.

Παρέχει τον τρόπο για την αξιολόγηση των παραγόντων και των διαδικασιών της προέλευσης και του μετασχηματισμού.

Διευκολύνει την έρευνα για τις συνδέσεις ανάμεσα στις γεωμορφές.

Επιτρέπει την περιφερειοποίηση.

Διευκολύνει την ανάπτυξη συγκριτικών μελετών.

Παρέχει ένα μέσο σύγκρισης ανάμεσα σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες γεωμορφές σε περιοχές διαφορετικής αλλά και παρόμοιας γεωμορφολογικής δομής και κάτω από ποικίλες κλιματικές συνθήκες.

Λειτουργεί ως βοήθημα για τη μελέτη του ρόλου του κλίματος στον σχηματισμό της επιφάνειας της γης, διαχωρίζοντας τους κλιματικούς τύπους αναγλύφου.

Οι Barsch and Liedtke (1980) αναφέρουν κι άλλα επιστημονικά οφέλη από ένα πρόγραμμα λεπτομερούς γεωμορφολογικής χαρτογράφησης στην Δυτική Γερμανία, περιλαμβάνοντας μία σημαντικά αυξημένη βάση δεδομένων από την απαραίτητη εργασία πεδίου, μία βελτίωση και διασαφήνιση της γεωμορφολογικής ορολογίας, μεγέθυνση της δυνατότητας επεξεργασίας δεδομένων, εντατικοποίηση των μορφοδυναμικών μελετών, παροχή γεωμορφολογικής τεκμηρίωσης σε περιοχές έντονης ανάπτυξης και αυξημένη συνεργασία ανάμεσα σε γεωμορφολόγους και άλλους γεωεπιστήμονες.

Η πολύπλοκη φύση των γεωμορφολογικών χαρτών τείνει να περιορίζει την χρησιμότητά τους πέρα από τον τομέα της τεχνικής γεωμορφολογίας. Όπως τονίζουν οι Barsch and Liedtke (1980), αυτοί οι χάρτες δημιουργούνται «από ειδικούς για ειδικούς». Ο Tricart (1969) σημειώνει ότι «ένας πραγματικός γεωμορφολογικός χάρτης είναι ένα πολύπλοκο έγγραφο που μπορεί να διαβαστεί μόνο από άτομα με επαρκή εξειδικευμένη εκπαίδευση». Όλα αυτά τείνουν να καθιστούν τις πληροφορίες τους απρόσιτες σε άτομα εκτός της γεωμορφολογίας. Παρ' όλα αυτά, ο Tricart υποστηρίζει ότι « οι γεωμορφολογικές έρευνες θα πρέπει να αποτελέσουν ένα από τα βασικά στοιχεία για την προετοιμασία των έργων ανάπτυξης». Σύμφωνα με τον Embleton (1985), οι γεωμορφολογικοί χάρτες εξυπηρετούν αρκετές χρήσιμες λειτουργίες. Δηλώνει ότι αποτελούν, πάνω από όλα, «μία αποθήκη οπτικών πληροφοριών». Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να συντονίσουν την γεωμορφολογική έρευνα ανάμεσα σε μελετητές που προσεγγίζουν διαφορετικά το όλο ζήτημα. Προσεγγίζοντας τα γεωμορφολογικά φαινόμενα σε ένα ευρύτερο χωρικό πλαίσιο, όπως απαιτούνταν κατά την προετοιμασία του γεωμορφολογικού χάρτη της Ευρώπης της IGU, κλίμακας 1:2.500.000, όλοι οι ερευνητές υπόκεινται στην ανάγκη εργασίας μέσα σε ένα συμφωνημένο διεθνές πλαίσιο. Στην εκπαίδευση, οι γεωμορφολογικοί χάρτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλους φυσικούς χάρτες, ώστε να δείξουν την πολύπλοκη φύση του περιβάλλοντος. Τέλος, σχετικά με τα δεδομένα που προέρχονται από την τηλεπισκόπηση, ο Embleton τονίζει ότι ένας πεπειραμένος γεωμορφολόγος που χαρτογραφεί το τοπίο, μπορεί να εκτιμήσει πιο εύκολα και αξιόπιστα είδη εδαφών που

απεικονίζονται σε εικόνες τηλεπισκόπησης, σε σύγκριση με έναν αναλυτή χωρίς τέτοιο υπόβαθρο (Short, Blair 1986).

Μία ειδική αξία της γεωμορφολογικής χαρτογράφησης βρίσκεται στην εφαρμογή της σε συγκεκριμένα προβλήματα, με τη χρήση περιορισμένων χαρτών που δείχνουν μόνο τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά που είναι σχετικά με το εκάστοτε ζήτημα. Τέτοιοι χάρτες προέρχονται είτε απλοποιώντας το περιεχόμενο λεπτομερών χαρτών, είτε προετοιμάζονται εξ αρχής με τη χρήση μόνο των απαραίτητων δεδομένων. Οι παράγωγοι χάρτες είναι συνήθως οι πιο επιθυμητοί, επειδή είναι πάντα εφικτό να υπάρξει παραπομπή στους λεπτομερείς χάρτες, εφόσον χρειαστούν επιπλέον πληροφορίες.

Οι γεωμορφολογικοί χάρτες είναι πολύ χρήσιμοι στον τομέα της Περιβαλλοντικής Διαχείρισης, ειδικά στο στάδιο του σχεδιασμού. Οι Cook και Doornkamp (1974) θεώρησαν τους γεωμορφολογικούς χάρτες ιδιαίτερα χρήσιμους στην αρχική φάση έρευνας πεδίου της ανάλυσης για περιβαλλοντικά ζητήματα. Επίσης τους θεώρησαν πολύτιμους ως βάση για έναν αριθμό ειδικών χαρτών, που χρησιμεύουν σε διάφορα στάδια της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Ο Panizza (1978) δημιούργησε μία σειρά από γεωμορφολογικούς χάρτες για περιοχές της Βόρειας και Νότιας Ιταλίας και της Κεντρο-ανατολικής Νιγηρίας. Σκοπός τους ήταν να βοηθήσουν σε συνεκτικό σχεδιασμό χρήσης γης σε ευαίσθητες περιοχές. Επρόκειτο για απλοποιημένους χάρτες που βασίζονταν «από τη μία, σε μορφογενετικές διαδικασίες που προκαλούσαν αστάθεια και, από την άλλη, στη λιθολογία που εμπλέκονταν στην υποβάθμιση του αναγλύφου». Οι χάρτες που προέκυψαν ήταν απλοί και εύκολοι στην ανάγνωση, περιλαμβάνοντας μόνο τις πληροφορίες που σχετίζονταν με τη σταθερότητα (Short, Blair 1986).

Οι χάρτες σταθερότητας αναπτύχθηκαν ύστερα από μία πλήρη γεωμορφολογική έρευνα, η οποία, όπως είπε ο Panizza: «είναι προαπαιτούμενο στην ανάπτυξη χαρτών χρήσιμων για σχεδιαστικούς σκοπούς». Οι χάρτες γεωμορφολογικής σταθερότητας αναπτύχθηκαν και από τον Rosenfeld (1976), ως έγγραφα περιβαλλοντικού σχεδιασμού που σχετίζονταν με την ανάπτυξη ενός νέου δήμου που θα φιλοξενούσε 800 με 1000 άτομα στο Resolute Bay του Καναδά. Σε μία παγετώδη περιοχή, χαρτογραφήθηκαν τα

μικροχαρακτηριστικά της περιοχής, όπως το διαμορφωμένο έδαφος, τα κανάλια υδάτων που προέρχονται από τον πάγο και άλλα. Οι πληροφορίες χρησιμοποιήθηκαν για να επιλεγεί η καλύτερη τοποθεσία ανάμεσα σε πέντε και για να σχεδιαστεί η χρήση ανοιχτού χώρου από την κοινότητα, ώστε να αποφευχθούν συγκεντρωμένες δραστηριότητες σε περιοχές με ευαίσθητο έδαφος. Ο σκοπός του σχεδιασμού δεν ήταν μόνο να αντιμετωπιστούν τα δομικά μηχανικά ζητήματα της κατασκευής σε δύσκολο περιβάλλον, αλλά και η χρήση γης με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιωθεί η αισθητική ποιότητα της κοινότητας.

Η εφαρμογή της ολοκληρωμένης γεωμορφολογικής επισκόπησης και χαρτογράφησης των ζητημάτων περιβαλλοντικής μηχανικής, όπως ο σχεδιασμός και η κατασκευή αυτοκινητόδρομου, μόλις αρχίζει να εγκαθιδρύεται. Ο Brunsden (1975) και άλλοι είπαν ότι «υπάρχει μια εμφανής ανάγκη για επιπλέον γεωμορφική πληροφορία ... (πέρα από τις γεωλογικές πληροφορίες που χρησιμοποιούνται συνήθως στο σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων)... από τη στιγμή που η μορφή του εδάφους και το χωρικό μοτίβο των γεωμορφολογικών διαδικασιών συχνά επηρεάζουν την επιλογή κατασκευής ενός δρόμου». Βλέπουν τη χρήση διαφορετικών τύπων εφαρμοσμένων γεωμορφολογικών χαρτών σε διαφορετικά στάδια του σχεδιασμού και της κατασκευής. Οι χάρτες μικρής κλίμακας μπορούν να παρέχουν την περιφερειακή ανάλυση μιας περιοχής που θα ήταν πολύτιμοι στο αρχικό στάδιο σχεδιασμού, ενώ, αντίστοιχα, οι χάρτες μεγάλης κλίμακας που απεικονίζουν μικρές περιοχές θα ήταν χρήσιμοι για θέματα έρευνας του χώρου θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς του εδάφους πριν και μετά την κατασκευή (Short, Blair 1986).

6. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΙΣΤΡΟΥ

6.1. Εργασία πεδίου

Η διάρκεια της επιτόπιας έρευνας ήταν τρεις ημέρες (10/9/2004 έως 12/9/2004), εκ των οποίων οι δύο αποτέλεσαν τις μέρες της κύριας χαρτογράφησης, αφού η πρώτη ημέρα ήταν και η ημέρα άφιξης στην περιοχή μελέτης και αναλώθηκε στην συλλογή δειγμάτων από ήδη προεπιλεγμένες θέσεις, στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι αντίστοιχες ανασκαφές για την δημιουργία τρανσέρων.



Εικόνα 1: Άποψη της περιοχής του Ίστρου (Παυλόπουλος, 2004)

Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ενός γενικότερου ερευνητικού προγράμματος, το οποίο αφορά κυρίως αρχαιολογικούς σκοπούς. Οι τρανσέρες δεν αποτελούν κομμάτι της συγκεκριμένης εργασίας και γι' αυτόν τον λόγο γίνεται μόνο μια απλή αναφορά τους.

Κατά την διάρκεια αυτών των δύο ημερών επιτόπιας έρευνας πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση και αποτύπωση γεωμορφολογικών στοιχείων τα οποία αφορούν την περιοχή μελέτης. Στην χαρτογράφηση σημαντική υπήρξε και η βοήθεια της χρήσης μιας συσκευής GPS (Global Positioning System), η οποία έδινε την δυνατότητα εντοπισμού των συντεταγμένων της θέσης μας μέσω δορυφόρου, με μικρή μόνο απόκλιση. Έτσι, η ακόλουθη περιγραφή θα γίνει έχοντας ως οδηγό τις δεδομένες θέσεις ή στάσεις τις οποίες βρήκαμε χρησιμοποιώντας το GPS. Τα σημεία περιγραφής ακολουθούν το πρότυπο ΕΓΣΑ87.

Καταγραφές για 11/9/2004

Στάση 1 (N:3507088, E:0254415)

Στο σημείο αυτό εντοπίζεται μία δύσβατη περιοχή καθώς και η ύπαρξη αποστρογγυλοποιημένων κροκαλοπαγών, τα οποία υποδηλώνουν απόθεση. Επίσης είναι έντονη η παρουσία διοριτών, ψαμμιτών καθώς και ασβεστολιθικών και κερατολιθικών πετρωμάτων.

Στάση 2 (N:356857, E:02544062), Υψόμετρο: 54μ

Εδώ εντοπίζεται η νότια επιφάνεια του ρήγματος Τσιγκούνη, στο μέσο της οποίας έχουν αποτεθεί υλικά τα οποία μαρτυρούν ίσως μια πρόσφατη ενεργοποίηση του.

Στάση 3α (N:3507260, E:02544728) και

Στάση 3β (N:3507264, E:02544723), Υψόμετρο: 310μ

Εδώ βρίσκεται ένας αρχαίος οικισμός της περιοχής του Ίστρου, ο οποίος είναι δομημένος σε μια εξαιρετικά δύσβατη περιοχή, αλλά και ταυτόχρονα σε εξαιρετικά στρατηγική για τα τότε δεδομένα θέση, η οποία επέτρεπε την μέγιστη εμβέλεια παρατήρησης. Ανατολικά του οικισμού έχουμε την ύπαρξη ενός τεράστιου ρήγματος καθώς και κώνους κορρημάτων. Επίσης, βρέθηκαν και δείγματα τα οποία μας βοηθούν να καταλάβουμε από τι είδους υλικό ήταν κατασκευασμένα τα εργαλεία. Αναμενόμενη ήταν η παρουσία διακλάσεων.

Στάση 4 (N:3506889, E:2542661)

Βρισκόμαστε στην κοίτη του Καλού Ποταμού. Η καταγραφή της κλίσης της πρώτης αναβαθμίδας ήταν εξαιρετικά δύσκολη έως αδύνατη, εξαιτίας του δύσβατου της περιοχής .

Στάση 5 (N:3507002, E:025043052)

Στο σημείο αυτό παρατηρούμε την ύπαρξη μιας γέφυρας καθώς και μιας ακόμα αναβαθμίδας

Στάση 6 (N:3506749, E:0254327)

Καταγραφή μιας ακόμη αναβαθμίδας.

Στάση 7 (N:3507275, E:02542935)

Καταγραφή μεθόδων συγκράτησης της αναβαθμίδας

Καταγραφές για 12/9/2004

Στάση 1 (N:3507397, E:02543444)

Ύπαρξη τείχους το οποίο πιθανολογείται ότι ανήκει σε πεπαλαιωμένο υδραγωγείο, τροφοδοτούμενο με νερό από τον Καλό Ποταμό.

Στάση 2 (N:3507369, E:02543444)

Ύπαρξη αναβαθμίδας με κλίση 38% περίπου και σημείο συγκέντρωσης κροκαλοπαγών.

Στάση 3 (N:3506878, E:02544033)

Επιφάνεια ισοπέδωσης καθώς και μια μπαζωμένη αναβαθμίδα.

Στάση 4 (N:3507129, E:02543686)

Ομαλή αναβαθμίδα με μικρή κλίση.

Στάση 5 (N:3507416, E:02543642)

Εδώ φτάνουμε και στο τέλος των παρατηρήσεων με την καταγραφή του αλλουβιακού ριπιδίου, μιας ακόμη επιφάνειας ισοπέδωσης και έντονης βλάστησης, αποτέλεσμα της απόθεσης θρεπτικών συστατικών στην περιοχή του ριπιδίου, τα οποία επιτρέπουν την ανάπτυξη αυτού του είδους βλάστησης (ελιές, πλατανιές και καλαμιές). Επιπροσθέτως, η περιοχή του αλλουβιακού ριπιδίου αποτέλεσε και μέρος επιστημονικού ενδιαφέροντος, αφού εκεί πραγματοποιήθηκαν από το ερευνητικό ινστιτούτο «Δημόκριτος» γεωτρήσεις που επέφεραν δείγματα αρχαιολογικού και χημικογεωλογικού ενδιαφέροντος.

6.2. Δημιουργία γεωμορφολογικού χάρτη μέσω Quantum GIS

Στην παρούσα εργασία, για την γεωμορφολογική χαρτογράφηση και απεικόνιση των γεωμορφών δεν χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS, αλλά το Quantum GIS (Έκδοση 1.8.0 “Lisboa”), το οποίο ανήκει στην κατηγορία του ανοικτού λογισμικού.

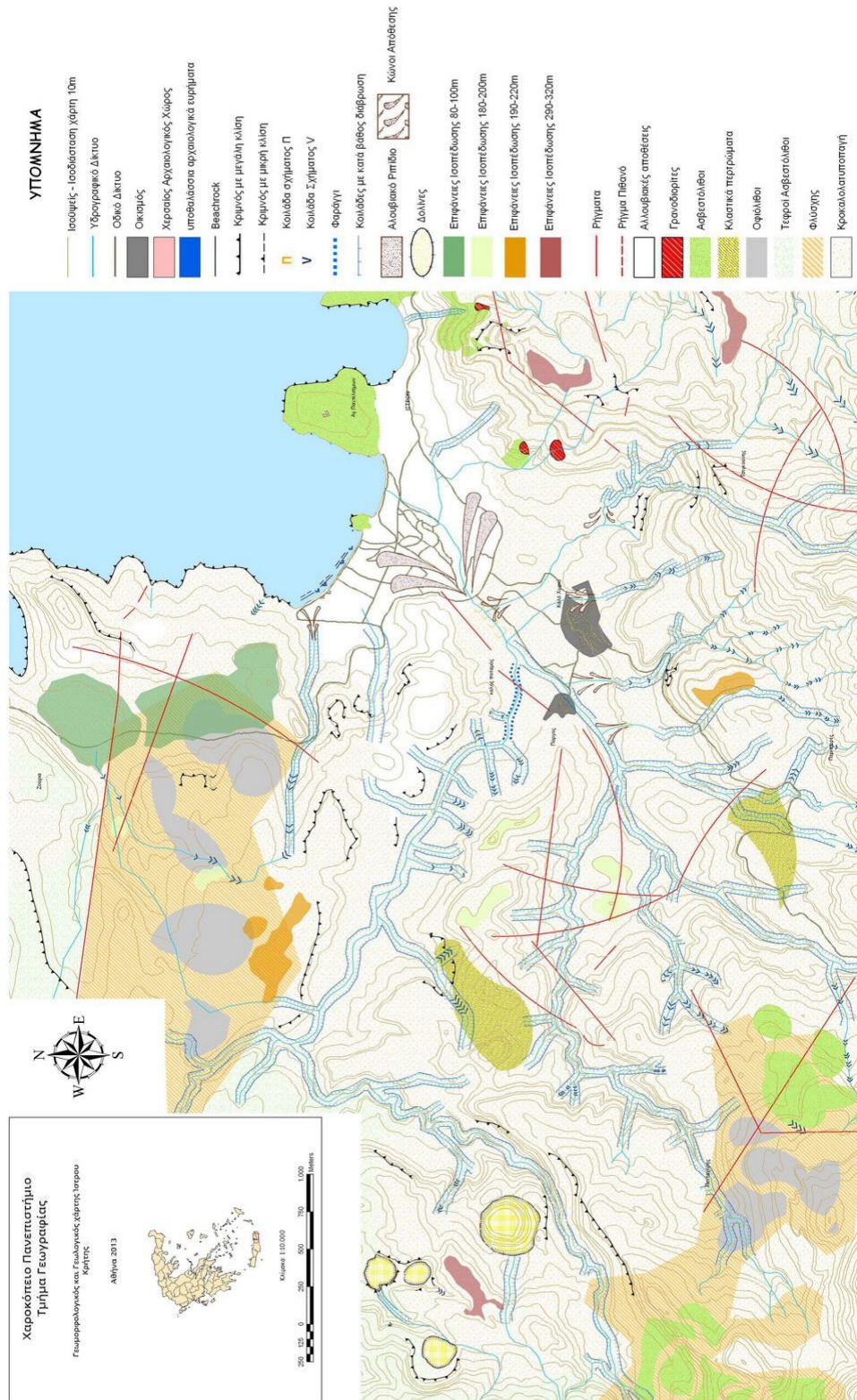
Η πρώτη έκδοση του Quantum GIS εμφανίστηκε το 2009 και έκτοτε ανανεώνεται συνεχώς από μία ομάδα εθελοντών προγραμματιστών, ενώ εμπλουτίζεται και με μεγάλο αριθμό από plugins, που επεκτείνουν τη λειτουργικότητά του. Η open source φύση του αποτελεί και το μεγάλο του πλεονέκτημα έναντι του, κατά τα άλλα πληρέστερου, ArcGIS, αφού είναι διαθέσιμο δωρεάν για όλους από την διεύθυνση <http://www.qgis.org/> και όποιος έχει την απαραίτητη τεχνογνωσία μπορεί να συνεισφέρει στην ανάπτυξή του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των πλεονεκτημάτων στις συμμετοχικής ανάπτυξης είναι ότι το πρόγραμμα έχει ήδη μεταφραστεί και στην ελληνική γλώσσα. Επιπλέον, είναι άξιο αναφοράς ότι σαν πρόγραμμα το Quantum GIS είναι πολύ πιο «ελαφρύ» σε σχέση με το ArcGIS σε ό,τι αφορά την κατανάλωση πόρων του υπολογιστή, διευκολύνοντας έτσι την εργασία σε αυτό.

Φυσικά, όπως κάθε γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, το Quantum GIS επιτρέπει την ψηφιοποίηση (σημειακά, γραμμικά, πολυγωνικά), την αποθήκευση, την επεξεργασία, την

ανάλυση και την εξαγωγή χωρικών δεδομένων, επιτρέποντας έτσι στην προκειμένη περίπτωση την δημιουργία ενός γεωμορφολογικού χάρτη της περιοχής του Ίστρου.

Ως υπόβαθρο για τον γεωμορφολογικό και γεωλογικό χάρτη της περιοχής χρησιμοποιήθηκε το φύλλο Αγίου Νικολάου της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, με κλίμακα 1:5.000 και ισοδιάσταση 4 μέτρα, ενώ εξετάστηκε και γεωλογικός χάρτης της ΙΓΜΕ, κλίμακας 1:50.000. Για την αναγνώριση των γεωμορφών εξετάστηκε ο ορθοφωτοχάρτης Ελλάδος του Κτηματολογίου, όπως και το Google Earth, το οποίο πλέον επιτρέπει την τρισδιάστατη επισκόπηση του τοπίου από οποιαδήποτε οπτική γωνία. Σημαντικότατο ρόλο όμως στην αναγνώριση των γεωμορφών έπαιξε και η εργασία πεδίου, η οποία επέτρεψε την επαλήθευση πολλών παρατηρήσεων και πολύ καλύτερη εικόνα της περιοχής από όσο θα επέτρεπε η απλή θέαση χαρτών, ανεξαρτήτως της λεπτομέρειάς τους. Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς '87 (ΕΓΣΑ87 ή GGRS87).

Αρχικά διενεργήθηκε γεωαναφορά του χάρτη μέσω του εργαλείου *Georeferencer* του Quantum GIS. Ακολούθησε η ψηφιοποίηση των ισοϋψών και του υδρογραφικού δικτύου μέσω της ακολουθίας επιλογών: *Toggle Editing* → *Add feature*, ενώ οι πολυγωνικής φύσης γεωμορφές ψηφιοποιήθηκαν μέσω της επιλογής *Capture Polygon*. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι αποθεματικοί κώνοι και το αλλουβιακό ριπίδιο εισήχθησαν τελευταία, γιατί έπρεπε να επαληθευθούν οι σωστές περιοχές απόθεσης μέσω του προσδιορισμού του υδρογραφικού δικτύου. Τέλος, προστέθηκε το υπόμνημα.



Χάρτης 6: Γεωμορφολογικός χάρτης Ισθμού

6.3. Αντιστοίχιση ψηφιακών δεδομένων με τον online χάρτη του Κτηματολογίου

Το Quantum GIS, εκτός των άλλων, επιτρέπει την πρόσβαση σε χωρικά και χαρτογραφικά δεδομένα μέσω διαδικτύου, επιτρέποντας έτσι την εκτέλεση ενός πλήθους λειτουργιών που μέχρι πρόσφατα εκτελούνταν με μεγαλύτερη δυσκολία. Μία από αυτές, είναι η δυνατότητα αντιστοίχισης των ψηφιακών δεδομένων στον εκάστοτε διαθέσιμο online χάρτη, με σκοπό την εποπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ψηφιοποίησης σε ευρέως διαδεδομένα online χαρτογραφικά υπόβαθρα.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέξαμε να υπερθέσουμε το ψηφιοποιημένο υδρογραφικό δίκτυο του Καλού Ποταμού στον χάρτη του Κτηματολογίου, σε προβολή GGRS87 (ΕΓΣΑ87). Για να επιτευχθεί αυτό, αρχικά έγινε η σύνδεση με τον server του Κτηματολογίου, μέσω των παρακάτω βημάτων:

Προσθήκη WMS Layer → Create a new WMS connection

(Όνομα: WMS, URL: <http://gis.ktimanet.gr/wms/wmsopen/wmsserver.aspx>) →

Connect → Προσθήκη

Τέλος, μετά την εκτέλεση zoom στην περιοχή μελέτης, εκτελέστηκαν τα απαραίτητα βήματα για την εισαγωγή του shapefile του υδρογραφικού δικτύου:

Προσθήκη Διανυσματικού Επιπέδου →

Αναζήτηση → potamia.shp → Open



Χάρτης 7: Υδρογραφικό δίκτυο Καλού Ποταμού (Κτηματολόγιο)

Εξυπακούεται ότι με την ίδια διαδικασία μπορεί να γίνει υπέρθεση στον online χάρτη όλων των ψηφιακών μας δεδομένων, είτε αυτά είναι γραμμικά, είτε πολυγωνικά.

7. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

7.1. Συσχέτιση γεωμορφολογικών δεδομένων με τη μορφή και τις διεργασίες του υδρογραφικού δικτύου του Καλού Ποταμού

Στις βορειοδυτικές, δυτικές και νότιες παρυφές του υδρογραφικού δικτύου έχουμε μεγάλες κλίσεις, έντονο ανάγλυφο και μικρή υδροπερατότητα, με συνέπεια την σχετικά μεγάλη πυκνότητα του δικτύου σε σχέση με το ανατολικό τμήμα του, με εξαίρεση τα ανατολικά του χωριού Κριτσά, όπου έχουμε μία εκτεταμένη κοιλάδα κοκκωδών προσχωματικών αποθέσεων του τεταρτογενούς, περατής ως ημιπερατής υδροπερατότητας, με διάσπαρτα οφιολιθικά συμπλέγματα. Εκεί, όπως συμβαίνει και στην κοιλάδα του Ίστρου, το δίκτυο αραιώνει σημαντικά.



Χάρτης 8: Σημαντικότεροι παραπόταμοι και κεντρική κοίτη του Καλού Ποταμού (Ψηφιοποίηση με Google Maps Engine)

Κατά την κάθοδό του, ο παραπόταμος αυτός, που προέρχεται από τα βορειοδυτικά των Κριτσών, συνεχίζει την πορεία του δια μέσου μειοκαινικών και πλειοκαινικών αποθέσεων μέτριας υδροπερατότητας, τροφοδοτούμενος εξ ανατολών από έναν τομέα του δικτύου με σχετικά μεγάλη πυκνότητα. Πιο κάτω, λίγο πριν την ένωσή του με την κεντρική κοίτη, ο παραπόταμος αυτός διαρρέει ένα τμήμα κοκκωδών μη προσχωματικών αποθέσεων μικρής υδροπερατότητας διάσπαρτο με καρστικούς σχηματισμούς κι έτσι στο κομμάτι αυτό τροφοδοτείται από μεγάλο αριθμό μικρών κλάδων πρώτης τάξης.

Στα νότια του χωριού Κρουστά εντοπίζεται ένα φαράγγι, το οποίο αποτελεί αποτέλεσμα ισχυρής κατά βάθος διάβρωσης λόγω τεκτονικής ανύψωσης. Αυτό αποτελεί μέρος του συστήματος κλάδων που τροφοδοτούν τον Καλό Ποταμό από τα δυτικά, όπου κυριαρχεί έντονο ανάγλυφο με μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας, με συνέπεια και πάλι την λιγότερο τραχεία υφή του δικτύου σε σχέση με τον ανατολικό τομέα του, αν και θα πρέπει να σημειωθεί ότι στον συγκεκριμένο τουλάχιστον παραπόταμο παρατηρείται αρκετά μικρή συχνότητα κλάδων.

Ο παραπόταμος Μακαρόνια από το φαράγγι Κατσικαδάρα, στα νότια, ενώνεται με τον ποταμό στα βόρεια του χωριού Πύργος και αποτελεί μέρος της σχετικά λεπτής υδρογραφικής υφής του νότιου τμήματος του υδρογραφικού δικτύου, κάτι που οφείλεται κυρίως στο έντονο ανάγλυφο και στην ύπαρξη πλακωδών ασβεστολίθων και κοκκωδών μη προσχωματικών αποθέσεων μικρής διαπερατότητας.

Στο μεγαλύτερο μέρος του μήκους των παραποτάμων, κυρίως εκεί όπου έχουμε συνάντηση πρηνών, εντοπίζονται κοιλάδες με κατά βάθος διάβρωση, κάποιες από τις οποίες είναι σχήματος V. Επίσης, υπάρχουν και αρκετά ρήγματα, που αποτελούν ένδειξη όχι μόνο έντονης δραστηριότητας, αλλά και διαφοράς στην ευκολία διάβρωσης γειτνιαζόντων πετρωμάτων.

Όπως αναμενόταν, όταν η κλίση ομαλοποιείται παρατηρούμε μορφές απόθεσης και έντονη αραίωση του υδρογραφικού δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, σε όλο το μήκος της κοιλάδας του Ίστρου εντοπίζονται αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ στις εκβολές υπάρχει

αλλουβιακό ριπίδιο. Η αραίωση του υδρογραφικού δικτύου όσο πλησιάζουμε προς το αλλουβιακό ριπίδιο οφείλεται και στην υψηλή διαπερατότητα των αποθέσεων στο συγκεκριμένο τμήμα του ποταμού.

Στην περιοχή όπου διεξήχθη η εργασία πεδίου, κατά μήκος της κοιλάδας του Ίστρου, εντοπίστηκαν και πολλές ποτάμιες αναβαθμίδες, δηλαδή «τοπογραφικές επιφάνειες που αντιστοιχούν σε παλαιότερες επιφάνειες του πυθμένα της κοιλάδας» (Παπαπέτρου-Ζαμάνη 1995), όπως και κάποιες επιφάνειες ισοπέδωσης, που αποτελούν μέρος της παλαιοκοίτης του ποταμού.

Άλλα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά ήταν κάποιες δολίνες ανοικτού τύπου στα δυτικά, όπως και δύο ακόμη συμπλέγματα οφιόλιθων, ένα στα νοτιοδυτικά κι ένα στα βορειοδυτικά της κοιλάδας του Ίστρου.

8. ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ύστερα από την περιγραφική γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής, όπως αυτή διενεργήθηκε με τη βοήθεια γεωμορφολογικής χαρτογράφησης, εξέτασης διαφόρων χαρτών, πληροφοριών από προηγούμενες μελέτες και εργασίας πεδίου, προέκυψαν αρκετές χρήσιμες παρατηρήσεις για τη μορφή του υδρογραφικού δικτύου του Καλού Ποταμού και την αλληλεπίδρασή του με την περιοχή που διαρρέει.

Όπως διαπιστώθηκε, το δενδριτικού τύπου υδρογραφικό δίκτυο του Καλού Ποταμού ανήκει κυρίως στην κατηγορία των δικτύων τραχείας υδρογραφικής υφής, αν και παρουσιάζει αρκετές διαφοροποιήσεις στη μορφή του, που οφείλονται στο ανάγλυφο και στην ποικιλία της λιθολογικής σύστασης της περιοχής.

Σε γενικές γραμμές ακολουθείται ο κανόνας που επιτάσσει την αντιστοιχία της μεγάλης συχνότητας κλάδων με την μικρή υδροπερατότητα των αποθέσεων ή τον πετρωμάτων και -αντίστοιχα- η μεγάλη υδροπερατότητα και οι μικρές κλίσεις με μικρή συχνότητα κλάδων.

Επιπλέον, η ομαλοποίηση της κλίσης στην περιοχή της κοιλάδας του Ίστρου και η χρόνια απόθεση υλικών που αυτή συνεπάγεται, έχει καταστήσει την περιοχή εύφορη και άξια κατοίκησης από αρχαιοτάτων χρόνων, με υπαρκτό, αλλά μικρό πλημμυρικό κίνδυνο, λόγω των περιορισμένων βροχοπτώσεων.

Τέλος, επαληθεύτηκε και η επιρροή του κλίματος στην εποχικότητα της απορροής και της αντοχής των πετρωμάτων στη μορφή του υδρογραφικού δικτύου, αφού η διάβρωση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες διαμόρφωσης των ποτάμιων γεωμορφών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- Βιδάκη (1995), *Γεωλογική τομή των περιοχών Σητείας-Λιθινών (Ανατολική Κρήτη)*, Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών, Διεύθυνση γεωλογίας και γεωλογικών χαρτογραφήσεων, Αθήνα
- ΓΥΣ. Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000, Φύλλο Αγίου Νικολάου Κρήτης
- Δρανδράκης Π. (1960), *Μεγάλη Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια, Λήμμα Κρήτη*, Τόμος ΚΑ, Αθήνα: Εκδόσεις Πυρσός
- Θεοδωροπούλου Κ. (2009), *Διδακτορική διατριβή: Η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην παλαιογραφική εξέλιξη αρχαιολογικών θέσεων και στη διατήρηση των καταλοίπων αυτών*, Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας
- ΙΓΜΕ, Φ. Αγίου Νικολάου 1:50.000, 1987
- Καρκάνας Κ. (2004), *Σημειώσεις του μαθήματος της Γεωαρχαιολογίας*, Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας
- Καροτσιέρης Ζ., Λόζιος Σ., Δερμιτζάκης Μ. (2000), *Η νεοτεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής Ιεράπετρας-Αγίου Νικολάου (Λασιθίου Κρήτης)*, Ann.Geol.Pays.Hell., XXXVIII, Fasc.C
- Καρύμπαλης Ε. (2013), *Σημειώσεις του μαθήματος της Ποτάμιας Γεωμορφολογίας*, Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας

- Λιονής Μ. (2002), *Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων*, Αθήνα: Υπουργείο Γεωργίας
- Μερτίκας Σ. Π. (1999), *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*, Αθήνα: Εκδόσεις Ίων
- Παπαπέτρου – Ζαμάνη, Α. (1995), *Γεωμορφολογία*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία
- Παυλόπουλος Κ. (2002), *Σημειώσεις του μαθήματος της Υδρολογίας*, Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας
- Παυλόπουλος Κ. (2008), *Σημειώσεις του μαθήματος της Γεωμορφολογίας*, Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας
- Παυλόπουλος Κ. (2011), *Γεωμορφολογία: Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες*, Αθήνα: Εκδόσεις Ίων
- Παυλόπουλος Κ., Θεοδωρακοπούλου Κ., Hayden B., Τσούρου Τ., Τριανταφύλλου Μ., Κούλη Κ., Μπασιάκος Ι., Βανδαράκης Δ. (2005), *Γεωμορφολογική εξέλιξη της παράκτιας περιοχής του Ιστρου-Καλού Χωριού του νομού Λασιθίου Κρήτης από το Μέσο Ολόκαινο μέχρι σήμερα*, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVIII
- Πολεμική Αεροπορία, Μοίρα Τανάγρας, 341 και 330 ΜΠΚ, *Στοιχεία Μετεωρολογικής Υπηρεσίας*, Τανάγρα
- Φασουλάς Χ. (2001), *Οδηγός υπαίθρου για τη γεωλογία της Κρήτης*, Μουσείο Φυσικής Ιστορίας, Πανεπιστήμιο Κρήτης
- Φυτρολάκης Ν. (1980), *Η γεωλογική δομή της Κρήτης: προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα*, Αθήνα: ΕΜΠ

Ξένη βιβλιογραφία

- Barsch, D., and H. Liedtke (1980), *Principles, Scientific Value and Practical Applicability of the Geomorphological Map of the Federal Republic of Germany at the Scale 1:25 000 (GMK25) and 1:100 000 (GMK100)*, Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband 36, Berlin
- Bashenina, N. V. (1978), *Principles of Geomorphological Classification*, in *Guide to Medium Scale Geomorphological Mapping*, edited by J. Demek and C. Embleton, pp. 20-24, Schweizerbart, Stuttgart
- Bloom A. L. (2004), *Geomorphology: A Systematic Analysis of Late Cenozoic Landforms*, Waveland Pr Inc
- Bonneau M. (1984), *Correlation of the Hellenides nappes in the south-east Aegean and their tectonic reconstruction*, Geol. Soc. London, 17
- Brunsden, D., J. C. Doornkamp, P. G. Fookes, D. K. C. Jones, and J. M. H. Kelly (1975), *Large scale geomorphological mapping and highway engineering design*, Quar. J. Eng. Geol., 8
- Christian, C. S. (1958), *Concept of land units and land systems*, in Proc. Ninth Pacific Science Conf. of Pacific Science Assn., 20
- Christian, C. S. (1968), and G. A. Stewart, *Aerial surveys and integrated surveys*, in Proc. Toulouse Conf. on Natural Resources Research, pp. 223-280, UNESCO, Paris, France
- Cook, R. U., and J. C. Doornkamp (1974), *Geomorphology in Environmental Management: An Introduction*, 413 pp., Clarendon Press, Oxford

- Demek, J. (1982), *Geomorphological mapping: progress and problems in Perspectives in Geomorphology*, Vol. IIIÑApplied Geomorphology, edited by H. S. Sharma, pp. 221-235, Concept Publishing Co., New Delhi, India
- Embleton, C. (1985), *Techniques, problems and uses of mega-geomorphological mapping*, in *Global Mega-Geomorphology*, edited by R. S. Hayden, pp. 84-88, NASA CP-2312
- Fassoulas C., Kiliass A., Mountrakis D. (1994), *Post-nappe stacking extension and exhumation of the HP/LT rocks in the island of Crete, Greece*, *Tectonics* 13
- Gardiner, V. (1976), *Land evaluation and the numerical delimitation of natural regions*, *Geografia Polonica*, 34
- Gellert, J. F. (1972), *Principles of geomorphological regionalization and encoding of geomorphological characteristics for computer processing of data*, in *Prospectives in Geomorphology*, Vol. IIIÑApplied Geomorphology, edited by H. S. Sharma, pp. 237-242, Concept Publishing Co., New Delhi, India
- Hayden B. (2004), *Reports on the Vrokastro area, Eastern Crete*, vol.2, *The settlement history of the Vrokastro area and related studies*, University of Pennsylvania, University Museum Monograph 119, Philadelphia
- Horton R. (1945), *Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology*, *Geological Society America Bulletin* 56
- Howard, J. A., and C. W. Mitchell (1980), *Phyto-geomorphic classification of landscape*, *Geoforum*, 11, 85-106
- Kiliass A., Fassoulas C., Mountrakis D. (1993), *Tertiary extension of continental crust and uplift of the Psiloritis metamorphic core complex, at the central part of the Hellenic arc*, *Bull. Geol. Soc. Greece*, VXII

- Klimaszewski, M. (1982), *Detailed geomorphological maps*, ITC J., 1982-3
- Kondolf G. M., Piégay H., (2003) *Tools in Fluvial Geomorphology*, Chichester, West Sussex, England: Wiley
- Leopold L. B., Wolman M. G., Miller J. P. (1995), *Fluvial Processes in Geomorphology*, New York, USA: Dover Publications
- Mabbutt, J. H., and G. A. Stewart (1963), *Application of geomorphology in resources surveys in Australia and New Guinea*, *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 14
- Miyogi, D., S. K. Sarkar, and S. Mallick (1970), *Geomorphic mapping in the plains of West Bengal, India*, *Selected Papers*, Vol. I. Physical Geography, pp. 89-94, XXI International Geographical Congress, India 1968, National Committee for Geography, Calcutta
- Myer G. (1984), *Ceramic petrography*, in P. Betancourt eds *East Crete white-on-dark ware*, Museum Monograph, University of Pennsylvania
- Nicholayev, V. A. (1974), *Principles of a landscape classification*, Soviet Geography: Review and Translation, 15
- Panizza, M. (1978), *Analysis and mapping of geomorphological processes in environmental management*, *Geoforum*, 9
- Pavlopoulos K., Evelpidou N., Vassilopoulos A. (2008), *Mapping Geomorphological Environments*, Springer
- Rosenfield, C. L. (1976), *Terrain sensitivity mapping at Resolute Bay, N.W.T.*, in Association of Pacific Geographers Yearbook, 39

- Savigear, R. A. G. (1965), *A Technique of Morphological Mapping*, Annals AAG, 55(3)
- Seidel E., Kreuzer H., Harre W. (1982), *A late Oligocene/Early Miocene high pressure belt in the external Hellenides* , Geol.Jb, E23
- Speight, J. G. (1974), *A parametric approach to landform regions*, Progress in Geomorphology, pp. 213-229, Institute of British Geographers Special Publ. 7
- Tricart, J. (1969), *Cartographic aspects of geomorphological surveys in relation to development programs*, World Cartography, 9, pp. 75-83, U.N. Department of Economic and Social Affairs, New York
- Wright, R. L. (1972), *Principles in a geomorphological approach to land classification*, Zeitschrift für Geomorphologie, 16 (4)

Διαδικτυακές πηγές

- Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών, *Archaeological and Geological Map of Crete* (<http://hyperion.ims.forth.gr/maps/DigiArchaeoGeology.aspx>)
- Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών, *Τοπογραφικός χάρτης κλίσεων Κρήτης* (http://webgis.ims.forth.gr/WebGisSites/Default.aspx?service=Topography_Crete)
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, *Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας* (http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/HYPERLINKS/image002.gif)
- Κτηματολόγιο ΑΕ (2009), *Ορθοφωτοχάρτης Ελλάδος* (<http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>)
- Gandhi U. (2011), *Quantum GIS tutorial: Digitizing in QGIS* (<http://qgis.spatialthoughts.com/2011/12/digitizing-in-qgis.html>)
- Short N.M., Blair R. W. (1986), *Geomorphology from Space*, NASA (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/geomorphology/table-of-contents>)
- University of Manchester, *The Crete Fieldcourse*, (<http://www.sed.manchester.ac.uk/geography/undergraduate/fieldwork/crete/maps/>)