



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ &
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

**ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΤΑΞΥ
DAGHMAR-DIBAB, B.A. ΟΜΑΝ, ΑΡΑΒΙΚΗ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ**

Πτυχιακή εργασία

Γεωργοπούλου Μαρία Ιωάννα



Αθήνα, 2017



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ &
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

**Παυλόπουλος Κοσμάς (Επιβλέπων)
Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

**Κατσαφάδος Πέτρος
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο**

**Καρύμπαλης Ευθύμιος
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο**

**Γεωμορφολογικές διεργασίες στην παράκτια περιοχή μεταξύ Dagmar-Dibab, Β.Α. Ομάν, Αραβική
Χερσόνησος, Γεωργοπούλου Μαρία-Ιωάννα**

Η Γεωργοπούλου Μαρία Ιωάννα

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	6
Abstract.....	7
Ευχαριστίες.....	8-9
1. Εισαγωγή.....	10-11
2. Γεωμορφολογική χαρτογράφηση: Επισκόπηση και μεθοδολογίες.....	12
2.1. Στοιχεία χαρτογράφησης.....	12-13
2.2. Σύγχρονες μέθοδοι γεωμορφολογικής χαρτογράφησης.....	14
2.3. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ/ GIS).....	14-15
2.4. Ημι-αυτοματοποιημένη Μέθοδος Γεωμορφολογικής Χαρτογράφησης.....	15
3. Μεθοδολογία.....	16-21
4. Περιοχή μελέτης.....	22
4.1. Γεωγραφικά χαρακτηριστικά.....	22-24
4.2. Αρχαιολογία- Ιστορία.....	25
4.3. Κλιματολογικά χαρακτηριστικά.....	26-29
4.4. Γεωλογική δομή-ιστορία.....	30-32
4.5. Τεκτονικά χαρακτηριστικά.....	33-36
4.6. Σεισμολογικά δεδομένα.....	37-40
4.7. Παλίρροιες.....	41-42
5. Αποτελέσματα.....	43
5.1. Κλίμακα εργασίας – Προβολικό σύστημα.....	43
5.2. Οριοθέτηση περιοχής μελέτης.....	43-44
5.3. Δημιουργία Χαρτογραφικών Υποβάθρων.....	45
5.3.1. Δημιουργία ψηφιδωτών επιπέδων Raster.....	45
5.3.1.1. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).....	45-46
5.3.1.2. Μοντέλο Σκίασης Αναγλύφου – Hillshade.....	46-47
5.3.1.3. Μοντέλο Έκθεσης / Προσανατολισμού Αναγλύφου – Aspect.....	48-50
5.3.1.4. Μοντέλο Κλίσεων Αναγλύφου – Slope.....	51-53
5.3.2. Δημιουργία διανυσματικών επιπέδων Vector.....	54

5.3.2.1. Ισοϋνείς καμπύλες.....	54
5.3.2.2. Υδρογραφικό δίκτυο.....	54
5.3.2.3. Ακτογραμμή.....	54
5.3.2.4. Γεωλογία - Λιθολογία.....	54-56
5.4. Εργασία Πεδίου – Δειγματοληψίες – Χρονολογήσεις.....	57-58
5.5. Ημιαυτοματοποιημένη γεωμορφολογική χαρτογράφηση.....	59-60
5.6. Σύνθεση στοιχείων και δεδομένων, παραγωγή γεωμορφολογικού χάρτη...60-61	
ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ DAGHMAR-DIBAB, B.A.	
OMAN, ΑΡΑΒΙΚΗ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ.....	62
5.7. Γεωμορφές Διάβρωσης.....	63
5.7.1. Επιφάνειες τεκτονικών αναβαθμίδων.....	63-66
5.7.2. Επιφάνειες επιπέδωσης.....	67
5.7.3. Κρημνοί.....	67-68
5.7.4. Φαράγγια.....	69-71
5.7.5. Κοιλάδες σχήματος V- Ξηρές κοιλάδες/Wadi.....	71-72
5.7.6. Δολίνες.....	72
5.7.7. Κρεμαστές κοιλάδες.....	72-73
5.7.8. Κατακρημνίσεις – Έγκοιλα.....	73
5.8. Γεωμορφές Απόθεσης.....	74
5.8.1. Αλλουβιακά Ριπίδια.....	74
5.8.2. Πλευρικά Κορήματα.....	75
6. Συζήτηση – Συμπεράσματα.....	76-78
Βιβλιογραφία.....	79-82

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει την γεωμορφολογική εξέλιξη της παράκτιας περιοχής μεταξύ Daghamar-Dibab στο Ομάν με την εφαρμογή της ημι-αυτοματοποιημένης γεωμορφολογικής χαρτογραφικής μεθόδου και με την χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ-GIS).

Ο συνδυασμός μεθόδων, η δημιουργία γεωβάσης δεδομένων σε περιβάλλον GIS ArcMap 10.2, η πολυκριτηριακή ανάλυση των χαρακτηριστικών του αναγλύφου: δημιουργία αυτοματοποιημένων μοντέλων σκίασης, προσανατολισμού και κλίσης του αναγλύφου μέσω επεξεργασίας του DEM και η λιθολογία της περιοχής. Καθώς επίσης και η πραγματοποίηση συλλογής δεδομένων πεδίου με μετρήσεις, οι αναγνώρισεις και αποτυπώσεις των γεωμορφών και των γεωλογικών σχηματισμών, οι δειγματοληψίες και παρατηρήσεις σε συνδυασμό με την βιβλιογραφική ανασκόπηση για την ευρύτερη περιοχή σχετικά με την γεωλογία, την τεκτονική, το κλίμα και την ανθρώπινη παρουσία συντέλεσαν στην επεξεργασία των δεδομένων με την ημι-αυτοματοποιημένη χαρτογραφική μέθοδο, η οποία οδήγησε στην τελική παραγωγή του γεωμορφολογικού χάρτη. Όλα τα παραπάνω αποτελούν την μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία για την παραγωγή του γεωμορφολογικού χάρτη.

Η περιοχή μελέτης έχει επηρεαστεί από τεκτονικές διεργασίες που συνεχίστηκαν και κατά την περίοδο του ανώτερου Πλειστόκαινου, όπου υπέστη ανύψωση και λόγω διαφορετικής τεκτονικής κινηματικής διακρίνεται από τα διαφοροποιημένα υψόμετρα των παράκτιων τεκτονικών αναβαθμίδων που σχηματίστηκαν εξαιτίας των τεκτονικών κινήσεων. Τα δείγματα από τα δίθυρα που εντοπίστηκαν στην περιοχή δόθηκαν για χρονολόγηση με ^{14}C AMS στην BETA Analytic – Radiocarbon Dating, για να χρονολογηθούν οι ρυθμοί ανύψωσης της περιοχής.

Η χρήση του λογισμικού ArcMap 10.2, οδήγησε στην αποτύπωση και παραγωγή του πρώτου γεωμορφολογικού χάρτη της περιοχής κλίμακας 1:25.000 που αποτελεί ένα εργαλείο για την κατανόηση της γεωμορφολογικής εξέλιξης της περιοχής, όπου αναπαρίστανται οι γεωμορφές που αποτελούν ενδείξεις της εξέλιξης καθώς προσδιορίζουν τις διεργασίες που διαμόρφωσαν την σημερινή εικόνα του αναγλύφου.

Λέξεις κλειδιά: Γεωμορφολογία, ημι-αυτοματοποιημένη γεωμορφολογική χαρτογράφηση, ΣΓΠ/GIS, Daghamar-Dibab, Ομάν

Abstract

The present thesis examines the geomorphological evolution of the coastal area between Daghmar-Dibab in Oman with the application of the semi-automated geomorphological mapping method and the use of the Geographical Information Systems (GIS).

The combination of methods, the geodatabase creation in the GIS environment of ArcMap 10.2, the multi-criteria analysis of the terrain features: creation of automated models of hillshade, aspect and slope of the relief through the processing of the study's area DEM and the lithology. As well as the data collection with measurements from the field work, the identification of the landforms and geological formations, samplings and observations combined with the bibliographic research for the wider region about the geology, tectonics, climate and human presence contributed in the data processing with the semi-automated mapping method which resulted in the final production of the geomorphological map. All these are the methodology applied in this thesis for the production of geomorphological map.

The study area has been affected by tectonic processes, that continued during the Upper Pleistocene, which was uplifted due to different tectonic kinematics and can be easily detected from the diversified elevations of the coastal tectonic terraces formed primarily due to tectonic movements. Samples from bivalves found in the area were given for ^{14}C AMS dating to BETA Analytic – Radiocarbon Dating laboratory, in order to date back the lifting rates in the area.

The usage of the ArcMap 10.2 software, lead to the mapping and production of the first geomorphological map of the region with scale 1:25.000. This map constitutes a tool for understanding the geomorphological evolution of the area, where landforms are presented as indicators of the area's evolution and define the processes that formed the current situation of the relief.

Key words: Geomorphology, semi-automated geomorphological mapping, GIS, Daghmar-Dibab, Oman

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να αναφέρω πως το θέμα αυτής της εργασίας που εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου, μου ανατέθηκε από τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Παυλόπουλο Κοσμά, με τον οποίο είχα την ευχάριστη και γεμάτη γνώσεις ευκαιρία να συμμετάσχω στην πρώτη μου γεωμορφολογική εργασία πεδίου στην οποία βασίστηκε εξ' ολοκλήρου η πτυχιακή μου. Οι εργασίες πεδίου έγιναν από τριμελή ομάδα έρευνας από τους: Παυλόπουλο Κοσμά, Μωραΐτη Δανιήλ και Γεωργοπούλου Μαρίας-Ιωάννας κατά το διάστημα 22/02/2016 μέχρι τις 03/03/2016 στο Ομάν.

Η ολοκλήρωση της πτυχιακής αυτής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη των καθηγητών κ. Παυλόπουλου και κ. Μωραΐτη και σε αυτό το σημείο αισθάνομαι την ανάγκη να τους εκφράσω τις βαθιές και ειλικρινείς μου ευχαριστίες για όλη τη καθοδήγηση, την υποστήριξη, τις συμβουλές που μου προσέφεραν. Μέσω όλων αυτών, καθώς και των πολύτιμων παρατηρήσεων τους, απέκτησα σημαντικές γνώσεις εις βάθος για το αντικείμενο της Γεωμορφολογίας και βελτιώθηκα κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της έρευνας μου στην παραγωγή μιας σωστά ολοκληρωμένης επιστημονικής έρευνας. Συνεπώς, θερμές ευχαριστίες οφείλω στον κ. Μωραΐτη Δανιήλ, Επίκουρου Καθηγητή στο Sultan Qaboos University- Department of Earth Science, ο οποίος συνέβαλε τόσο στις εργασίες πεδίου όσο και στην επεξεργασία των δεδομένων καθώς και για όλη την βοήθεια και το υλικό που μου προσέφερε για την διεκπεραίωση της έρευνας μου. Η συμβολή του ήταν ουσιαστική για την διεκπεραίωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Καρύμπαλη Ευθύμιο από τον οποίο αποκόμισα σημαντικές γνώσεις για το γνωστικό αντικείμενο της Γεωμορφολογίας και τον κ. Κατσαφάδο Πέτρο από τον οποίο αποκόμισα σημαντικές γνώσεις για το γνωστικό αντικείμενο της Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, μέσα από τα μαθήματα τους στο πρόγραμμα σπουδών μου, οι οποίοι αποτελούν τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Ευχαριστίες οφείλω στην κ. Ζανανίρι Ειρήνη, Δόκτωρ Γεωλόγου-Γεωφυσικού που εργάζεται στο Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών στο Τμήμα Δ.Γ.Γ.Χ. και είχα την τιμή να συνεργαστώ μαζί της στα πλαίσια της πρακτικής μου άσκησης. Η κ. Ζανανίρι μου μετέδωσε σημαντικές γνώσεις για την παραγωγή χαρτών με την χρήση του προγράμματος ArcGIS, για τον τρόπο εκπόνησης μιας επιστημονικής εργασίας όσο και γενικότερων συμβουλών για την επαγγελματική συμπεριφορά καθώς και για την Γεωλογία.

Δεν θα παραλείψω να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Βανδαράκη Δημήτριο για την πολύτιμη βοήθεια και την υποστήριξη του διότι μέσα από τις συμβουλές και υποδείξεις τους κατάφερα να βελτιώσω την έρευνα μου και την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής με την παραχώρηση χρήσιμων δεδομένων, συμβουλών και πληροφοριών.

Τέλος, ευχαριστώ ολοψύχως την οικογένεια μου την Βίκυ, την Μαριαλένα και τον Γιώργο, για την ψυχολογική υποστήριξη αλλά και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχαν μέσα στο πέρασμα του χρόνου.

1. Εισαγωγή

Η επιστήμη της Γεωμορφολογίας, που αποτελεί κλάδο της Φυσικής Γεωγραφίας, μελετά και αναλύει την δημιουργία και την εξέλιξη του γήινου αναγλύφου μέσα από την αναγνώριση, ταξινόμηση και ανάλυση των γεωμορφών. Οι γεωμορφές υποδεικνύουν τις συνθήκες δημιουργίας και της μετέπειτα πορείας τους, δίνοντας την δυνατότητα στους μελετητές να εντοπίσουν τις διεργασίες που έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια της εξέλιξης τους στον γεωλογικό χρόνο καθώς επίσης και στην πρόβλεψη της μελλοντικής εξέλιξης του αναγλύφου.

Το ανάγλυφο διαμορφώνεται μέσα από την αλληλεπίδραση ενδογενών και εξωγενών δυνάμεων. Η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών, ο τεκτονισμός, η σεισμική δραστηριότητα, η ηφαιστειότητα και η ισοστασία αποτελούν τις ενδογενείς δυνάμεις που κατά βάση είναι υπεύθυνες για την δημιουργία του ανάγλυφου. Ταυτόχρονα η επίδραση της ατμόσφαιρας και του νερού, που είναι οι βασικές αιτίες εξωγενών δυνάμεων, αναδιαμορφώνουν συνεχώς το ανάγλυφο.

Στην περιοχή μελέτης μεταξύ της παράκτιας περιοχής Daghamar-Dibab στο Ομάν, έγινε χαρτογράφηση των γεωμορφών καθώς και δειγματοληψία κατά την διάρκεια εργασίας πεδίου από την τριμελή επιτροπή του Παυλόπουλου Κοσμά, Μωραΐτη Δανιήλ και της Γεωργοπούλου Μαρίας-Ιωάννας από τις 22/02/2016 μέχρι τις 25/02/2016. Στο διάστημα αυτό πραγματοποιήθηκε από την ίδια ομάδα της τριμελούς αποστολής, παράκτια χαρτογράφηση και δειγματοληψία με πλωτό μέσο. Η περιοχή μελέτης επιλέχθηκε διότι γεωγραφικά βρίσκεται στην ΒΑ παράκτια περιοχή του Ομάν και γεωλογικά βρίσκεται στα όρια σύγκλισης πλακών της Αραβικής υπό την Ευρασιατική πλάκα. Πρόκειται για άνυδρο περιβάλλον με ιδιαίτερες εξωγενείς διαδικασίες, όπου επικρατεί συνήθως η διεργασία της μηχανικής αποσάθρωσης, αλλά επίσης η περιοχή έχει διαμορφωθεί λόγω τεκτονικών κινήσεων, με κύριες χαρακτηριστικές γεωμορφές τις τεκτονικές αναβαθμίδες και την επιφάνεια επιπέδωσης. Πηγαίνοντας πίσω στον χρόνο, από την Παλαιολιθική εποχή μέχρι και σήμερα υπήρχε έντονη ανθρώπινη παρουσία απλά όχι σε μεγάλη πυκνότητα, ενώ γενικά η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως αραιοκατοικημένη περιοχή και ως μη τεχνητά τροποποιημένο περιβάλλον.

Αποτελεί μια άνυδρη έως εξαιρετικά άνυδρη περιοχή όπου επικρατούν ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες και στην οποία τα περιοδικά κυκλωνικά συστήματα των μουσώνων του Ινδικού ωκεανού επηρεάζουν έντονα την περιοχή αυτή. Κάθε 3-4 χρόνια ισχυροί κυκλώνες με καταιγίδες και εξαιρετικά έντονες βροχοπτώσεις και ανέμους μεγάλων ταχυτήτων πλήττουν τις παράκτιες ανατολικές περιοχές του Β. Ομάν. Το αποτέλεσμα αυτών αποτελούν οι καταστροφικές «ακαριαίες πλημμύρες-flash floods» που αλλάζουν την μορφολογία της παράκτια ζώνης και των κοιτών των Wadi's (ξηρών κοιλάδων σε άνυδρες περιοχές) ενώ παράλληλα καταστρέφουν οικισμούς, ανθρώπινες δραστηριότητες και υποδομές σε εκτεταμένες περιοχές. Συνεπώς έχουν σχηματιστεί ξεχωριστές γεωμορφές όπως αλλουβιακά ριπίδια και πλευρικά κορήματα.

Ο κύριος σκοπός της εργασίας ήταν ο εντοπισμός των γεωμορφών και η αποτύπωση τους σε γεωμορφολογικό χάρτη έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι επικρατούσες διεργασίες που επέδρασαν και διαμόρφωσαν τον σημερινό ανάγλυφο της περιοχής μελέτης. Η εκπόνηση της πτυχιακής βασίστηκε κυρίως στην εργασία πεδίου και σε συνδυασμό με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), πάνω στο φωτοσκιασμένο ανάγλυφο της περιοχής δημιουργήθηκαν τα βασικά χαρτογραφικά υπόβαθρα από όπου δημιουργήθηκαν, επεξεργάστηκαν και μοντελοποιήθηκαν οι γεωμορφές με την χρήση της ημι-αυτοματοποιημένης γεωμορφολογικής χαρτογραφικής μεθόδου (Pavlopoulos K. et al., 2009 και Παυλόπουλος Κ., 2011)

Ως τελικό αποτέλεσμα ήταν, ο πρώτος για την περιοχή, γεωμορφολογικός χάρτης κλίμακας 1:25.000, η επεξήγηση των διεργασιών διαμόρφωσης του σημερινού αναγλύφου καθώς και η παρούσα γραπτή εργασία που περιγράφει αναλυτικά την μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε και τα αποτελέσματα της έρευνας.

2. Γεωμορφολογική χαρτογράφηση: Επισκόπηση και μεθοδολογίες

2.1. Στοιχεία χαρτογράφησης

Η γεωμορφολογική χαρτογράφηση ανήκει στο πεδίο της εφαρμοσμένης Γεωμορφολογικής έρευνας. Στόχος της είναι η αναγνώριση, αποτύπωση, ταξινόμηση και ανάλυση των γεωμορφών, που εμφανίζονται στην εκάστοτε περιοχή μελέτης, για τον προσδιορισμό των μορφογενετικών διεργασιών που συντέλεσαν στην διαμόρφωση του γήινου αναγλύφου.

Το τελικό παράγωγο της γεωμορφολογικής χαρτογράφησης είναι ένας σύνθετος θεματικός χάρτης που αποτυπώνει τις γεωμορφές, δηλαδή μια αναπαράσταση της πραγματικής εικόνας του αναγλύφου.

“Το πιο σημαντικό στοιχείο ενός γεωμορφολογικού χάρτη είναι το υπόμνημα του.” (St-Onge, 1981: p. 313). Παρά την σημασία των γεωμορφολογικών χαρτών για την αναπαράσταση των γεωμορφών, μέχρι και σήμερα δεν έχει υιοθετηθεί ένα παγκοσμίως αποδεκτό ενιαίο πρότυπο γεωμορφολογικού χάρτη και συστήματος συμβολισμών (Gustavsson et al.,2006), (Pavlopoulos et al.,2009).

Μεταξύ των δεκαετιών του '60 και '70 προτάθηκαν από την IGU (International Geographical Union - Geomorphology and Society Commission) συμβολισμοί με κύριους άξονες την ταξινόμηση των γεωμορφών σύμφωνα με την μορφογένεση, τις διεργασίες, την ηλικία και την λιθολογία, για γεωμορφολογικούς χάρτες μικρής και μεσαίας κλίμακας (Παυλόπουλος, 2011).

Τα επιμέρους χαρακτηριστικά/πληροφορίες που πρέπει να φέρει ένας γεωμορφολογικός χάρτης ώστε να θεωρηθεί πλήρης είναι τα εξής:

- **Γεωλογία – Τεκτονική:** πληροφορίες για την λιθολογία, την τεκτονική και γενικά ότι πληροφορία συμπεριλαμβάνει ένας γεωλογικός χάρτης.
- **Τοπογραφία:** Ισοϋψείς καμπύλες, φωτοσκιασμένο ανάγλυφο, οδικό δίκτυο, οικισμοί, αστικός ιστός κ.α.
- **Υδρολογία – Υδρογραφία:** πληροφορίες για το υδρογραφικό δίκτυο, την υδρολογία και τα στοιχεία όλων αυτών.
- **Μορφολογικές πληροφορίες:** πληροφορίες που αφορούν τη μορφή του αναγλύφου και διακρίνονται σε **μορφογραφικές**, οι οποίες αναφέρονται σε ποιοτικά και γεωμετρικά στοιχεία των γεωμορφών και σε **μορφομετρικές**, οι οποίες αναφέρονται στην μέτρηση και την ποσοτική περιγραφή των μορφολογικών στοιχείων.
- **Μορφογενετικές πληροφορίες:** Αναφέρουν τις γενετικές διεργασίες που διαμόρφωσαν το ανάγλυφο μιας περιοχής σε σχέση με τον χρόνο.
- **Μορφοχρονολογικές πληροφορίες:** Αναφέρουν την ηλικία των επιμέρους γεωμορφών (απόλυτη - σχετική χρονολόγηση, συσχέτιση ιζημάτων) καθώς και σωστή παρουσίαση των σχέσεων των γεωμορφών με βάση την ηλικία και θέση τους στον χώρο.
- **Μορφοδυναμικές πληροφορίες:** Αναφέρουν τις δυναμικές διεργασίες που διαμόρφωσαν ή συνεχίζουν να διαμορφώνουν το ανάγλυφο.

2.2. Σύγχρονες μέθοδοι γεωμορφολογικής χαρτογράφησης

Οι σύγχρονες μέθοδοι γεωμορφολογικής χαρτογράφησης χρησιμοποιούν τις γνώσεις από διάφορες επιστήμες (όπως Γεωλογία, Γεωγραφία, Χαρτογραφία κ.α.) σε συνδυασμό με την χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information Systems – GIS), καθώς και δεδομένων Τηλεπισκόπησης. Τέτοια δεδομένα είναι τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEM), οι δορυφορικές εικόνες, οι αεροφωτογραφίες και οι εικόνες Radar. Σε συνέργεια με όλα τα παραπάνω συμπεριλαμβάνονται τα συστήματα εντοπισμού θέσης και παρακολούθησης (GPS) συμπληρωματικά. Η χρήση όλων των παραπάνω συστημάτων έχουν περιορίσει σε μεγάλο βαθμό την μελέτη πεδίου αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να την αντικαταστήσουν πλήρως. Συνεπώς ο συνδυασμός της μελέτης πεδίου και της χρήσης των συστημάτων αυτών είναι η βάση για την διεξαγωγή μιας πλήρους γεωμορφολογικής χαρτογράφησης, που μειώνει το κόστος και τον χρόνο που απαιτούνταν στο παρελθόν για την δημιουργία ενός γεωμορφολογικού χάρτη (Gustavsson et al., 2006).

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι σύγχρονες τεχνικές γεωμορφολογικής χαρτογράφησης, είναι ότι παράγεται ένα ψηφιακό προϊόν (χάρτης) και δημιουργείται μια ψηφιακή βάση δεδομένων η οποία μπορεί να ανακτηθεί, ενημερωθεί και τροποποιηθεί ετεροχρονισμένα, όταν αυτό χρειαστεί. Επιπλέον μειώνεται σημαντικά ο βαθμός υποκειμενικότητας των παρατηρήσεων του πεδίου, καθώς υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της περιοχής μελέτης σε διαφορετικές κλίμακες εργασίας όπως επίσης δύναται και η σύγκριση με τις γειτνιάζουσες περιοχές, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό διότι στην φύση τα όρια δεν είναι σαφή. (Παυλόπουλος , 2011)

2.3. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ/ GIS)

Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (ΣΓΠ) αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης πληροφορίας και φαινομένων που εξελίσσονται στον γεωγραφικό χώρο (Goodchild et al., 1985). Η ειδοποιός διαφορά τους από τα υπόλοιπα σχεδιαστικά συστήματα είναι ότι πέραν από τις γραφιστικές τους λειτουργίες, αποτελούν μια βάση διαχείρισης και ανάκτησης χωρικών δεδομένων. (Χαλκιάς, 2006)

Σε συνδυασμό με την δυνατότητα που προσφέρουν για την δημιουργία ψηφιακών βάσεων δεδομένων, τα λογισμικά ΣΓΠ έχουν γίνει τα πλέον απαραίτητα εργαλεία για την οργάνωση, επεξεργασία και εξαγωγή σύγχρονων εφαρμοσμένων γεωμορφολογικών ερευνών και χαρτών.

2.4. Ημι-αυτοματοποιημένη Μέθοδος Γεωμορφολογικής Χαρτογράφησης

Η ημιαυτοματοποιημένη μέθοδος γεωμορφολογικής χαρτογράφησης, η οποία επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη εργασία, εξάγει συμπεράσματα για την γεωμορφολογία του αναγλύφου μέσα από έναν συνδυασμό αυτοματοποιημένων τεχνικών και χειροκίνητων επεμβάσεων του εκάστοτε γεωμορφολόγου – χαρτογράφου. (Gustavsson et al., 2006)

Συγκεκριμένα, λαμβάνει υπόψη στοιχεία μορφογραφίας που προκύπτουν μέσα από τα αυτοματοποιημένα μοντέλα κλίσεων (slope), προσανατολισμού (aspect) και σκίασης αναγλύφου (hillshade), τα οποία παράγονται από υψομετρικά δεδομένα (Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους, ισοϋψείς καμπύλες). Τα παραπάνω μοντέλα, μέσα από την κατάλληλη ταξινόμηση τους, δίνουν μια πρώτη εικόνα για το ανάγλυφο της περιοχής που μελετάται και μπορούν να εντοπίσουν γεωμορφές καθώς και να καθορίσουν τα όρια τους. (Asselen et al, 2006)

Παράλληλα τα προϊόντα της Τηλεπισκόπησης, οι αεροφωτογραφίες και τα συστήματα εντοπισμού θέσης και παρακολούθησης (GPS), συμβάλλουν σημαντικά στην διεξαγωγή πληροφοριών που αφορούν το ανάγλυφο καθώς και στον έλεγχο της ορθότητας των αυτοματοποιημένων λειτουργιών. Συνεπώς, η χρήση όλων των προαναφερθέντων σε συνδυασμό με την μελέτη πεδίου και τις χειροκίνητες επεμβάσεις του γεωμορφολόγου – χαρτογράφου, αποτελούν τα κύρια γνωρίσματα της ημιαυτοματοποιημένης μεθόδου γεωμορφολογικής χαρτογράφησης.

3. Μεθοδολογία

Τα βήματα της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας ήταν τα ακόλουθα:

Συλλογή δεδομένων

Η εκπόνηση της εργασίας βασίστηκε κυρίως στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους ASTER GDEM, χωρικής διακριτικής ικανότητας 30m το οποίο λήφθηκε από την ιστοσελίδα USGS Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του γεωμορφολογικού χάρτη πρόεκυψαν από ψηφιοποίηση δορυφορικών εικόνων και υπαρχόντων σχετικών χαρτών και δευτερογενή επεξεργασία ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Επιπροσθέτως, τα γεωλογικά δεδομένα υπό μορφή shapefile παραχωρήθηκαν από το Sultan Qaboos University. Δεδομένα και στοιχεία, αποκτήθηκαν μέσω της εργασίας πεδίου όπως δείγματα, επιτόπιες παρατηρήσεις και συνοδευτικό φωτογραφικό υλικό.

Χρησιμοποιήθηκε επίσης το πρόγραμμα Google Earth για την παρατήρηση και των εντοπισμό των γεωμορφών της περιοχής σε συνδυασμό με την μελέτη πεδίου. Όσον αφορά την χρήση του Google Earth, το γεγονός ότι στην περιοχή μελέτης δεν συναντάται καθόλου σχεδόν βλάστηση λόγω του ερημικού κλίματος συνέβαλλε στην εύκολη διάκριση των γεωμορφών.

Κλίμακα εργασίας – Προβολικό σύστημα

Για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, επιλέχθηκε η κλίμακα 1:25.000, αποτελεί μεγάλη κλίμακα χάρτη.

Το προβολικό σύστημα το οποίο προτιμήθηκε ήταν το GCS_WGS_1984, το οποίο πρόκειται για ένα παγκόσμιο προβολικό σύστημα, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή γεωμορφολογικών χαρτών. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ASTER_GDEM) είχαν ως προβολικό το WGS_1984_UTM_Zone_40N ενώ τα δεδομένα GPS έχουν προβολικό σύστημα το GCS_WGS_1984 και τα γεωλογικά δεδομένα (υπό μορφή shapefile) που είχαν το προβολικό σύστημα PDO_1993_UTM_Zone_40N οπότε χρειάστηκαν μερικοί μετασχηματισμοί.

Δημιουργία Γεωβάσης/Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων (Geodatabase)

Η εφαρμογή του ArcCatalog παρέχει τη δυνατότητα να οργανωθούν και να διαχειριστούν διάφοροι τύποι γεωγραφικών δεδομένων για το ArcGIS Desktop. Χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία μίας γεωμορφολογικής προσωπικής βάσης δεδομένων (Personal Geodatabase), η οποία στην συνέχεια εμπλουτίστηκε με όλα τα θεματικά επίπεδα που χρησιμοποιήθηκαν ή κατασκευάστηκαν κατά την διάρκεια δημιουργίας του γεωμορφολογικού χάρτη. Αποθηκεύει την πληροφορία από τον γεωμορφολογικό χάρτη ως ξεχωριστά σύνολα δεδομένων τα οποία μπορούν εύκολα να επεξεργαστούν ή να συνδυαστούν με άλλα χωρικά δεδομένα.

Η γεωβάση αποτελεί ένα μέσο αποθήκευσης, διαχείρισης και εξαγωγής γεωδεδομένων και είναι ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία κατά την εκπόνηση της χαρτοσύνθεσης. (Χαλκιάς, 2006)

Οριοθέτηση περιοχής μελέτης

Αρχικά έγινε, μέσω του Google Earth, ο ακριβής εντοπισμός και οριοθέτηση της περιοχής μελέτης υπό μορφή πολυγώνου. Το πολύγωνο αυτό αποθηκεύτηκε σε μορφή kml και μετατράπηκε στο ArcMap σε διανυσματικό επίπεδο shapefile από:

ArcToolbox > Conversion Tools > From KML > KML To Layer

Και έπειτα έγινε Export Data as Shapefile.

Το διανυσματικό επίπεδο (shapefile) το οποίο προέκυψε, αποτέλεσε το πλαίσιο πάνω στο οποίο προσαρμόστηκαν με αποκοπή όλα τα υπόλοιπα θεματικά επίπεδα για την τελική δημιουργία του χάρτη.

Δημιουργία Χαρτογραφικών Υποβάθρων

- Δημιουργία ψηφιδωτών επιπέδων Raster:

Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM)

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν για την περιοχή είναι δεδομένα ASTER GLOBAL DEM, χωρικής διακριτικής ικανότητας 30m, που λήφθηκαν από την ιστοσελίδα USGS Earth Explorer. (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)

Μοντέλο Σκίασης Αναγλύφου – Hillshade

Το μοντέλο σκίασης αναγλύφου έχει ως στόχο την προσομοίωση του αποτελέσματος που έχει η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στην γήινη επιφάνεια.

Δημιουργήθηκε με την εντολή Hillshade, η οποία βρίσκεται:

ArcToolbox > Spatial Analyst > Surface > Hillshade

Μοντέλο Έκθεσης / Προσανατολισμού Αναγλύφου – Aspect

Για την δημιουργία του μοντέλου προσανατολισμού ακολούθησαν τα εξής βήματα:

ArcToolbox > Spatial Analyst > Surface > Aspect

Μοντέλο Κλίσεων Αναγλύφου – Slope

Για την δημιουργία του μοντέλου κλίσεων αναγλύφου ακολούθησαν τα εξής βήματα:

ArcToolbox > Spatial Analyst > Surface > Slope

- Δημιουργία διανυσματικών επιπέδων Vector

Ισοϋψείς καμπύλες

Η δημιουργία των ισοϋψών καμπυλών, που προέκυψαν από το DEM της περιοχής, έγινε μέσω της αυτοματοποιημένης διαδικασίας στο ArcMap:

ArcToolbox > Spatial Analyst > Surface > Contour

Υδρογραφικό δίκτυο

Η δημιουργία του εποχικού υδρογραφικού δικτύου της περιοχής προέκυψε συνδυαστικά μέσω ψηφιοποίησης από τις ισοϋψείς και με την εισαγωγή του Basemap στην εφαρμογή του ArcMap (Add Data > Add Basemap > Imagery). Έπειτα στον πίνακα περιεχομένων (attribute tables) του δημιουργηθέντος ψηφιοποιημένου υδρογραφικού δικτύου ακολούθησε εισαγωγή κατηγοριών απόστασης, ιδίας κατηγοριοποίησης, από παρατήρηση της περιοχής μέσω Google Earth και Basemap. Η κάθε κατηγορία «απόστασης» αντιστοιχεί σε τυχαίο μετρικό σύστημα που ορίστηκε για τις ανάγκες της εργασίας, ώστε για να αναδειχθούν στην πορεία μέσω της εντολής buffer zone, διαφορετικές ζώνες γύρω από το εποχικό υδρογραφικό δίκτυο για να δημιουργηθούν αρχικά με merge και στην συνέχεια με dissolve και τέλος με το explode

multipart feature τα στοιχεία της κατά βάθους διάβρωσης της περιοχής. Βέβαια χρειάστηκε επέμβαση στις αυτοματοποιημένες γραμμές της κατά βάθους διάβρωσης μέσω χειροκίνητης ψηφιοποίησης.

Ακτογραμμή

Η ακτογραμμή της περιοχής προέκυψε μέσα από το αρχείο shapefile των ισουψών καμπυλών και μέσω των Properties > Definition Query > επιλέχθηκαν όλες οι ισουψείς με την τιμή μηδέν (0). Έπειτα έγινε Export Data > as shapefile, μόνο οι επιλεγμένες ισουψείς με την τιμή μηδέν, και αυτό το shapefile πρόκειται για την ακτογραμμή. Λόγω αστοχιών του DEM, εξαιτίας της μέτριας χωρικής διακριτικής ικανότητας του δορυφόρου, χρειάστηκε να γίνουν χειροκίνητες επεμβάσεις στην αυτοματοποιημένη προκύπτουσα ακτογραμμή ψηφιοποιώντας την ακριβώς πάνω στα όρια των λιθολογικών σχηματισμών.

Οδικό δίκτυο

Το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης ψηφιοποιήθηκε μέσω την εισαγωγή του Open Street Maps Basemap στην εφαρμογή του ArcMap (Add Data > Add Basemap > Open Street Maps) ενώ από την εφαρμογή του Open Street Maps χρησιμοποιήθηκαν οι κατηγοριοποιήσεις των δρόμων, οι οποίες εισήχθησαν ως χαρακτηριστικά στο attribute table του shapefile για το οδικό δίκτυο που δημιουργήθηκε.

Γεωλογία

Οι πληροφορίες για την λιθολογία, την μορφοχρονολογία, τις γεωλογικές περιόδους σχηματισμού των πετρωμάτων καθώς και την τεκτονική του Ομάν παραχωρήθηκαν σε μορφή shapefile από το Sultan Qaboos University – Earth Science Department. Η απόδοση των διάφορων σχηματισμών για την περιοχή μελέτης έγινε σύμφωνα με την λιθολογική περιγραφή τους και με τη χρήση διαφόρων συμβόλων και χρωμάτων, τα οποία σε μερικές περιπτώσεις ομαδοποιήθηκαν.

Πολυκριτηριακή ανάλυση / Multi criteria analysis

Αποτελεί μια μεθοδολογία που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως τεχνική χαμηλού κόστους για την παραγωγή χαρτών διότι συνδυάζει δεδομένα από διάφορες πηγές και με την χρήση κριτηρίων, που αντλούνται από την βιβλιογραφία αλλά και την

δυνατότητα δευτερογενούς προσαρμογής τους από τον ερευνητή, έτσι ώστε να παραχθούν σύνθετοι χάρτες που απεικονίζουν μια κατάσταση ή ένα φαινόμενο σε μια περιοχή.

Εργασία Πεδίου

Κατά το διάστημα 22/02/2016 –03/03/2016 πραγματοποιήθηκε εργασία πεδίου στην περιοχή μεταξύ Daghmar - Dibab στο Oman, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος συνεργασίας των πανεπιστημίων Sultan Qaboos University - Paris Sorbonne University, Abu Dhabi. Η εργασία πεδίου, στην οποία συμμετείχα ενεργά, αφορούσε την γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής αυτής, στην διάρκεια της οποίας έγινε λήψη δειγμάτων για χρονολόγηση με την ραδιομετρική μέθοδο ^{14}C , λήψη σημείων με φορητό GPS στις διάφορες γεωμορφές που συναντήθηκαν, όπως επίσης και λήψη βοηθητικού φωτογραφικού υλικού και καταγραφή παρατηρήσεων και με την χρήση πλωτού μέσου.

Εντοπισμός γεωμορφών

Το σύνολο των γεωμορφών εντοπίστηκε με την ημι-αυτοματοποιημένη μέθοδο γεωμορφολογικής χαρτογράφησης, μέσα από την συσχέτιση ημι-αυτοματοποιημένων μοντέλων (κλίσεων/slope, προσανατολισμού/aspect, σκίασης αναγλύφου/hillshade) σε συνδυασμό με την λιθολογία και τεκτονική της περιοχής καθώς και την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο. Μέσα από τις παρατηρήσεις της μελέτης πεδίου, την σχετική βιβλιογραφική ανασκόπηση και την παρατήρηση δορυφορικών εικόνων αλλά και του Google Earth, πραγματοποιήθηκαν επεμβατικές, διορθωτικές και επαληθευτικές ενέργειες των πιθανών γεωμορφών που προέκυψαν από τα αυτοματοποιημένα μοντέλα.

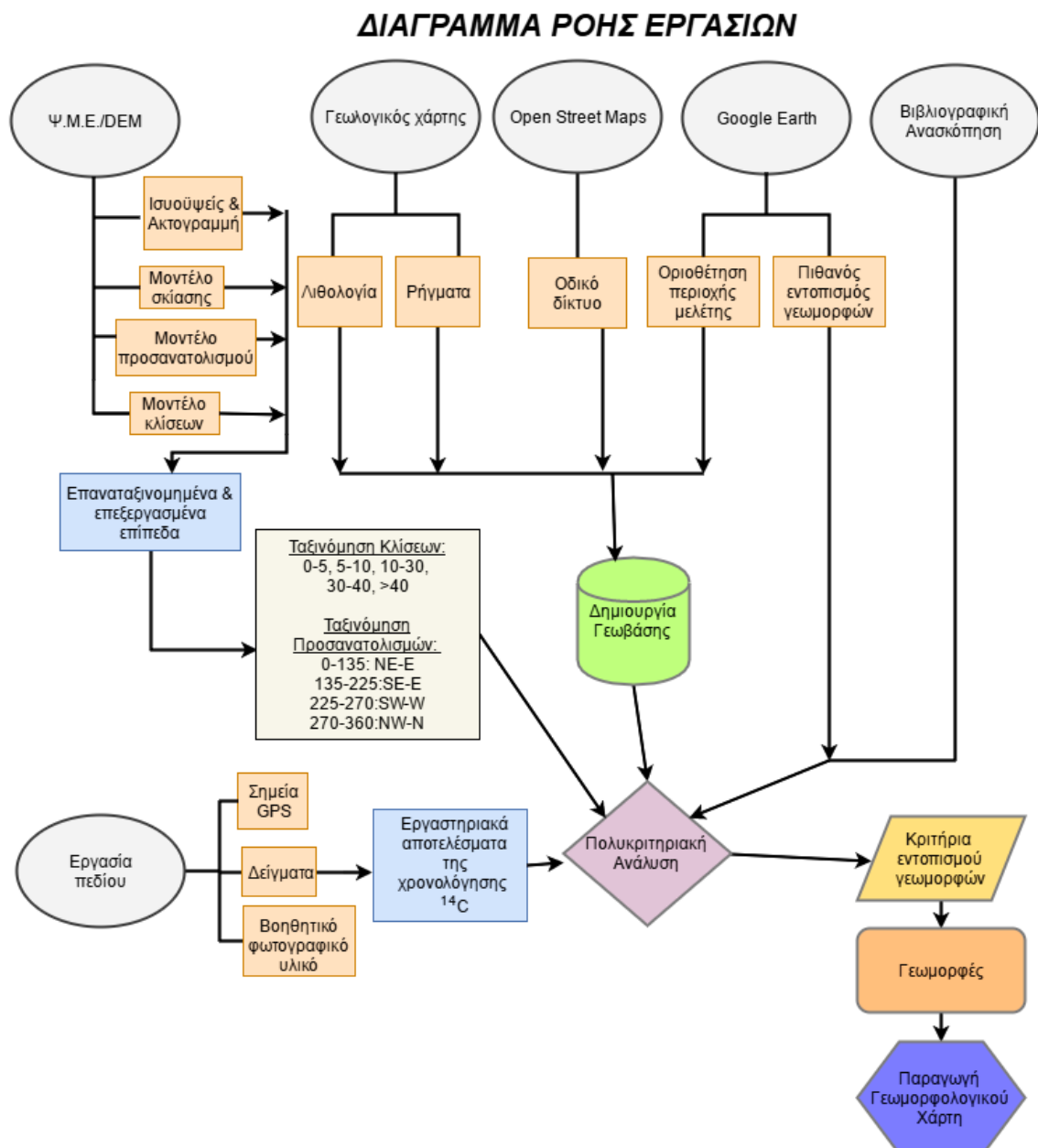
Σύνθεση στοιχείων και δεδομένων & Παραγωγή γεωμορφολογικού χάρτη

Τα θεματικά επίπεδα ανακτήθηκαν από την βάση δεδομένων και παρουσιάστηκαν με την διαδικασία της χαρτογραφικής υπέρθεσης. Το κατώτερο επίπεδο που χρησιμοποιήθηκε ως χαρτογραφικό υπόβαθρο είναι αυτό της σκίασης του αναγλύφου (hillshade), επίσης χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο για την παρουσίαση των περισσότερων θεματικών χαρτών της εργασίας αυτής διότι προσδίδει μια εικόνα της τρισδιάστατης αναπαράστασης του αναγλύφου και ειδικά τα τελευταία χρόνια

εφαρμόζεται ευρέως στην απεικόνιση των περισσότερων γεωμορφολογικών χαρτών.
(Gustavsson et al., 2005)

Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την τελική απεικόνιση των γεωμορφών έγινε σύμφωνα με την σχετική βιβλιογραφία για γεωμορφολογικούς χάρτες κυρίως των Gustavsson et al. και Pavlopoulos et al.

Ακολουθεί το διάγραμμα ροής εργασιών για την τελική παραγωγή του γεωμορφολογικού χάρτη:



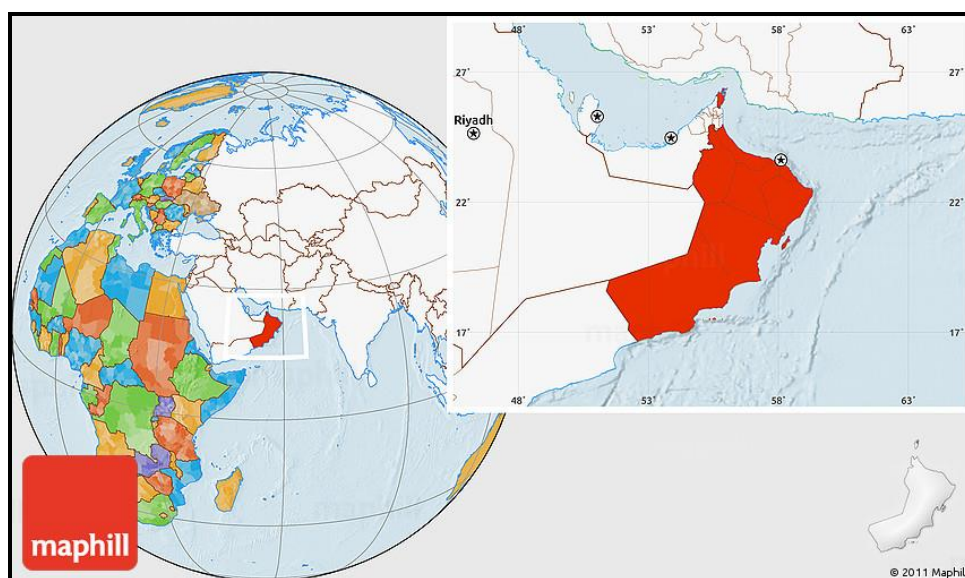
Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την παραγωγή του γεωμορφολογικού χάρτη της περιοχής μελέτης.

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

4.Περιοχή μελέτης

4.1. Γεωγραφικά χαρακτηριστικά

Το Ομάν (ή επισήμως Σουλτανάτο του Ομάν) είναι ένα αραβικό κράτος στα νοτιοδυτικά της Ασίας και στην νοτιοανατολική ακτή της Αραβική Χερσονήσου. Συνορεύει με τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα στα βορειοδυτικά, με την Σαουδική Αραβία στα δυτικά και με την Υεμένη στα νοτιοδυτικά. Έχει έκταση 309.500 τ.χλμ και πληθυσμό 4.149.917 κατοίκους, σύμφωνα με εκτιμήσεις του 2015 από επίσημο φορέα της χώρας.



Εικόνα 2: Θέση του Ομάν στον κόσμο

Πηγή: Maphill, Available at < <http://www.maphill.com/oman/location-maps/physical-map/>> [Accessed at 30 October 2016]

Το Ομάν «κλείνει» γεωγραφικά τον περσικό Κόλπο με τα στενά του Ορμούζ. Πρόκειται για ένα πορθμό ανάμεσα στον περσικό Κόλπο και το Ομάν. Η χώρα βρέχεται τόσο από τον κόλπο του Ομάν στα βορειοανατολικά, όσο και από την Αραβική θάλασσα στο νότο και στην ανατολή. Η ακτογραμμή της χώρας είναι 3.165 χλμ.

Το Ομάν είναι ένα υψίπεδο με μεγάλες εκτάσεις ερήμου. Στενές πεδιάδες υπάρχουν στις παράκτιες περιοχές, με σημαντικότερη την πεδιάδα Al-Batinah στον κόλπο του Ομάν. Κατά μήκος του κόλπου του Ομάν εκτείνεται η οροσειρά Jabal al-Hajar, με

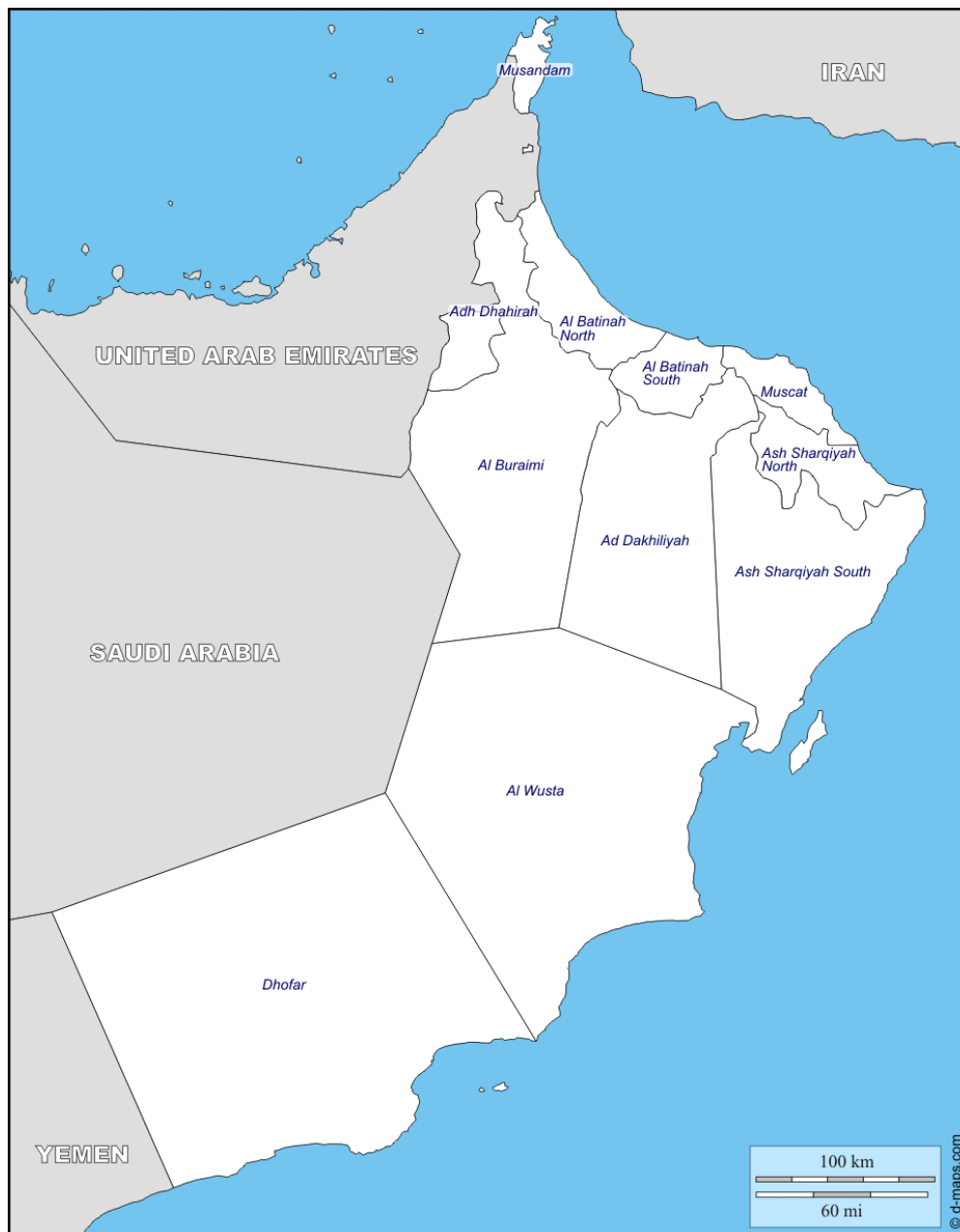
μεγαλύτερη κορυφή το όρος Jabal Shams(3.025 μέτρα), η οποία χωρίζει την πεδιάδα Al-Batinah από την έρημο Rub' al Khali.

Η βλάστηση είναι φτωχή, αφού στη χώρα υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις ερήμου. Στα μέρη όπου υπάρχει βλάστηση ευδοκούν κυρίως ακακίες. Στη χώρα ζουν χαρακτηριστικά ζώα της Ασίας, όπως λεοπαρδάλεις και αγριόγατες, διάφορα είδη γερακιών και πολύχρωμων πτηνών και ζώα της ερήμου, όπως καμήλες ή ένα είδος καγκουρό της ερήμου. Χαρακτηριστικά είναι επίσης ένα είδος αλεπούς, η κόκκινη αλεπού, και ο λεγόμενος "μεσογειακός" χαμαιλέοντας.

Η χώρα είναι χωρισμένη σε 11 διοικητικές περιφέρειες/ επαρχίες (governorates), όπως παρουσιάζονται παρακάτω (με την σειρά):

- Musandam
- Ad Dhahirah
- Al Batinah North
- Al Batinah South
- Muscat
- Ash Sharqiyah North
- Ad Dakhiliyah
- Ash Sharqiyah South
- Al Wusta
- Dhofar

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην διοικητική περιφέρεια (governorate) της Μουσκάτ/Muscat.



Εικόνα 3: Διοικητικές περιφέρειες/governorates του Ομάν (σύνολο: 11)

Πηγή: d-maps.com, Available at < http://www.d-maps.com/carte.php?num_car=518&lang=en >

[Accessed at 30 October 2016]

4.2. Αρχαιολογία- Ιστορία

Η ανθρωπίνη παρουσία και δραστηριότητα στο χώρο του σημερινού Ομάν χρονολογείται εδώ και 100 αιώνες. Οι κάτοικοι της χώρας κατά την αρχαιότητα είχαν αναπτύξει εμπορικές σχέσεις με λαούς της Μέσης Ανατολής και της Μεσογείου. Τον 9ο αιώνα π.Χ. έγινε η εγκατάσταση των πρώτων αραβικών ομάδων στο Ομάν, με επικεφαλής τις δύο οικογένειες των Καχτάν (από τη νοτιοδυτική Αραβία) και των Νιζάρ (από τη βορειοδυτική Αραβία). Το σουλτανάτο του Ομάν ήταν παλιότερα γνωστό με το σουμερικό όνομα Magan. Το Ομάν αποτελούσε μία από τις Σατραπείες της Περσικής αυτοκρατορίας που ενσωματώθηκε περίπου το 563 π.Χ.

Τον 3^ο αιώνα μ.Χ. ενσωματώθηκε στην Σασσανική Αυτοκρατορία (Περσική και αυτή). Το Ομάν ήταν κέντρο εμπορίου για αιώνες. Το 1508, το κυριότερο λιμάνι και σημερινή πρωτεύουσα ήταν το Μουσκάτ, το οποίο καταλήφθηκε από την Πορτογαλία. Οι οχυρώσεις που χτίστηκαν κατά την διάρκεια της πορτογαλικής κατοχής δεσπόζουν ακόμα στο Μουσκάτ. Η επιρροή της Πορτογαλίας υπερίσχυσε για περισσότερο από έναν αιώνα έως ότου κατακτήθηκε από τους Οθωμάνους το 1659, οι οποίοι διώχθηκαν το 1741 από τον Ahmad ibn Said. Εντούτοις, το Ομάν καταλήφθηκε από την Περσία το διάστημα μεταξύ 1743-1746.

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, το Ομάν ήταν το ισχυρότερο κράτος στην Αραβία και είχε σημαντική παρουσία στην ανατολική αφρικανική ακτή και στην Ζανζιβάρη. Το Ομάν ήταν το αντικείμενο του Γαλλοβρετανικού ανταγωνισμού καθ όλη τη διάρκεια του 18^{ου} αιώνα. Τελικά το 1891, το Ομάν έγινε βρετανικό προτεκτοράτο, και έμεινε έτσι ως το 1971 που έγινε ανεξάρτητο κράτος. Στις 23 Ιουλίου του 1970, με την βοήθεια των Βρετανών ο σημερινός Σουλτάνος Qabus ibn Said al-Said κατέλαβε την εξουσία, με ένα πραξικόπημα στο Παλάτι ενάντια στον πατέρα του, τον Σουλτάνο Said ibn Taymur, ο οποίος πέθανε αργότερα εξόριστος στο Λονδίνο.

4.3. Κλιματολογικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα του Ομάν είναι θερμό και ξερό, με υψηλή υγρασία, ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές. Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης δεν συναντάται μόνιμη ροή νερού και συμβαίνει μόνο με ξαφνική και έντονη βροχόπτωση που συνήθως οδηγεί σε πλημμύρες, τα λεγόμενα flash-floods. Η περίοδος από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο είναι αυτή με τις υψηλότερες θερμοκρασίες και τα υψηλότερα ποσοστά υγρασίας. Ο μέσος όρος ετήσιας θερμοκρασίας είναι 28°C και ο ετήσιος μέσος όρος των βροχοπτώσεων είναι 102 mm. Η χώρα χαρακτηρίζεται από χαμηλή ετήσια βροχόπτωση, η οποία συμβαίνει κυρίως από τον Δεκέμβριο μέχρι τον Απρίλιο, και υπάρχει μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις μέγιστες και στις ελάχιστες θερμοκρασίες, ειδικά στις περιοχές της ενδοχώρας. Οι ορεινοί όγκοι της χώρας είναι εκτεθειμένοι στους μουσώνες, που προκαλούν άφθονες βροχές. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι ιδιαίτερα φτωχό. Οι λίγοι ποταμοί που υπάρχουν στη χώρα έχουν ακανόνιστη ροή και το λιγοστό νερό τους δεν επαρκεί σε καμία περίπτωση για τις ανάγκες του πληθυσμού.

Πιο συγκεκριμένα, για μια περιοχή μελέτης σε άλλη εργασία, που βρίσκεται κοντά στην περιοχή μελέτης της παρούσης εργασίας, μέσα από τα αποτελέσματα διαφόρων μελετών που εξέταζαν με έμμεσο τρόπο το παλαιοπεριβάλλον και το παλαιοκλίμα βρέθηκαν αποτελέσματα για τα τελευταία 20.000 χρόνια που θα αναφερθούν παρακάτω. Η διαδικασία ανακατασκευής του παλαιοκλίματος σε άνυδρες περιοχές δεν είναι εύκολη και συχνά χρησιμοποιούνται ως δείκτες των παλιών ατμοσφαιρικών συνθηκών τα αιολικά ιζήματα ή ακόμη πιο αντιπροσωπευτικά για την κατακρήμνιση τα ποτάμια μεταφερμένα ιζήματα από την επιφανειακή απορροή.

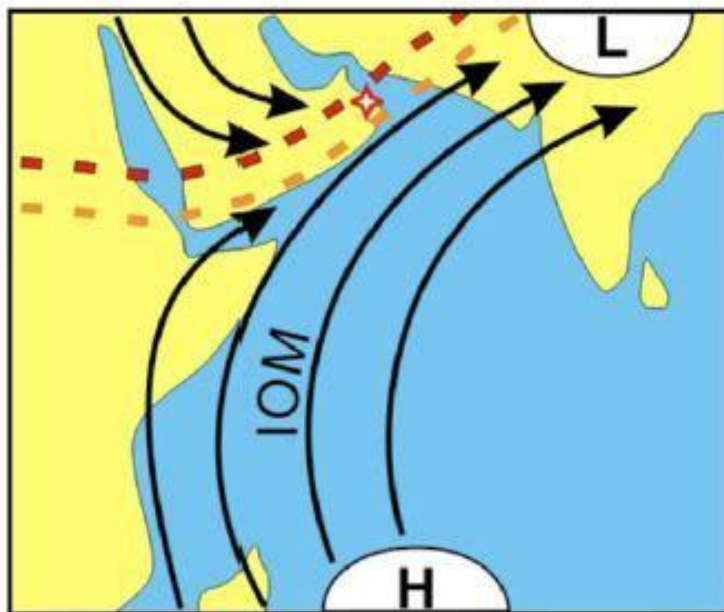
Αναλύθηκαν δείγματα από αρχείο ιζημάτων που λήφθηκαν από το βόρειο Ομάν στο ανώτερο άκρο του Wadi Khabbah στο βουνό Jabal Bani Jabir (οροσειρά Hajar) και δεν βρίσκονταν ιδιαίτερα μακριά από την περιοχή μελέτης, συνεπώς τα συμπεράσματα αυτά αφορούν και την περιοχή μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας (Fuchs M. & Buerkert, A., 2008). Σε αυτό το αρχείο ιζημάτων έγινε χρονολόγηση με την μέθοδο OSL και με τον υπολογισμό του ρυθμού καθίζησης τους, τα αποτελέσματα έδειξαν τα εξής:

- Η Παγετώδης έως και τα τέλη της Παγετώδους περιόδου φαίνεται να χαρακτηρίζεται από ομοιογενή ρυθμό καθίζησης που διήρκεσε από 19.16 ± 1.39

μέχρι 12.50 ± 0.92 χιλιάδες χρόνια πριν. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου οι βροχοπτώσεις ήταν χαμηλές και υποδεικνύουν άνυδρες συνθήκες (Burns et al., 2001).

- Ακολούθησε μια μεταβατική περίοδος από τα 12.5 μέχρι τα 10.5 χιλιάδες χρόνια πριν, με φθίνοντα ρυθμό καθίζησης που υποδεικνύει μια περίοδο με ιδιαίτερα μειωμένη βροχόπτωση (Gasse and Van Compro, 1994).
- Μια απότομη αύξηση στον ρυθμό καθίζησης άρα και βροχόπτωσης περίπου 10.5 χιλιάδες χρόνια πριν, υποδεικνύει την έναρξη της πρώιμης υγρής περιόδου του Ολοκαίνου (early Holocene humid period -EHHP), που κράτησε μέχρι τα 8 χιλιάδες χρόνια περίπου πριν από σήμερα. Μία ακόμη μεγαλύτερη αύξηση στον ρυθμό μεταξύ τα 9 με 8 χιλιάδες χρόνια πριν υποδεικνύει ένα μέγιστο όριο στην βροχόπτωση κατά την διάρκεια του (EHHP) γνωστό και ως EHHP-2 (Burns et al., 2001 και Fleitmann et al., 2003).
- Έπειτα ακολούθησε μια πτώση στον ρυθμό καθίζησης που δείχνει μια μείωση ξανά στην βροχόπτωση και υποδεικνύει μια περίοδο με άνυδρες συνθήκες για τα μέσα και τέλη του Ολοκαίνου (Fleitmann et al., 2003, 2007).

Οι μεταβολές στο υδρολογικό καθεστώς, δηλαδή η έναρξη και ο τερματισμός των ξηρών και υγρών περιόδων στην νότια Αραβική χερσόνησο σχετίζονται με την θέση της ενδοτροπικής ζώνης σύγκλισης-ITCZ (Inter-tropical Convergence Zone) και το συνδεδεμένο ΝΔ μουσωνικό μοντέλο. Βασισμένο σε αρκετές μελέτες από την νότια αραβική χερσόνησο, μια ταχεία βόρεια μετατόπιση της ITCZ περί τα 10.5 χιλιάδες χρόνια πριν μάλλον προκάλεσε την έναρξη της πρώιμης υγρής περιόδου του Ολοκαίνου (EHHP), της οποίας ο τερματισμός περί τα 8 χιλιάδες χρόνια πριν μπορεί να συσχετισθεί με την νότια μετατόπιση του ITCZ.



Εικόνα 4: Γενικός χάρτης του χαμηλού υψομετρικού μοτίβου του ανέμου κατά την διάρκεια του boreal summer time. Η διακεκομμένη πορτοκαλί γραμμή αντιπροσωπεύει την τωρινή θέση της ITCZ, όπου είναι το βόρειο όριο του Μουσώνα Ινδικού Ωκεανού (Indian Ocean Monsoon- IOM). Η διακεκομμένη κόκκινη πιστεύεται πως αντιπροσωπεύει την θέση της ITCZ κατά την διάρκεια περιόδων ενισχυμένων βροχοπτώσεων πάνω από την νότια Αραβία όπως κατά την διάρκεια της πρώιμης υγρής περιόδου του Ολοκαίνου (EHHP). Το αστέρι αντιπροσωπεύει την τοποθεσία της περιοχής μελέτης που έγινε από τους Fucks M. και Buerkert A. στην εργασία «A 20 ka sediment record from the Hajar Mountain range in N-Oman, and its implication for detecting arid-humid periods on the outheastern Arabian Peninsula-M. Fuchs, A. Buerkert 2008» κοντά στην όαση της Maqta/Μάκτα.

Η περιοχή μελέτης επηρεάζεται έντονα από τα περιοδικά κυκλωνικά συστήματα των μουσώνων του Ινδικού. Κάθε 3-4 χρόνια ισχυροί κυκλώνες με καταιγίδες και εξαιρετικά έντονες βροχοπτώσεις και ανέμους μεγάλων ταχυτήτων πλήττουν τις παράκτιες ανατολικές περιοχές του Β. Ομάν. Το αποτέλεσμα αυτών αποτελούν οι καταστροφικές «ακαριαίες πλημμύρες-flash floods» που αλλάζουν την μορφολογία της παράκτια ζώνης και των κοιτών των Wadi's (ξηρών κοιλάδων σε άνυδρες περιοχές) ενώ παράλληλα καταστρέφουν οικισμούς, ανθρώπινες δραστηριότητες και υποδομές σε εκτεταμένες περιοχές.

Παρακάτω ακολουθούν τωρινά κλιματικά χαρακτηριστικά για την πόλη της Muscat:

	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ
Υψηλές °C	25	26	30	35	39	40	38	35	36	35	31	27
Χαμηλές °C	17	18	21	25	29	30	31	28	28	25	21	19

Πίνακας 1: Μέσες μηνιαίες τιμές Υψηλής/Χαμηλής θερμοκρασίας για την Μουσκάτ/Muscat.

Πηγή: Holiday Weather.com, Available at < <http://www.holiday-weather.com/muscat/averages/> >

[Accessed at 19 November 2016]

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
Χίλιοστά βροχής/νετού (mm)	10	30	10	20	10	10	10	10	10	10	10	10
Μέρες	5	2	3	1	0	0	1	1	0	0	1	2

Πίνακας 2: Μέση τιμή μηνιαίας βροχόπτωσης σε mm και μέσες μηνιαίες μέρες βροχόπτωσης για την Μουσκάτ/Muscat.

Πηγή: Holiday Weather.com, Available at < <http://www.holiday-weather.com/muscat/averages/> >

[Accessed at 19 November 2016]

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
Καθημερινές ώρες ηλιοφάνειας	9	11	11	11	13	13	12	12	12	11	11	10

Πίνακας 3: Μέσες καθημερινές ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα για την Μουσκάτ/Muscat.

Πηγή: Holiday Weather.com, Available at < <http://www.holiday-weather.com/muscat/averages/> >

[Accessed at 19 November 2016]

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Θαλάσσια θερμοκρασία °C	24	24	25	27	29	30	29	28	28	29	28	25

Πίνακας 4: Μέσες τιμές θαλάσσιας θερμοκρασίας ανά μήνα για την Μουσκάτ/Muscat.

Πηγή: Holiday Weather.com, Available at < <http://www.holiday-weather.com/muscat/averages/> >

[Accessed at 19 November 2016]

4.4. Γεωλογική δομή - ιστορία

Η γεωλογική ιστορία του Ομάν έχει επηρεαστεί από την γεωλογία ενός μεγάλου ωκεανού, της Τηθύος, όπου σύγχρονο υπόλειμμα της Τηθύος αποτελεί ο Κόλπος του Ομάν. Τα πετρώματα που εμφανίζονται στο Ομάν αποτελούν «μάρτυρες» της γεωλογικής του ιστορίας πριν, κατά την διάρκεια και έπειτα από τον σχηματισμό του ωκεανού της Τηθύος.

Αρχικά το Ομάν ήταν μέρος της υπερ-ηπείρου Γκοντβάνα περισσότερο από 700 εκ. χρόνια πριν, η οποία αποτελούνταν από πετρώματα ηπειρωτικού φλοιού. Η περιοχή αυτή περί τα 600 εκ. χρόνια πριν από σήμερα βρισκόταν κοντά στον Νότιο Πόλο όπως τεκμηριώνεται από τις παγετωνικές και περιπαγετωνικές αποθέσεις του Ομάν εκείνης της περιόδου. Έπειτα, η Αραβική υποπλάκα και το Ομάν κινήθηκαν Βόρεια και καθώς ο πάγος έλιωνε, σχηματίστηκαν ιζήματα που αποτέθηκαν κάτω από το νερό ενώ σταδιακά αυξανόταν η στάθμη της θάλασσας. Η θαλάσσια επίκλυση κάλυψε τις ηπειρωτικές περιοχές και αποτέθηκαν μαύροι ασβεστόλιθοι πάνω από τα παγετώδη ιζήματα.

Λόγω το λιώσιμο των πάγων και ενώ η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε, το κλίμα άλλαξε προς ένα πιο θερμό περιβάλλον καθώς η Αραβική υποπλάκα και το Ομάν, ουσιαστικά όλη η Αραβική χερσόνησος, κινούνταν από τον Νότιο Πόλο προς βορρά. Πριν 600 εκ. χρόνια πριν το Ομάν βρισκόταν και πάλι κοντά στον Νότιο Πόλο και βίωσε μία ακόμη παγετωνική εποχή.

Κατά την περίοδο Πέρμιου – Μεσοζωϊκού, η Γκοντβάνα ξεκίνησε να διασπάται σε ξεχωριστές ηπείρους καθώς κινούνταν προς νότο και πιο συγκεκριμένα η Αφρο-Αραβική πλάκα κινούνταν προς νότο απομακρυνόμενη από την Ευρασία και ξεκίνησε να ανοίγει ως αποτέλεσμα αυτής της κίνησης των ηπείρων ο ωκεανός Τηθύς πριν από 270 εκ. χρόνια περίπου, ο οποίος αναπτύχθηκε και διήρκησε για 190 εκ. χρόνια. Σχηματίστηκε ωκεάνιος φλοιός, γνωστός και ως οφιόλιθος/orphiolite, στου οποίου τον πυθμένα αποτίθονταν ιζήματα ενώ ήταν άφθονα και τα υποθαλάσσια ηφαιστεια. Αποτέθηκαν ασβεστόλιθοι θαλάσσιων ρηχών νερών άνωθεν των ηφαιστειών (πιθανός και υποθαλάσσιων όρεων) που ονομάζονται Oman Exotics, οι οποίοι αργότερα επωθήθηκαν προς το Ομάν πάνω από την στεριά.

Η Αραβική υφαλοκρηπίδα καλύφθηκε από το ρηχό νερό της Τηθύος ενώ αποτέθηκαν ασβεστόλιθοι ρηχών νερών, που ονομάζονται Hajar Super Group. Η θάλασσα ήταν θερμή και πλούσια σε ζωή, συνεπώς αυτός ο ασβεστόλιθος περιέχει πλήθος απολιθωμάτων. Όλα τα προαναφερθέντα πετρώματα μαζί με τα πετρώματα που σχηματίστηκαν πριν το άνοιγμα της Τηθύος αποτελούν αυτό που ονομάζεται Supersequence A (Hanna, 1995).

Καθώς η Αμερικανική πλάκα απομακρυνόταν από την Αφρικανική, ο Ατλαντικός Ωκεανός άρχισε να ανοίγει, προκαλώντας την αντιστροφή της κίνησης της Αφρικής σε μία κίνηση προς τον βορρά. Ως αποτέλεσμα αυτής της κίνησης, ο ωκεανός Τηθύς έκλεισε, εγκλωβίζοντας ιζήματα από τον πυθμένα της θάλασσας (ενότητα Hawasina) αλλά και οφιόλιθους προς την ηπειρωτική περιοχή μέχρις ότου τοποθετήθηκαν άνωθεν των ασβεστόλιθων ρηχών νερών του Hajar Super Group. Η ταχεία επώθηση (obduction) του οφιόλιθου ξεκίνησε περίπου 94 εκ. χρόνια πριν από σήμερα και τοποθετήθηκε επάνω στα ηπειρωτικά περιθώρια (Hacker et al., 1996).

Μετά την επώθηση των οφιολίθων και των ιζημάτων του πυθμένα της θάλασσας (ενότητα της Hawasina), τα παραπάνω πετρώματα εκτέθηκαν πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, όπου σχηματίστηκαν νέα κροκαλοπαγή ιζήματα, παρόμοια με τα χαλίκια που βρίσκονται στα σύγχρονα wadi/ξηρές κοιλάδες, κοντά στην ακτή. Σε αυτά τα κροκαλοπαγή συναντώνται απομεινάρια δεινοσαύρων, κόκκαλα χελωνών και απολιθωμένα ξύλα και υποδεικνύουν την κυριάρχηση ενός τροπικού περιβάλλοντος για εκείνη την περίοδο παρόμοιο με αυτό στη σημερινή Ανατολική Αφρική.

Η ηπειρωτική περιοχή του Ομάν κατά την περίοδο μεταξύ 65-2.6 εκ χρόνια περίπου, Ανώτερο Κρητιδικό μέχρι Κατώτερο Πλειστόκαινο, καλύφθηκε από την θαλάσσια επίκλυση και χαρακτηρίζεται από αποθέσεις ασβεστολίθων ρηχών νερών νηρητικής φάσης. Αυτές οι αποθέσεις κίτρινου Τριτογενούς ασβεστολίθου ονομάζονται και Supersequence C (Hanna, 1995). Οι παραπάνω ασβεστόλιθοι και σχιστοί άργιλοι είναι πλούσιοι σε κοινά απολιθώματα αυτών των περιβαλλοντικών συνθηκών όπως για παράδειγμα είναι τα σαλιγκάρια, δίθυρα κοχύλια, κοράλλια, αχινοί κλπ. Σε αυτήν την περίοδο συνέβη μια πτώση της στάθμης της θάλασσας που οδήγησε στην απόθεση γαιάνθρακα περίπου πριν 45 εκ. χρόνια πριν.

Ο σχηματισμός των ορεινών όγκων του Ομάν, της Υεμένης και των Η.Α.Ε. είναι αποτέλεσμα της αλπικής ορογένεσης κατά την περίοδο του Ολιγόκαινου και Μειόκαινου (25 εκ. χρόνια) και η ανύψωση αυτών των όρεων συνεχίζεται μέχρι και σήμερα και είναι εμφανές από τις ανυψωμένες παράκτιες περιοχές που υπάρχουν γύρω από την περιοχή της Muscat της πρωτεύουσας.

Συνοψίζοντας, το γεωλογικό ιστορικό του Ομάν εκπροσωπείται από τρεις μεγάλες ακολουθίες πετρωμάτων/supersequences:

- Supersequence A:
 - Είναι τα πετρώματα που αποτελούν τον ηπειρωτικό φλοιό και τα ιζήματα που σχηματίστηκαν πάνω του πριν το άνοιγμα του Ωκεανού Τηθύ. Είναι αυτόχθονα πετρώματα που ονομάζονται προ-Πέρμια και έχουν ταξινομηθεί ως Supersequence ‘A’ και επισημαίνονται ως “App”.
 - Είναι τα πετρώματα που σχηματίστηκαν ως αποτέλεσμα από το άνοιγμα του Ωκεανού Τηθύ. Συναντώνται στο Ομάν ως ανθρακικά πετρώματα ρηχών νερών που αποτέθηκαν πάνω στην Αραβική πλατφόρμα, τα οποία είναι εξίσου αυτόχθονα διότι σχηματίστηκαν εκεί ή κοντά στην θέση που βρίσκονται σήμερα. Ανήκουν επίσης στην ταξινομική βαθμίδα των Supersequence ‘A’ και επισημαίνονται ως “Ac”.
- Supersequence B: Είναι τα πετρώματα που σχηματίστηκαν μακριά από το ηπειρωτικό περιθώριο, όπως ο ωκεάνιος φλοιός του Τηθέος Ωκεανού γνωστός και ως οφιόλιθος αλλά και αυτά που προέρχονται από τις πλαγιές με κατεύθυνση προς το βαθύ ωκεάνιο πυθμένα. Πρόκειται για αλλόχθονα πετρώματα που σχηματίστηκαν μακριά από το Αραβικό περιθώριο που βρίσκονται τώρα. Αυτή η ακολουθία των πετρωμάτων ταξινομήθηκε ως Supersequence ‘B’.
- Supersequence C: Είναι τα πετρώματα που σχηματίστηκαν μετά το κλείσιμο του Ωκεανού της Τηθύς και μετά την επώθηση των οφιολίθων (obduction). Πρόκειται για ασβεστολίθους ρηχών νερών που αναφέρονται ως νέο-αυτόχθονοι και ταξινομήθηκαν ως Supersequence ‘C’.

4.5. Τεκτονικά χαρακτηριστικά

Τα όρη του Ομάν βρίσκονται στο ανατολικό Αραβικό περιθώριο και είναι αποτέλεσμα αρκετών τεκτονικών γεγονότων που οφείλονται στην γενική σύγκλιση μεταξύ της Γκοντβάνα και της Ευρασίας στο διάστημα μεταξύ Ανώτερου Παλαιοζωικού μέχρι και σήμερα. (Scharf et al. in prep.)

Το κλείσιμο του Νέο-Τηθύ ωκεανού μεταξύ της Γκοντβάνα και της Ευρασίας οδήγησε στην διάσημη επώθηση/obduction του οφιολίθου (ενότητα Semail) κατά την διάρκεια του Ανώτερου Κρητιδικού περί τα 90 εκ. χρόνια πριν (e.g., Hacker et al., 1996). Οι οφιολίθοι επωθήθηκαν πάνω από τον Νέο- Τηθύ Ωκεανό και την νοτιότερη λεκάνη της Hawasina. Η επώθηση κράτησε 27 εκ. χρόνια, έως τα 68 εκ. χρόνια πριν από σήμερα, ενώ η μετατόπιση του οφιολίθου ήταν περίπου 400 χλμ με έναν μέσο ρυθμό των 2εκ./έτος.

Μεταξύ τα όρια του Μαιστρίχτιου και του Ολιγόκαινου/Μειόκαινου, τα όρη του Ομάν ήταν σχετικά τεκτονικά ανενεργά, το οποίο είναι εμφανές από το άνω των 2000μ. πάχους της ακολουθίας ρηχών θαλάσσιων ασβεστολίθων (Fournier et al., 2006). Ωστόσο, η συνεχής σύγκλιση είχε ως αποτέλεσμα την έναρξη σχηματισμού της ζώνης πτύχωσης και ώθησης του Zagros κατά την διάρκεια του Ολιγόκαινου/Μειόκαινου.



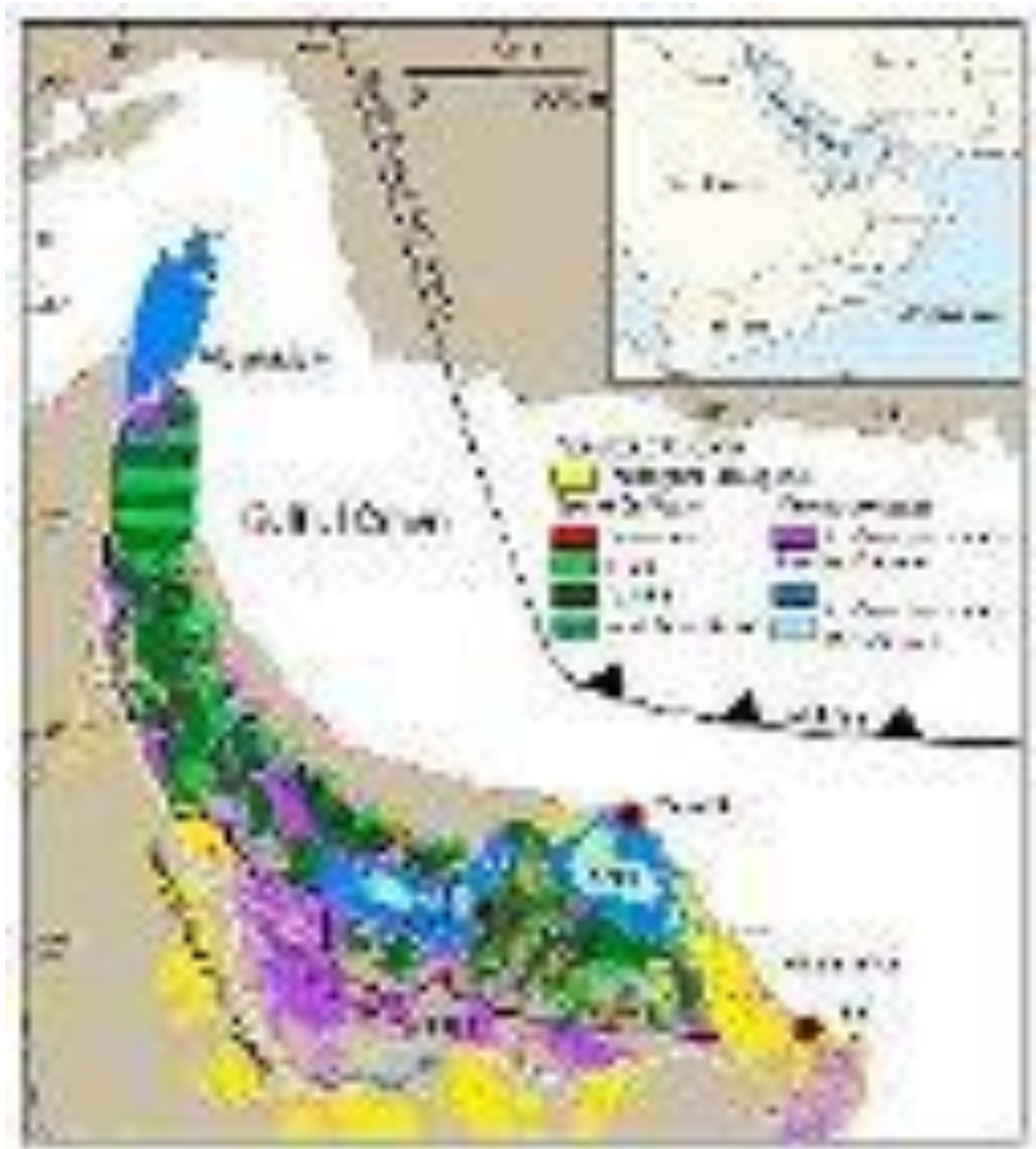
Εικόνα 5: Σύγχρονο τεκτονικό καθεστώς της Αραβικής χερσονήσου. Τα ανοικτόχρωμα πράσινα βέλη δείχνουν τωρινές τιμές GPS για το Ιράν (Vernant et al., 2004) ενώ τα λευκά βέλη για το Ομάν (McClusky et al., 2000). Τα μεγάλα γκρι βέλη απεικονίζουν την απόκλιση και τα διαφανή βέλη απεικονίζουν την συμπίεση σύμφωνα με βασικά δεδομένα. a – (McQuarrie & van Hinsbergen, 2013); b – (Walley, 1998); c – (Bayer, 1988); d – (Makris & Rihm, 1991); e – (Bosworth et al., 2005); f – (Reilinger & McCrsky, 2011); g – (Fournier et al., 2006); h – (Fournier et al., 2010); i – (Fournier et al., 2008).

Πηγή: Τροποποιημένος χάρτης από Scharf et al. (2016a).

Η παραπάνω εικόνα 5 δείχνει την τωρινή τεκτονική κατάσταση του ανατολικού περιθωρίου της Αραβικής πλάκας. Η Αραβική πλάκα οριοθετείται στον βορρά της ζώνης σύγκρουσης της Αραβικής-Ευρασιατικής που έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία της ζώνης πτύχωσης και ώθησης του Zagros και Makran (Glennie et al., 1974).

Η ζώνη υποβύθισης του Μακράν εκτείνεται από το Ιράν μέχρι το κεντρικό Πακιστάν (Schluter et al. 2002). Σχηματίστηκε από την υποβύθιση του ωκεάνιου τμήματος της Αραβικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική. Η απόσταση μεταξύ του ηφαιστειακού τόξου και του μετώπου παραμόρφωσης είναι περίπου 400 χλμ στο δυτικό κομμάτι του Μακράν και φτάνει μέχρι τα 600 χλμ στο ανατολικό κομμάτι.

Η Αραβική χερσόνησος οριοθετείται στα δυτικά από την αριστερόστροφη ρηξιγενή ζώνη οριζόντιας μετατόπισης της Νεκρής Θάλασσας, ενώ το ανατολικό όριο της Αραβικής χερσονήσου χαρακτηρίζεται από των 8 εκ. χρόνων δεξιόστροφου ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης (ρήγμα Owen) της Ερυθράς Θάλασσας με ένα ρυθμό δεξιόστροφης κίνησης των 2 χιλιοστών/έτος (Fournier et al., 2008). Το νότιο όριο της Αραβικής Χερσονήσου περιορίζεται από τους άξονες επέκτασης της Ερυθράς Θάλασσας και του Κόλπου του Άντεν. Η συνεχιζόμενη μέχρι σήμερα σύγκλιση μεταξύ της Αραβικής χερσονήσου και της Ευρασίας καταγράφεται στις τεκτονικές δραστηριότητες της ζώνης υποβύθισης του Μακράν και την ήπιας ανύψωσης των βουνών του Ομάν (e.g., Kusky et al., 2005). Αυτή η Τεταρτογενής παραμόρφωση των βουνών του Ομάν αντικατοπτρίζεται σε μερικά ρήγματα που κόβουν τα Τεταρτογενή Wadi με χαλίκια (Kusky et al., 2005) και στον σχηματισμό παράκτιων αναβαθμίδων μεταξύ της Muscat και της Sur κοντά στο Tiwi (Kusky et al., 2005 και **βλέπε εικόνες 5 & 6** σε αυτήν την εργασία).



Εικόνα 6: Χάρτης γενικής εικόνας τεκτονικής του ΒΑ Ομάν. Το διακεκομμένο πλαίσιο δείχνει την περιοχή μελέτης. Ο χάρτης έχει τροποποιηθεί από Scharf et al. 2017.
Πηγή: Scharf et al. 2017 under preparation

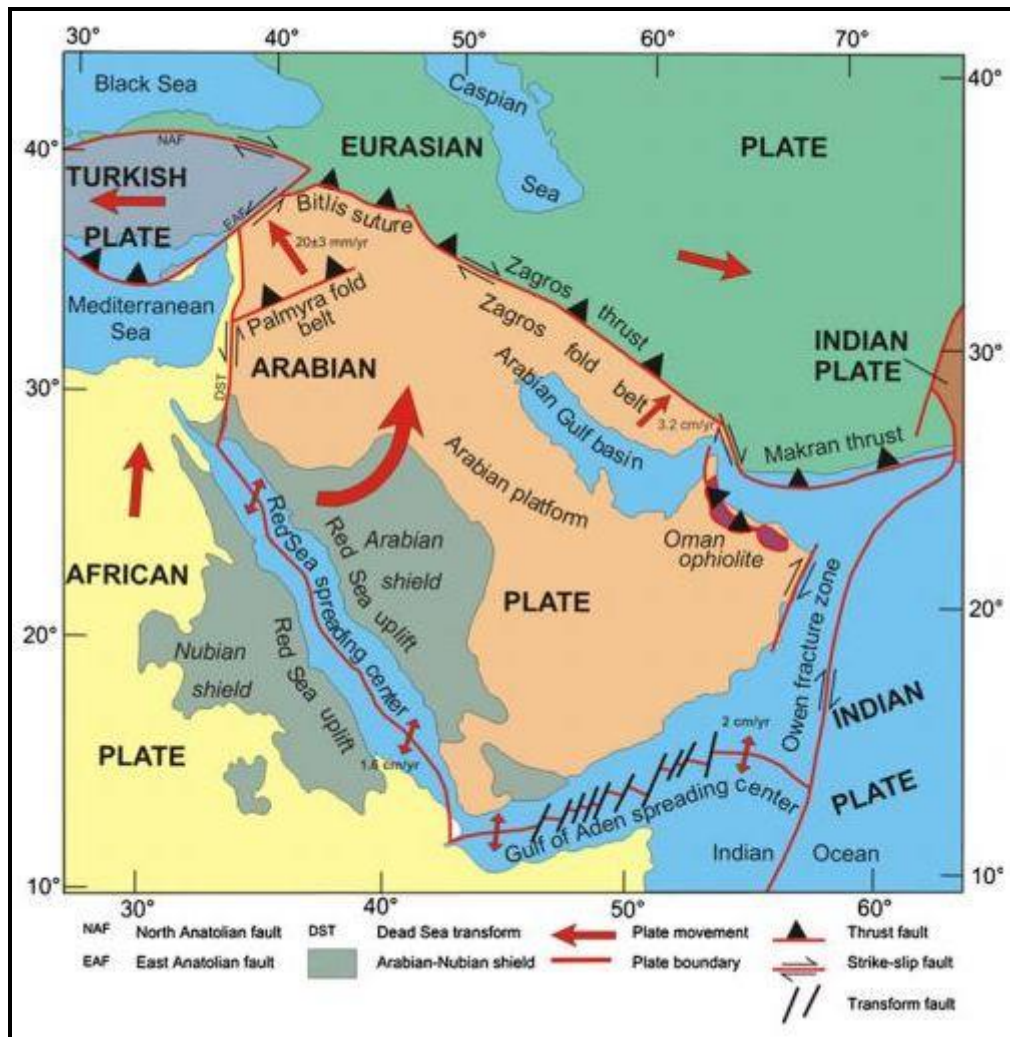
Το υπολειπόμενο του περιθωρίου σύγκλισης της Αραβικής πλάκας καθορίζεται από την ζώνη υποβύθισης του Μακράν , όπου η Αραβική πλάκα υποβυθίζεται υπό την Ευρασιατική (Bayer et al. 2006). Η περιοχή Μακράν (στο Πακιστάν) είναι αυτή που επηρεάζει τεκτονικά την περιοχή μελέτης. Η σύγκρουση Ηπείρου/Ηπείρου μεταξύ του Ομάν/Μακράν δεν έχει συμβεί ακόμα.

4.6. Σεισμολογικά δεδομένα

Οι πιο καταστροφικοί σεισμοί που συνέβησαν στο Σουλτανάτο του Ομάν είναι ιστορικοί. Εκτείνονται πίσω στο 879 μ.Χ. και περιλαμβάνουν γεγονότα που συνέβησαν κοντά στην περιοχή του Sohar του 879 μ.Χ. (Ambraseys et al. 1994), τον σεισμό που χτύπησε το Qalhat/ Καλχάτ στο βόρειο Ομάν το 1483 (Ambraseys et al. 1994) και τον καταστρεπτικό σεισμό του 1883 στην νότια περιοχή των βουνών της Muscat/Μουσκάτ και της Nizwa που κατέστρεψε 9 χωριά και παρατηρήθηκε εδαφική παραμόρφωση (Ambraseys et al. 1994). Δύο σεισμοί μεγέθους 4.5 και 5.1 κλίμακας Ριχτερ συνέβησαν στις 10 και 11 Μαρτίου του 2002 και έγιναν αισθητοί στο βόρειο Ομάν και στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα.

Το Ομάν καταλαμβάνει το νότιο-ανατολικό μέρος της Αραβικής πλάκας, η οποία περιβάλλεται από σχετικά υψηλές τεκτονικές ζώνες με αποτέλεσμα να υπάρχει μια τάση προς σεισμικές δραστηριότητες αλλά σε χαμηλό ρυθμό. Συναντώνται τέσσερα διαφορετικά τεκτονικά περιβάλλοντα που προκαλούν και σχετικούς σεισμούς:

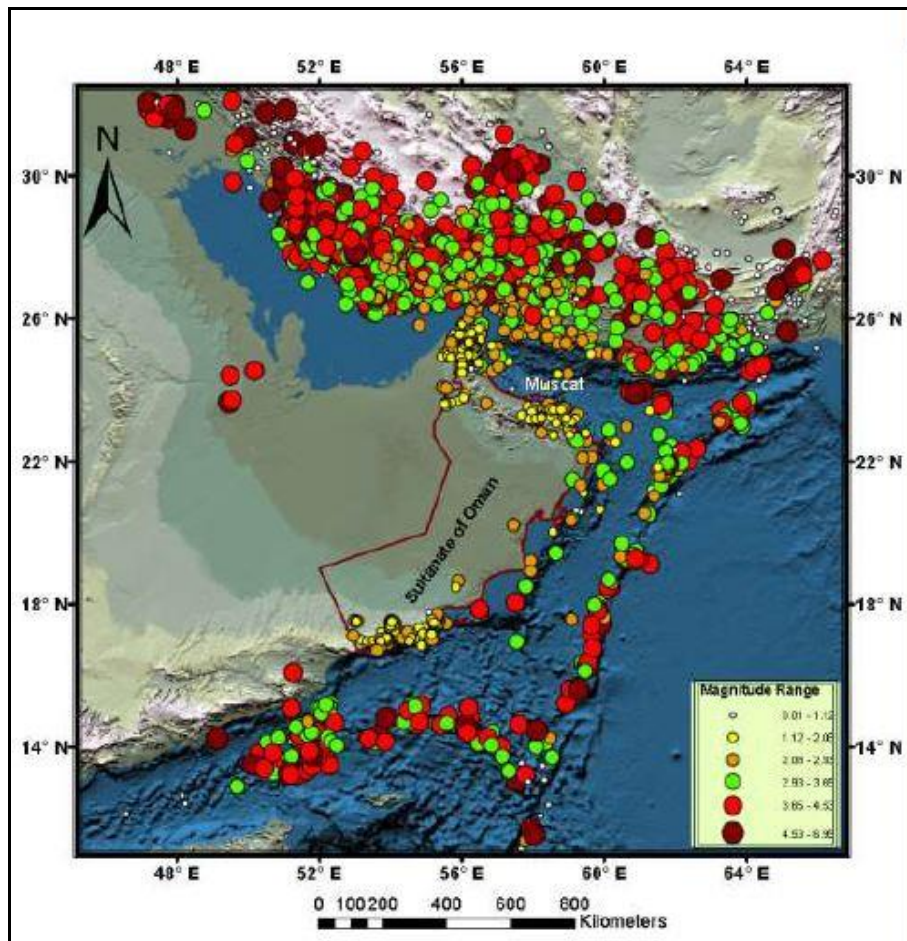
- Σεισμοί της ζώνης επώθησης/obduction zone (Ζώνη πτύχωσης και ώθησης του Zagros/Ζάγκρος)
- Σεισμοί ζώνης υποβύθισης/subduction zone (Ζώνη υποβύθισης Makran /Μακράν)
- Σεισμοί κανονικοί και μετασχηματισμού strike-slip (Ζώνη Owen και του Κόλπου του Άντεν)
- Σταθερή σεισμικότητα της Αραβικής σταθερής κρατονικής μάζας



Εικόνα 7: Κύρια τεκτονικά στοιχεία που περιβάλλουν την Αραβική πλάκα.

Πηγή: (Johnson, 1998)

Το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής δραστηριότητας περιορίζεται στα όρια της Αραβικής πλάκας και με εξαίρεση των σεισμών στα Βουνά του Ομάν και γενικά στο βορειοανατολικό μέρος της χώρας όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες σεισμικές κινήσεις, οι κυριότερες πηγές σεισμών βρίσκονται εκτός της χώρας. Συνεπώς, από άποψη καταγεγραμμένης με όργανα σεισμικότητας, το Ομάν παρουσιάζεται ως ασεισμικό, όμως οι ιστορικοί σεισμοί υποδηλώνουν ότι υπάρχουν πιθανοί σοβαροί σεισμικοί κίνδυνοι μέσα στα όρια του Ομάν και πρέπει να ερευνηθεί αυτή η πιθανότητα για αποφυγή μελλοντικών σεισμικών κινδύνων. Οι περισσότεροι σεισμοί συμβαίνουν στην ζώνη Zagros, στην θάλασσα του Ομάν, στην ζώνη ρηγμάτωσης του Owen και στον κόλπο του Άντεν.



Εικόνα 8: Σεισμική δραστηριότητα του Ομάν και των γύρω περιοχών κατηγοριοποιημένες ανάλογα με την ένταση σε κλίμακα Ρίχτερ.

Πηγή: Από την μελέτη «Probabilistic seismic hazard maps for the sultanate of Oman. *Natural hazards*» El-Hussain I., et al. 2012.

Τα σεισμο-τεκτονικά χαρακτηριστικά των ενεργών περιοχών που μπορεί να επηρεάσουν το Ομάν αναφέρονται περιληπτικά παρακάτω:

Τα Βουνά του Ομάν που βρίσκονται στο βόρειο Ομάν, παρουσιάζουν πολλά χαρακτηριστικά που συνάδουν με την ενεργή τεκτονική (Kusky et al. 2005). Σε συνδυασμό με ενδείξεις πεδίου για πεδία ενεργών ρηγμάτων, είναι παρόν ενδείξεις για σεισμική δραστηριότητα (Ambraseys et al. 1994; Kusky et al. 2005).

Η σεισμική δραστηριότητα κατά μήκος της ζώνης πτύχωσης και ώθησης της ζώνης του Zagros είναι σχετικά υψηλή. Αυτή η δραστηριότητα συμβαίνει σε μια ευρεία σεισμογενή ζώνη, που υποδεικνύει ότι το όριο των πλακών είναι μια ζώνη παραμόρφωσης αντί για μια ευθεία γραμμή, όπου παρατηρούνται σεισμοί μέτριας προς μεγάλης έντασης.

Μια δεξιά πλευρική διάτμηση με κατευθύνσεις Βόρεια-Νότια βρίσκεται ανάμεσα στο κεντρικό Ιράν και στο Αφγανιστάν και εκφράζεται σε κύρια συστήματα ρηγμάτων με Β-Ν δεξιά πλευρική διάτμηση , από τα οποία το πιο ενεργό είναι το ρήγμα του Gowk. Σε αυτό το ρήγμα παρατηρούνται πολύ σεισμοί μέτριας προς δυνατής έντασης, με την μεγαλύτερη ένταση να φτάνει αυτή των 8.0 κλίμακας Ρίχτερ (Berberian and Yeates, 1999).

Στην ζώνη υποβύθισης του Makran/Μακράν συνέβη σεισμός έντασης 8.1 κλίμακας Ρίχτερ στις 28 Νοεμβρίου του 1945, ο οποίος προκάλεσε ένα τσουναμογενές συμβάν που σκότωσε 4.000 ανθρώπους σύμφωνα με τον Dunbar et al. (2002) και περίπου 300 σύμφωνα με τους Ambraseys και Melville (1982). Το τσουνάμι καταγράφηκε στις ακτές του Ιράν και της Μουσκάτ-πρωτεύουσας του Ομάν. Εκτός από μια εξαίρεση, όλοι οι μεγάλοι σεισμοί έχουν καταγραφεί ότι συνέβησαν στο ανατολικό κομμάτι της ζώνης Makran/Μακράν, ενώ γενικά παρατηρείται από την βιβλιογραφία ότι υπάρχει διαχωρισμός του ανατολικού με το δυτικό κομμάτι της ζώνης αυτής.

Στη μεταβατική ζώνη μεταξύ του Zagros και Makran στεγάζονται δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων: το Minab-Zendan (MZFS) και Jiroft-Sabzevaran (JSFS). Σε σύγκριση με τα κύρια περιθώρια του Zagros και Makran, αυτά τα δύο συστήματα ρηγμάτων δεν έχουν την ίδια σεισμογενή δυνατότητα. Παρόλα αυτά όμως η εγγύτητα τους σε σημεία μέσα στο βορειοανατολικό Ομάν σημαίνει ότι μπορεί να συμβάλλουν στον σεισμικό κίνδυνο των περιοχών αυτών, συμπεριλαμβανομένης και της περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα ρηγμάτων του Minab-Zendan είναι πολύ πιθανό να βρίσκεται στο τέλος του σεισμικού του κύκλου και ταυτόχρονα ο Peyret et al. (2009) υποστηρίζουν ότι ο σεισμικός κίνδυνος αυτής της ζώνης είναι υψηλός και ότι ένας σεισμός έντασης κοντά στα 7.0 Ρίχτερ εκκρεμεί .

Η ζώνη ρηγμάτωσης του Owen είναι ένα ρήγμα μετασχηματισμού 1,100 χλμ που διαχωρίζει την Αραβική πλάκα από την Ινδική. Η Ινδική και η Αραβική πλάκα συγκρούονται με την νότια πλευρά της Ευρασίας αλλά η Αραβική πλάκα κινείται ελαφρώς γρηγορότερα από την Ινδική. Η σεισμικότητα του ρήγματος Owen αλλάζει στο βόρειο κομμάτι που συμπίπτει με το ύψωμα Murray (ridge).

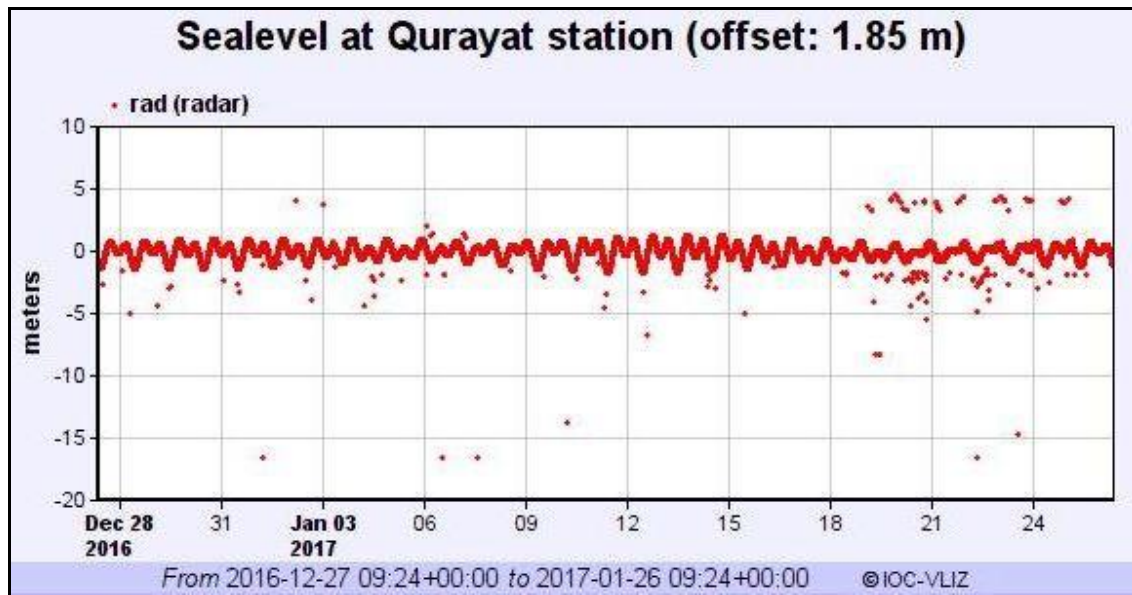
4.7. Παλίρροιες

Το φυσικό φαινόμενο της περιοδικής ανόδου και καθόδου της στάθμης του νερού της θάλασσας, κυρίως, ονομάζεται παλίρροια. Η άνοδος της στάθμης ονομάζεται πλημμυρίδα (flood tide), ενώ η κάθοδος ονομάζεται άμπωτη (low tide). Από κοινού, η πλημμυρίδα και η άμπωτη αποτελούν το φαινόμενο της παλίρροιας. Οφείλεται στη βαρυτική έλξη της Σελήνης αλλά και του Ήλιου πάνω στη Γη, καθώς και στην περιστροφή των ουρανίων σωμάτων αυτών και επαναλαμβάνεται δύο φορές το 24ώρο, ακριβέστερα 24 ώρες 50' και 30". Πλήμμη ονομάζεται η φάση της παλίρροιας όπου τα νερά παρουσιάζουν το μεγαλύτερο "ημερήσιο" ύψος (high water) (h/w), ενώ η φάση όπου τα νερά παρουσιάζουν το μικρότερο "ημερήσιο" ύψος λέγεται ρηχία (low water) (l/w). Η υψομετρική διαφορά μεταξύ πλήμμης και ρηχίας ονομάζεται εύρος παλίρροιας (range of tide).

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη για κάθε παλίρροια είναι πέντε:

1. Ο χρόνος παρατήρησης (σε ώρα και πρώτα λεπτά της ώρας)
2. Το ύψος πλήμμης και διάρκεια από μέσο ύψος (ύψος σε μέτρα ή πόδια, χρόνος)
3. Το ύψος ρηχίας και διάρκεια από μέσο ύψος (ύψος σε μέτρα ή πόδια, χρόνος)
4. Το ύψος της μέσης στάθμης, (σε μέτρα ή πόδια)
5. Το εύρος της παλίρροιας.

Ο Παλιρροιογράφος (tide gauge) είναι ένα αυτογραφικό παλιρροιομετρικό όργανο όπου καταγράφεται σε συνεχή καμπύλη η μεταβολή του ύψους της επιφάνειας της θάλασσας που προέρχεται από παλίρροια. Το παλιρροιόγραμμα είναι η καμπύλη που καταγράφεται στο παλιρροιογράφημα, από την ειδική ακίδα, που περιέχει τις διάφορες τιμές - θέσεις της στάθμης της θάλασσας από το σημείο αναφοράς.



Διάγραμμα 1: Παλιρροιόγραμμα περιόδου 30 ημερών από τις 27-12-2016 έως 26-01-2017. Λήφθηκε από τον παλιρροιογράφο του σταθμού Qurayat από την υπηρεσία SEA LEVEL STATION MONITORING FACILITY. Οι σταθμοί που βρίσκονται στον θαλάσσιο χώρο του Ομάν παρακολουθούνται από το Directorate General Meteorology and Air Navigation (Oman). Available at <http://ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=qura> [Accessed 26 January 2017]

Το παραπάνω παλιρροιόγραμμα είναι η καμπύλη των τιμών - θέσεων της στάθμης της θάλασσας που καταγράφηκαν στο παλιρροιογράφο του σταθμού Qurayat, ο οποίος βρίσκεται στην πόλη του Quriyat, πλησίον της περιοχής μελέτης.

Η περίοδος καταγραφής είναι 30 ημέρες και από το παλιρροιόγραμμα φαίνεται πως η παλίρροια είναι της τάξης του $\pm 1\text{m}$. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μια αρκετά φυσιολογική τιμή της παλίρροιας για την συγκεκριμένη περιοχή.

5. Αποτελέσματα

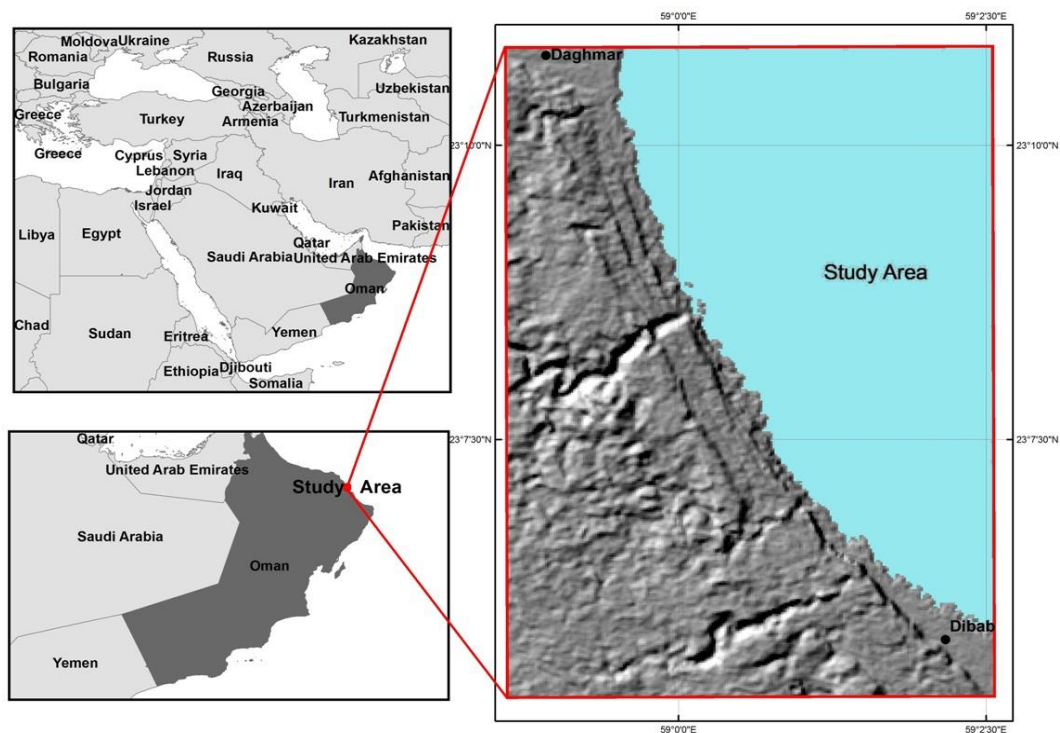
5.1. Κλίμακα εργασίας – Προβολικό σύστημα

Το πρώτο και πιο σημαντικό στάδιο οποιασδήποτε χαρτογραφικής απόδοσης είναι ο καθορισμός της κλίμακας εργασίας. Για την γεωμορφολογική χαρτογράφηση είναι πολύ σημαντική η επιλογή της χαρτογραφικής κλίμακας πάνω στην οποία θα βασιστεί ο βαθμός της ανάλυσης, η αποτύπωση των γεωμορφών και ο τρόπος απεικόνισής τους ώστε να αποτυπωθούν οι στόχοι και τα αποτελέσματα της έρευνας.

Για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, επιλέχθηκε η κλίμακα 1:25.000, μια σχετικά μεγάλη κλίμακα εργασίας. Το προβολικό σύστημα το οποίο προτιμήθηκε ήταν το GCS_WGS_1984, το οποίο πρόκειται για ένα παγκόσμιο προβολικό σύστημα, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή γεωμορφολογικών χαρτών. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ASTER_GDEM) καθώς τα δεδομένα GPS έχουν το ίδιο προβολικό σύστημα οπότε δεν χρειάστηκε κάποιος μετασχηματισμός, εκτός μόνο από τα γεωλογικά δεδομένα (υπό μορφή shapefile) που ήταν στο προβολικό σύστημα PDO_1993_UTM_Zone_40N και μετασχηματίστηκαν.

5.2. Οριοθέτηση περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στην παράκτια περιοχή του Ομάν. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετείται μεταξύ των μικρών χωριών Daghamar και Dibab, ενώ η απόσταση μεταξύ τους είναι 38 χλμ, με έναν προσανατολισμό B-BA (N-NA). Το χωριό Daghamar απέχει από την Μουσκάτ, την πρωτεύουσα του Ομάν, 116 χλμ. Η οριζόντια χιλιομετρική απόσταση της παράκτιας περιοχής μελέτης μεταξύ Daghamar – Dibab είναι περίπου 10 χλμ, σύμφωνα με την μέτρηση που δίνει το πρόγραμμα του Google Earth.



Εικόνα 9: Οριοθετημένη περιοχή μελέτης - Location Map

Πηγή: Ιδία επεξεργασία



Εικόνα 10: Οριοθετημένη ευρύτερη περιοχή μελέτης στο Google Earth

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

5.3. Δημιουργία Χαρτογραφικών Υποβάθρων

5.3.1 Δημιουργία ψηφιδωτών επιπέδων Raster

5.3.1.1. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM)

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Digital Elevation Model) αποτελούν μια συνεχή αναπαράσταση των τιμών του υψομέτρου για μια τοπογραφική επιφάνεια με διατάξεις των τιμών z, τα οποία μετρώνται από κάποιο σημείο αναφοράς.
(Χαλκιάς, 2006)

Τα ονόματα των δύο αρχείων ASTER GLOBAL DEM που έγινε η λήψη τους από την ιστοσελίδα USGS Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), είναι (Entity ID) : ASTGDEM2_0N23E059 και ASTGDEM2_0N23E059. Πρέπει να αναφερθεί ότι το ASTER GDEM είναι ένα προϊόν της METI (Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan) και NASA (United States National Aeronautics and Space Administration). Η χωρική διακριτική ικανότητα της εικόνας είναι 30m*30m

Για να αξιοποιηθούν τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους και να παραχθούν τα αυτοματοποιημένα επίπεδα κλίσεων, έκθεσης και σκίασης αναγλύφου, χρειάστηκε να δημιουργηθεί ένα ενιαίο αρχείο το οποίο θα εμπεριέχει την πληροφορία όλων των ψηφιακών μοντέλων της περιοχής μελέτης. Η δημιουργία αυτού του αρχείου πραγματοποιείται εύκολα μέσα από την εντολή Mosaic To A New Raster :

ArcToolbox > Data Management Tools > Raster > Raster Dataset > Mosaic To A New Raster

Το ‘Mosaic To A New Raster’ αποτελεί μια εντολή που ενώνει δύο ή περισσότερα ψηφιδωτά επίπεδα σε ένα ενιαίο αρχείο, όπου όλα τα δεδομένα φέρουν τα ίδια χαρακτηριστικά και συνήθως χρησιμοποιείται για την συγχώνευση αρχείων DEM, αεροφωτογραφιών και γειτονικών δορυφορικών εικόνων.

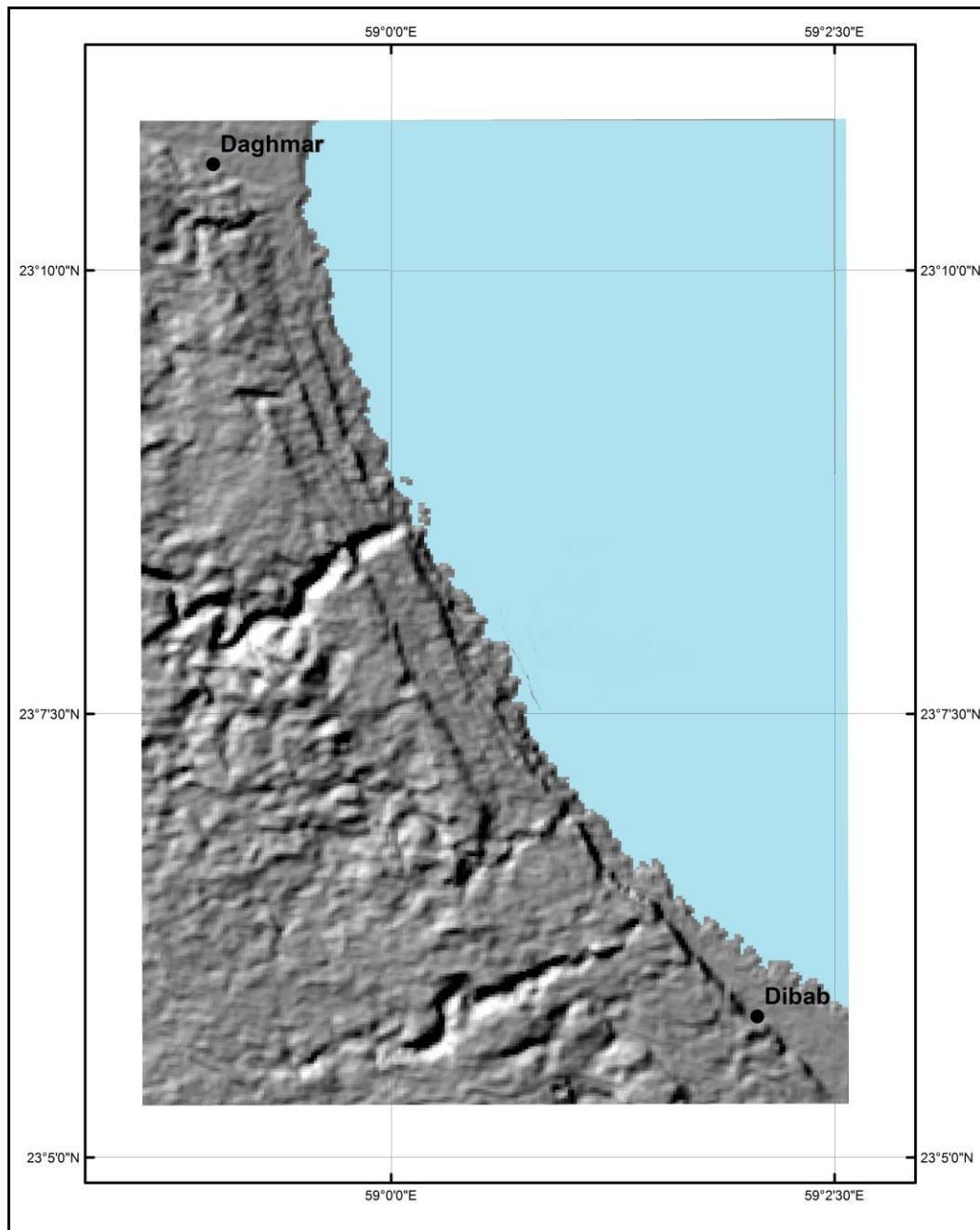
Συνεπώς, εισήχθησαν τα DEM της περιοχής και ως προβολικό σύστημα ορίστηκε το CGS_WGS_1984. Το αρχείο που προέκυψε αποτέλεσε το ενιαίο DEM πάνω στην οποία εκπονήθηκε η εργασία και για την δημιουργία των υπολοίπων ψηφιδωτών επιπέδων (slope, aspect, hillshade) και διανυσματικών επιπέδων (ισοϋψείς, ακτογραμμή).

5.3.1.2. Μοντέλο Σκίασης Αναγλύφου – Hillshade

Το μοντέλο σκίασης αναγλύφου έχει ως στόχο την προσομοίωση του αποτελέσματος που έχει η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στην γήινη επιφάνεια. Συνήθως, υπολογίζεται με τον ήλιο να τοποθετείται σε αζιμούθιο 315° και σε ύψος 45° από τον ορίζοντα, καθώς έχει αποδειχθεί πως με αυτές τις τιμές αζιμουθίου και ύψους, το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται καλύτερα το ανάγλυφο. (Χαλκιάς, 2006)

Οι τιμές που λαμβάνει είναι μεταξύ 0 – 254, αντιστοιχεί από το πιο σκοτεινό έως το πιο φωτεινό εικονοστοιχείο. Ένα μοντέλο σκίασης αναγλύφου βοηθάει σημαντικά στην ανάκτηση πληροφοριών για την τοπογραφία μιας περιοχής, καθώς δίνει την εικόνα μιας τρισδιάστατης αναπαράστασης του αναγλύφου.

Για την δημιουργία του, ως αρχείο εισόδου χρησιμοποιήθηκε το ενιαίο DEM της περιοχής και το μοντέλο σκίασης του αναγλύφου έλαβε ως προβολικό σύστημα και μέγεθος ψηφίδας αυτό του DEM (CGS_WGS_1984). Επιπλέον επιλέχθηκε ως mask και extent, το shapefile με το πλαίσιο της περιοχής μελέτης έτσι ώστε να δημιουργηθούν τα θεματικά επίπεδα με τις πληροφορίες τους μόνο μέσα στο πλαίσιο της περιοχής.



Εικόνα 11: Μοντέλο σκίασης αναγλύφου - Hillshade Map
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

5.3.1.3. Μοντέλο Έκθεσης / Προσανατολισμού Αναγλύφου – Aspect

Το επίπεδο του προσανατολισμού ή έκθεσης, ορίζεται μέσα από την κεκλιμένη κλίση μιας επιφάνειας η οποία μετριέται συνήθως σε μοίρες δεξιόστροφα από την διεύθυνση του Βορρά. (Χαλκιάς, 2006)

Προκύπτει μέσα από την μαθηματική εξίσωση:

$$\alpha = 180^\circ - \arctan\left(\frac{f_y}{f_x}\right) + 90\left(\frac{f_x}{|f_x|}\right),$$

Στα πλαίσια μιας γεωμορφολογικής μελέτης χρησιμοποιείται για την διεξαγωγή μορφογραφικών πληροφοριών, όπως είναι η διεύθυνση των γεωμορφών (επιφανειών) που μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για την πορεία των γεωμορφών. Επιπλέον είναι χρήσιμο για τον εντοπισμό των επιφανειών επιπέδωσης ή αναβαθμίδων, ειδικά στην περιοχή μελέτης που γνωρίζουμε ότι υπάρχουν, καθώς και τοπογραφικών μεταβολών οι οποίες προκύπτουν μέσα από την μεταβολή του προσανατολισμού και μπορούν να συνδεθούν με τον εντοπισμό και την κατεύθυνση των ρηγμάτων. Όλα τα παραπάνω αποτελούν μερικές από τις σημαντικότερες εφαρμογές του μοντέλου έκθεσης στο γνωστικό αντικείμενο της γεωμορφολογίας. (Jordan et al., 2005)

Για την δημιουργία του, ως αρχείο εισόδου χρησιμοποιήθηκε το ενιαίο DEM της περιοχής και το μοντέλο έκθεσης του αναγλύφου έλαβε ως προβολικό σύστημα και μέγεθος ψηφίδας αυτό του DEM (CGS_WGS_1984). Το θεματικό επίπεδο που προέκυψε, ταξινομήθηκε αρχικά με εννέα κλάσεις εύρους ανά 45° που αντιστοιχούν στα σημεία του ορίζοντα σύμφωνα πάντα με την βιβλιογραφία και το αυτοματοποιημένο αποτέλεσμα της εντολής.

Οι κλάσεις ήταν οι εξής:

0° – 45° : Βορειοανατολικά
45° – 90° : Ανατολικά
90° – 135° : Νοτιοανατολικά
135° – 180° : Νότια
180° – 225° : Νοτιοδυτικά
225° – 270° : Δυτικά
270° – 315° : Βορειοδυτικά
315° – 360° : Βόρεια

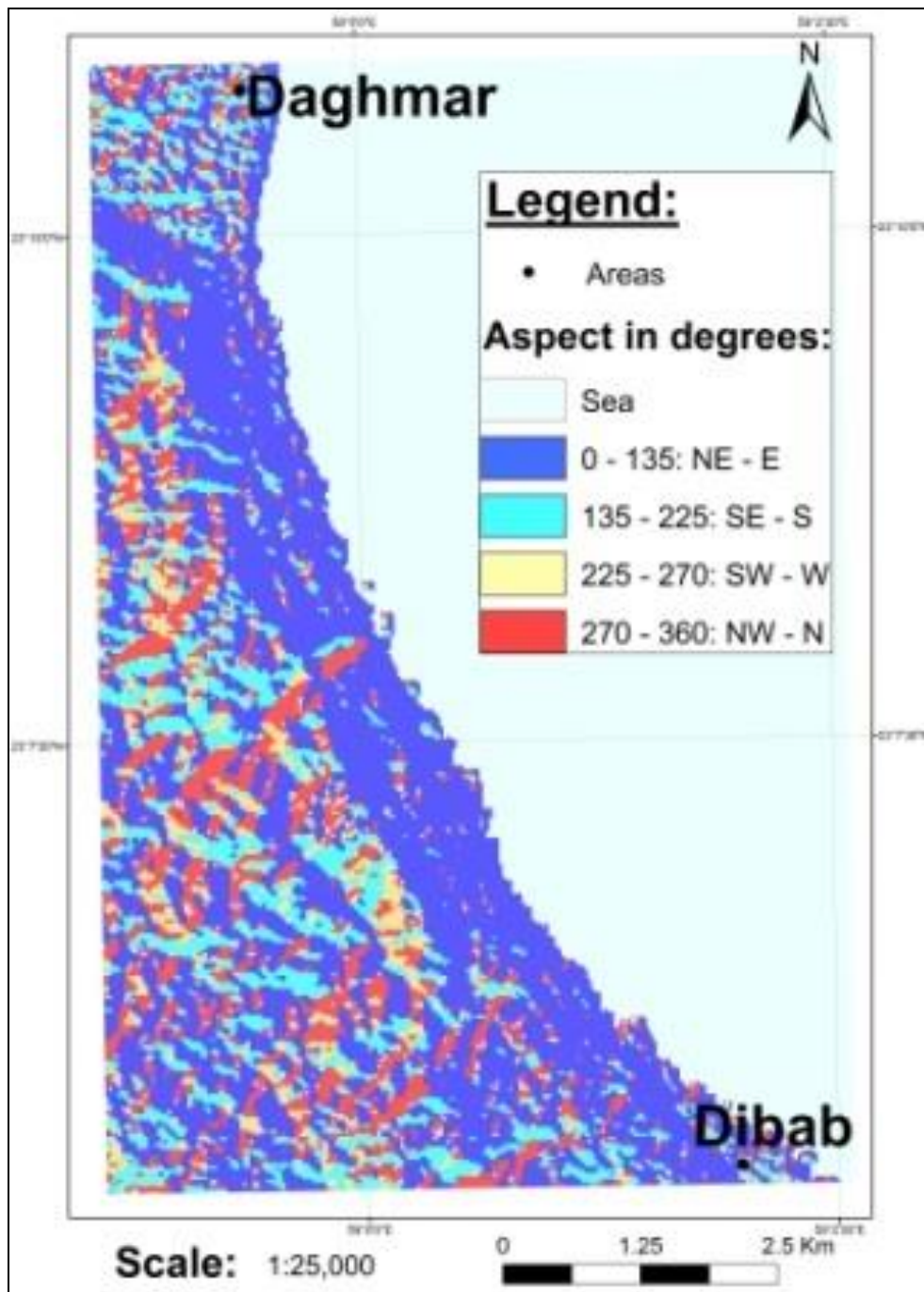
Όμως το αποτέλεσμα ήταν ένας δυσανάγνωστος χάρτης έκθεσης λόγω του ότι η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε ένα ερημικό περιβάλλον και η επιφάνεια της είναι γεμάτη με διαφορετικούς προσανατολισμούς κυρίως λόγω έντονης αποσάθρωσης των πετρωμάτων. Συνεπώς, μετά από δοκιμές με τους αριθμούς κλάσεων και διαφόρων καταμερισμών των εύρων των τιμών, το μοντέλο κατέληξε με τις εξής τέσσερις κλάσεις:

0° – 135° : Βορειοανατολικά - Ανατολικά

135° – 225° : Νοτιοανατολικά - Νότια

225° – 270° : Νοτιοδυτικά – Δυτικά

270° – 360° : Βορειοδυτικά - Βόρεια



Εικόνα 12: Μοντέλο προσανατολισμού αναγλύφου - Aspect Map

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Όπως παρατηρείται και από τον παραπάνω χάρτη, οι τεκτονικές αναβαθμίδες και η επιφάνεια επιπέδωσης έχουν κύριο προσανατολισμό BA-A (NE-E). Ο ίδιος προσανατολισμός συνεχίζει κατά μήκος της περιοχής Dibab ακριβώς πίσω από το μικρό δελταϊκό ριπίδιο. Στις περιοχές των Wadi και κατά μήκος των κοιλάδων σχήματος V, παρατηρείται κύριος προσανατολισμός NA-A (SE-E) και BΔ-B (NW-W)

5.3.1.4. Μοντέλο Κλίσεων Αναγλύφου – Slope

Το θεματικό επίπεδο των κλίσεων εκφράζει το ρυθμό μεταβολής της τιμής του υψομέτρου, ο οποίος υπολογίζεται σε μοίρες ή επί τις εκατό. Αποτελεί ίσως το σημαντικότερο παράγωγο από το DEM, καθώς χρησιμοποιείται ως βασικό κριτήριο ανίχνευσης γεωμορφών (Siart et al., 2009).

Ο χάρτης κλίσεων ταξινομήθηκε σε πέντε κλάσεις, έπειτα από δοκιμές, ώστε να αναδειχθούν καλύτερα τα χαρακτηριστικά της περιοχής και να ανιχνευτούν οι γεωμορφές, σύμφωνα με τις κλίσεις που εμφανίζονται και με βάση την συχνότητά τους. Οι ταξινομημένες κλάσεις των κλίσεων του εδάφους σε μοίρες ήταν οι εξής:

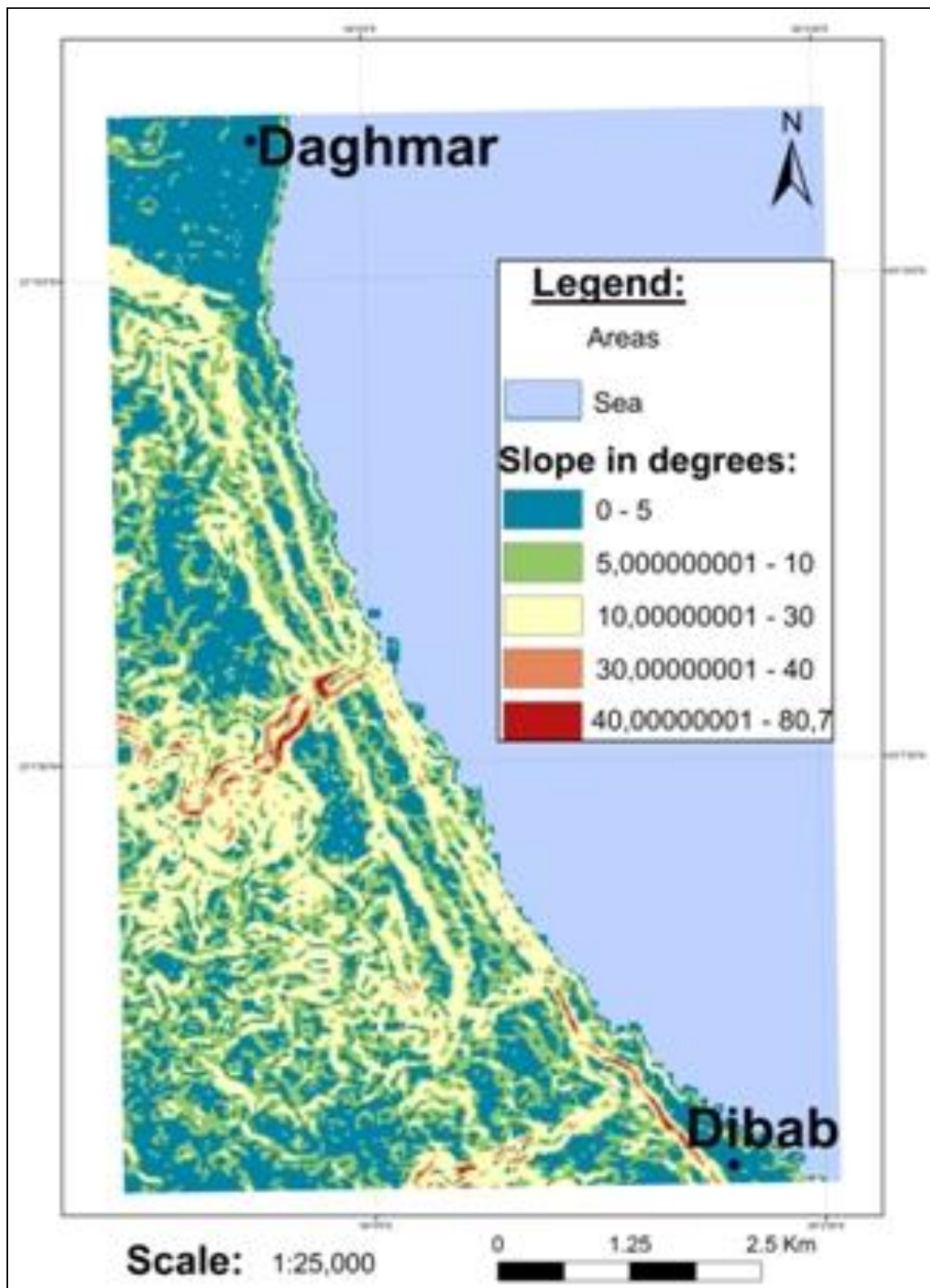
0° – 5°

5° – 10°

10° – 30°

30° – 40°

40° – 80°



Εικόνα 13: Μοντέλο κλίσεων αναγλύφου - Slope Map
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Σε γενικές γραμμές ο χάρτης κλίσεων είναι η πρώτη εικόνα για την ένδειξη πιθανών γεωμορφών σε μια περιοχή. Στην περιοχή μελέτης συναντάται ένα διαταραγμένο ανάγλυφο, με εμφανείς τους κρημνούς των αναβαθμίδων κλίσεων 10 έως 30 μοιρών και κατά τόπους και έως 40 μοιρών. Η επιφάνεια των αναβαθμίδων χαρακτηρίζεται σχεδόν επίπεδη με κλίσεις από 0 έως 5 μοίρες και κατά τόπους έως 10 μοίρες. Στα σημεία που συναντώνται κλίσεις μεγαλύτερες των 30 μοιρών, διαγράφονται μέρη που έχουν υποστεί κατά βάθος διάβρωση λόγω διέλευσης υδρογραφικού δικτύου (κυρίως εποχικού), ειδικά στο Big Wadi. Επιπροσθέτως, στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης ακριβώς πίσω από την αρχή της παραλίας της Dibab, παρατηρούνται απότομες κλιθείς άνω των 30 μοιρών, που αντιστοιχούν στον κρημό που συναντήθηκε κατά την διάρκεια μελέτης πεδίου.

Ακολουθεί η σχετική φωτογραφία που τραβήχτηκε κατά την διάρκεια της μελέτης πεδίου.



Εικόνα 14: Απότομος κρημνός στην αρχή της παραλίας στην Dibab
Πηγή: Ιδία λήψη φωτογραφίας

5.3.2 Δημιουργία διανυσματικών επιπέδων Vector

5.3.2.1. Ισοϋψείς καμπύλες

Όπως αναφέρθηκε ήδη στο 3 κεφάλαιο της παρούσης εργασίας, η δημιουργία των ισοϋψών καμπυλών προέκυψε από το DEM της περιοχής μέσω της αυτοματοποιημένης διαδικασίας στο ArcMap για την παραγωγή ισοψών καμπυλών.

Οι ισοϋψείς καμπύλες πρόκειται για δείκτες υψομέτρου και έχουν ισοδιάσταση 20μ.

5.3.2.2. Υδρογραφικό δίκτυο

Αρχικά λόγω εξαιρετικής εποχικότητας βροχοπτώσεων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης δεν συναντάται μόνιμη ροή νερού, λόγω κλίματος – ερημικό περιβάλλον, παρά μόνο με ξαφνική και σπάνια έντονη βροχόπτωση. Στην περιοχή εντοπίστηκαν ξηρές κοιλάδες, τα λεγόμενα Wadi. Σχηματίζονται από το νερό αλλά διακρίνονται από τις ποτάμιες κοιλάδες ή τα ρέματα διότι στα Wadi, το επιφανειακό νερό είναι εξαιρετικά εποχικό και εφήμερο. Είναι ξερά καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου με εξαίρεση όταν βρέχει και συνήθως η ξαφνική αυτή βροχή οδηγεί σε πλημμύρες, τα λεγόμενα flashfloods. Ως αποτέλεσμα, η ψηφιοποίηση του εποχικού υδρογραφικού δικτύου της περιοχής έγινε συνδυαστικά από τις ισοϋψείς και με την εισαγωγή του Basemap στην εφαρμογή του ArcMap.

5.3.2.3. Ακτογραμμή

Μέσω της αυτοματοποιημένης εντολής επιλογής Definition Query στο ArcMap, εξήχθηκε η ακτογραμμή από τις ισοψείς με την τιμή μηδέν (0). Χρειάστηκε να γίνουν χειροκίνητες επεμβάσεις μέσω ψηφιοποίησης στην αυτοματοποιημένη ακτογραμμή λόγω αστοχιών του DEM, έτσι ώστε να μην υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις με τα όρια των λιθολογικών σχηματισμών.

5.3.2.4. Γεωλογία - Λιθολογία

Τα πετρώματα που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης αναλυτικά είναι:

- ασβεστόλιθοι (limestones)
- μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (marly limestones)
- ασβεστόλιθοι και μάργες (limestones and marls)
- ασβεστόλιθοι με χαλαζιακούς ψαμμίτες (limestones, quartz sandstone)

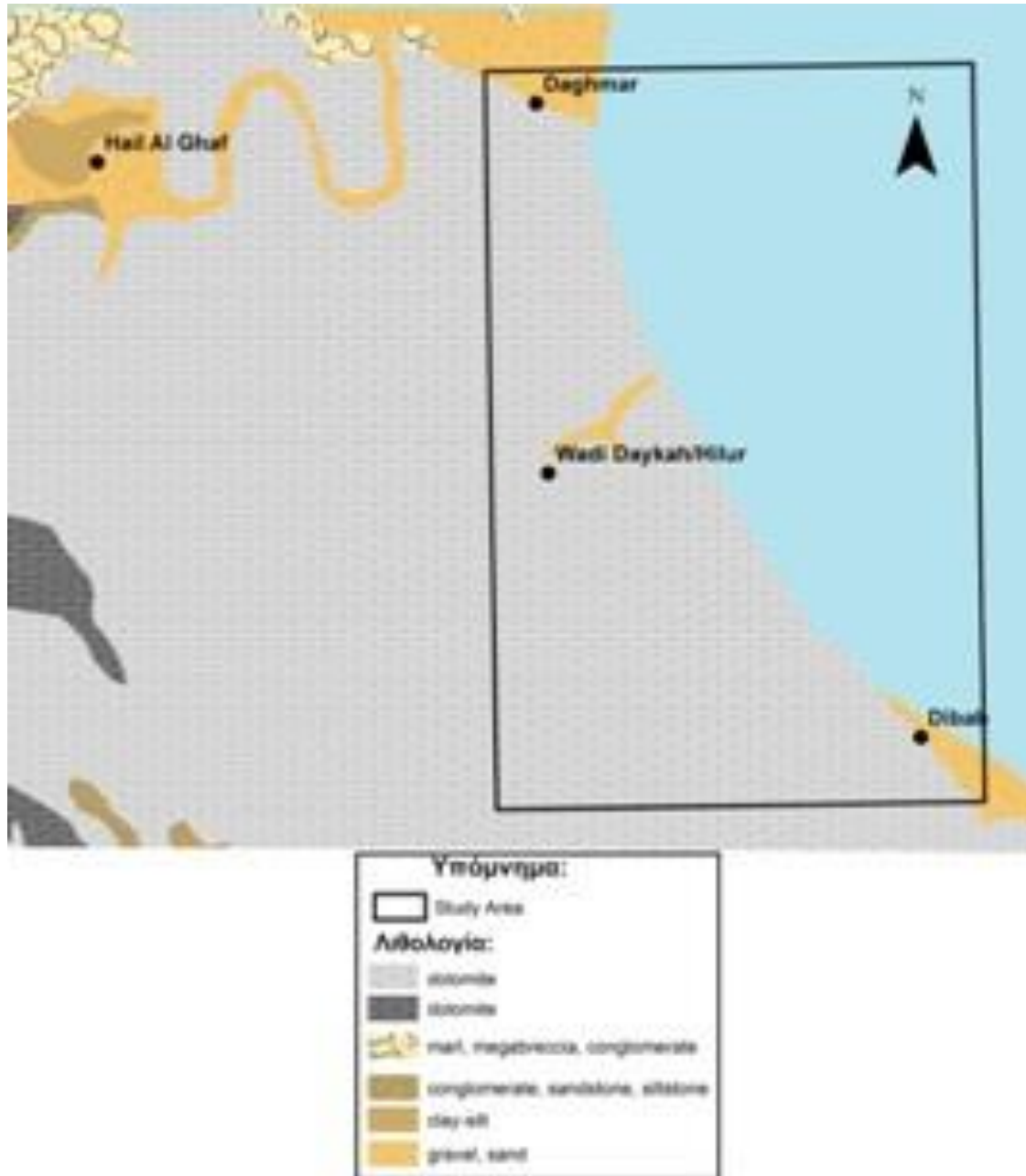
- ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι (shaly limestone)
- μάργες, μεγαλοτυποπαγή, κροκαλοπαγή (marl, megabreccia, conglomerate)
- δολομίτες (dolomites)
- κροκαλοπαγή ψαμμίτη και ιλυόλιθου (conglomerate, sandstone and siltstone)
- μη-συνεκτικά κροκαλοπαγή από χαλίκια και άμμο (uncemented conglomerate, gravel, sand)
- χαλίκια και άμμος (gravel and sand)
- άμμος (sand)
- αργιλώδης λάσπη (clay, silt)

Πραγματοποιήθηκε απλούστευση, όπου ήταν δυνατόν, λόγω αρκετών παραπλήσιων κατηγοριών πετρωμάτων. Ενοποιήθηκαν σε μία κατηγορία όλοι οι ασβεστόλιθοι διότι, στην κλίμακα εργασίας που επιλέχθηκε, όλοι οι τύποι ασβεστόλιθων αντιδρούν με τον ίδιο τρόπο στις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή και κυρίως στις διεργασίες αποσάθρωσης. Σε μία άλλη κατηγορία ενοποιήθηκαν τα μη-συνεκτικά κροκαλοπαγή και τέλος ενοποιήθηκαν τα χαλίκια και η άμμος. Συνεπώς η τελική λιθολογία της ευρύτερης περιοχής αποτελείται από:

- δολομίτες
- ασβεστόλιθους
- μεγαλοτυποπαγείς και κροκαλοπαγείς μάργες
- κροκαλοπαγή ψαμμίτη και ιλυόλιθου
- αργιλώδης λάσπη
- χαλίκια και άμμο

Οι Καινοζωικού αιώνα ασβεστόλιθοι που συναντώνται στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης σχηματίστηκαν κατά την διάρκεια της Παλαιογενούς περιόδου. Στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης οι ασβεστόλιθοι αυτοί σχηματίστηκαν πιο συγκεκριμένα τέλη Παλαιόκαινου – αρχές Ηώκαινου, ενώ μόνο σε ένα μέρος στο κέντρο της περιοχής σχηματίστηκαν στα τέλη Ηώκαινου – αρχές Ολιγόκαινου.

Παρακάτω ακολουθεί ο χάρτης της λιθολογίας της ευρύτερης περιοχής και τα πετρώματα που συναντώνται στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης (στο μαύρο πλαίσιο) τα οποία είναι δολομίτες και χαλίκια-άμμος.



Εικόνα 15:Λιθολογία ευρύτερης & συγκεκριμένης περιοχής μελέτης.
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

5.4. Εργασία Πεδίου – Δειγματοληψίες – Χρονολογήσεις

Η εργασία πεδίου πραγματοποιήθηκε στην περιοχή μεταξύ Daghamar-Dibab και το χαρακτηριστικό γνώρισμα της περιοχής αυτής είναι μια σειρά από τεκτονικές αναβαθμίδες.

Κατά την διάρκεια της εργασίας πεδίου, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία πεδίου με χρήση γεωλογικού σφυριού, τα οποία τοποθετήθηκαν σε σακούλες δειγματοληψίας και τους δόθηκε ονομασία. Ακολούθησε καθαρισμός και μεταφορά στο εργαστήριο BETA Analytic – Radiocarbon Dating, όπου δύο από τα δείγματα, δειγματολήφθηκαν εκ νέου για ^{14}C .

Αρχικά, δύο από τα πιο πιθανώς αντιπροσωπευτικά δείγματα για την περιοχή μελέτης στάλθηκαν για ραδιοχρονολόγηση ^{14}C , η οποία είναι ραδιομετρική μέθοδος χρονολόγησης με τη χρήση του ραδιενεργού άνθρακα ^{14}C .

Κοντά στην ασβεστολιθική κρημνώδη ακτή στην περιοχή Dibab, βρέθηκε ενδιάστρωση παράκτιων αποθέσεων μέσα σε (ασβεστοποιημένο ψαμμίτη) αιολιανίτη. Στο στρώμα του αιολιανίτη, εντοπίστηκε απολίθωμα ελασματοβράγχιου διθύρου, όπου και λήφθηκε δείγμα για χρονολόγηση ^{14}C . Το αποτέλεσμα της χρονολόγησης έδειξε πως το δείγμα αυτό χρονολογείται 15.000 με 17.000 χρόνια πριν από σήμερα, δηλαδή κατά την εποχή του ανώτερου Πλειστόκαινου.



Εικόνα 16: Δείγμα Dibab-1

Πηγή: Ιδία λήψη φωτογραφίας

Το δεύτερο δείγμα που στάλθηκε για ραδιοχρονολόγηση ^{14}C λήφθηκε από την πρώτη αναβαθμίδα της περιοχής μελέτης, σε σημείο λίγο πριν την εξαφάνιση της. Πρόκειται για σημείο με συνεκτικά κροκαλοπαγή, διαφόρων διαμέτρων κροκάλων, όπου το συνδετικό υλικό έχει ένα ελαφρώς κοκκινωπό χρώμα και κατά θέσεις συναντήθηκαν θαλάσσια απολιθώματα (γαστερόποδα και δίθυρα).

Το αποτέλεσμα της χρονολόγησης έδειξε πως το δείγμα αυτό χρονολογείται περίπου 38.000 με 40.000 χρόνια πριν από σήμερα, επίσης κατά την εποχή του ανώτερου Πλειστόκαινου.



Εικόνα 17: Δείγμα Dag-8

Πηγή: Ιδία λήψη φωτογραφίας

5.5. Ημιαυτοματοποιημένη γεωμορφολογική χαρτογράφηση

Τα βασικά κριτήρια για την αναγνώριση των γεωμορφών ήταν αυτά της λιθολογίας και της κλίσης. Διάφοροι συνδυασμοί των παραπάνω κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Van Asselen et al., 2006).

Γεωμορφές	Κριτήρια
Κρημνοί	$10^{\circ} > \text{Κλίσεις} > 30^{\circ}$ Ασβεστολιθικό υπόβαθρο
Επιφάνειες επιπέδωσης	$\text{Κλίσεις} < 5^{\circ}$ Ασβεστολιθικό υπόβαθρο
Επιφάνειες τεκτονικών αναβαθμίδων	$\text{Κλίσεις} < 10^{\circ}$ Ασβεστολιθικό υπόβαθρο
Φαράγγια	$\text{Κλίσεις} > 30^{\circ}$ Ασβεστολιθικό υπόβαθρο
Κατά βάθος διάβρωση	$10^{\circ} > \text{Κλίσεις} > 30^{\circ}$ Ασβεστολιθικό υπόβαθρο
Αλλουβιακά ριπίδια	$\text{Κλίσεις} < 10^{\circ}$ Αλλουβιακές αποθέσεις
Πλευρικά κορήματα	$\text{Κλίσεις} > 5^{\circ}$ Αλλουβιακές αποθέσεις

Πίνακας 5: Τα κυριότερα κριτήρια πολυκριτηριακής ανάλυσης για τον εντοπισμό γεωμορφών μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Για την αναγνώριση των κρημνών της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ως βασικό κριτήριο οι κλίσεις άνω των 10° μοιρών σε συνδυασμό με την παρουσία ασβεστολιθικού υπόβαθρου. Οι περιοχές σχεδιάστηκαν με την ημι-αυτοματοποιημένη μέθοδο και έχουν επαληθευτεί από δορυφορικές εικόνες και την επιτόπια έρευνα (Παυλόπουλος et al., 2009).

Για να καθοριστεί η επιφάνεια επιπέδωσης χρησιμοποιήθηκαν ως κριτήριο οι κλίσεις αναγλύφου $<5^\circ$ σε συνδυασμό την παρουσία ασβεστολιθικού υπόβαθρου.

Οι παρατηρήσεις της επιτόπιας έρευνας και οι σημειώσεις πεδίου έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία εντοπισμού των περισσότερων γεωμορφών όπως αλλουβιακές αποθέσεις και κορήματα αλλά, ειδικά των επιφανειών των τεκτονικών αναβαθμίδων προκειμένου να επαληθευτούν.

Η μορφή των κοιλάδων, της κατά βάθους διάβρωσης και των φαραγγιών εντοπίστηκε με την συνδυασμένη παρατήρηση των τοπογραφικών χαρτών, του χάρτη κλίσεων και των παρατηρήσεων της μελέτης πεδίου, δεδομένου ότι λόγω ερημικού περιβάλλοντος υπήρχε σχεδόν απουσία βλάστησης προσφέροντας την εύκολη παρατήρηση και εντοπισμό των περισσότερων γεωμορφών .

5.6. Σύνθεση στοιχείων και δεδομένων, παραγωγή γεωμορφολογικού χάρτη

Πρόκειται για το στάδιο της χαρτοσύνθεσης και της παρουσίασης του τελικού χάρτη το οποίο προέκυψε από τη σύνθεση όλων το χαρτογραφικών υποβάθρων που δημιουργήθηκαν και εισήχθησαν στην βάση δεδομένων. Ένας χάρτης για να θεωρείται ορθός και δεκτός από την επιστημονική κοινότητα, θα πρέπει εκτός από την ορθότητα των πληροφοριών που εμπεριέχει, να παρουσιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται κατανοητός και να μπορεί να ανακτηθεί η πληροφορία που φέρει.

Αυτό συχνά επιτυγχάνεται μέσα από την διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης. (Gustavsson et al., 2006)

Στην παρούσα εργασία, οι γεωμορφές ομαδοποιήθηκαν με βάση τις διεργασίες απόθεσης – διάβρωσης - καρστικές και οι συμβολισμοί που χρησιμοποιήθηκαν ανακτήθηκαν από σχετικές δημοσιεύσεις όπως: “A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development” (Gustavsson et al., 2006) και “Mapping Geomorphological Environments” (Pavlopoulos et al., 2009).

Ακολούθησε η τεχνική της πολυκριτηριακής ανάλυση η οποία συνδυάζει δεδομένα από διάφορες πηγές (Τηλεπισκόπηση, GPS, έρευνα πεδίου) και με την χρήση κριτηρίων, που αντλούνται από την βιβλιογραφία αλλά και την δυνατότητα δευτερογενούς χειροκίνητης προσαρμογής τους. Παράχθηκαν τα αυτοματοποιημένα μοντέλα κλίσεων (slope), προσανατολισμού (aspect) και σκίασης αναγλύφου (hillshade) στα οποία πραγματοποιήθηκε έλεγχος της ορθότητας και χειροκίνητη επέμβαση/διόρθωση.

Τα τελικά θεματικά επίπεδα που προέκυψαν ανακτήθηκαν από την βάση δεδομένων και παρουσιάστηκαν με την διαδικασία της χαρτογραφικής υπέρθεσης. Το κατώτερο επίπεδο που χρησιμοποιήθηκε ως χαρτογραφικό υπόβαθρο είναι αυτό της σκίασης του αναγλύφου (hillshade), το οποίο χρησιμοποιήθηκε επίσης ως υπόβαθρο για την παρουσίαση των περισσότερων θεματικών χαρτών της εργασίας αυτής λόγω της απόδοσης μιας τρισδιάστατης αναπαράστασης του αναγλύφου.

Παράχθηκε ο τελικός γεωμορφολογικός χάρτης, ο οποίος επισυνάπτεται στην παρούσα εργασία και ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή του.

5.7. Γεωμορφές Διάβρωσης

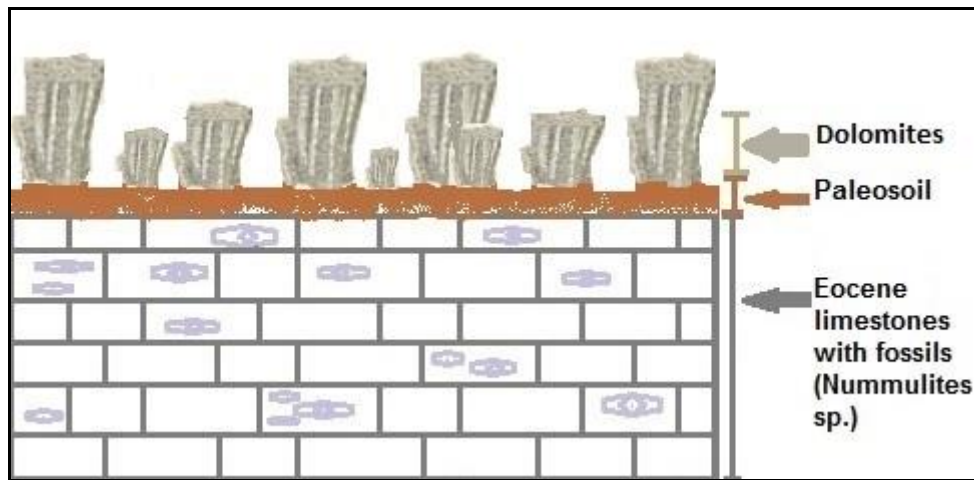
5.7.1. Επιφάνειες τεκτονικών αναβαθμίδων

Οι αναβαθμίδες είναι μορφές απόθεσης και διάβρωσης αφού ο σχηματισμός τους συνδέεται με εναλλαγές περιόδων που ήταν ενεργές η απόθεση και η διάβρωση αντίστοιχα. Πρόκειται για μεγάλα φυσικά σκαλοπάτια τα οποία αποτελούνται από μια επίπεδη επιφάνεια και μια απότομη κλιτύ. Πρόκειται για σχετικά επίπεδες επιφάνειες που μορφολογικά αποτελούνται από την επιφάνεια και το μέτωπο. Για τη μελέτη των αναβαθμίδων είναι σημαντικός ο υπολογισμός της κλίσης τόσο της επιφάνειας όσο και του μετώπου, αλλά και η σύσταση και η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού των αποθέσεων από τις οποίες αποτελείται. Οι αναβαθμίδες, ανάλογα με τα αίτια γένεσής τους διακρίνονται σε ποτάμιες και σε θαλάσσιες (Παυλόπουλος Κ., 2011).

Οι θαλάσσιες αναβαθμίδες είναι παράκτιοι πάγκοι που έχουν μετατοπιστεί από την αρχική θέση σχηματισμού τους και σήμερα βρίσκονται πάνω ή κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Η μετατόπιση των παράκτιων πάγκων από την αρχική θέση σχηματισμού τους οφείλεται σε εκτεταμένες διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας με το χρόνο, που προκαλούνται από παγκόσμια ευστατικά αίτια ή τοπικά αίτια όπως ο τεκτονισμός και/ή το φαινόμενο της ισοστασίας ή συνήθως από τη συνδυασμένη δράση τοπικών και ευστατικών αιτίων (Καρύμπαλης Ε., 2010).

Μέσα από την μελέτη των θαλάσσιων αναβαθμίδων μπορούμε να αποκομίσουμε σημαντικές πληροφορίες για την τεκτονική δραστηριότητα και κυρίως για τους ρυθμούς τεκτονικής ανύψωσης, τη πρόσφατη παραμόρφωση του φλοιού της γης και την ιστορία της σεισμικής δραστηριότητας.

Στην περιοχή μελέτης βρέθηκαν 3 επιφάνειες τεκτονικών αναβαθμίδων στις οποίες εντοπίστηκαν πάνω τους δολομίτες πλήρως εκτεθειμένοι σε διεργασίες αποσάθρωσης. Μετά από ανάλυση τομών στο μικροσκόπιο, αυτά που συναντήθηκαν στις επιφάνειες αναβαθμίδων είναι δολομίτες που μάλλον σχετίζονται με τη δημιουργία παράκτιου sabkha σε ανθρακικές πλατφόρμες σε άνυδρα και υπερβολικά άνυδρα κλίματα που ακολουθούν υγρές και θερμές περιόδους (σχηματισμός παλαιό-εδάφους από κάτω).



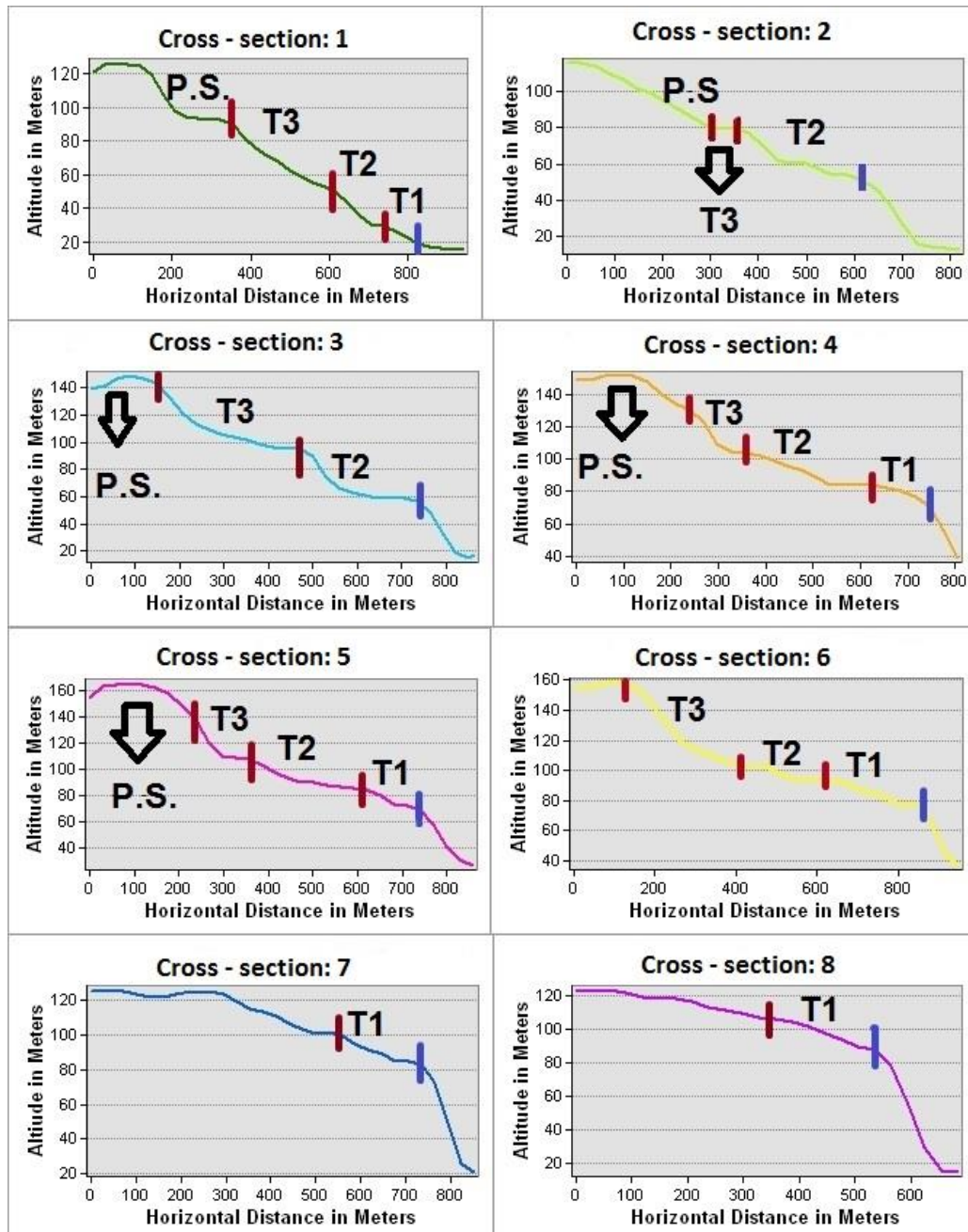
Εικόνα 18: Στρωματογραφία τεκτονικών αναβαθμίδων της περιοχής μελέτης. Διακρίνεται στο επιφανειακό στρώμα δολομιτών που είναι εκτεθειμένο σε διεργασίες έντονης φυσικής αποσάθρωσης και στο στρώμα μερικών χιλιοστών παλαιο-εδάφους και η βάση όλων είναι ένα μεγάλο στρώμα Ηωκαινικού ασβεστολίθου που περιέχει απολιθώματα Νουμουλιτών.
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Η καθεμία από τις αναβαθμίδες παρουσιάζει υψομετρικές διαφορές όσο προχωράει από την περιοχή της Daghmar μέχρι που φτάνει στην περιοχή της Dibab. Η πρώτη αναβαθμίδα χάνεται και κάποια στιγμή επανεμφανίζεται, και γενικά συνεχίζει μέχρι την περιοχή της Dibab. Η νεώτερη ηλικιακά αναβαθμίδα είναι η πρώτη και ακολουθεί η δεύτερη και τέλος η τρίτη αναβαθμίδα. Η επιφάνεια επιπέδωσης είναι και η παλαιότερη ηλικιακά στην περιοχή μελέτης μας.

Τα υψόμετρα που συναντώνται στις αναβαθμίδες υπολογίστηκαν από το DEM:

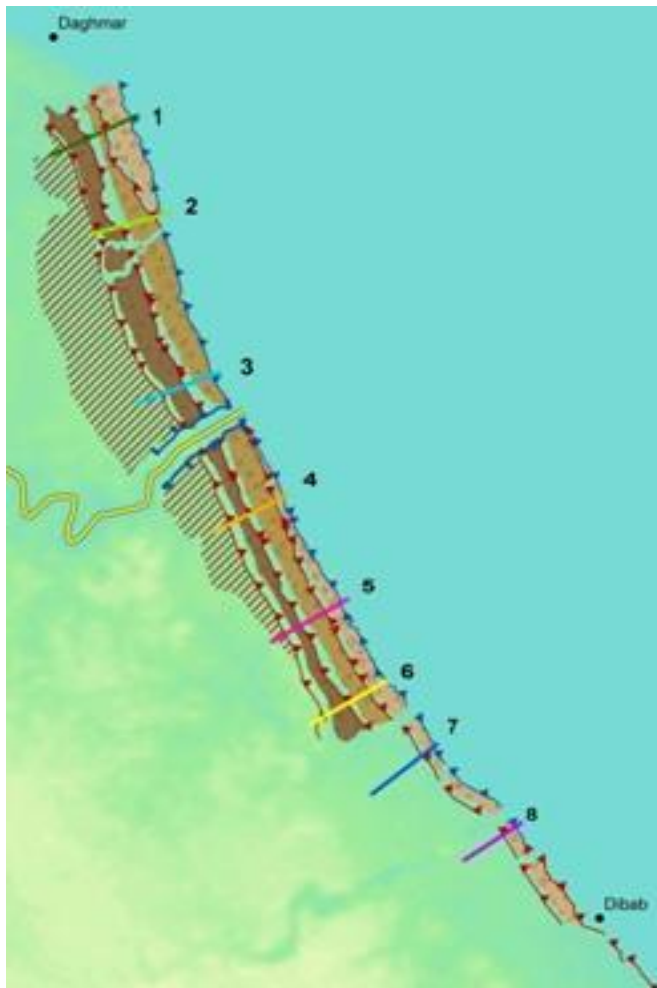
- T-1 (ή Terrace-1): 20-30 m κοντά στην Daghmar > έπειτα εξαφανίζεται > επανεμφανίζεται σε άλλο σημείο στα 70-85 m > και σταδιακά αυξάνεται στα 100-108 m κοντά στην Dibab.
- T-2 (ή Terrace-2): 30-55 m κοντά στην Daghmar > 58-95 m > 83-108 m και μετά δεν συνεχίζεται έως την παραλία της Dibab.
- T-3 (ή Terrace-3): 50-90 m κοντά στην Daghmar > 90-140 m > 105-130 m με μέγιστο κάπου στα 155 m κατά τόπους και μετά δεν συνεχίζεται έως την παραλία της Dibab.
- Planation Surface (Επιφάνεια επιπέδωσης): 90-125 m κοντά στην Daghmar > 120- 145 m με μέγιστο κάπου στα 155 m κατά τόπους 165 m και μετά δεν συνεχίζεται έως την παραλία της Dibab.

Η διαφορά στα υψόμετρα για την κάθε αναβαθμίδα όσο προχωράμε από Daghamar σε Dibab, υποδηλώνει ότι στην περιοχή συναντώνται διαφορετικοί ρυθμοί τεκτονικής ανύψωσης, στοιχείο πολύ σημαντικό για την κατανόηση των διεργασιών που την διαμόρφωσαν.

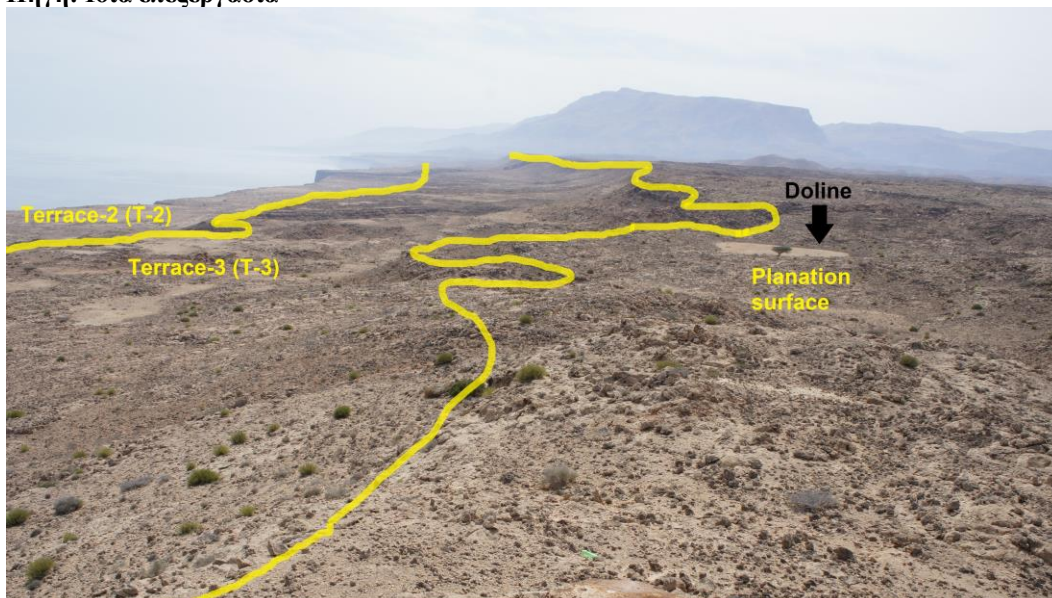


Εικόνα 19: Τοπογραφικές τομές σε διάφορα σημεία στην περιοχή μελέτης που διασχίζουν κάθετα τις επιφάνειες των τεκτονικών αναβαθμίδων. Δευτερογενής επεξεργασία ώστε να αναδειχθούν οι κρημνοί και οι ξεχωριστές αναβαθμίδες. Με μπλε κάθετη γραμμή συμβολίζονται οι παράκτιοι κρημνοί ενώ με την κόκκινη οι μη-παράκτιοι κρημνοί. T1: πρώτη τεκτονική αναβαθμίδα, T2: δεύτερη τεκτονική αναβαθμίδα, T3: τρίτη τεκτονική αναβαθμίδα, P.S.: Επιφάνεια επιπέδωσης (Planation Surface).

Πηγή: Ιδία επεξεργασία



Εικόνα 20: Χάρτης αντιστοίχισης αριθμημένων τοπογραφικών τομών (1-8)
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

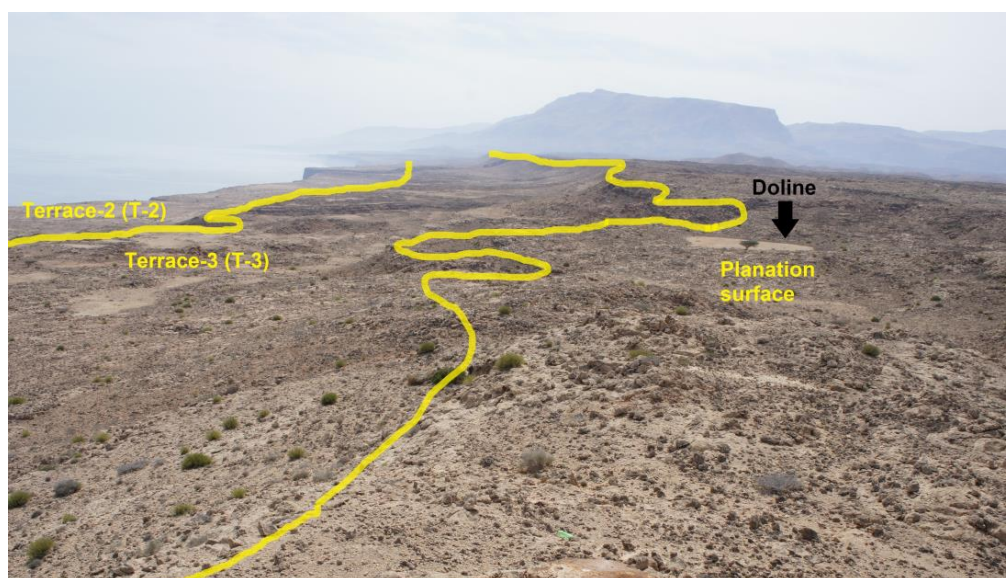


Εικόνα 21: Άποψη των αναβαθμίδων και της επιφάνειας επιπέδωσης και μια δολίνη. Η πρώτη αναβαθμίδα δεν φαίνεται λόγω υψομέτρου και επειδή σε κάποιο σημείο εξαφανίζεται και επανεμφανίζεται ξανά αργότερα.

Πηγή: Ιδία επεξεργασία και λήψη φωτογραφίας

5.7.2. Επιφάνειες επιπέδωσης

Συναντώνται σε ορεινές περιοχές και χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα ήπιο ανάγλυφο σε μεγάλες αποστάσεις. Επιτρέπεται ένα μικρό ανάγλυφο με την μορφή υπολειμματικών λόφων, παρόλα αυτά οι κλίσεις επιφάνειας πρέπει να είναι πολύ χαμηλές και να μην χαράσσονται γραμμές απορροής. Μέσω της δημιουργίας του μοντέλου κλίσεων από το DEM της περιοχής, η επιφάνεια επιπέδωσης που βρέθηκε έχει κλίση από 0° έως 5° και σε ελάχιστα σημεία 5° έως 10° μοίρες. Αυτού του είδους οι επιφάνειες δημιουργούνται λόγω της αποσάθρωσης των πετρωμάτων και λόγω της διάβρωσης του αναγλύφου σε ένα περιβάλλον ήπιου τεκτονισμού. Στην επιφάνεια επιπέδωσης εντοπίστηκαν δολίνες και ηλικιακά είναι η παλαιότερη από τις τεκτονικές αναβαθμίδες.



Εικόνα 22: Άποψη επιφάνειας επιπέδωσης(planation surface) και μιας δολίνης.
Πηγή: Ιδίας λήψης φωτογραφίας

5.7.3. Κρημνοί

Στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν παράκτιοι κρημνοί και κρημνοί, οι τελευταίοι βρίσκονται εκατέρωθεν των επιφανειών αναβαθμίδων και επιπέδωσης, με τοπογραφικές κλίσεις από 10° έως 30°. Οι κρημνοί οφείλουν την αρχική τους γένεση στις κατακόρυφες κινήσεις που σχετίζονται με τεκτονική κινηματική της περιοχής αλλά είναι και συνδυασμός των μηχανικών αποσαθρωτικών διεργασιών (κυρίως). Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες στη κλιματική ιστορία του Πλειστοκαίνου και πιθανώς λίγο παλαιότερα μάλλον έπαιξε ρόλο και η διεργασία της διάλυσης στην δημιουργία του και στη μορφή τους, διότι όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο υπήρξαν μεταβολές στο υδρολογικό καθεστώς από άνυδρες σε θερμές και υγρές περιόδους.



Εικόνα 23: Παράκτιοι κρημνοί μπροστά και πίσω στο βάθος φαίνονται μη-παράκτιοι κρημνοί.
Λήψη φωτογραφίας κοντά στην περιοχή της Daghamar, όπου και παρατηρείται και κλίση των
ασβεστολιθικών στρωμάτων προς τα ΒΑ.
Πηγή: Ιδίας λήψης φωτογραφίας



Εικόνα 24: Κρημνοί προς την τρίτη αναβαθμίδα
Πηγή: Ιδίας λήψης φωτογραφίας

5.7.4. Φαράγγια

Ένα φαράγγι είναι ένα μακρύ, βαθύ, σχετικά στενό και απότομης κλίσης κοιλάδα, που συχνά τέμνεται με το βραχώδες υπόστρωμα και σχηματίζει απόκρημνους βράχους κατά μήκος των τοίχων του. Σχηματίζονται από την ροή νερού. Ο όρος αυτός (canyon) χρησιμοποιείται για άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές, όπου ο ρυθμός διάβρωσης ξεπερνά σημαντικά τον ρυθμό αποσάθρωσης.

Στην περιοχή μελέτης και σύμφωνα με την κλίμακα εργασία και την μεθοδολογία της ημι-αυτοματοποιημένης γεωμορφολογικής χαρτογράφησης που χρησιμοποιήθηκε θεωρήθηκαν δύο φαράγγια, ένα κύριο και ένα δευτερεύον σε μέγεθος.

Το κύριο φαράγγι, που είναι και το μεγαλύτερο σε μέγεθος στην περιοχή μελέτης, εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής και διασχίζει κάθετα την επιφάνεια επιπέδωσης και τις επιφάνειες αναβαθμίδων. Διέρχεται από το σημείο αυτό το ποτάμι εποχικής ροής και σχημάτισε το φαράγγι Wadi Daykah / Hilur (λόγω σύγχυση σε διάφορους χάρτες αναφέρονται και οι δυο ονομασίες αυτού του φαραγγιού) που πρόκειται για μια ξηρή κοιλάδα κατά την μεγαλύτερη περίοδο του χρόνου. Ο χάρτης κλίσεων δείχνει ότι στο φαράγγι αυτό σημειώνονται κλίσεις κυρίως 30° έως 40° μοιρών και κατά τόπους από 40° έως και πιο σπάνια 80° μοιρών.

Το μικρότερο φαράγγι που θεωρήθηκε δεν είναι ιδιαίτερα εκτεταμένο όπως το πρώτο, με κλίσεις 10° έως 30° και σε ελάχιστα σημεία 30° μέχρι και 40° μοίρες, και βρίσκεται ΝΑ στην περιοχή μελέτης μετά το τέλος των επιφανειών αναβαθμίδων και η ροή του νερού είναι εξίσου εποχική. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι στο μικρότερο φαράγγι διέρχεται σχεδόν δίπλα του το ενεργό ρήγμα της περιοχής.



Εικόνα 25: Είσοδος από θαλάσσης του κύριου φαράγγιού Wadi Daykah/Hilur.
Πηγή: Ιδία λήψη φωτογραφίας



Εικόνα 26: Φαράγγι σχηματισμένο από το εποχικής ροής ποτάμι. Wadi Daykah/Hilur, λήψη
φωτογραφίας από ύψος περίπου 20 μέτρων
Πηγή: Ιδία λήψη φωτογραφίας



Εικόνα 27: Δευτερεύων φαράγγι, Wadi
Πηγή: Ιδία λήψη φωτογραφίας

5.7.5. Κοιλάδες σχήματος V- Ξηρές κοιλάδες/Wadi

Πρόκειται για στενές και ιδιαίτερα απόκρημνες ερημικές κοιλάδες και η μορφή τους μοιάζει με το γράμμα «V» σε άνυδρες περιοχές και συνήθως αποτελούν σποραδικά ενεργά συστήματα. Η κατά βάθος διάβρωση καθορίζει την περαιτέρω ανάπτυξη των κοιλάδων αυτών. Βρίσκονται στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης και ιδιαίτερα διασχίζουν τις επιφάνειες αναβαθμίδων και επιπέδωσης. Λόγω του ότι η ροή νερού είναι εξαιρετικά εποχική, πρόκειται για ξηρές κοιλάδες εκτός από την εποχή των βροχοπτώσεων. Σε μερικές περιπτώσεις οι κοιλάδες αυτές σχηματίζουν οάσεις. Ξαφνικές πλημμύρες γνωστές και ως flash-floods μπορεί να ακολουθήσουν ξαφνικές έντονες βροχοπτώσεις και επειδή στις ερημικές περιοχές υπάρχει μεγαλύτερη έκθεση των γυμνών από βλάστηση πετρωμάτων σε σχέση με τα ημι-ερημικά περιβάλλοντα μπορεί να δημιουργηθεί περισσότερο ίζημα και απορροή (Yair and Enzel, 1987), μπορεί να προκληθούν μεγάλες ζημιές σε κοντινές οικιστικές περιοχές, όπως είναι η πόλη της Daghamar.



Εικόνα 28: Κοιλάδα σχήματος V στην περιοχή μελέτης που διασχίζει κάθετα μια επιφάνεια τεκτονικής αναβαθμίδας.

Πηγή: Ιδία λήψη φωτογραφίας

5.7.6. Δολίνες

Είναι φυσικές κλειστές κοιλότητες και βρίσκονται σε καρστικά περιβάλλοντα. Πρόκειται για μια σημαντική καρστική μακρο-μορφή, σχετικά μικρών διαστάσεων σε βάθος 5-20m και σε πλάτος 10-100m κυκλικής ή ελλειπτικής μορφής με μεγαλύτερο πλάτος από ότι βάθος. Οι δολίνες είναι ιδιαίτερα κοινές σε εδάφη κάτω από ανθρακικά πετρώματα. Συνήθως συναντώνται σε ομάδες και η εμφάνιση τους σε επίπεδες επιφάνειες σε συγκεκριμένα υψόμετρα αποτελεί ένδειξη επιφάνειας επιπέδωσης. Στην περιοχή μελέτης με προσανατολισμό ΒΔ, βρέθηκαν περίπου 10 κύριες δολίνες στην επιφάνεια επιπέδωσης πάνω σε ασβεστολιθικό υπόβαθρο.

5.7.7. Κρεμαστές κοιλάδες

Είναι κοιλάδες στις οποίες στο κάτω άκρο στο οποίο καταλήγουν είναι σημαντικά υψηλότερο από ό, τι άνω άκρο από το οποίο ξεκινούν και έχουν μια ποικιλία μορφών. Μπορούν να λάβουν την μορφή σχήματος-U σε παγετωνικά περιβάλλοντα ή την μορφή σχήματος-V εάν η κοιλάδα δεν είχε παγετωνοποιηθεί ποτέ ή καταλαμβανόταν μόνο από ένα λεπτό κρύο στρώμα πάγου στην αρχή δημιουργίας της οπότε και επικράτησε το σχήμα-V.

Κρεμαστές κοιλάδες μπορούν επίσης να αναπτυχθούν σε καρστικές περιοχές όπου τα επιφανειακά ρεύματα ρέουν απευθείας στα υπόγεια ύδατα. Εάν η κατά βάθος διάβρωση συμβεί απότομα, η στάθμη του νερού μειώνεται έως ότου μετατρέπονται σε ξηρές κρεμαστές κοιλάδες. Στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν 2 κρεμαστές κοιλάδες κοντά στην πόλη της Dibab, κατά την διάρκεια κάλυψης της παράκτιας ζώνης με πλωτό μέσο στις 24-02-2016.



Εικόνα 29: Κρεμαστή κοιλάδα στην περιοχή μελέτης, λήψη από πλωτό μέσο.
Πηγή: Ιδία λήψη φωτογραφίας

5.7.8. Κατακρημνίσεις - Έγκοιλα

Τα έγκοιλα ή κοιλότητες (Depressions) που εντοπίστηκαν στην περιοχή μελέτης δεν είναι αποτέλεσμα τεκτονικών κινήσεων. Στον σχηματισμό τους έχουν επηρεάσει οι διεργασίες αποσάθρωσης και πιο συγκεκριμένα η μηχανική αποσάθρωση στις άνυδρες θερμές περιόδους με την διάβρωση που προκύπτει από την εποχική απορροή του νερού στις θερμές και υγρές περιόδους σε συνδυασμό με κατακρημνησιακές ή ολισθητικές κινήσεις μαζών.

5.8. Γεωμορφές Απόθεσης

5.8.1. Αλλουβιακά Ριπίδια

Η περιοχή μελέτης πρόκειται για μια ξηρή περιοχή που χαρακτηρίζεται από μη συχνές βροχοπτώσεις, σχεδόν καθόλου βλάστηση και επικράτηση διαδικασιών έντονης αποσάθρωσης. Στα σημεία που μεταβάλλεται απότομα η κλίση, προς ένα πιο ήπιο ανάγλυφο, συμβαίνει μείωση της ταχύτητας και συνεπώς της μεταφορικής ικανότητας των υδατορευμάτων με αποτέλεσμα την δημιουργία των αλλουβιακών ριπιδίων και έχουν χαρακτηριστικό ριπιδοειδές σχήμα. Ποικίλουν σε μεγέθη, σε κλίσεις και στην μορφή αποθέσεων αλλά συνήθως χαρακτηρίζουν ενεργά τεκτονικά περιοχές. Παρατηρήθηκαν στην περιοχή μελέτης διαφορετικά μεγέθη αλλουβιακών ριπιδίων, από πολύ μικρά μέχρι και λιγοστά μεγάλα (για την περιοχή μελέτης πάντα) και όλα με κατεύθυνση ΒΑ-Α και με κλίσεις κυρίως 0°-5° και σε σπάνιες περιπτώσεις 5°-10° μοιρών.



Εικόνα 30: Αλλουβιακό ριπίδιο στην δεύτερη αναβαθμίδα, επισημασμένο με το κίτρινο χρώμα
Πηγή: Ίδια λήψη φωτογραφίας και ίδια επεξεργασία

5.8.2. Πλευρικά Κορήματα

Είναι η συγκέντρωση χαλαρού, χονδροειδές και συνήθως γωνιώδους θραυσμάτων πετρωμάτων στον πόδα απότομων κλίσεων πλαγιών. Η συγκέντρωση αυτή θα πρέπει να είναι αρκετού πάχους ώστε να αναπτυχθεί η χαρακτηριστική μορφολογία ανεξαρτήτως από την υποκείμενη πλαγιά. Συνήθως σχηματίζονται σε περιβάλλοντα όπου η μηχανική αποσάθρωση κυριαρχεί, όπως και στην περιοχή μελέτης, και η παραγωγή και συγκέντρωση των θραυσμάτων πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ακόλουθη αποσάθρωση ή απομάκρυνσή τους.

Βρίσκονται είτε σε πλαγιές είτε στον πόδα των πλαγιών και κρημνών. Στην κορυφή των κώνων αποτίθενται χονδρόκοκκο υλικό ενώ προς την περιφέρεια το αποτιθέμενο υλικό γίνεται σταδιακά πιο λεπτόκοκκο. Στην περιοχή μελέτης συναντάται πλήθος πλευρικών κορημάτων στους κρημούς ανάμεσα από τις αναβαθμίδες καθώς επίσης και στα πλευρικά άκρα των αναβαθμίδων και από την πλευρά της Daghamar και από την μεριά της Dibab.



**Εικόνα 31: Πλευρικά κορήματα όπως βρέθηκαν στην αρχή της παραλίας Dibab.
Πηγή: Ιδία λήψη φωτογραφίας**

6. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Με την χρήση της μεθόδου ημι-αυτοματοποιημένης γεωμορφολογικής χαρτογράφησης και της πολυκριτηριακής ανάλυσης κατασκευάστηκε ο γεωμορφολογικός χάρτης της παράκτιας περιοχής μεταξύ Daghamar-Dibab στο Ομάν. Τα αποτελέσματα που πρόεκυψαν από την χρήση της παραπάνω μεθοδολογίας φάνηκαν ικανά να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για την εικόνα του ανάγλυφου καθώς και για τον εντοπισμό των γεωμορφών της περιοχής μελέτης. Φυσικά ήταν μεγάλη η συνεισφορά της μελέτης πεδίου που πραγματοποιήθηκε μεταξύ του διαστήματος 22/02/2016 – 25/02/2016, αλλά και των βιβλιογραφικών αναφορών ώστε να εξαχθούν ορθά αποτελέσματα. Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της χαρτογράφησης και των εργασιών πεδίου έγινε προσέγγιση στην γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής.

Κατά το τέλος του Πλειστόκαινου και στις αρχές του Ολόκαινου παρατηρήθηκαν μεταβολές στο υδρολογικό καθεστώς στην Αραβική χερσόνησο όπου συνέβησαν εναλλαγές μεταξύ άνυδρων και θερμών-υγρών περιόδων και σχετίζονται με την μεταβολή προς βόρεια της θέσης του ITCZ (έναρξη πρώιμης υγρής περιόδου του Ολόκαινου-EHHP) και έπειτα προς νότια πάλι (τερματισμός του EHHP). Το τωρινό κλίμα στο Ομάν είναι θερμό και άνυδρο με υψηλά ποσοστά υγρασίας ενώ στην περιοχή μελέτης δεν συναντάται μόνιμη ροή νερού και η ετήσια βροχόπτωση είναι χαμηλή και συνεπάγεται ένα ιδιαίτερα φτωχό υδρογραφικό δίκτυο.

Λόγω του κλίματος αυτού, η μηχανική αποσάθρωση είναι η κυρίαρχη διεργασία που δρα στην περιοχή μελέτης σε συνδυασμό με τις τεκτονικές δραστηριότητες της ζώνης υποβύθισης του Μακράν που επηρεάζει την περιοχή μελέτης και την ήπιας ανύψωσης των βουνών του Ομάν λόγω σύγκλισης της Αραβικής-Ευρασιατικής πλάκας. Τα βουνά του Ομάν παραμορφώνονται και αυτό γίνεται αισθητό σε μερικά ρήγματα που κόβουν τα Τεταρτογενή Wadi καθώς και στον σχηματισμό των παράκτιων τεκτονικών αναβαθμίδων της περιοχής μελέτης.

Επιπροσθέτως πρέπει να αναφερθεί πως η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας δεν ήταν αισθητή στην παράκτια ζώνη της περιοχής μελέτης καθώς κατά την διάρκεια εργασίας πεδίου με την χρήση πλωτού μέσου έγινε προσπάθεια εντοπισμού θαλάσσιων εγκοπών (notches) χωρίς κάποιο αποτέλεσμα. Αυτό συνεπάγεται ότι ο τεκτονισμός της περιοχής είναι πιο έντονος και πως οι τεκτονικές αναβαθμίδες είχαν έναν σχετικά μεγάλο ρυθμό ανύψωσης που δεν επέτρεψε τον σχηματισμών των θαλάσσιων εγκοπών για να υπάρχουν δείκτες παλαιότερης θαλάσσιας στάθμης.

Εξίσου ενδιαφέρον, αποτελεί το γεγονός ότι μέσω της εργασίας πεδίου και έπειτα από μια πρώτη ανάλυση του υπερκειμένου στρώματος/πλατό που κάλυπτε τις αναβαθμίδες και έχει υποστεί έντονη μηχανική αποσάθρωση, ήταν οι πρώτες τομές στο μικροσκόπιο που έδειξαν ότι δολομίτες κάλυπταν τον ασβεστόλιθο της περιοχής μελέτης. Είναι πολύ πιθανό να σχετίζονται με την δημιουργία παράκτιου sabkha που αποτέθηκε πάνω στις ανθρακικές πλατφόρμες των αναβαθμίδων σε θερμές και υγρές περιόδους που ακολούθησαν άνυδρες έως υπερβολικά άνυδρες περιόδους, ενώ ακριβώς κάτω από αυτό το στρώμα έχει σχηματιστεί ένα παλαιο-έδαφος μερικών εκατοστών. Περαιτέρω μελέτη και ανάλυση δειγμάτων είναι αναγκαία ώστε να κατανοηθούν πλήρως οι διεργασίες απόθεσης και δημιουργίας-ανύψωσης των τεκτονικών αναβαθμίδων.

Συνοψίζοντας μπορούμε να θεωρήσουμε πως η σημερινή μορφή του αναγλύφου της παράκτιας περιοχής μεταξύ της πόλης Daghmar-Dibab στο Σουλτανάτο του Ομάν έχει επηρεαστεί από την εποχή του Ανώτερου Πλειστόκαινου από πολλές τεκτονικές διεργασίες και ακραία γεγονότα διάφορων χρονικών κλιμάκων, που κυμαίνονται από χιλιετίες (διαδικασίες ανύψωσης περιοχής και ανόδου της στάθμης της θάλασσας έπειτα από παγετωνικές περιόδους) καθώς και μορφογενετικών διεργασιών όπως της επικράτησης μηχανικής αποσάθρωσης, ξαφνικών πλημμύρων και διαδικασιών απόθεσης. Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στο περιβάλλον, το οποίο χαρακτηρίζεται ως μη τεχνητό, είναι ελάχιστες έως καθόλου λόγω του ότι η περιοχή μελέτης είναι αραιοκατοικημένη από αρχαιοτάτων χρόνων.

Η παράκτια περιοχή μελέτης έχει ετερογενή εξέλιξη λόγω διαφορετικών ρυθμών ανύψωσης και διαφορετικής τεκτονικής κινηματικής στα διάφορα σημεία, η οποία μπορεί να φανεί από τα διαφοροποιημένα υψόμετρα των τεκτονικών αναβαθμίδων, ειδικά της πρώτης αναβαθμίδας, από πιο χαμηλά κοντά στην περιοχή της Daghamar σε σταδιακά υψηλότερα υψόμετρα όσο πλησιάζει στην περιοχή της Dibab . Η ανύψωση και η ιζηματογενή πρόσχωση στις τεκτονικές λεκάνες γενικά από την περιοχή της Quriyat έως το Fins, στις οποίες καθ'όλη την έκταση της παράκτιας ζώνης βρίσκονται σε εξέλιξη μελέτες για την γεωμορφολογική εξέλιξη αυτής της περιοχής, επιβεβαιώνουν τον ταχύ μετασχηματισμό της ακτογραμμής από το γεγονός MIS-3 (Marine isotope stage: τουλάχιστον ± 40.000 χρόνια πριν από σήμερα) μέχρι τα μέσα έως τέλος της εποχής του Ολόκαινου.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή γεωμορφολογικών πληροφοριών καθώς και η μελέτη πεδίου και η βιβλιογραφική ανασκόπηση ήταν στο σύνολο της επιτυχής. Βέβαια θα ήταν χρήσιμο τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας καθώς και ο γεωμορφολογικός χάρτης, που είναι ο πρώτος για την περιοχή μελέτης, να εμπλουτιστούν και να επανεξεταστούν με λεπτομερέστατη έρευνα πεδίου και λήψη περισσότερων πρωτογενών δεδομένων και χρονολογήσεων των δειγμάτων ώστε να αποκτηθεί μια πιο ολοκληρωμένη και βασισμένη σε ορθά συμπεράσματα εικόνα για την γεωμορφολογική εξέλιξη της παράκτιας περιοχής μεταξύ Daghamar – Dibab.

Βιβλιογραφία

Καρυμπάλης, Ε., & Παπασπυριδάκου, Ε. (2010). Γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στην παράκτια ζώνη μεταξύ Σχίνου και Ψάθας (Ανατολικός Κορινθιακός Κόλπος) Geomorphological observations along the coastal zone between Schinos and Psatha (Eastern Gulf of Corinth). *Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών*, 1, 89-98.

Παυλόπουλος Κ. (2011), Γεωμορφολογία – Εφαρμογές στις Γεωπιστήμες, Αθήνα, Εκδόσεις Ίων

Ambraseys, N. N., & Srbulov, M. (1994). Attenuation of earthquake - induced ground displacements. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 23(5), 467-487.

van Asselen, S., & Seijmonsbergen, A. C. (2006). Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM. *Geomorphology*, 78(3), 309-320.

Bayer, H.-J., Hötzl, H., Jado, A.R., Roscher, B. & Voggenreiter, W. 1988. Sedimentary and structural evolution of the northwest Arabian Sea Margin. *Tectonophysics*, 153, 137-152.

Burns, S. J., Fleitmann, D., Matter, A., Neff, U., & Mangini, A. (2001). Speleothem evidence from Oman for continental pluvial events during interglacial periods. *Geology*, 29(7), 623-626.

Chalkias, C., Petrakis, M., Psiloglou, B., & Lianou, M. (2006). Modelling of light pollution in suburban areas using remotely sensed imagery and GIS. *Journal of Environmental Management*, 79(1), 57-63.

Demek, J., & Embleton, C. (1978). Guide to Medium-Scale. Geomorphological Mapping.

El-Hussain, I., Deif, A., Al-Jabri, K., Toksoz, N., El-Hady, S., Al-Hashmi, S., ... & Kuleli, S. (2012). Probabilistic seismic hazard maps for the sultanate of Oman. *Natural hazards*, 64(1), 173-210.

Fleitmann, D., Burns, S. J., Mudelsee, M., Neff, U., Kramers, J., Mangini, A., & Matter, A. (2003). Holocene forcing of the Indian monsoon recorded in a stalagmite from southern Oman. *Science*, 300(5626), 1737-1739.

Fleitmann, D., Burns, S. J., Mangini, A., Mudelsee, M., Kramers, J., Villa, I., ... & Matter, A. (2007). Holocene ITCZ and Indian monsoon dynamics recorded in stalagmites from Oman and Yemen (Socotra). *Quaternary Science Reviews*, 26(1), 170-188.

Fournier, M., Lepvrier, C., Razin, P. & Jolivet, L. 2006. Late Cretaceous to Paleogene Post-obduction extension and subsequent Neogene compression in the Oman Mountains. *GeoArabia*, 4, 17-40.

Fournier, M., Chamot-Rooke, N., Petit, C., Fabbri, O., Huchon, P., Maillot, B. & Lepvrier, C. 2008. In situ evidence for dextral active motion at the Arabia-India plate boundary. *Nature Geoscience*, 1, 54-58m doi: 10.1038/ngeo.2007.24.

Fuchs, M., & Buerkert, A. (2008). A 20 ka sediment record from the Hajar Mountain range in N-Oman, and its implication for detecting arid–humid periods on the southeastern Arabian Peninsula. *Earth and Planetary Science Letters*, 265(3), 546-558.

Gasse, F., & Van Campo, E. (1994). Abrupt post-glacial climate events in West Asia and North Africa monsoon domains. *Earth and Planetary Science Letters*, 126(4), 435-456.

Glennie, K.W., Boeuf, M.G.A., Highes-Clarke, M.W., Moody-Stuart, M., Pilaar, W. & Reinhardt, B.M. 1974. Geology of the Oman Mountains. Koninklijk Nederlands Geologisch en Mijnbouwkundig Genootschap, Transactions, 31(1), 423pp.

Goudie, A. (2004). *Encyclopedia of geomorphology* (Vol. 2). Psychology Press.

Gustavsson, M., Kolstrup, E., & Seijmonsbergen, A. C. (2006). A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. *Geomorphology*, 77(1), 90-111.

Hacker, B.R., Mosenfelder, J.L., Gnos, E. 1996. Rapid emplacement of the Oman ophiolite: Thermal and geochronical constrains. *Tectonics*, 15(6), 1230-1247.

Hanna, S. S. (1995). *Field guide to the geology of Oman*. Historical Association of Oman.

International geographical union. Subcommission on geomorphological mapping, & Bashenina, N. V. (1968). *The Unified Key to the Detailed Geomorphological Map of the World 1: 25 000-1: 50 000*. Polska akademia nauk. Oddzial w Krakowie. Komisja nauk geograficznych.

Jordán, G., Meijninger, B. M. L., Van Hinsbergen, D. J. J., Meulenkamp, J. E., & Van Dijk, P. M. (2005). Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 7(3), 163-182.

Kusky, T., Robinson, C. & El-Baz, F. 2005. Tertiary-Quaternary faulting and uplift in the northern Oman Hajar Mountains. *Journal of the Geological Society, London*, 162, 871-888.

Pavlopoulos, K., Evelpidou, N., & Vassilopoulos, A. (2009). *Mapping geomorphological environments*. Springer Science & Business Media., p.196

Pavlopoulos K., Beuzen-Waller T., Desruelles S., Fouache E., Stephan P., Arhan D., Moraetis D., Georgopoulou M., Abdessadok S., El-Kaliouby H., in prep. Using multi-

proxy methods to reconstruct the late Pleistocene and Holocene coastal dynamics in the Qyriyat-Fins region (Sultanate of Oman)

Peyret, M., Djamour, Y., Hessami, K., Regard, V., Bellier, O., Vernant, P., ... & Chery, J. (2009). Present-day strain distribution across the Minab-Zendan-Palami fault system from dense GPS transects. *Geophysical Journal International*, 179(2), 751-762.

Scharf, A., Mattern, F. & Al Sadi, S., 2016a. Kinematics of Poost-obduction Deformation of the Tertiary Ridge at Al-Khod Village (Muscat Area, Oman). Sultan Qaboos University Journal for Science, 21(1), 26-40.

Scharf, A., Al-Wardi, M., Frijia, G., Mattern, F., Moraetis, D. & Pracejus, B., in prep. The eastern Oman Mountains – a review with a new tectonic map, cross-sections, and tectonometamorphic synthesis.

Siart, C., Bubenzer, O., & Eitel, B. (2009). Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete. *Geomorphology*, 112(1), 106-121.

Tilton, G. R., Hopson, C. A., & Wright, J. E. (1981). Uranium - lead isotopic ages of the Samail Ophiolite, Oman, with applications to Tethyan ocean ridge tectonics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B4), 2763-2775.

Uchupi, E., Swift, S. A., & Ross, D. A. (1999). Late Quaternary stratigraphy, paleoclimate and neotectonism of the Persian (Arabian) Gulf region. *Marine Geology*, 160(1), 1-23.

Warren, C. J., & Miller, J. M. (2007). Structural and stratigraphic controls on the origin and tectonic history of a subducted continental margin, Oman. *Journal of structural geology*, 29(3), 541-558.