



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

**Παρατήρηση και Ψηφιακή Χαρτογράφηση της Επιφάνειας του πλανήτη Άρη,
με την χρήση Ψηφιδωτών Δεδομένων**

Πτυχιακή εργασία

Γιωργίε Τζέρρο

Αθήνα, 2018



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

**Χαλκιάς Χρίστος (Επιβλέπων) Καθηγητής,
Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

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

**Παρχαρίδης Ισαάκ, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

Η Γιωργίε Τζέρρο

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.

*αφιερωμένη σε όσους με στήριξαν
(ξέρουν αυτοί ποιοι είναι . . .)*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την υλοποίηση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Χρίστο Χαλκιά, που πίστεψε στο συγκεκριμένο θέμα και συνέβαλε τα μέγιστα στο εγχείρημα αυτό. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ευθύμιο Καρύμπαλη, για τον υποστηρικτικό του ρόλο. Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο «ευχαριστώ» στους δικούς μου ανθρώπους, όπως την οικογένειά μου, τους παιδικούς μου φίλους και τους συμφοιτητές μου, οι οποίοι με βοήθησαν σε όλο το πέρασ της φοιτητικής μου ζωής, ο καθένας με τον δικό του τρόπο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	σελ:8
ABSTRACT	σελ:9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	σελ:10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	σελ:12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	σελ:12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ	σελ:12
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	σελ:13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ:14
1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΟΚΚΙΝΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ.....	σελ:16
1.1. Εισαγωγή	σελ:16
1.2. Ο Πλανήτης μέσα από Αριθμούς	σελ:16
1.3. Παρούσα Κατάσταση του Πλανήτη	σελ:17
1.3.1. Γενικά.....	σελ:17
1.3.2. Τοπογραφία.....	σελ:17
1.3.3. Υδρογραφία.....	σελ:18
1.3.4. Γεωλογία	σελ:19
1.3.5. Ατμόσφαιρα	σελ:19
2. ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ ΑΡΗ	σελ:21
2.1. Εισαγωγή.....	σελ:21
2.2. Συνεισφορά των Αποστολών στην Μελέτη του Κόκκινου Πλανήτη	σελ:22
2.2.1. «Ψυχρός Πόλεμος» στον πλανήτη Άρη (1960-1975)	σελ:22
2.2.2. Η καλπάζουσα Αμερική (1975-2001)	σελ:27
2.2.3. Άρης: Πολυεθνική Υπόθεση (2001-Σήμερα)	σελ:29
2.3. Σύνολο Αποστολών-Επιτυχημένων και Αποτυχημένων (1960-Σήμερα).....	σελ:35
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΡΟΝΟΙ	σελ:38
3.1. Εισαγωγή	σελ:38
3.2. Προ-Noachian Περίοδος	σελ:39
3.3. Noachian Περίοδος	σελ:40
3.3.1. Πρώιμη Noachian Εποχή	σελ:40
3.3.2. Μέση Noachian Εποχή	σελ:42

3.3.3. Ύστερη Noachian Εποχή	σελ:43
3.4. Hesperian Περίοδος	σελ:45
3.4.1. Πρώιμη Hesperian Εποχή	σελ:45
3.4.2. Ύστερη Hesperian Εποχή	σελ:46
3.5. Amazonian Περίοδος	σελ:47
3.5.1. Πρώιμη Amazonian Εποχή	σελ:48
3.5.2. Μέση Amazonian Εποχή	σελ:48
3.5.3. Ύστερη Amazonian Εποχή	σελ:49
4. ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	σελ:50
4.1. Κρατήρες Πρόσκρουσης	σελ:50
4.2. Λιμναία και Ωκεάνια Περιβάλλοντα	σελ:57
4.3. Ποτάμιες Γεωμορφές	σελ:60
4.4. Ηφαιστειακή Δραστηριότητα	σελ:67
4.5. Αιολικές Γεωμορφές	σελ:74
4.6. Τεκτονική Δραστηριότητα	σελ:79
4.7. Παγετωνικές Γεωμορφές	σελ:86
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	σελ:89
5.1. Εισαγωγή	σελ:89
5.2. Συλλογή Δεδομένων	σελ:90
5.3. Διόρθωση Δεδομένων	σελ:90
5.4. Επεξεργασία και Παραγωγή Δεδομένων	σελ:93
5.5. Απεικόνιση Δεδομένων	σελ:98
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	σελ:101
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΠΙΛΟΓΟΣ	σελ:106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄: ΧΑΡΤΕΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	σελ:108
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄: ΧΑΡΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	σελ:111
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ	σελ:129
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ΄: ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ	σελ:133
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ:139

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σενάριο ενός επικείμενου αποικισμού στον πλανήτη Άρη έχει στρέψει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας στην συστηματική μελέτη της επιφάνειας του πλανήτη και των ιδιοτήτων του. Ο κεντρικός πυλώνας και αυτής της εργασίας είναι η συλλογή της γνώσης που έχει παραχθεί από την συστηματική μελέτη μεγάλων οργανισμών όπως η NASA, η USGS και η ESA, με σκοπό την κατηγοριοποίηση και την οπτικοποίηση της με την χρήση χαρτογραφικών μεθόδων. Στα κεφάλαια που ακολουθούν παραθέτονται πληροφορίες για τις ιδιότητες του πλανήτη Άρη ως ουράνιο σώμα, την τοπογραφία και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες του. Ακόμα, γίνεται αναφορά στις διαστημικές αποστολές μέσω των οποίων συλλέχθηκε όλος αυτός ο όγκος πληροφορίας. Στην συνέχεια, παραθέτεται ένα κεφάλαιο στο οποίο αναλύονται τα χαρακτηριστικά των γεωλογικών περιόδων του πλανήτη, όπου αναφέρονται οι κυριαρχούσες γεωμορφές της κάθε περιόδου, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των υπαρχουσών γεωμορφών. Ακόμα, τα χαρακτηριστικά των παρελθουσών και παροντικών αυτών γεωμορφών αναλύονται εκτενώς, ώστε να δοθούν απαντήσεις για την τοπογραφία του πλανήτη. Τέλος, γίνεται μια προσπάθεια οπτικοποίησης σε μεσαία κλίμακα των γεωμορφών αυτών, σε μια περιοχή του πλανήτη μέσω της χρήσης και επεξεργασίας διανυσματικών και ψηφιδωτών δεδομένων, όπου το παραγόμενο αποτέλεσμα παρουσιάζεται ως ένας γεωμορφολογικός χάρτης, τόσο σε δισδιάστατη όσο και σε τρισδιάστατη απεικόνιση.

Λέξεις κλειδιά: Άρης, γεωμορφολογία, διανυσματικά δεδομένα, ψηφιδωτά δεδομένα, GIS

ABSTRACT

The prospect of an upcoming colonization of the planet Mars has turned the interest of the scientific community to the systematic study of the planet's surface and properties. The central pillar of this paper is the collection of the knowledge that has been produced by the systematic study of large organizations such as NASA, USGS and ESA, with the purpose of its categorization and visualization using cartographic methods. In the following chapters we present information on the properties of the planet Mars as a heavenly body, its topography and its atmospheric conditions. Furthermore, we refer to the space missions through which this volume of information was collected. Following, we present a chapter in which the characteristics of the planet's geological periods are analyzed, where each period's dominating landforms are mentioned, with the purpose of a better understanding of extant landforms. In addition, the characteristics of past and present such landforms are analyzed in depth, so that we can provide answers concerning the planet's topography. Last, we make an effort of visualizing these landforms in a medium-scale area of the planet through the utilization and processing of vector and raster data, where the produced result is presented as a geomorphological map, in a two-dimensional as well as a three-dimensional depiction.

Keywords: Mars, geomorphology, vector data, raster data, GIS

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Mariner 9.	σελ:24
Εικόνα 2: Mars 5.	σελ:25
Εικόνα 3: Viking 1 Orbiter.	σελ:26
Εικόνα 4: Viking 1 Lander.	σελ:26
Εικόνα 5: Mars Pathfinder Rover.	σελ:28
Εικόνα 6: Mars Express.	σελ:29
Εικόνα 7: Mars Reconnaissance Orbiter	σελ:31
Εικόνα 8: Curiosity Rover	σελ:32
Εικόνα 9: ExoMars Orbiter.	σελ:34
Εικόνα 10: Πίνακας παρουσίασης γεωλογικής χρονολόγησης και των γεωλογικών σχηματισμών της κάθε εποχής. Οι χρονολογήσεις των γεωμορφών στον πίνακα δεν είναι δεσμευτικές.	σελ:39
Εικόνα 11: Δομική διαφορά μεταξύ απλών και σύνθετων κρατήρων	σελ:52
Εικόνα 12: Εικόνα απλού κρατήρα διαμέτρου 2 km	σελ:53
Εικόνα 13: Εικόνα σύνθετου κρατήρα διαμέτρου 19 km	σελ:53
Εικόνα 14: Εικόνα δευτερευόντων κρατήρων	σελ:55
Εικόνα 15: Ποτάμια κοιλάδες που καταλήγουν στην πεδιάδα Hellas.	σελ:57
Εικόνα 16: Ποτάμια κοιλάδες στο βόρειο ημισφαίριο.	σελ:58
Εικόνα 17: Όρια της παλαιό-λίμνης (κόκκινο)	σελ:59
Εικόνα 18: Δενδριτικό δίκτυο στην περιοχή Terra Sirenum.	σελ:60
Εικόνα 19: Γραμμικό και "ανάστροφο" δενδριτικό δίκτυο στην περιοχή Utopia Planitia, βορειοδυτικά του ηφαιστείου Elysium.	σελ:61
Εικόνα 20: Δίκτυα σύνδεσης μεταξύ κρατήρων, υποδεικνύονται με λευκά βέλη τα κανάλια εισόδου-εξόδου και με μαύρα βέλη τα σημεία εισόδου των κρατήρων, περιοχή του κρατήρα Mädlar.	σελ:63
Εικόνα 21: Ποτάμιο δέλτα στην περιοχή Margaritifer Sinus, όπου παρουσιάζει τα στάδια απόθεσης	σελ:64
Εικόνα 22: Δελταϊκές αποθέσεις στον κρατήρα Eberswalde, διαστάσεων μήκους 8 km και πλάτους 10 km.	σελ:66
Εικόνα 23: Το σύμπλεγμα Tharsis Montens και το Olympus Mons.	σελ:67
Εικόνα 24: Ηφαίστειο Elysium Mons	σελ:68

Εικόνα 25: Ηφαίστειο Alba Mons.	σελ:70
Εικόνα 26: Νέα lahar (κόκκινες επιφάνειες) τα οποία έχουν δημιουργηθεί στο ηφαίστειο Pinatubo	σελ:73
Εικόνα 27: Αιολική καταιγίδα, όπου εξελίχθηκε στις 5 Απριλίου 2001. Οι εικόνες έχουν ληφθεί εντός της ίδιας ημέρας, με διαφορά χρόνου λήψης 2 ώρες (η ακριβής στιγμή αναγράφεται επάνω-δεξιά). Η κατεύθυνσή της είναι ανατολική και μετέπειτα βόρειο-ανατολική, ενώ η ταχύτητα που αναπτύσσει φτάνει τα 19 m/s	σελ:75
Εικόνα 28: Wind streaks στην επιφάνεια του Άρη. Οι σκούρες περιοχές αντιπροσωπεύουν απόθεση ενώ οι λευκές διάβρωση.	σελ:76
Εικόνα 29: Barchan dunes στην επιφάνεια του πλανήτη Άρη.	σελ:77
Εικόνα 30: Yardangs στην επιφάνεια του Άρη.	σελ:78
Εικόνα 31: Παγκόσμια κατανομή της μαγνητιτικής "υπογραφής" του πλανήτη. Οι περιοχές με κόκκινες αποχρώσεις υποδηλώνουν θετικά μαγνητισμένες περιοχές, ενώ με μπλε αρνητικά. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν πιθανά όρια πλακών.	σελ:79
Εικόνα 32: Μαγνητική "υπογραφή" στην περιοχή Terra Meridiani. Οι περιοχές με κόκκινες αποχρώσεις υποδηλώνουν θετικά μαγνητισμένες περιοχές, ενώ με μπλε αρνητικά. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν πιθανά όρια πλακών.	σελ:80
Εικόνα 33: Η κοιλάδα Valles Marineris.	σελ:82
Εικόνα 34: Τριγωνικές δομές στο χείλος του Valles Marineris.	σελ:83
Εικόνα 35: Σχήμα όπου περιγράφει την δημιουργία των τριγωνικών δομών	σελ:85
Εικόνα 36: Υπόμνημα χάρτη αποθέσεων.	σελ:120
Εικόνα 37: Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μελέτης.	σελ:129
Εικόνα 38: Τρισδιάστατη απεικόνιση του φαραγγιού Valles Marineris	σελ:129
Εικόνα 39: Τρισδιάστατη απεικόνιση της κοιλάδας Xanthe Terra.	σελ:130
Εικόνα 40: Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μελέτης.	σελ:130
Εικόνα 41: Τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωμορφολογικού χάρτη	σελ:131
Εικόνα 42: Τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωμορφολογικού χάρτη	σελ:131
Εικόνα 43: Τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωμορφολογικού χάρτη στην περιοχή Xanthe Terra.	σελ:132
Εικόνα 44: Τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωμορφολογικού χάρτη στην περιοχή Valles Marineris.	σελ:132
Εικόνα 45: Τοπογραφικές τομές της περιοχής Xanthe Terra.	σελ:133

Εικόνα 46: Τοπογραφικές τομές της περιοχής Kasei Valles.	σελ:135
Εικόνα 47: Τοπογραφικές τομές στο φαράγγι Valles Marineris	σελ:137

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Προγράμματα αποστολών για τον "κόκκινο" πλανήτη	σελ:35
Πίνακας 2: Ονοματολογία των γεωλογικών αποθέσεων και ο συμβολισμός τους.	σελ:97

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Τομή 3 από την περιοχή Xanthe Terra	σελ:134
Γράφημα 2: Τομή 7 από την περιοχή Xanthe Terra	σελ:134
Γράφημα 3: Τομή 3 από την περιοχή Kasei Valles.	σελ:135
Γράφημα 4: Τομή 5 από την περιοχή Kasei Valles.	σελ:136
Γράφημα 5: Τομή 7 από την περιοχή Kasei Valles.	σελ:136
Γράφημα 6: Τομή 8 από την περιοχή Kasei Valles.	σελ:136
Γράφημα 7: Τομή 1 από το φαράγγι Valles Marineris	σελ:137
Γράφημα 8: Τομή 3 από το φαράγγι Valles Marineris	σελ:138
Γράφημα 9: Τομή 4 από το φαράγγι Valles Marineris	σελ:138

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1: Παγκόσμιος τοπογραφικός χάρτης	σελ:108
Χάρτης 2: Παγκόσμιος υδρολογικός χάρτης.	σελ:109
Χάρτης 3: Παγκόσμιος χάρτης επιφανειών, κατηγοριοποιημένες βάσει της γεωλογικής τους περιόδου	σελ:110
Χάρτης 4: Υψομετρικός χάρτης περιοχής μελέτης	σελ:111
Χάρτης 5: Χάρτης κλίσεων περιοχής μελέτης.	σελ:112
Χάρτης 6: Τάφροι και κέρατα του φαραγγιού Valles Marineris.	σελ:113
Χάρτης 7: Ισοϋψείς καμπύλες ανά 1000 m στην περιοχή μελέτης	σελ:114

Χάρτης 8: Κύριο υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης	σελ:115
Χάρτης 9: Δευτερεύον υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης	σελ:116
Χάρτης 10: Παλαιό-ακτή περιοχής μελέτη	σελ:117
Χάρτης 11: Γραμμικές γεωμορφές περιοχής μελέτης	σελ:118
Χάρτης 12: Γεωλογικές αποθέσεις περιοχής μελέτης	σελ:119
Χάρτης 13: Κρατήρες πρόσκρουσης περιοχής μελέτης.	σελ:121
Χάρτης 14: Ζώνη απόθεσης 1 περιοχής μελέτης	σελ:122
Χάρτης 15: Ζώνη απόθεσης 2 περιοχής μελέτης	σελ:123
Χάρτης 16: Ζώνη απόθεσης 3 περιοχής μελέτης	σελ:124
Χάρτης 17: Κατηγοριοποίηση κρατήρων βάσει της εσωτερικής δομής τους.	σελ:125
Χάρτης 18: Πυκνότητα κρατήρων βάσει της ακτίνας τους.	σελ:126
Χάρτης 19: Πυκνότητα κρατήρων βάσει του βάθους τους.	σελ:127
Χάρτης 20: Γεωμορφολογικός χάρτης περιοχής μελέτης.	σελ:128

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΕΣΣΔ	Ένωση Σοβιετικών Σοσιαλιστικών Δημοκρατιών
NASA	National Aeronautics and Space Administration
USGS	United States Geological Survey
ESA	European Space Agency
MSL	Mars Science Laboratory
MAVEN	Mars Atmosphere and Volatile Evolution mission
MOM	Mars Orbiter Mission
MOLA	Mars Orbiter Laser Altimeter
DEM	Digital Elevation Model
CEP	Central Elysium Planitia
CSV	Comma-Separated Values
TIFF	Tagged Image File Format
txt	text
RGB	Red Green Blue
GIS	Geographic Information System
km	kilometer
m	meter
mb	millibar
C	Celsius
K	Kelvin
Pa	pascal
dd	decimal degrees

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προσοχή των επιστημών του διαστήματος ήταν κατά το παρελθόν επικεντρωμένη στην παρατήρηση της Σελήνης και στην εξαγωγή όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών για αυτό το ουράνιο σώμα. Με την κατάκτηση του στόχου αυτού, η ανθρώπινη περιέργεια εντάθηκε με σκοπό την συλλογή όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών για τον πλανήτη Άρη. Σήμερα το ενδιαφέρον των μεγάλων διαστημικών φορέων είναι πιο έντονο από ποτέ και οι αποστολές εξερεύνησης διαδέχονται η μια την άλλη. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την συλλογή και παρουσίαση πληροφοριών που έχουν παραχθεί τις τελευταίες δεκαετίες, οι οποίες σχετίζονται με την γεωλογία και την γεωμορφολογία του πλανήτη, με σκοπό την κατανόηση των συνθηκών και του περιβάλλοντος του πλανήτη Άρη.

Η επιλογή του θέματος αφ' ενός σχετίζεται με τον "πυρετό" πληροφόρησης που υπάρχει πλέον γύρω από το συγκεκριμένο θέμα και αφ' εταίρου με την ιδιότητα του γεωγράφου αυτή κάθε αυτή. Το χαρακτηριστικότερο στοιχείο της επιστήμης της γεωγραφίας είναι το ότι εκτείνεται σε πολλά επιστημονικά πεδία. Ένας γεωγράφος, είναι σε θέση να μελετήσει μια περιοχή από όλες τις πιθανές σκοπιές του πολεοδόμου, του κοινωνιολόγου, του γεωλόγου, του περιβαλλοντολόγου κ.α., πράγμα δύσκολο για επιστήμονες οι οποίοι είναι εξειδικευμένοι σε ένα μόνο από αυτά τα πεδία. Δηλαδή ένας γεωγράφος είναι σε θέση να κάνει πολυσύνθετες, αναλυτικές προσεγγίσεις. Θα μπορούσε λοιπόν να ανταπεξέλθει καλύτερα κάποιος άλλος επιστήμονας, σε έναν τέτοιο κυκλώνα πληροφορίας, καλύτερα από έναν γεωγράφο;

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται διάφορα πεδία τα οποία αφορούν τον κόκκινο πλανήτη. Εμπεριέχονται στοιχεία που αφορούν την παρούσα κατάσταση του πλανήτη, την τοπογραφία του, την ατμόσφαιρα του και τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο σήμερα. Ακόμα, παρουσιάζονται τα αποτυπώματα των κύριων γεωλογικών διεργασιών, οι οποίες έχουν συντελεστεί στον Άρη. Οι διεργασίες αυτές έχουν παράξει μια πληθώρα γεωμορφών, οι οποίες παρουσιάζουν περισσότερες ομοιότητες παρά διαφορές σε σχέση με τις επίγειες, για τις οποίες παραθέτονται λεπτομερή στοιχεία. Τέτοιες γεωμορφές είναι οι κρατήρες πρόσκρουσης, οι λίμνες, τα ποτάμια, οι ωκεανοί, τα ηφαίστεια, οι τεκτονικές πλάκες και τα ρήγματα, οι αμμοθίνες, οι παγετωνικές γεωμορφές και πολλές άλλες. Επιπρόσθετα, παρατίθενται

πρόσθετες πληροφορίες για τις διαστημικές αποστολές εξερεύνησης του πλανήτη που υλοποιήθηκαν και μέσω των οποίων παράχθηκε όλη αυτή η γνώση.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, εκτός από την βιβλιογραφική έρευνα, έγινε και μια προσπάθεια χαρτογραφικής απεικόνισης όλων αυτών των πληροφοριών, τόσο παγκόσμιας κλίμακας, όσο και μιας μικρότερης γεωγραφικής περιοχής με την αξιοποίηση εργαλείων της Γεωπληροφορικής (GIS). Για την οπτικοποίηση των πληροφοριών αυτών, έγινε συλλογή διανυσματικών και ψηφιδωτών δεδομένων από την Υπηρεσία Γεωλογικών Ερευνών των ΗΠΑ (USGS), με σκοπό την παραγωγή ενός γεωμορφολογικού χάρτη, για μια περιοχή μελέτης, με τις συντεταγμένες της να καλύπτουν ένα εύρος, όσον αφορά το γεωγραφικό μήκος μεταξύ 30° δυτικά έως 90° δυτικά, ενώ το γεωγραφικό πλάτος μεταξύ 30° νότια έως 30° βόρεια. Τα δεδομένα αυτά επεξεργάστηκαν εξ ολοκλήρου με την χρήση του προγράμματος ArcGIS, έκδοσης 10.2.2, ενώ η οπτικοποίηση των παραγόμενων αποτελεσμάτων έγινε τόσο σε δισδιάστατη όσο και σε τρισδιάστατη απεικόνιση. Τέλος, με την αξιοποίηση της βιβλιογραφικής έρευνας και της γεωμορφολογικής μελέτης, γίνεται μια παρουσίαση της παρελθούσας και παρούσας κατάστασης της περιοχής μελέτης.

1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΟΚΚΙΝΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ

1.1. Εισαγωγή

Στο άκουσμα της λέξης «Άρης», ποιες θα ήταν οι πρώτες πληροφορίες στις οποίες θα "ανέτρεχε" η ανθρώπινη μνήμη; Η πρωταρχική πληροφορία, εκτός των άλλων, θα ήταν ότι αποτελεί τον τέταρτο κατά σειρά πλανήτη του ηλιακού μας συστήματος. Πέραν όμως από αυτή την πληροφορία, ποιες άλλες γνώσεις διαθέτει το ευρύ κοινό; Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν, παραθέτονται κάποιες γεωμετρικές, τοπογραφικές, γεωλογικές και κλιματολογικές πληροφορίες για τον πλανήτη Άρη, ενώ οι χάρτες όπου παρουσιάζουν οπτικά τις προαναφερθείσες πληροφορίες, παραθέτονται στο Παράτημα Α'.

1.2. Ο Πλανήτης μέσα από Αριθμούς

Ο πλανήτης Άρης, είναι ο τέταρτος κατά σειρά πλανήτης από τον Ήλιο, ενώ η απόστασή του από αυτόν είναι 228 εκατομμύρια χιλιόμετρα, δηλαδή 1,5 αστρονομικές μονάδες. Το μέγεθός του είναι το μισό, αν συγκριθεί με τον πλανήτη Γη, καθώς διαθέτει μια ακτίνα 3.390 km. Η εσωτερική δομή του αποτελείται από τρία τμήματα, τον φλοιό τον μανδύα και τον πυρήνα του. Ο φλοιός, όπου είναι συμπαγής, χαρακτηρίζεται από μια ακτίνα μεταξύ 10-50 km ενώ τα στοιχεία που τον αποτελούν είναι ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το αλουμίνιο, το ασβέστιο και το κάλιο. Ο μανδύας, όπου το πάχος του ορίζεται εντός ενός εύρους 1.270-1.880 km, ενώ χαρακτηρίζεται ως βραχώδης. Τέλος, ο πυρήνας του χαρακτηρίζεται από μια ακτίνα η οποία ορίζεται εντός ενός εύρους 1.500-2.100 km, ενώ τα στοιχεία που τον αποτελούν είναι ο σίδηρος, το νικέλιο και το θείο. Επίσης, ο πλανήτης φέρει δυο δορυφόρους, τον Φόβο όπου είναι σε εσωτερική τροχιά, και τον Δείμο, όπου είναι σε εξωτερική τροχιά, και το σχήμα τους δεν είναι σφαιρικό αλλά ωσειδές, καθώς η μάζα και η βαρύτητά τους δεν είναι ικανές να σμιλεύσουν τα σώματα αυτά σε σφαίρες (NASA Science Solar System Exploration, Mars, In Depth).

Η περιστροφή του πλανήτη χρονικά προσομοιάζει αυτή της Γης, καθώς είναι 24,6 ώρες, ενώ η περιφορά του είναι ελλειπτική, όπως και των υπόλοιπων πλανητών, αλλά λόγω της

απόστασής του από τον Ήλιο, το ένα αρειανό έτος δεν είναι παρόμοιο με το γήινο, αλλά αποτελείται από 687 γήινες ημέρες. Η κλίση του άξονα του πλανήτη είναι περίπου 25°, παρόμοια με αυτή της Γης, ενώ ο πλανήτης διαθέτει εποχές ανάλογες με τις γήινες, με την διαφορά ότι χρονικά είναι διαφοροποιημένες, λόγω της κλίσης του άξονα, και είναι μεγαλύτερες από τις γήινες, λόγω της περιφοράς του πλανήτη. Τέλος, ο πλανήτης στην παρούσα κατάστασή του δεν διαθέτει μαγνητικό πεδίο, αλλά υπάρχουν παλαιότερα ίχνη του, κυρίως στο νότιο ημισφαίριο, ορίζοντας το στα 4 δισεκατομμύρια χρόνια πριν από σήμερα (NASA Science Solar System Exploration, Mars, In Depth).

1.3. Παρούσα Κατάσταση του Πλανήτη

1.3.1. Γενικά

Η σημερινή κατάσταση του πλανήτη είναι πολύ διαφορετική σε σχέση με αυτήν που την χαρακτήριζε πριν από 4 δισεκατομμύρια χρόνια. Σήμερα ο πλανήτης είναι ένας άγονος "κόκκινος" πλανήτης με μεγάλες υψομετρικές διαφορές. Το χαρακτηριστικό αυτό κόκκινο χρώμα οφείλεται σε δύο παράγοντες, αφ' ενός στην οξείδωση του μετάλλου του σιδήρου που εμπεριέχεται κατά κόρον στα πετρώματα της επιφάνειας και αφ' ετέρου στην λεπτόκοκκη σκόνη που κυκλοφορεί στην ατμόσφαιρά του (NASA Science Solar System Exploration, Mars, In Depth).

1.3.2. Τοπογραφία

Η επιφάνεια του, εκτός από τις μεγάλες υψομετρικές διαφορές, παρουσιάζει και ποικίλες γεωμορφές που δεν συνάδουν με τις σημερινές συνθήκες. Στον χάρτη 1 παρουσιάζεται η τοπογραφία του πλανήτη. Το υψηλότερο σημείο του πλανήτη είναι το ηφαίστειο Olympus Mons, στα βορειοδυτικά, όπου ανέρχεται σε ύψος 21.229 m, από ένα μέσο υψόμετρο (σημείο υψομέτρου μηδέν) (Color-Coded Contour Map of Mars, M 25M RKT, U.S., 2003, Geological Survey). Το χαμηλότερο υψόμετρο εντοπίζεται στην Hellas Planitia, που βρίσκεται στα νοτιοανατολικά του πλανήτη, όπου το υψόμετρό της ανέρχεται στα -8.200 m (Color-Coded Contour Map of Mars, M 25M RKT, 2003, U.S. Geological Survey). Η τοπογραφία του πλανήτη παρουσιάζει μια υψομετρική διχοτόμηση μεταξύ του βορείου και του νοτίου ημισφαιρίου. Στο

βόρειο ημισφαίριο απαντώνται τα χαμηλότερα υψόμετρα, όπου καλύπτονται από πεδιάδες, ενώ στο νότιο ημισφαίριο απαντώνται τα μεγαλύτερα υψόμετρα, τα υψίπεδα του πλανήτη. Το νότιο τμήμα του πλανήτη, έχει καταπονηθεί από γεγονότα προσκρούσεων, ενώ οι βόρειες πεδιάδες δεν παρουσιάζουν κρατήρες. Οι μεγαλύτεροι κρατήρες είναι οι Hellas Planitia, η Argyre Planitia και η Isidis Planitia. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα του πλανήτη είναι συσσωρευμένη στα μικρά γεωγραφικά πλάτη, στο δυτικό τμήμα του πλανήτη. Εκτός από το ηφαίστειο Olympus Mons, στην συγκεκριμένη περιοχή απαντώνται, το ηφαίστειο Alba Mons, βορειότερα του Olympus Mons, και το σύμπλεγμα Tharsis Montes, όπου αποτελείται από τα ηφαίστεια Arsia Mons, Pavonis Mons και Ascraeus Mons. Εκτός από τα συγκεκριμένα ηφαίστεια, υπάρχει και ένα ακόμα ηφαίστειο ανάλογου μεγέθους στα ανατολικά, όπου ονομάζεται Elysium Mons. Τέλος, στα ανατολικά του συμπλέγματος Tharsis Montes, εντοπίζεται το μεγαλύτερο φαράγγι του πλανήτη, το Valles Marineris, όπου εκτείνεται παράλληλα με τον ισημερινό. Αξίζει να σημειωθεί ότι, όροι όπως "Γεωλογία", "Ισημερινός", "Βόρειος Πόλος", "Λίμνες" κλπ., παρότι δεν είναι απόλυτα ακριβείς για τον πλανήτη Άρη, χρησιμοποιούνται στην εργασία με το νόημα που τους αποδίδεται για την Γη.

1.3.3. Υδρογραφία

Αν και σε παλαιότερες εποχές, το νερό είχε αποτελέσει έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες διαμόρφωσης της επιφάνειας του πλανήτη, στην παρούσα κατάστασή του ο όγκος του νερού έχει συσσωρευτεί σε μορφή πάγου στις πολικές ζώνες του πλανήτη, ενώ απαντάται και σε υγρή μορφή, αλλά σε ένα μικρό απειροελάχιστο ποσοστό, με αλμυρή σύσταση όπου απορρέει περιοδικά σε λόφους και κρατήρες. Αυτό οφείλεται την πολύ αραιή σύσταση της ατμόσφαιρας η οποία δεν επιτρέπει την ύπαρξη του νερού σε υγρή μορφή (NASA Science Solar System Exploration, Mars, In Depth). Στον χάρτη 2, παρουσιάζεται το παρελθοντικό υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο είναι συσσωρευμένο στην μεταβατική ζώνη μεταξύ ορεινών και πεδινών περιοχών, καταλήγοντας στις βόρειες πεδιάδες. Ακόμα υπάρχουν κλάδοι οι οποίοι καταλήγουν σε μεγάλες κοιλάτες κρατήρων όπως η Hellas Planitia και η Argyre Planitia. Πέραν του παρόντος υδρογραφικού δικτύου υπάρχουν και μεγάλα κανάλια εκροής τα οποία καταλήγουν και αυτά στις βόρειες πεδιάδες. Τέτοια κανάλια βρίσκονται στις περιοχές Lunae Planum, η οποία διαθέτει και το μεγαλύτερο υδρογραφικό δίκτυο του πλανήτη ονόματι Kasei Valles, Xanthe Terra και στα βορειοδυτικά του Elysium Mons.

1.3.4. Γεωλογία

Μέσα σε αυτόν τον κυκλώνα πληροφορίας, και φυσικά για την καλύτερη αποκωδικοποίησή της, θα πρέπει να προσδιοριστεί η γεωλογική ηλικία των γεωμορφών του πλανήτη. Στον χάρτη 3, γίνεται απεικόνιση της επιφάνειας του πλανήτη βάσει της γεωλογικής του ηλικίας. Η κατανομή των επιφανειών αυτών είναι συνεπείς με τις γεωλογικές περιόδους και την ιστορική εξέλιξη της επιφάνειας του πλανήτη. Οι παλαιότερες επιφάνειες, αυτές της Noachian περιόδου, διέπονται από κρατήρες πρόσκρουσης, που αποτελούν τις παλαιότερες γεωμορφές που πλανήτη. Οι επιφάνειες που χρονολογούνται στο μέσον της γεωλογικής ιστορίας του πλανήτη, της Hesperian περιόδου, απαντώνται στις περιοχές με έντονη ποτάμια δραστηριότητα, όπου αποτελεί αντιπροσωπευτικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης εποχής. Τέλος, οι επιφάνειες που εντάσσονται στο τέλος της γεωλογικής ιστορίας του πλανήτη, της Amazonian περιόδου, καλύπτουν τις ηφαιστειακές και πολικές περιοχές, οι δραστηριότητες των οποίων έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ύστερη ιστορία του πλανήτη.

1.3.5. Ατμόσφαιρα

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά της αρειανής ατμόσφαιρας είναι η αρκετά αραιή σύνθεσή της. Αυτό το χαρακτηριστικό της, την καθιστά αδύναμη στο να περιορίσει πιθανά συμβάντα προσκρούσεων της επιφάνειας με εξωπλανητικά αντικείμενα. Επίσης το θερμοκρασιακό εύρος του πλανήτη οφείλεται και αυτό στην συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα της ατμόσφαιρας. Το θερμοκρασιακό εύρος του πλανήτη εκτείνεται από +20° C έως και -153 ° C, όπου οι αυξομειώσεις αυτές οφείλονται στην απώλεια θερμότητας προς το διάστημα (NASA Science Solar System Exploration, Mars, In Depth). Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει υπολογιστεί γύρω στους -63° C. Τα κυριότερα στοιχεία που φιλοξενεί η ατμόσφαιρα βάσει του όγκου τους είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) σε ποσοστό 95,32 %, το άζωτο (N₂) σε ποσοστό 2,7 %, το αργό (Ar) σε ποσοστό 1,6 %, το οξυγόνο (O₂) σε ποσοστό 0,13 % και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) σε ποσοστό 0,08 % (NASA, The NSSDCA, Mars Fact Sheet). Τέλος, στην ατμόσφαιρα του πλανήτη λαμβάνουν χώρα αρκετά ισχυρές αμμοθύελλες, όπου ακόμα και μετά την λήξη τους απαιτείται ένα αρκετά μεγάλο διάστημα για την εναπόθεση του υλικού το οποίο μετέφερε ο άνεμος (NASA Science Solar

System Exploration, Mars, In Depth). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι ταχύτητες του ανέμου στην επιφάνεια του πλανήτη κατά την διάρκεια ενός τέτοιου φαινομένου εκτίνονται σε ένα εύρος μεταξύ 17-30 m/s, ενώ κατά την διάρκεια των εποχών αγγίζουν μικρότερες ταχύτητες, το καλοκαίρι μεταξύ 2-7 m/s και το φθινόπωρο μεταξύ 5-10 m/s (NASA, The NSSDCA, Mars Fact Sheet).

Όλες οι πληροφορίες που αναφέρθηκαν στο παρόν υποκεφάλαιο, αναλύονται εκτενώς στα κεφάλαια 3 και 4, όπου ακολουθούν στην συνέχεια.

2. ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ ΑΡΗ

2.1. Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις γεωμορφές τις οποίες φέρει ο πλανήτης στην επιφάνειά του, καθώς επίσης στα αριθμητικά στοιχεία του και τις επικρατούσες συνθήκες του. Πως όμως είναι δυνατόν να έχουν συλλεχθεί τόσο λεπτομερείς πληροφορίες για μια εκτεταμένη περιοχή η οποία είναι εφικτό να μελετηθεί μόνο από απόσταση;

Η απάντηση βρίσκεται σε μια πληθώρα αποστολών οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε ένα βάθος χρόνου 60 περίπου ετών, από διάφορες χώρες με κυριότερους εκπροσώπους, τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Πρώην Σοβιετική Ένωση. Οι χώρες αυτές στα πλαίσια του «Ψυχρού Πολέμου», κονταροχτυπηθήκαν για το ποια θα "κατακτούσε" τον πλανήτη Άρη. Το γεγονός αυτό έφερε ως αποτέλεσμα την συσσώρευση του μεγαλύτερου αριθμού των αποστολών πριν από το 1992, ενώ οι περισσότερες από αυτές είχαν αρνητική έκβαση. Κατά τα τέλη της δεκαετίας του '90 και των αρχών της νέας χιλιετίας άρχισαν να λαμβάνουν μέρος και άλλες χώρες όπως η Ιαπωνία, η Ινδία, η Κίνα, ο οργανισμός ESA και φυσικά το αντίπαλο δέος των ΗΠΑ, η Ρωσία. Οι πρωταρχικές αποστολές είχαν ως στόχο την συλλογή οπτικών δεδομένων μέσω δορυφόρων (Orbiter), ενώ μετέπειτα έγιναν προσπάθειες προσεδάφισης σκαφών (Lander) και τροχοφόρων οχημάτων (Rover), άλλες επιτυχημένες και άλλες όχι, με σκοπό την συλλογή δεδομένων ευρείας κλίμακας.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου παραθέτονται χρήσιμες πληροφορίες για τις αποστολές που στέφθηκαν με επιτυχία, καθώς και ένας πίνακας ο οποίος εμπεριέχει το σύνολο των αποστολών ανεξάρτητα από την έκβασή τους.

2.2. Συνεισφορά των Αποστολών στην Μελέτη του Κόκκινου Πλανήτη

2.2.1. «Ψυχρός Πόλεμος» στον πλανήτη Άρη (1960-1975)

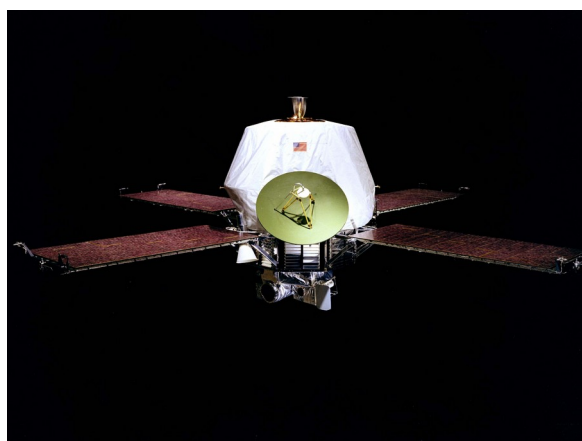
Πριν από το 1964 διεξήχθησαν 6 ανεπιτυχείς αποστολές, αλλά την ίδια χρονιά έλαβε χώρα και το πρώτο επιτυχές αρειανό πρόγραμμα, το «Mariner 4». Το «Mariner 4» διεξήχθη για λογαριασμό των Ηνωμένων Πολιτειών, με την χρήση της λειτουργίας «flyby», όπου επέφερε ως αποτέλεσμα την συλλογή 21 εικόνων, οι πρώτες εικόνες που συλλέχθηκαν ποτέ από την επιφάνεια του πλανήτη (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Σκοπός της αποστολής ήταν η ενδελεχής παρατήρηση της επιφάνειας του Άρη, η ανίχνευση πεδίων και σωματιδίων στην έξω-πλανητική περιοχή του πλανήτη, και φυσικά η συλλογή γνώσης και εμπειρίας για ανάλογες μελλοντικές αποστολές. Ο όγκος των δεδομένων που συλλέχθηκαν ανέρχεται στα 5,2 εκατομμύρια bits, ενώ οι πρώτες πληροφορίες που εξάχθηκαν από τις εικόνες, έδειξαν μια επιφάνεια καταπονημένη από τις προσκρούσεις μετεωριτών, η οποία θύμιζε την σεληνιακή επιφάνεια. Παράλληλα, υπολογίστηκαν η μέση ατμοσφαιρική πίεση και η ημερήσια θερμοκρασία, όπου οι τιμές τους ανέρχονται σε 4,2-7,0 mb και -100 °C αντίστοιχα, ενώ δεν ανιχνεύτηκε κάποιο μαγνητικό πεδίο, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι η επιφάνεια του πλανήτη είναι ολοκληρωτικά εκτεθειμένη στην ηλιακή και κοσμική ακτινοβολία. Το κόστος της συγκεκριμένης αποστολής ανήλθε στα 83,2 εκατομμύρια δολάρια (NASA, The NSSDCA, Mariner 4).

Έπειτα από το πρόγραμμα «Mariner 4», ακολούθησαν 3 αποτυχημένες αποστολές, ενώ το επόμενο επιτυχές πρόγραμμα είναι το «Mariner 6». Το Mariner 6 διεξήχθη το 1969, από τις Ηνωμένες Πολιτείες, με την χρήση της λειτουργίας «flyby», όπου επέφερε ως αποτέλεσμα την συλλογή 75 εικόνων (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Την ίδια χρονιά έλαβε χώρα και ένα ακόμα επιτυχές πρόγραμμα των Ηνωμένων Πολιτειών, το «Mariner 7», όπου και στο συγκεκριμένο πρόγραμμα έγινε χρήση της λειτουργίας «flyby», και επέφερε ως αποτέλεσμα την συλλογή 126 εικόνων (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Οι στόχοι των συγκεκριμένων αποστολών ήταν η μελέτη της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας της, αποκλειστικά και μόνο του πλανήτη, και δεν έγινε προσπάθεια συλλογής δεδομένων κατά την πορεία του σκάφους προς τον πλανήτη ή δεδομένων πέρα από αυτόν, ενώ έθεσε τις βάσεις για μελέτες που σχετίζονταν με την πιθανότητα ύπαρξης εξωγήινης ζωής

και την συλλογή τεχνογνωσίας για μελλοντικές αποστολές (NASA, The NSSDCA, Mariner 6). Ο συνολικός όγκος των δεδομένων που συλλέχθηκαν και από τις δυο αποστολές ανέρχεται στα 800 εκατομμύρια bits. Οι εικόνες που συλλέχθηκαν, αντιστοιχούν στο 20% της επιφάνειας του πλανήτη και παρουσίασαν διαφορετικά αποτελέσματα από αυτά της αποστολής «Mariner 4». Στο τμήμα του νότιου πόλου εντοπίστηκε ένα παχύ στρώμα το οποίο ερμηνεύτηκε ως στερεοποιημένο διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, επανυπολογίστηκε η μέση πίεση της ατμόσφαιρας στα 6-7 mb, ενώ πραγματοποιήθηκαν σχετικές μετρήσεις για την ακτίνα, την μάζα και το σχήμα του Άρη (NASA, The NSSDCA, Mariner 7).

Αργότερα, ακολούθησαν 3 αποτυχημένες αποστολές, ώσπου το 1971 συντελείται ένα ακόμα επιτυχές πρόγραμμα, το «Mars 3», αυτή την φορά για λογαριασμό της ΕΣΣΔ, όπου κατάφερε να συλλέξει δορυφορικά δεδομένα για 8 μήνες, αλλά το σκάφος προσεδάφισης απέτυχε να προσεδαφιστεί (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Οι στόχοι της συγκεκριμένης αποστολής αποτελούσαν την συλλογή δεδομένων τοπογραφίας της επιφάνειας του πλανήτη, της σύνθεσης και των ιδιοτήτων της επιφάνειας, του προσδιορισμού της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, τις ιδιότητες της ατμόσφαιρας, την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακός άνεμος) και την ύπαρξη μαγνητικών πεδίων τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο αποστολής των δεδομένων που θα συνέλεγε το σκάφος προσεδάφισης (NASA, The NSSDCA, Mars 3). Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον δορυφόρο, ανέρχονται στις 60 εικόνες. Από τις εικόνες αυτές εντοπίστηκαν έντονες υψομετρικές διαφορές του αναγλύφου, όπως όρη τα οποία έφταναν σε ύψος τα 22 χιλιόμετρα. Επιπρόσθετα, εντοπίστηκαν στην ανώτερη ατμόσφαιρα στοιχεία όπως το οξυγόνο και το υδρογόνο, ενώ η επιφανειακή θερμοκρασία του πλανήτη ορίστηκε σε μια κλίμακα μεταξύ -110 °C και 13 °C. Ακόμα, η ατμοσφαιρική πίεση προσδιορίστηκε μεταξύ 5,5 έως 6 mb, οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν μια συσσώρευση 5.000 φορές μικρότερη σε σχέση με αυτή της Γης, ενώ οι αμμοθύελλες είναι σε θέση να φτάσουν σε ύψος και τα 7 km από την επιφάνεια του πλανήτη (NASA, The NSSDCA, Mars 3).

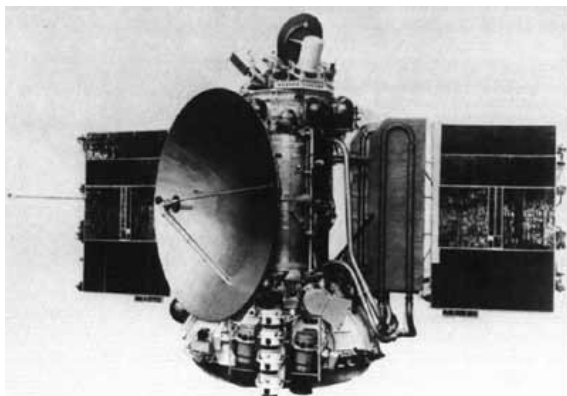
Την ίδια χρονιά όπου συντελέστηκε το επιτυχημένο σοβιετικό πρόγραμμα «Mars 3», έλαβε χώρα και ένα ακόμα πρόγραμμα με την ίδια έκβαση, το «Mariner 9», για λογαριασμό των ΗΠΑ, το οποίο επέφερε ως αποτέλεσμα την συλλογή 7.329 δορυφορικών εικόνων (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Το 1971 οι ΗΠΑ είχαν ως στόχο την υλοποίηση δυο προγραμμάτων, τα «Mariner» 8 και 9, τα οποία θα λειτουργούσαν συμπληρωματικά ώστε να συλλέξουν δεδομένα για το σύνολο της επιφάνειας του πλανήτη. Δεδομένης της αποτυχίας του προγράμματος «Mariner 8», το πρόγραμμα «Mariner 9» κλήθηκε να φέρει εις πέρας τους στόχους και των δυο αποστολών. Η σύνοψη των στόχων της συγκεκριμένης αποστολής περιελάμβανε την συλλογή οπτικών δεδομένων για το 70% της επιφάνειας του πλανήτη και την μελέτη περιοδικών αλλαγών που θα μπορούσαν να εντοπιστούν στην ατμόσφαιρα και την επιφάνειά του. Η επιτυχία του προγράμματος κατέταξε το σκάφος ως το πρώτο σκάφος όπου κατάφερε να τελέσει μια πλήρη περιστροφή γύρω από έναν άλλο πλανήτη (NASA, The NSSDCA, Mariner 9). Το «Mariner 9», παρόλο που εισήλθε επιτυχώς σε τροχιά γύρω από τον πλανήτη, δεν ήταν σε θέση να συλλέξει εξ αρχής δεδομένα, καθώς βρέθηκε εν μέσω μια μεγάλης αμμοθύελλας, μια εκ των μεγαλύτερων που



Εικόνα 1: Mariner 9. (πηγή: NASA, The NSSDCA, Mariner 9)

έχουν παρατηρηθεί στον πλανήτη. Δεδομένης της κατάστασης οι μόνες γεωμορφές όπου εντοπίστηκαν ήταν το Olympus Mons και το σύμπλεγμα Tharsis, ενώ με την υποχώρηση της θύελλας συλλέχθηκαν δεδομένα όπου αφορούσαν την βαρύτητα, την τοπογραφία και την σύνθεση της επιφάνειάς του. Οι γεωμορφές που εντοπίστηκαν από την αποστολή ήταν τα ηφαίστεια του πλανήτη, η τάφρος Valles Marineris (όπου το όνομά της δόθηκε προς τιμήν της συγκεκριμένης αποστολής, η οποία την ανακάλυψε), καθώς επίσης και τα στρώματα διοξειδίου του άνθρακα και πάγου όπου φέρουν οι πόλοι του πλανήτη. Πέρα των γεωμορφών αυτών παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά και οι δύο φυσικοί δορυφόροι του πλανήτη, ο Φόβος και ο Δείμος. Επιπρόσθετα στοιχεία όπου συλλέχθηκαν αφορούσαν την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, την σύνθεσή της, την πυκνότητά της και την πίεση, ενώ συλλέχθηκαν και ενδιαφέροντα στοιχεία για την αιολική δράση της (NASA, The NSSDCA, Mariner 9).

Ύστερα από το πρόγραμμα «Mariner 9», ακολούθησε ένα αποτυχημένο πρόγραμμα, και το 1973 πραγματοποιήθηκε το επόμενο επιτυχημένο πρόγραμμα, το «Mars 5», για λογαριασμό της Σοβιετικής Ένωση, όπου επέφερε ως αποτέλεσμα την συλλογή 60 εικόνων αλλά η πτήση του σκάφους διήρκησε μόνο 9 ημέρες (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Στόχος της αποστολής ήταν η συλλογή δεδομένων που σχετίζονται με την ατμόσφαιρα



Εικόνα 2: Mars 5. (πηγή: NASA, The NSSDCA, Mars 5)

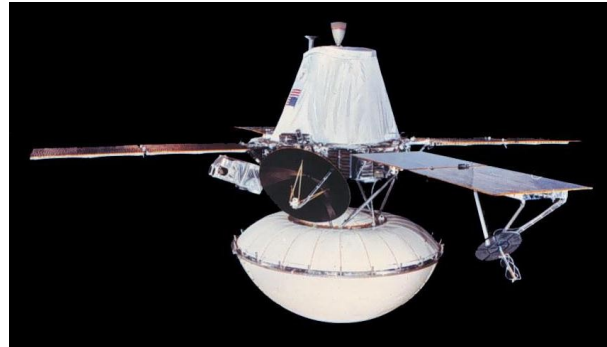
και την επιφάνεια του πλανήτη.

Επιπρόσθετα, το συγκεκριμένο σκάφος θα λειτουργούσε και ως ένας διαμεσολαβητής επικοινωνίας για τα σκάφη των προγραμμάτων «Mars» 6 και 7 (NASA, The NSSDCA, Mars 5). Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης αποστολής είναι ως επί το πλείστον ατμοσφαιρικά, μέσω των οποίων προσδιορίστηκε η θερμοκρασία μεταξύ 272-230 K ενώ την νύχτα άγγιζε και τα 200 K, η

κοκκομετρική διάμετρος στην σκόνη της ατμόσφαιρας υπολογίστηκε ότι ήταν μικρότερη των 0,04 mm, ενώ εντοπίστηκε μια υψηλή ποσότητα υδρατμών νότια του συμπλέγματος Tharsis. Ακόμα, εντοπίστηκε ένα μικρό στρώμα όζοντος σε ύψος 40 km από την επιφάνεια, ένα μικρό μαγνητικό πεδίο ενώ αποσαφηνίστηκε η ύπαρξη της ιονόσφαιρας (NASA, The NSSDCA, Mars 5).

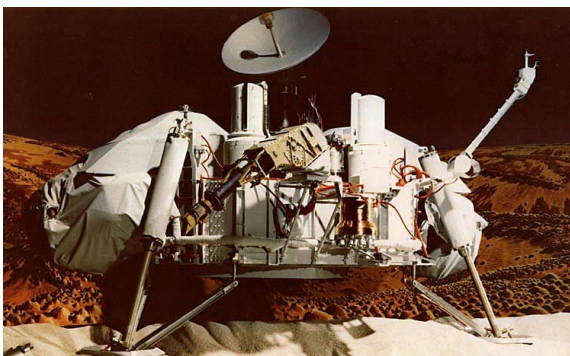
Η επιτυχημένη πορεία των Σοβιετικών προγραμμάτων συνεχίστηκε με το πρόγραμμα «Mars 6», όπου συντελέστηκε το 1973, και ήταν εν μέρει επιτυχημένο καθώς ο δορυφόρος κατάφερε να συλλέξει δεδομένα αλλά το σκάφος προσεδάφισης δεν εκτέλεσε την αποστολή του, όπου ήταν να εισέλθει στην ατμόσφαιρα και να συλλέξει εκ του σύνεγγυς ατμοσφαιρικά στοιχεία και δεδομένα τοπογραφίας (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Τα δεδομένα που παράχθηκαν από την συγκεκριμένη αποστολή σχετίζονται με την δομή και την σύσταση της ατμόσφαιρας. Πιο συγκεκριμένα, αποσαφηνίστηκε το εύρος της ιονόσφαιρας στα 110 χιλιόμετρα, ενώ εντοπίστηκαν οι ατμοσφαιρικές ζώνες της τροπόσφαιρας και της στρατόσφαιρας. Ακόμα, η επιφανειακή πίεση επαναπροσδιορίστηκε στα 6 mb, η επιφανειακή θερμοκρασία στους -43 °C, ενώ εντοπίστηκε μεγαλύτερο ποσοστό υδρατμών στην ατμόσφαιρα σε σχέση με προγενέστερα αποτελέσματα (NASA, The NSSDCA, Mars 6).

Μια από τις σημαντικότερες αποστολές στην πορεία ανακάλυψης των «μυστικών» του κόκκινου πλανήτη ήταν η αποστολή «Viking» όπου έλαβε χώρα το 1975 για λογαριασμό των ΗΠΑ, και διαιρείται σε δυο υποπρογράμματα τα «Viking» 1 και 2. Η σπουδαιότητα της αποστολής «Viking 1» οφείλεται στο γεγονός ότι είναι η πρώτη αποστολή όπου πραγματοποιείται επιτυχής προσεδάφιση σκάφους στην επιφάνεια του πλανήτη. Η αποστολή «Viking 2», εκτός από την συλλογή 16.000 δορυφορικών εικόνων και την συλλογή ατμοσφαιρικών δεδομένων, προσεδάφισε και αυτή ένα σκάφος στην επιφάνεια του Άρη (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Τα σκάφη προσεδάφιστηκαν στον πλανήτη το 1976



Εικόνα 3: Viking 1 Orbiter. (πηγή: NASA, The NSSDCA, Viking 1 Orbiter)

(NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Viking 1 & 2). Κατά την αποστολή «Viking» ο δορυφόρος και το σκάφος προσεδάφισης λειτούργησαν συνδυαστικά, δηλαδή ο δορυφόρος βάσει στοιχείων όπου συνέλεξε και απέστειλε, με σκοπό τον εντοπισμό της βέλτιστης δυνατής θέσης για την προσεδάφιση του σκάφους. Ο δορυφόρος συνέχισε την συλλογή οπτικών δεδομένων ενώ το σκάφος προσεδάφισης την συλλογή δεδομένων από την επιφάνεια (NASA, The NSSDCA, Viking 1 Orbiter).



Εικόνα 4: Viking 1 Lander. (πηγή: NASA, The NSSDCA, Viking 1 Lander)

Το «Viking 1» προσεδάφιστηκε στην δυτική πλευρά της Chryse Planitia, ενώ το «Viking 2» στην Utopia Planitia. Τα σκάφη προσεδάφισης συνέλεξαν μεταξύ άλλων φωτογραφίες και τοπογραφικά δεδομένα, ενώ το κύριο μέλημα τους ήταν η εξερεύνηση της επιφάνειας για πιθανά στοιχεία εύρεσης ζωής. Μέσω τριών βιολογικών πειραμάτων που διεξήχθησαν

διαπιστώθηκε ότι στην επιφάνεια του πλανήτη συντελείται μια μη αναμενόμενη χημική δραστηριότητα, αλλά δεν βρέθηκαν στοιχεία που να αποδεικνύουν την ύπαρξη

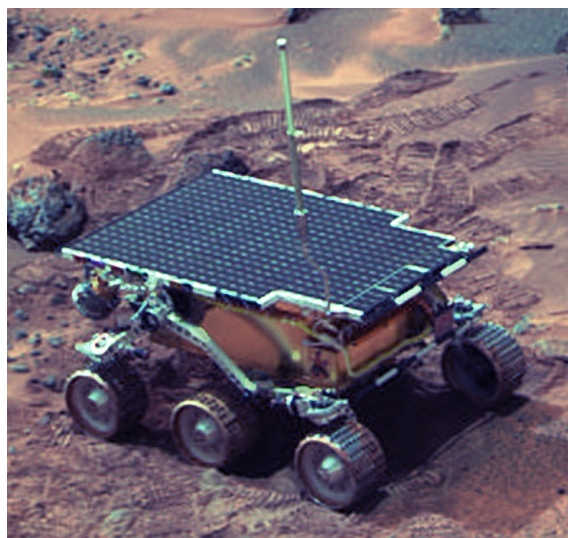
μικροοργανισμών, στις περιοχές προσεδάφισης των σκαφών. Η έλλειψη μικροβιακής ζωής πιθανόν να οφείλεται στην χημική αυτή δράση του εδάφους, στην ξηρότητα του και στην δράση της ηλιακής ακτινοβολίας, παράγοντες που «αποστειρώνουν» την επιφάνεια του πλανήτη. Η αποστολή «Viking» τερματίστηκε πέραν του χρονικού πλαισίου το οποίο είχε οριστεί εξ αρχής, λόγω της ανθεκτικότητας του εξοπλισμού, ενώ το συνολικό κόστος του εγχειρήματος έφτασε το στο 1 δισεκατομμύριο δολάρια (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Viking 1 & 2).

2.2.2. Η καλπάζουσα Αμερική (1975-2001)

Έπειτα από την τόσο επιτυχημένη αποστολή «Viking», ακολούθησε μια ατελέσφορη εικοσαετία όπου πραγματοποιήθηκαν πολύ λίγα προγράμματα, τα οποία ήταν ανεπιτυχή. Ίσως, η αδράνεια αυτή να οφείλεται σε ιστορικές συγκυρίες, όπως η Πετρελαϊκή Κρίση του '73 και η διάσπαση της Σοβιετικής Ένωσης το 1992. Μετά το πέρας της περιόδου αυτής, το 1996, έλαβε χώρα για λογαριασμό των ΗΠΑ ίσως η πιο επιτυχημένη, μέχρι τότε, αρειανή αποστολή με το όνομα «Mars Global Surveyor». Το χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης αποστολής είναι ότι πέτυχε να συλλέξει έναν όγκο δεδομένων μεγαλύτερο σε σχέση με τον όγκο των προηγούμενων αποστολών (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Οι στόχοι της συγκεκριμένης αποστολής ήταν η λήψη οπτικών δεδομένων για όλη την επιφάνεια του πλανήτη, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλότερη ανάλυση σε σχέση με τα παλαιότερα δεδομένα, η ανάλυση της τοπογραφία του, της βαρύτητάς του, η ανίχνευση του μαγνητικού πεδίου και η διαφοροποίηση του μέσα στον χρόνο. Επιπρόσθετοι στόχοι της αποστολής ήταν η ανάλυση των επικρατουσών καιρικών και κλιματικών συνθηκών, καθώς και ο ρόλος τον οποίο μπορεί να διαδραματίζουν το νερό και η σκόνη στην ατμόσφαιρα και γενικά στην επιφάνεια του πλανήτη (NASA, The NSSDCA, Mars Global Surveyor (1)). Η τροχιά του σκάφους ήταν ηλιοσύγχρονη, παράγοντας συγκρίσιμα μεταξύ τους δεδομένα, ενώ η πλήρης κάλυψη του πλανήτη συντελούνταν από το σκάφος εντός 7 ημερών. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι αυτό που έθεσε τα θεμέλια για μια συστηματική υλοποίηση αμερικάνικων προγραμμάτων, μέσα σε βάθος μιας δεκαετίας, που αφορούσαν τον κόκκινο πλανήτη και θα συντελούνταν ανά 26 μήνες (NASA, The NSSDCA, Mars Global Surveyor (1)). Δεδομένα συλλέχθηκαν έως και 2002, ενώ η αποστολή τερματίστηκε στις 2 Νοεμβρίου 2006, λόγω της απώλειας επαφής με το σκάφος. Το κόστος υλοποίησης της αποστολής έφτασε στα 154 εκατομμύρια δολάρια, της

εκτόξευσης στα 65 εκατομμύρια, ενώ η επεξεργασία των ληφθέντων δεδομένων ανέρχεται στα 20 εκατομμύρια ανά έτος (NASA, The NSSDCA, Mars Global Surveyor (2)).

Στα πλαίσια αυτού του δεκαετούς προγραμματισμού των ΗΠΑ αναπτύχθηκε και το επόμενο επιτυχημένο αρειανό πρόγραμμα, έπειτα από μια αποτυχημένη προσπάθεια της Ρωσίας, το «Mars Pathfinder Rover», όπου έλαβε χώρα το 1998 (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Η συγκεκριμένη αποστολή είναι η πρώτη επιτυχημένη αποστολή όπου δεν φέρει κάποιο δορυφόρο τον οποίο θα θέσει σε τροχιά, αλλά αποτελείται από δύο τμήματα, ένα στατικό σκάφος προσγείωσης και ένα τροχοφόρο όχημα. Ο κυριότερος στόχος της αποστολής είναι η πραγματοποίηση μιας μελέτης της επιφάνειας εκ του σύνεγγυς, αλλά με ένα αρκετά χαμηλό οικονομικό κόστος. Πέραν αυτού του στόχου, η αποστολή διεπόταν και από επιστημονικούς στόχους οι οποίοι ήταν η απεικόνιση της επιφάνειας του πλανήτη σε μεγάλη κλίμακα και εμβέλεια, η διεξαγωγή πειραμάτων τα οποία θα παρήγαγαν στοιχεία για την σύνθεση και τις ιδιότητες των πετρωμάτων και του



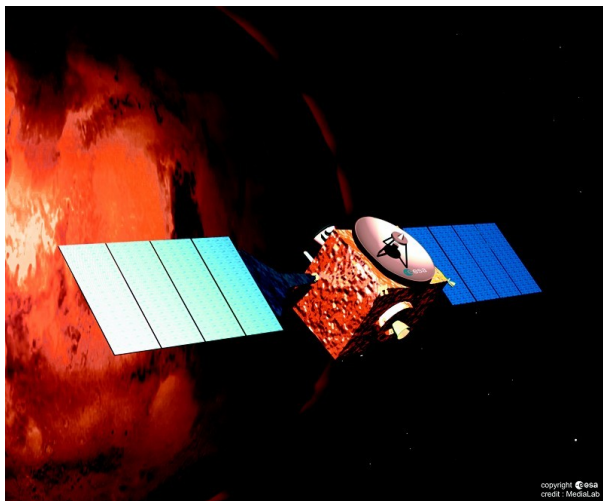
Εικόνα 5: Mars Pathfinder Rover. (πηγή: NASA, The NSSDCA, Mars Pathfinder Rover)

εδάφους, τον προσδιορισμό των μετεωρολογικών συνθηκών και γενικώς την συλλογή στοιχείων για το περιβάλλον του πλανήτη (NASA, The NSSDCA, Mars Pathfinder Rover). Το σκάφος προσεδάφιστηκε στην περιοχή Ares Vallis, ενώ οι διαδρομές που είχαν προκαθοριστεί ότι θα εκτελούσε το τροχοφόρο όχημα κατά τις πρώτες επτά αρειανές μέρες ήταν εντός μιας ακτίνας 10 m από το σκάφος προσεδάφισης. Παρόλα αυτά οι διαδρομές επανεκτιμήθηκαν και επιμηκύνθηκαν για τις ανάγκες της αποστολής. Τα τελευταία δεδομένα συλλέχτηκα στις 27 Σεπτεμβρίου 1997, όπου συνέβη απώλεια επικοινωνίας ενώ τα αίτια της είναι αδιευκρίνιστα. Το κόστος της αποστολής ανέρχεται στα 265 εκατομμύρια δολάρια (NASA, The NSSDCA, Mars Pathfinder Rover).

Έπειτα από τέσσερις αποτυχημένες αποστολές, οι περισσότερες από αυτές των ΗΠΑ, το 2001 έρχεται το επόμενο επιτυχημένο πρόγραμμα των Ηνωμένων Πολιτειών, το «Mars

Odyssey», όπου συνέλεξε εικόνες αρκετά υψηλής ανάλυσης, θέτοντας την χαρτογραφία του πλανήτη σε νέες βάσεις (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Η συγκεκριμένη αποστολή αποτελεί σκέλος μιας άλλης αποστολής που δεν υλοποιήθηκε, της αποστολής «Mars Surveyor 2001», όπου έφερε δύο υποσυστήματα, έναν δορυφόρο και ένα σκάφος προσεδάφισης. Από τα δύο σκέλη της αποστολής υλοποιήθηκε το πρώτο, όπου και μετονομάστηκε σε «Mars Odyssey», ενώ ο βασικότερος στόχος του δεν ήταν η τοπογραφική απεικόνιση του πλανήτη, όπως στις προηγούμενες αποστολές, αλλά η συλλογή στοιχείων ορυκτολογικής φύσεως και η μέτρηση της περιβάλλουσας ακτινοβολίας του (NASA, The NSSDCA, 2001 Mars Odyssey). Ο συνδυασμός των δεδομένων αυτών ήταν σε θέση να δώσει πληροφορίες που σχετίζονται με μια πιθανή προϋπάρχουσα μορφή ζωής, ενώ μπορεί να απαντήσει και στο ερώτημα για το αν η επιφάνεια του πλανήτη θα μπορούσε να είναι φιλική σε μια πιθανή μελλοντική επανδρωμένη αποστολή. Η αποστολή τερματίστηκε τον Ιούλιο του 2004, ενώ με το πέρας της, ο συγκεκριμένος δορυφόρος λειτούργησε ως ανατροφοδότης σημάτων για μεταγενέστερες αποστολές (NASA, The NSSDCA, 2001 Mars Odyssey).

2.2.3. Άρης: Πολυεθνική Υπόθεση (2001-Σήμερα)



Εικόνα 6: Mars Express. (πηγή: NASA, The NSSDCA, Mars Express)

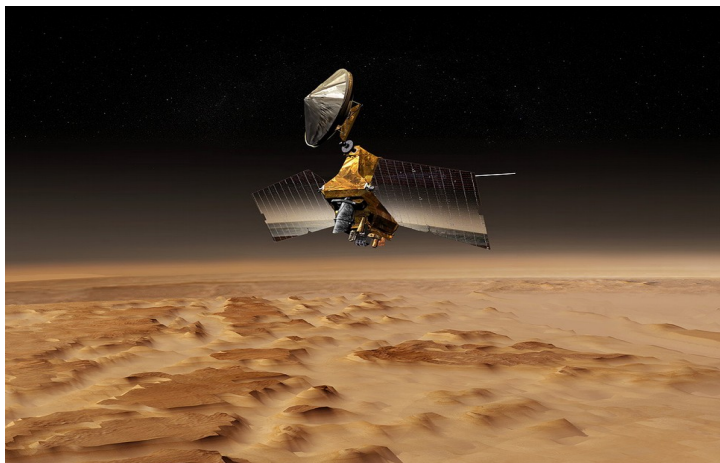
Σε αυτήν την μακρόχρονη κούρσα «κατάκτησης» του Άρη, εκτός από τις ΗΠΑ, λαμβάνουν μέρος και άλλοι «διεκδικητές», όπου ένας από αυτούς είναι ένας υπερεθνικός οργανισμός, η ESA. Η πρώτη αρειανή αποστολή του συγκεκριμένου οργανισμού, λαμβάνει χώρα κατά το έτος 2003 και ονομάζεται «Mars Express Orbiter/Beagle 2 Lander», η οποία χαρακτηρίζεται ως εν μέρει επιτυχημένη (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Όπως

είναι εμφανές και από την ονομασία του προγράμματος, η συγκεκριμένη αποστολή αποτελείται από δυο σκέλη, έναν δορυφόρο ονόματι «Mars Express» και ένα σκάφος προσεδάφισης ονόματι «Beagle 2», ενώ η εν μέρει επιτυχία του συγκεκριμένου εγχειρήματος οφείλεται στο γεγονός ότι ο δορυφόρος ήταν σε θέση να συλλέξει τα απαιτούμενα δεδομένα, αλλά το

σκάφος προσεδάφισης χάθηκε κατά την προσεδάφισή του (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Οι στόχοι της παρούσας αποστολής είναι η λήψη παγκόσμιων δεδομένων υψηλής ανάλυσης φωτογεωλογίας, η ανάλυση της ορυκτολογικής σύνθεσης του πλανήτη, η μελέτη του υπεδάφους, η σύνθεση της ατμόσφαιρας και η παγκόσμια κυκλοφορία της και τέλος η συλλογή στοιχείων για την συσχέτιση της ατμόσφαιρας και του υπεδάφους του πλανήτη. Ανάλογα στοιχεία θα συνέλεγε και το σκάφος προσεδάφισης (NASA, The NSSDCA, Mars Express). Το χρονικό περιθώριο το οποίο είχε τεθεί για την λειτουργία του προγράμματος ήταν ένα αρειανό έτος, αλλά επεκτάθηκε ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ενώ το κόστος της αποστολής, χωρίς τον υπολογισμό του κόστους του σκάφους προσεδάφισης, ανέρχεται στα 150 εκατομμύρια ευρώ (NASA, The NSSDCA, Mars Express).

Την σκυτάλη της επιτυχούς πορείας παραλαμβάνουν ξανά οι Ηνωμένες Πολιτείες, όπου την περίοδο 2003-2011 εκτελούν πέντε επιτυχείς αποστολές. Η πρώτη εξ αυτών λαμβάνει χώρα το 2003 και ονομάζεται «Mars Exploration Rover», όπου χαρακτηρίζεται ως παραπάνω από επιτυχημένη καθώς λειτούργησε σε ένα βάθος χρόνου 15 φορές μεγαλύτερο από αυτόν όπου είχε προκαθοριστεί (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Το εγχείρημα υποστήριξαν δυο τροχοφόρα οχήματα, όπου ονομάζονται «Spirit» και «Opportunity» αντίστοιχα, τα οποία προσεδάφιστηκαν στην επιφάνεια του πλανήτη τον Ιανουάριο του 2004, και ήταν σε θέση να διανύσουν μέχρι και 100 m ανά ημέρα. Οι τρεις βασικοί πυλώνες γύρω από τους οποίους αναπτύχθηκε η παρούσα αποστολή ήταν η εύρεση ιχνών προϋπάρχουσας ζωής στον πλανήτη, η συλλογή στοιχείων γεωλογίας και η αποσαφήνιση των κλιματικών συνθηκών του. Οι στόχοι αυτοί τέθηκαν με σκοπό μια πιθανή μελλοντική επανδρωμένη αποστολή (NASA, The NSSDCA, Spirit). Το τροχοφόρο όχημα «Spirit», προσεδάφιστηκε εντός του κρατήρα Gusev, στις 4 Ιανουαρίου 2004, στα όρια της περιοχής Lucus Planum, όπου επιλέχθηκε αφ' ενός λόγω την ήπιας κλίσης του και αφ' ετέρου πιθανολογείται ότι ο κρατήρας αυτός αποτελούσε έναν κρατήρα-λίμνη, άρα θα ήταν εφικτός ο εντοπισμός ιζηματογενών αποθέσεων, ενώ η τελευταίες λήψεις εικόνων πραγματοποιήθηκαν στις 22 Μαρτίου 2010. Το συνολικό μήκος της διαδρομής που διένυσε του τροχοφόρο «Spirit» ήταν 7,73 km (NASA, The NSSDCA, Spirit). Το τροχοφόρο όχημα «Opportunity» προσεδάφιστηκε στην περιοχή Terra Meridiani, στις 25 Ιανουαρίου 2004, όπου επιλέχθηκε ως περιοχή αφ' ενός λόγω της ήπιας κλίσης της και αφ' εταίρου εξαιτίας των πετρωμάτων αιματίτη που διαθέτει η περιοχή αυτή, τα οποία είναι πλούσια σε σίδηρο, όπου παράγονται σε υδρόβιες συνθήκες. Το τελευταίο σήμα

που λήφθηκε από το συγκεκριμένο τροχοφόρο ήταν τον Σεπτέμβριο του 2015, έπειτα από 11 χρόνια επιτυχούς λειτουργίας του (NASA, The NSSDCA, Opportunity).



Εικόνα 7: Mars Reconnaissance Orbiter. (πηγή: NASA, The NSSDCA, Mars Reconnaissance Orbiter)

Η συνέχεια στην κούρσα αυτή είναι το πρόγραμμα «Mars Reconnaissance Orbiter», του 2005, όπου αποτελείται μόνο από έναν δορυφόρο, ο οποίος συνέλεξε δεδομένα υψηλής ανάλυσης, και κατάφερε να συλλέξει έναν τέτοιο όγκο δεδομένων ο οποίος ξεπερνά το σύνολο των δεδομένων όλων των προηγούμενων αποστολών (NASA,

Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Οι στόχοι της παρούσας αποστολής ήταν η αποσαφήνιση της κλιματικής κατάστασης του πλανήτη και η μελέτη των εποχικών διακυμάνσεων του σε παγκόσμια κλίμακα, η ανάλυση της πολυπλοκότητας του εδάφους, ο εντοπισμός περιοχών όπου σχετίζονται με το νερό και η αναζήτηση των βέλτιστων δυνατών περιοχών προσεδάφισης επανδρωμένων μελλοντικών αποστολών (NASA, The NSSDCA, Mars Reconnaissance Orbiter). Τα αποτελέσματα της παρούσας αποστολής είναι η συλλογή δεδομένων που σχετίζονται με την μελέτη της σύνθεσης της επιφάνειας, την ύπαρξη υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, τα μοτίβα των υδρατμών και της σκόνης στην ατμόσφαιρα και τέλος την παρακολούθηση των καιρικών φαινομένων. Η αποστολή είναι λειτουργική ακόμα και σήμερα ενώ το συνολικό της κόστος ανέρχεται στα 720 εκατομμύρια δολάρια (NASA, The NSSDCA, Mars Reconnaissance Orbiter).

Η επόμενη επιτυχής αμερικάνικη αποστολή, διεξήχθη το 2007, με το όνομα «Phoenix Mars Lander». Η αποστολή αποτελείται από ένα σκάφος προσεδάφισης, ενώ ο όγκος των συλεχθέντων δεδομένων ανέρχεται στα 25 gigabits (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Ο κυριότερος στόχος της παρούσας αποστολής είναι η συλλογή δεδομένων από τις πολικές περιοχές, για τις οποίες είχαν συλλεχθεί πολύ λίγα δεδομένα στο παρελθόν. Το σκάφος προσεδάφιστηκε στα βόρεια μεγάλα πλάτη άνω των 70°. Τα πεδία

ενδιαφέροντος της παρούσας αποστολής είναι η ανάλυση της γεωμορφολογίας και των γεωλογικών διεργασιών της περιοχής, η δράση του ύδατος και του πάγου καθώς και το πως επηρεάζουν την χημική σύσταση των ορυκτών, και τέλος η ανάλυση των αερίων και του οργανικού περιεχομένου του πετρώματος που απαντάται κατά κόρον στην περιοχή, αυτό του ρεγκόλιθου (regolith) (NASA, The NSSDCA, Phoenix Mars Lander). Ο ρεγκόλιθος αποτελεί ένα στρώμα το οποίο καλύπτει το μητρικό πέτρωμα και εμπεριέχει χαλαρά μη συνεκτικοποιημένα θραύσματα από ορυκτά, πετρώματα και υαλώδεις υλικό (NASA, For Educators, Regolith Formation). Επιπρόσθετα πεδία μελέτης είναι η ανάλυση του πολικού κλίματος και των καιρικών συνθηκών της περιοχής, η σύνθεση των χαμηλότερων ατμοσφαιρικών στρωμάτων και τέλος η αλληλεπίδραση των καιρικών συνθηκών με την επιφάνεια του πλανήτη. Η αποστολή τερματίστηκε στις 2 Νοεμβρίου του 2008 και το συνολικό της κόστος ανέρχεται στα 417 εκατομμύρια δολάρια (NASA, The NSSDCA, Phoenix Mars Lander).

Το επόμενο επιτυχές αμερικανικό πρόγραμμα, έλαβε χώρα το 2011, με το όνομα «Mars Science Laboratory», όπου ως στόχο είχε την εξερεύνηση του πλανήτη για κάποιο πιθανό μελλοντικό εποικισμό (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Η αποστολή αποτελείται από ένα τροχοφόρο όχημα, το οποίο είναι γνωστό με το όνομα «Curiosity», που προσεδαφίστηκε στον κρατήρα Gale, τον Αύγουστο του 2012, ο οποίος αποτελεί παρελθοντικός και παροντικός πιθανός βιότοπος, ενώ η προκαθορισμένη διάρκεια της αποστολής ήταν το ένα



Εικόνα 8: Curiosity Rover. (πηγή: NASA, The NSSDCA, Mars Science Laboratory (MSL))

αρειανό έτος. Οι κύριοι στόχοι της αποστολής είναι η αποσαφήνιση της χημικής, ορυκτολογικής και ισοτοπικής σύνθεσης του εδάφους με σκοπό την εύρεση χημικών στοιχείων όπου σχετίζονται με βιολογικές διεργασίες, όπως ο άνθρακας, και ο εντοπισμός τέτοιων διεργασιών όπου παράγουν ή τροποποιούν πετρώματα και υλικά της επιφάνειας (NASA, The

NSSDCA, Mars Science Laboratory (MSL)). Επιπρόσθετοι στόχοι της αποστολής είναι η καταγραφή των ατμοσφαιρικών διεργασιών οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε ένα βάθος χρόνου 4 δισεκατομμυρίων ετών, η καταγραφή της ποσότητας και της κυκλοφορίας στην παρούσα φάση της ατμόσφαιρας, ο εντοπισμός στοιχείων όπως το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα και τέλος η καταγραφή της ακτινοβολίας του πλανήτη, είτε είναι κοσμική είτε ηλιακή. Το συγκεκριμένο τροχοφόρο κατάφερε μέσα σε ένα αρειανό έτος να διανύσει μία συνολική απόσταση 20 km, ενώ συνέλεξε συνολικά 70 δείγματα πετρωμάτων και εδαφικού υλικού γενικότερα (NASA, The NSSDCA, Mars Science Laboratory (MSL)).

Έπειτα από μια αποτυχημένη αποστολή μιας συνεργασίας μεταξύ Ρωσίας και Κίνας, οι ΗΠΑ αναλαμβάνουν ξανά τα ηνία, και το 2013 υλοποιούν το επόμενο επιτυχές τους πρόγραμμα, με το όνομα «Mars Atmosphere and Volatile Evolution», όπου σαν στόχο έχει την εκτενή μελέτη της αρειανής ατμόσφαιρας (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Η συγκεκριμένη αποστολή αποτελείται από έναν δορυφόρο ο οποίος εισήλθε επιτυχώς σε τροχιά στις 22 Σεπτεμβρίου του 2014, ενώ ο κυριότερος στόχος του είναι η μελέτη της ανώτερης αρειανής ατμόσφαιρας. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός είναι η συλλογή στοιχείων για την παρούσα κατάσταση που επικρατεί στην ανώτερη ατμόσφαιρα, στην ιονόσφαιρα και το πως αυτές αντιδρούν και επηρεάζονται από άλλα φαινόμενα, όπως αυτό του ηλιακού ανέμου (NASA, The NSSDCA, Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN)). Ακόμα, θα έπρεπε να υπολογιστούν οι ρυθμοί απώλειας ουδέτερων ουσιών, ιόντων και πτητικών ουσιών προς το διάστημα καθώς και να αποσαφηνιστούν οι διεργασίες που σχετίζονται με αυτές τις ουσίες. Τέλος ένας ακόμα στόχος της παρούσας αποστολής ήταν ο υπολογισμός των αναλογιών των σταθερών ισοτόπων, μέσω των οποίων είναι εφικτή η αποκρυπτογράφηση των παλιότερων ρυθμών απώλειας των ουσιών που προαναφέρονται. Η παρούσα αποστολή έληξε επιτυχώς, έπειτα από το πέρας ενός χρόνου λειτουργίας του δορυφόρου (NASA, The NSSDCA, Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN)).

Την ίδια χρονιά έλαβε χώρα ένα ακόμα επιτυχημένο πρόγραμμα, για λογαριασμό της Ινδίας, με το όνομα «Mars Orbiter Mission (MOM)», όπου οι κυριότεροι πυλώνες του είναι η χαρτογράφηση των επιφανειακών χαρακτηριστικών του πλανήτη, καθώς και η συλλογή δεδομένων που αφορούν την ορυκτολογία και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες του (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Η συλλογή των συγκεκριμένων δεδομένων

έγινε με την χρήση δορυφορικού συστήματος, όπου εισήχθη σε τροχιά στις 24 Σεπτεμβρίου 2014, το οποίο ήταν εξοπλισμένο με πέντε επιστημονικά όργανα, ενώ η χρονική διάρκεια για την συλλογή των δεδομένων ανέρχεται στους 10 μήνες. Το συνολικό κόστος της αποστολής ανέρχεται στα 4,5 δισεκατομμύρια ρουπίες, δηλαδή 70 εκατομμύρια δολάρια (NASA, The NSSDCA, Mangalyaan).



Εικόνα 9: ExoMars Orbiter. (πηγή: ESA, Robotic Exploration of Mars, Exomars Trace Gas Orbiter and Schiaparelli Mission (2016))

Μια ύστατη προσπάθεια των δυνάμεων της Ευρώπης (ESA/Ρωσία), είναι το πρόγραμμα «ExoMars Orbiter/Schiaparelli EDL Demo Lander», το οποίο έλαβε χώρα το 2016, και ήταν εν μέρει επιτυχημένο καθώς, ο δορυφόρος της αποστολής εισήλθε επιτυχώς σε τροχιά συλλέγοντας ατμοσφαιρικά δεδομένα, αλλά το σκάφος προσεδάφισης χάθηκε κατά την διαδικασία της (NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log). Στοχευμένοι σκοποί της παρούσας αποστολής είναι ο εντοπισμός συγκεκριμένων αερίων και στοιχείων αέριας ρύπανσης, όπως το

μεθάνιο, τα οποία θα μπορούσαν να συνδεθούν με βιολογικές ή γεωλογικές δραστηριότητες, ενώ παράλληλα κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη τεχνογνωσίας όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντικές αποστολές. Ο δορυφόρος της αποστολής εισήλθε σε τροχιά στις 19 Οκτωβρίου του 2016, ενώ η έναρξη της διαδικασίας συλλογής δεδομένων έγινε τον Μάρτιο του 2018. Ο τερματισμός της αποστολής έχει προκαθοριστεί για τον Δεκέμβριο του 2022 (ESA, Robotic Exploration of Mars, Exomars Trace Gas Orbiter and Schiaparelli Mission (2016)).

Η πιο πρόσφατη από όλες της αποστολές ονομάζεται «Mars InSight Lander», και αποτελεί ένα ακόμα αμερικάνικο πρόγραμμα όπου υλοποιήθηκε το 2018. Το σκάφος προσεδάφισης εκτοξεύτηκε από την Γη στις 5 Μαΐου του 2018 και αυτή την στιγμή βρίσκετε καθ' οδόν προς τον πλανήτη Άρη. Στόχος της συγκεκριμένης αποστολής είναι η συλλογή δεδομένων που σχετίζονται με την εσωτερική δομή του πλανήτη. Τέτοιου είδους δεδομένα είναι ο υπολογισμός του μεγέθους, της σύστασης, του πάχους και της φυσικής κατάστασης του

φλοιού, του μανδύα και του πυρήνα του πλανήτη Άρη. Ακόμα θα συλλεχθούν στοιχεία που αφορούν την θερμική κατάσταση του εσωτερικού του πλανήτη, στοιχεία που θα παράξουν πληροφορίες για τη γεωγραφική κατανομή, το μέγεθος και την συχνότητα της σεισμικής δράσης του πλανήτη, καθώς και στοιχεία τα οποία σχετίζονται με τους ρυθμούς που παρουσιάζουν σήμερα τα γεγονότα πρόσκρουσης στην επιφάνειά του. Το σκάφος αναμένεται να προσεδαφιστεί στον πλανήτη στις 26 Νοεμβρίου του 2018, ενώ η διάρκεια του προγράμματος έχει προκαθοριστεί ως τις 24 Νοεμβρίου του 2020 (NASA, The NSSDCA, InSight).

Από όλες τις πληροφορίες που παραθέτονται παραπάνω είναι εμφανές ότι η παραγωγή τέτοιου είδους δεδομένων, κρύβουν πίσω τους δεκαετίες σκληρού προγραμματισμού, αρκετές αποτυχίες και φυσικά μεγάλου όγκου οικονομικούς πόρους. Αυτό είναι το τίμημα για την παραγωγή τέτοιου είδους γνώση, το οποίο θα πρέπει να καταβληθεί και στο μέλλον μέχρι να μην υπάρχουν πια "μυστικά" για τον κόκκινο πλανήτη.

2.3. Σύνολο Αποστολών-Επιτυχημένων και Αποτυχημένων (1960-Σήμερα)

Πίνακας 1: Προγράμματα αποστολών για τον "κόκκινο" πλανήτη. (πηγή: NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log)

Έτος	Χώρα Διεξαγωγής	Όνομα Αποστολής	Έκβαση	Αποτέλεσμα
1960	ΕΣΣΔ (flyby)	Korabl 4	Αποτυχία	Αποτυχία εισόδου του σκάφους σε τροχιά γύρω από την Γη.
1960	ΕΣΣΔ (flyby)	Korabl 5	Αποτυχία	Αποτυχία εισόδου του σκάφους σε τροχιά γύρω από την Γη.
1962	ΕΣΣΔ (flyby)	Korabl 11	Αποτυχία	Το σκάφος εισήλθε σε τροχιά γύρω από την Γη, αλλά μετέπειτα καταστράφηκε.
1962	ΕΣΣΔ (flyby)	Mars 1	Αποτυχία	Αποτυχία του συστήματος τηλεπικοινωνίας του σκάφους με την Γη.
1962	ΕΣΣΔ (flyby)	Korabl 13	Αποτυχία	Το σκάφος εισήλθε σε τροχιά γύρω από την Γη, αλλά μετέπειτα καταστράφηκε.
1964	ΗΠΑ (flyby)	Mariner 3	Αποτυχία	Αποτυχία αποβολής του περιβλήματος.
1964	ΗΠΑ (flyby)	Mariner 4	Επιτυχία	Συλλογή 21 εικόνων.
1964	ΕΣΣΔ (flyby)	Zond 2	Αποτυχία	Αποτυχία του συστήματος τηλεπικοινωνίας του σκάφους με την Γη.
1969	ΕΣΣΔ	Mars 1969A	Αποτυχία	Αποτυχία εκτόξευσης.
1969	ΕΣΣΔ	Mars 1969B	Αποτυχία	Αποτυχία εκτόξευσης.
1969	ΗΠΑ (flyby)	Mariner 6	Επιτυχία	Συλλογή 75 εικόνων.

1969	ΗΠΑ (flyby)	Mariner 7	Επιτυχία	Συλλογή 126 εικόνων.
1971	ΗΠΑ	Mariner 8	Αποτυχία	Αποτυχία εκτόξευσης.
1971	ΕΣΣΔ	Kosmos 419	Αποτυχία	Το σκάφος εισήλθε σε τροχιά γύρω από την Γη.
1971	ΕΣΣΔ	Mars 2 Orbiter/Lander	Αποτυχία	Ο δορυφόρος έφτασε στον πλανήτη, αλλά απέτυχε η προσεδάφιση του σκάφους.
1971	ΕΣΣΔ	Mars 3 Orbiter/Lander	Επιτυχία	Ο δορυφόρος συνέλεξε δεδομένα για 8 μήνες, αλλά κατά την προσεδάφιση το σκάφος κατάφερε να συλλέξει δεδομένα μόνο για 20 δευτερόλεπτα.
1971	ΗΠΑ	Mariner 9	Επιτυχία	Συλλογή 7.329 εικόνων.
1973	ΕΣΣΔ	Mars 4	Αποτυχία	Κινήθηκε πέραν του πλανήτη Άρη.
1973	ΕΣΣΔ	Mars 5	Επιτυχία	Συλλογή 60 εικόνων, ενώ η πτήση κράτησε 9 ημέρες.
1973	ΕΣΣΔ	Mars 6 Orbiter/Lander	Επιτυχία/ Αποτυχία	Συλλέχθηκαν δεδομένα, αλλά απέτυχε η προσεδάφιση του σκάφους.
1973	ΕΣΣΔ	Mars 7 Lander	Αποτυχία	Αποτυχία της προσεδάφισης, είσοδός του σε ηλιακή τροχιά.
1975	ΗΠΑ	Viking 1 Orbiter/Lander	Επιτυχία	Εντοπισμός της βέλτιστης θέσης και η πρώτη επιτυχής προσεδάφιση σκάφους στην επιφάνεια του πλανήτη.
1975	ΗΠΑ	Viking 2 Orbiter/Lander	Επιτυχία	Συλλογή 16.000 εικόνων, καθώς και εκτεταμένα ατμοσφαιρικά δεδομένα και εδαφικά πειράματα.
1988	ΕΣΣΔ	Phobos 1 Orbiter	Αποτυχία	Χάθηκε από την πορεία προς τον Άρη.
1988	ΕΣΣΔ	Phobos 2 Orbiter/Lander	Αποτυχία	Χάθηκε κοντά στον δορυφόρο Φόβο.
1992	ΗΠΑ	Mars Observer	Αποτυχία	Χάθηκε κοντά στον πλανήτη Άρη.
1996	ΗΠΑ	Mars Global Surveyor	Επιτυχία	Συλλογή των περισσότερων εικόνων από όλες τις αποστολές του Άρη.
1996	Ρωσία	Mars 96	Αποτυχία	Αποτυχία εκτόξευσης.
1996	ΗΠΑ	Mars Pathfinder	Επιτυχία	Τεχνολογικό πείραμα το οποίο διήρκησε 5 φορές περισσότερο από την περίοδο έγκρισης.
1998	Ιαπωνία	Nozomi	Αποτυχία	Δεν κατάφερε να εισέλθει σε τροχιά, υπήρχε πρόβλημα με τα καύσιμα.
1998	ΗΠΑ	Mars Climate Orbiter	Αποτυχία	Χάθηκε κατά την άφιξη.
1999	ΗΠΑ	Mars Polar Lander	Αποτυχία	Χάθηκε κατά την άφιξη.
1999	ΗΠΑ	Deep Space 2 Probes (2)	Αποτυχία	Χάθηκε κατά την άφιξη (όπου μεταφέρθηκε στο Mars Polar Lander).
2001	ΗΠΑ	Mars Odyssey	Επιτυχία	Συλλογή εικόνων υψηλής ανάλυσης.
2003	ESA	Mars Express Orbiter/Beagle 2 Lander	Επιτυχία/ Αποτυχία	Συλλογή λεπτομερών εικόνων από τον δορυφόρο, αλλά χάθηκε το σκάφος της προσεδάφισης.

2003	ΗΠΑ	Mars Exploration Rover - Spirit	Επιτυχία	Η λειτουργία του συστήματος διήρκησε 15 περισσότερο από την αναμενόμενη.
2003	ΗΠΑ	Mars Exploration Rover - Opportunity	Επιτυχία	Η λειτουργία του συστήματος διήρκησε 15 περισσότερο από την αναμενόμενη.
2005	ΗΠΑ	Mars Reconnaissance Orbiter	Επιτυχία	Συλλογή δεδομένων όγκου μεγαλύτερου των 26 terabits (όγκος μεγαλύτερος από το σύνολο όλων των προηγούμενων αποστολών).
2007	ΗΠΑ	Phoenix Mars Lander	Επιτυχία	Συλλογή δεδομένων όγκου μεγαλύτερου των 25 gigabits.
2011	ΗΠΑ	Mars Science Laboratory	Επιτυχία	Εξερεύνηση εποικισμού του πλανήτη.
2011	Ρωσία/Κίνα	Phobos-Grunt/Yinghuo-1	Αποτυχία	Αποτυχία εισόδου σε τροχιά γύρω από τον Άρη, είσοδος σε χαμηλή τροχιά γύρω από την Γη και πτώση μετέπειτα.
2013	ΗΠΑ	Mars Atmosphere and Volatile Evolution	Επιτυχία	Μελέτη της αρειανής ατμόσφαιρας.
2013	Ινδία	Mars Orbiter Mission (MOM)	Επιτυχία	Ανάπτυξη διαπλανητικών τεχνολογιών και διερεύνηση των επιφανειακών χαρακτηριστικών, της ορυκτολογίας και της ατμόσφαιρας του πλανήτη.
2016	ESA/Ρωσία	ExoMars Orbiter/Schiaparelli EDL Demo Lander	Επιτυχία/Αποτυχία	Ο δορυφόρος μελέτησε την ατμόσφαιρά του πλανήτη, αλλά το σκάφος χάθηκε κατά την προσεδάφιση.
2018	ΗΠΑ	Mars InSight Lander	Επιτυχία	Το σκάφος βρίσκεται καθ' οδόν για τον πλανήτη Άρη, όπου αναμένεται να προσεδαφιστεί στις 26 Νοεμβρίου 2018 και ώρα 3 μ.μ.

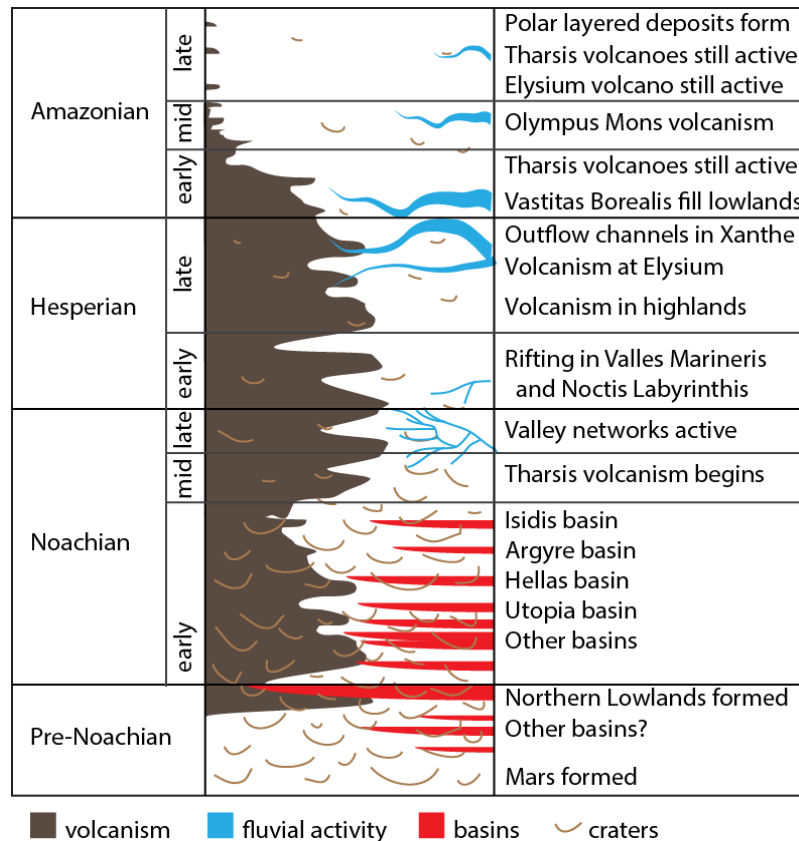
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΡΟΝΟΙ

3.1. Εισαγωγή

Οι επιστήμονες στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις διεργασίες που συνέβησαν σε ένα βάθος χρόνου, στην επιφάνεια του πλανήτη Άρη, ανέπτυξαν κάποιες χρονικές κλίμακες, όπου η κάθε μια χαρακτηρίζεται από διαφορετικές γεωμορφές. Η ταξινόμηση αυτή αποτελείται από τέσσερις γεωλογικές περιόδους, οι οποίες είναι (ESA, Mars Express, The Ages of Mars):

- Προ-Noachian περίοδος, όπου εκτείνεται χρονικά από 4,5 έως 4,1 δισεκατομμύρια χρόνια πριν
- Noachian περίοδος, όπου εκτείνεται χρονικά από 4,1 έως 3,7 δισεκατομμύρια χρόνια πριν
- Hesperian περίοδος, όπου εκτείνεται χρονικά από 3,7 έως 2,9 δισεκατομμύρια χρόνια πριν
- Amazonian περίοδος, όπου εκτείνεται χρονικά από 2,9 δισεκατομμύρια χρόνια πριν έως και το σήμερα.

Τα ονόματα των εποχών αυτών προήλθαν από περιοχές του πλανήτη που φέρουν την ίδια ονομασία, ενώ τα χρονικά όρια όπου προαναφέρονται δεν είναι επιβεβαιωμένα καθώς νέα στοιχεία αλλάζουν διαρκώς τα όρια αυτά. Επιπρόσθετα, για την περίοδο προ-Noachian, δεν υπάρχουν «φυσικά» πλανητικά χαρακτηριστικά όπου υποδεικνύουν την ύπαρξή της, όπως υπάρχουν για τις άλλες εποχές, αλλά θεωρείται υπαρκτή μια τέτοια περίοδος στην οποία εντάσσονται οι αρχικές διεργασίες μορφοποίησης του πλανήτη (ESA, Mars Express, The Ages of Mars). Στην συνέχεια, αναλύονται επισταμένως οι γεωλογικές αυτές περίοδοι, και οι υποκατηγορίες τους που ονομάζονται εποχές, καθώς και τα χαρακτηριστικά που φέρουν.



Εικόνα 10: Πίνακας παρουσίασης γεωλογικής χρονολόγησης και των γεωλογικών σχηματισμών της κάθε εποχής. Οι χρονολογήσεις των γεωμορφών στον πίνακα δεν είναι επιβεβαιωμένες. (πηγή: The Planetary Society, Lakdawalla E., (2013), Noachian, Hesperian, and Amazonian, oh my! --Mars' Geologic Time Scale)

3.2. Προ-Noachian Περίοδος

Αποτελεί την αρχαιότερη γεωλογική περίοδο, για την οποία υπάρχουν τα λιγότερα στοιχεία. Εντός αυτής της περιόδου, μέσα σε μερικά εκατομμύρια χρόνια, διαφοροποιήθηκαν μεταξύ τους ο πυρήνας, ο μανδύας και ο φλοιός (Carr and Head III, 2010). Είναι η εποχή όπου επί της της ουσίας άρχισε να διαμορφώνεται ο φλοιός του πλανήτη (Carr and Head III, 2010). Ο φλοιός αυτός, είτε από την πρώιμη ηφαιστειακή δραστηριότητα είτε από τον τεκτονισμό, διαιρείται σε δύο ανομοιογενείς περιοχές, τις βόρειες πεδινές περιοχές και τα νότια ανώμαλα υψίπεδα (ESA, Mars Express, The Ages of Mars). Βέβαια, η πιθανότερη αιτία της διαφοροποίησης αυτής είναι η πρώιμη τεκτονική δράση στα νότια υψίπεδα, καθώς η τεκτονική δράση αποτελεί πιθανόν την πιο παλαιά δραστηριότητα στον πλανήτη (Carr and Head III, 2010).

Ακόμα, η εποχή αυτή χαρακτηρίζεται από μεγάλους κρατήρες πρόσκρουσης, οι οποίοι

προκλήθηκαν από μια έντονη δραστηριότητα, τόσο στις βόρειες πεδινές περιοχές όσο και στα νότια υψίπεδα, οι οποίοι παρά τις μεταγενέστερες ιζηματογενείς αποθέσεις και τον μετασχηματισμό της επιφάνειας του πλανήτη, διατηρήθηκαν ως γεωμορφές (Tanaka et al., 2014). Οι προσκρούσεις αυτές προκαλούσαν την θέρμανσης του ανώτερου φλοιού, πέρα από την αύξηση του πορώδους την επιφάνειας πρόσκρουσης από το οποίο εξαρτάται εν μέρει η κατείδυση, πιθανών να συνέβαλαν στην απελευθέρωση ύδατος (Carr and Head III, 2010). Οι υδρατμοί αυτοί που απελευθερώθηκαν από τις προσκρούσεις πιθανολογείται ότι συσσωρεύθηκαν στις βόρειες πεδιάδες, σχηματίζοντας τον λεγόμενο «Βόρειο Ωκεανό», ο οποίος διατηρούσε υψηλές θερμοκρασίες. Στο τέλος αυτής της περιόδου η θερμοκρασία του ωκεανού αυτού μειώθηκε (ESA, Mars Express, The Ages of Mars).

3.3. Noachian Περίοδος

Οι διεργασίες οι οποίες χαρακτηρίζουν την συγκεκριμένη περίοδο είναι η αύξηση της έντασης της δράσης των κρατήρων πρόσκρουσης, η χάραξη των πρώιμων υδρογραφικών δικτύων, η ανάπτυξη κατά ενός μεγάλου ποσοστού του ηφαιστειακού συμπλέγματος Tharsis και τέλος η παραγωγή ορυκτών και πετρωμάτων τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανθεκτικότητα, όπως τα φυλλοπυριτικά άλατα (phyllosilicates) (Carr and Head III, 2010). Επιπρόσθετα, εικάζεται ότι λόγω της εκτεταμένης δράσης της δημιουργίας των κρατήρων πρόσκρουσης, προκλήθηκε μια άνοδος της επιφανειακής θερμοκρασίας σε τέτοιο βαθμό, όπου ο πιθανός «Βόρειος Ωκεανός» αν υπήρχε, πιθανολογείται ότι εξατμίσθηκε (Carr and Head III, 2010). Αν ληφθεί υπόψιν η αύξηση του πορώδους του φλοιού μέσω των προσκρούσεων και η συσχέτισή του με την ανάπτυξη των υδρατμών από τον «Βόρειο Ωκεανό», είναι εύκολο να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη ποσότητα νερού κατέληξε σε έναν ενδεχόμενο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Η συγκεκριμένη περίοδος χωρίζεται σε τρεις εποχές, την πρώιμη, την μέση και την ύστερη Noachian εποχή, όπου στην συνέχεια αναλύονται τα εκάστοτε χαρακτηριστικά τους (Tanaka et al., 2014).

3.3.1. Πρώιμη Noachian Εποχή

Το κυριότερο χαρακτηριστικό της πρώιμης Noachian εποχής είναι οι εντατικές και έντονες προσκρούσεις στην επιφάνεια του πλανήτη. Στις προσκρούσεις αυτές οφείλονται και τα

παλαιότερα τμήματα του φλοιού (αν και εικάζεται ότι μπορεί να οφείλονται και στην τεκτονική δράση), κάτω από τα οποία πιθανολογείται ότι υπάρχουν προ-Noachian υλικά (Tanaka et al., 2014). Στην συγκεκριμένη περίοδο εντάσσονται 65 κρατήρες, οι οποίοι ξεπερνούν σε διάμετρο τα 150 χιλιόμετρα. Το μεγαλύτερο μέρος των κρατήρων που υπάρχουν στο νότιο ημισφαίριο εντάσσονται χρονικά στην συγκεκριμένη εποχή (ESA, Mars Express, The Ages of Mars). Δεδομένης της χρονικής εποχής στην οποία εντάσσονται οι κρατήρες αυτοί, είναι εύκολο να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι είναι καλυμμένοι ή ακόμα και υποβαθμισμένοι μέσω της διάβρωσης. Οι κρατήρες που φέρουν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ανέρχονται σε 18 στον αριθμό ενώ, η μεγαλύτερη λεκάνη η οποία παράχθηκε μέσω των προσκρούσεων κατά την συγκεκριμένη εποχή είναι η Hellas Planitia, η οποία φτάνει σε διάμετρο τα 2.400 km (Tanaka et al., 2014).

Τεκτονικά, η συγκεκριμένη εποχή παρουσιάζει πιο ήπια χαρακτηριστικά σε σχέση με την προ-Noachian περίοδο. Στις επιφάνειες οι οποίες καλύπτονται από τμήματα του φλοιού που ορίζονται ως πρώιμης Noachian εποχή, εντοπίζονται μικρού πλάτους τάφροι και επιμήκη ρήγματα (rifts), τα οποία αποτελούν ενδείξεις δημιουργίας νέου φλοιού (Tanaka et al., 2014). Τέτοιες δομές εντοπίζονται στα νότια τμήματα του ηφαιστειακού συμπλέγματος Tharsis και στα όρια μεταξύ της Daedalia Planum και της Syria Planum, που προκλήθηκαν μέσω της σύγκλησης τμημάτων του φλοιού η οποία οφείλεται την ανύψωση της περιοχής Syria Planum (Tanaka et al., 2014).

Παράλληλα, στην πρώιμη Noachian εποχή, λαμβάνει χώρα και μάλιστα σε μεγάλο βαθμό η ηφαιστειακή δραστηριότητα η οποία συγκεντρώνεται στα νότια του συμπλέγματος Tharsis (Tanaka et al., 2014). Επιπρόσθετα, πιθανολογείται να υπάρχει ηφαιστειακό υλικό στις μεγάλες λεκάνες πρόσκρουσης της εποχής και στην βόρεια πεδιάδα, όπου καλύφθηκαν από αποθέσεις μεταγενέστερου υλικού (Carr and Head III, 2010).

Τέλος, εμφανίζονται σε μικρή κλίμακα τα πρώτα υδρογραφικά δίκτυα, όπου διαβρώνουν σε μεγάλο βαθμό τις κοιλάδες και μεγάλης κλίμακας γεωμορφές (Tanaka et al., 2014). Παρόλα αυτά, το πιθανότερο είναι οι διαβρώσεις που εικάζεται ότι οφείλονται σε αυτό το πρώιμο δίκτυο, επί της ουσίας να μην έχουν σχέση με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος (Carr and Head III, 2010). Τα δίκτυα αυτά είναι αρκετά πρώιμα και δεν παρουσιάζουν σημαντικά

ποσοστά διάβρωσης και απόθεσης (Carr and Head III, 2010). Εν τέλει, τα υλικά τα οποία δημιουργήθηκαν και αποτέθηκαν κατά την πρώιμη Noachian εποχή είναι τα προϊόντα των συμβάντων πρόσκρουσης, πυροκλαστικά υλικά και σε ένα βαθμό ιζηματογενείς αποθέσεις (Tanaka et al., 2014).

3.3.2. Μέση Noachian Εποχή

Οι περιοχές όπου εικάζεται ότι χρονολογούνται κατά την μέση Noachian εποχή, καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του νότιου ημισφαίριου, δηλαδή τα υψίπεδα του πλανήτη, ενώ περικλείει μικρές επιφάνειες της πρώιμης Noachian εποχής. Η αναλογία των περιοχών αυτών σε υλικό πιθανολογείται ότι είναι ως επί το πλείστον ηφαιστειακών υλικών και συνάμα ποτάμιων αποθέσεων, όπου αυτού του είδους η αναλογία θα μπορούσε να αποτελέσει ένα στοιχείο για τις κλιματικές συνθήκες της συγκεκριμένης εποχής (Tanaka et al., 2014).

Ένα στοιχείο το οποίο συνδέει τις δύο προαναφερθείσες διεργασίες, είναι το ανθρακικό άλας που εντοπίζεται με μια συνεκτικοποιημένη μορφή, στην λεκάνη Isidis, και αποτελεί ένα δυσεύρετο στοιχείο για την επιφάνεια του πλανήτη (Tanaka et al., 2014; Carr and Head, 2010). Η πιο πιθανή εξήγηση για την ύπαρξη τέτοιων αλάτων είναι η διάβρωση, είτε από μια πρώιμη ποτάμια δράση είτε από υδροθερμικές διεργασίες (όπου αποτελεί πιο πιθανή αιτία), υλικών που προέρχονται από ηφαιστειότητα. Τέτοιου τύπου πετρώματα είναι επιφάνειες πλούσιες σε ολιβίνη (olivine), μεταμορφωμένα μεταλλικά και πυριτικά πετρώματα (Carr and Head III, 2010). Μια άλλη θεωρία εικάζει ότι οι επιφάνειες αυτές παράχθηκαν από τηγμένο υλικό το οποίο δημιουργήθηκε από της διεργασίες πρόσκρουσης (Carr and Head III, 2010). Ως αποτέλεσμα της δράσης αυτής παράγονται τα ανθρακικά άλατα, όπου η έλλειψή τους από την επιφάνεια του πλανήτη πιθανόν να οφείλεται στην μειωμένη ηφαιστειακή δραστηριότητα σε σχέση με την προηγούμενη εποχή, η οποία περιορίζεται λόγω της παγκόσμιας τεκτονικής και το πάχος του φλοιού, όπου μειώνουν την ανάβλυση υλικού σε θερμές κηλίδες όπως αυτές του συμπλέγματος Tharsis και το Elysium Mons (Tanaka et al., 2014). Επιπρόσθετα, μέσω της τεκτονικής αυτής δράσης αναπτύχθηκαν τα υψίπεδα Thaumasia, όπου φέρουν μικρού πλάτους τάφρους και ρήγματα, που χρονολογούνται κατά την συγκεκριμένη εποχή (Tanaka et al., 2014).

Αν και οι προσκρούσεις είχαν μια φθίνουσα δράση εντός της γεωλογικής περιόδου

Noachian, κατά την διάρκεια της μέσης Noachian εποχής σχηματίστηκαν μέσω της διαδικασίας πρόσκρουσης, και οι οποίες φέρουν υλικά που χρονολογούνται σε αυτή την εποχή, οι λεκάνες Argyre και Isidis Planitia (ESA, Mars Express, The Ages of Mars). Πέραν από αυτού του μεγέθους λεκάνες, έχουν εντοπιστεί στα υψίπεδα και 15 ακόμα κρατήρες πρόσκρουσης όπου εντάσσονται σε αυτή την γεωλογική εποχή, με την διάμετρό τους να ξεπερνά τα 150 km (Tanaka et al., 2014).

3.3.3. Ύστερη Noachian Εποχή

Η ύστερη Noachian εποχή, χαρακτηρίζεται ως επί το πλείστον από μια έντονη ηφαιστειακή δράση. Οι παλαιότερες ροές λάβας που εντοπίζονται στον πλανήτη χρονολογούνται ως ροές της εποχής αυτής (Carr and Head III, 2010). Απόδειξη της εκτεταμένης αυτής ηφαιστειακής δράσης αποτελούν οι αλληπάλληλες καλδέρες που φέρει το Tyrrhenus Mons, όπου βρίσκεται βορειοανατολικά της λεκάνης Hellas (Tanaka et al., 2014). Πέραν όμως της ηφαιστειακής δράσης στην λεκάνη Hellas, στην συγκεκριμένη εποχή αναπτύσσονταν επί της ουσίας και το σύμπλεγμα του Tharsis, όπου συγκέντρωνε την ηφαιστειακή δράση της εποχής (ESA, Mars Express, The Ages of Mars).

Πέρα από τις παραπάνω ηφαιστειακές γεωμορφές, εντοπίζονται και άλλου είδους ηφαιστειακές γεωμορφές όπως (Tanaka et al., 2014):

- κρατήρες τύπου paterae στην περιοχή Malea Planum, με πιο συγκεκριμένες οι Amphitrites και Peneus Paterae.
- κοιλάτρες της μεταβατικής ζώνης μεταξύ των περιοχών που καλύπτονται από υλικά της ύστερης Noachian εποχής και της πρώιμης Hesperian εποχής, στις βόρειες περιοχές της Arabia Terra, εικάζεται ότι αποτελούν καλδέρες.
- ροές λάβας, οι οποίες εντάσσονται χρονολογικά στην συγκεκριμένη εποχή εντοπίζονται στην περιοχή Thaumasia Planum και στα νότια της περιοχής Daedalia.
- πιθανές ηφαιστειακές αποθέσεις εικάζεται ότι απαντώνται στις περιοχές βόρεια του ηφαιστείου Olympus και στα νοτιοδυτικά της περιοχής Tempe Terra.

Αυτή η εκτεταμένη ηφαιστειακή δραστηριότητα επέφερε και μια ενεργοποίηση του φλοιού, η οποία ενέτεινε την τεκτονική δραστηριότητα του πλανήτη. Στην δραστηριότητα αυτή οφείλει

και την δημιουργία της η τάφρος Valles Marineris, όπου ο σχηματισμός της χρονολογείται εντός της συγκεκριμένης εποχής (ESA, Mars Express, The Ages of Mars). Εκτός από την δημιουργία του Valles Marineris, κατά την συγκεκριμένη εποχή αναπτύχθηκαν και άλλες τάφροι οι οποίες οφείλονται στην ενεργό δράση του συμπλέγματος Tharsis και της ανύψωσης της περιοχής Thaumasia. Οι τάφροι αυτοί απαντώνται στις περιοχές Claritas Fossae, Icaria Planum και Acheron Fossae (Tanaka et al., 2014).

Η συγκεκριμένη εποχή δεν χαρακτηρίζεται αποκλειστικά από την ηφαιστειακή δράση, αλλά και από την πρώτη ουσιαστική ποτάμια δραστηριότητα. Η προγενέστερη ποτάμια δράση αποτέλεσε μια πρώτη επαφή του ύδατος, ως κανάλι εκροής, με την πλανητική επιφάνεια, αλλά κατά την ύστερη Noachian εποχή, συντελείται και αναπτύσσεται η ποτάμια δράση. Από χρονολογήσεις τριάντα κοιλάδων, διαπιστώθηκε ότι οι περισσότερες χρονολογούνται στην ύστερη Noachian εποχή (Carr and Head III, 2010). Οι περιοχές στις οποίες αναπτύχθηκαν τέτοιου είδους δίκτυα εικάζεται ότι τροφοδοτούνταν από σεβαστά ποσοστά κατακρημνίσεων τα οποία οφείλονται σε υδρατμούς οι οποίοι παράχθηκαν από την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μέσω της ηφαιστειακής δράσης (ESA, Mars Express, The Ages of Mars). Παράλληλα υπήρχαν και δίκτυα τα οποία δεν αναπτύχθηκαν από κατακρημνίσματα αλλά από μια αναπάντεχη μαζική έκχυση νερού, η οποία πιθανόν να οφείλεται σε έναν πιθανό υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (Carr and Head III, 2010). Με δεδομένη την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας από την ηφαιστειακή δράση, εικάζεται ότι αν υπήρχε ένας «Βόρειος Ωκεανός», είναι πιθανότερο να τοποθετείται χρονικά στην ύστερη Noachian εποχή, παρά στην προ-Noachian (ESA, Mars Express, The Ages of Mars). Τέτοιου είδους δίκτυα είναι τα Mawrth Valles και Ma'adium Valles. Έτσι, εντός της ύστερης Noachian εποχής συντελούνταν διαβρωτικές διεργασίες όπου πληρούν τις γειτονικές κοιλότητες, συμπεριλαμβανομένων και των κρατήρων πρόσκρουσης, με ιζηματογενές υλικό (Tanaka et al., 2014).

Τέλος, οι προσκρούσεις έχουν μειωθεί ραγδαία σε σχέση με την πρώιμη Noachian εποχή, αλλά παρόλα αυτά εντοπίζονται τρεις γεωμορφές όπου φέρουν υλικό που χρονολογείται την συγκεκριμένη εποχή και ξεπερνούν σε διάμετρο τα 150 χιλιόμετρα. Αυτές είναι οι κρατήρες Bacquerel και Green και η επιφάνεια Orcus Patera (Tanaka et al., 2014).

3.4. Hesperian Περίοδος

Οι δύο μεγαλύτερες διαφορές που φέρει αυτή η περίοδος, σε σχέση με την προηγούμενη είναι η αισθητά πολύ πιο μειωμένη εμφάνιση των προσκρούσεων και τα χαμηλά ποσοστά διάβρωσης της επιφάνειας (Tanaka et al., 2014). Οι κυριότερες διεργασίες οι οποίες έλαβαν χώρα κατά την συγκριμένη περίοδο είναι η ανάπτυξη των επιμήκων καναλιών του βορρά, καθώς και ένα μικρό ποσοστό διάβρωσης και απόθεσης υλικού στην μεταβατική ζώνη ορεινών και πεδινών περιοχών. Την περίοδο αυτή γίνεται η πρώτη εμφάνιση παγετωνικών χαρακτηριστικών, ενώ ο τεκτονισμός και η ηφαιστειότητα χαρακτηρίζονται από εκτεταμένη δράση (Carr and Head III, 2010).

Παγετωνικά στοιχεία, εντοπίζονται στην περιοχή Planum Australe και στην περιοχή Planum Boreum, όπου εντοπίζονται αποθέσεις που εικάζεται ότι αποτελούνται από πάγο και λεπτόκοκκο υλικό, όπου τα στοιχεία αυτά αποτελούν είτε ανάστροφο υδρογραφικό δίκτυο είτε eskers (Tanaka et al., 2014). Οι γεωμορφές αυτές οφείλονται είτε στην ανάπτυξη μεγάλων τεμαχών πάγου είτε στο φαινόμενο του cryovolcanism (volcano-ice) (Carr and Head III, 2010).

Επίσης, αναπτύσσεται κατά την περίοδο αυτή ένα «νέο» είδος επιφάνειας το οποίο ονομάζεται χαοτικό έδαφος (chaotic terrain) (ESA, Mars Express, The Ages of Mars). Το χαοτικό έδαφος επί της ουσίας αποτελεί μια επιφάνεια του εδάφους η οποία είναι τμηματοποιημένη σε πλατώ (mesas) που φτάνουν έως και τα δεκάδες χιλιόμετρα σε μέγεθος (Pedersen and Head III, 2011). Αυτού του τύπου το έδαφος πιθανόν να οφείλεται σε μια εδαφική καθίζηση η οποία μπορεί να φτάνει και τα εκατοντάδες μέτρα, όπου δημιουργεί τα mesas τα οποία χωρίζονται από φαράγγια, ενώ στην τελική φάση της διαδικασίας δημιουργίας τους η κάθετη μετατόπιση των τεμαχών αυτών να εκτείνεται από 1000 έως και 3000 m (Pedersen and Head III, 2011).

3.4.1. Πρώιμη Hesperian Εποχή

Η τεκτονική δράση είναι η διεργασία η οποία έλαβε χώρα σε όλη την επιφάνεια του πλανήτη, η οποία πιθανότατα οφείλεται στην σταδιακή ψύξη του φλοιού του πλανήτη. Η δράση αυτή επέφερε ως αποτέλεσμα την δημιουργία μέτριων έως και μεγάλων wrinkle ridges, τα οποία εντοπίζονται σε επιφάνειες όπου χρονολογούνται ως πρώιμης Hesperian εποχής

(Tanaka et al., 2014). Κατά την συγκεκριμένη εποχή συνεχίστηκε η δράση του Valles Marineris, η οποία οφείλεται σε περιορισμένη ανάπτυξη του φλοιού και σε ανάπτυξη μεγάλου βάθους ρηγμάτων, που αποδίδονται στην ανάπτυξη του συμπλέγματος Tharsis (Carr and Head III, 2010).

Αυτού του είδους η δραστηριότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ηφαιστειότητα του πλανήτη. Κατά την συγκεκριμένη εποχή αναπτύχθηκαν μεγάλου μεγέθους επιφάνειες οι οποίες οφείλονται σε εκτεταμένες ροές λάβας που προέρχονται από την ανάπτυξη του συμπλέγματος Tharsis, όπου με την σειρά του επέφερε την δημιουργία μιας πλειάδας τάφρων περιφερειακά του συμπλέγματος αυτού που εντοπίζονται σε ηφαιστειακά πετρώματα της συγκεκριμένης εποχής (Tanaka et al., 2014). Τέλος, λόγω της ηφαιστειακής δράσης, ως φυσικό επακόλουθο είναι και η παραγωγή θειικού οξέος, το οποίο εντοπίζεται στις τάφρους του Valles Marineris και στην περιοχή Meridiani, όπου εικάζεται πως η απόθεση και η δράση του επέφερε όξυνση του νερού (ESA, Mars Express, The Ages of Mars).

Βάσει του παραπάνω στοιχείου συμπεραίνεται και η δράση του ύδατος κατά την συγκεκριμένη χρονική εποχή, η οποία οφείλεται σε υπόγεια ύδατα, είτε λίμνες είτε ακόμα και σε μορφή πάγου και όχι σε κατακρήμνισμα, όπως οι ποτάμιες κοιλάδες στην περιοχή Hesperia Planum (Carr and Head III, 2010). Επιπρόσθετα, αναφέρεται ότι στα υψίπεδα του πλανήτη εντοπίζονται αποθέσεις οι οποίες χρονολογούνται εντός της συγκεκριμένης εποχής αλλά η προέλευσή τους δεν είναι αποσαφηνισμένη, καθώς πιθανολογείται ότι αποτελούνται από ηφαιστειακή, αιολική και ποτάμια δραστηριότητα (Tanaka et al., 2014).

3.4.2. Ύστερη Hesperian Εποχή

Η ύστερη Hesperian εποχή χαρακτηρίζεται από μείωση της δράσης ορισμένων διεργασιών και αύξηση της έντασης άλλων. Η τεκτονική δράση αν και υπαρκτή κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης εποχής είναι μειωμένη, παρόλο που εντοπίζονται wrinkle ridges, σε επιφάνειες της εποχής αυτής (Tanaka et al., 2014).

Αντίθετα η ηφαιστειακή δράση εντάθηκε, με κεντρικό πυλώνα το σύμπλεγμα Tharsis, και πιο συγκεκριμένα στα ανατολικά του συμπλέγματος, στο Olympus Mons και στο Elysium Mons

(Carr and Head III, 2010). Ειδικότερα, στην περιοχή Syria Planum εντοπίζονται μικρά ασπιδωτού τύπου ηφαίστεια και τάφροι οι οποίοι προσανατολίζονται ομόκεντρα σε σχέση με την περιοχή, οι οποίες έχουν παραχθεί μέσω της τεκτονικής δράσης (Tanaka et al., 2014).

Πέρα από την ηφαιστειακή δράση, κατά την ύστερη Hesperian εποχή, αναπτύχθηκαν και τα μεγαλύτερα κανάλια απορροής (Carr and Head III, 2010). Τα επιμήκη κανάλια της περιοχής Chryse Planitia και της λεκάνης Hellas Planitia χρονολογούνται κατά την ύστερη Hesperia εποχή (ESA, Mars Express, The Ages of Mars). Πέραν των υπογείων υδάτων εικάζεται ότι υπήρχαν και φαινόμενα βροχοπτώσεων, στα οποία οφείλουν την δημιουργία τους τα δενδριτικά δίκτυα στην περιοχή Echus Chasma (Tanaka et al., 2014).

3.5. Amazonian Περίοδος

Κατά τη Amazonian περίοδο, η γεωλογική πορεία του πλανήτη εισήλθε σε μια φάση που δεν θυμίζει τις προηγούμενες. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τα οποία φέρει η συγκεκριμένη περίοδος είναι η ψύχρανση της επιφάνειας, η ξήρανση της και η δράση αρκετών θειικών αλάτων (Tanaka et al., 2014). Βάσει αυτών των στοιχείων είναι εύκολο να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι δεν συντελούνταν πλέον η ποτάμια δράση, λόγω της ψύξης της επιφάνειας, ή αν υπήρχε νερό στην επιφάνεια θα επιδρούσε σε αυτή μέσω της παγετωνικής δράσης.

Διεργασίες όπως η ποτάμια δράση και η ηφαιστειότητα έχουν μειωθεί σημαντικά σε σχέση με τις προηγούμενες εποχές, και ως φυσικό επακόλουθο επήλθε και η κατακόρυφη μείωση της απόθεσης υλικού, ενώ οι προσκρούσεις γίνονται ένα όλο και πιο σπάνιο φαινόμενο (Carr and Head III, 2010).

Οι κυριότερες γεωλογικές διεργασίες που υπερισχύουν στην Amazonian περίοδο είναι η αιολική και η παγετωνική δραστηριότητα, ενώ η ηφαιστειότητα λαμβάνει χώρα μόνο μέχρι και τους πρόποδες των μεγαλύτερων ηφαιστειακών κώνων του πλανήτη (ESA, Mars Express, The Ages of Mars).

3.5.1. Πρώιμη Amazonian Εποχή

Η τεκτονική δραστηριότητα, όπου η δράση της ήταν μειωμένη χρονολογικά από την ύστερη Hesperian εποχή, συνεχίζει και στην συγκεκριμένη εποχή με μια μέτρια δράση. Μέσω της ηφαιστειακής δράσης η οποία συνεχίστηκε, και της καθίζησης του φλοιού, αναπτύχθηκαν κατά τόπους και όχι καθολικά στην επιφάνεια του πλανήτη, ρηγματώσεις του φλοιού και wrinkle ridges, κυρίως περιφερειακά του συμπλέγματος Tharsis (Carr and Head III, 2010). Τέτοιες περιοχές είναι οι Isidis Planitia, Utopia Planitia και το βορειοανατολικό τμήμα του ηφαιστείου Alba Mons. Ειδικότερα, στην περιοχή του Alba Mons τα ρήγματα που απαντώνται στην περιοχή δεν είναι σποραδικά, αλλά επί της ουσίας αποτελούν ένα σύστημα ρηγμάτων με προσανατολισμό επέκτασης βορειοδυτικό-νοτιοανατολικό, τα οποία έχουν παραχθεί από την ανύψωση του συμπλέγματος Tharsis (Tanaka et al., 2014).

Ηφαιστειακά, μέσω ροών λάβας, αναπτύχθηκαν τα ηφαίστεια Olympus Mons και Elysium Mons. Οι ροές λάβας για το ηφαίστειο Olympus Mons εκκινούνται σε απόσταση 2.000 km από αυτό, ενώ τα βόρεια του ηφαιστείου Elysium Mons, αναπτύσσεται ένα παράλληλο υδρογραφικό δίκτυο το οποίο ερμηνεύεται ως lahar (Greeley and Guest, 1987; Tanaka et al., 2014).

Τέλος, η μείωση των προσκρούσεων είναι τέτοια, όπου εντοπίζονται μόνο δυο κρατήρες, που χρονολογούνται εντός της συγκεκριμένης εποχής, με διάμετρο μεγαλύτερη των 220 km, οι οποίοι είναι οι Galle και Lyot (Tanaka et al., 2014).

3.5.2. Μέση Amazonian Εποχή

Στην παρούσα εποχή, αντίθετα, δεν υπάρχουν στοιχεία που να τεκμηριώνουν την ύπαρξη τεκτονικής δράσης. Επίσης, η ηφαιστειακή δραστηριότητα αν και υπαρκτή αυτή την εποχή είναι μειωμένη και εντοπίζεται μόνο στα ηφαίστεια Tharsis, Elysium και την μεταβατική ζώνη μεταξύ ορεινών και πεδινών περιοχών (Carr and Head III, 2010). Ακόμα, λόγω των βαρυτικών δυνάμεων σημειώθηκαν κατολισθήσεις στην βάση του ηφαιστειακού κώνου του Olympus Mons και στις απότομες πλαγιές του Valles Marineris (Tanaka et al., 2014).

Κατά την μέση Amazonian εποχή η κυριότερη δράση την επιφάνεια του πλανήτη είναι η παγετωνική. Οι χαρακτηριστικότερες μορφές που σχετίζονται με την δράση αυτή είναι οι κρατήρες pedestal, όπου εντοπίζονται στις βόρειες πεδιάδες και αποτελούνται από λεπτόκοκκο ίζημα και πάγο (Tanaka et al., 2014).

3.5.3. Ύστερη Amazonian Εποχή

Είναι η τελευταία εποχή του γεωλογικού χρόνου του πλανήτη, η οποία κατά κάποιο τρόπο αντιπροσωπεύει και τις σημερινές συνθήκες του πλανήτη. Και στην παρούσα εποχή κυριαρχούν οι παγετωνικές διεργασίες. Κατά την συγκεκριμένη εποχή δημιουργούνται τα μεγάλου πάχους καλύμματα πάγου στους πόλους του πλανήτη (Carr and Head III, 2010). Ειδικότερα, στο νότιο πόλο η στρωματογραφία των καλυμμάτων πάγου, ακολουθεί μια συγκεκριμένη αλληλουχία στρωμάτων, όπου στην βάση της αποτελείται από πάγο διοξειδίου του άνθρακα του οποίου το πάχος ανέρχεται στα 300 m, το στρώμα αυτό καλύπτεται από πάγο νερού και το ανώτερο στρώμα αποτελείται από πάγο διοξειδίου του άνθρακα (Tanaka et al., 2014). Άλλα υπολείμματα παγετωνικής δράσης εντοπίζονται στις βορειοδυτικές πλαγιές των ηφαιστείων Olympus Mons και Tharsis Mons, τα οποία ερμηνεύονται ως moraines, οι οποίες παράχθηκαν από παγετώνες τύπου cold-base (Tanaka et al., 2014; Greeley and Guest, 1987). Επιπρόσθετα, αμμόλοφοι οι οποίοι κατηγοριοποιούνται ως παγετωνικές μονάδες, απαντώνται στον βόρειο πόλο του πλανήτη, και σε μικρότερα γεωγραφικά πλάτη τα οποία αποτελούνται από αχαρτογράφητα εδάφη (ESA, Mars Express, The Ages of Mars).

Η ηφαιστειότητα, αποτελεί και αυτή μια δράση της ύστερης Amazonian εποχής, κατά την οποία παρατηρούνται ροές λάβας της συγκεκριμένης εποχής οι οποίες καλύπτουν παλαιότερες, να απατώνται στις πεδιάδες Amazonis Planitia, Arcadia Planitia και Elysium Planitia. Οι ροές αυτές οφείλονται στις γεωμορφές Olympus Mons, Alba Mons, Cerberus Fossae και Elysium Mons (Tanaka et al., 2014). Ακόμα κατά την ύστερη Amazonian εποχή δημιουργήθηκαν μικρά ασπιδωτά ηφαίστεια και τάφροι όπου εντοπίζονται στο σύμπλεγμα Tharsis και στις ρηγματώσεις του Cerberus Fossae. Τέλος, παρά την αξιόλογη ηφαιστειακή δραστηριότητα, η τεκτονική δραστηριότητα μειώθηκε σε σχέση με τις προηγούμενες εποχές (Carr and Head III, 2010).

4. ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

4.1. Κρατήρες Πρόσκρουσης

Οι κρατήρες πρόσκρουσης αποτελούν την γεωμορφή που απαντάται πιο συχνά στη επιφάνεια του Άρη, και πιο έντονα στο νότιο ημισφαίριο. Η διάμετρος τους ξεκινά από λίγες δεκάδες μέτρα και μπορεί να φτάσει σε αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα. Η διαδικασία παραγωγής τους σχετίζεται με μια πρόσκρουση της επιφάνειας του πλανήτη με ένα αντικείμενο (έξω-πλανητικό ογκόλιθο), δημιουργώντας μια κατακόρυφη οπή στην επιφάνεια του εδάφους ενώ παράλληλα προκαλεί και μια μεταφορά υλικού, που παράχθηκε εξαιτίας της σύγκρουσης, εκατέρωθεν της οπής (Head, 2007). Το γεγονός ότι αποτελεί μια τόσο εκτεταμένη γεωμορφή οφείλεται αφ' ενός η ένταση από την οποία χαρακτηρίζονταν η διεργασία αυτή κατά την γεωλογική ιστορία του πλανήτη, και αφ' εταίρου στον τρόπο με βάση τον οποίο οι γεωμορφές αυτές παράγονται, δηλαδή δεν παράγεται ένας κρατήρας ανά κρούση αλλά πολλοί, εξαιτίας των θραυσμάτων που παράγονται από την πρόσκρουση.

Οι παράγοντες βάσει των οποίων διαμορφώνονται οι κρατήρες είναι (Barlow and Bradley, 1990):

- η επιφανειακή βαρύτητα
- οι ιδιότητες της επιφάνειας
- η ενέργεια της κρούσης

Δεδομένου ότι οι κρατήρες που μελετώνται στην παρούσα εργασία απαντώνται σε έναν πλανήτη, ο παράγοντας της επιφανειακής βαρύτητας θα μπορούσε να παραληφθεί, ή να αποτελέσει παράγοντα με μικρή σημασία για κρατήρες σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (Barlow and Bradley, 1990). Όσον αφορά τον παράγοντα των ιδιοτήτων της επιφάνειας, κατανέμει τους κρατήρες με βάσει προβλέψιμες μεταβλητές της επιφάνειας του εδάφους, όπως η σύστασή του, η ανθεκτικότητά του κ.α.. Αντίθετα, ο παράγοντας της ενέργειας πρόσκρουσης κατανέμει τυχαία τους κρατήρες κρούσης, με μόνο γνώμονα την μεταβολή της ενέργειας, ενώ παράλληλα αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα της παραγωγής των κρατήρων (Barlow and Bradley, 1990). Οι συγκεκριμένοι παράγοντες δεν επηρεάζουν μόνο την δημιουργία του κρατήρα αλλά και την δομή του. Η ενέργεια της δεδομένης στιγμής είναι σε θέση να επηρεάσει μερικές γεωμορφές

στο εσωτερικό του κρατήρα, ενώ οι υπόλοιπες εσωτερικές και εξωτερικές γεωμορφές του κρατήρα επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας (Barlow and Bradley, 1990).

Δεδομένου ότι το περιβάλλον στο οποίο αναφέρεται η εργασία, είναι πολύ διαφορετικό από αυτό της Γης, έτσι και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας που επηρεάζουν μια τέτοια διεργασία, είναι διαφορετικά. Ο λόγος γίνεται για κάποιες επιφανειακές ουσίες, που επηρεάζουν κατά κόρον τόσο την δημιουργία των κρατήρων όσο και το υλικό που παράγεται και αποτίθενται από αυτούς, τις πτητικές ουσίες (Barlow and Bradley, 1990). Οι πτητικές ουσίες, αποτελούν χημικά στοιχεία ή ενώσεις με χαμηλό σημείο βρασμού, (όπως: νερό, διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, αμμωνία, κάλιο, νάτριο και μόλυβδος) οι οποίες βρίσκονται σε στερεή μορφή σε ικανοποιητικές ποσότητες στο ανώτερο τμήμα του φλοιού (French, 1998). Με δεδομένη την πρόσκρουση του έξω-πλανητικού αντικειμένου στην επιφάνεια και την θερμότητα που φέρει, θερμαίνει αυτά τα στοιχεία της επιφάνειας, τα οποία εξέρχονται από αυτήν σε αέρια ή/και υγρή μορφή, επηρεάζοντας την δημιουργία του κρατήρα και την απόθεση του παραγόμενου υλικού (Barlow and Bradley, 1990). Μάλιστα, οι πτητικές ουσίες αυτές, έχουν τέτοια επίδραση στην δημιουργία των κρατήρων όπου μπορεί να λειτουργήσουν σαν συντελεστές βαρύτητας για μεταβλητές όπως η διάμετρος, το έδαφος και το γεωγραφικό πλάτος. Τέλος στην δημιουργία των κρατήρων συμβάλουν έμμεσα και η ατμόσφαιρα του πλανήτη, το γεωγραφικό πλάτος και οι ταχύτητες των έξω-πλανητικών λίθων (Barlow and Bradley, 1990).

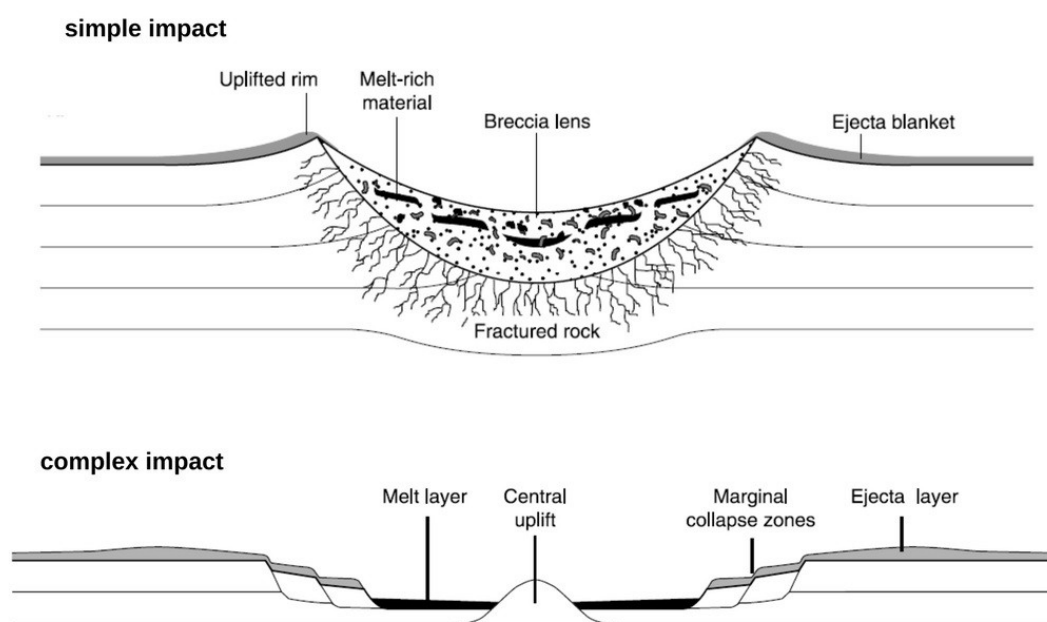
Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός κρατήρα είναι:

- οι αποθέσεις του πυθμένα.
- οι αποθέσεις εκατέρωθεν του κρατήρα (ejecta blanket/ layer).
- το χείλος του κρατήρα.
- η διάμετρος και το βάθος του.

Οι κύριες αποθέσεις εντός του κρατήρα αποτελούνται από λατυποπαγή πετρώματα και αποθέσεις που έχουν προκύψει από την τήξη των υλικών κατά την πρόσκρουση. Με τον ίδιο τρόπο έχουν παραχθεί και τα λατυποπαγή πετρώματα τα οποία επί της ουσίας είναι γωνιώδεις χαλίκια (θραύσματα) τα οποία συγκολλώνται με την βοήθεια ανθρακικών (τα οποία περιέχονται στα πτητικά στοιχεία), πυριτικών ή αργιλικών ορυκτών, και η ανθεκτικότητά τους

εξαρτάται από το πορώδες τους και την αντοχή του συγκολλητικού υλικού (Παυλόπουλος, 2011). Τα υλικά που τήκονται στιγμιαία από την πρόσκρουση, εν τέλει παράγουν μια ποσότητα κρυσταλλικών και υαλωδών πυριγενών πετρωμάτων (French, 1998).

Με την πρόσκρουση, παράγονται θραύσματα τα οποία αποτίθενται ως επί το πλείστον στο εξωτερικό τμήμα του κρατήρα. Οι αποθέσεις αυτές στην πλανητική γεωλογία ονομάζονται "ejecta blanket". Η ejecta blanket αποτελείται από παρόμοια πετρώματα με αυτά που περιέχονται εντός του κρατήρα. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, η συγκέντρωση των πτητικών στοιχείων επηρεάζει την μορφολογία της ejecta blanket (Barlow and Bradley, 1990). Τα χονδρόκοκκα υλικά κατανέμονται κοντά στο χείλος του κρατήρα ενώ τα λεπτόκοκκα σε μεγαλύτερη ακτίνα. Επί της ουσίας το μεγαλύτερο ποσοστό των υλικών την (μεγαλύτερο του 90%) εκτείνεται σε μια ακτίνα πενταπλάσια της ακτίνας του ίδιου του κρατήρα (ακτίνα κρατήρα: η απόσταση του κέντρου του από το χείλος του) (French, 1998). Βέβαια, σημαντικό ρόλο στην κατανομή των λεπτόκοκκων θραυσμάτων παίζει και η αιολική δράση (Barlow and Bradley, 1990).

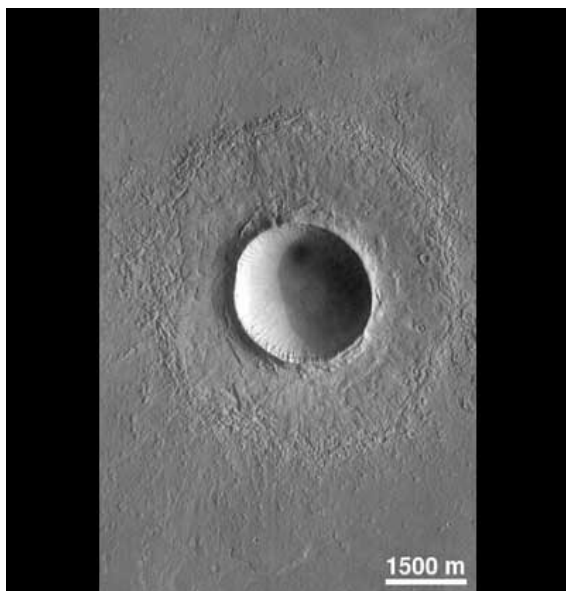


Εικόνα 11: Δομική διαφορά μεταξύ απλών και σύνθετων κρατήρων. (πηγή: French B. M., (1998), *Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite*, Houston, Lunar and Planetary Institute, σελ:21, 26)

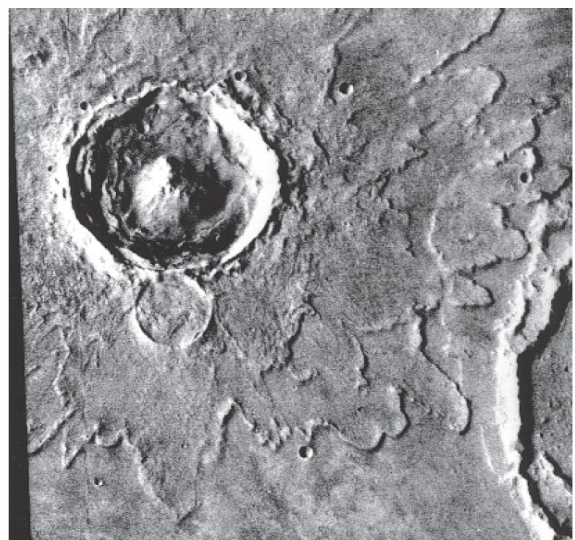
Το χείλος του κρατήρα επί της ουσίας αποτελεί την πλευρική ανύψωση του εδάφους, η οποία προκαλείται από την πρόσκρουση του έξω-πλανητικού σώματος με το έδαφος και

αποτελεί γεωμορφή που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια. Σε στάδια μετατροπής του κρατήρα υπάρχει πάντα η πιθανότητα της κατάρρευσης των χειλών (French, 1998). Μελετώντας συγκριτικά κρατήρες στην επιφάνεια του Άρη έχει παρατηρηθεί μια συσχέτιση μεταξύ της διαμέτρου του κρατήρα και του χείλους. Παρατηρείται ότι οι κρατήρες που έχουν διάμετρο ≤ 5 km και ≥ 50 km, δεν παρουσιάζουν χείλη, αλλά έναν δακτύλιο που έχει απομείνει από το χείλος που είχε δημιουργηθεί από την πρόσκρουση και κατέρρευσε. Οι κρατήρες που η διάμετρός τους εντάσσεται εντός αυτών των ορίων διατηρούν το χείλος τους. Η διαφοροποίηση αυτή και πάλι συσχετίζεται με τα πτητικά στοιχεία της επιφάνειας, κάνοντας την σύνδεση των χειλών με εδάφη πλούσια σε πτητικά στοιχεία ενώ των δακτυλίων σε εδάφη με έλλειψη αυτών. Επίσης, και το γεωγραφικό πλάτος είναι σε θέση να επηρεάσει την κυρτότητα των χειλών καθώς και το πλήθος τους, όπου περισσότεροι κρατήρες με χείλη και μάλιστα πιο κυρτά, εντοπίζονται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (Barlow and Bradley, 1990).

Η διάμετρος και το βάθος ενός κρατήρα, αποτελούν και αυτά βασικά στοιχεία της συγκεκριμένης γεωμορφής. Η διάμετρος των κρατήρων, εξαρτάται από τους παράγοντες που έχουν ήδη προαναφερθεί. Αντίθετα, το βάθος ενός κρατήρα, εξαρτάται και από κάποιους επιπλέον παράγοντες, πέραν αυτών που ήδη έχουν αναφερθεί, οι οποίοι αποδίδονται στα



Εικόνα 13: Εικόνα απλού κρατήρα διαμέτρου 2 km. (πηγή: NASA, Martian Crater)

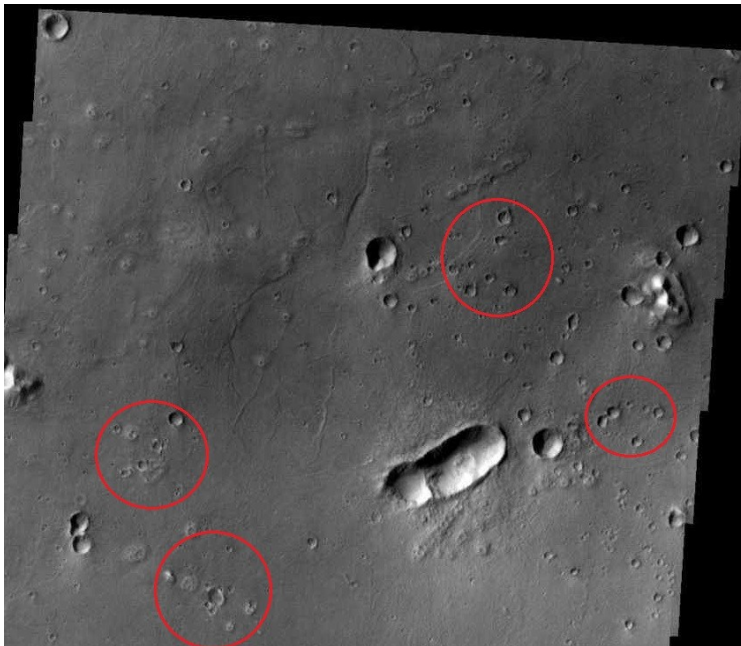


Εικόνα 12: Εικόνα σύνθετου κρατήρα διαμέτρου 19 km. (πηγή: French B. M., (1998), Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite, Houston, Lunar and Planetary Institute, σελ: 6)

στάδια αλλαγής του κρατήρα. Αυτοί είναι η φύση και ο όγκος του έξω-πλανητικού σώματος, η γωνία βάσει της οποίας γίνεται η πρόσκρουση και τέλος η κλίση της ίδιας της επιφάνειας

πρόσκρουσης (Tornabene et al., 2018). Το σύνολο των κρατήρων κατηγοριοποιούνται με βάση την δομή τους σε απλούς και σύνθετους. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, συνοψίζουν τα στοιχεία που περιγράφουν τους απλούς κρατήρες και κατ'επέκταση και τους σύνθετους. Βέβαια, υπάρχουν κάποιες ευκρινείς διαφορές μεταξύ αυτών των δύο τύπων κρατήρα οι οποίες θα πρέπει να αποσαφηνισθούν. Το βασικό χαρακτηριστικό των απλών κρατήρων είναι το γεγονός ότι δεν περνούν από στάδιο μεταβολής, που προαναφέρεται, και ο λόγος είναι το μέγεθος των κρατήρων αυτών. Το μέγεθός τους φτάνει τα μερικά χιλιόμετρα, με αποτέλεσμα να διατηρούνται οι αρχικές διαστάσεις και το σχήμα της κοιλότητας. Στην πραγματικότητα υπάρχει μια κάποια ελάττωση της διαμέτρου τους, κατά την δημιουργία τους, στα ανώτερα τοιχώματα τους, όπου το υλικό αυτό καταλήγει στον πυθμένα τους, αλλά δεν είναι σε θέση να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την διάμετρο και απειροελάχιστα το βάθος τους (French, 1998). Αντίθετα, η δομή των σύνθετων κρατήρων είναι αρκετά πιο πολύπλοκη, σε σημείο ορισμένες φορές να μην χαρακτηρίζονται ως κρατήρες αλλά ως λεκάνες πρόσκρουσης. Χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες διαστάσεις, μεγαλύτερη διάμετρο και μικρότερο βάθος (Tornabene et al., 2018), σε σχέση με τους απλούς κρατήρες, ο πυθμένας τους έχει μεγάλη έκταση και είναι επίπεδος και όχι κυρτός όπως συμβαίνει στους απλούς κρατήρες. Επίσης και σε αυτήν την κατηγορία κρατήρων που παρουσιάζεται κατάρρευση-καθίζηση του χείλους τους, μόνο που στην προκειμένη περίπτωση είναι σημαντική, εκτεταμένη (συμβαίνει παραπάνω από μια φορές, δημιουργώντας σταδιακά έναν ή περισσότερους δακτυλίους, οι οποίοι προσομοιάζουν οπτικά τις γεωμορφές των αναβαθμίδων) και συμβαίνει μέσα σε στάδιο μεταμόρφωσης, ένα στάδιο το οποίο δεν υφίσταται στους απλούς κρατήρες. Ίσως η πιο καθοριστική διαφορά που παρουσιάζουν οι σύνθετοι κρατήρες σε σχέση με τους απλούς είναι μια εδαφική ανύψωση, κάτι σαν λοφίσκος, που παρουσιάζεται στο κέντρο του κρατήρα. Ο λόγος της δημιουργίας του πιθανότατα είναι η ενέργεια με την οποία γίνεται η σύγκρουση του αντικειμένου με την επιφάνεια, με αποτέλεσμα τα πετρώματα τα οποία μετά από την σύγκρουση έχουν ελάχιστη ή μηδενική δύναμη, προσπαθούν να επανέλθουν σε μια κατάσταση βαρυτικής ισορροπίας (French, 1998).

Τώρα όσον αφορά τον τρόπο δημιουργίας τους, οι κρατήρες μπορούν να διαχωριστούν σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς κρατήρες μπορούν να είναι απλοί ή σύνθετοι και οι διαστάσεις τους είναι σεβαστές. Οι δευτερογενείς κρατήρες συνήθως έχουν διάμετρο



Εικόνα 14: Εικόνα δευτερευόντων κρατήρων. (πηγή: NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institution of Technolofy, Search Mars Images)

μικρότερη από χιλιόμετρο και αυτό οφείλεται στον τρόπο δημιουργίας του. Οι δευτερογενείς κρατήρες επί την ουσίας είναι γεωμορφές, οι οποίες έχουν προκύψει από τα θραύσματα που παράγονται από την δημιουργία των πρωτογενών κρατήρων, τα οποία αποτίθενται σε μια περιορισμένη ζώνη περιφερειακά των πρωτογενών κρατήρων, παράγοντας αυτούς τους μικρούς κρατήρες, τόσο σε διάμετρο όσο και σε βάθος,

καθώς η ταχύτητα και η ενέργεια που φέρουν τα θραύσματα δεν επέτρεπε την δημιουργία μεγαλύτερων γεωμορφών . Βέβαια, ανάλογα με το μέγεθος της πρόσκρουση κάτι τέτοιο θα μπορούσε να αλλάξει. Συνήθως, η απόθεσή τους δεν γίνεται σε μία μόνο ζώνη, αλλά σε δακτυλίους διαφορετικών διαμέτρων, περιμετρικά του πρωτογενούς κρατήρα (Robbins and Hynke, 2014).

Οι παράγοντες που προαπαιτούνται για την δημιουργία των δευτερογενών κρατήρων είναι (Mc Ewen and Bierhaus, 2006):

- οι πρωτογενείς κρατήρες θα πρέπει να είναι ήδη υπαρκτοί.
- το έξω-πλανητικό αντικείμενο θα πρέπει να προσκρούσει με ενέργεια ικανή να μπορέσει να εξάγει τα θραύσματα προς την επιφάνεια.
- η ταχύτητα που αποκτούν τα θραύσματα θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε όταν αποτεθούν στην επιφάνεια να είναι σε θέση να δημιουργήσουν κρατήρες.

Σε μία συγκριτική μελέτη (Mc Ewen et al., 2005) που έγινε συγκρίνοντας τους

δευτερογενείς κρατήρες της Σελήνης και του Άρη, εξέτασε την υπόθεση ότι οι δευτερογενείς κρατήρες του Άρη θα έπρεπε να είναι περισσότεροι σε σχέση με αυτούς της Σελήνης, μια υπόθεση η οποία δεν επαληθεύθηκε. Η υπόθεση αυτή βασίστηκε σε στοιχεία όπως:

- το γεγονός ότι παρότι που η πρωταρχική ταχύτητα που δημιουργεί τον πρωτογενή κρατήρα είναι μικρότερη στον Άρη από την αντίστοιχη της Σελήνης, αλλά η ταχύτητα των θραυσμάτων του Άρη είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτήν της Σελήνης.
- στο ανώτερο τμήμα του φλοιού του Άρη υπάρχουν σημαντικές στρώσεις ρεγκόλιθου, ευνοώντας ακόμα και πρωτογενείς κρούσεις με μικρή ταχύτητα να είναι σε θέση να παράξουν θραύσματα με μεγάλη ταχύτητα.
- η αρειανή ατμόσφαιρα επηρεάζει την πυκνότητα των μικρών πρωτογενών κρατήρων, αλλά όχι των δευτερογενών, καθώς έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα πρόσκρουσης.

Όσον αφορά τους δευτερεύοντες κρατήρες με διάμετρο 10-100 m, παρατηρείται μια έλλειψη τους στην επιφάνεια του Άρη. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να ερμηνευθεί με δύο υποθέσεις (Mc Ewen et al., 2005):

- είτε αποτελεί ένδειξη μιας πρόσφατης γεωλογικής δραστηριότητας (π.χ ηφαιστειακή δράση), η οποία έχει επικαλύψει τις μορφές αυτές.
- είτε αποτελεί ένδειξη για αιολική δραστηριότητα είτε αυτή είναι πρόσφατη είτε είναι επαναλαμβανόμενη.

Τέλος, για τους ίδιους κρατήρες (διαμέτρου: 20-100 m), έχουν προκύψει και κάποιες ποιοτικές παρατηρήσεις (Mc Ewen et al., 2005):

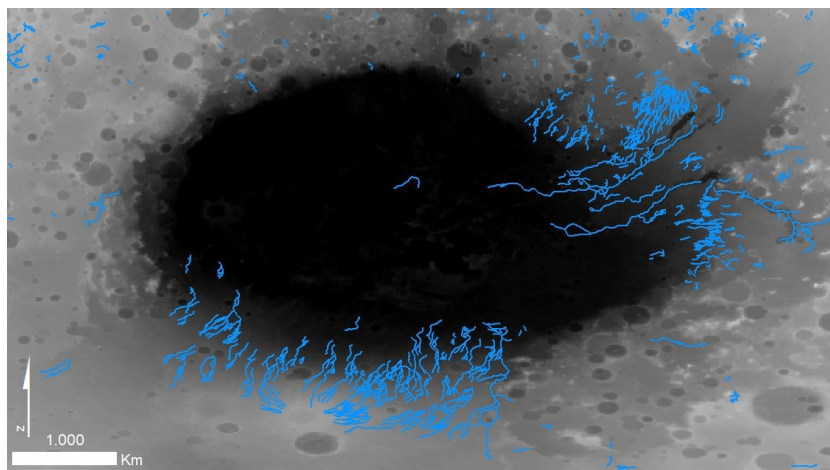
- όπως ότι τέτοιου είδους κρατήρες παρουσιάζουν μια συσσώρευση στον χώρο και ιδιαίτερα στον χρόνο.
- οι διαστάσεις των κρατήρων αυτών είναι αρκετά μικρές, τόσο σε διάμετρο όσο και σε βάθος.

Πέραν όλων αυτών, οι κρατήρες πρόσκρουσης μπορούν να λειτουργήσουν και ως χρονολογικοί δείκτες. Με βάση την χρονολόγηση των μετεωριτών στην αρειανή επιφάνεια, μπορούν να χρονολογηθούν και άλλες γεωμορφές. Έχει διαπιστωθεί πως οι ηφαιστειακές και άλλες γεωμορφές, της περιόδου Amazonian έχουν ηλικία μερικών εκατοντάδων εκατομμυρίων ετών, ενώ γεωμορφές που εντάσσονται στην περίοδο Noachian δημιουργήθηκαν πριν από περίπου 3,7 δισεκατομμύρια χρόνια (Head, 2007). Επίσης, οι παλαιοί κρατήρες μπορούν

παράξουν στοιχεία για τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε υπάρχουσες γεωμορφές. Ακόμα, μέσω των νεότερων κρατήρων και των αποθέσεων τους, μπορούν να παραχθούν δεδομένα τα οποία σχετίζονται με τα επιφανειακά στρώματα του φλοιού, τις διαδικασίες πρόσκρουση, συνδυάζοντάς τα με παράγοντες όπως τις βαρυτικές συνθήκες του πλανήτη, την ατμόσφαιρά του και τα παγετωνικά στρώματα που διαθέτει σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη (Head, 2007).

4.2. Λιμναία και Ωκεάνια Περιβάλλοντα

Υπάρχουν βάσιμα στοιχεία, τα οποία υποδεικνύουν την ύπαρξη νερού σε παρελθοντικό χρόνο στην επιφάνεια του Άρη, και επιπρόσθετα στοιχεία τα οποία υποδεικνύουν την ύπαρξη πάγου στην επιφάνεια του πλανήτη, στο κοντινό παρελθόν ή και ακόμα στο παρόν (Rathbun and Squyres, 2002). Το γεγονός αυτό, αυτόματα δίνει το έναυσμα να σκεφτούμε την ύπαρξη

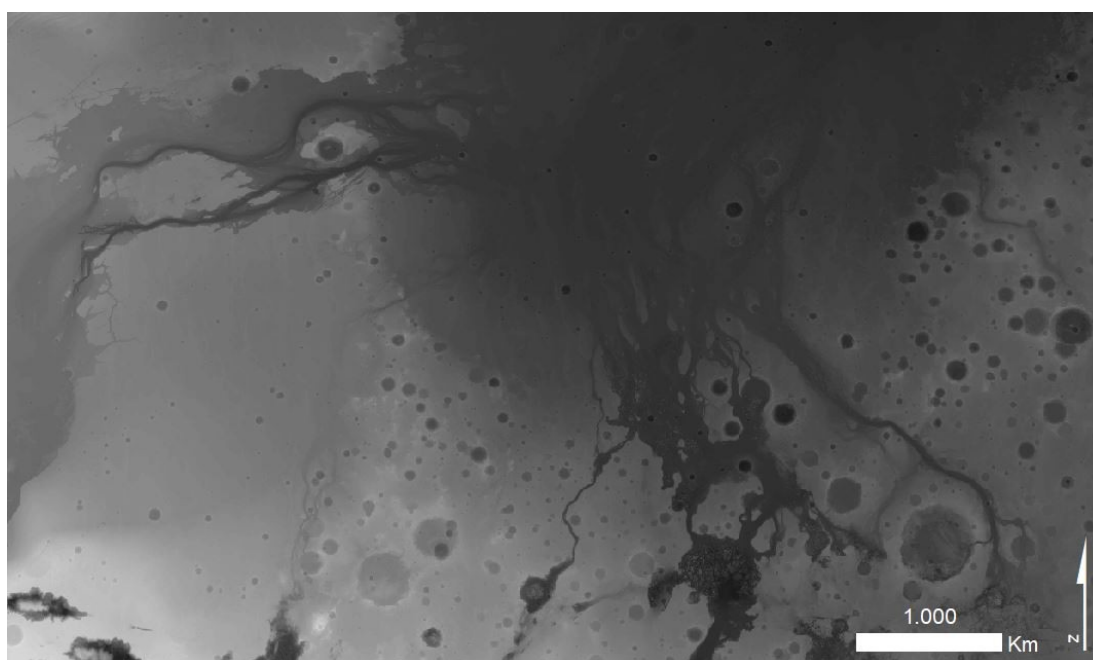


Εικόνα 15: Ποτάμιες κοιλάδες που καταλήγουν στην πεδιάδα Hellas. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

λιμνών και ωκεανών στο παρελθόν, στην επιφάνεια του πλανήτη. Και τα δυο αυτά περιβάλλοντα, αποτελούν τμήματα ενός μεγαλύτερου συστήματος, της υδρόσφαιρας. Η υδρόσφαιρα αποτελεί «ένα πολύ λεπτό στρώμα νερού πάνω στην επιφάνεια της στερεάς γης με προεκτάσεις

μέσα στην ατμόσφαιρα και την λιθόσφαιρα» (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010, σελ: 79). Στην γεωμορφολογία, η λίμνη ορίζεται «ως μία μάζα υδάτων που βρίσκεται συγκεντρωμένη σε ένα βύθισμα στην επιφάνεια του εδάφους, με τροφοδοσία από ποτάμια και πηγές και χωρίς άμεση επικοινωνία με την θάλασσα» (Παυλόπουλος, 2011, σελ: 261). Πρακτικά, οι ωκεανοί αποτελούν την συγκέντρωση ύδατος, πλούσιο σε άλατα, το οποίο συσσωρεύεται στις κοιλάδες του πλανήτη με το χαμηλότερο υψόμετρο, μέσω ποτάμιων κοιλάδων και κατακρημνισμάτων.

Περιοχές οι οποίες θα μπορούσαν να καλύπτονται από νερό, στην επιφάνεια του Άρη, προκύπτουν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους του. Οι περιοχές αυτές είναι πεδιάδες (Planitia) όπως: Arcadia, Amazonis, Acidalia, Chryse, Utopia, Elysium, Hellas, Argyre (Παγκόσμιος Χάρτης Υδρογραφικού Δικτύου-Παράρτημα Α'). Η πληθώρα των πεδιάδων αυτών βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο, και ο ισχυρισμός της προϋπαρξης λιμνών και ωκεανών στις πεδιάδες αυτές ενισχύεται από τα μεγάλα ποτάμια δίκτυα και από τις εκτεταμένες

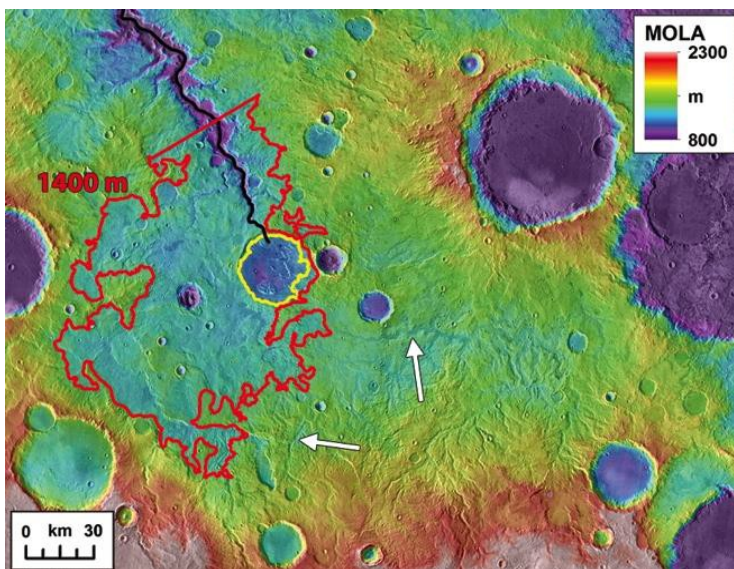


Εικόνα 16: Ποτάμιας κοιλάδες στο βόρειο ημισφαίριο. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

αποθέσεις, που εντοπίζονται στις περιοχές αυτές (Head, 2007). Αντίστοιχα ποτάμια δίκτυα εντοπίζονται και σε κοιλάτες του νοτίου ημισφαιρίου όπως, η πεδιάδα Hellas. Ένα επιπρόσθετο στοιχείο το οποίο ενισχύει τον ισχυρισμό της συσσώρευσης ύδατος στις βόρειες πεδιάδες, είναι ο εντοπισμός ορισμένων χαρακτηριστικών τα οποία αποτελούν ενδείξεις που υποδηλώνουν την ύπαρξη μιας παρελθούσας ακτογραμμής, ενός ενδεχόμενου "Βόρειου Ωκεανού" ή όρια παρελθόντων λιμνών. Με την ανάλυση δεδομένων MOLA στις περιοχές με τις ενδείξεις αυτές, δηλαδή στα σημεία ένωσης διαφορετικών πετρωμάτων και με βάση την ανάλυση τραχύτητας τους, αρκετά από αυτά συμφωνούν στην προϋπάρχουσα συγκέντρωση ύδατος στις περιοχές αυτές, ενώ άλλα όχι (Head, 2007). Τέλος, υπάρχουν ενδείξεις για την ύπαρξη υδάτινων δράσεων και σε κρατήρες πρόσκρουσης. Κρατήρες που εντοπίζονται στα υψίπεδα συνδέονται με κοίτες, που θεωρούνται ποτάμια, ενώ παράλληλα η εσωτερική τους επιφάνεια είναι επίπεδη, λόγω της εναπόθεσης ιζήματος στο εσωτερικό τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις εντοπίζονται και δέλτα στο χείλος τέτοιων κρατήρων, ενώ σε άλλες περιπτώσεις

τα ιζήματα που έχουν αποθεθεί εντός τους παρουσιάζουν συγκεκριμένη στρωματογραφία (Head, 2007). Όλα τα παραπάνω στοιχεία πιστοποιούν την συσσώρευση νερού σε κρατήρες και την προϋπαρξη λιμνών σε τέτοιες γεωμορφές.

Μια τέτοια χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί μια λίμνη-κρατήρας η οποία τροφοδοτούνταν μέσω της κοιλάδας Licus Vallis. Η συγκεκριμένη κοιλάδα έχει μήκος άνω των 350 km, πλάτος μεγαλύτερο των 2 km και βάθος περίπου 100 m, όπου καταλήγει σε έναν κρατήρα πρόσκρουσης διαμέτρου 30 km (Goudge and Fassett, 2017). Βέβαια, τα όρια της



παλαιό-λίμνης εκτείνονται σε μεγαλύτερη ζώνη από την των ορίων του κρατήρα, καθώς υπάρχει ένα σημείο καμπής που βρίσκεται 70 km

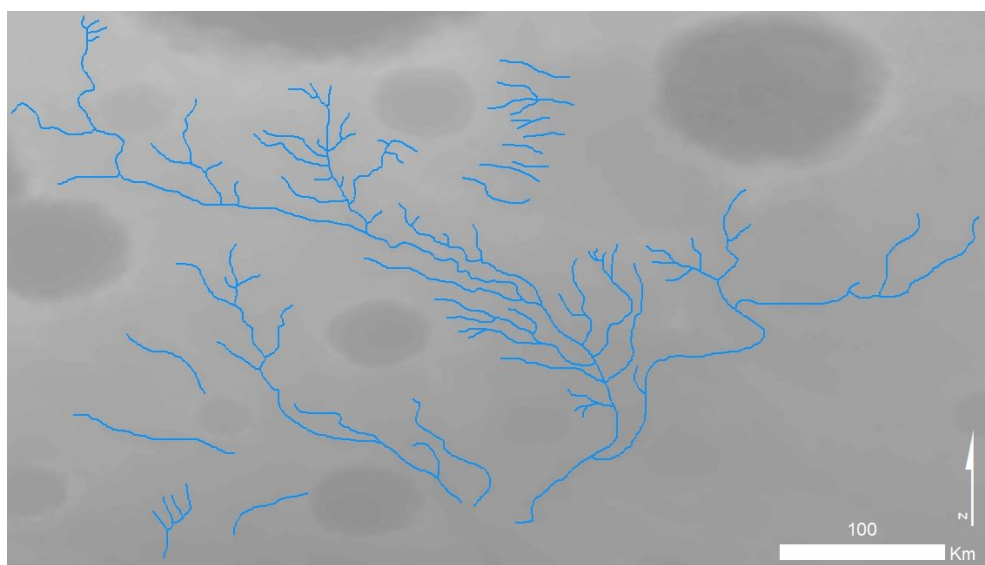
κατά μήκος της κοίτης, το οποίο δημιουργήθηκε από μια ενδεχόμενη υπερχειλίση της παλαιό-λίμνης. Το στοιχείο βάσει του οποίου επιβεβαιώνεται η υπόθεση αυτή της υπερχειλίσης είναι το γεγονός ότι δεν εντοπίζεται ποτάμια δράση κάτω των 1400 m καθ' ύψος, περιφερειακά του κρατήρα πρόσκρουσης. Αυτό αποτελεί ένα στοιχείο το οποίο υποδηλώνει την θέση του τοπικού επίπεδου στην περιοχή αυτή (Goudge and Fassett, 2017).

Εικόνα 17: Όρια της παλαιό-λίμνης (κόκκινο). (πηγή: Goudge T.A. and Fassett C.I., (2017), The Importance Of Lake Overflow Floods For Early Martian Landscape Evolution: Insights From Licus Vallis., 4th International Conference on Early Mars: Geologic, Hydrologic, and Climatic Evolution and the Implications for Life; 2-6 Oct. 2017; Flagstaff, AZ; United States, σελ:2)

4.3. Ποτάμιες Γεωμορφές

Μπορεί ο Άρης να μοιάζει με έναν "νεκρό", άγονο πλανήτη, αλλά μελέτες έχουν δείξει πως στο παρελθόν φιλοξενούσε ένα υγρό περιβάλλον όπου υπήρχε σταθερή ποσότητα τρεχούμενου νερού στην επιφάνειά του (Head, 2007). Ως εκ τούτου, απορρέει η υπόθεση ύπαρξης ποτάμιων συστημάτων, σε ένα τέτοιο υγρό περιβάλλον. Με βάσει τα επίγεια ανάλογα ισχύει ότι, «η υδρολογική λεκάνη και το αντίστοιχο υδρογραφικό της δίκτυο τροφοδοτείται με νερά, από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, από τις εκφορτίσεις των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων με την μορφή εποχικών και μόνιμων πηγών, από τις υπερχειλίσεις και τις άμεσες τροφοδοσίες των λιμνών, από τις πλευρικές μεταγγίσεις και διηθήσεις των υποκείμενων γεωλογικών σχηματισμών ή από την τήξη των παγετώνων» (Παυλόπουλος, 2011, σελ: 239).

Τέτοια συστήματα φαίνεται να ευδοκιμούσαν στο παρελθόν και στον "κόκκινο" πλανήτη, κάτι που εκλαμβάνεται ως δεδομένο από τα τεράστια κανάλια απορροής και τα μικρότερα υδρογραφικά δίκτυα που εντοπίζονται στην επιφάνειά του (Head, 2007). Η πλειονότητα των δικτύων εντοπίζεται στο μέσο γεωγραφικό πλάτος (30° με -60° μοίρες), καθώς τα υψίπεδα του πλανήτη βρίσκονταν σε αυτή την ζώνη και επιπρόσθετα εικάζεται πως στο βόρειο ημισφαίριο του πλανήτη καλυπτόταν από έναν τεράστιο ωκεανό, τον "Βόρειο Ωκεανό", αποτελώντας το βασικό επίπεδο για τα υδρογραφικά δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται μια συσσώρευση δικτύων σε τέσσερις περιοχές (Head, 2007):

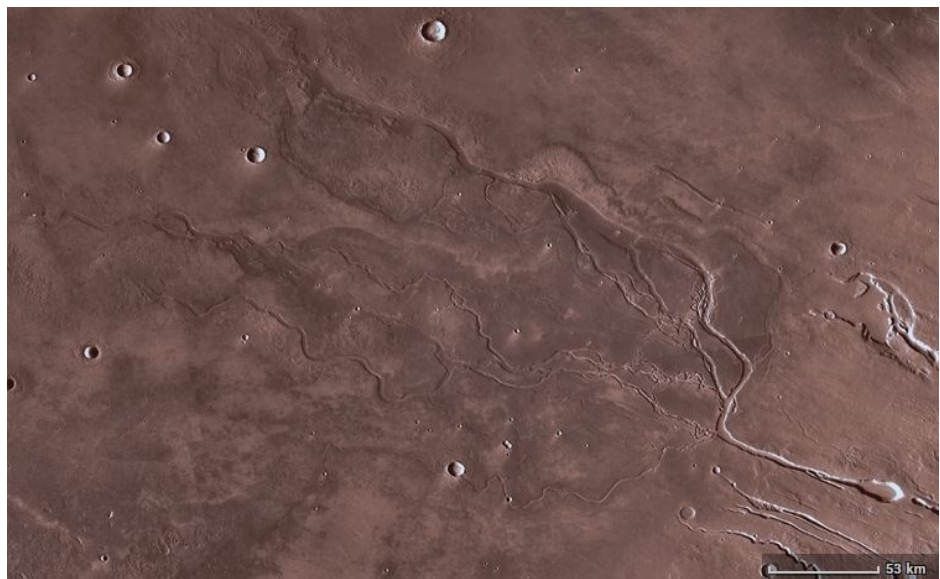


Εικόνα 18: Δενδριτικό δίκτυο στην περιοχή Terra Sirenum. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

- στη λεκάνη Chryse-Acidalia
- δυτικά του ηφαιστείου Elysium, στην περιοχή Elysium
- ανατολικά της λεκάνης Hellas
- νοτιοδυτικά στην λεκάνη Amazonis Planitia

Πέρα από τις υδρολογικές διαδικασίες που επικρατούσαν στον πλανήτη, καλό θα ήταν να αποσαφηνιστεί το χρονικό διάστημα στο οποίο έλαβαν χώρα οι διαδικασίες δημιουργίας των αρχαίων αυτών δικτύων. Βάσει ερευνών έχει προκύψει το συμπέρασμα ότι σχεδόν όλη η ποτάμια δράση του πλανήτη διεξήχθη περίπου πριν από 3,7 δισεκατομμύρια χρόνια, κατά την ύστερη Noachian εποχή (Howard, 2007). Βέβαια, θα ήταν καλό να αναλογιστούμε ότι σε ένα τόσο παλαιό χρονικό διάστημα οι πλανητικές συνθήκες ήταν αρκετά διαφορετικές από το σήμερα. Ο πλανήτης διέθετε μικρότερη βαρυτική έλξη, μεγαλύτερη ακτίνα περιφοράς, ενώ η εκπομπή ενέργειας του Ηλίου ήταν κατά 30% μικρότερη σε σχέση με σήμερα (Howard, 2007).

Έτσι, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τότε, δεν θα επέτρεπαν την δημιουργία υδρογραφικών δικτύων παρόμοιων με αυτά της Γης, καθώς η ατμόσφαιρα του πλανήτη δεν ήταν



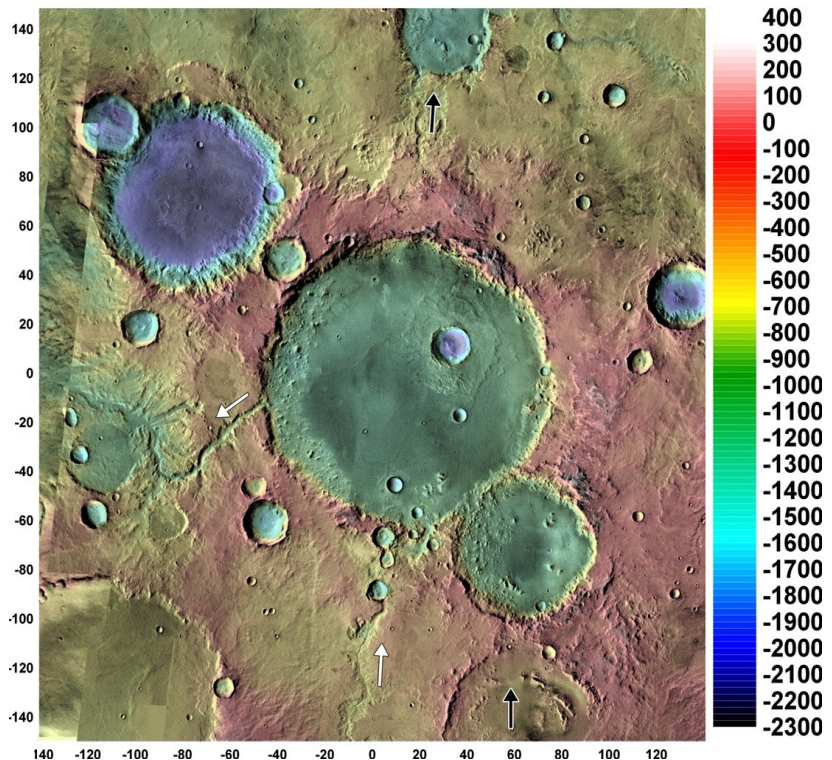
Εικόνα 19: Γραμμικό και "ανάστροφο" δενδριτικό δίκτυο στην περιοχή Utopia Planitia, βορειοδυτικά του ηφαιστείου Elysium. (πηγή: NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institution of Technology, Mars Trek)

τόσο θερμή όσο τα επίγεια ανάλογα. Με βάσει αυτόν τον συλλογισμό, πως είναι δυνατή η ανάπτυξη ενός τέτοιου υδρογραφικού δικτύου; Λαμβάνοντας αυτήν την παράμετρο, οι επιστήμονες κατέληξαν στην πιο πιθανή ερμηνεία, ότι η γενεσιουργός δύναμη των υδρογραφικών αυτών δικτύων είναι τα υπόγεια ύδατα του πλανήτη, τα οποία ανατροφοδοτούνταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, είτε μέσω εποχιακών βροχοπτώσεων χαμηλής έντασης είτε μέσω της υδροθερμικής κυκλοφορίας (Howard, 2007). Η εικασία αυτή

αφορά τα μεγάλα και επιμήκη κανάλια των βόρειων πεδιάδων, όπου εντάσσονται στην Hesperian περίοδο, δηλαδή είναι μεταγενέστερα χρονικά σε σχέση με το δίκτυο του νότιου ημισφαιρίου. Τα δίκτυα του νότιου ημισφαιρίου πιθανόν να έχουν παραχθεί από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, σε αντίθεση με τα μεγάλα κανάλια απορροής, τα οποία παράχθηκαν μεταγενέστερα από υπόγεια ύδατα, τα οποία κατέληξαν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, λόγω της αύξησης του πορώδους της επιφάνειας του πλανήτη, το οποίο αυξανόταν λόγω των μεγάλων γεγονότων πρόσκρουσης κατά την Noachian περίοδο. Αυτός πιθανότατα να είναι και ο λόγος όπου τα δίκτυα αυτά παρουσιάζουν αρκετά χαμηλή υδρογραφική πυκνότητα («είναι το συνολικό μήκος των κλάδων μιας συγκεκριμένης υδρογραφικής λεκάνης απορροής δια της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης αυτής: $D = \Sigma L_u / A_u$ » (Παυλόπουλος, 2011, σελ:245)) και μια κάποια τμηματοποίηση/ασυνέχεια των κλάδων τους. Τέλος, όλη αυτή η ποτάμια δραστηριότητα δεν διήρκεσε πιθανότατα περισσότερο από μερικές χιλιάδες χρόνια, μικρό διάστημα για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου υδρογραφικού δικτύου. Επιπρόσθετα, παράγοντες όπως η δημιουργία κρατήρων πρόσκρουσης, τα μετριασμένα φαινόμενα βροχόπτωσης, η μαζική εποχιακή διάβρωση, η αιολική δράση και η παραγωγή ηφαιστειακής τέφρας, αποτέλεσαν σημαντικοί παράγοντες για την σταδιακή υποβάθμιση των υδρολογικών λεκανών και την εξαφάνισή τους (Howard et al., 2005).

Γενικότερα, οι τύποι των υδρογραφικών δικτύων που επικρατούν την επιφάνεια του πλανήτη είναι ο δενδριτικός, που ως επί το πλείστον χαρακτηρίζει τα παλαιότερα υδρογραφικά δίκτυα, και τα μεγάλα κανάλια απορροής, που είναι μεταγενέστερα από τα δενδριτικά, όπου μπορεί να είναι είτε απλά κανάλια εκροής είτε εγκλωβισμένα κανάλια, τα οποία μπορούν να φτάσουν σε πλάτος και τα 100 km και θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως ένας ανώμαλος τύπος δικτύου (Head, 2007; Howard, 2007). Παρόλα αυτά, ο διαχωρισμός αυτός δεν είναι αυστηρός, καθώς η δημιουργία των υδρογραφικών δικτύων είναι μια πιο πολύπλοκη διαδικασία, και είναι αρκετά πιθανό να παρουσιάζονται και οι υπόλοιποι τύποι συνδυαστικά με τους προαναφερθέντες. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται και ένα φαινόμενο το οποίο δεν απαντάται στην Γη. Ο λόγος γίνεται για μιας μορφής διακλάδωση αντίστροφη με αυτή των υπολοίπων δικτύων, δηλαδή ενώ το υδρογραφικό δίκτυο στα ανάντη του παρουσιάζεται ως ένα κανάλι απορροής, στα χαμηλότερα υψόμετρα, στις εκβολές του παρουσιάζει διακλάδωση. Το πιθανότερο είναι να αποτελεί lahar από το ηφαίστειο Elysium.

Τα κανάλια απορροής, έχουν ένα καθαρά γραμμικό σχήμα, όπου το μήκος τους ξεκινά από εκατοντάδες και φτάνει τα μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα, το πλάτος τους φτάνει τα μερικά δεκάδες χιλιόμετρα, ενώ παρουσιάζουν μια κλίση πυθμένα με εύρος 0-2,5 m/km (Head, 2007). Επιπρόσθετα, τα κανάλια παρουσιάζουν μια μεγάλη αναλογία πλάτους σε σχέση με το βάθος, όπου τα βαθύτερα σημεία του πυθμένα εντοπίζονται κοντά στις πηγές σε σχέση με τα



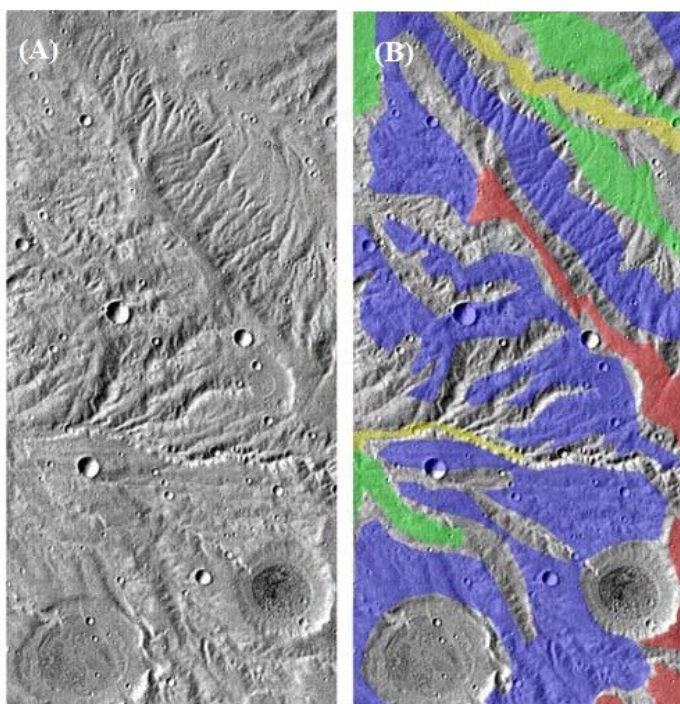
Εικόνα 20: Δίκτυα σύνδεσης μεταξύ κρατήρων, υποδεικνύονται με λευκά βέλη τα κανάλια εισόδου-εξόδου και με μαύρα βέλη τα σημεία εισόδου των κρατήρων, περιοχή του κρατήρα Mädlar. (πηγή: Howard A.D., (2007), Simulating the development of Martian highland landscapes through the interaction of impact cratering, fluvial erosion, and variable hydrologic forcing., *Geomorphology*, Vol. 91, Issue 3, p. 332–363, doi:10.1016/j.geomorph.2007.04.017, σελ:358)

κατάντη του δικτύου, ενώ το σχήμα της λεκάνης προσομοιάζει το γράμμα U με κατακόρυφα πλευρικά τοιχώματα, κάτι που σε επίγεια ανάλογα θα δήλωνε στάδιο ωριμότητας του δικτύου, στην προκειμένη περίπτωση δηλώνει μια μαζική διάβρωση του εδάφους που θα μπορούσε να είναι και συστηματική. Βέβαια, στις ακτές του πλανήτη έχουν παρατηρηθεί και κοιλάδες σχήματος V, οι οποίες έχουν παραχθεί από την επιφανειακή απορροή υδάτων ενώ διαθέτουν και δέλτα, τα οποία φέρουν και αυτά στοιχεία αποθέσεων σχήματος V (Hobbs et al., 2017). Παράλληλα, τα δίκτυα αυτά, χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλό δείκτη καμπυλότητας ενώ η μορφολογία τους στα κατάντη τμηματικά παρουσιάζει τον τύπο του αποστομωτικού δικτύου (Head, 2007).

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, πιθανότατα να οφείλονται στην γενεσιουργό αιτία δημιουργίας των δικτύων, τα υπόγεια ύδατα τα οποία εκτονώνονταν στην επιφάνεια με μεγάλη πίεση και με μια τάξη μεγέθους των 10^7 έως 10^9 m³/s⁻¹, δηλαδή ένας όγκος ύδατος πολύ μεγαλύτερος σε σχέση με τα δεδομένα του πλανήτη μας. Η απελευθέρωση αυτή είναι

πιθανό να συνέβαινε μέσω τριών διαδικασιών: μέσω θραύσης του φλοιού είτε από την υπόγεια υδραυλική πίεση, μέσω της δημιουργίας κρατήρων πρόσκρουσης και μέσω της τήξης πάγου ο οποίος θερμάνθηκε από την ηφαιστειακή δραστηριότητα (Head, 2007). Έτσι, γίνεται μιας μαζικής μορφής διάβρωση όπου το ποτάμιο φορτίο ρέει με μεγάλη ταχύτητα, αν αναλογιστούμε την κλίση του πυθμένα στα ανάντη, και καταλήγοντας στις χαμηλότερες κλίσεις, η απόθεση του ιζήματος γίνεται απότομα με έναν άναρχο τρόπο, δημιουργώντας νησίδες στις εκβολές, τον λεγόμενο αποστομωτικό τύπο δικτύου. Επίσης, η διάβρωση που λαμβάνει χώρα, είτε σε κοιλάδες σχήματος V είτε σχήματος U, είναι μια κατά βάθος διάβρωση και όχι τόσο πλευρική, καθώς σε μια αναλογία βάθους/πλάτους, τα βάθη των κοιλάδων ήταν μεγαλύτερα σε σχέση με τα πλάτη (Hobbs et al., 2017). Παρόλα αυτά, η απόθεση αυτή είναι πιθανό να μην οφείλεται απαραίτητα στον όγκο απορροής του νερού αλλά στις συνθήκες του πλανήτη, καθώς βάσει έρευνας που διεξήχθη με αντικείμενο την υδατική συμπεριφορά στις συνθήκες του πλανήτη, εξήχθη το συμπέρασμα ότι σε ορισμένες περιπτώσεις μια ποσότητα νερού είναι σε θέση να προκαλέσει ποσοστά διάβρωσης μεγαλύτερα από αυτά που θα

προκαλούσε η ίδια ποσότητα νερού στην Γη, μεταβάλλοντας τις τοπογραφικές κλίσεις (Hobbs et al., 2017). Βάσει αυτού, είναι εύκολο να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι, σε τέτοια κανάλια δεν είναι δυνατή η δημιουργία πλευρικών αναβαθμίδων ή τουλάχιστον όχι παρόμοιων με αυτές που απαντώνται στην Γη, αλλά πολύ μικρότερης κλίμακας (Head, 2007).



Εικόνα 21: Ποτάμιο δέλτα στην περιοχή Margaritifer Sinus, όπου παρουσιάζει τα στάδια απόθεσης. (πηγή: Howard A.D., Moore J.M., Irwin III R.P., (2005), An intense terminal epoch of widespread fluvial activity on early Mars: 1. Valley network incision and associated deposits., Journal Of Geophysical Research, Vol. 110, E12S14, doi:10.1029/2005JE002459, σελ: 11)

Πέραν αυτού, οι ποτάμεις αποθέσεις δεν περιορίζονται μόνο στις ποτάμεις εκβολές, αλλά απόθεση ιζήματος γίνεται και μέσω υπερχείλισης των κοιτών σε μεγάλες εκτάσεις των κοιλάδων. Αυτού του

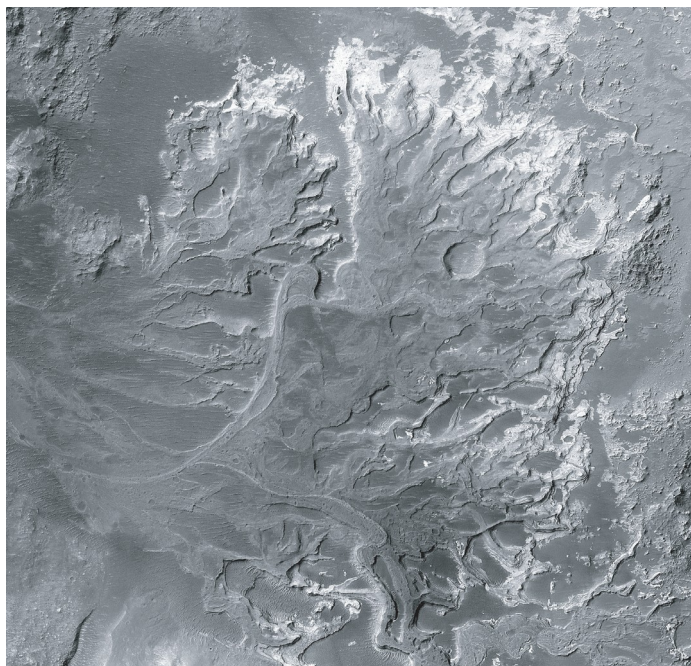
είδους η πλευρική υπερχείλιση έχει την τάση να αποθέτει ιζήματα εντός των κρατήρων πρόσκρουσης. Οι ποτάμιες κοίτες οι οποίες υπερχειλίζουν με γρήγορους ρυθμούς είναι αυτές της τάξης βάθους 500-1500 m, όπου είναι εφικτή η επιφανειακή απορροή ακόμα και σε σχετικά άνυδρες περιοχές, ενώ περιοχές όπου η επιφανειακή απορροή υπερβαίνει την εξάτμιση, η υπερχείλιση αυτή και η απόθεση ιζήματος εντός των κρατήρων είναι εφικτή, μέσω της δημιουργίας ενός προσωρινού υδρογραφικού δικτύου περιφερειακά του κύριου, το οποίο ενώνει πληρώνοντας με αργούς ρυθμούς τους περιφερειακούς κρατήρες (Howard, 2007). Για την δημιουργία του δικτύου αυτού απαιτείται η υποβάθμιση/διάβρωση των χειλών των κρατήρων ή την υπερχείλιση τους. Επίσης, είναι πιθανό να συμβάλουν θετικά στην δημιουργία των δικτύων αυτών και φαινόμενα όπως η αιολική δράση και η απόθεση λάβας, σε μικρότερη κλίμακα σε σχέση με την διαδικασία της διάβρωσης και της απόθεσης (Howard, 2007). Τέλος, σε ένα τέτοιου είδους δίκτυο η διατήρηση των δελταϊκών ριπιδίων δεν είναι δεδομένη καθώς, τα μέτωπα τέτοιων ριπιδίων δεν διατηρούνται είτε λόγω της συχνής αλλαγής του τοπικού επιπέδου από λίμνες κρατήρων και απόθεση του ιζήματος σαν στρώμα σε αυτές, είτε λόγω της υπερτροφοδότησης του ριπιδίου με ιζήμα σε σχέση με τον βαθμό του κορεσμού του (Howard, 2007).

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, στον πλανήτη, και πιο συγκεκριμένα στο δίκτυο που αναλύθηκε παραπάνω, εντοπίζονται μορφές απόθεσης όπως αλλουβιακά ριπίδια και ποτάμια δέλτα. Τα δύο αυτά γεωμορφολογικά στοιχεία είναι επί της ουσίας:

- Δέλτα ποταμού: «... χαρακτηριστικές μορφές απόθεσης που δημιουργούνται σε περιοχές ποτάμιων εκβολών, όταν ο ρυθμός προσφοράς ιζήματος από το ποτάμι είναι ταχύτερος από τον ρυθμό απομάκρυνσής του από τις θαλάσσιες διεργασίες» (Καρύμπαλης, 2010, σελ: 143).
- Αλλουβιακά ριπίδια: είναι «δέλτα μικρής έκτασης και σχετικά μεγάλης μορφολογικής κλίσης που αποτελείται από αδρομερή κυρίως ιζήματα. Σχηματίζεται στις εκβολές μικρών ποταμών υψηλής ενέργειας ή χειμάρρων.» (Καρύμπαλης, 2010, σελ: 228).

Από μελέτες που διεξήχθησαν σε γεωγραφικά πλάτη, μεταξύ 30 και -30 μοιρών, εντοπίστηκαν τέτοια ριπιδία σε κρατήρες με διάμετρο μεγαλύτερη 50 km, όπου το χείλος τους έχει διαβρωθεί ή καταρρεύσει και το σημείο αυτό αποτελεί την έξοδο του δικτύου και την κορυφή του ριπιδίου. Τα ριπιδία έχουν ένα εύρος μήκους 10-40 km καλύπτοντας σχεδόν όλη την επιφάνεια των κρατήρων (Howard et al., 2005). Οι κλίσεις των ριπιδίων και τα μορφομετρικά τους χαρακτηριστικά καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά των δικτύων απορροής και παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά τα των ανάλογων ριπιδίων στην Γη. Από σχετικές έρευνες έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι, οι αποθέσεις των ριπιδίων παρουσιάζουν ένα κοίλο τοπογραφικό προφίλ, ενώ η κλίση των αποτιθεμένων ιζημάτων χαρακτηρίζεται χαμηλότερη σε σχέση με την γωνία ανάπαυσή τους (η γωνία αυτή δηλώνει πως το υλικό στην βάση του ριπιδίου είναι στα όρια της ολίσθησης (Mehta and Barker, 1994)) (Hobbs et al., 2017). Παρόμοια χαρακτηριστικά παρουσιάζουν και οι δελταϊκές αποθέσεις.

Επίσης, τα ριπιδία αυτά δεν παρουσιάζουν κεκλιμένα δίκτυα αποστράγγισης στην επιφάνειά τους, και αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην μετάβαση του κλίματος από υγρό σε ξηρό, ένα γεγονός που συνέβη στην κλιματολογική ιστορία του Άρη (Howard et al., 2005). Τέλος, βάσει της χρονολόγησης των κρατήρων, εξάχθηκε και η ηλικία των ριπιδίων τους, τα οποία δημιουργήθηκαν κατά την μετάβαση από την περίοδο Noachian στην περίοδο Hesperian, δηλαδή πριν από 3,7 δισεκατομμύρια χρόνια.



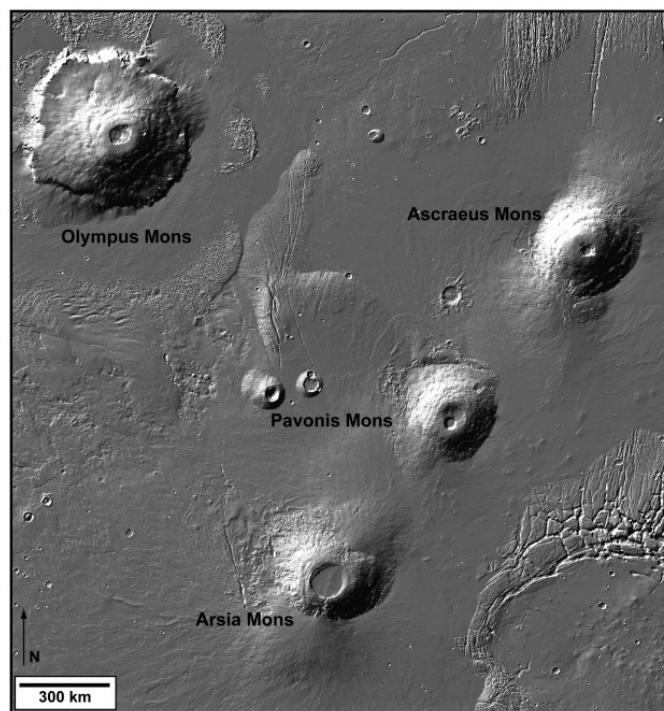
Εικόνα 22: Δελταϊκές αποθέσεις στον κρατήρα Eberswalde, διαστάσεων μήκους 8 km και πλάτους 10 km. (πηγή: Forget F., (2009), The present and past climates of planet Mars, The European Physical Journal Conferences, Vol. 1, p. 235-248, doi: 10.1140/epjconf/e2009-0924-9, σελ: 245)

Όσον αφορά τα δέλτα, τα οποία δεν διαφέρουν από τα επίγεια ανάλογα, παρουσιάζουν μια παρόμοια μορφολογία. Και στην περίπτωση των δέλτα, η κοίτη επί της ουσίας αποτελεί μια κλειστή λεκάνη η οποία εκβάλλει με μια ανοιχτή κοιλάδα, σε έναν κρατήρα επί της ουσίας. Από

μια μελέτη ενός δέλτα εντός του κρατήρα Eberswalde (εικόνα 21B), έχει παρατηρηθεί ένας κεντρικός κλάδος, ο κλάδος διανομής (κίτρινη επιφάνεια), ο οποίος μετέφερε έναν όγκο ιζήματος και διάβρωσε τα ήδη υπάρχοντα βραχώδη στρώματα δημιουργώντας την δελταϊκή πεδιάδα (μπλε επιφάνεια), ενώ ένας δευτερεύων κλάδος δημιούργησε πλευρικά του κύριου κλάδου ένα ριπίδιο (πράσινη επιφάνεια) (Howard et al., 2005). Ως αποτέλεσμα, η συσσώρευση του ιζήματος έχει προκαλέσει ανεστραμμένη απορροή στο συγκεκριμένο δέλτα, ενώ παράλληλα έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το δέλτα έχει δημιουργηθεί παράλληλα με την δημιουργία των κλάδων του δικτύου. Επιπρόσθετα, οι δράσεις της διάβρωσης και της απόθεσης, έχουν υποβαθμίσει τους κρατήρες περιφερειακά των δικτύων, με την απόθεση ιζήματος στον πυθμένα του κρατήρα να αποτελεί την κυριότερη διαδικασία υποβάθμισης τους. Τέλος, δεν έχουν παρατηρηθεί χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το στάδιο γήρατος ούτε σε δέλτα αλλά ούτε και σε αλλουβιακά ριπίδια. Η αιτία έλλειψης τέτοιων χαρακτηριστικών δεν έχει ακόμα αποσαφηνιστεί. Εικάζεται ότι, η απουσία αυτή οφείλεται την απότομη διακοπή της ροής του ύδατος, μιας ροής η οποία ήταν αυξημένη είτε λόγω υψηλών ποσών ύδατος μέσω κατακρημνίσεων είτε λόγω της ταχείας τήξης χιονιού (Howard et al., 2005).

4.4. Ηφαιστειακή Δραστηριότητα

Δεν υπάρχει απολύτως καμία αμφιβολία για την ύπαρξη ηφαιστειακής δραστηριότητας στην επιφάνεια του Άρη και η μεγαλύτερη απόδειξη του ισχυρισμού αυτού είναι τα τεράστια ηφαίστεια στις περιοχές Tharsis και Elysium. Πέραν όμως των ηφαιστίων αυτών έχουν εντοπιστεί πεδιάδες λάβας και μια γεωμορφή όπου στην πλανητική γεωλογία ονομάζεται patera. Patera ονομάζονται οι σχηματισμοί που αποτελούν επί της ουσίας σχηματισμοί κρατήρα, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε



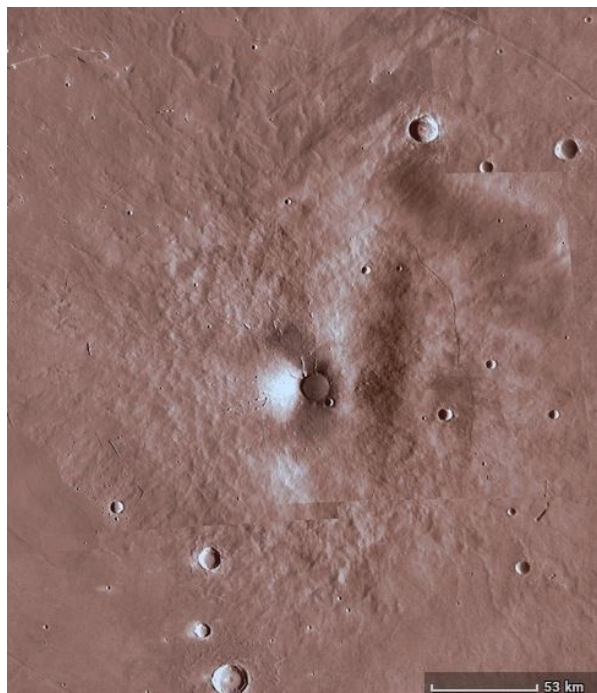
Εικόνα 23: Το σύμπλεγμα Tharsis Montes και το Olympus Mons. (πηγή: ESA, Mars Express, Tharsis Montes Trio and Olympus Mons)

απλοί είτε σύνθετοι, αλλά το σχήμα τους δεν είναι κυκλικό όπως αυτό των κρατήρων πρόσκρουσης, αλλά ακανόνιστο. Η γενεσιουργός αιτία ενός τέτοιου σχηματισμού είναι κατά κύριο λόγο η ηφαιστειακή δραστηριότητα, αλλά μπορεί να παραχθεί και από ένα γεγονός πρόσκρουσης μετεωρίτη ή και από άλλες αιτίες (Tanaka et al., 1992). Οι γεωμορφές patera εντοπίζονται στις περιοχές :

- Tyrrhena
- Hadriaca
- Amphitrites
- Peneus paterae
- Syrtis Major.

Μέσω των γεωμορφών αυτών εξήχθησαν πληροφορίες οι οποίες βοήθησαν στην κατανόηση και χαρτογράφηση των ηφαιστειακών γεωμορφών του πλανήτη Άρη (Head, 2007). Από τι όμως αποτελείται επί της ουσίας η ηφαιστειακή δραστηριότητα ή αλλιώς ηφαιστειότητα; Η ηφαιστειότητα επί της ουσίας είναι: «όλη η δραστηριότητα που συνδέεται με την ανέξοδο εκρηξιγενούς υλικού από το εσωτερικό της Γης στην επιφάνεια» (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010, σελ: 95).

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα στον πρώιμο Άρη ήταν τόσο έντονη και εκτεταμένη, όπου εικάζεται ότι η πλειονότητα του φλοιού του ήταν μαγματικής προέλευσης και η σύστασή της



Εικόνα 24: Ηφαίστειο Elysium Mons. (πηγή: NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institution of Technology, Mars Trek)

βασαλτική. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα φαίνεται να λαμβάνει χώρα στον πλανήτη σχετικά πρόσφατα, και πιο συγκεκριμένα τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια, μια εικασία η οποία στηρίζεται σε πρόσφατες αποθέσεις βασάλτη στις περιοχές Elysium και Amazonis (Head, 2007). Το κυριότερο στοιχείο της λάβας βασαλτικής σύστασης είναι το μικρό της ιξώδες, με αποτέλεσμα η λάβα αυτή να είναι σε θέση να διανύει αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Ο τύπος της συγκεκριμένης λάβας συνήθως δημιουργεί ηφαίστεια χαμηλού υψομέτρου και πλατιάς βάσης, τα

οποία ονομάζονται ασπιδωτά ή αλλιώς ηφαίστεια χαβάϊου τύπου (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010). Άρα, βάσει του παράγοντα αυτού εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα ηφαίστεια που έχουν δημιουργηθεί είναι τέτοιου τύπου.

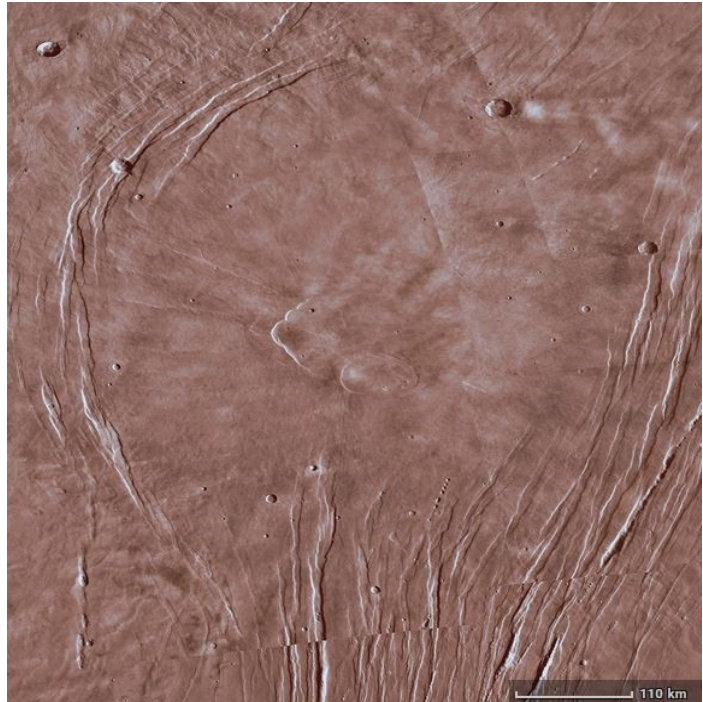
Πέραν αυτού η πραγματική έκταση των επιφανειών που καλύπτονταν από ηφαιστειακά πετρώματα δεν είναι εκτιμήσιμη λόγω της δράσης πρόσθετων διεργασιών που λάμβαναν χώρα στην επιφάνεια του πλανήτη, όπως οι προσκρούσεις έξω-πλανητικών σωμάτων, η αιολική και η ποτάμια δραστηριότητα, αφ' ενός έχουν αλλοιώσει χαρακτηριστικά μεγάλης κλίμακας όπως οι ροές λάβας (π.χ. ροές $rahoehoe$ ή $Aa/ah-ah$), και αφ' εταίρου έχουν καλύψει περιοχές οι οποίες θα μπορούσαν να καλύπτονται από λάβα (Head, 2007). Οι περιοχές οι οποίες καλύπτονται από λάβα είναι οι περιοχές περιφερειακά των ηφαιστείων. Ποια είναι όμως αυτά τα ηφαίστεια;

Τα μεγαλύτερα ηφαίστεια, όπου αποτελούν και κατ' επέκταση και τα μεγαλύτερα όρη του πλανήτη Άρη, είναι:

- Olympus Mons, το οποίο αποτελεί το υψηλότερο ηφαίστειο του πλανήτη και παράλληλα και το υψηλότερο σημείο του, με υψόμετρο στα 21.229 m από το βασικό επίπεδο που έχει ορισθεί, έχει μία επιφανειακή κάλυψη 840 km. επί 640 km, ενώ η μέση κλίση του είναι $5,2^\circ$ (Plescia, 2004).
- Ascraeus Mons, το οποίο εντάσσεται στο ηφαιστειακό σύμπλεγμα Tharsis Montens, έχει υψόμετρο 18,1 km, επιφανειακή κάλυψη 375 km επί 870 km, ενώ η μέση κλίση του είναι $7,4^\circ$ (Plescia, 2004).
- Pavonis Mons, το οποίο είναι το δεύτερο ηφαίστειο του συμπλέγματος Tharsis Montens, έχει υψόμετρο 14 km, επιφανειακή κάλυψη 380 km επί 535 km, ενώ η μέση κλίση του είναι $4,3^\circ$ (Plescia, 2004).
- Arsia Mons, όπου είναι το τρίτο ηφαίστειο του συμπλέγματος Tharsis Montens, έχει υψόμετρο 17,7 km, επιφανειακή κάλυψη 461 km επί 326 km, ενώ η μέση κλίση του είναι $5,1^\circ$ (Plescia, 2004).
- Elysium Mons, το οποίο έχει υψόμετρο 14,1 km, διάμετρο 375 km, ενώ η μέση κλίση είναι $6,9^\circ$ (Plescia, 2004).
- Alba Mons, το οποίο φέρει παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά του συμπλέγματος Tharsis Montens, είναι το μεγαλύτερο ηφαίστειο του Άρη, με υψόμετρο 6,8 km,

επιφανειακή κάλυψη 1.015 km επί 1.150 km., ενώ η μέση κλίση στα μεγάλα υψόμετρα είναι 0,9° ενώ στα χαμηλά υψόμετρα 1,1° (Plescia, 2004), και χρονολογικά τοποθετείται παλαιότερα σε σχέση με τα ηφαίστεια του συμπλέγματος Tharsis και αυτό του Olympus.

Πέρα από όλα αυτά τα “μορφολογικά” χαρακτηριστικά, κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί ο τύπος της ηφαιστειακής δραστηριότητας των ηφαιστείων αυτών. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, τα ηφαίστεια του Άρη έχουν δημιουργηθεί από την έκχυση λάβας βασαλτικής σύστασης, της οποίας ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της είναι η μικρή της περιεκτικότητα σε πυρίτιο (Si), η οποία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως «βασική» ή ακόμα και «υπερβασική», δηλαδή στην μια περίπτωση η περιεκτικότητα σε πυρίτιο είναι μεγαλύτερη του 46%, ενώ στην άλλη μικρότερη αυτού του ποσοστού



(Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010). Εικόνα 25: Ηφαίστειο Alba Mons. (πηγή: NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institution of Technology, Mars Trek)

Ενδεικτικά αναφέρεται πως από μελέτη που διεξήχθη για την περιοχή CER, όπου εντοπίστηκαν δύο τύποι ηφαιστειακής λάβας, με βάσει την ρευστότητά τους. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει μεγάλες ροές λάβας, για τις οποίες έχει υπολογιστεί το Νευτώνειο ιξώδες της στα $\sim 2,5 \text{ επί } 10^5 \text{ Pa s}$ και όριο θραύσης στα 100-500 Pa. Οι τιμές αυτές είναι τυπικές και για την υπόλοιπη λάβα στην επιφάνεια του πλανήτη (Vaucher et al., 2009). Ενώ η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει μικρότερες ροές, όπου αφορούν τα ασπιδωτά ηφαίστεια και εκτεταμένα πεδινά κανάλια ροής λάβας, τα wrinkle ridges, όπου φέρουν τιμές ιξώδους μικρότερες των 10^3 Pa και όριο θραύσης κάτω από 200 Pa (Vaucher et al., 2009). Ο τύπος της συγκεκριμένης λάβας, όπως έχει ήδη επισημανθεί, δημιουργεί ηφαίστεια ασπιδωτού τύπου.

Τα wrinkle ridges, είναι επιμήκεις γεωμορφές, παράλληλες μεταξύ τους και κατά κύριο

λόγω εντοπίζονται περιφερειακά του συμπλέγματος Tharsis. Οι γεωμορφές αυτές παράγονται μέσω της ηφαιστειακής δράσης. Οι δομές αυτές δημιουργούνται από φλέβες μάγματος οι οποίες πιέζουν τον φλοιό. Η λάβα που εξέρχεται στην επιφάνεια, αποτίθεται σε διαδοχικές στρώσεις, οι οποίες κατά την σταθεροποίησή τους ως ηφαιστειακός κώνος, δημιουργούν μια καθοδική κλίση στον κώνο αυτό. Λόγω της κλίσης αυτής, αλλάζει ο τρόπος μεταφοράς του μάγματος προς την επιφάνεια και από κάθετος γίνεται οριζόντιος. Στις περιοχές όπου ο φλοιός είναι αρκετά λεπτός και υπάρχει αυτή η πίεση του μανδύα, όπως στο σύμπλεγμα Tharsis, αναπτύσσονται αυτές οι επιμήκεις γραμμικές δομές (Raitala, 1990).

Ο τύπος των ηφαιστειών, μικρών και μεγάλων, είναι αυτός του ασπιδωτού (Plescia, 2004). Η δημιουργία τους οφείλεται σε αλληπάλληλες ροές λάβας, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν μέσω διαύλων και πόρων λάβας, ανάλογων με αυτούς της Χαβάης (Head, 2007). Τα αντιπροσωπευτικά στοιχεία του τύπου αυτού είναι οι πεπλατυσμένες βάσεις των ηφαιστειών και το σχετικά χαμηλό τους υψόμετρο, ενώ οι κλίσεις τέτοιων ηφαιστειακών κώνων δεν υπερβαίνουν τις 7° (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010). Αυτή η μορφολογία οφείλεται αποκλειστικά στο χαμηλό ιξώδες της βασαλτικής λάβας, όπου χάρη σε αυτό είναι σε θέση να αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες, ώστε να διανύσει τέτοιες αποστάσεις και να δημιουργήσει αυτές τις πλατιές βάσεις, όπου σαν φυσικό επακόλουθο αυτών είναι, ο αργός ρυθμός αύξησης του υψομέτρου του ηφαιστείου. Επιπρόσθετα, τα αρειανά αυτά ηφαίστεια, στην κορυφή τους αντί για την τυπική λίμνη της λάβας που χαρακτηρίζει στα ασπιδωτά ηφαίστεια, έχουν όχι μία αλλά πολλαπλές καλδέρες, όπου η μία καλύπτει την άλλη (Plescia, 2004). Η καλδέρα επί της ουσίας αποτελεί έναν αρκετά επιμήκη κρατήρα. Τα αίτια σχηματισμού τους μπορεί να είναι λόγω κατάρρευσης, καθίζησης ή μιας “βίαιης” έκρηξης όταν το ηφαίστειο ήταν ενεργό, ενώ σε ανενεργά ηφαίστεια μπορεί να προκύψει λόγω διάβρωσης (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010). Τέλος λόγω της μικρής περιεκτικότητας της λάβας τους σε πυρίτιο, αυτός ο ηφαιστειακός τύπος δεν παρουσιάζει “βίαιες” εκρήξεις, ενώ τα πυροκλαστικά υλικά είναι λιγότερα, σε σχέση με άλλους ηφαιστειακούς τύπους όπως ο Στρομπόλιος ή ο Βουλκάνιος (Δερμιτζάκης και Λέκκας, 2010).

Αν αναλογιστούμε τα παραπάνω στοιχεία θα εντοπίσουμε μια αντίφαση. Ενώ ένα αντιπροσωπευτικό χαρακτηριστικό του τύπου αυτού είναι το σχετικά χαμηλό υψόμετρο των κώνων, τα αρειανά ηφαίστεια έχουν υψόμετρα που ξεπερνούν τα 14 km, με το υψηλότερο να

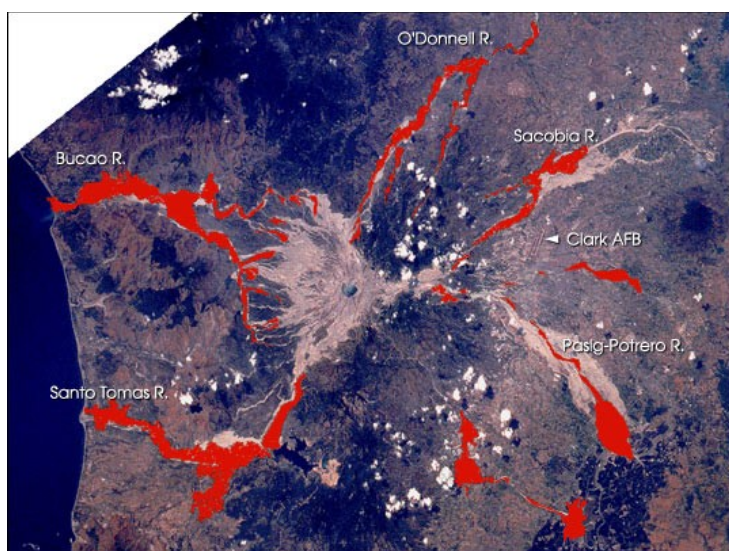
φτάνει τα 21 km, ενώ το υψηλότερο επίγειο ανάλογο είναι το ηφαίστειο Mauna Loa, με συνολικό υψόμετρο τα 13 km (4 km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και 9 km κάτω από αυτήν) (ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας, 2.3. Ασπιδόμορφα ηφαίστεια). Η εξήγηση του παράδοξου αυτού βρίσκεται στον τρόπο με τον οποίο δημιουργήθηκαν τα αρειανά ηφαίστεια. Τα ηφαίστεια του Άρη έχουν σχηματιστεί σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με την ηλικία τους. Εικάζεται ότι, τα ηφαίστεια αυτά σχηματίστηκαν κατά την διάρκεια ενός γεωλογικού γεγονότος, ενώ ακολούθησαν μεγάλες περίοδοι αδράνειας (Plescia, 2004). Πιο συγκεκριμένα, ηφαίστεια επιπέδου Olympus απαιτούν για την δημιουργία τους πάνω από 180 εκατομμύρια χρόνια, ηφαίστεια παρόμοια του συμπλέγματος Tharsis Montens μερικές δεκάδες εκατομμύρια χρόνια, ενώ μικρότερες ηφαιστειακές γεωμορφές απαιτούνται μερικά εκατομμύρια χρόνια (Plescia, 2004). Πως όμως τα δεδομένα αυτά είναι σε θέση να τεκμηριώσουν το γεγονός της υψομετρικής διαφοράς που αναφέρεται νωρίτερα; Η απάντηση βρίσκεται στις αλληπάλληλες καλδέρες που διαθέτουν τα ηφαίστεια αυτά. Δεδομένων των επαναλαμβανόμενων περιόδων προσφοράς υλικού και αδράνειας, είναι εύκολη η εξήγηση των πολλαπλών καλδερών και κατ' επέκταση της σταδιακής ανύψωσης των ηφαιστείων. Σε περιόδους προσφοράς μάγματος γινόταν έκχυση υλικού, η οποία σταδιακά ψυχόταν και διατηρούταν κατά την περίοδο της αδράνειας, όπου πριν επέλθει μια νέα έκχυση υλικού τερματίζοντας την περίοδο της αδράνειας, ο κρατήρας έχει μετατραπεί σε καλδέρα και ούτω καθ' εξής. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η περίοδος παροχής μάγματος διαρκούσε έως και 1 δισεκατομμύριο χρόνια, ενώ η περίοδος αδράνειας έως και 200 εκατομμύρια χρόνια (Plescia, 2004).

Πέρα από όλη αυτήν την ηφαιστειακή δράση, είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι οι διεργασίες στην επιφάνεια ενός πλανήτη δεν λειτουργούν μεμονωμένα, αλλά αλληλεπιδρούν, υπεισέρχονται η μία στην άλλη. Έτσι έχει διαπιστωθεί ότι πραγματοποιούνταν μια αλληλεπίδραση του μάγματος και των υδάτων, είτε αυτά ήταν υπόγεια ύδατα είτε από την τήξη πάγου, η οποία έχει επηρεάσει τις γεωμορφές που έχουν παραχθεί την επιφάνεια του πλανήτη οι οποίες μπορούν να ερμηνευθούν με βάση τα επίγεια ανάλογα (Head, 2007). Πράγματι, έχουν εντοπιστεί τέτοιου είδους παράγωγα, πιο συγκεκριμένα στην περιοχή Elysium όπου απαντάται μια γεωμορφή η οποία ονομάζεται lahar, και αποτελεί επί της ουσίας μια ηφαιστειακή λασποροή (Head, 2007). Τα lahar παράγονται από την ξαφνική μαζική ροή νερού, και επί της ουσίας είναι ένα συνονθύλευμα νερού και ηφαιστειακών υλικών (τα οποία

αποτελούν σε ποσοστό το 40-80 % κβ. και μπορούν να περιέχουν είτε θερμά είτε κρύα υλικά), όπου απορρέει στα πρηνή των ηφαιστειακών κώνων (Παυλόπουλος, 2011). Η ταχύτητα που μπορούν να αναπτύξουν εξαρτάται από δύο παράγοντες, από την κλίση του ηφαιστειακού κώνου και από την περιεκτικότητα των lahar σε νερό. Αν έχουν μια αραιή σύσταση το ιξώδες τους είναι χαμηλό και είναι σε θέση να διανύσουν μεγαλύτερες αποστάσεις, αντίθετα μια πιο πυκνή σύσταση καθιστά αδύνατο κάτι τέτοιο. Τα lahar μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες με βάσει την αιτία παραγωγής (Παυλόπουλος, 2011):

- πρωτογενή, όταν η αιτία παραγωγής τους είναι μια ηφαιστειακή έκρηξη.
- δευτερογενή, όταν σημειώνονται βροχοπτώσεις εξαιτίας των εκρήξεων, και το νερό παρασέρνει παλιότερες ηφαιστειακές αποθέσεις.

Βέβαια, σε μια πλανητική επιφάνεια με μια τέτοια εκτεταμένη ηφαιστειακή δραστηριότητα, πέρα από τα μεγάλα ηφαίστεια και τις εκτεταμένες πεδιάδες που προέκυψαν από πλημμυρικές εκρήξεις βασαλτικής λάβας, εντοπίζονται και μικρότερες γεωμορφές όπως μικρότερα ηφαίστεια, σύνθετοι κώνοι, μικρότερα ασπιδωτά ηφαίστεια και ηφαιστειακοί κρατήρες που εντοπίζονται σε κορυφές μικρότερων ηφαιστείων (Head, 2007). Τέλος, υπάρχουν μελέτες οι οποίες αναλύουν και άλλες γεωμορφές ως εν δυνάμει ηφαιστειακές. Για παράδειγμα, υπάρχει μία μελέτη η οποία υποστηρίζει πως η κοιλάδα Kasei, που



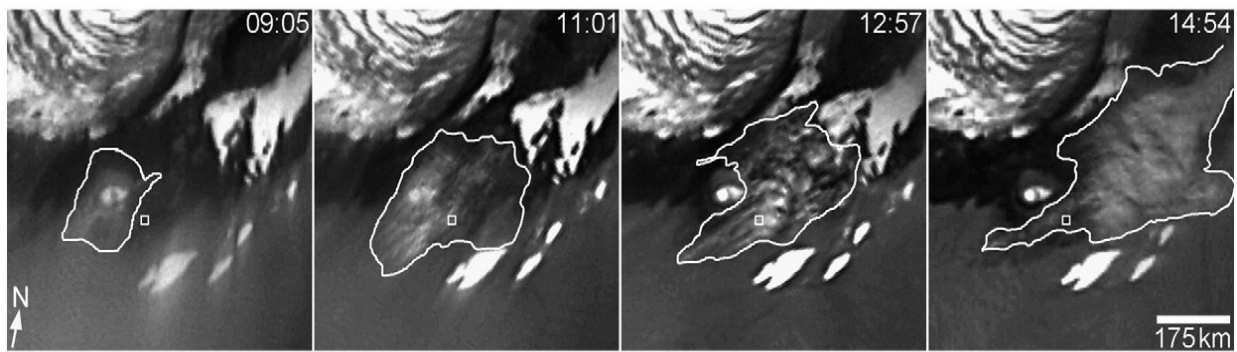
Εικόνα 26: Νέα lahar (κόκκινες επιφάνειες) τα οποία έχουν δημιουργηθεί στο ηφαίστειο Pinatubo. (πηγή: NASA, Earth Observatory, Aerosols-Floods and Mudslides)

αποτελεί το μεγαλύτερο υδρογραφικό δίκτυο του πλανήτη, θα μπορούσε να αποτελεί το μεγαλύτερο κανάλι λάβας του πλανήτη. Η υπόθεση αυτή στηρίχτηκε σε ανάλογα δίκτυα λάβας τα οποία υπάρχουν στον Ερμή, την Αφροδίτη και την Σελήνη, και στο γεγονός ότι τα πετρώματα της συγκεκριμένης κοιλάδας δεν είναι αμιγώς ιζηματογενή, αλλά περιέχουν και ηφαιστειακά (Leverington, 2017). Μια τέτοια παραδοχή, θα μπορούσε να είναι ρεαλιστική, αν συνυπολογιστεί το μικρό ιξώδες της λάβας και το γεγονός ότι η συγκεκριμένη κοιλάδα βρίσκεται στα χαμηλότερα υψόμετρα του ηφαιστειακού συμπλέγματος Tharsis Montens.

4.5. Αιολικές Γεωμορφές

Η κυριότερη γεωλογική διεργασία, η οποία λαμβάνει χώρα στον πλανήτη Άρη, είναι η αιολική δραστηριότητα. Οι καταιγίδες σκόνης που αναπτύσσονται στην ατμόσφαιρά του, έχουν τέτοιο μέγεθος όπου αποκρύπτουν την επιφάνεια και αναπτύσσονται κατά κύριο λόγο στο νότιο ημισφαίριο τους καλοκαιρινούς μήνες (Head, 2007). Αυτό βέβαια δεν σημαίνει πως δεν υπάρχουν και σε άλλες περιοχές του πλανήτη παρόμοια φαινόμενα ή πως δεν αναπτύσσονται και σε άλλες εποχές. Από τα παραπάνω, μπορεί εύκολα να εξαχθεί το συμπέρασμα, συνυπολογίζοντας ότι η επιφάνεια του πλανήτη είναι άνυδρη, πως συντελούνται μέσω της αιολικής δράσης, διεργασίες όπως αυτές της διάβρωσης και απόθεσης, όπως ακριβώς συμβαίνει σε ερημικές επιφάνειες στην Γη. Ενδεικτικές γεωμορφές απόθεσης αποτελούν οι αμμοθίνες, ενώ διάβρωσης τα yardangs (Head, 2007).

Από μελέτες που έχουν διεξαχθεί έχει προκύψει το συμπέρασμα, πως οι ταχύτητες μεταφοράς κόκκων και σκόνης που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του πλανήτη είναι αρκετά μεγάλες σε σχέση με τα επίγεια ανάλογα, αλλά συνήθως δεν αναπτύσσονται σε βάθος χρόνου, αλλά σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές (Bourke et al., 2008). Για να γίνει κατανοητό το μέγεθος της αιολικής δράσης, ενδεικτικά αναφέρεται μια αμμοθύελλα που συνέβη το 2005, η οποία απέθεσε ένα στρώμα άμμου πάχους 1 μέτρου, στην επιφάνεια του σκάφους «Mars Exploration Rover Spirit». Η μεταφορά των κόκκων συντελείται με τον πιο κοινό τύπο μεταφοράς, την λεγόμενη «αναπήδηση» (Bourke et al., 2008). Η αναπήδηση αποτελεί επί της ουσίας έναν συνδυασμό της σύρσης των κόκκων κατά μήκος του εδάφους και της αιώρησης τους, όπου ο άνεμος είναι σε θέση να αναπτύξει την λεγόμενη «κρίσιμη ταχύτητα», μέσω της οποίας γίνεται η ενσωμάτωσή τους στις ριπές του ανέμου (Παυλόπουλος, 2011).



Εικόνα 27: Αιολική καταιγίδα, όπου εξελίχθηκε στις 5 Απριλίου 2001. Οι εικόνες έχουν ληφθεί εντός της ίδιας ημέρας, με διαφορά χρόνου λήψης 2 ώρες (η ακριβής στιγμή αναγράφεται επάνω-δεξιά). Η κατεύθυνσή της είναι ανατολική και μετέπειτα βόρειο-ανατολική, ενώ η ταχύτητα που αναπτύσσει φτάνει τα 19 m/s. (πηγή: Bourke M.C., Edgett K.S., Cantor B.A., (2008), Recent aeolian dune change on Mars, *Geomorphology*, Vol. 94, Issues 1–2, p. 247–255, doi:10.1016/j.geomorph.2007.05.012, σελ: 254)

Βιβλιογραφικά αναφέρεται πως η μεγαλύτερη συγκέντρωση των αμμοθινών στον πλανήτη, εντοπίζεται στα όρια του παλαιό-ωκεανού, και πως στο σύνολό τους καλύπτουν μία έκταση 680.000 km² (Bourke et al., 2004). Ο παραπάνω ισχυρισμός επιδέχεται κριτικής καθώς έχει διαπιστωθεί πως οι αρειανές αμμοθίνες, συγκεντρώνονται στο νότιο ημισφαίριο, όπου διεξάγονται οι αμμοθύελλες και απαντάται και το μεγαλύτερο ποσοστό κρατήρων του πλανήτη (USGS, Astrogeology Science Center, The Mars Global Digital Dune Database). Το πιθανότερο ίσως σενάριο να είναι η μεταφορά ιζήματος, το οποίο πιθανώς να υπάρχει στην παλαιό-ακτή του ωκεανού αυτού και παράχθηκε μέσω την ποτάμιας ιζηματογένεσης, να μεταφέρθηκε στο νότιο ημισφαίριο αποτελώντας πηγή υλικού για τις αιολικές γεωμορφές. Αυτή η κατανομή οφείλεται στο γεγονός ότι, μια κοίλη επιφάνεια παρεμποδίζει την μεταφορά των κόκκων ιζήματος, με αποτέλεσμα αυτοί να συγκεντρώνονται εντός μιας κοιλότητας (Bourke et al., 2004). Τέτοιες κοιλότητες είναι επί της ουσίας, οι κρατήρες, που αποτελούν έναν σημαντικό παράγοντα κατανομής των αιολικών αποθέσεων στο νότιο ημισφαίριο.

Παρόλα αυτά, οι ίδιες οι γεωμορφές απόθεσης, κατά κύριο λόγο οι αμμοθίνες. Αναπτύσσονται στην επιφάνεια του πλανήτη, παρά τις μεγάλες ανεμικές ταχύτητες παρουσιάζουν μια στατικότητα, καθώς από μελέτη που διεξήχθη με εικόνες που λήφθηκαν κατά τα έτη 1972, 1976-1978, 1976-1980 και 1997-2006, διαπιστώθηκε πως οι αποθέσεις δεν έχουν μετακινηθεί κατά τα τελευταία 1-14 αρειανά έτη. Μόνο λίγες γεωμορφές παρουσιάζουν μια κινητικότητα, η οποία οφείλεται σε πλευρική κατάρρευση υλικού το οποίο πιθανώς να ξεπέρασε την γωνία ανάπαυσης (Bourke et al., 2008). Δύο είναι οι πιθανοί παράγοντες, οι

οποίοι θα μπορούσαν να αιτιολογήσουν τον παραπάνω ισχυρισμό. Είτε οι γεωμορφές κινούνται με τόσο αργούς ρυθμούς οι οποίοι δεν είναι εφικτό να καταγραφούν μέσω των υπάρχουσών δεδομένων, είτε οι κόκκοι τους έχουν συνεκτικοποιηθεί (με πιθανές αιτίες το νερό το οποίο έχει ψυχθεί ή κάποιες γεωχημικές ιδιότητες των ιζημάτων από τα οποία αποτελούνται) (Bourke et al., 2008). Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι πιθανό να περιγράφουν γεωμορφές με μεγάλη ηλικία, της περιόδου των τελευταίων 100.000 χρόνων (Bourke et al., 2008), καθώς ο Head (2007) αναφέρει πως η αιολική δράση είναι σε θέση να καλύψει και να αποκαλύψει επιφάνειες, για τις οποίες θα μπορούσαν να αμφισβητηθούν οι ηλικίες τους.

Αιολικές γεωμορφές που παράγονται μέσω απόθεσης υλικού και απαντώνται στην επιφάνεια του πλανήτη Άρη είναι (Bourke et al., 2004):

- wind streaks, αποτελούν λωρίδες, οι οποίες γίνονται αντιληπτές μέσω των μοτίβων λευκαύγειας, που δημιουργούνται πλευρικά των επιφανειακών εμποδίων, όπως κοιλάτες και κρατήρες, μέσω στροβιλοειδών (vortical) ανέμων που ανακατανέμουν τα ιζήματα (Drake and Hargitai, 2014).
- transverse ridges, όπου αποτελούν επιμήκεις αμμόλοφους, με μια σχετική ασυμμετρία που προσομοιάζει με κυματισμό, και το χαρακτηριστικό της δομής τους είναι πως η υπήνεμη πλευρά παρουσιάζει μεγάλες κλίσεις και αποτελεί την πλευρά ολίσθησης τους, ενώ η προσήνεμη πλευρά φέρει ομαλές κλίσεις. Το πλάτος τους είναι αρκετά μεγάλο, ενώ η κατεύθυνση του ανέμου είναι κάθετη στις γεωμορφές (Hargitai, 2014).
- linear dunes, αποτελούν παράλληλοι επιμήκεις αμμόλοφοι, προσομοιάζει με κορυφογραμμή, όπου η δομή τους τείνει να είναι παράλληλη με την πνοή του ανέμου. Έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τις transverse ridges γεωμορφές, με διαφορές το ότι οι linear αμμόλοφοι είναι πιο ευθύγραμμοι, με μικρότερο πλάτος και οι κατευθύνσεις των ανέμων τους παράλληλες με τις γεωμορφές (Radebaugh et al., 2014).
- barchan dunes, είναι αμμοθίνες ημισελινοειδούς σχήματος, όπου οφείλουν τη δομή



Εικόνα 28: Wind streaks στην επιφάνεια του Άρη. Οι σκούρες περιοχές αντιπροσωπεύουν απόθεση ενώ οι λευκές διάβρωση. (πηγή: NASA, Mars Education, Wind Streaks)

τους σε ανέμους σταθερής κατεύθυνσης και στην ελλειπή προσφορά υλικού. Χαρακτηρίζεται μετακινούμενος και αυτοτελής αμμόλοφος, ενώ η υπήνεμη πλευρά τους είναι κυρτή, η όποια είναι και η ολισθήνουσα, όπου μέσω αυτής τελείται και η μετακίνηση τους (Elbelrhiti and Hargitai, 2014).

- climbing dunes, αποτελούν αμμόλοφους όπου η προσήνεμη πλευρά τους χαρακτηρίζεται από κλίσεις μεγαλύτερες των 8° . Είναι ασταθείς γεωμορφές, ενώ η



Εικόνα 29: Barchan dunes στην επιφάνεια του πλανήτη Άρη.
(πηγή: NASA, Astronomy Picture of the Day)

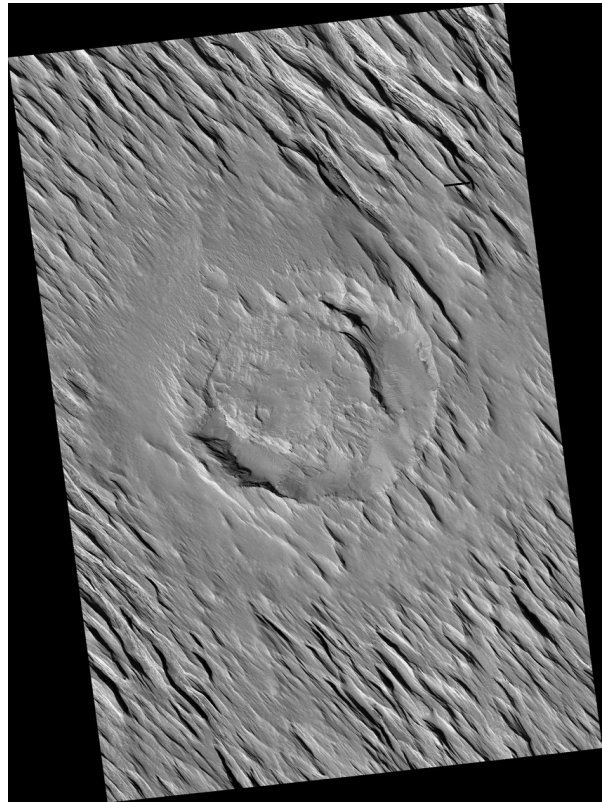
μορφολογία τους προσομοιάζει τους barchan αμμόλοφους. Τμηματικά, παρουσιάζουν σημεία ολίσθησης του υλικού (Chojnacki et al., 2014).

- falling dunes, είναι ασταθείς μορφές λόφων με μεγάλο ύψος, όπου φέρουν προεξοχές στην

υπήνεμη πλευρά και κλίσεις μικρότερες των 8° . Σχηματίζονται όταν σε έναν climbing αμμόλοφο συσσωρευθεί στην κορυφή του τόσο υλικό, ώστε να απαιτείται να ξεπερασθεί η γωνία ανάπαυσης. Λόγω της αστάθειας τους συνήθως αποτελούν αποθήκες υλικού, τροφοδοτώντας άλλες γεωμορφές, που εντοπίζονται σε κοιλάδες, κρατήρες και πεδιάδες (Chojnacki et al., 2014).

- sand ramps, και αυτή η γεωμορφή απόθεσης παράγεται μέσω ενός τοπογραφικού εμποδίου, δεν αποτελεί αυτούσια αιολική γεωμορφή και αναπτύσσεται πλευρικά, εκατέρωθεν οροσειρών. Συνήθως μπορούν να χαρακτηριστούν ως δίοδοι ιζήματος, ενώ φέρουν στοιχεία και από climbing και falling αμμόλοφους (Chojnacki, 2014).
- sand streamers, αποτελούν αμμώδεις ρυτιδώσεις μικρής κλίμακας όπου κινούνται παράλληλα με την ροή του ανέμου (Baas, 2014).
- sand patches, είναι και αυτές γεωμορφές παρόμοιες με τα sand streamers, δηλαδή αποτελούν ένα λεπτό στρώμα απόθεσης άμμου, που φέρουν συνήθως κυκλικό ή ελλειψοειδείς σχήμα, αλλά δεν παρουσιάζουν χαρακτηριστικά ολίσθησης (Baas and Hargitai, 2014).

Πέρα από όλες αυτές τις μορφές απόθεσης, στον πλανήτη απαντώνται και αιολικές μορφές διάβρωσης, όπως τα yardangs. Τα yardangs αποτελούν σημαντικές γεωμορφές διάβρωσης, καθώς μέσω αυτών μπορούν να εξαχθούν αρκετά συμπεράσματα για τις ταχύτητες και τις κατευθύνσεις των ανέμων που πνέουν. Επί της ουσίας αποτελούν συνεκτικές επιμήκεις γεωμορφές, οι οποίες έχουν διαμορφωθεί από την δράση του ανέμου, όπου μέσω της μεταφοράς κόκκων άμμου, διαβρώνει μια επιφάνεια που φέρει ευδιάβρωτες και δισδιάβρωτες αποθέσεις, απομακρύνοντας τις "χαλαρές" από αυτές και σμιλεύοντας τις σκληρότερες (Ward, 1979). Απαντώνται σε όλα τα ερημικά περιβάλλοντα όπου πνέουν αρκετά

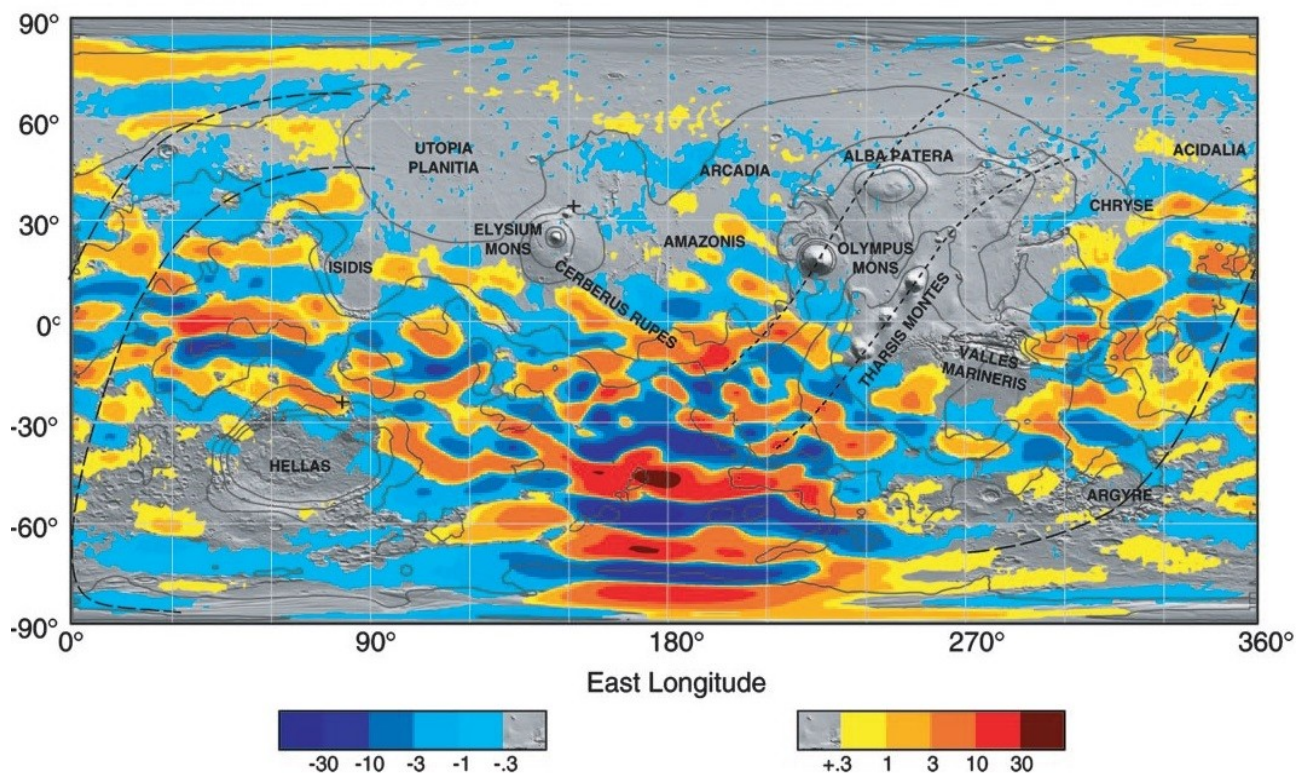


Εικόνα 30: Yardangs στην επιφάνεια του Άρη. (πηγή: NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institution of Technology, On the Beauty of Yardangs)

ισχυροί άνεμοι, συνθήκες δηλαδή που επικρατούν στον "κόκκινο" πλανήτη (Ward, 1979). Στον Άρη οι γεωμορφές αυτές συγκεντρώνονται στην περιοχή που ονομάζεται «Medusae Fossae Formation», η οποία είναι μια στενή λωρίδα όπου εκτείνεται από την Amazonis Planitia έως την Elysium Planitia (Mandt et al., 2008). Οι προσανατολισμοί τους καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος, ενώ παράλληλα χαρακτηρίζονται από μεγάλα μήκη και ύψη, αρκετά μεγαλύτερα από τα επίγεια ανάλογα. Υποστηρίζεται ότι η αναλογία μήκους προς πλάτος, που αντιπροσωπεύει της γεωμορφές αυτές είναι 50:1, ενώ η πιθανή αιτία της αναλογίας αυτής είναι η έλλειψη άλλων διαβρωτικών διαδικασιών (π.χ. ποτάμιες διεργασίες), οι οποίες θα μπορούσαν να επιταχύνουν την διαδικασία της διάβρωσης των υπολειμματικών αυτών μορφών (Ward, 1979). Πέρα από την έλλειψη των επιπρόσθετων διεργασιών, τα μεγέθη αυτά πιθανόν να αποτελούν και ένδειξη για την ύπαρξη υλικών, τα οποία είναι σε μεγάλο βαθμό αρκετά συνεκτικοποιημένα (Mandt et al., 2008). Το 7% των yardangs που υπάρχουν στην περιοχή αυτή, χαρακτηρίζονται ως mega-yardangs, τα οποία εκτείνονται σε αρκετά χιλιόμετρα μήκος, το πλάτος τους είναι μεταξύ 1 έως 5 km, το ύψος τους μεταξύ 5 έως 700 m, ενώ φέρουν κλίσεις που φτάνουν τις 80° (Mandt et al., 2008).

4.6. Τεκτονική Δραστηριότητα

Ακόμα και αν δεν συντελούνταν απολύτως καμία επιφανειακή διεργασία τον πλανήτη Άρη, θα μπορούσε να θεωρηθεί αυτονόητη η τεκτονική δράση. Παρότι ο παραπάνω φαίνεται ως ένας βάσιμος ισχυρισμός, δεν είναι αυταπόδειχτος. Πέρα όμως από αυτό, τι αποτελεί επί τις ουσίας η τεκτονική δράση; Η τεκτονική ορίζεται ως «μεγάλης κλίμακας γεωλογικές διεργασίες που παραμορφώνουν τη λιθόσφαιρα και δημιουργούν γεωμορφές όπως ωκεάνιες λεκάνες, ηπείρους και όρη» (Παυλόπουλος, 2011, σελ:86). Είναι σαφές πως μέσω της τεκτονικής δράσης παράγονται μεγάλης κλίμακας γεωμορφές, μέσω των κινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών και της ηφαιστειακής δράσης. Ο επίγειος φλοιός, χωρίζεται σε τέτοιες λιθοσφαιρικές πλάκες, στις οποίες οφείλεται η εικόνα της επιφάνειας του πλανήτη Γη. Ποια όμως μπορεί να είναι η κατάσταση του αρειανού φλοιού;



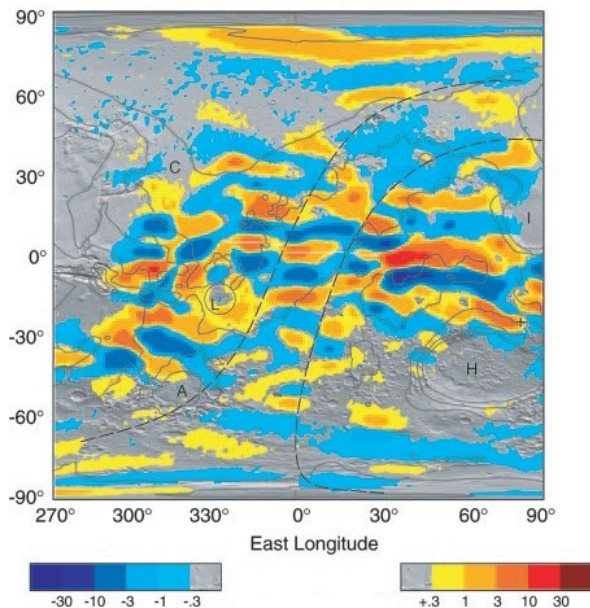
Εικόνα 31: Παγκόσμια κατανομή της μαγνητικής "υπογραφής" του πλανήτη. Οι περιοχές με κόκκινες αποχρώσεις υποδηλώνουν θετικά μαγνητισμένες περιοχές, ενώ με μπλε αρνητικά. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν πιθανά όρια πλακών. (πηγή: Connerney J. E. P., Acuña M. H., Ness N. F., Kletetschka G., Mitchell D. L., Lin R. P., Reme H., (2005), Tectonic implications of Mars crustal magnetism, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 102, No. 42, 14970-14975, doi:10.1073/pnas.0507469102, σελ:14971)

Πράγματι, ο φλοιός του πλανήτη παρουσιάζει μια τέτοια τεκτονική διχοτόμηση, η οποία αποτελεί και θεμελιώδες χαρακτηριστικό της επιφάνειάς του (Head, 2007). Μια πρώτη ένδειξη για την κατάσταση του φλοιού, είναι η κατανομή του. Παρατηρείται μια αντίθεση του πάχους του μεταξύ του βόρειου φλοιού, όπου είναι πιο λεπτός σε πάχος σε σχέση με αυτόν του νότιου (Lenardic et al., 2004).

Έχει υπολογιστεί ότι ο νότιος φλοιός αποτελεί $\approx 60\%$ της επιφάνειας του πλανήτη, ενώ το μέσο πάχος του φλοιού υποδηλώνουν θετικά μαγνητισμένες περιοχές, ενώ με μπλε αρνητικά. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν πιθανά όρια πλακών. (πηγή: Connerney J. E. P., Acuña M. H., Ness N. F., Kletetschka G., Mitchell D. L., Lin R. P., Reme H., (2005), Tectonic implications of Mars crustal magnetism, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 102, No. 42, 14970-14975, doi:10.1073/pnas.0507469102, σελ:14972)

Βέβαια, υπάρχουν και αναφορές όπου υποστηρίζουν ότι το μέσο πάχος του φλοιού κυμαίνεται μεταξύ 100-200 km (Breuer and Spohn, 2003). Αυτή η υπόθεση έχει μια βάση, λαμβάνοντας το μέσο πάχος των 100 km ως το ανώτατο όριό του, με μέση τιμή τα 55 km με μια απόκλιση ± 20 km (Lenardic et al., 2004). Ο προσδιορισμός του πάχους του φλοιού, όπως και πολλών άλλων πληροφοριών, είναι δύσκολο να γίνει, λόγω της αδυναμίας τέλεσης μιας εκτεταμένης έρευνας. Επιπρόσθετα, έχει γίνει προσπάθεια χρονολόγησης της δημιουργίας του φλοιού, όπου εικάζεται ότι συνέβη μέσω ενός μεμονωμένου γεγονότος, και όχι μιας συνεχούς μαγματικής δράσης, το οποίο χρονολογείται πριν από περίπου 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια. Στην γεωλογική κλίμακα του πλανήτη το γεγονός αυτό τοποθετείται στην προ-Noachian περίοδο, και συνεχίστηκε με πάρα πολύ μικρή προσφορά υλικού έως και την εποχή Hesperian (Breuer and Spohn, 2003).

Πέραν από όλα αυτά τα στοιχεία, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί ο μηχανισμός δημιουργίας του φλοιού, και τα στάδια που ακολούθησαν ώστε να παραχθεί το σημερινό

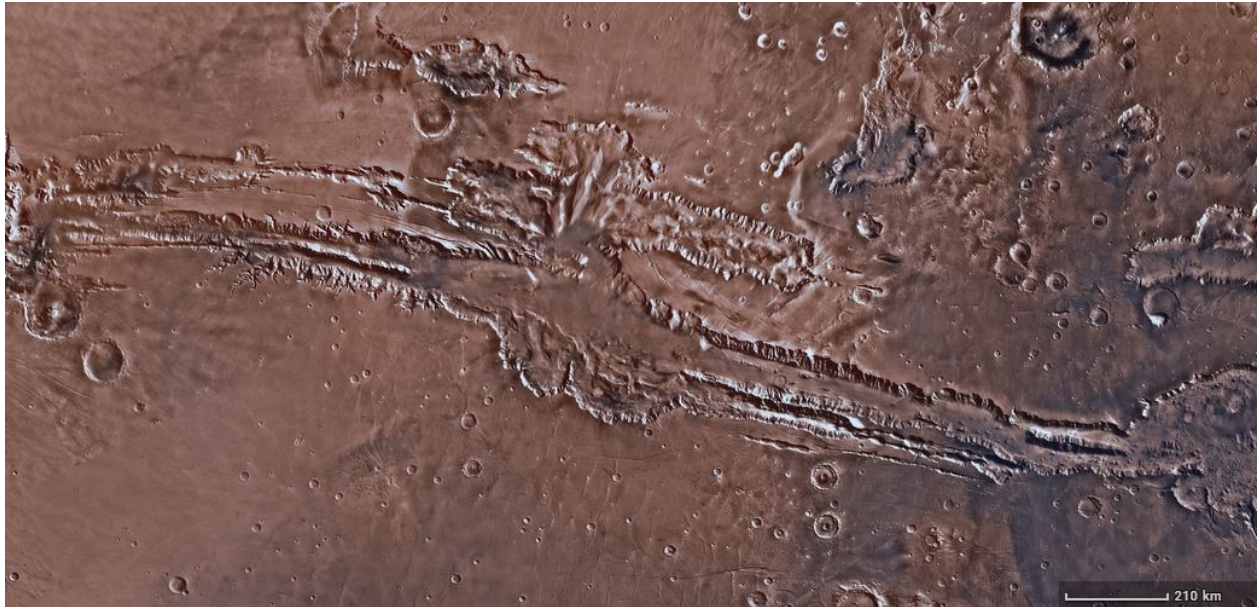


Εικόνα 32: Μαγνητική "υπογραφή" στην περιοχή Terra Meridiani. Οι περιοχές με κόκκινες αποχρώσεις υποδηλώνουν θετικά μαγνητισμένες περιοχές, ενώ με μπλε αρνητικά. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν πιθανά όρια πλακών. (πηγή: Connerney J. E. P., Acuña M. H., Ness N. F., Kletetschka G., Mitchell D. L., Lin R. P., Reme H., (2005), Tectonic implications of Mars crustal magnetism, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 102, No. 42, 14970-14975, doi:10.1073/pnas.0507469102, σελ:14972)

αποτέλεσμα. Η επικρατέστερη θεωρία υποστηρίζει πως η δημιουργία του οφείλεται σε ένα γεωλογικό γεγονός, το οποίο είχε μια διάρκεια 0,7 δισεκατομμυρίων ετών, όπου δημιουργήθηκε ένας ενιαίος φλοιός, ο οποίος κάλυπτε όλον τον πλανήτη (Lenardic et al, 2004; Breuer and Spohn, 2003). Ο φλοιός αυτός, στην συνέχεια, παρουσίασε ρηγματώσεις, δημιουργώντας τις λεγόμενες τεκτονικές πλάκες όπου ήταν ενεργές, παράγοντας επιπρόσθετο μάγμα από τον μανδύα, το οποίο δεν απαντιόνταν σε όλη την επιφάνεια του φλοιού, αλλά στα νότια του πλανήτη. Με την τεκτονική αυτή δράση, μετακινήθηκε ο πρότερος φλοιός προς τα βόρεια (Lenardic et al., 2004). Αυτή θα μπορούσε να αποτελεί και μια ερμηνεία για την διαφορά του μέσου πάχους μεταξύ του βορείου και του νοτίου φλοιού του πλανήτη. Εικάζεται ότι, μετά από αυτό το γεγονός ο φλοιός «απενεργοποιήθηκε», λόγω μιας πιθανής ψύξης του μανδύα, ενώ οι τεκτονικές πλάκες παρουσίασαν μια αδράνεια, είτε λόγω της μεγάλης ακαμψίας που πιθανόν να τις χαρακτηρίζει, είτε λόγω μιας μεγάλης πλευστότητας της λιθόσφαιρας (Lenardic et al., 2004). Ως αποτέλεσμα, η παραγωγή νεότερου φλοιού συντελέστηκε αποκλειστικά μέσω της ηφαιστειακής δράσης, οδηγώντας τους επιστήμονες να αναπτύξουν μια υπόθεση η οποία υποστηρίζει ότι το ηφαιστειακό σύμπλεγμα Tharsis, αποτελεί ένα ωκεάνιο σύμπλεγμα νησίδων, παρόμοιο με αυτό Χαβάης, πιθανώς και ένα παλαιό όριο πλακών, όμοιο με τα επίγεια ανάλογα (Breuer and Spohn, 2003).

Η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών, στη Γη, αναπτύχθηκε μέσω της χαρτογράφησης, σε παγκόσμιο επίπεδο, των μεγάλων σεισμικών και ηφαιστειακών γεγονότων, μέσω της οποίας παρατηρήθηκε ένα μοτίβο που ερμηνεύθηκε ως τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Μια τέτοια διαδικασία είναι εμφανές ότι απαιτεί συστηματική παρατήρηση των γεγονότων που σχετίζονται με τον τεκτονισμό. Βάσει αυτού του συλλογισμού είναι άξιο απορίας το πως έχει παραχθεί μια τέτοιου είδους μελέτη για τον πλανήτη Άρη και μάλιστα από απόσταση. Η απάντηση βρίσκεται στην στιγμή της δημιουργίας του πλανητικού φλοιού. Όλα τα ουράνια σώματα, στον πυρήνα τους συντελούν ένα είδους πυρηνικής σχάσης, όπου απελευθερώνει θερμική ενέργεια από τον πυρήνα προς την επιφάνεια του πλανήτη. Υποθέτεται ότι στο τέλος της δημιουργίας του αρειανού φλοιού, μέσω αυτής της δράσης παράχθηκε και ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο φέρει μια "υπογραφή" στην επιφάνεια του φλοιού, το οποίο χαρακτηρίζεται από μια χωρική συνέχεια (Connerney et al., 2005). Αυτή η μαγνητική "φωτογραφία" του φλοιού έχει αποθηκευτεί στο παρελθόν και είναι σε θέση να συλλεχθεί μέσω δορυφορικών εργαλείων. Εντοπίζοντας ασυνέχειες στην μαγνητική αυτή "υπογραφή", μπορεί να εξαχθεί ένα

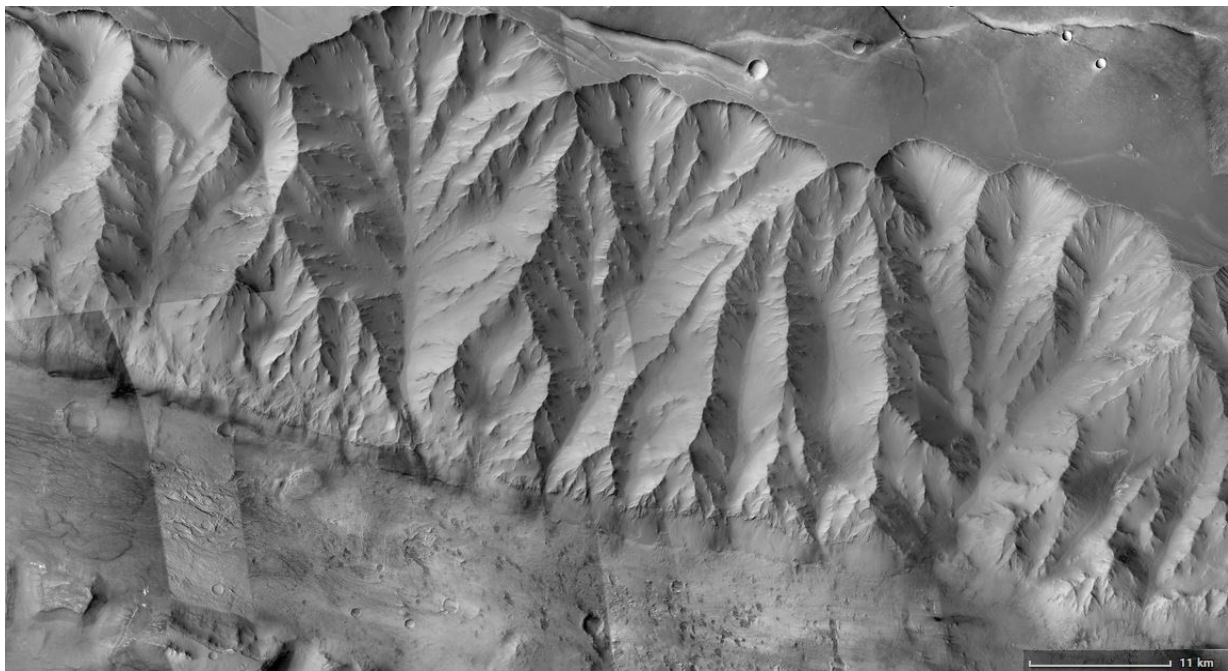
πρώτο συμπέρασμα για τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών του πλανήτη (Breuer and Spohn, 2003). Έχει υπολογιστεί ότι, η ενεργός ρηγμάτωση έλαβε χώρα πριν από 3,9 δισεκατομμύρια χρόνια, δηλαδή στην εποχή του πρώιμου Noachian (Lenardic et al., 2004).



Εικόνα 33: Η κοιλάδα Valles Marineris. (πηγή: NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institution of Technology, Mars Trek)

Στην εικόνα 31 παρουσιάζεται η κατανομή του μαγνητισμού στην επιφάνεια του πλανήτη. Όπως είναι φανερό ο μαγνητισμός παρουσιάζει μια ανισοκατανομή μεταξύ του βορείου και του νοτίου ημισφαιρίου. Πρακτικά, σε μια επιφάνεια από την πεδιάδα Utopia έως και το σύμπλεγμα του Tharsis, δεν εμφανίζεται μαγνητικό αποτύπωμα, πράγμα που ενισχύει τον ισχυρισμό του παλαιό-φλοιού που καλύπτει το βόρειο ημισφαίριο. Στην επιφάνεια μεταξύ -30° και -90° γεωγραφικού πλάτους και μεταξύ 150° και 210° γεωγραφικού μήκους, παρουσιάζονται επιμήκης παράλληλες ζώνες μαγνητισμού, όπου θεωρητικά με αυτό το μοτίβο «καλυπτόταν» όλος ο φλοιός του πλανήτη. Οι επιφάνειες όπου οι ζώνες αυτές εμφανίζουν μετατόπιση ορίζονται ως πιθανά όρια πλακών (διακεκομμένες γραμμές) (Connerney et al., 2005). Στην εικόνα 32, διαγράφονται δυο μεγάλα τεκτονικά όρια που εντοπίζονται στο νότιο ημισφαίριο. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι, στις περιοχές αυτές όπου εικάζεται ότι αποτελούν πιθανές ρηξιγενείς ζώνες, σε παρελθοντικό χρόνο, καλύπτονταν από έναν αρκετά λεπτό φλοιό (πάχους 1 έως 2 km), πράγμα που ενισχύει τον ισχυρισμό ύπαρξης πιθανών ρηγμάτων στις περιοχές αυτές (Lenardic et al., 2004).

Φαινομενικά, οι μετατοπίσεις αυτές προσομοιάζουν τα ρήγματα μετασχηματισμού, τα οποία ορίζονται ως κινήσεις παράλληλες μεταξύ των τεκτονικών πλακών, αλλά δεν είναι. Η επικρατέστερη θεωρία υποστηρίζει ότι, στον πλανήτη Άρη δεν υπάρχουν ρήγματα μετασχηματισμού, και το πιθανότερο είναι τα ρήγματα που έχουν εντοπιστεί να αποτελούν ρηγματώσεις τύπου strike-slip, όπου η τεκτονική κίνηση γίνεται σε μια και μόνο κατεύθυνση εν αντιθέσει με τα ρήγματα μετασχηματισμού όπου χαρακτηρίζονται από αμφίτροπη κίνηση (Connerney et al., 2005). Ένα ενδιαφέρον στοιχείο για τις ρηγματώσεις αυτές αποτελεί το γεγονός ότι η πυκνότητα των κρατήρων στα όρια των ρηγματώσεων είναι μικρότερη από αυτή της ευρύτερης περιοχής. Οι πιθανότερες αιτίες του φαινομένου αυτού είναι είτε μια εξωτερική δράση του ρήγματος στο πέρασμα του χρόνου, είτε μια αυξημένη διάβρωση στις ρηγματώσεις, όπου διαβρώνει τις κοιλότητες των κρατήρων σε αυτές τις περιοχές (Lenardic et al., 2004).



Εικόνα 34: Τριγωνικές δομές στο χείλος του Valles Marineris. (πηγή: NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institution of Technology, Mars Trek)

Πέραν όμως όλων αυτών των μεγάλων δομών που μπορεί να παράξει η τεκτονική δράση, υπάρχουν και δομές μικρότερης κλίμακας που απαντώνται στον πλανήτη και έχουν την ίδια γενεσιουργό αιτία. Τα περισσότερα από αυτά τεκτονικά χαρακτηριστικά είναι σε θέση να ερμηνευθούν βάσει της τοπογραφίας. Οι δομές αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες βάσει του μηχανισμού γέννησής τους, σε (Head, 2007):

- δομές ολίσθησης, όπου σε αυτές εντάσσονται απλές και σύνθετες τεκτονικές τάφροι,

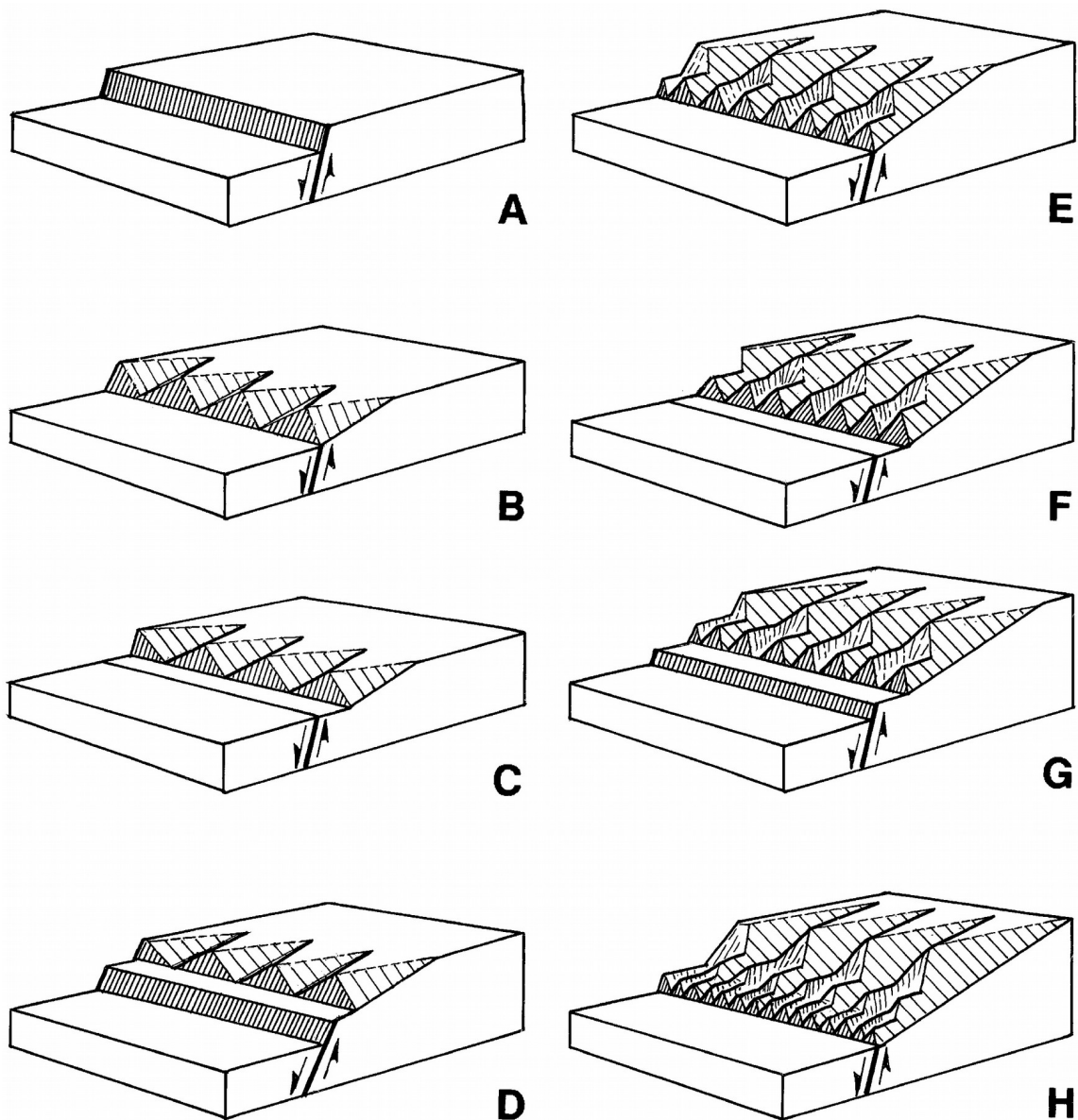
πτεροειδείς διακλάσεις, tension cracks και troughs.

- δομές θραύσης, όπου σε αυτές εντάσσονται wrinkle ridges, lobate scarps, fold belts.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, οι τεκτονικές τάφροι χαρακτηρίζονται από μικρό πλάτος που μπορεί να φτάνει μερικά χιλιόμετρα, ενώ το μήκος τους μερικές δεκάδες έως εκατοντάδες χιλιόμετρα (Head, 2007).

Η μεγαλύτερη δομή τεκτονικής προέλευσης του πλανήτη αποτελεί το φαράγγι του Valles Marineris (εικόνα 33). Βρίσκεται νότια του ισημερινού, με το μήκος του να φτάνει τα 4.000 km, καλύπτοντας το ένα τέταρτο του ισημερινού ενώ το βάθος του φτάνει τα 11 km (Peulvast et al., 2001). Το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται ως ένα κλιμακωτό σύστημα ρηγμάτων, το οποίο αποτελείται από διαδοχικά τεκτονικά κέρατα και τάφρους, όπου στο εσωτερικό της σχηματίζουν οροπέδια που χρονολογούνται πριν από 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια, στο πρώιμο Hesperian (Peulvast et al., 2001; Connerney et al., 2005). Τα μεγέθη αυτά έχουν διατηρηθεί σε βάθος χρόνου λόγω της έλλειψης κατακρημνίσεων και ποτάμιας δράσης κατά την πρόσφατη ιστορία του πλανήτη, με αποτέλεσμα να μην αποτεθούν ιζήματα στο δάπεδο (Peulvast et al., 2001). Παρόλα αυτά, εντοπίζονται αποθέσεις οι οποίες πιθανολογείται να οφείλονται σε παρελθούσα ποτάμια δράση.

Οι κρημνοί στο Valles Marineris, εμφανίζουν στην βάση τους κάποιες τριγωνικές δομές (scarp) οι οποίες προέκυψαν από την αλληπάλληλη δράση των τεκτονικών ρηγμάτων και της ποτάμιας δράσης (εικόνα 34). Στην εικόνα 35 παρουσιάζεται ένα μοντέλο που αναλύει τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνει χώρα αυτή η διαδικασία.



Εικόνα 35: Σχήμα όπου περιγράφει την δημιουργία των τριγωνικών δομών. (πηγή: Peulvast J.P., Mége D., Chiciak J., Costard F, Masson P.L., (2001), Morphology, evolution and tectonics of Valles Marineris wallslopes (Mars)., Geomorphology, Vol. 37, Issues 3–4, 329-352, doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00085-4, σελ:339)

Αρχικά δημιουργείται το πρωταρχικό ρήγμα, το οποίο χαρακτηρίζεται ως κανονικό, ενώ παράλληλα εμφανίζεται το ίχνος του ρήγματος (εικόνα 35 A). Έπειτα, λαμβάνει χώρα η ποτάμια δράση, η οποία παράγει αυτές τις χαρακτηριστικές τριγωνικές δομές, μέσω της διάβρωσης (εικόνα 35 B). Με μια μετατόπιση και ενεργοποίηση του ρήγματος, παράγεται ένα νέο ίχνος ρήγματος, το οποίο εκ νέου διαβρώνεται δημιουργώντας μικρότερες τριγωνικές δομές στο νέο ίχνος, ενώ διαβρώνονται βάθος οι προϋπάρχουσες τριγωνικές δομές (εικόνες 35 C, D, E). Αυτή η διαδικασία είναι εφικτό να επαναληφθεί αρκετές φορές, ανάλογα με την

τεκτονική δράση και την ποτάμια διάβρωση, δημιουργώντας πολυσύνθετες δομές, με χαρακτηριστικό τις κοιλάδες με μεγάλο βάθος. Παρόλα αυτά, στάδια όπως το G και το H της εικόνας 35, είναι απίθανο να έχουν λάβει χώρα στην επιφάνεια του Άρη, καθώς η ποτάμια δραστηριότητα που έλαβε χώρα στο παρελθόν, δεν είχε την μορφή που απαντάται στην Γη, αλλά χαρακτηριζόταν από περιοδικότητα και ασυνέχειας δράσης, και όχι συστηματικότητα όπως αυτή του πλανήτη μας.

4.7. Παγετωνικές Γεωμορφές

Η ύπαρξη νερού στην επιφάνεια του πλανήτη είναι πλέον δεδομένη. Δεν απαντάται με τις μορφές που είναι γνωστές επί γης, αλλά η ύπαρξή του είναι αδιαμφισβήτητη. Πέρα από ποτάμια, λιμναίες και ωκεάνιες δράσεις δεν θα ήταν εφικτή και η παγετωνική δραστηριότητα; Η σημερινή μέση θερμοκρασία του πλανήτη είναι κάτω του μηδενός, αλλά σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους η επιφάνειά του ήταν πιο θερμή. Άρα θα ήταν εύκολο συμπεράνει κάποιος ότι δεν υπήρξε παγετωνική δραστηριότητα. Ένας τέτοιος ισχυρισμός θα ήταν λανθασμένος καθώς οι πολικές περιοχές του πλανήτη είχαν μικρότερη θερμοκρασία σε σχέση με τις ισημερινές περιοχές, ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό για κάθε σφαιρικό σώμα, το οποίο δέχεται θερμότητα από έξω-πλανητική πηγή. Άρα η υπόθεση ύπαρξης παγετωνικής δράσης θα μπορούσε να θεωρηθεί βάσιμη, τόσο στο παρελθόν όσο και στο παρόν.

Πράγματι, στην επιφάνεια του πλανήτη έχουν εντοπιστεί γεωμορφές οι οποίες οφείλονται σε έναν κύκλο διεργασιών τήξης και πήξης ύδατος, ο οποίος δεν συμβαδίζει με τις συνθήκες που επικρατούν σήμερα στην επιφάνεια του πλανήτη (Head, 2007). Το στοιχείο αυτό θα μπορούσε να αποτελούσε ένδειξη της παγετωνικής δράσης στο παρελθόν. Η δράση αυτή έχει αφήσει ενδεικτικές μορφές διάβρωσης και απόθεσης παλαιότερης παγετωνικής και περιπαγετωνικής δράσης, που απαντώνται στα ορεινά της Argyre Planitia (Banks et al., 2008). Η υπόθεση της παρελθούσας παγετωνικής δραστηριότητας ισχυροποιείται περαιτέρω, συμπεριλαμβάνοντας ως αποδείξεις τις ευρείες κοιλάδες σχήματος U, τα κλιμακωτά διαμήκη προφίλ και τις κρεμαστές κοιλάδες, γεωμορφές που σχετίζονται με την παγετωνική δράση (Banks et al., 2008).

Παρόλα αυτά, παγετωνικές ενδείξεις δεν υπάρχουν μόνο στην Argyre Planitia, αλλά

εκτεταμένα σε όλο τον πλανήτη. Τα πιο χαρακτηριστικά στοιχεία απόδειξης της παγετωνικής δράσης είναι τα lobate debris apron, όπου αποτελούν υλικά με ποικίλα κοκκομετρική γκάμα, που έχουν αποτεθεί με κυρτή διάταξη και απαντώνται στα όρια μεταξύ ορεινών και πεδινών περιοχών (Head, 2007). Πιο συγκεκριμένα, παγετωνικές γεωμορφές, εκτός από αυτές της Argyre Planitia, εντοπίζονται στην Hellas Planitia, στα ηφαίστεια Elysium και Olympus Mons και τέλος στο σύμπλεγμα Tharsis (Head, 2007).

Οι παγετωνικές γεωμορφές που υπάρχουν στην επιφάνεια του πλανήτη είναι: whalebacks, roche moutonnée, ραβδώσεις (grooves) eskers, αμφιθεατρικές μορφές, λιθώνες (moraines), πλανήτες λίθοι και τιλλίτες (Banks et al., 2008; Head, 2007).

- Τα whalebacks, τα roche moutonnée και ραβδώσεις, είναι μορφές διάβρωσης όπου τα whalebacks είναι βράχοι οι οποίοι έχουν λειανθεί μέσω παγετώνα, πλευρικά από όλες τις μεριές τους (Encyclopedia Britannica, Glacial landform, Geology). Αντίθετα, τα roche moutonnée είναι βράχοι οι οποίοι και αυτοί έχουν λειανθεί από την παγετωνική δράση αλλά μόνο από την πλευρά μεταφοράς του παγετώνα. Τέλος, οι ραβδώσεις, είναι παράλληλες επιμήκης και γραμμές, όπου παρατηρούνται στο μητρικό πέτρωμα, ενώ ο σχηματισμός τους οφείλεται στην κίνηση του παγετώνα, ο οποίος φέρει υλικά στην επιφάνεια ολίσθησης του, τα οποία διαβρώνουν τις επιφάνειες που καλύπτει ο παγετώνας (Encyclopedia Britannica, Roche moutonnée, Geology).
- Τα eskers αποτελούν παγετωνικές ράχες απόθεσης, το σχήμα τους μπορεί να είναι ευθύγραμμο ή κυματοειδές, ενώ η κοκκομετρική τους σύσταση αποτελείται από άμμους και κροκάλες (Παυλόπουλος, 2011). Η δημιουργία τους οφείλεται σε υδατικά ρέματα τα οποία δρουν την επιφάνεια ολίσθησης του παγετώνα (Παυλόπουλος, 2011). Τέτοιου είδους μορφές, απαντώνται στις περιοχές Argyre Planitia, Hellas Planitia και στις ευρύτερες νότιες πολικές περιοχές, ενώ στις εικόνες παρουσιάζονται ως επιμήκης κυρτές κορυφογραμμές (Head, 2007). Ένα μεγάλο σύστημα eskers, το Dorsa Argentea όπου ηλικιακά εντάσσεται στην Hesperian εποχή, εντοπίζεται εντός της Argyre Planitia, και το χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού είναι τα κανάλια αποστράγγισης που το περιβάλλουν (Head, 2007).

- Οι αμφιθεατρικές μορφές αποτελούν μορφές διάβρωσης, κοιλότητες σε απόκρημνες ράχες, όπου παράγονται μέσω της απόθεσης χιονιού (Παυλόπουλος, 2011).
- Οι λιθώνες (moraines) αποτελούν μορφές απόθεσης όπου αναπτύσσονται στα όρια του παγετώνα, και ανάλογα με την θέση απόθεσης τους σε σχέση με τον παγετώνα μπορούν να χωριστούν σε τελικές, μετωπικές, πλευρικές και άλλες, ενώ τα υλικά από τα οποία αποτελούνται είναι γωνιώδεις λίθοι, χαλίκια και άργυλο (Παυλόπουλος, 2011). Στην επιφάνεια του πλανήτη παρατηρούνται επιμήκη γραμμικά τοιχώματα όπου είναι κάθετα σε σχέση με τις παρελθούσες υδάτινες ροές και αποθέσεις υλικών. Οι δομές αυτές ταυτίζονται με τα χαρακτηριστικά των λιθώνων, άρα ερμηνεύονται και ως τέτοιοι (Head, 2007). Δομές λιθώνων έχουν βρεθεί και στους πρόποδες των ηφαιστειών του συμπλέγματος Tharsis, αν και δεν είναι βέβαιο ότι αυτές οι δομές είναι λιθώνες (Head, 2007).
- Οι πλανήτες λίθοι είναι ογκόλιθοι οι οποίοι εντοπίζονται εν μέσο πεδιάδων, όπου έχουν αποτεθεί εκεί μέσω παγετωνικής απόθεσης (Παυλόπουλος, 2011).
- Τέλος, οι τιλλίτες, αποτελούν άστρωτες παγετωνικές αποθέσεις, όπου δεν παρουσιάζουν καμία διαστρωμάτωση, ενώ τα υλικά από τα οποία αποτελούνται φέρουν μια υπογωνιώδη μορφή. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη κοκκομετρική ποικιλία, ενώ τα πιο συνήθη υλικά που φέρουν είναι ιλύς, άργυλος, άμμος και αδρομερή υλικά (Παυλόπουλος, 2011).

Πέρα από όλες αυτές τις παγετωνικές γεωμορφές, έχουν εντοπιστεί και λίμνες τύπου ringo, όπου αποτελούν περιπαγετωνικές γεωμορφές (Head, 2007). Οι γεωμορφές ringo είναι κυκλικοί λόφοι όπου στο εσωτερικό τους περιέχουν πάγο. Σε αρκετές περιπτώσεις το "κάλυμμα" του λόφου αυτού καταρρέει, δημιουργώντας κοιλότητες οι οποίες πληρούνται με νερό και ίζημα, δημιουργώντας τις λίμνες τύπου ringo (Pidwirny, 2006).

Βέβαια, όσα προαναφέρονται δεν αποτελούν βεβαιότητες, αλλά υποθέσεις καθώς, οι κατολισθήσεις και η υποβάθμιση των γεωμορφών, να καθιστούν ανεπαρκή τα στοιχεία απόδειξης τους (Head, 2007).

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

5.1. Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία πέραν της απόδοσης της παρελθούσας γεωμορφολογικής κατάστασης του πλανήτη και της ανάλυσής της, σε παγκόσμια κλίμακα, έχει και ως στόχο την παραγωγή ενός "πρώιμου" γεωμορφολογικού χάρτη, μιας συγκεκριμένης περιοχής της επιφάνειας του πλανήτη. Η παραγωγή ενός τέτοιου χάρτη σε παγκόσμια κλίμακα θα ήταν ένα μάλλον υπερβολικά φιλόδοξο εγχείρημα, αφ' ενός λόγω της έκτασης και αφ' εταίρου λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας γεωμορφών που υπάρχουν στην επιφάνειά του.

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, έχει επιλεγεί με βάσει το κριτήριο της αντιπροσωπευτικότητας. Δηλαδή, είναι μια περιοχή στην οποία εντοπίζονται ποικίλες γεωμορφές, οι οποίες λειτουργούσαν συνδυαστικά στο παρελθόν μεταξύ τους. Βάσει του παραπάνω συλλογισμού, ως περιοχή μελέτης ορίστηκε μια ζώνη γύρω από τον ισημερινό, με τις συντεταγμένες της να καλύπτουν ένα εύρος, όσον αφορά το γεωγραφικό μήκος μεταξύ 30^ο δυτικά έως 90^ο δυτικά, ενώ το γεωγραφικό πλάτος μεταξύ 30^ο νότια έως 30^ο βόρεια. Σε αυτήν την έκταση εντάσσονται οι ακόλουθες περιοχές: Lunae Planum, Xanthe Terra, Chryse Planitia, Sinai Planum, Thaumasia Planum, Margaritifer Terra, Solis Planum, και φυσικά δυο από τις μεγαλύτερες γεωμορφές του πλανήτη, το κανάλι Kasei Valles και η τάφρος Valle Marineris. Οι υψομετρικές διαφορές της περιοχής αυτής είναι τεράστιες, με το υψηλότερο σημείο να αγγίζει το υψόμετρο των 6.997 m, ενώ το χαμηλότερο το υψόμετρο των -5.834 m.

Στην περιοχή αυτή εντάσσονται γεωμορφές όπως, ένα "αρχαίο" υδρογραφικό δίκτυο με μεγάλα κανάλια εκροής στα νότια και μικρότερους κλάδους στα βόρεια, τεκτονικές γεωμορφές όπως τάφροι, ηφαιστειακές γεωμορφές όπως τα wrinkle ridges και φυσικά κρατήρες πρόσκρουσης, οι οποίοι παρουσιάζουν μια συσσώρευση στα ανατολικά. Η παραγωγή όλων αυτών των στοιχείων αναλύεται εκτενώς στην συνέχεια.

5.2. Συλλογή Δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι τόσο ψηφιδωτά (raster) όσο και διανυσματικά (vector). Για την εξασφάλιση της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων της μελέτης η συλλογή των δεδομένων έγινε από αξιόπιστους φορείς. Τα συγκεκριμένα δεδομένα συλλέχθηκαν από την USGS. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλη η επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων, έγινε εξ ολοκλήρου με την χρήση λογισμικού GIS, του ArcGIS έκδοσης 10.2.2. Τα αρχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συγκεκριμένου εγχειρήματος και οι πηγές τους είναι:

- ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), παγκόσμιας κλίμακας, με μέγεθος κελιού 200 m και υψόμετρο ανά ένα μέτρο (USGS, Astrogeology Science Center).
- ένα πολυγωνικό διανυσματικό αρχείο, παγκόσμιας κλίμακας, με την λιθολογία του πλανήτη (USGS, Astrogeology Science Center).
- ένα πολυγωνικό διανυσματικό αρχείο, παγκόσμιας κλίμακας, όπου απεικονίζει τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη, σε κλίμακα ανά 30° (USGS, Astrogeology Science Center).
- ένα γραμμικό διανυσματικό αρχείο, παγκόσμιας κλίμακας, όπου απεικονίζει γεωμορφές (USGS, Astrogeology Science Center).
- ένα γραμμικό διανυσματικό αρχείο, παγκόσμιας κλίμακας, όπου απεικονίζει το υδρογραφικό δίκτυο (USGS, Planetary GIS Web Server - PIGWAD, Mars Downloads).
- ένα σημειακό διανυσματικό αρχείο, παγκόσμιας κλίμακας, όπου εμπεριέχει τα τοπωνύμια των περιοχών του πλανήτη (USGS, NASA, International Astronomical Union, Gazetteer of Planetary Nomenclature).
- ένα αρχείο τύπου CSV, παγκόσμιας κλίμακας, όπου εμπεριέχει τις γεωγραφικές συντεταγμένες, το βάθος και επιπρόσθετα χαρακτηριστικά για τους κρατήρες πρόσκρουσης (Mars Crater Database Search).

5.3. Διόρθωση Δεδομένων

Ένα σύνηθες πρόβλημα όπου εμφανίζεται σε δεδομένα τα οποία λαμβάνονται από διαφορετικές πηγές είναι ότι δεν διαθέτουν το ίδιο σύστημα αναφοράς και τις ίδιες μονάδες.

Κάτι τέτοιο ισχύει και για τα προαναφερθέντα δεδομένα τα οποία έχουν σύστημα αναφοράς το «D_Mars_2000_Sphere» και ως μονάδα «decimal degrees» (dd). Το υδρογραφικό δίκτυο, αντίθετα, φέρει άλλο σύστημα και διαφορετικές μονάδες. Το προβολικό του υδρογραφικού δικτύου είναι το «Mars2000 Equidistant Cylindrical clon0» ενώ οι μονάδες «meters» (m).

Σε μεταγενέστερα βήματα, απαιτείται ο υπολογισμός κάποιων αποστάσεων, οι οποίες είναι δοσμένες σε χιλιόμετρα, άρα είναι θεμιτό οι μονάδες των δεδομένων να είναι σε μέτρα ώστε να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί αυτοί.

Για την μετατροπή αυτή, έγινε εισαγωγή του διανυσματικού αρχείου του υδρογραφικού δικτύου στο πρόγραμμα, το οποίο καταχωρεί ως προβολικό σύστημα εργασίας και μονάδες, αυτά του υδρογραφικού δικτύου, δηλαδή το «Mars2000 Equidistant Cylindrical clon0» και «meters» (m). Έπειτα, γίνεται εισαγωγή και των υπόλοιπων αρχείων, διανυσματικών και ψηφιδωτών, με σκοπό την εξαγωγή τους, ώστε να γίνει η αλλαγή του προβολικού συστήματος. Για τα αρχεία των τοπωνυμίων και των κρατήρων, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες παραπάνω λειτουργίες για την διόρθωσή τους.

Στο αρχείο των τοπωνυμίων, αν και είναι σε διανυσματική μορφή, οι συντεταγμένες του, και πιο συγκεκριμένα το γεωγραφικό του μήκος, δεν είναι καθορισμένο όπως στα υπόλοιπα αρχεία. Στα υπόλοιπα θεματικά επίπεδα το γεωγραφικό μήκος έχει ένα εύρος από -180° έως $+180^{\circ}$, ενώ το εύρος των τοπωνυμίων εκτείνεται από 0° έως 360° , με αποτέλεσμα τα σημεία να είναι μετατοπισμένα κατά 180° ανατολικότερα. Η αλλαγή των συντεταγμένων έγινε με την εισαγωγή ενός νέου πεδίο στον πίνακα του αρχείου, με σκοπό τον επανυπολογισμό του γεωγραφικού μήκους. Μέσω της λειτουργίας «Field Calculator» γίνεται η αλλαγή των τιμών αφαιρώντας από το 180 τις τιμές του κεντρικού γεωγραφικού μήκους που εμπεριέχονται σε ένα άλλο πεδίο του πίνακα. Έπειτα, με την λειτουργία «Add XY Data», ορίζοντας ως x την παραχθείσα στήλη και ως y την προϋπάρχουσα στήλη του κεντρικού γεωγραφικού πλάτους, επαναπροσδιορίζονται τα σημεία των τοπωνυμίων.

Όσον αφορά το αρχείο των κρατήρων πρόσκρουσης, εισάγεται στο πρόγραμμα, αλλά έχει την μορφή πίνακα, καθώς ο τύπος του είναι CSV. Για την μετατροπή του σε σημειακό διανυσματικό αρχείο γίνεται ξανά η χρήση της λειτουργίας «Add XY Data», ορίζοντας τις

ανάλογες στήλες που εμπεριέχει το αρχείο, ως τιμές x και y, αντίστοιχα.

Ύστερα, και από αυτή την προ-επεξεργασία, θα πρέπει το σύνολο των αρχείων αυτών να εξαχθεί ώστε να γίνει αλλαγή των μονάδων και του προβολικού τους συστήματος. Με την λειτουργία «Export Data», γίνεται εξαγωγή των δεδομένων διαδοχικά για κάθε αρχείο, όπου κατά την εξαγωγή τους, στην ερώτηση «Use the same coordinate system as» γίνεται η επιλογή «the data frame». Για την εξαγωγή του DEM, γίνονται κάποιες επιπρόσθετες αλλαγές, όπως στον τύπο του αρχείου όπου από TIFF ορίζεται σε GRID, τον ορισμό του κελιού σε 200 m έναντι της προκαθορισμένης τιμής.

Έπειτα από όλες αυτές τις μετατροπές, τα αρχεία που παράχθηκαν από την λειτουργία «Export Data», είναι έτοιμα να περικοπούν, ώστε να εξαχθούν μόνο οι πληροφορίες που αφορούν την περιοχή μελέτης που έχει προκαθοριστεί. Για να γίνει αυτό το βήμα αρχικά θα πρέπει να οριστεί μια επιφάνεια όπου θα οριοθετεί χωρικά την περιοχή μελέτης. Από το διανυσματικό αρχείο που περιέχει τα τετράγωνα με τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη, γίνεται η επιλογή των τετραγώνων που καλύπτουν την περιοχή μελέτης, μέσω της λειτουργίας «Select By Location». Έπειτα, εκτελείται η λειτουργία «Export Data», ώστε να παραχθεί ένα καινούργιο διανυσματικό αρχείο, το οποίο θα εμπεριέχει μόνο τα τετράγωνα που καλύπτουν την περιοχή μελέτης.

Τα διανυσματικά αρχεία περικόπηκαν με την χρήση του εργαλείου «Clip», βάσει του διανυσματικού αρχείου της περιοχής μελέτης. Για την περικοπή του DEM, ακολουθήθηκε διαφορετική διαδικασία. Από τις ρυθμίσεις του «Environments», ορίζεται ως «Processing Extent», το διανυσματικό αρχείο της περιοχής μελέτης, ενώ στο «Raster Analysis», ορίζεται το μέγεθος του κελιού βάσει του DEM και ως «Mask» ορίζεται το διανυσματικό αρχείο της περιοχής μελέτης. Βάσει αυτών των αλλαγών των ρυθμίσεων, με το εργαλείο «Raster Calculator», παράγεται ένα νέο DEM, το οποίο περιορίζεται αποκλειστικά στην περιοχή μελέτης.

Πλέον όλα τα αρχεία, φέρουν το ίδιο προβολικό σύστημα, τις ίδιες μονάδες και περιορίζονται αποκλειστικά και μόνο στην περιοχή μελέτης, καθιστώντας τα συγκρίσιμα μεταξύ τους.

5.4. Επεξεργασία και Παραγωγή Δεδομένων

Όλος αυτός ο όγκος δεδομένων, αποτελεί ένα πολύ καλό σημείο εκκίνησης για την παραγωγή πληροφορίας, η οποία δεν ήταν διαθέσιμη. Στην συνέχεια του παρόντος υποκεφάλαιου αναλύονται τα εργαλεία και ο τρόπος παραγωγής τέτοιου είδους πληροφορίας, με την χρήση των δεδομένων, τα οποία αφορούν αποκλειστικά την περιοχή μελέτης.

Ίσως από τις πιο ενδιαφέρουσες γεωμορφές της περιοχής, και του πλανήτη γενικότερα, είναι οι κρατήρες πρόσκρουσης. Για την απεικόνιση τους και την εξαγωγή πληροφοριών, ακολουθηθήκαν κάποια βασικά βήματα. Ο πίνακας του σημειακού διανυσματικού αρχείου, πέραν των συντεταγμένων των σημείων, περιλαμβάνει και πεδία που περιέχουν την διάμετρό τους, το βάθος τους, τις ακτίνες απόθεσης υλικού (ejecta) και κάποια περιγραφικά στοιχεία. Τα αριθμητικά αυτά στοιχεία, λόγω του μεγέθους των γεωμορφών είναι καταχωρημένα με μονάδα μέτρησης τα χιλιόμετρα. Η μονάδα χαρτογράφησης, έπειτα από τις μετατροπές, είναι τα μέτρα. Άρα, κρίνεται απαραίτητη η μετατροπή των πεδίων αυτών, ώστε να αποδοθούν χωρικά.

Για την χωρική απεικόνιση των κρατήρων, γίνεται η παραδοχή ότι αποτελούν ως γεωμορφές, τέλειοι κύκλοι, ώστε να μπορέσουν να αναπαρασταθούν μέσω του εργαλείου «Buffer». Το συγκεκριμένο εργαλείο απαιτεί ως στοιχείο εισόδου την ακτίνα βάσει της οποίας θα παράξει τις επιφάνειες, άρα θα πρέπει να επεξεργαστεί το πεδίο που εμπεριέχει την διάμετρο των κρατήρων ώστε να παραχθούν έγκυρα αποτελέσματα. Έτσι, στον πίνακα του αρχείου γίνεται προσθήκη ενός πεδίου, στο οποίο μέσω της λειτουργίας «Field Calculator», καταχωρείται η τιμή της ακτίνας η οποία έχει προκύψει από την διαίρεση της διαμέτρου διά το 2 και τον πολλαπλασιασμό της με το 1.000, ώστε να γίνει μετατροπή από χιλιόμετρα σε μέτρα. Ανάλογη διαδικασία ακολουθείται και για τις τιμές του βάθους και των τριών ακτίνων απόθεσης υλικού, με την μόνη διαφορά ότι δεν γίνεται διαίρεση των τιμών με το 2, αλλά μόνο ο πολλαπλασιασμός για την αλλαγή των μονάδων. Έπειτα από αυτές τις μετατροπές, γίνεται η χρήση του εργαλείου «Buffer», όπου υπολογίζονται κυκλικές ζώνες με βάσει την ακτίνα του κρατήρα και των ακτίνων των ζωνών απόθεσης, παράγοντας έτσι, τέσσερα νέα πολυγωνικά διανυσματικά αρχεία. Όσον αφορά τα πεδία του βάθους και της ακτίνας των κρατήρων, επαναχρησιμοποιήθηκαν με σκοπό την απεικόνισή τους, σε σχέση με τον χώρο. Μέσω του εργαλείου «Point Density», παράγεται μια ψηφιδωτή επιφάνεια η οποία χωρίζεται σε ζώνες,

ανάλογα με την πυκνότητα των σημείων τα οποία ομαδοποιούνται βάσει ενός παράγοντα. Με την χρήση του εργαλείου αυτού παράγονται δύο τέτοιες επιφάνειες, οι οποίες αναπαριστούν την πυκνότητα των κρατήρων βάσει του βάθους τους και με βάση την ακτίνα τους, αντίστοιχα. Για την ομαλότερη αποτύπωση των ζωνών, κατά την χρήση του εργαλείου, χρησιμοποιείται ένας "πολλαπλασιαστής", ορίζοντας στο πεδίο «Radius», την τιμή 1.000.

Πέραν, των αριθμητικών στοιχείων του πίνακα, γίνεται αξιοποίηση και κάποιων περιγραφικών δεδομένων του. Εντός του υπάρχει ένα πεδίο όπου φέρει στοιχεία για την μορφολογία του κρατήρα. Περιέχοντας αρκετές υποκατηγορίες, οι οποίες δεν αναφέρονται σε προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας, λόγω των λεπτομερών τεχνικών στοιχείων τους, είναι θεμιτή μια απλοποίηση των υποκατηγοριών αυτών. Έτσι, με την εισαγωγή ενός καινούργιου πεδίου παράγονται τρεις βασικές κατηγορίες, ενώ η επιλογή των εγγραφών του πίνακα γίνεται μέσω της λειτουργίας «Select By Attributes». Στην πρώτη εντάσσονται οι εγγραφές όπου περιέχουν εντός της περιγραφικής τους πληροφορίας τον γραμματικό συνδυασμό «Crx», ο οποίος αντιπροσωπεύει κρατήρες σύνθετης δομής, ενώ η νέα τιμή που καταχωρείται στο πεδίο για αυτές εγγραφές είναι «Complex crater». Στην δεύτερη εντάσσονται οι εγγραφές όπου περιέχουν εντός της περιγραφικής τους πληροφορίας τον γραμματικό συνδυασμό «Smp», ο οποίος αντιπροσωπεύει κρατήρες απλής δομής, ενώ η νέα τιμή που καταχωρείται στο πεδίο για αυτές εγγραφές είναι «Simple crater». Τέλος, οι εγγραφές του δεν φέρουν κανέναν από τους παραπάνω γραμματικούς συνδυασμούς, καταχωρούνται στο πεδίο ως «Unknown».

Μια γεωμορφή όπου απαντάται έντονα στην περιοχή μελέτης είναι το υδρογραφικό δίκτυο. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, υπάρχει ένα αρχείο όπου εμπεριέχει το υδρογραφικό δίκτυο, αλλά είναι ελλιπές. Βάσει του παγκόσμιου γεωλογικού χάρτη του 2014 της Αμερικανικής Γεωλογικής Υπηρεσίας (USGS, Tanaka et al., 2014, Geologic Map of Mars), στην περιοχή μελέτης υπάρχουν μεγάλα κανάλια εκροής στα βόρεια και ανατολικά, τα οποία δεν υπάρχουν ως εγγραφές στο προϋπάρχον αρχείο. Η πιθανότερη αιτία της παράληψης αυτής είναι το γεγονός ότι τα συγκεκριμένα κανάλια απορροής, έχουν παραχθεί μέσω αναπάντεχης ανάβλυσης υπογείων υδάτων, και όχι μέσω επιφανειακής διάβρωσης όπως οι κλάδοι του αρχείου. Έτσι, βάσει των παραπάνω στοιχείων, έγινε ψηφιοποίηση των καναλιών αυτών, δημιουργώντας ένα καινούργιο γραμμικό διανυσματικό αρχείο, μέσω του «ArcCatalog», όπου

ορίζεται ο τύπος του αρχείου και το προβολικό σύστημά του, με σκοπό να συμπεριληφθούν αυτά τα στοιχεία στην μελέτη, ως το κύριο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Η ψηφιοποίηση των δεδομένων έγινε μέσω της λειτουργίας «Editor».

Για την κατανόηση της επικρατούσας κατάστασης στην περιοχή μελέτης, κάποιες φορές το DEM δεν είναι αρκετό. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η παραγωγή των ισοϋψών καμπυλών της περιοχής. Η ενέργεια αυτή πραγματοποιείται με το εργαλείο «Contour», όπου εισάγει ως δεδομένα το DEM, ορίζοντας ως εντολή την παραγωγή ισοϋψών καμπυλών ανά 1.000 m. Η διάσταση αυτή καθορίζεται με γνώμονα την έκταση της περιοχής. Οποιαδήποτε άλλη τιμή, θα προκαλούσε συμφόρηση γραμμών, στο τελικό αποτέλεσμα. Από το υψομετρικό εύρος που καλύπτουν τα κελιά του DEM, είναι εμφανές πως υπάρχουν και κελιά τα οποία φέρουν την τιμή μηδέν. Οι τιμές αυτές αναπαριστούν μια παλαιό-ακτή. Για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου γεωμορφολογικού χάρτη απαιτείται η εξαγωγή μιας τέτοιας πληροφορίας. Με την λειτουργία «Select By Attributes», γίνεται η επιλογή από το πεδίο του πίνακα των ισοϋψών καμπυλών, οι εγγραφές που φέρουν την τιμή μηδέν. Έπειτα, μέσω της λειτουργίας «Export Data», γίνεται εξαγωγή των εγγραφών αυτών, με σκοπό την παραγωγή ενός νέου γραμμικού διανυσματικού αρχείου, όπου φέρει τις εγγραφές που αντιπροσωπεύουν την ακτογραμμή.

Ίσως το πιο αντιπροσωπευτικό στοιχείο της περιοχής μελέτης είναι το μεγάλο φαράγγι Valles Marineris. Το συγκεκριμένο φαράγγι, είναι ένα πολύπλοκο σύστημα, το οποίο αποτελείται από πολλαπλές τάφρους και κέρατα, τα οποία έχουν παραχθεί από αλληπάλληλες ρηγματώσεις που καταπονούν την περιοχή. Οι υψομετρικές αυτές ασυνέχειες, σε έναν γεωμορφολογικό χάρτη θα πρέπει να απεικονιστούν με γραμμικά σύμβολα. Δυστυχώς, μια τέτοια πληροφορία δεν ήταν διαθέσιμη, άρα θα πρέπει να παραχθεί. Πως όμως είναι εφικτός ο προσδιορισμός της υψομετρικής αυτής ασυνέχειας; Ο καλύτερος τρόπος είναι ο προσδιορισμός τους, μέσω των κλίσεων της επιφάνειας. Για τον υπολογισμό τους γίνεται χρήση του εργαλείου «Slope», το οποίο δέχεται ως δεδομένα εισόδου το DEM της περιοχής, ενώ παράγει ως αποτέλεσμα μια ψηφιδωτή επιφάνεια, όπου η κάθε ψηφίδα περιέχει μια τιμή κλίσης επί τις εκατό (%), η οποία έχει παραχθεί σε σχέση με τις τιμές των γειτονικών ψηφίδων. Οι μεγαλύτερες κλίσεις εντοπίζονται στις πλαγιές του Valles Marineris. Άρα, για την παραγωγή των γραμμικών αυτών στοιχείων, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα γραμμικό διανυσματικό

αρχείο μέσω του «ArcCatalog», όπου ορίζεται ο τύπος του αρχείου και το προβολικό σύστημά του, ενώ η ψηφιοποίηση των δεδομένων έγινε μέσω της λειτουργίας «Editor».

Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο ενός γεωμορφολογικού χάρτη, είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί, ο τύπος τους καθώς και οι ηλικίες τους. Αυτή η πληροφορία έχει συλλεχθεί, αν και χαρακτηρίζεται από ελλείψεις. Ο πίνακας του πολυγωνικού διανυσματικού αρχείου που εμπεριέχει την γεωλογία της περιοχής, εμπεριέχει μόνο δυο πεδία πληροφορίας, την ονοματολογία των γεωλογικών σχηματισμών και τον συμβολισμό τους. Ο συμβολισμός των γεωλογικών σχηματισμών, εμπεριέχει εσωτερικά και τον συμβολισμό της χρονικής περιόδου δημιουργίας του. Πιο συγκεκριμένα, το γράμμα «Α» σε έναν συμβολισμό, αντιπροσωπεύει την γεωλογική περίοδο «Amazonian». Αντίστοιχα, το γράμμα «Η» την περίοδο «Hesperian», το γράμμα «Ν» την περίοδο «Noachian», ενώ οι συνδυασμοί δυο κεφαλαίων, όπως «ΑΗ» και «ΗΝ», αντιπροσωπεύουν τις μεταβατικές ζώνες «Amazonian-Hesperian» και «Hesperian-Noachian», αντίστοιχα. Για τους σχηματισμούς που δεν αναγράφεται κάποιο κεφαλαίο γράμμα, δεν έχει αποσαφηνιστεί η γεωλογική τους ηλικία. Για μετέπειτα ερμηνευτικούς λόγους, παραθέτεται πίνακας με την ονοματολογία και τον συμβολισμό των γεωλογικών σχηματισμών. Στο συγκεκριμένο αρχείο, έγινε κατηγοριοποίηση των τιμών μέσω της επιλογής «Properties», όπου στην καρτέλα «Symbology», επιλέγεται «Categories/Unique Values», με βάσει το πεδίο που εμπεριέχει την ονοματολογία των γεωλογικών σχηματισμών. Παρόλα αυτά, από το αρχείο λείπουν οι πληροφορίες των μετα-δεδομένων, όπως ο τύπος των σχηματισμών, οι οποίες προστίθενται μετέπειτα, κατά την απεικόνιση των δεδομένων. Τέλος με ανάλογη διαδικασία κατηγοριοποιήθηκαν και οι γραμμικές γεωμορφές, χαρτογραφημένες από την USGS, βάσει του πεδίου του πίνακα, το οποίο εμπεριέχει τον τύπο τους.

Όλα τα παραπάνω επίπεδα πληροφορίας, απεικονίζονται σε έναν τελικό γεωμορφολογικό χάρτη, ώστε να είναι σε θέση να ερμηνευθούν συνδυαστικά οι γεωμορφές.

Πίνακας 2: Ονοματολογία των γεωλογικών αποθέσεων και ο συμβολισμός τους (πηγή: I1802ABC_geology_equidistcyl).

Όνομα Γεωλογικού Σχηματισμού	Συμβολισμός	Όνομα Γεωλογικού Σχηματισμού	Συμβολισμός
Arcadia Formation, member 1	Aa1	older chaotic material	Hcht
Arcadia Formation, member 4	Aa4	older flood-plain material	Hchp
Syria Planum Formation, lower member	Hsl	plateau sequence, cratered unit	Npl1
Syria Planum Formation, upper member	Hsu	plateau sequence, dissected unit	Npld
Tharsis Montes Formation, member 2	Ht2	plateau sequence, hilly unit	Nplh
Tharsis Montes Formation, member 4	At4	plateau sequence, ridged unit	Nplr
Tharsis Montes Formation, member 5	At5	plateau sequence, smooth unit	Hpl3
Valles Marineris Interior Deposits, floor material	Avf	plateau sequence, subdued cratered unit	Npl2
Valles Marineris Interior Deposits, layered material	Hvl	ridged plains material	Hr
highly-deformed terrain materials, basement complex	Nb	slide material	As
highly-deformed terrain materials, older fractured material	Nf	tear-drop shaped bar or island	b
impact crater material, partly buried	cb	undivided material	HNu
impact crater material, smooth floor	s	volcano, relative age unknown	v
impact crater material, superposed	cs	younger fractured material	Hf
older channel material	Hch		

5.5. Απεικόνιση Δεδομένων

Αν και η χαρτογραφική απεικόνιση των παραχθέντων δεδομένων, φαίνεται μια απλή διαδικασία, επί της ουσίας δεν είναι. Θα πρέπει ο χαρτογράφος να εξασφαλίσει ότι η πληροφορία η οποία θέλει να μεταλαμπαδεύσει στον παραλήπτη, είναι κατανοητή. Για την βέλτιστη απεικόνιση των πληροφοριών, έγιναν κάποιες περαιτέρω επεξεργασίες.

Αν και έχουν συλλεχθεί όλα τα δεδομένα, το να παρουσιαστούν σε ένα λευκό φόντο, τα καθιστά αυτομάτως δυσανάγνωστα. Για την αποφυγή ενός τέτοιου γεγονότος, μέσω του εργαλείου «hillshade», παράχθηκε η σκίαση του αναγλύφου μια ψηφιδωτή επιφάνεια, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισόδου το DEM, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως υπόβαθρο για την καλύτερη οπτικοποίηση των δεδομένων. Για να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, έγινε χρήση του εργαλείου «Effects», με το οποίο έγινε τροποποίηση της διαφάνειας, της φωτεινότητας και της αντίθεσης αυτού του επιπέδου.

Οι αποχρώσεις συμβολισμού των δεδομένων έγιναν με γνώμονα την φύση των γεωμορφών, είτε αυτές είναι γραμμικές είτε είναι επιφάνειες. Για την απεικόνιση των τάφρων και των κεράτων, έγινε μια περαιτέρω επεξεργασία του συμβολισμού, στον οποίο προστέθηκαν και σημειακά σύμβολα τριγωνικής δομής, τα οποία δείχνουν την φορά της υψομετρικής ασυνέχειας.

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, γίνεται αναφορά για την έλλειψη πληροφοριών, οι οποίες αφορούν τον τύπο των γεωλογικών σχηματισμών. Η πληροφορία αυτή των μετα-δεδομένων εμπεριέχεται σε μορφή ιστοσελίδας, εντός των αρχείων των οποίων λήφθηκαν από την USGS (I1802ABC_geology_equidistcyl). Από την παρούσα ιστοσελίδα έγινε η συλλογή των πληροφοριών που αφορούν την περιοχή μελέτης, οι οποίες συμπτύχθηκαν, στις απολύτως απαραίτητες περιγραφές για τον εκάστοτε σχηματισμό. Η περιγραφική αυτή πληροφορία εισάχθηκε ως κείμενο στο υπόμνημα του συγκεκριμένου χάρτη. Επιπρόσθετα, η επιλογή των χρωματισμών των γεωλογικών σχηματισμών, έγινε βάσει ενός αρχείου txt όπου εμπεριέχεται και αυτό εντός των δεδομένων. Το αρχείο αυτό εμπεριέχει την κατάλληλη τιμή, για τα πεδία RGB, με σκοπό την παραγωγή των κατάλληλων αποχρώσεων.

Όσον αφορά την παρουσίαση των δεδομένων παγκόσμιας κλίμακας, συντελέστηκαν και εδώ κάποιες επιπρόσθετες ενέργειες. Για τον τοπογραφικό χάρτη χρησιμοποιήθηκε μια χρωματική κλίμακα παράστασης των υψομέτρων, με τα θερμά χρώματα να απεικονίζουν τα υψηλά υψόμετρα, ενώ τα ψυχρά τα χαμηλότερα. Επιπλέον, τα τοπωνύμια εισάχθηκαν μέσω του σημειακού διανυσματικού αρχείου, παγκόσμιας κλίμακας. Το συγκεκριμένο αρχείο εμπεριέχει 1.800 εγγραφές, όπου η χρήση του θα προκαλούσε συμφόρηση στην επιφάνεια του χάρτη. Για τον λόγο αυτό έγινε επιλογή 39 εγγραφών, των πιο αντιπροσωπευτικών για την επιφάνεια του πλανήτη. Οι εγγραφές επιλέχθηκαν μέσω της λειτουργίας «Select By Attributes», από τον πίνακα του αρχείου, και εξάχθηκαν μέσω της λειτουργίας «Export Data», δημιουργώντας ένα νέο σημειακό διανυσματικό αρχείο. Έπειτα, προστέθηκαν ως ετικέτες των σημείων, ενώ για την αφαίρεση των σημείων χρησιμοποιήθηκε η χρωματική επιλογή «No Color», ώστε να είναι ορατές μόνο οι ετικέτες. Τέλος, για την καλύτερη χωροθέτηση των ετικετών, έγινε μετατροπή του αρχείου με την χρήση της λειτουργίας «Convert Features To Graphics», ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν ως κείμενο στην επιφάνεια του χάρτη.

Και στην περίπτωση του παγκόσμιου χάρτη χρονολόγησης των επιφανειών έγιναν κάποιες παραπάνω ενέργειες. Οι επιφάνειες αυτές εμπεριείχαν λεπτομερείς πληροφορίες, ανάλογες με αυτές του χάρτη των γεωλογικών σχηματισμών, της περιοχής μελέτης. Δεδομένου ότι τα στοιχεία αυτά θα απεικονίζονταν σε παγκόσμια κλίμακα δημιουργήθηκε μια απλουστευμένη κατηγοριοποίηση, βασισμένη στους γεωλογικούς χρόνους της εκάστοτε επιφάνειας. Έτσι, δημιουργήθηκε ένα καινούργιο πεδίο στον πίνακα του αρχείου, στο οποίο εισήχθηκαν καινούριες τιμές ανάλογα με τον συμβολισμό των επιφανειών. Πιο συγκεκριμένα, το γράμμα «A» σε έναν συμβολισμό, αντιπροσωπεύει την γεωλογική περίοδο «Amazonian». Αντίστοιχα, το γράμμα «H» την περίοδο «Hesperian», το γράμμα «N» την περίοδο «Noachian», ενώ οι συνδυασμοί δυο κεφαλαίων, όπως «AH» και «HN», αντιπροσωπεύουν τις μεταβατικές ζώνες «Amazonian-Hesperian» και «Hesperian-Noachian», αντίστοιχα. Για τους σχηματισμούς που δεν αναγράφεται κάποιο κεφαλαίο γράμμα, δεν έχει αποσαφηνιστεί η γεωλογική τους ηλικία, άρα η νέα τιμή που εκχωρείται «Unknown». Οι επιλογές των εγγραφών έγινε με την χρήση της λειτουργίας «Select By Attributes», ενώ η εκχώρηση των νέων τιμών, μέσω της λειτουργίας «Field Calculator». Έτσι, έγινε κατηγοριοποίηση με την χρήση του νέου πεδίου, χρησιμοποιώντας την επιλογή «Categories/Unique Values». Τέλος, η απεικόνιση του παγκόσμιου υδρογραφικού δικτύου έγινε, χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο το DEM

παγκόσμιας κλίμακας.

Απαραίτητα στοιχεία ολοκλήρωσης των χαρτών είναι τα υπομνήματα, η προσθήκη τίτλου, κλίμακας και κανάβου. Ο κανάβος της περιοχής μελέτης είναι χωρισμένος ανά 10°, ενώ του παγκόσμιου χάρτη ανά 30°. Τέλος, στους χάρτες της περιοχής μελέτης υπάρχει και ένας ένθετος παγκόσμιος χάρτης όπου προσδιορίζει την περιοχή μελέτης σε παγκόσμια κλίμακα.

Για την καλύτερη οπτικοποίηση των παραγόμενων αποτελεσμάτων, έγινε χρήση του λογισμικού ArcScene 10.2.2, με σκοπό την παρουσίαση των δεδομένων σε τρισδιάστατη μορφή. Τα δεδομένα που αναπαρίστανται σε τρισδιάστατη μορφή είναι το DEM της περιοχής και οι γεωμορφές οι οποίες περιέχονται στον τελικό γεωμορφολογικό χάρτη. Λόγω της μεγάλης επιφάνειας της περιοχής μελέτης, οι υψομετρικές διαφορές δεν είναι ευκρινείς. Για τον λόγο αυτό παράχθηκαν και κάποια για την περιοχή αντιπροσωπευτικά, τοπογραφικά προφίλ, με την χρήση του εργαλείου «3D Analyst», μέσω του λογισμικού ArcMap 10.2.2, με την χρήση του DEM.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας είναι αρκετά και πολυσύνθετα, καθώς εμπεριέχουν γεωμορφές σύνθετες μεταξύ τους, οι οποίες χαρακτηρίζονται από διαφορετικές γεωλογίες και γεωλογικούς χρόνους. Στις μετέπειτα παραγράφους παρουσιάζονται ερμηνευτικές παρατηρήσεις για τα αποτελέσματα αυτά. Οι παρατηρήσεις αυτές αφορούν τους χάρτες που παραθέτονται στο Παράρτημα Β'.

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από αρκετά μεγάλες υψομετρικές διαφορές, παρόλα αυτά οι κλίσεις που παρουσιάζει είναι αρκετά ήπιες. Το μεγαλύτερο τμήμα της χαρακτηρίζεται από μηδαμινές κλίσεις, ενώ οι μεγαλύτερες κλίσεις της, οι οποίες ξεπερνούν σε ποσοστό το 60%, εντοπίζονται στις πλαγιές του φαραγγιού Valles Marineris. Για την καλύτερη κατανόηση των κλίσεων αυτών αξίζει να σημειωθεί ότι, οι ισοϋψείς καμπύλες παρόλο που έχουν ισοδιάσταση 1000 m, εμφανίζουν μια τέτοια πυκνότητα όπου δεν είναι ευδιάκριτες στις πλαγιές του φαραγγιού. Μεγαλύτερη πυκνότητα παρουσιάζουν στα βόρεια του φαραγγιού. Αυτό οφείλεται στο πλήθος των ρηγμάτων που φέρει το συγκεκριμένο τμήμα, όπου δεν διατρέχεται μόνο από ρήγματα με προσανατολισμό βορειοδυτικό-νοτιοανατολικό, όπως στο υπόλοιπο τμήμα του φαραγγιού, αλλά και από κάθετα ρήγματα βόρειου-νότιου προσανατολισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τις τεκτονικές καταπονήσεις της περιοχής, άρα και την παρουσία πυκνότερων ισοϋψών καμπυλών. Οι τάφροι και τα κέρατα, οφείλονται στην έντονη τεκτονική δράση της περιοχής, η οποία με την σειρά της πιθανώς σχετίζεται με την εγγύτητα της περιοχής με το ηφαιστειακό σύμπλεγμα Tharsis. Η καταπόνηση αυτή δεν έχει προέλθει μόνο από τεκτονικά φαινόμενα, αλλά και από την υδατική δράση. Στο ανατολικό και το δυτικό τμήμα του φαραγγιού, απαντώνται και δευτερεύοντες κλάδοι υδρογραφικού δικτύου. Οι κλάδοι αυτοί αν και παρουσιάζουν στοιχεία οπισθοδρομούσας διάβρωσης, δεν εμφανίζουν περαιτέρω ανάπτυξη καθώς ορίζονται χρονολογικά κατά την Hesperian περίοδο, η τελευταία περίοδος στην γεωλογική ιστορία του Άρη όπου χαρακτηρίζεται από τρεχούμενο νερό. Η ποτάμια δράση, είναι υπεύθυνη για την παραγωγή των τριγωνικών δομών στις πλευρές του, όχι μόνο στις περιοχές αυτές όπου διατρέχονται από τα δίκτυα αυτά, αλλά στο σύνολο των πλαγιών, όπου πιθανόν να οφείλεται σε παλαιότερους κλάδους. Το πλήθος των δράσεων αυτών είναι υπεύθυνο και για τις αποθέσεις που απαντώνται στην περιοχή αυτή. Στο

δάπεδο των τάφρων, οι κυριότερες αποθέσεις είναι ηφαιστειακής φύσεως ή λασποροές Hesperian περιόδου, και αποθέσεις αιολικές, ποτάμιες, ηφαιστειακές ή λασποροές που εντάσσονται χρονικά στην Amazonian περίοδο. Η γεωλογία που χαρακτηρίζει τα τοιχώματα του Valles Marineris είναι υπολειμματικοί σχηματισμοί απόθεσης και διάβρωσης, απροσδιόριστης ηλικίας. Δεδομένου ότι οι αποθέσεις εντός των δαπέδων των τάφρων είναι χρονολογικά νεότερων περιόδων, συμπεραίνεται ότι οι αποθέσεις περιφερειακά του συστήματος αυτού θα είναι παλαιότερες. Πράγματι, οι παλαιότερες αποθέσεις είναι της Noachian περιόδου, στο κεντρικό τμήμα του φαραγγιού και στα ανατολικά του, οι οποίες ορίζονται ως ροές λάβας, αιολικές αποθέσεις ή ιζηματογενείς αποθέσεις. Παρόμοια πετρώματα εντοπίζονται στα βορειοανατολικά και βορειοδυτικά, όπου χρονολογικά ανήκουν στην Hesperian περίοδο, και ορίζονται ως ροές λάβας και ιζηματογενείς αποθέσεις. Στην ίδια χρονολογική περίοδο εντάσσονται και αποθέσεις στα βορειοδυτικά όπου ορίζονται ως ανυψωμένες περιοχές οι οποίες φέρουν τεκτονικά στοιχεία.

Πέραν του μεγάλου φαραγγιού Valles Marineris, στην περιοχή απαντώνται και μικρότερες δομές τάφρων, καθώς και γεωμορφές wrinkle ridges. Το σύνολο των τάφρων αυτών συγκεντρώνονται περιφερειακά του φαραγγιού Valles Marineris, όπου έχουν και την ίδια κατεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Οι τάφροι του βορρά και του νότου, χαρακτηρίζονται από διαφορετικό προσανατολισμό, οι βόρειες έχουν κατεύθυνση νοτιοδυτική-βορειοανατολική, ενώ αντίθετα οι νότιες έχουν κατεύθυνση βορειοδυτική-νοτιοανατολική. Οι διαφορές του προσανατολισμού και το ακτινωτό αυτό μοτίβο που παρουσιάζουν οφείλονται στην ανάπτυξη του ηφαιστειακού συμπλέγματος Tharsis. Οι περισσότερες τάφροι χαρακτηρίζονται ως αδιαίρετες (undifferentiated), δηλαδή έχουν μια χωρική συνέχεια, δεν διαιρούνται από άλλες διεργασίες. Οι τάφροι στα βόρεια του Valles Marineris υπερκαλύπτουν επιφάνειες που χαρακτηρίζονται ως ανυψωμένες με αρκετά τεκτονικά στοιχεία και χρονολογούνται κατά την Hesperian περίοδο, ενώ στην ίδια περίοδο εντάσσονται και οι νότιες τάφροι του, όπου η επιφάνειά τους αντίθετα χαρακτηρίζεται ως ροές λάβας χαμηλού ιξώδους με τεκτονικά στοιχεία. Αντίθετα, στα κεντρικά και βόρεια του Valles Marineris τα υποκείμενα πετρώματα χρονολογικά εντάσσονται στην Noachian περίοδο, ενώ αποτελούν ένα συνονθύλευμα από ροές λάβας, αιολικές ή ιζηματογενείς αποθέσεις. Πέραν των τεκτονικών γεωμορφών, έντονα είναι και τα wrinkle ridges. Ο προσανατολισμός που φέρουν είναι νότιος-βόρειος, ενώ σε ορισμένα σημεία συναντιούνται κάθετα με τάφρους. Ο προσανατολισμός τους αυτός οφείλεται

στην ανάπτυξη του συμπλέγματος Tharsis, το οποίο δημιουργεί περιφερειακά του πιέσεις του φλοιού, οι οποίες οδηγούν στην άνοδο μαγματικού υλικού και στην δημιουργία των wrinkle ridges. Οι επιφάνειες στις οποίες διατρέχουν οι γεωμορφές αυτές χρονολογούνται ως Hesperian περιόδου, αποτελούμενες από ροές λάβας χαμηλού ιξώδους, πράγμα που συνάδει με την φύση των γεωμορφών αυτών.

Έντονη είναι και η παρουσία του υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή. Το υδρογραφικό δίκτυο χωρίζεται σε δυο κατηγορίες, στα μεγάλα κανάλια απορροής (κύριο υδρογραφικό δίκτυο) και σε ένα δευτερεύον υδρογραφικό δίκτυο. Τα μεγάλα αυτά κανάλια απορροής εντοπίζονται στα βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης, ενώ στα βόρεια απαντάται το μεγαλύτερο κανάλι του πλανήτη, το Kasei Valles. Τα κανάλια απορροής είναι επιμήκεις κλάδοι, όπου στα ανάντη η δομή του προσομοιάζει αυτή των παράλληλων δικτύων, ενώ στα κατόντη παρουσιάζουν στοιχεία αναστομωμένου δικτύου με πλήθος ποτάμιων νησίδων. Η συγκεκριμένη δομή οφείλεται σε δυο πιθανούς παράγοντες, στην έντονη τεκτονική δράση της περιοχής μελέτης και στην γενεσιουργό αιτία των καναλιών αυτών, όπου είναι η αναπάντεχη ανάβλυση μεγάλης ποσότητας υπόγειων υδάτων. Η πληθώρα των τεκτονικών μορφών στην περιοχή δεν συγκεντρώνεται περιφερειακά στα δίκτυα αυτά, αλλά ακόμα και οι κοντινές σε αυτά συγκλίνουν κάθετα με τα δίκτυα. Έτσι, πιθανότερη αιτία της δομής τους είναι ο τρόπος δημιουργίας τους και όχι ο τεκτονισμός. Τα γεωλογικά τους χαρακτηριστικά δείχνουν ότι χρονικά τοποθετούνται στην Hesperian περίοδο. Οι αποθέσεις στον πυθμένα των κλάδων αυτών είναι της ίδιας γεωλογικής περιόδου με τις πλευρικές αποθέσεις, όπου οι πλευρικές αποθέσεις αποτελούνται από αλλουβιακό υλικό, παγετωνικούς τιλλίτες ή και ποτάμιες αποθέσεις. Ακόμα παρουσιάζουν επιφάνειες χαοτικού τύπου, κυρίως τα ανατολικά κανάλια. Στα ανάντη απαντώνται διαβρωμένες περιοχές, ενώ στα κατόντη ποτάμιες νησίδες, ενώ και οι δύο αυτές επιφάνειες είναι απροσδιόριστης γεωλογικής περιόδου. Πέραν από τις επιφάνειες χαοτικού εδάφους, στα ανατολικά κανάλια των οποίων οι δομή τους είναι πιο σύνθετη, απαντώνται και μεγάλες επιφάνειες οι οποίες χρονολογούνται ως Noachian περιόδου, και χαρακτηρίζονται ως αποθέσεις έντονων γεγονότων πρόσκρουσης.

Το δευτερεύον υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει μια συσσώρευση στα ανατολικά, και πιο συγκεκριμένα στα νοτιοανατολικά της περιοχής. Η κατανομή αυτή έχει να κάνει με τα υποκείμενα πετρώματα, και πιο συγκεκριμένα, με την γεωλογική περίοδο στην οποία

εντάσσονται. Οι ανατολικοί κλάδοι παρουσιάζουν στοιχεία δενδριτικού δικτύου, το οποίο δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως, καθώς οι υποκείμενες επιφάνειες εντάσσονται χρονολογικά στην Noachian περίοδο, η οποία χαρακτηρίζεται από πρώιμη ποτάμια δραστηριότητα. Οι αποθέσεις αυτές είναι κατά κύριο λόγο, αποθέσεις έντονων γεγονότων πρόσκρουσης και ροές λάβας, αιολικές ή ιζηματογενείς αποθέσεις. Οι κλάδοι αυτοί, κυρίως στα νοτιοανατολικά καταλήγουν σε υπάρχοντες δομές κρατήρα ή παλαιότερους κρατήρες χωρίς διακριτά όρια, λόγω της καταπόνησης τους, όπου θα μπορούσαν να υπάρχουν παλαιό-λίμνες, οι οποίες έχουν παραχθεί από την έκχυση ποτάμιων υδάτων. Οι κλάδοι που εντάσσονται εντός του γεωγραφικού μήκους 50°-70° δυτικά και γεωγραφικού πλάτους 10°-30° νότια, είναι γραμμικοί παράλληλοι κλάδοι οι οποίοι αναπτύσσονται σε μια περιοχή με ήπια κλίση. Και αυτοί οι κλάδοι τοποθετούνται χρονικά στην Noachian περίοδο, με τα υποκείμενα πετρώματα να χαρακτηρίζονται ως ροές λάβας, αιολικές ή ιζηματογενείς αποθέσεις ενώ εικάζεται ότι αποτελούν παλαιά χείλη κρατήρων καταπονημένα από τεκτονικές δράσεις.

Πέραν του υδρογραφικού δικτύου, στον χάρτη αναπαριστάται και η "ακτογραμμή" της περιοχής μελέτης. Στα βορειοανατολικά της ακτογραμμής ορίζεται η περιοχή η οποία καλυπτόταν από νερό, δηλαδή ο θαλάσσιος πυθμένας, ενώ στα νοτιοδυτικά της ακτογραμμής είναι οι επιφάνειες με υψόμετρο μεγαλύτερο του μηδενός, δηλαδή οι χερσαίες περιοχές. Το γεγονός ότι τα μεγάλα κανάλια απορροής του βορρά βρίσκονται κάτω από την συγκεκριμένη θαλάσσια στάθμη, οφείλεται στο γεγονός ότι οι δυο αυτές γεωμορφές εντάσσονται σε διαφορετικές γεωλογικές περιόδους. Ο μεγάλος «Βόρειος Ωκεανός», όπου εικάζεται ότι κάλυπτε το βόρειο ημισφαίριο, τοποθετείται χρονικά κατά την Noachian περίοδο, ενώ τα μεγάλα κανάλια απορροής κατά την ύστερη Hesperian εποχή. Επί της ουσίας τα κανάλια αυτά είναι πολύ μεταγενέστερα του ωκεανού αυτού, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται από ένα πολύ διαφορετικό βασικό επίπεδο σε σχέση με αυτό της Noachian περιόδου.

Το μεγαλύτερο μέρος των κρατήρων απαντώνται στα ανατολικά της περιοχής. Η ανισοκατανομή αυτή οφείλεται στην φύση των υποκείμενων πετρωμάτων. Οι επιφάνειες στα ανατολικά είναι παλαιότερες χρονολογικά, Noachian περιόδου, αποτελούνται από αποθέσεις κρατήρων οι οποίες έχουν παραχθεί από έντονα φαινόμενα πρόσκρουσης και από ροές λάβας, αιολικές ή ιζηματογενείς αποθέσεις. Αντίθετα, οι επιφάνειες στα δυτικά είναι χρονολογικά νεότερες, γιαυτό και οι κρατήρες που απαντώνται εκεί είναι μικρότερης διαμέτρου και

λιγότεροι. Αυτή η κατανομή έχει να κάνει με το γεγονός ότι κατά την Noachian περίοδο ο πλανήτης βαλλόταν από τεράστια γεγονότα πρόσκρουσης τα οποία στις μετέπειτα περιόδους μειώθηκαν δραματικά. Δεδομένου ότι η δυτική πλευρά της περιοχής μελέτης φέρει επιφάνειες νεώτερου γεωλογικά χρόνου, είναι εμφανές ότι υπερκαλύπτουν παλαιότερους κρατήρες, ενώ οι υπερκείμενοι κρατήρες της περιοχής αυτής είναι νεώτεροι σε σχέση με του ανατολικού τμήματος. Στο γεγονός ότι είναι χρονολογικά νεότεροι οι δυτικοί κρατήρες, οφείλεται και η ύπαρξη των ζωνών απόθεσής τους. Οι ζώνες αυτές αντιπροσωπεύουν περιοχές περιφερειακά των κρατήρων πρόσκρουσης, στις οποίες έχουν αποθεθεί υλικά διαφορετικού κοκκομετρικού μεγέθους, με τα χονδρόκοκκα υλικά να αποτίθενται στην ζώνη 1 και τα πιο λεπτόκοκκα στην ζώνη 3. Οι ζώνες αυτές καθώς είναι νεώτερης ηλικίας έχουν διατηρηθεί μέσα στον χρόνο, λόγω του ότι επηρεάστηκαν από λιγότερες διεργασίες σε σχέση με παλαιότερες αποθέσεις κρατήρων. Παράλληλα, απαντώνται στα βόρεια και στα νοτιοανατολικά, κρατήρες οι οποίοι καλύπτονται από αποθέσεις αδιευκρίνιστης ηλικίας. Βάσει της χρονολόγησης ερμηνεύονται και οι πυκνότητες εμφάνισης των κρατήρων. Οι κρατήρες με μεγαλύτερες ακτίνες απαντώνται στα ανατολικά, όπου είναι παλαιότεροι και τα φαινόμενα πρόσκρουσης ήταν μεγάλης κλίμακας, ενώ οι κρατήρες με μεγαλύτερα βάθη απαντώνται στα δυτικά, οι οποίοι είναι νεότεροι παραγμένοι από μικρότερα φαινόμενα πρόσκρουσης, όπου βάσει της ενέργειας πρόσκρουσης παράγονται και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους. Τέλος η πληθώρα των κρατήρων κατηγοριοποιείται ως σύνθετοι κρατήρες, με τους απλούς κρατήρες να εμφανίζονται σποραδικά, αποτελώντας πιθανόν δευτερογενείς κρατήρες, ενώ μεγαλύτεροι και παλαιότεροι κρατήρες ορίζονται ως άγνωστοι σε σχέση με την εσωτερική δομή τους.

Από όλα τα παραπάνω είναι εμφανές ότι η μορφολογία της συγκεκριμένης περιοχής είναι πολυσύνθετη, τόσο σε σχέση με τον χώρο όσο και με τον χρόνο, ενώ χρειάζεται κάτι παραπάνω από μια απλή γεωμορφολογική μελέτη. Οι πληροφορίες οι οποίες εξάχθηκαν από την παρούσα μελέτη, λειτουργούν ως ένα πρώτο στάδιο κατανόησης της περιοχής μελέτης.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΠΙΛΟΓΟΣ

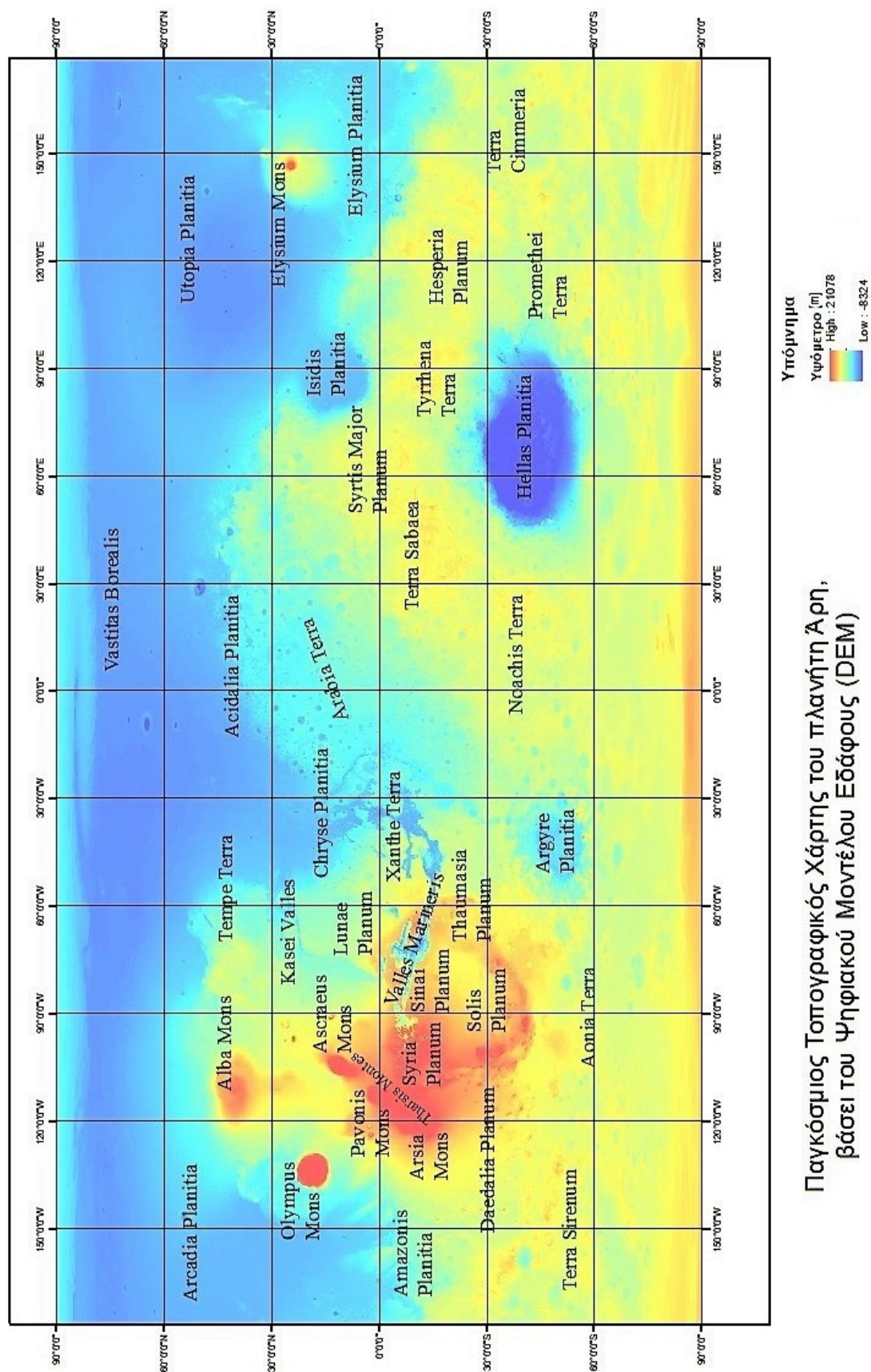
Η εργασία αυτή είχε έναν διπλό στόχο. Ο πρώτος σχετίζεται με την βιβλιογραφική αναζήτηση και παρουσίαση της σύγχρονης γνώσης μας σχετικά με τις συνθήκες που επικρατούν στον πλανήτη Άρη. Ο δεύτερος έχει να κάνει με την εμπειρική ανάλυση και χαρτογράφηση γεωχωρικών δεδομένων για τον πλανήτη Άρη, με έμφαση στην χαρτογράφηση γεωμορφών.

Οι δυσκολίες-προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας είχαν να κάνουν με τον όγκο της πληροφορίας και τις δυσκολίες της επεξεργασίας της, τις εξειδικευμένες γνώσεις, τουλάχιστον σε βασικό επίπεδο, οι οποίες χρειάστηκε να αποκτηθούν, καθώς και η απουσία αποκρυσταλλωμένων κοινά αποδεκτών απόψεων για πολλές από τις διεργασίες οι οποίες συντελέστηκαν και συντελούνται στον κόκκινο πλανήτη. Παρ' όλα αυτά το ερευνητικό ενδιαφέρον είναι αυξημένο, εμπλουτίζοντας συνεχώς τη γνώση μας για τον πλανήτη Άρη. Έτσι στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας επιχειρήθηκε η αξιοποίηση ενός τμήματος από τα διαθέσιμα στοιχεία για τον πλανήτη, με στόχο την παρουσίαση και αρχική άντληση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης από μια γεωγραφική σκοπιά.

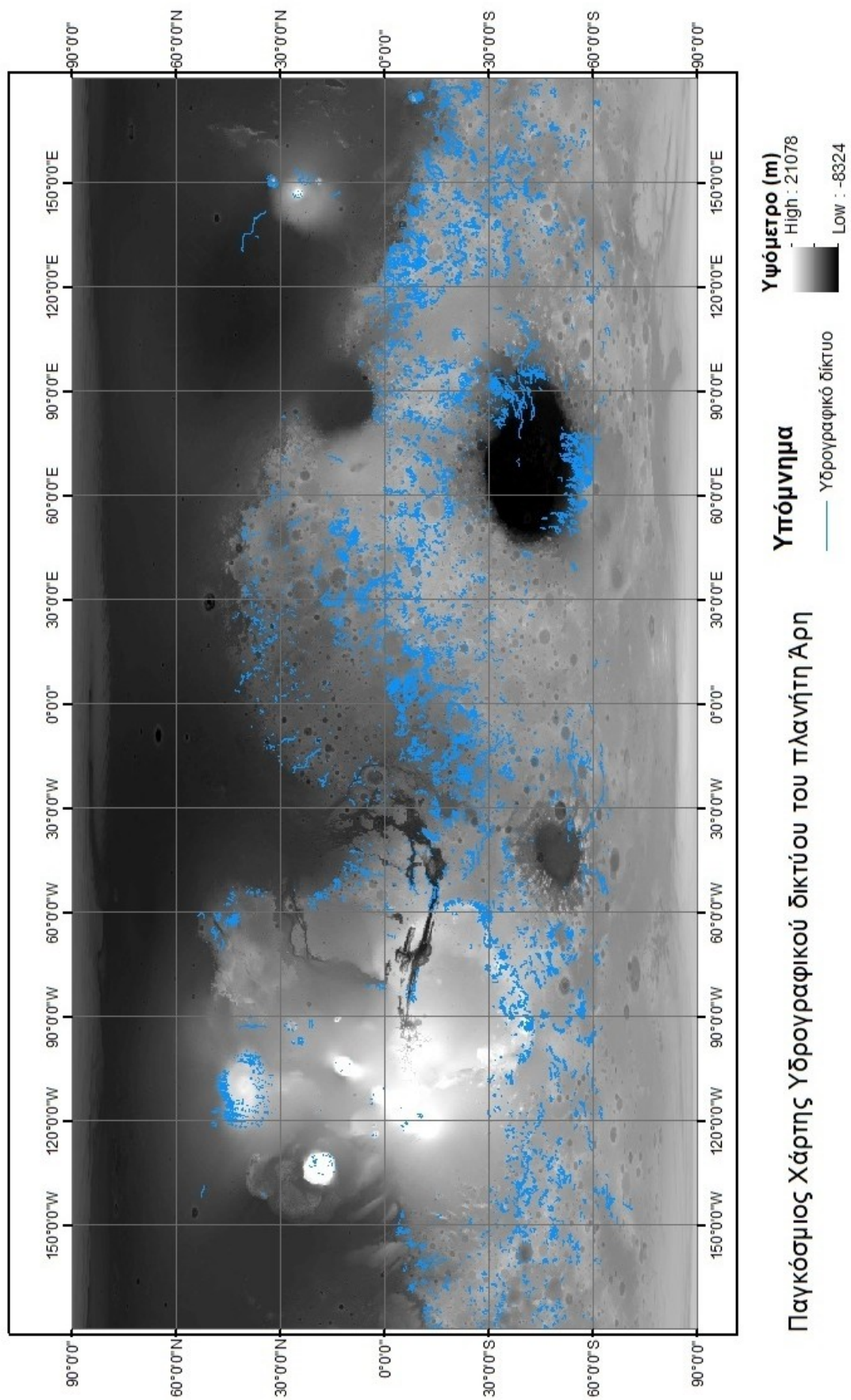
Ποια λοιπόν είναι εν τέλει η χρησιμότητα όλης αυτής της γνώσης; Κάποιος αρκετά ρεαλιστής θα μπορούσε να πει πως είναι μάταιη η παραγωγή γνώσης για έναν ξερό και τοξικό για τον άνθρωπο πλανήτη. Το γεγονός και μόνο πως είναι πιθανό κάποτε να φιλοξενούσε μια κάποια μορφή ζωής αυτός ο πλανήτης, είναι αρκετό για να συνεχιστεί η αναζήτηση γνώσης. Αν αναλογιστεί κανείς ότι ο πλανήτης είχε ευνοϊκές συνθήκες για την ζωή πριν από 4 δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ η ζωή στην Γη εμφανίστηκε πριν από 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια, μπορεί εύλογα να υποστηρίξει πως θα μπορούσε η "ζωή" αυτή να έχει "μεταναστεύσει" από τον Άρη στην Γη. Η ελπίδα ότι μπορεί να να λυθεί ένα από τα μεγαλύτερα μυστήρια της βιολογίας, αποτελεί το καλύτερο κίνητρο μελέτης του πλανήτη. Και η γεωμορφολογία πως θα μπορούσε να συμβάλει σε ένα τέτοιο εγχείρημα; Όσο πιο λεπτομερής είναι η χαρτογράφηση και η γεωμορφολογική ανάλυση της επιφάνειας του πλανήτη, αφ' ενός ελαχιστοποιούνται οι πιθανές θέσεις αναζήτησης ιχνών ζωής και αφ' εταίρου μπορούν να παραχθούν πληροφορίες

που αφορούν τις παρελθούσες συνθήκες. Αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχουν και σενάρια πιθανού εποίκισμού του πλανήτη, δηλαδή άλλος ένας λόγος παραγωγής γεωμορφολογικής γνώσης. Αν τέτοια θέματα αποσαφηνιστούν, παλαιά "κεφάλαια" αναζήτησης θα κλείσουν και νέοι ορίζοντες της ανθρώπινης γνώσης θα ανοίξουν στο μέλλον.

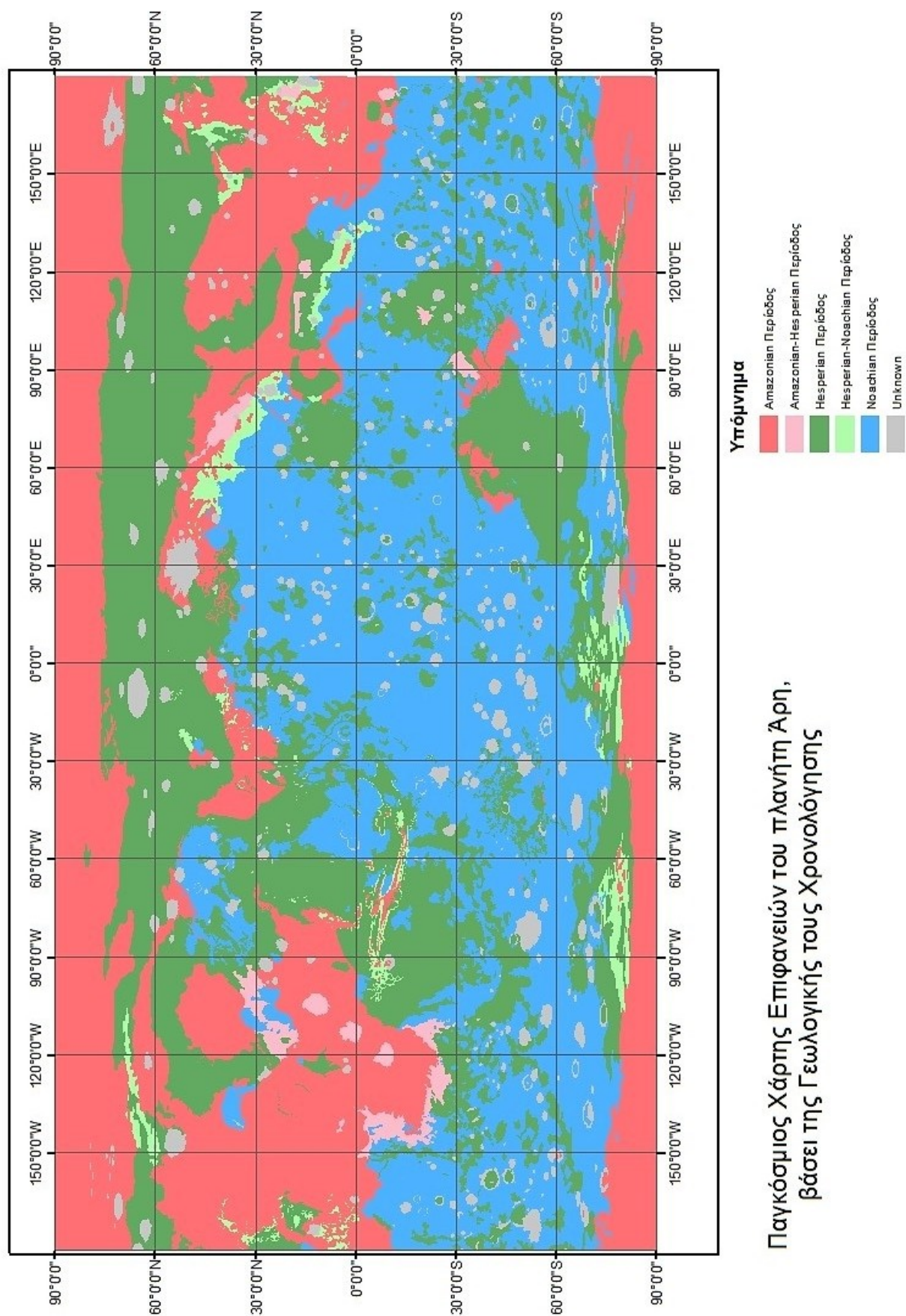
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄: ΧΑΡΤΕΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ



Χάρτης 1: Παγκόσμιος τοπογραφικός χάρτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

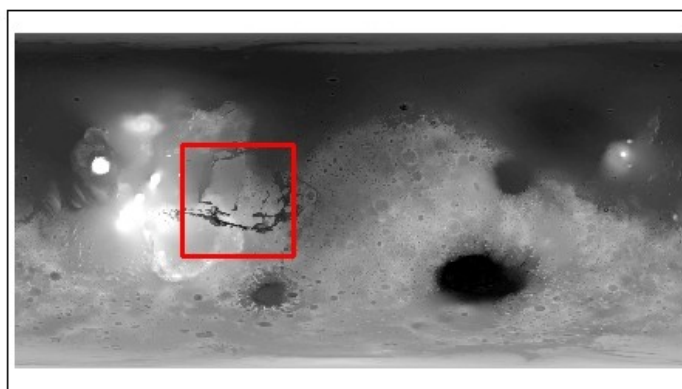
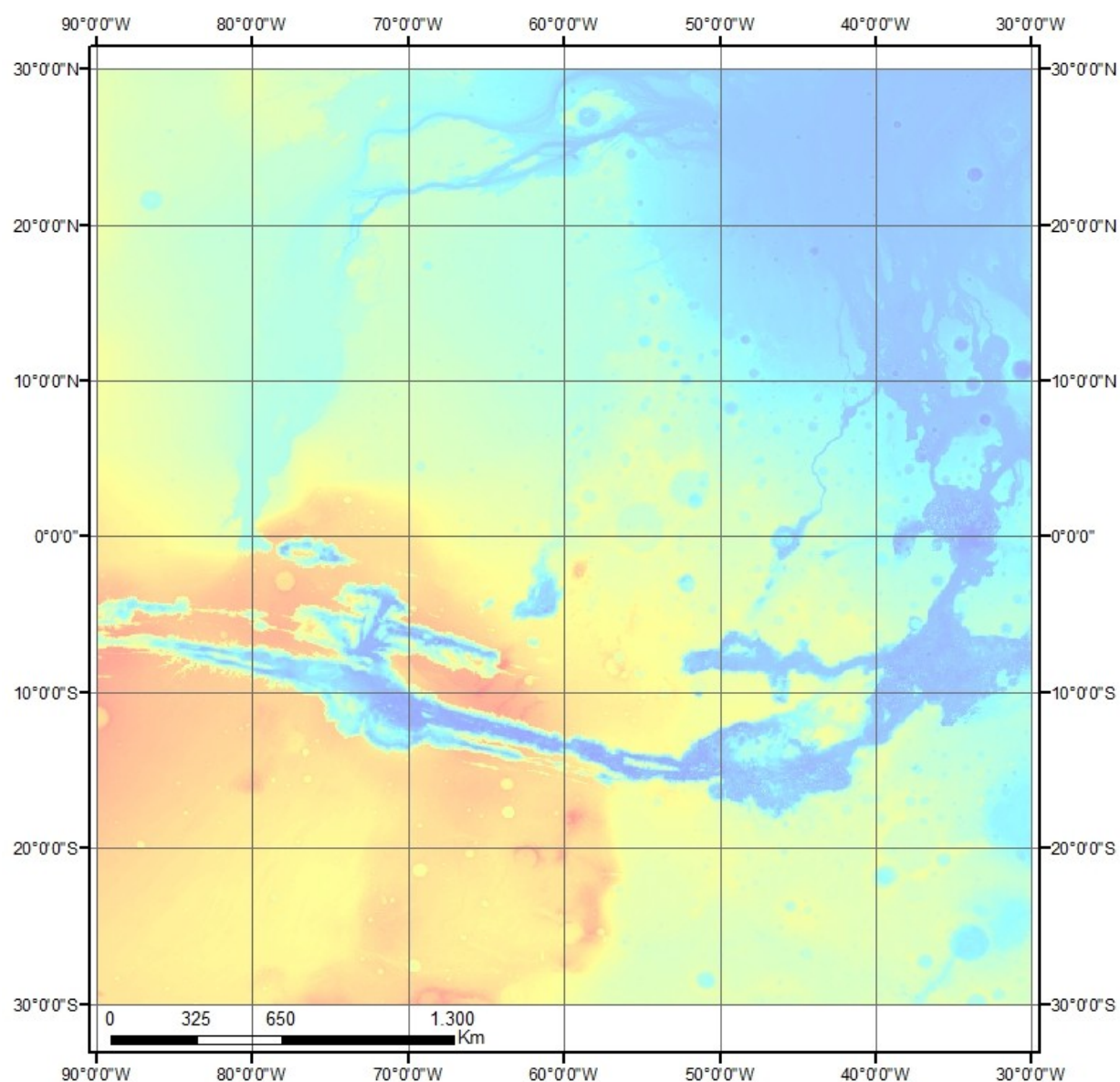


Χάρτης 2: Παγκόσμιος υδρολογικός χάρτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Χάρτης 3: Παγκόσμιος χάρτης επιφανειών, κατηγοριοποιημένες βάσει της γεωλογικής τους περιόδου. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄: ΧΑΡΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

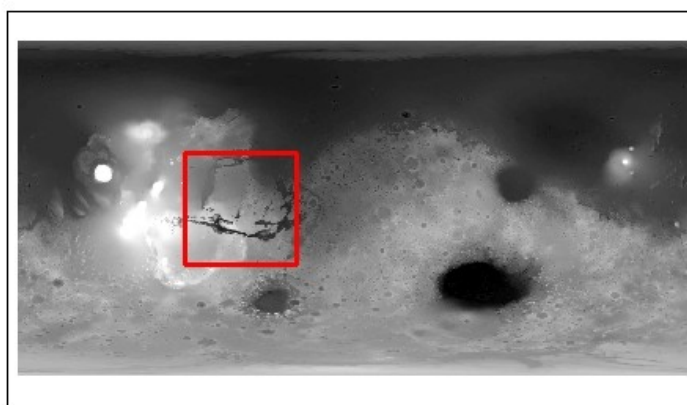
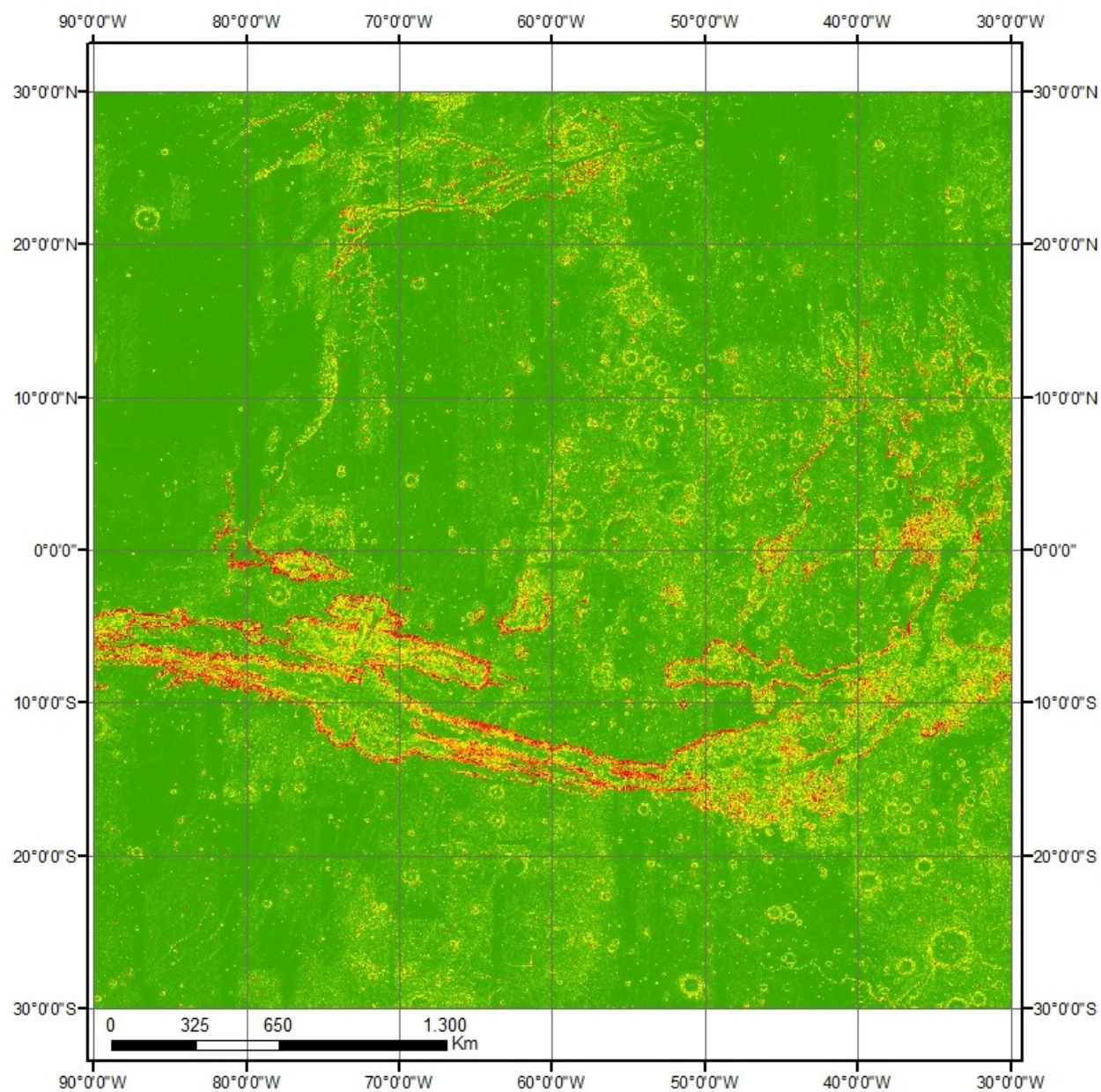


Περιοχή μελέτης
Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

Υπόμνημα

Υψόμετρο (m)
High : 6997
Low : -5834

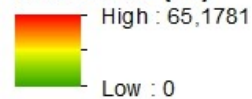
Χάρτης 4: Υψομετρικός χάρτης περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



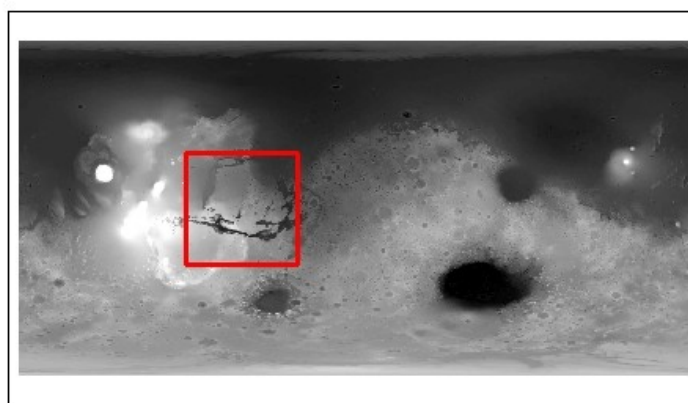
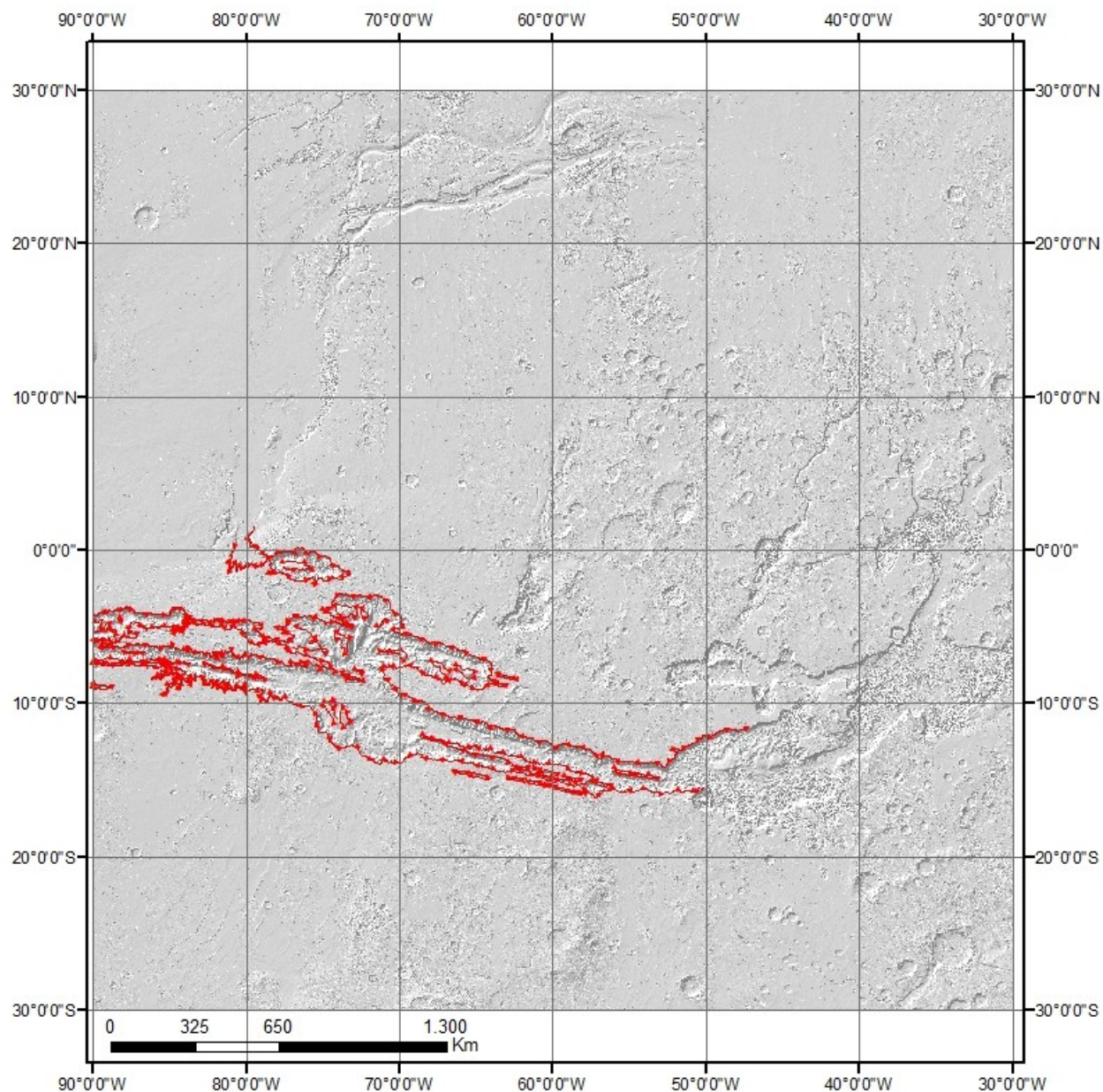
Κλίση της περιοχής μελέτης
σε ποσοστό %

Υπόμνημα

Ποσοστό (%)



Χάρτης 5: Χάρτης κλίσεων περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

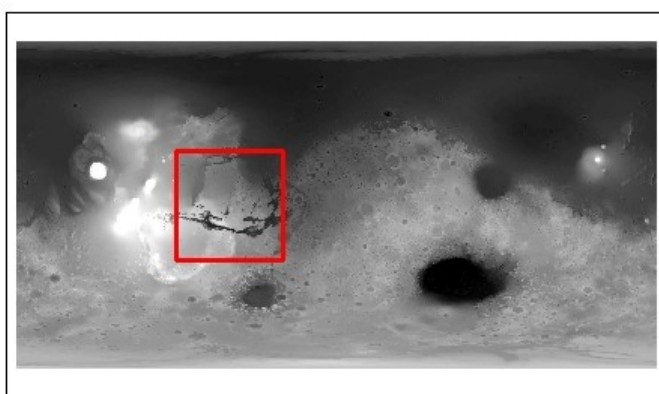
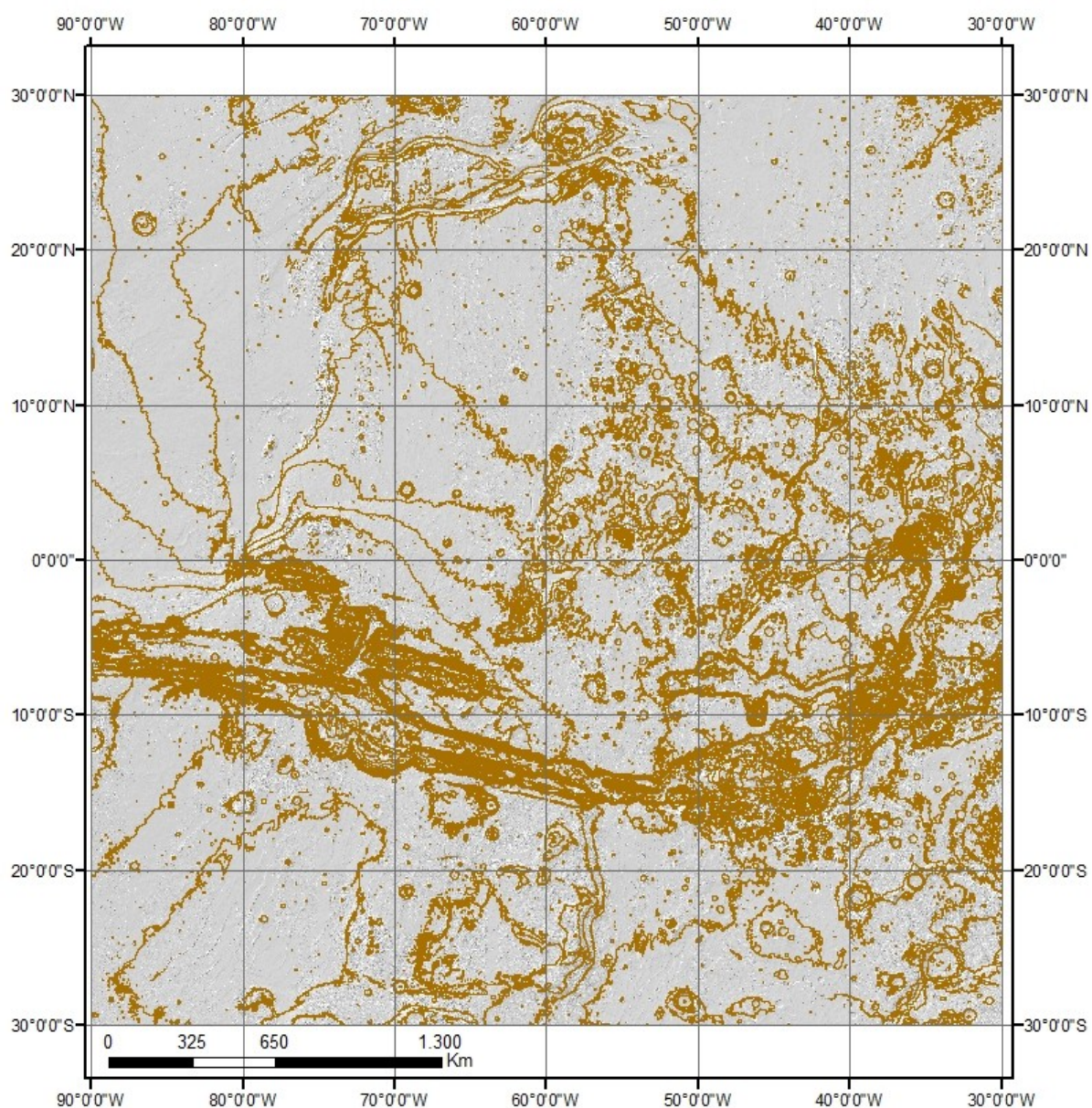


Τάφροι και Κέρατα της
περιοχής Valles Marineris

Υπόμνημα

—•••— Τάφροι-Κέρατα

Χάρτης 6: Τάφροι και κέρατα του φαράγγιου Valles Marineris. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

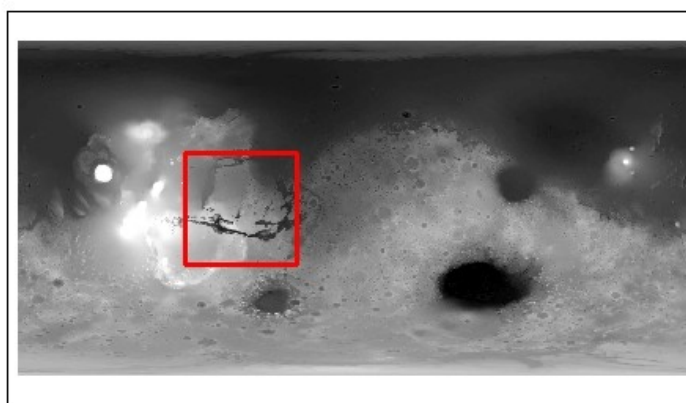
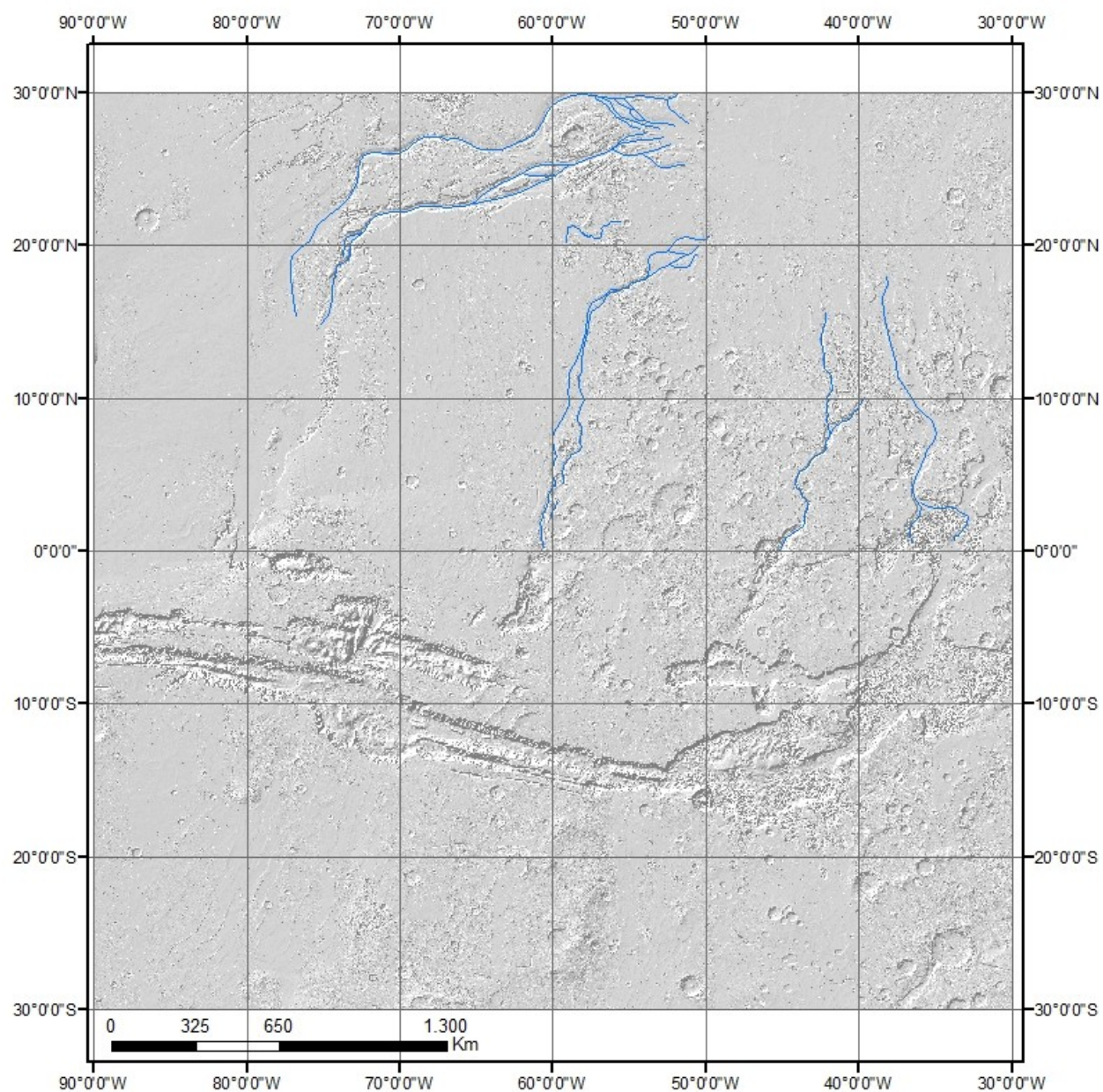


Υσοΰψεις καμπύλες
διάστασης 1000 μέτρων

Υπόμνημα

— Υσοΰψεις ανά 1000 m

Χάρτης 7: Ισοΰψεις καμπύλες ανά 1000 μέτρα στην περιοχή μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

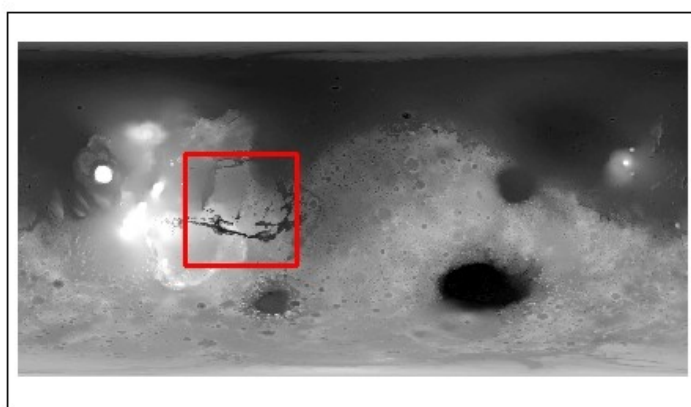
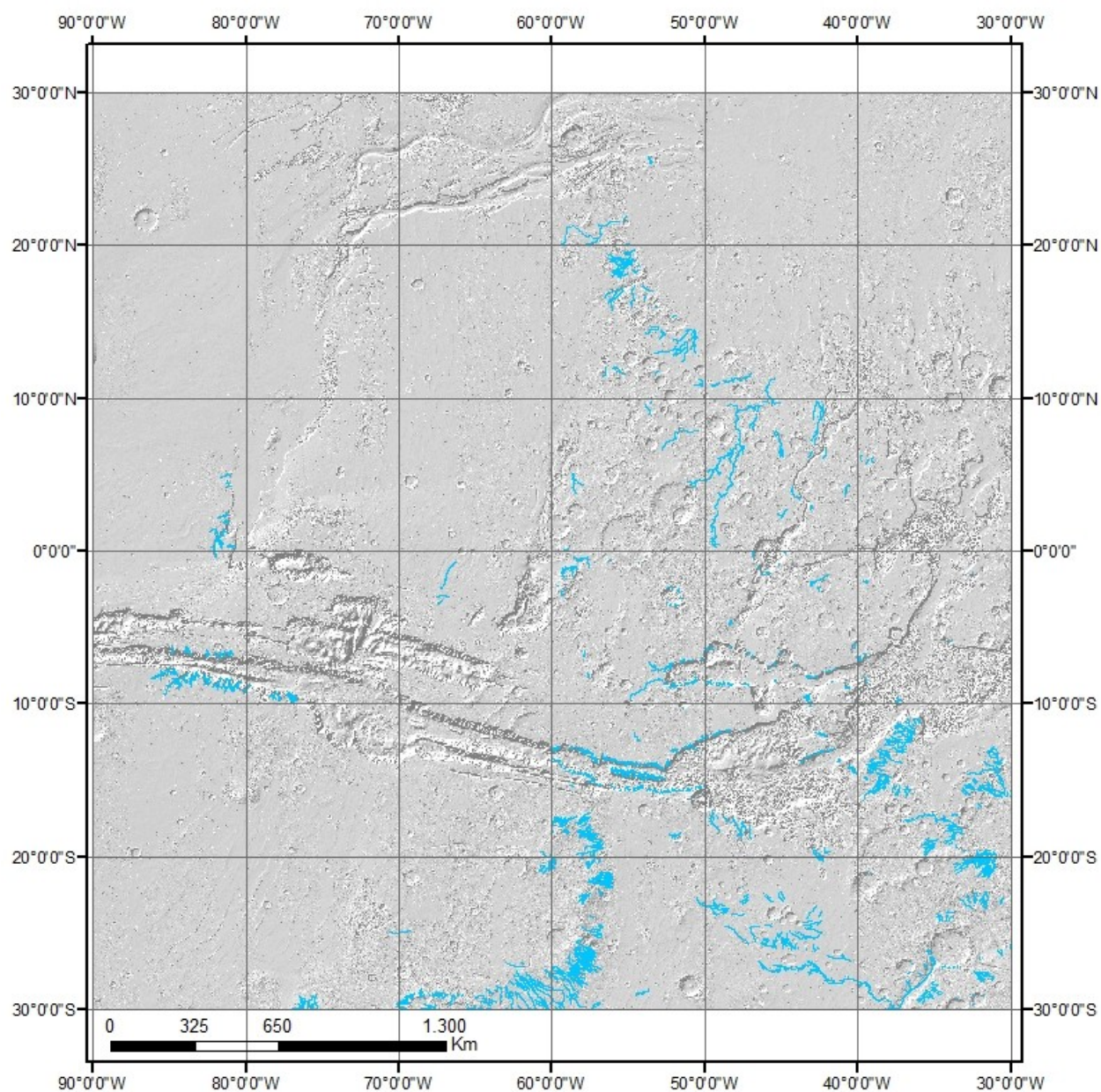


Κύριοι κλάδοι
υδρογραφικού δικτύου

Υπόμνημα

— κύριο υδρογραφικό δίκτυο

Χάρτης 8: Κύριο υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

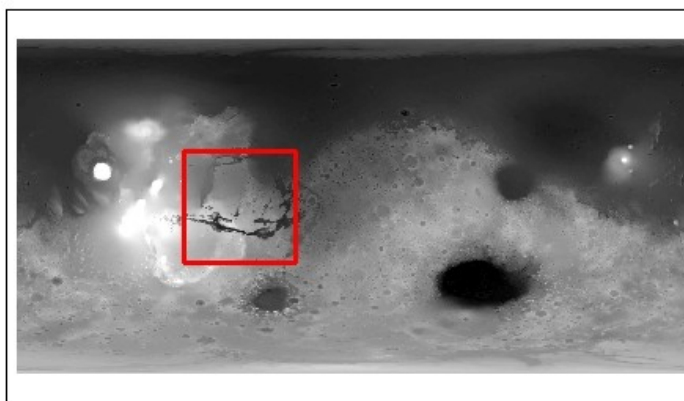
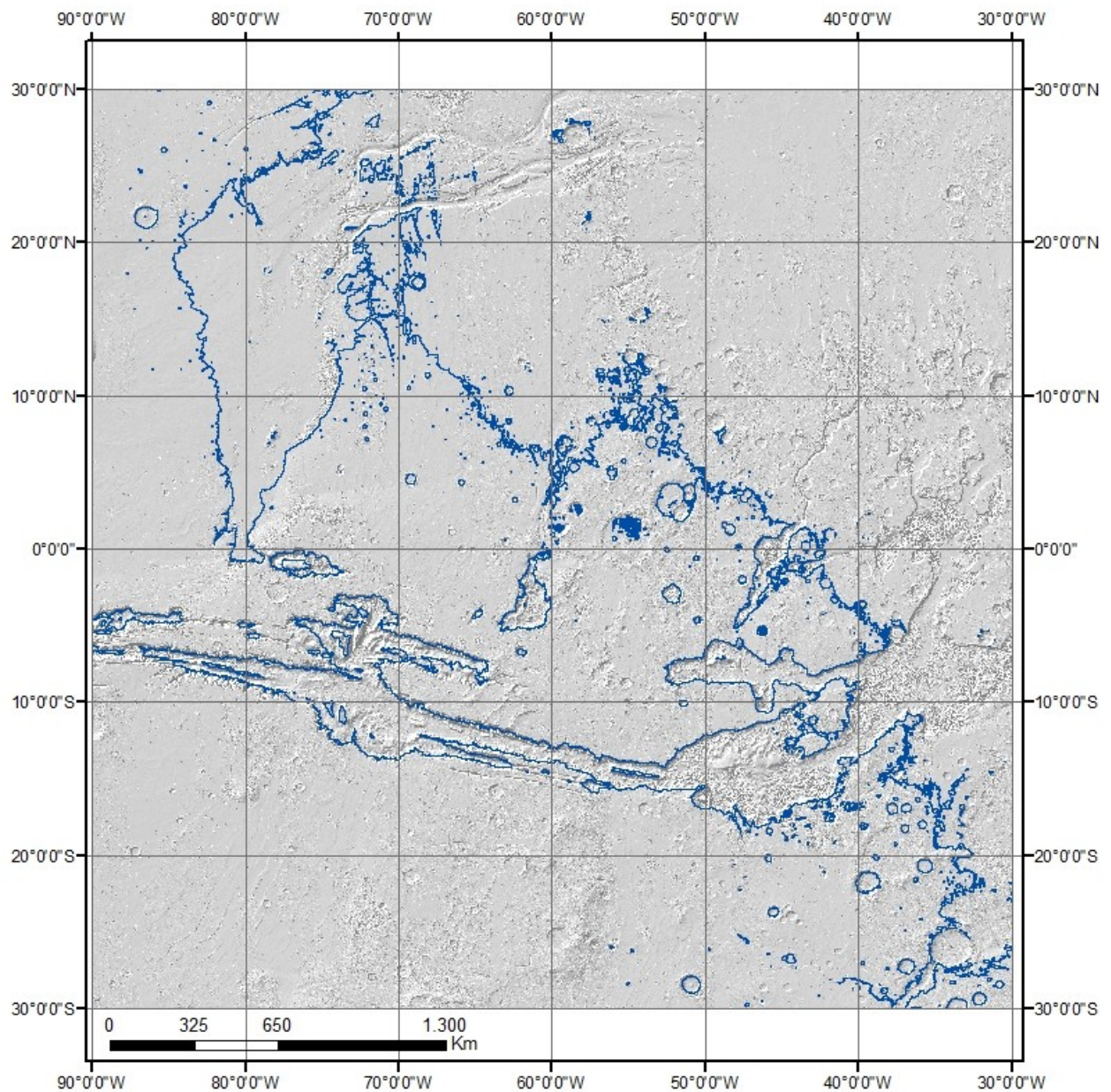


Κλάδοι δευτερεύοντος
υδρογραφικού δικτύου

Υπόμνημα

— δευτερεύον υδρογραφικό δίκτυο

Χάρτης 9: Δευτερεύον υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης.

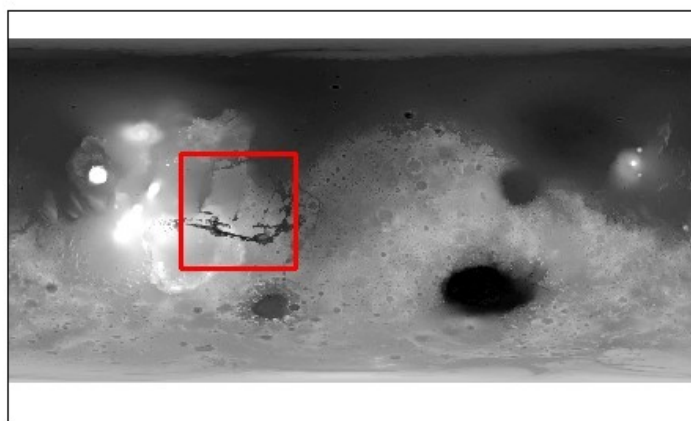
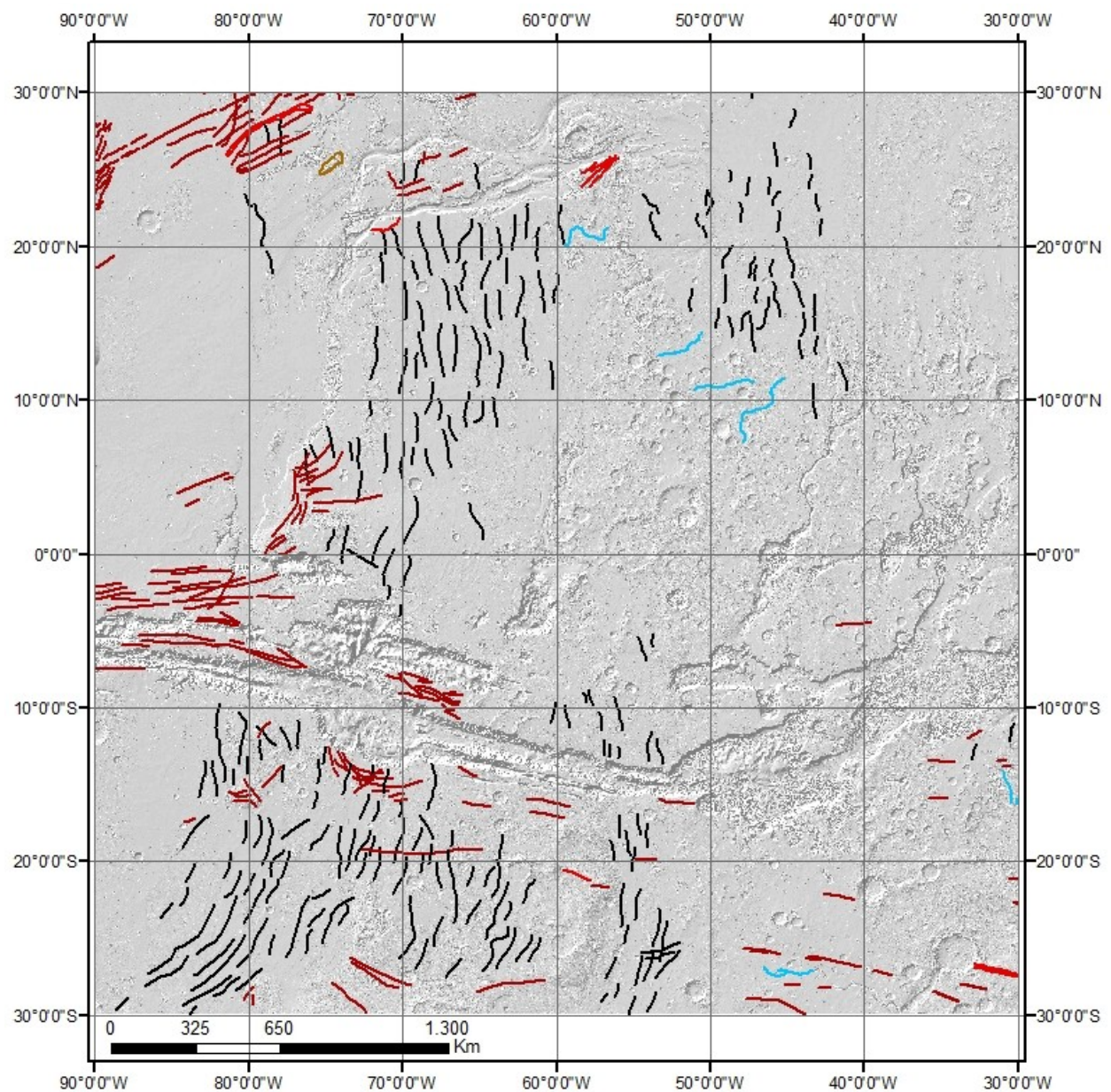


Παλαιο-ακτή (Υσοῦψή
καμπύλη με υψόμετρο μηδέν)

Υπόμνημα

— ακτογραμμή

Χάρτης 10: Παλαιό-ακτή περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

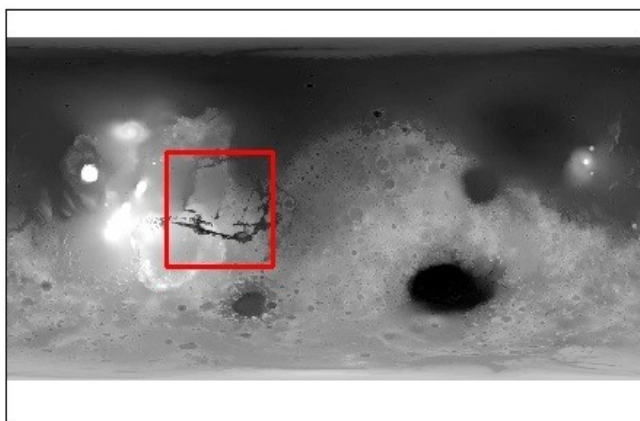
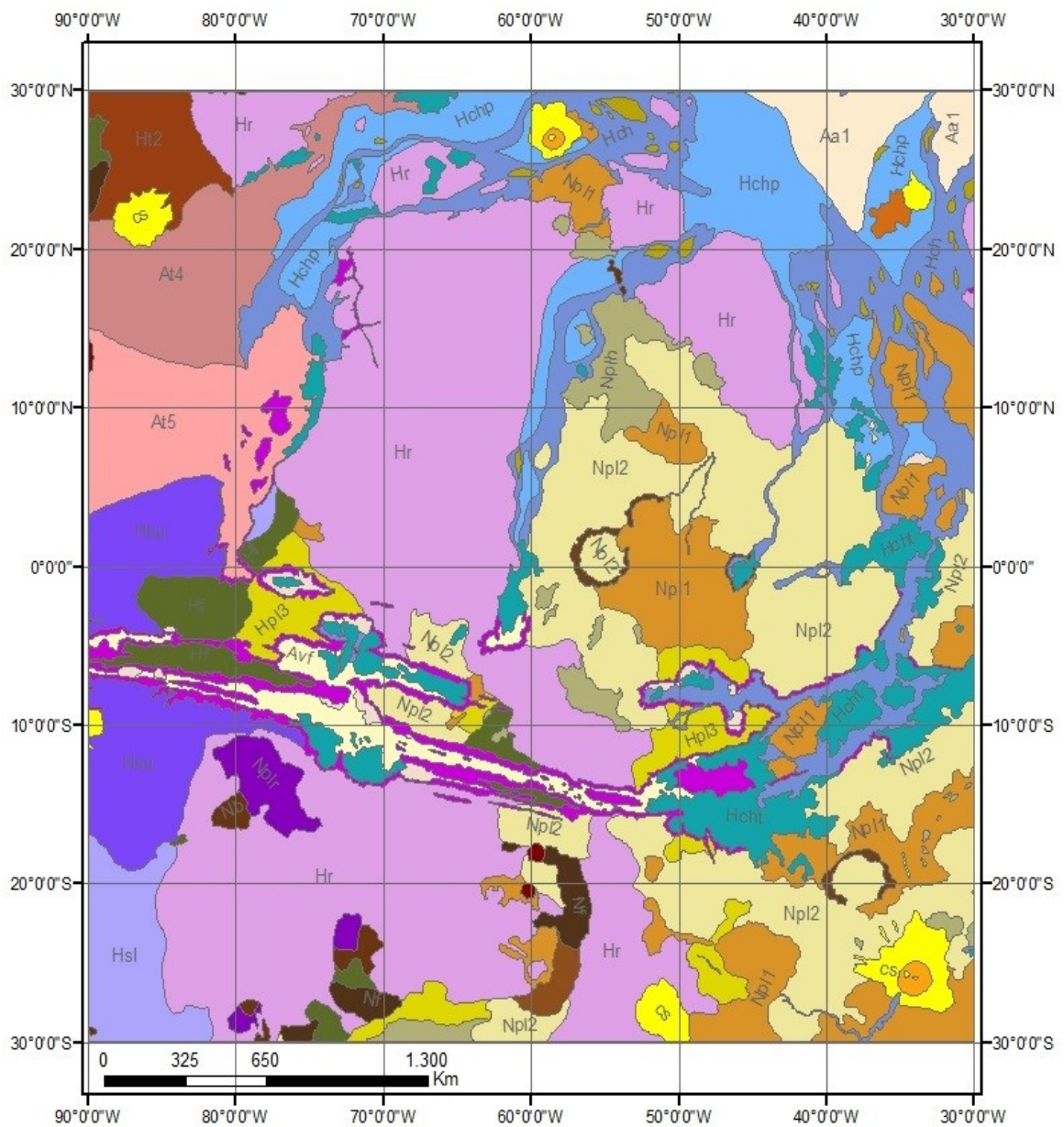


Γραμμικές γεωμορφές
χαρτογραφημένες από την USGS

Υπόμνημα

- Channel
- Depression
- Graben
- Graben, undifferentiated
- Wrinkle ridge

Χάρτης 11: Γραμμικές γεωμορφές περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Γεωλογικές αποθέσεις
στην περιοχή μελέτης

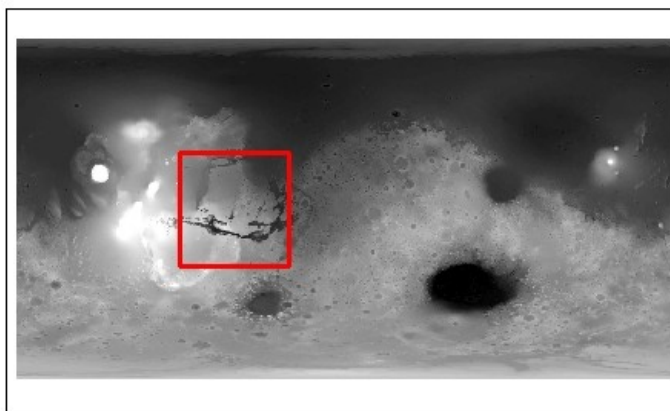
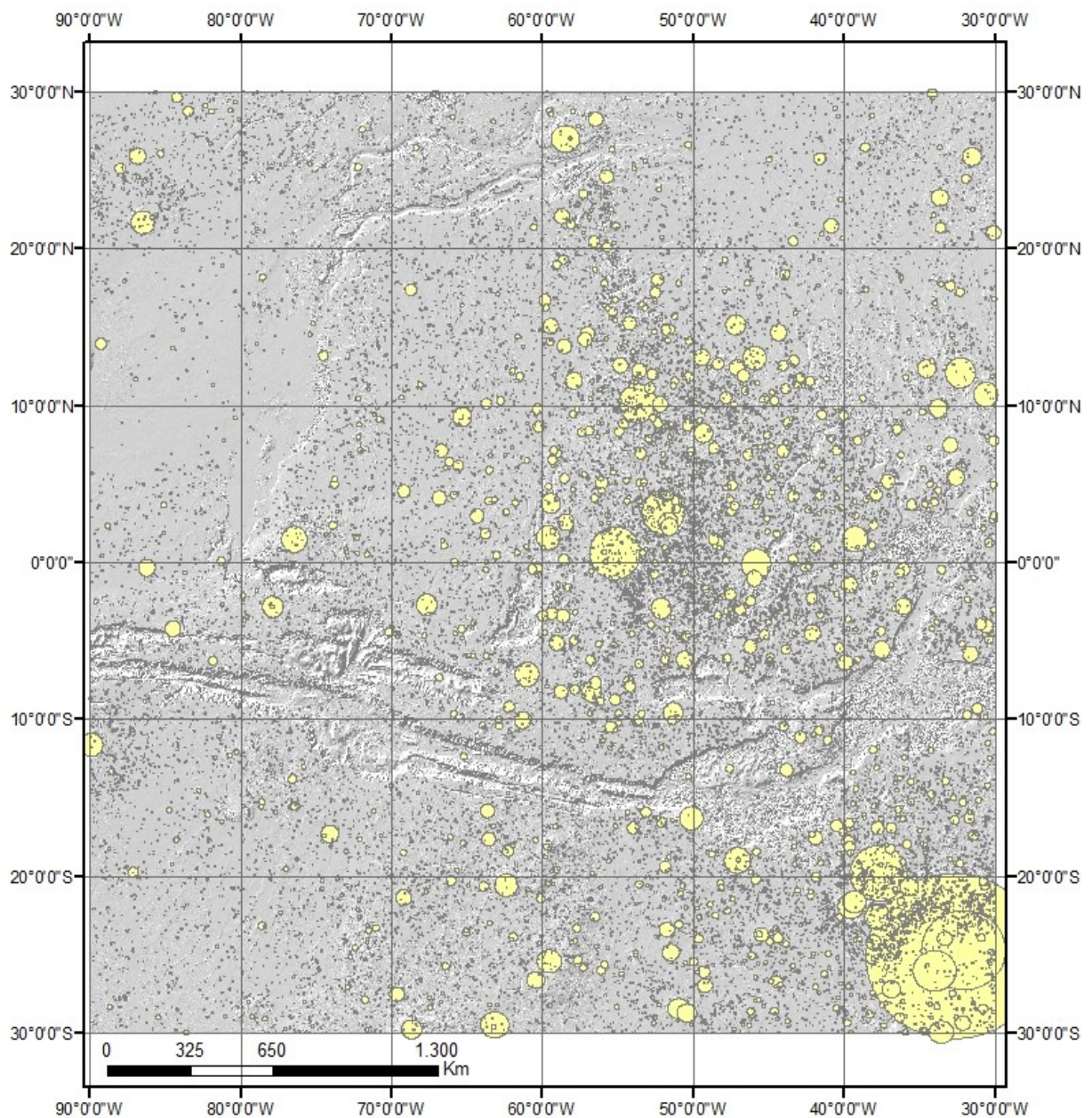
Το υπόμνημα παραθέτεται
στην επόμενη σελίδα

Χάρτης 12: Γεωλογικές αποθέσεις περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Υπόμνημα

	Arcadia Formation, member 1: Ηφαιστειακές ροές και συναφή υλικά.
	Arcadia Formation, member 4: Σκούρες-νέες ροές, λίγοι κρατήρες πρόσκρουσης.
	Syria Planum Formation, lower member: Αποτελείται από μεγάλες ροές λάβας και καλδότης κρατήρων.
	Syria Planum Formation, upper member: Παρόμοιο με το κατώτερο μέλος, αλλά περισσότερο καταπονημένο από κρατήρες και ρήγματα.
	Tharsis Montes Formation, member 2: Τραχιά, λοφώδεις επιφάνεια, βασalthικού τύπου που φέρει winkle ridges και ρήγματα.
	Tharsis Montes Formation, member 4: Επιμήκεις ροές, απότομες στις άνω πλαγιές, ευρείες στις ομαλότερες κατώτερες πλαγιές-διακόπτονται από δευτερεύοντα ρήγματα.
	Tharsis Montes Formation, member 5: Ανεπαρκή στοιχεία.
	Valles Marineris interior deposits, floor material: Μείγμα υλικού που αποτέθηκε μέσω ροής και εμπεριέχει αιολικό υλικό, ηφαιστειακές αποθέσεις, κανάλια και ενδεχομένως λασποροή.
	Valles Marineris interior deposits, layered material: Ηφαιστειακά υλικά ή υλικά λασποροής ή και τα δύο, απέθεση κατά το μέσο-ύστερο στάδιο ανάπτυξης των τάφων.
	highly-deformed terrain materials, basement complex: Αδιαφοροποίητο υλικό που χαρακτηρίζεται από πολύ περιπλοκή δομή.
	highly-deformed terrain materials, older fractured material: Υπερρωμμένες επιφάνειες καταπονημένες από ρήγματα με περίπλοκο προσανατολισμό-Τα όρια των κρατήρων αρκετά καταπονημένα.
	impact crater material, partly buried: Εν μέρει θαμμένος κρατήρας.
	impact crater material, smooth floor: Κάλυμμα κρατήρων που μπορεί να είναι ηφαιστειακό, αιολικό ή ποτάμιο.
	impact crater material, superposed: Επιβαλλόμενα υλικά πρόσκρουσης και κρατήρες.
	older channel material: Αποθέσεις εντός των ποτάμιων κλάδων.
	older chadic material: Ανωμύμενα τμήματα του εδάφους παραγόμενα από ρήγματα.
	older flood-plain material: Πλευρικές ποτάμιες αποθέσεις, που μπορεί να περιλαμβάνουν αλλουβιακό υλικό, παγετινωτικές τσιλιές ή πλημμυρικές ποτάμιες ροές.
	plateau sequence, cratered unit: Υλικά που παράχθηκαν κατά την περίοδο μεγάλων προσκρούσεων. Πιθανόν να περιέχουν ροές λάβας, πυροκλαστικού και υλικό πρόσκρουσης.
	plateau sequence, dissected unit: Απτικές ροές λάβας και ιζηματογενείς αποθέσεις που εν μέρει θάβουν τα υποκείμενα πετρώματα.
	plateau sequence, hilly unit: Υψίπεδα αποτελούμενα από ηφαιστειακά υλικά και υλικά πρόσκρουσης, τα οποία έχουν ανυψωθεί μέσω διεργασιών τεκτονισμού και έντονων προσκρούσεων.
	plateau sequence, ridged unit: Ροές λάβας οι οποίες έχουν καταπονηθεί από ηφαιστειακές και τεκτονικές διεργασίες.
	plateau sequence, smooth unit: Συγκεντρωμένες ροές λάβας και ιζηματογενείς αποθέσεις αιολικής ή ποτάμιας προέλευσης που θάβουν το μεγαλύτερο μέρος των υποκείμενων πετρωμάτων.
	plateau sequence, subdued cratered unit: Ροές λάβας, αιολικές ή ιζηματογενείς αποθέσεις όπου καλύπτουν πετρώματα.
	ridged plains material: Ροές λάβας χαμηλού ξώδους παραγόμενο από πολλαπλές πηγές, εμπεριέχει κορυφογραμμές, είτε ηφαιστειακού είτε τεκτονικού τύπου.
	slide material: Αέριες ή υδάτινες λιπαντικές ουσίες και πλημμυρικές ποτάμιες ροές.
	tear-drop shaped bar or island: Ποτάμιες νησίδες.
	undivided material: Υπολείμματα που παράχθηκαν μέσω της διάβρωσης.
	volcano, relative age unknown: Ηφαιστειακές αποθέσεις.
	younger fractured material: Ομαλές ανωμύμενες επιφάνειες, όπου περιέχουν τεκτονικά στοιχεία.

Εικόνα 36: Υπόμνημα χάρτη αποθέσεων. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

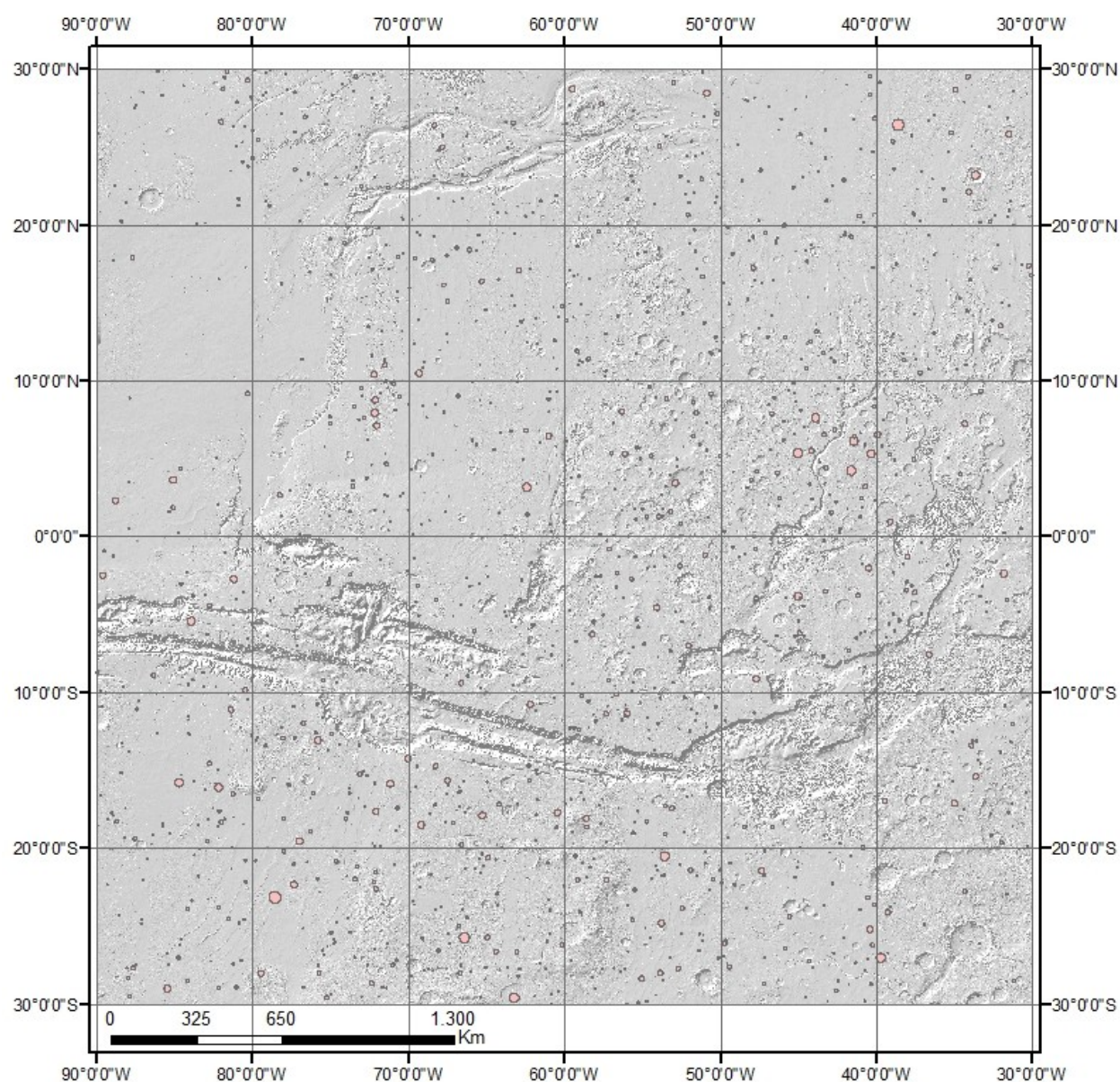


Κρατήρες πρόσκρουσης
βάσει της ακτίνας τους

Υπόμνημα

Κρατήρες πρόσκρουσης

Χάρτης 13: Κρατήρες πρόσκρουσης περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

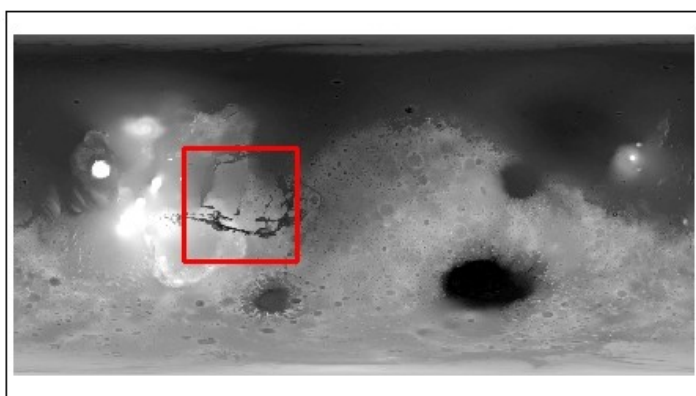
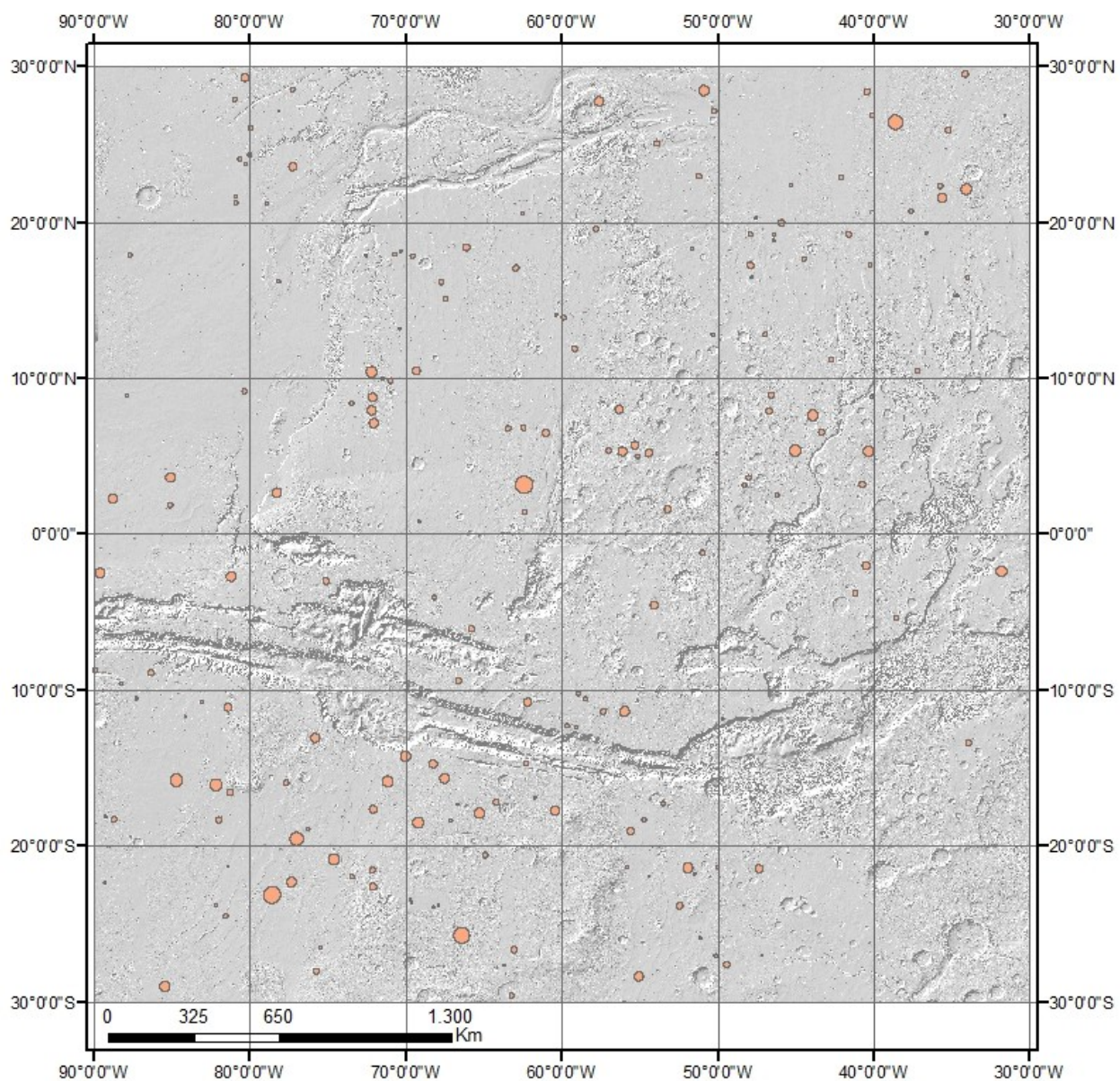


Αποθέσεις υλικού κρατήρων
πρόσκρουσης Ζώνη 1

Υπόμνημα

αποθέσεις κρατήρων - ζώνη 1

Χάρτης 14: Ζώνη απόθεσης 1 περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

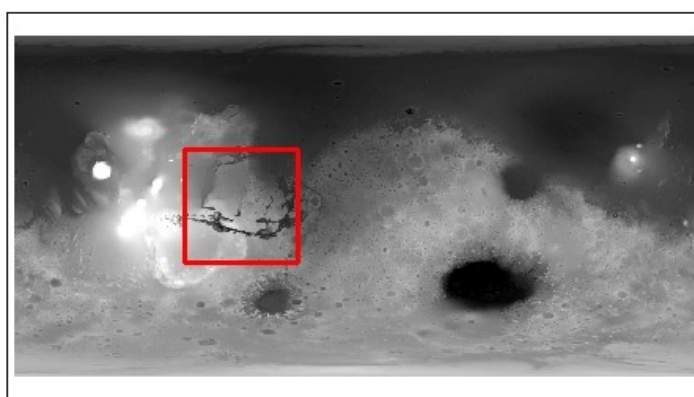
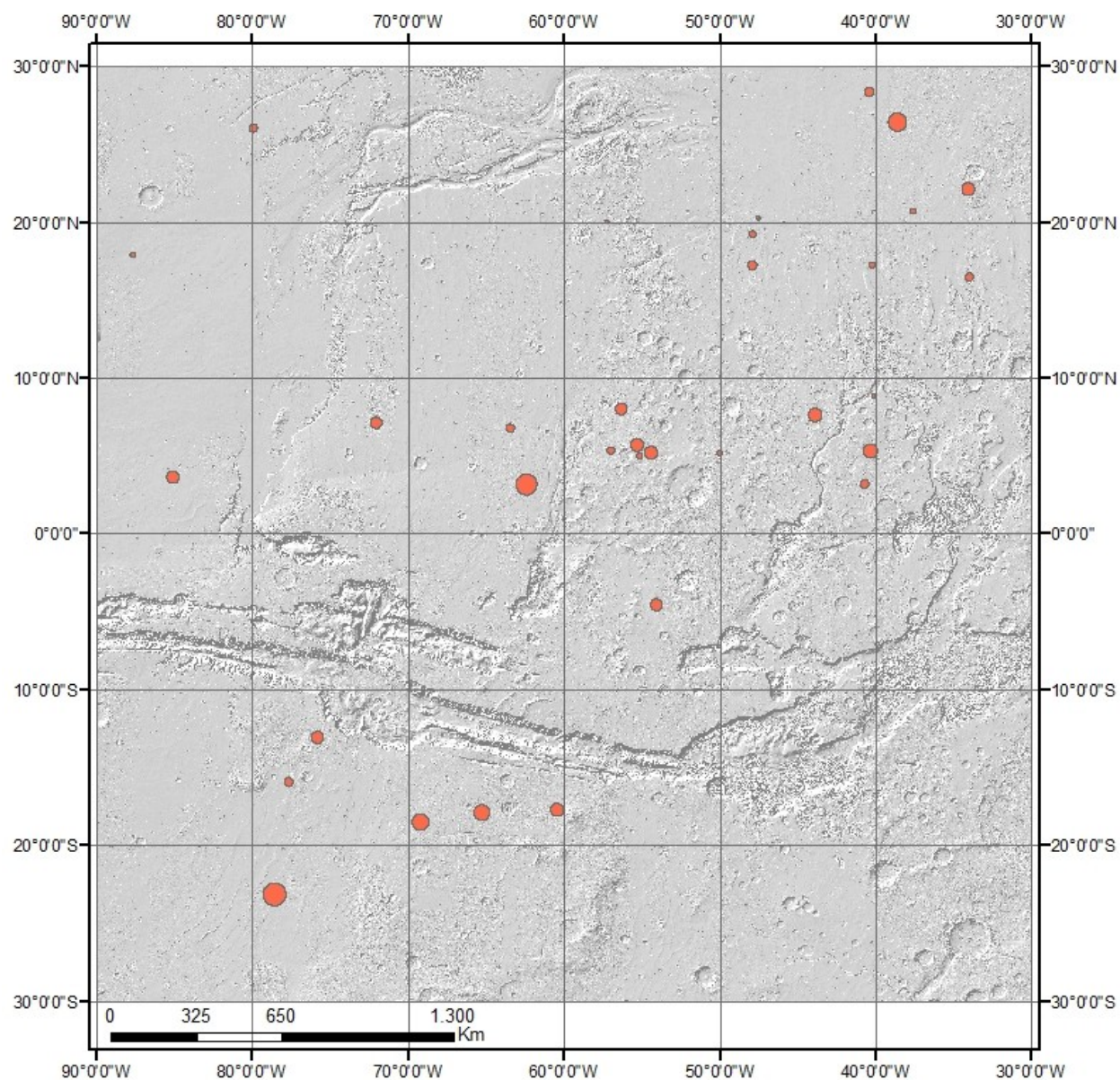


Αποθέσεις υλικού κρατήρων
πρόσκρουσης Ζώνη 2

Υπόμνημα

ο αποθέσεις κρατήρων - ζώνη 2

Χάρτης 15: Ζώνη απόθεσης 2 περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

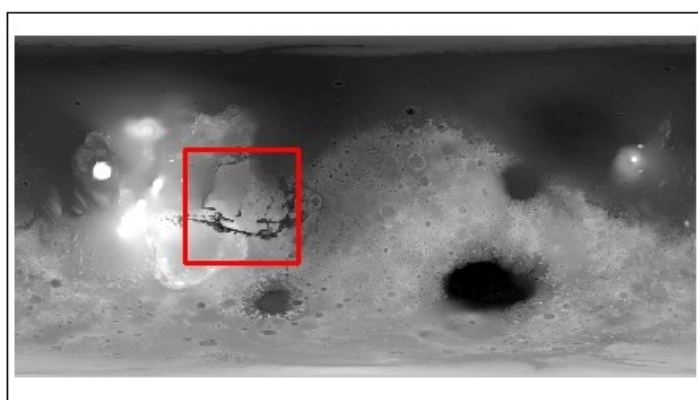
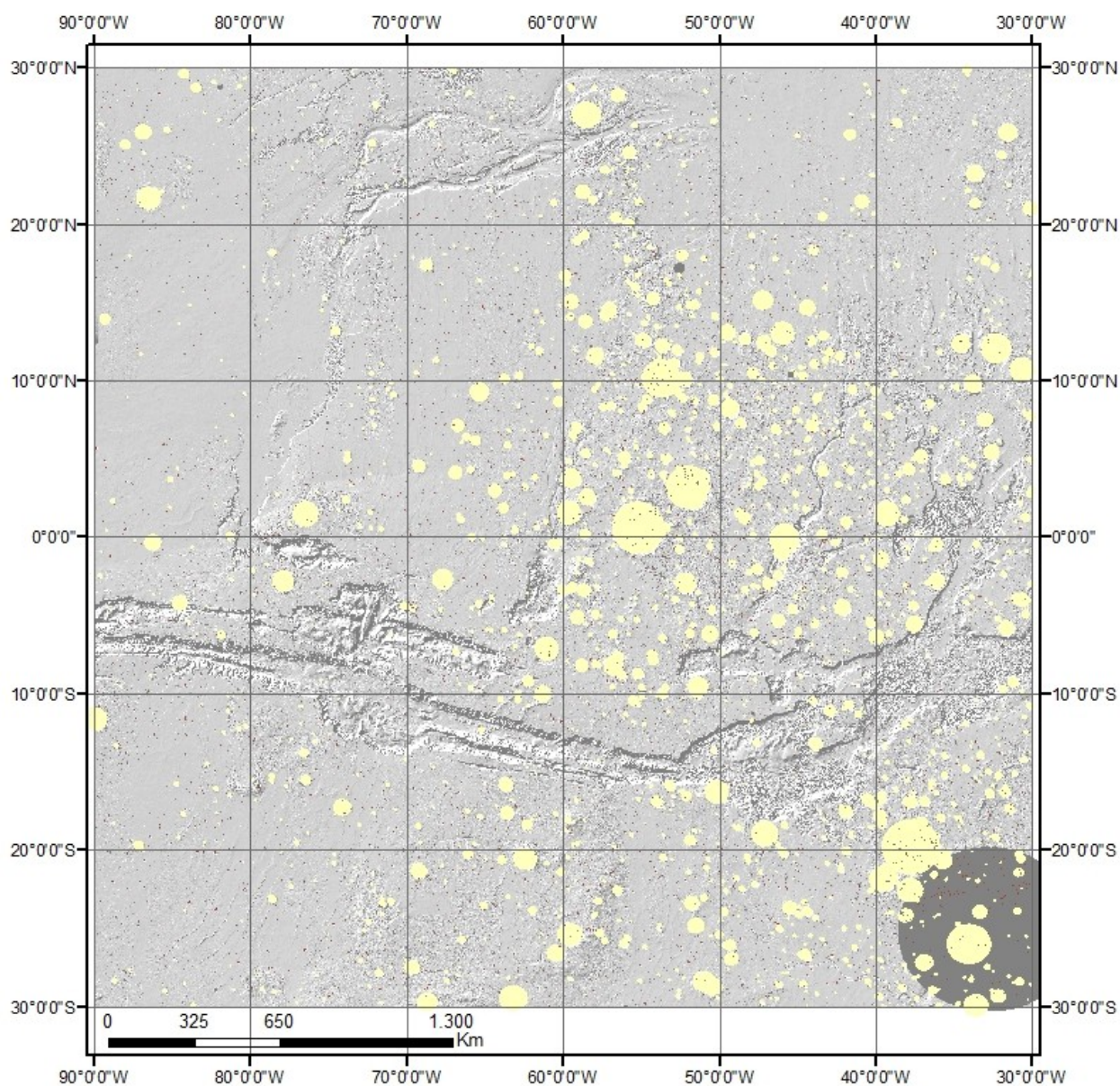


Αποθέσεις υλικού κρατήρων
πρόσκρουσης Ζώνη 3

Υπόμνημα

■ αποθέσεις κρατήρων - ζώνη 3

Χάρτης 16: Ζώνη απόθεσης 3 περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



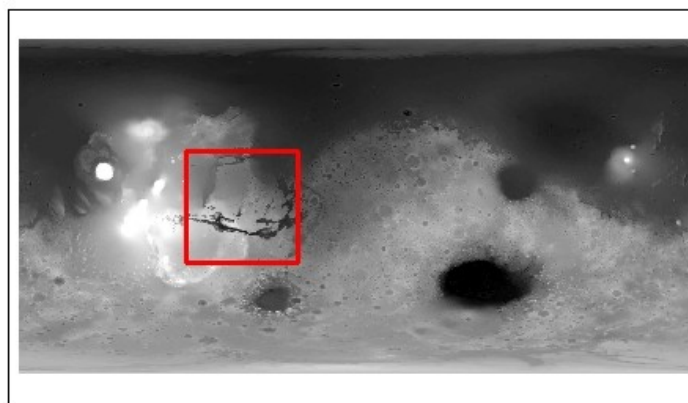
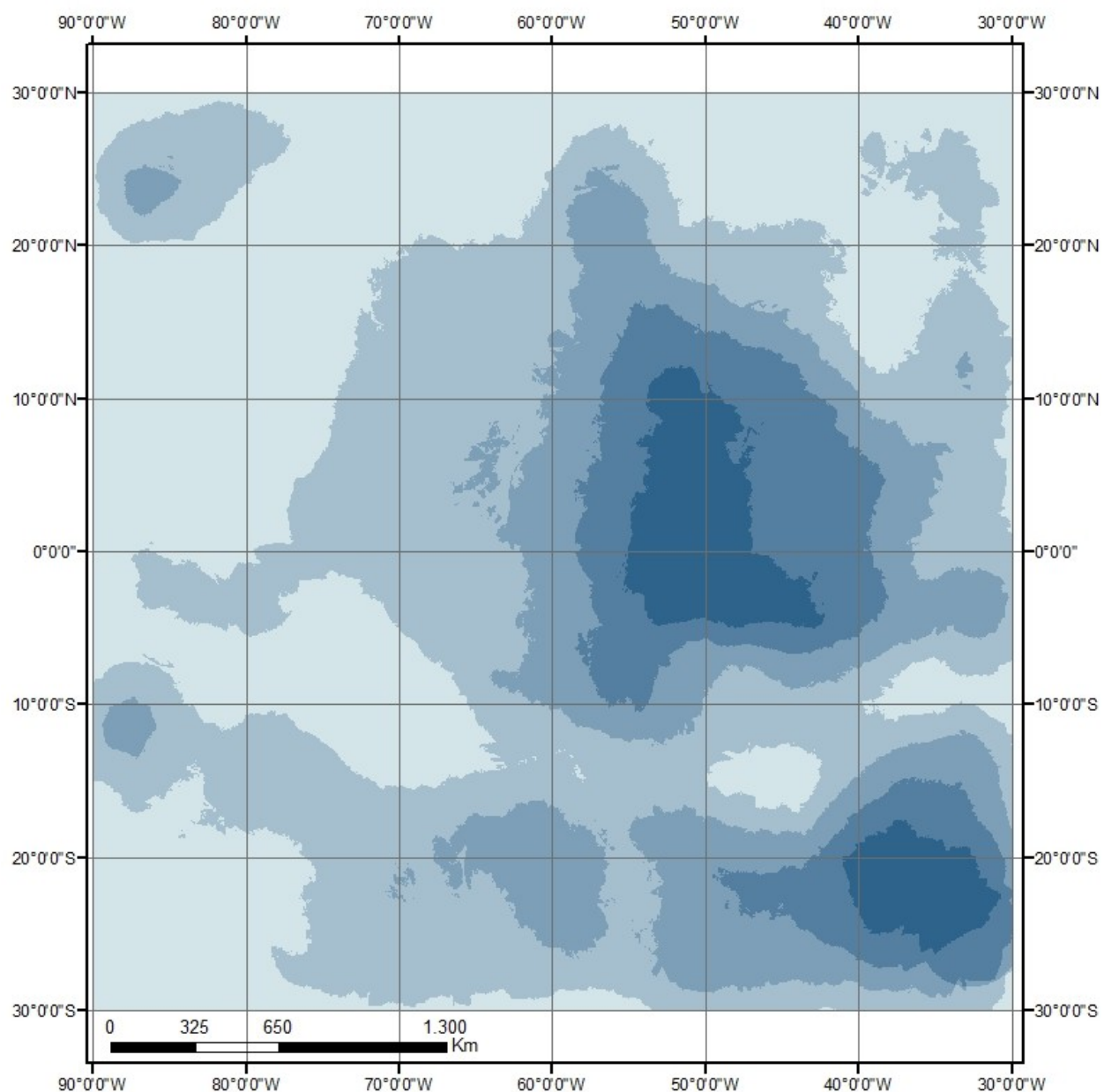
Κρατήρες πρόσκρουσης
κατηγοριοποιημένοι με βάση
την εσωτερική δομή τους

Υπόμνημα

Τύπος

- Complex crater
- Simple crater
- Unknown

Χάρτης 17: Κατηγοριοποίηση κρατήρων βάσει της εσωτερικής δομής τους. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



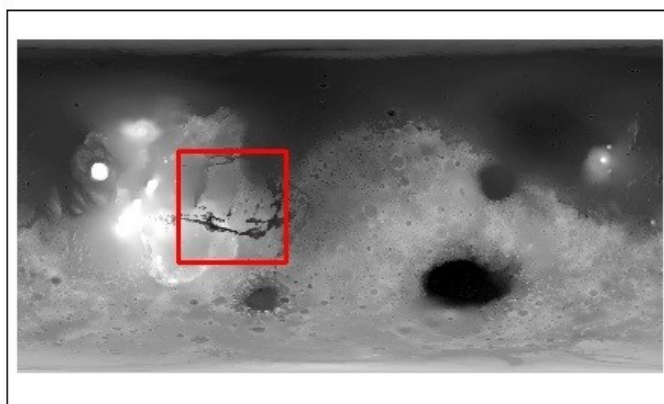
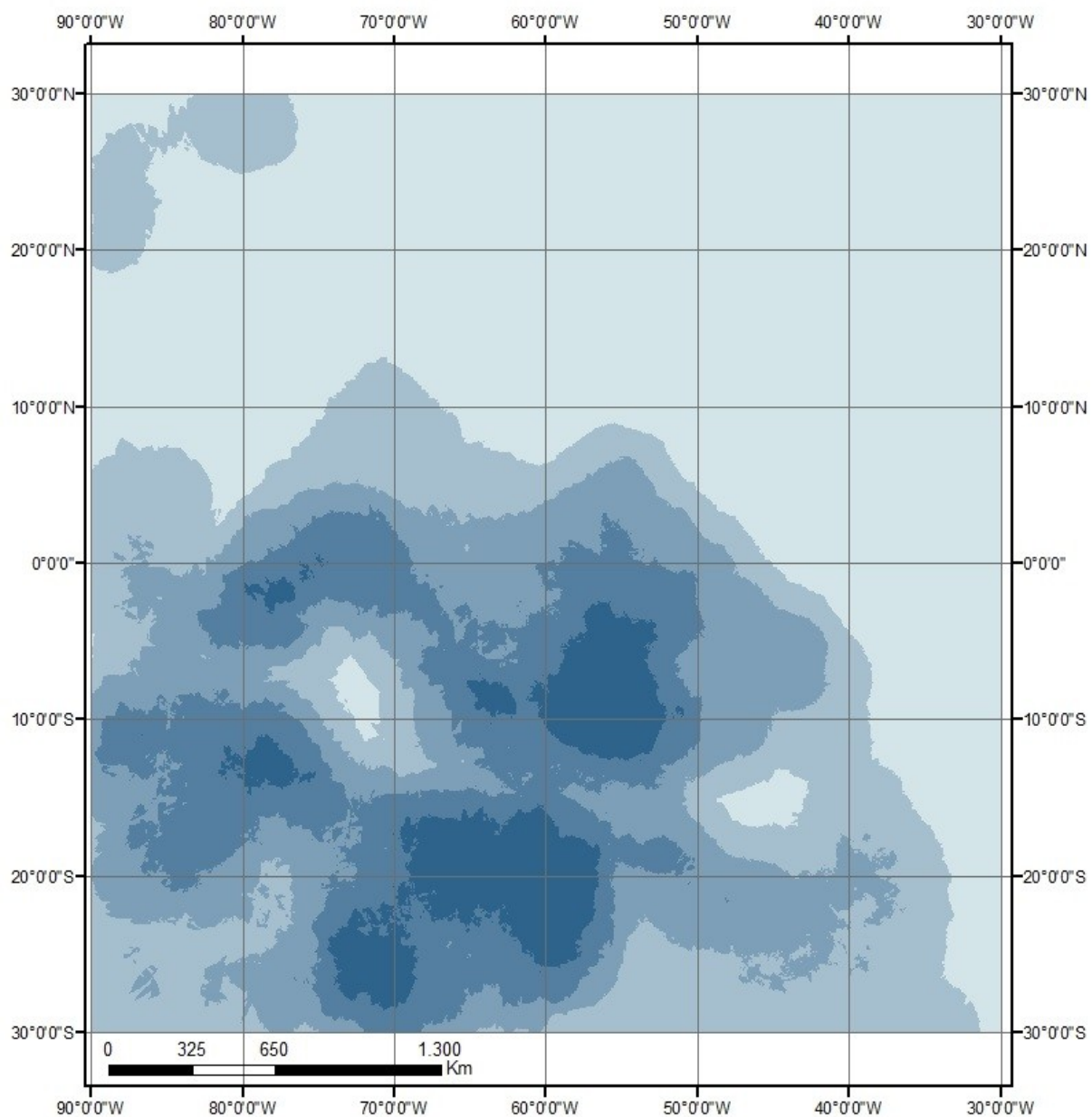
Πυκνότητα θέσης κρατήρων
βάσει της ακτίνας τους

Υπόμνημα

Τιμή

	0,06 - 2,39
	2,39 - 4,27
	4,27 - 6,87
	6,87 - 10,37
	10,37 - 16,60

Χάρτης 18: Πυκνότητα κρατήρων βάσει της ακτίνας τους. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



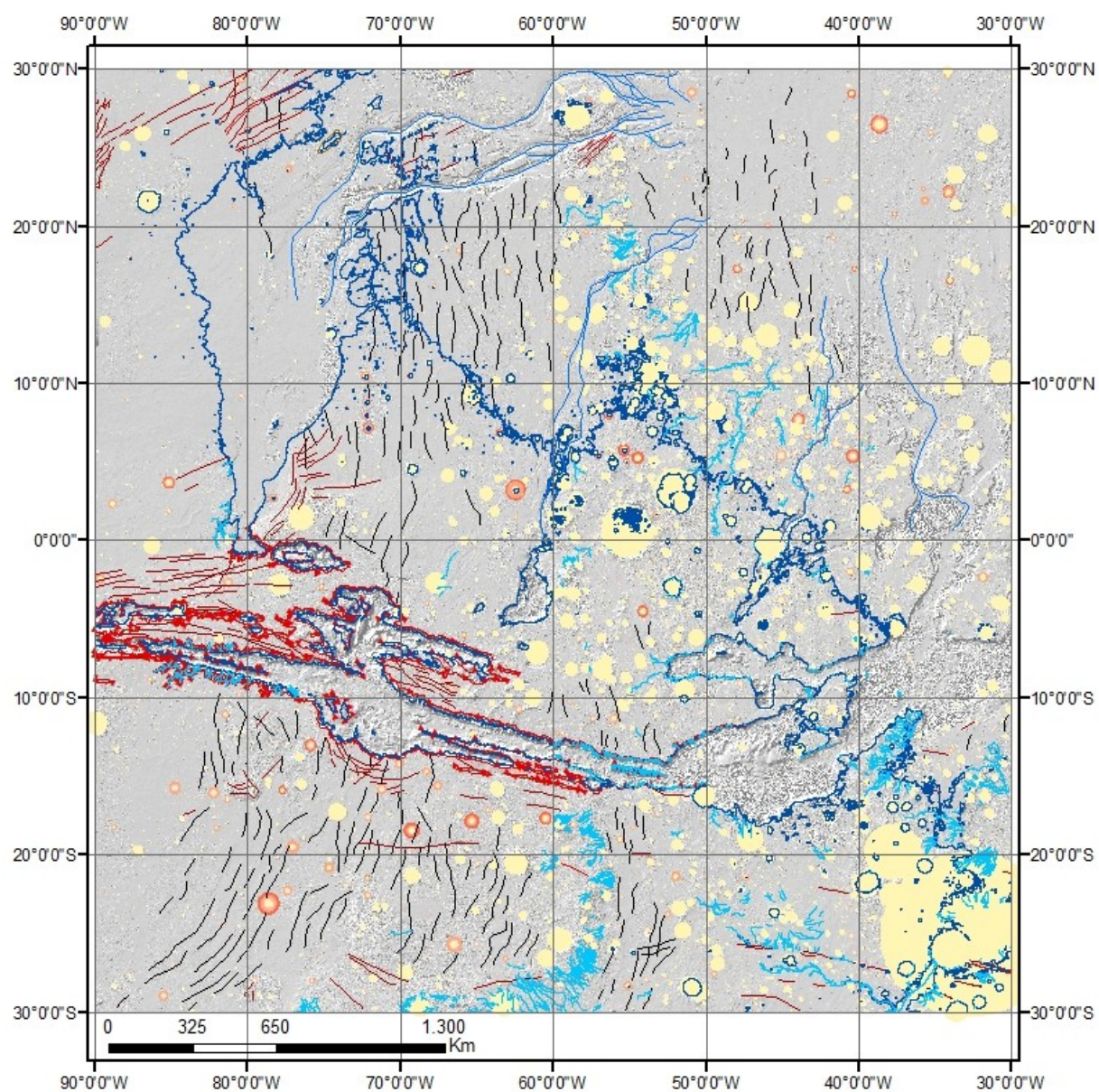
Πυκνότητα θέσης κρατήρων
βάσει του βάθους τους

Υπόμνημα

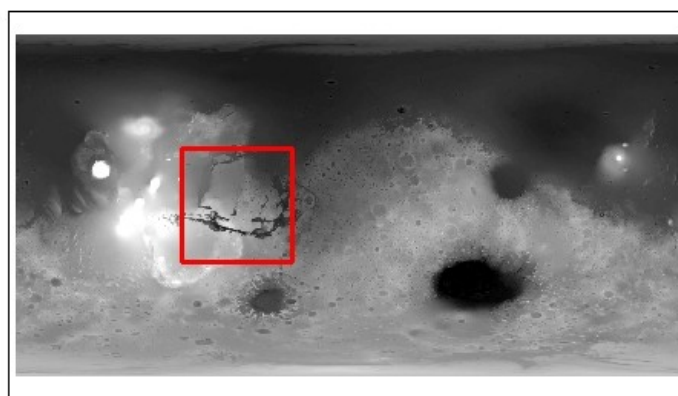
Τιμή

	-0,34 - 0,09
	0,09 - 0,46
	0,46 - 0,82
	0,82 - 1,25
	1,25 - 2,21

Χάρτης 19: Πυκνότητα κρατήρων βάσει του βάθους τους. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Γεωμορφολογικός Χάρτης Περιοχής Μελέτης

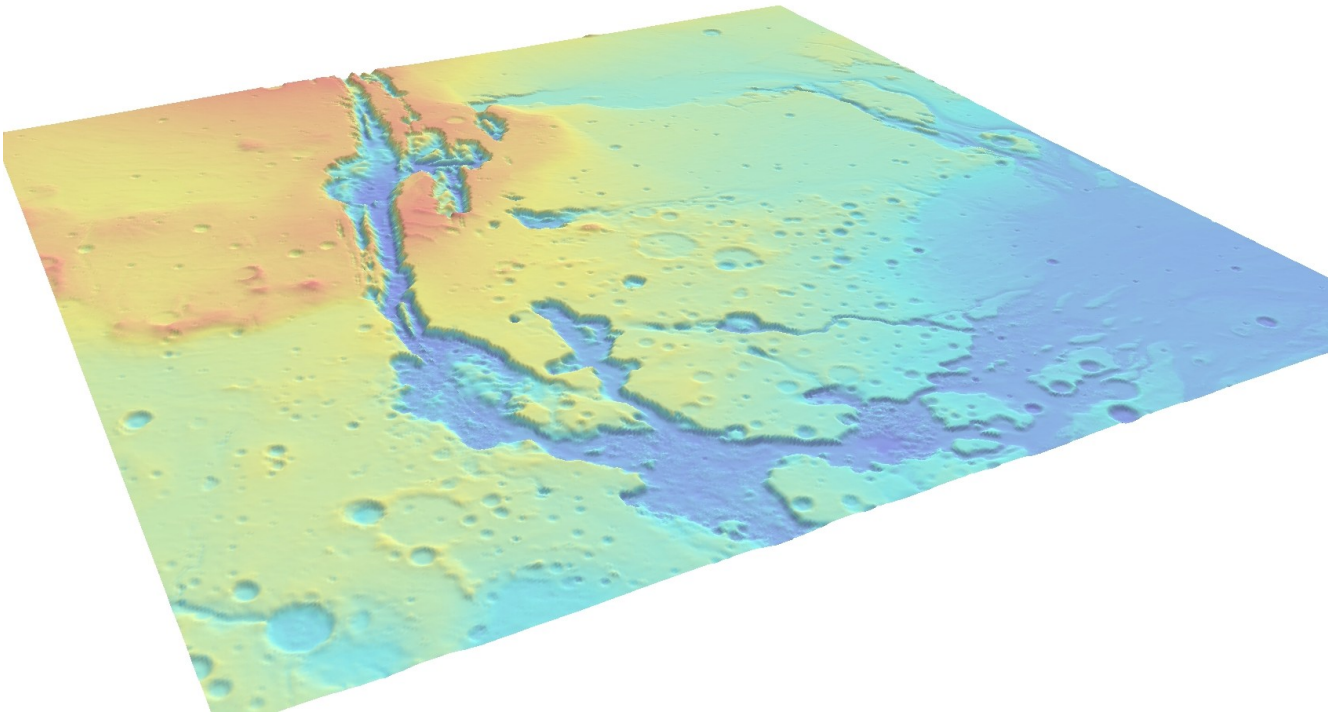


Υπόμνημα

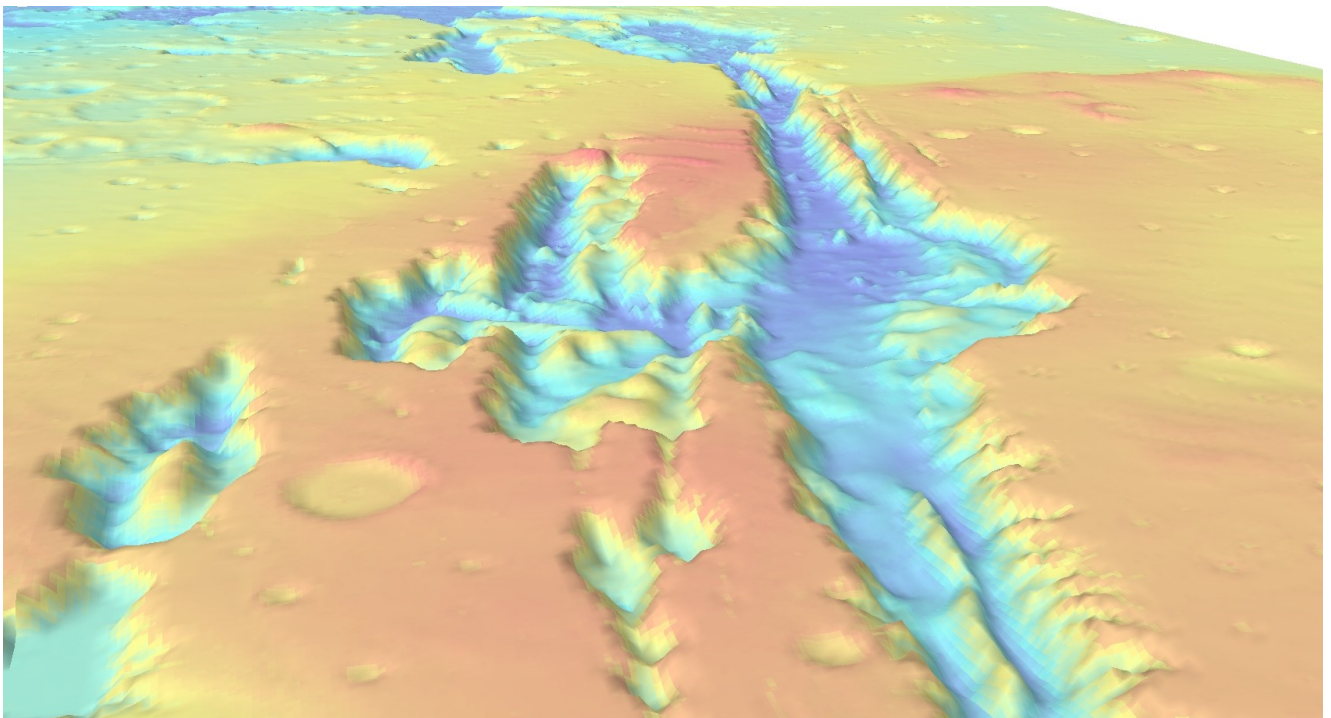
- Κύριο υδρογραφικό δίκτυο
- Δευτερεύον υδρογραφικό δίκτυο
- Ακτογραμμή
- Τάφροι-Κέρατα
- Channel
- Depression
- Graben
- Graben, undiff
- Wrinkle ridge
- Κρατήρες πρόσκρουσης
- αποθέσεις κρατήρων - ζώνη 1
- αποθέσεις κρατήρων - ζώνη 2
- αποθέσεις κρατήρων - ζώνη 3

Χάρτης 20: Γεωμορφολογικός χάρτης περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

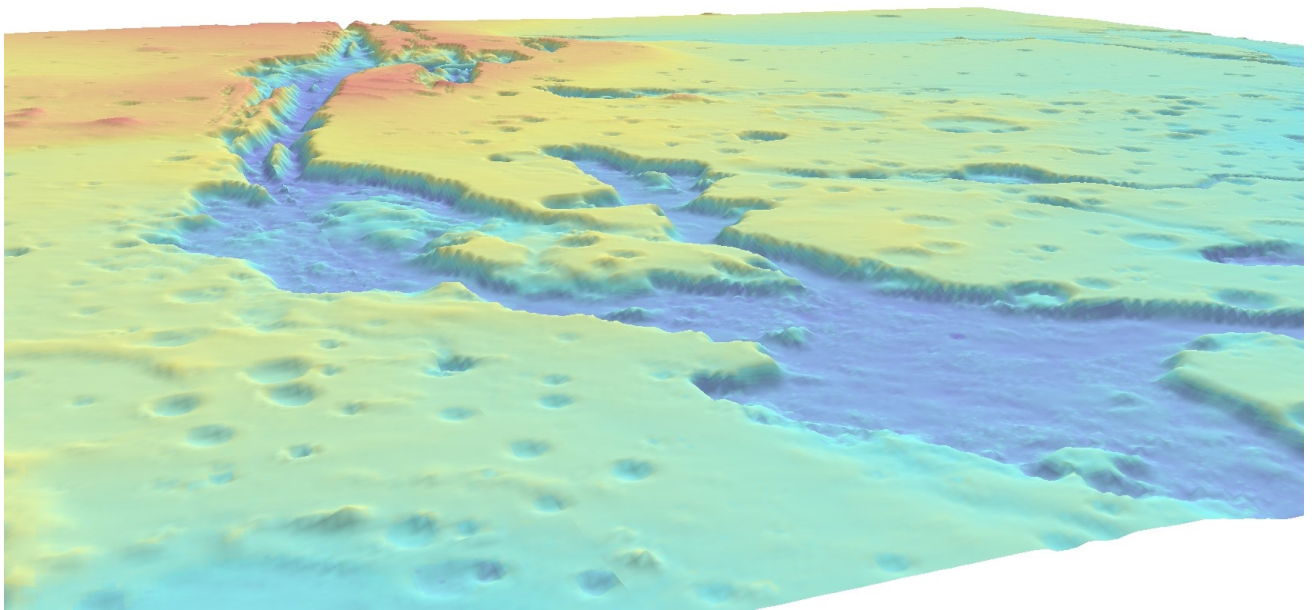
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ



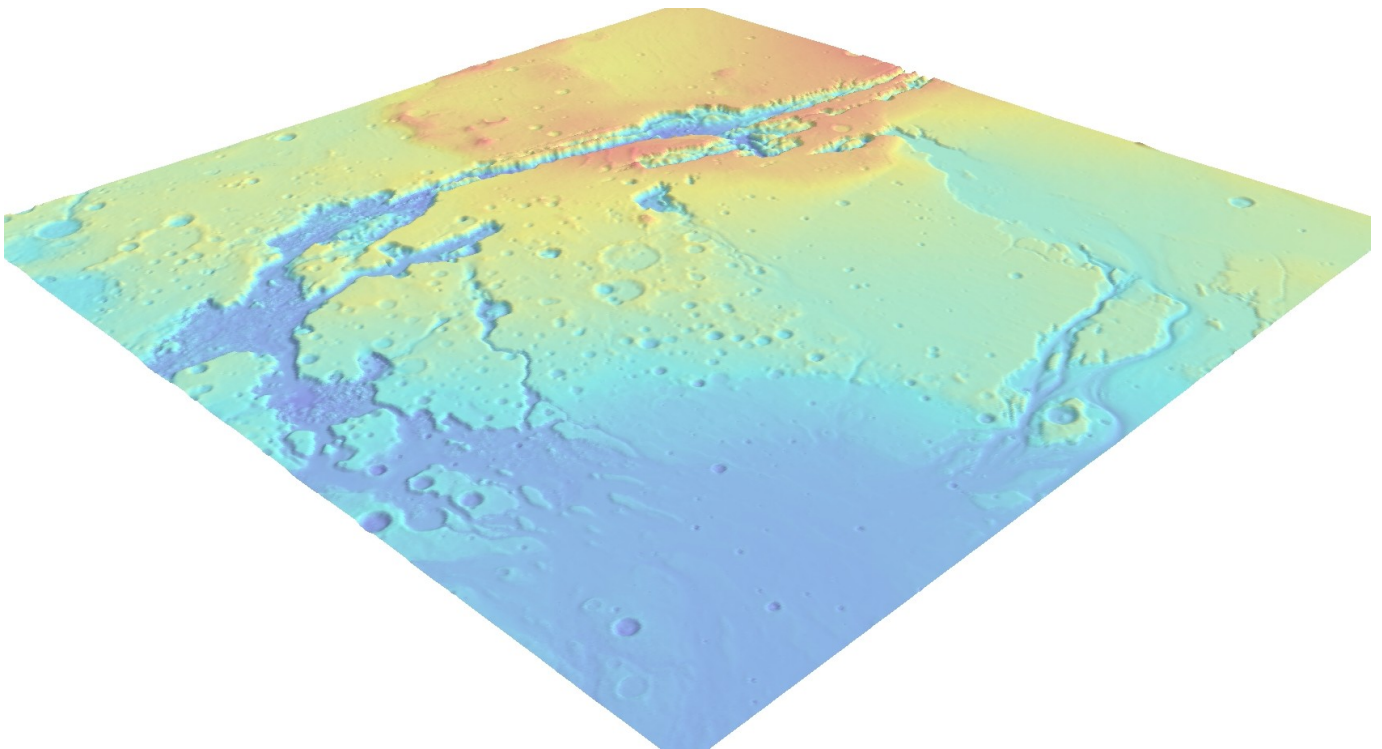
Εικόνα 37: Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



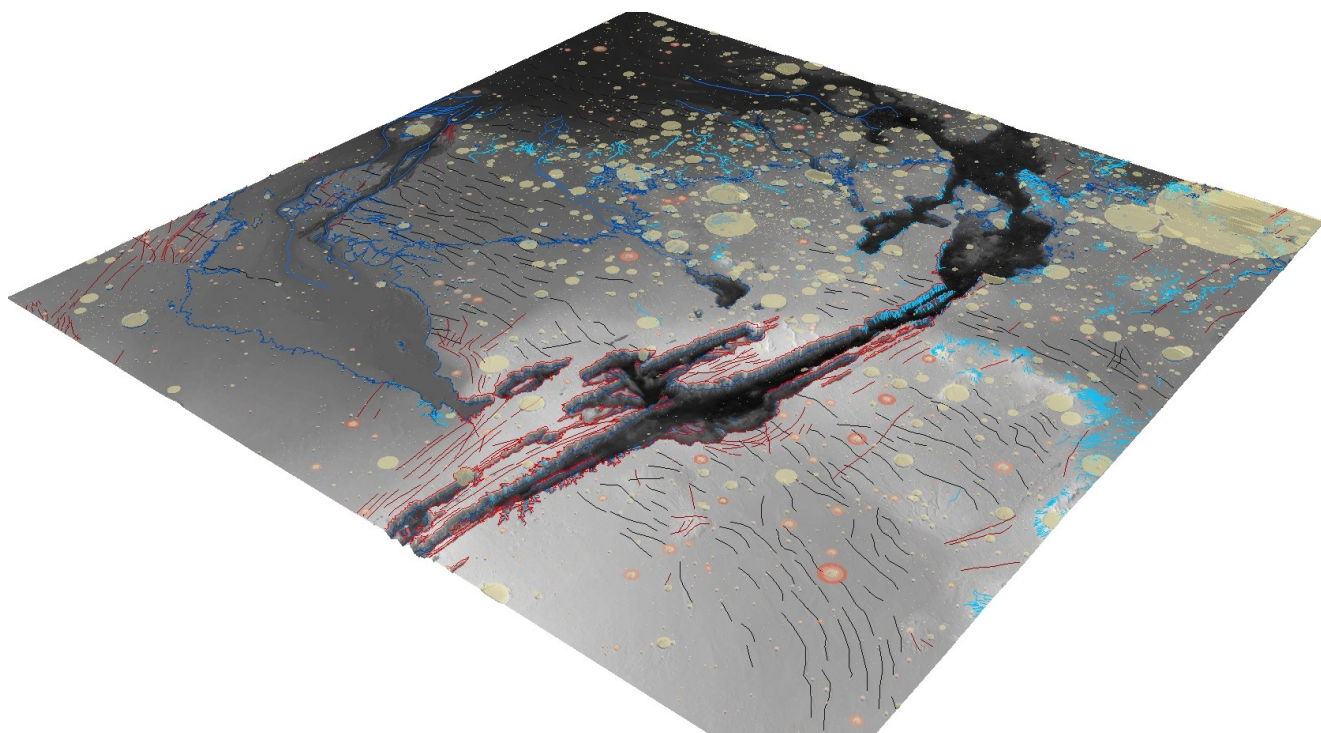
Εικόνα 38: Τρισδιάστατη απεικόνιση του φαραγγιού Valles Marineris. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



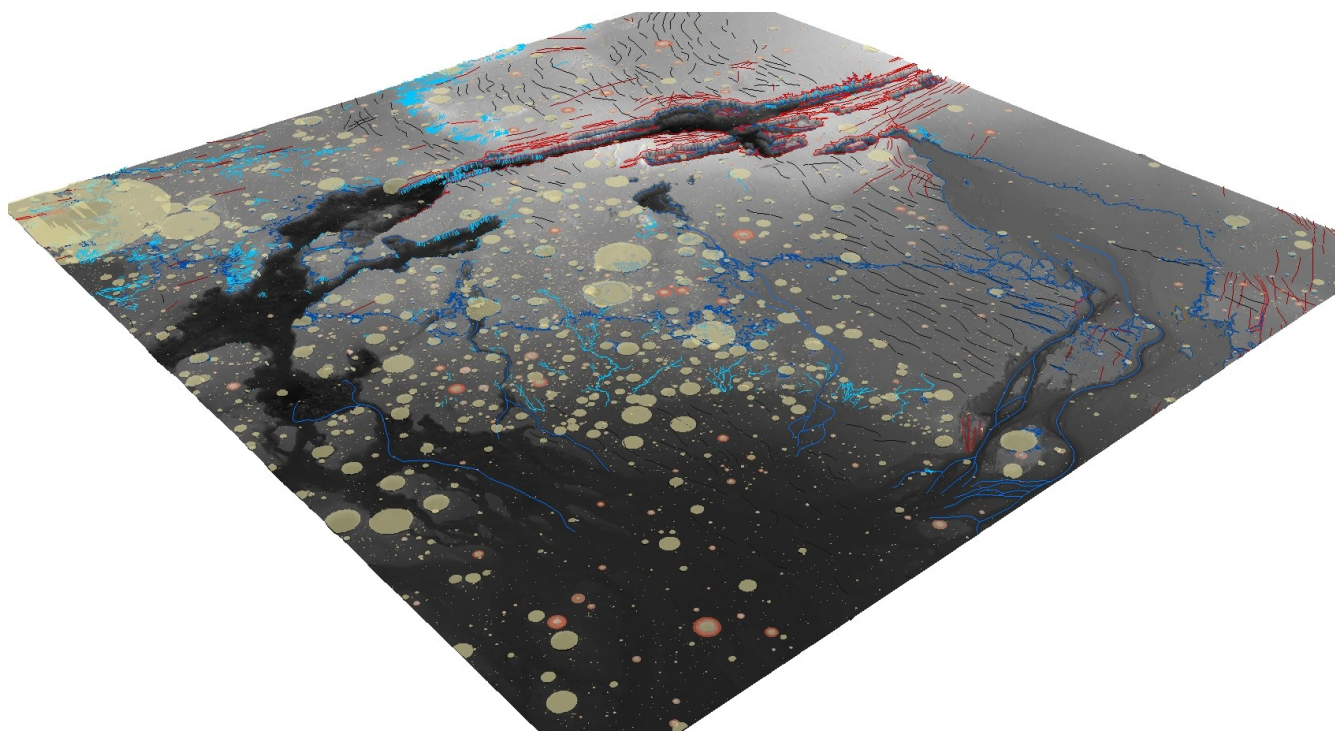
Εικόνα 39: Τρισδιάστατη απεικόνιση της κοιλάδας Xanthe Terra. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



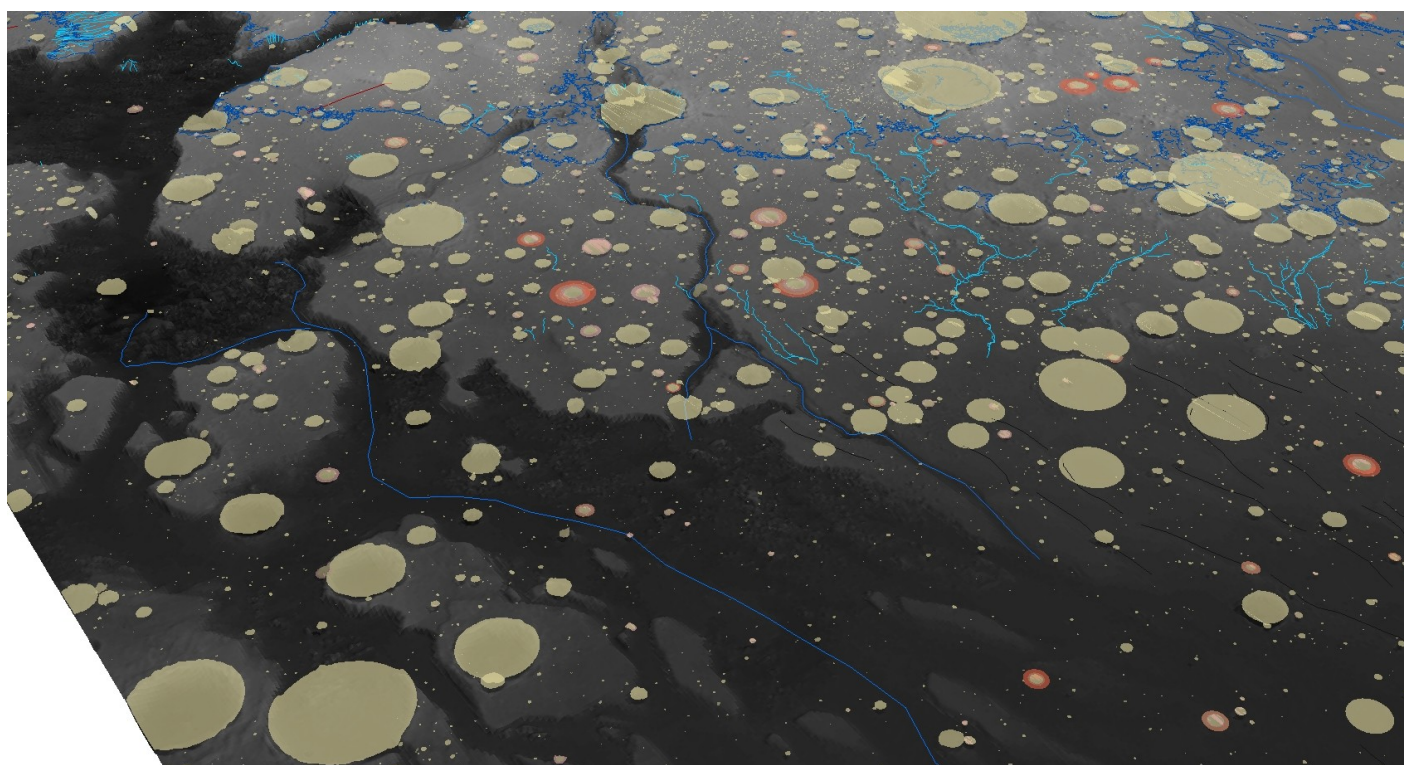
Εικόνα 40: Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μελέτης. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



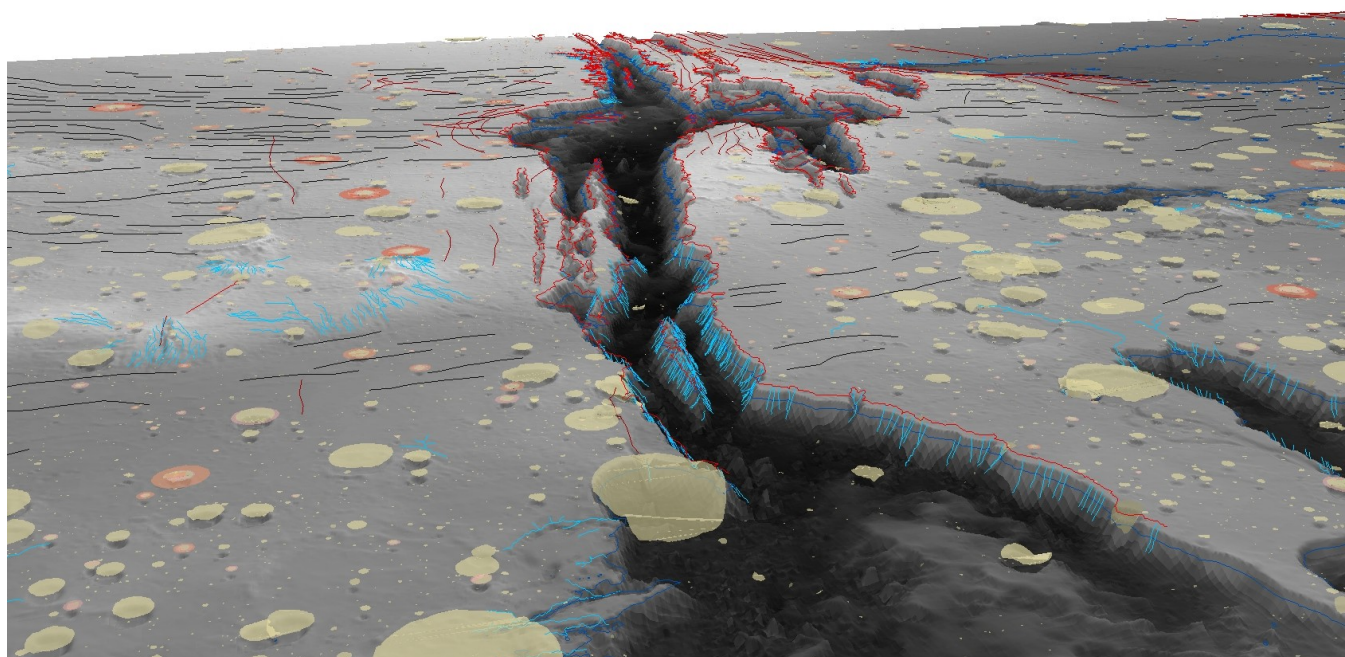
Εικόνα 41: Τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωμορφολογικού χάρτη. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 42: Τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωμορφολογικού χάρτη. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

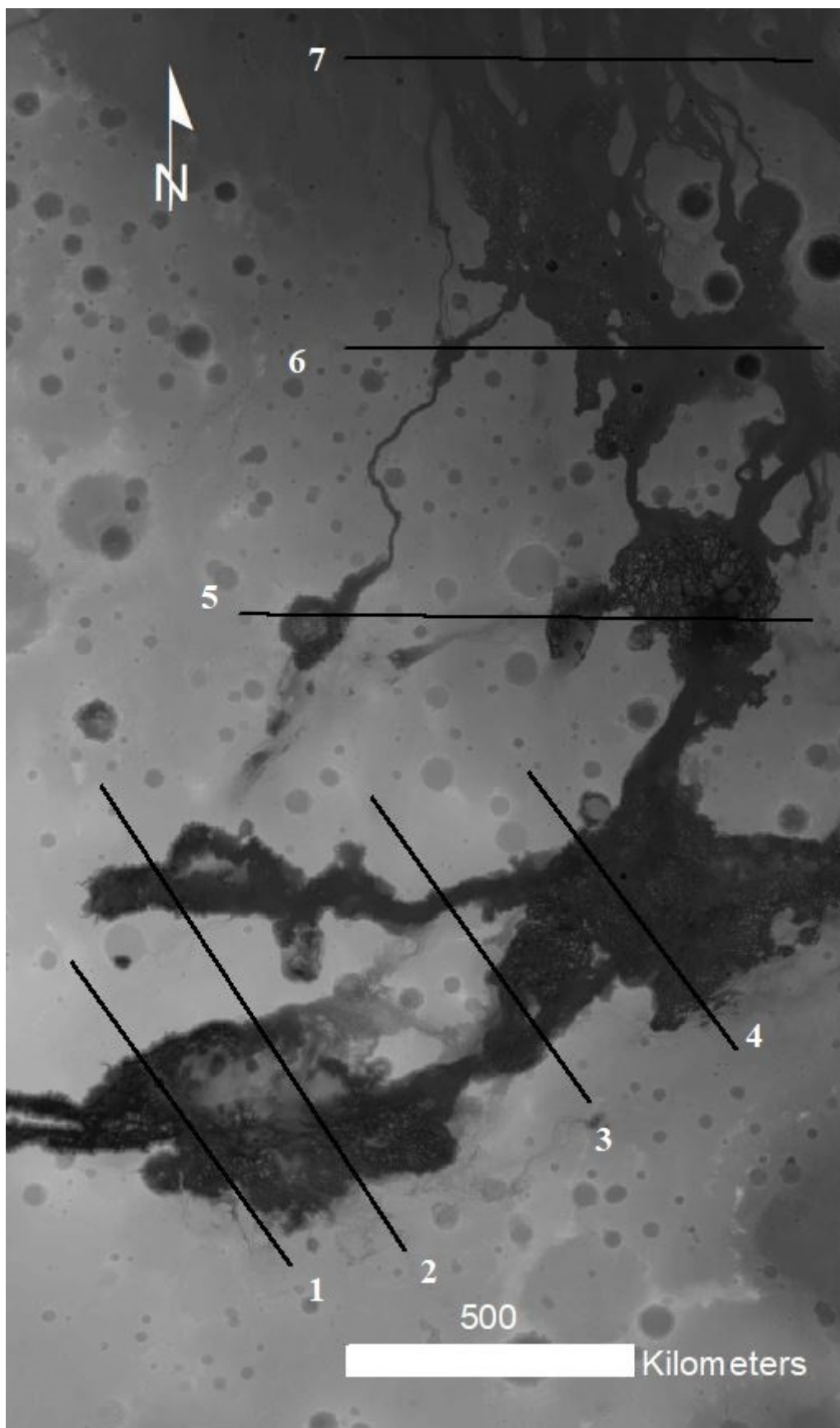


Εικόνα 43: Τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωμορφολογικού χάρτη στην περιοχή Xanthe Terra. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

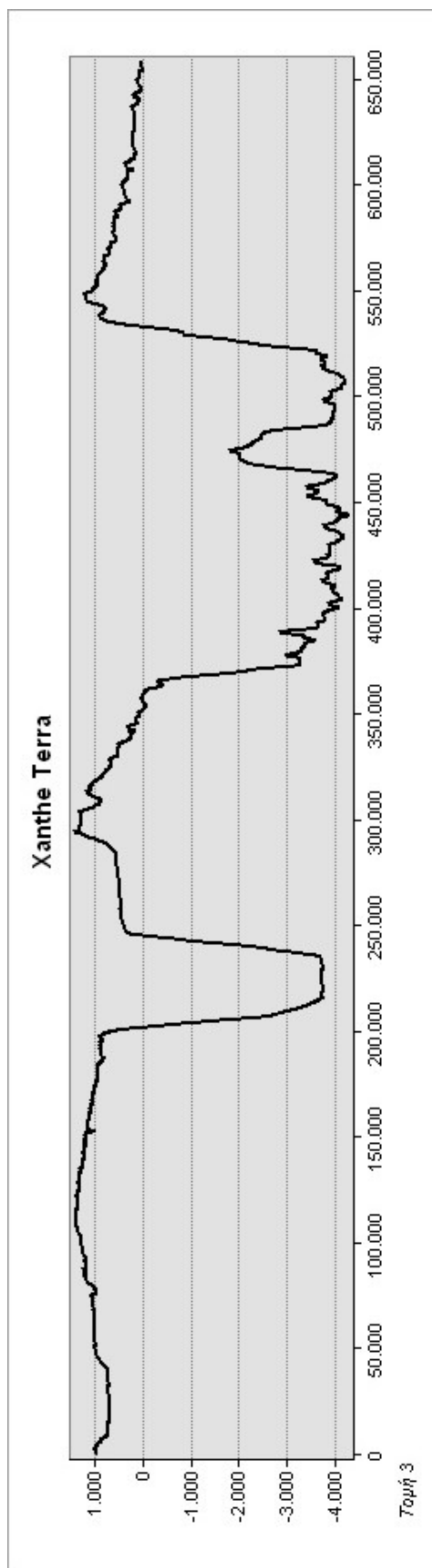


Εικόνα 44: Τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωμορφολογικού χάρτη στην περιοχή Valles Marineris. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

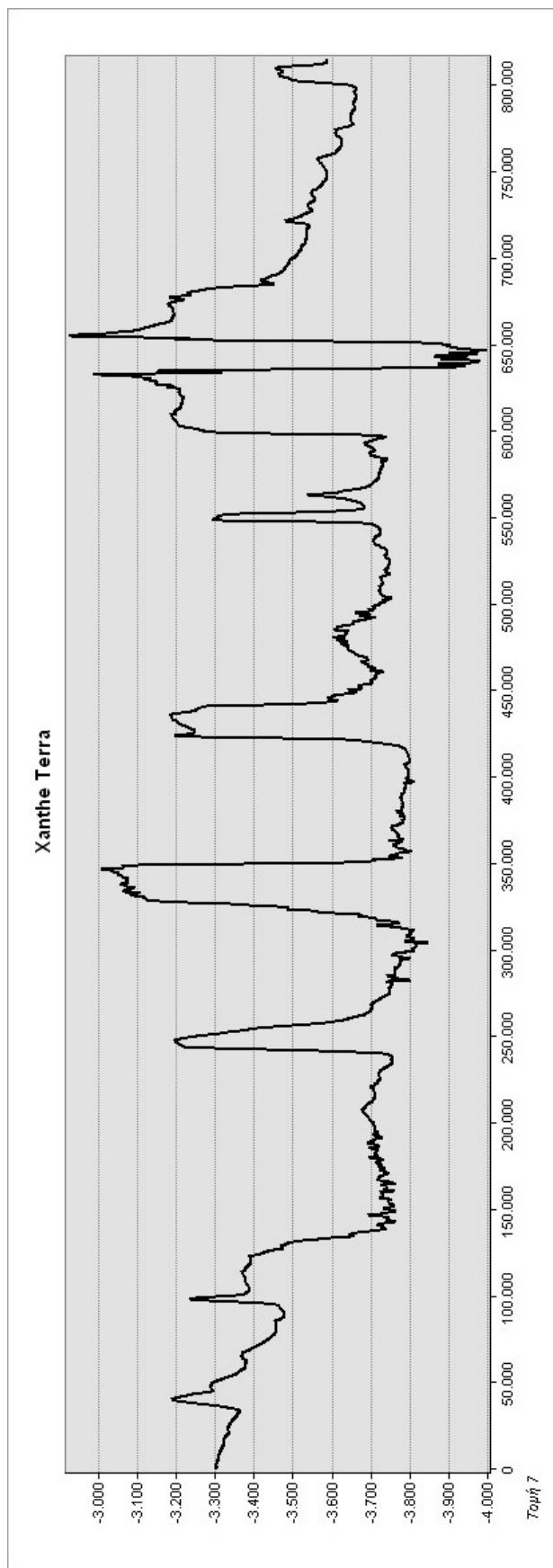
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ': ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ



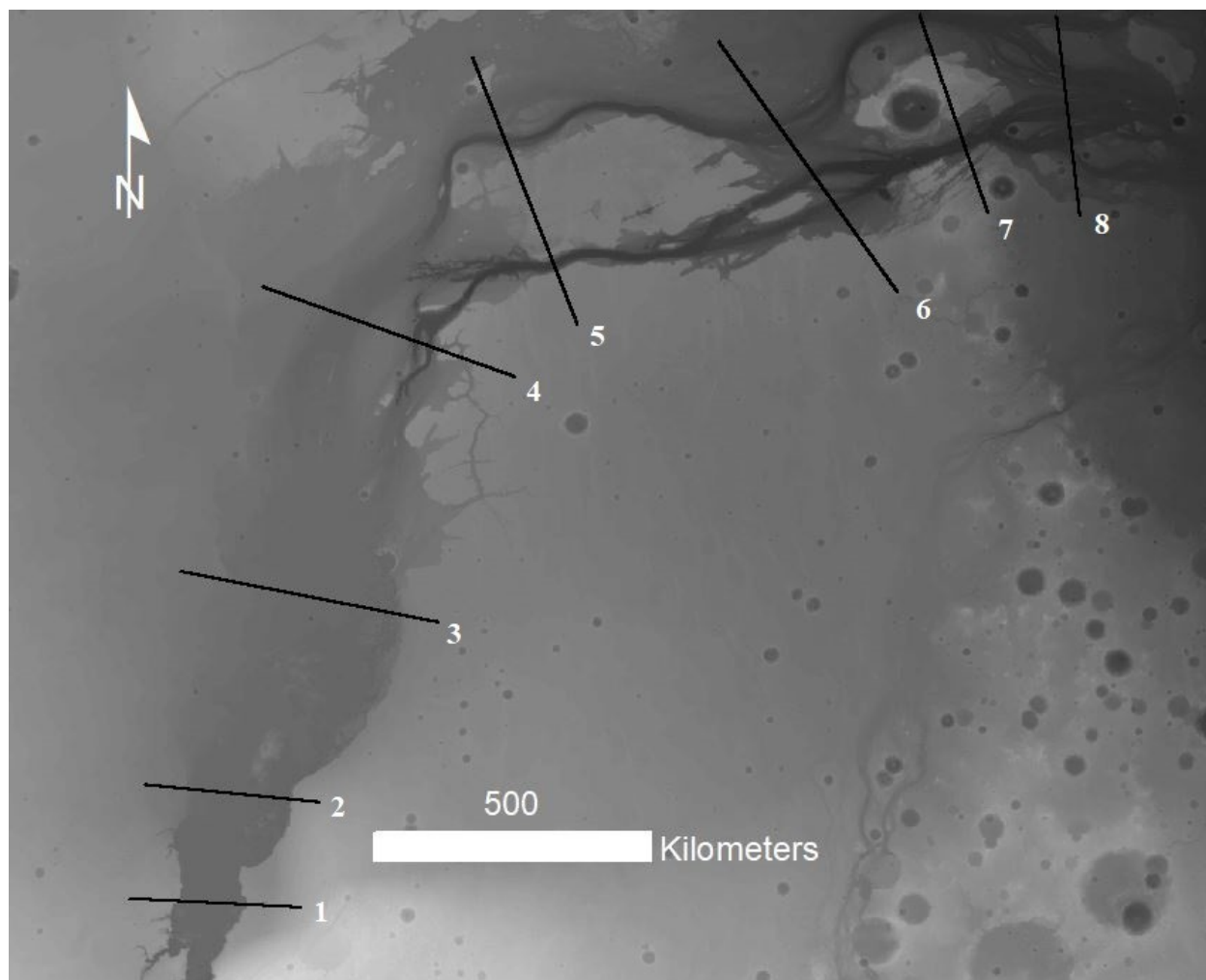
Εικόνα 45: Τοπογραφικές τομές της περιοχής Xanthe Terra. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



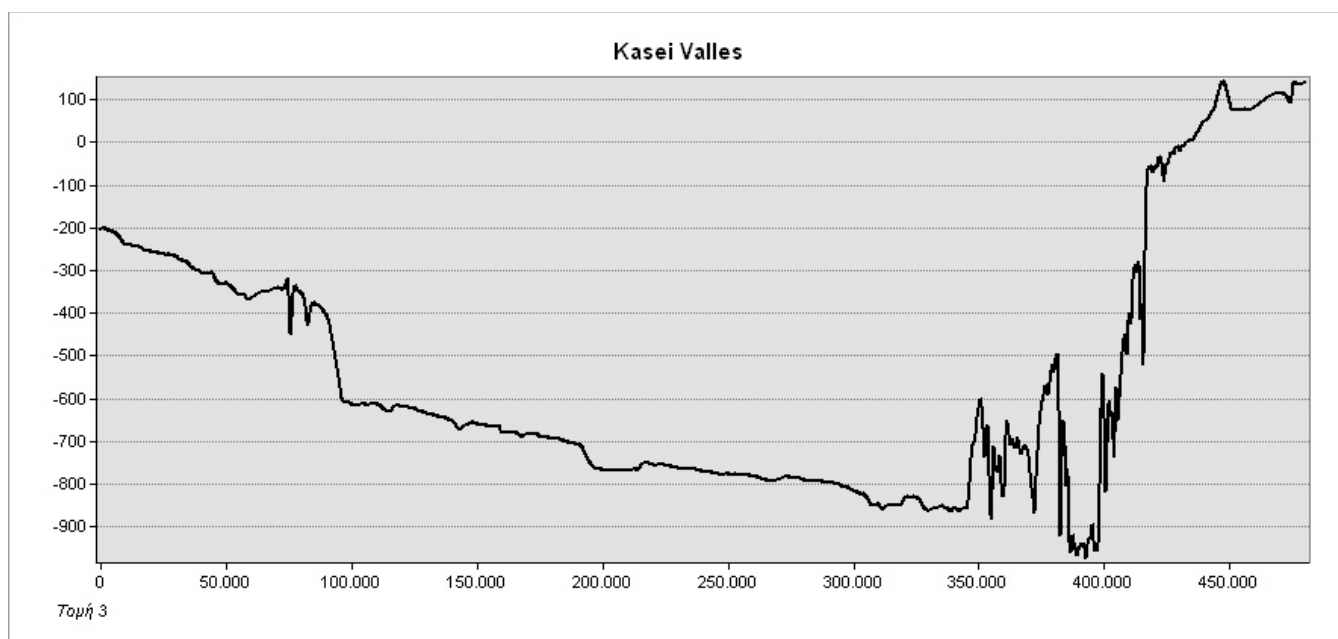
Γράφημα 1: Τομή 3 από την περιοχή Xanthe Terra. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



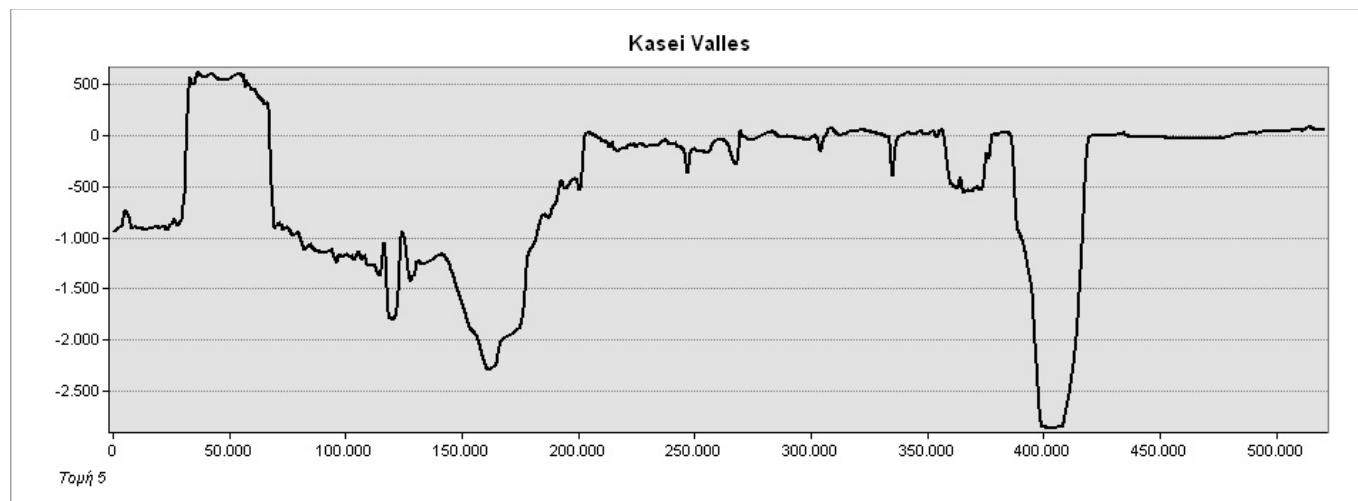
Γράφημα 2: Τομή 7 από την περιοχή Xanthe Terra. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



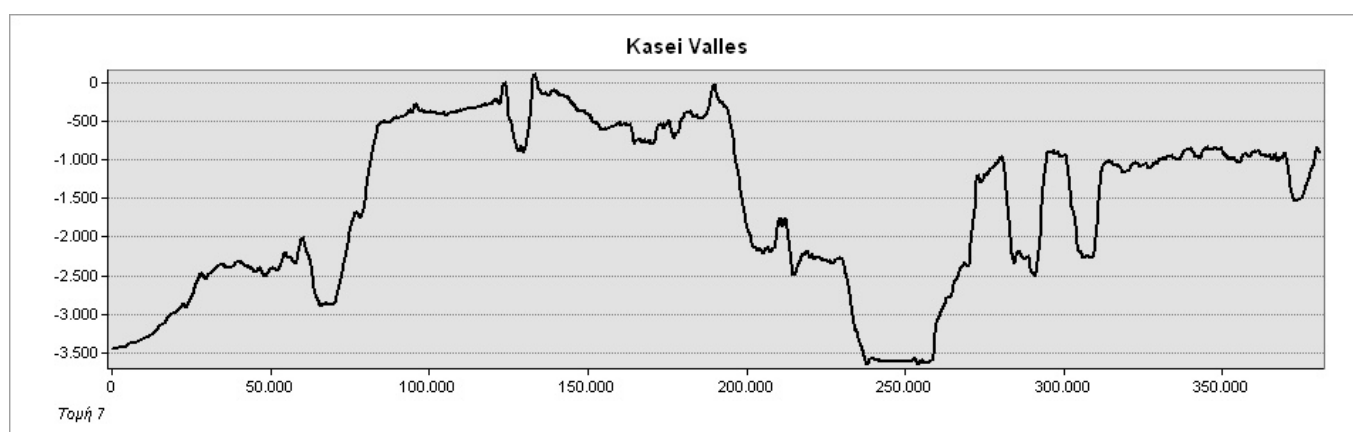
Εικόνα 46: Τοπογραφικές τομές της περιοχής Kasei Valles. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



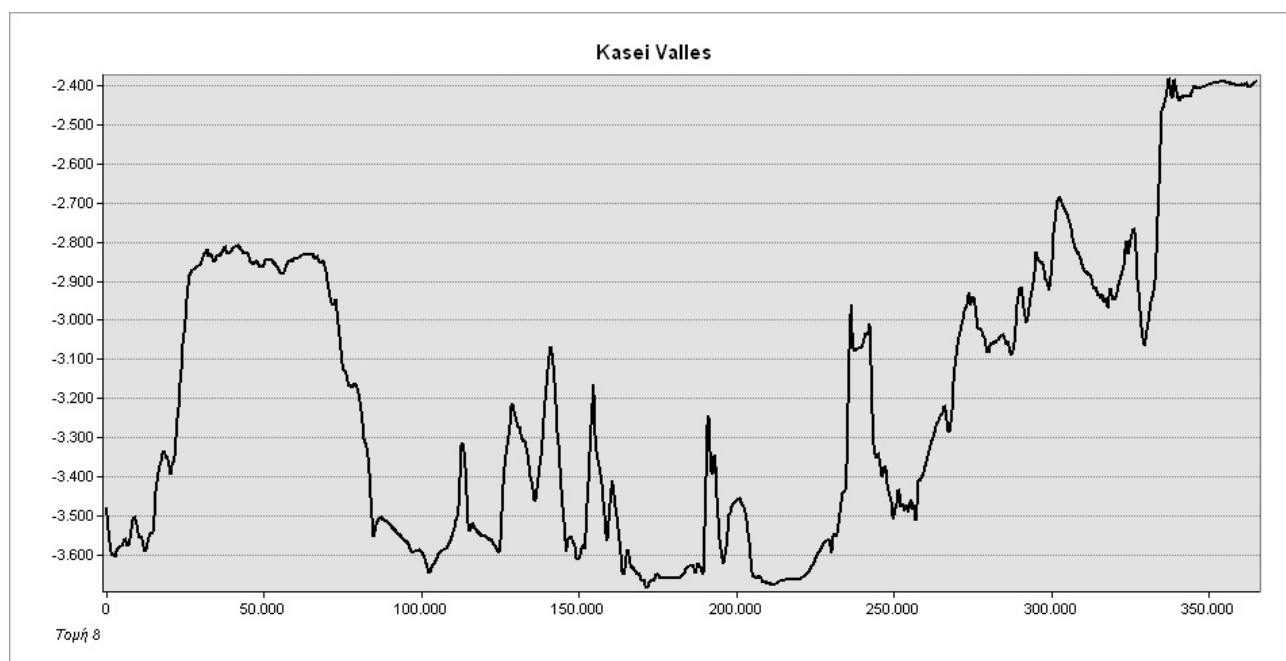
Γράφημα 3: Τομή 3 από την περιοχή Kasei Valles. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



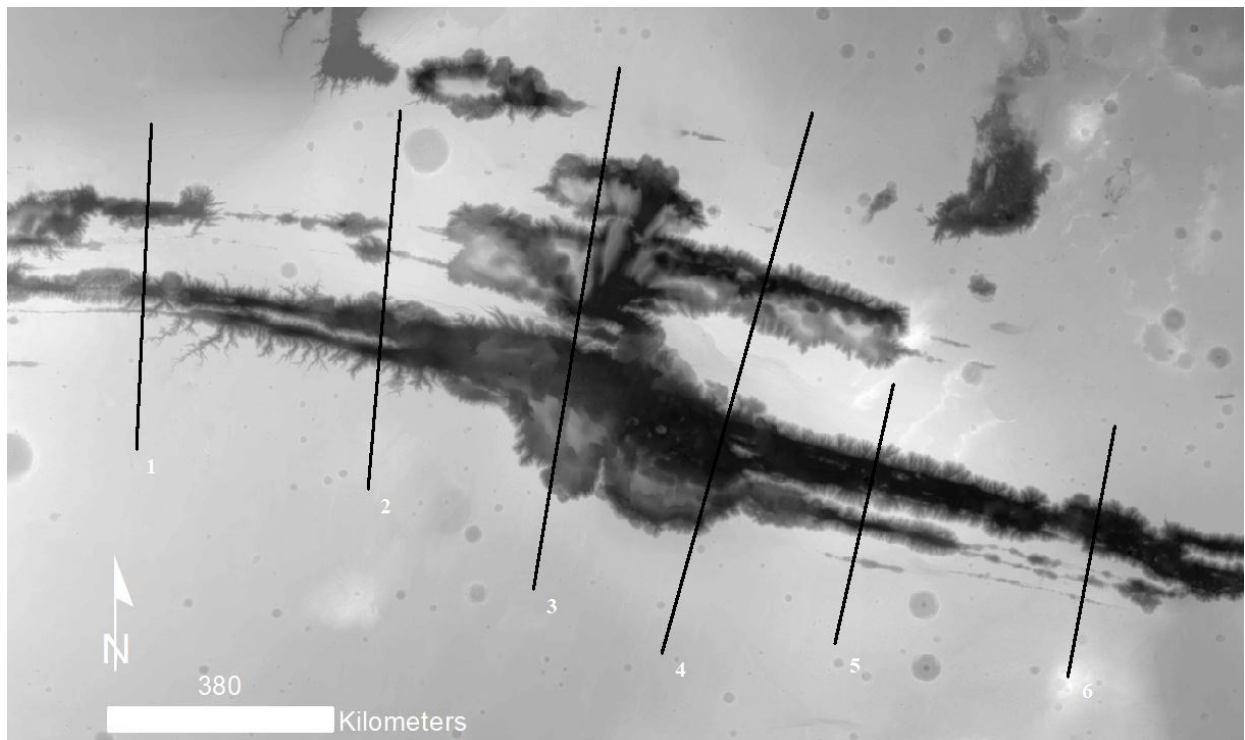
Γράφημα 4: Τομή 5 από την περιοχή Kasei Valles. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



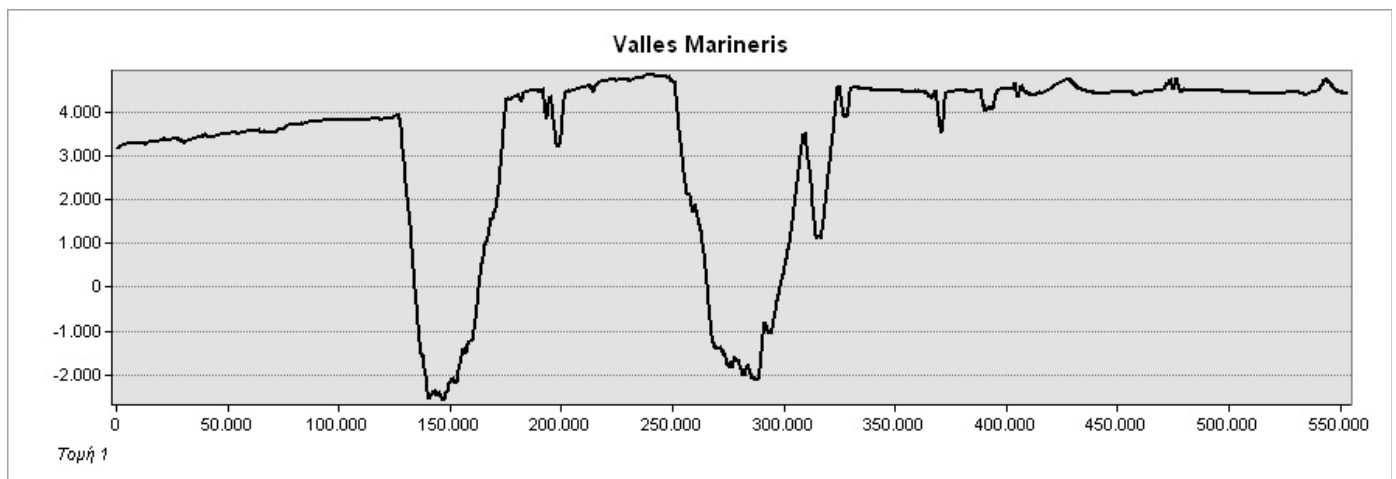
Γράφημα 5: Τομή 7 από την περιοχή Kasei Valles. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



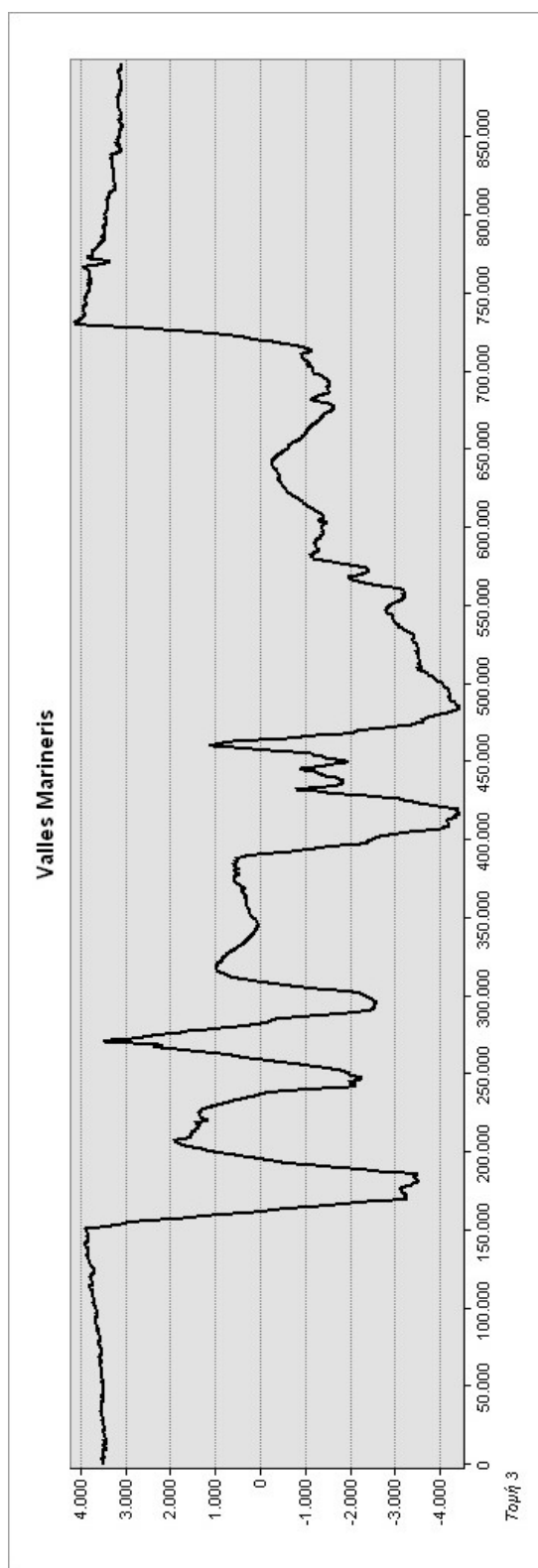
Γράφημα 6: Τομή 8 από την περιοχή Kasei Valles. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



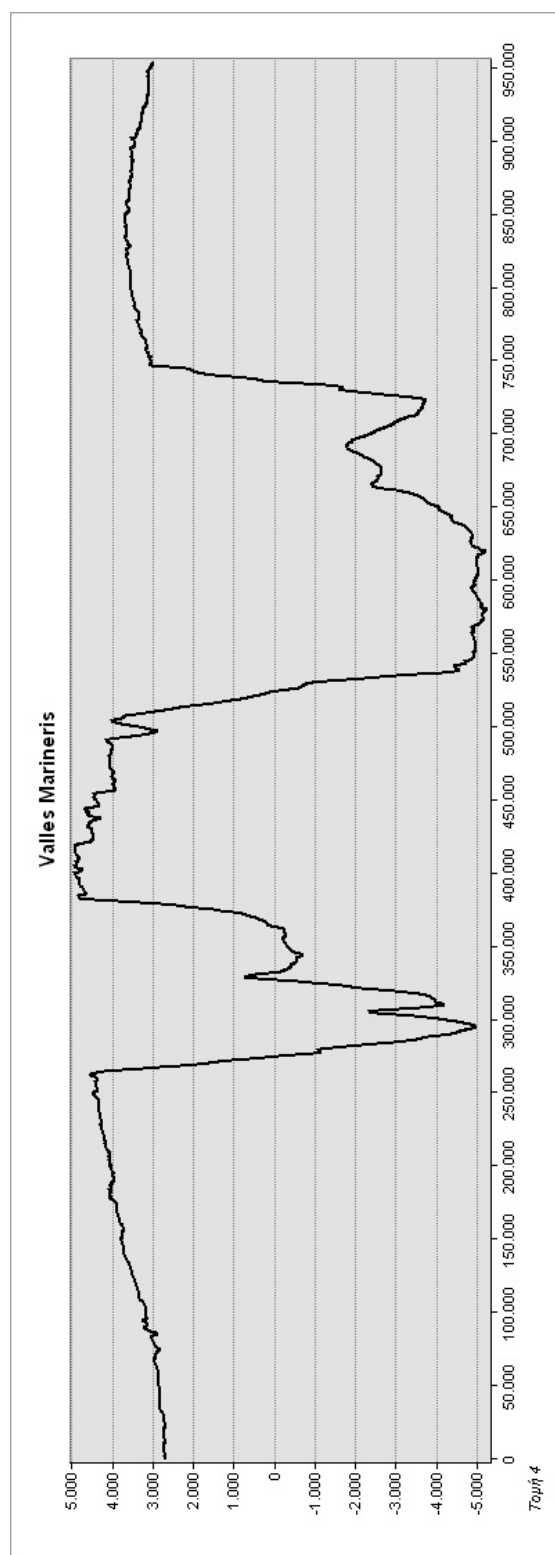
Εικόνα 47: Τοπογραφικές τομές στο φαράγγι Valles Marineris. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Γράφημα 7: Τομή 1 από το φαράγγι Valles Marineris. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Γράφημα 8: Τομή 3 από το φαράγγι Valles Marineris. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Γράφημα 9: Τομή 4 από το φαράγγι Valles Marineris. (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνικά Βιβλία

Δερμιτζάκης Μ.Δ. και Λέκκας Σ.Π., (2010), Διερευνώντας τη Γη. Εισαγωγή στη γενική γεωλογία, Αθήνα, Γ. Γκέλμπεσης

Καρύμπαλης Ε.Θ., (2010), Παράκτια Γεωμορφολογία, Αθήνα, Ίων

Παυλόπουλος Κ.Π., (2011), Γεωμορφολογία. Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες, Αθήνα, Ίων

Ξενόγλωσσα Βιβλία

French B. M., (1998), Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite, Houston, Lunar and Planetary Institute

Tanaka K.L., Scott D.H., Greeley R., (1992), Global stratigraphy, In Kieffer H.H., Jakosky B.M., Snyder C.W., Matthews M.S., Mars, University of Arizona Press, 345–382

Επιστημονικά Άρθρα

Banks M.E., McEwen A.S., Kargel J.S., Baker V.R., Strom R.G, Mellon M.T., Gulick V.C., Keszthelyi L., Herkenhoff K.E., Pelletier J.D., Jaeger W.L., (2008), High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) observations of glacial and periglacial morphologies in the circum-Argyre Planitia highlands, Mars., Journal Of Geophysical Research, Vol. 113, E12015, doi:10.1029/2007JE002994

Barlow N.G. and Bradley T.L., (1990), Martian Impact Craters: Correlations of Ejecta and Interior Morphologies with Diameter, Latitude, and Terrain, Icarus, Vol. 87, Issue 1, p. 156–179, doi.org/10.1016/0019-1035(90)90026-6

Bourke M.C., Bullard J.E., Barnouin-Jha O.S., (2004), Aeolian sediment transport pathways and aerodynamics at troughs on Mars., *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 109, E07005, doi:10.1029/2003JE002155

Bourke M.C., Edgett K.S., Cantor B.A., (2008), Recent aeolian dune change on Mars, *Geomorphology*, Vol. 94, Issues 1–2, p. 247–255, doi:10.1016/j.geomorph.2007.05.012

Breuer D. and Spohn T., (2003), Early plate tectonics versus single-plate tectonics on Mars: Evidence from magnetic field history and crust evolution., *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 108, No. E7, 5072, doi:10.1029/2002JE001999

Carr M.H. and Head III J.W., (2010), Geologic history of Mars, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 294, Issues 3–4, p. 185–203, doi:10.1016/j.epsl.2009.06.042

Connerney J. E. P., Acuña M. H., Ness N. F., Kletetschka G., Mitchell D. L., Lin R. P., Reme H., (2005), Tectonic implications of Mars crustal magnetism, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 102, No. 42, 14970-14975, doi:10.1073/pnas.0507469102

Goudge T.A. and Fassett C.I., (2017), The Importance Of Lake Overflow Floods For Early Martian Landscape Evolution: Insights From Licus Vallis., *4th International Conference on Early Mars: Geologic, Hydrologic, and Climatic Evolution and the Implications for Life*, 2-6 Oct. 2017, Flagstaff, AZ United States

Greeley R. and Guest J.E., (1987), *Geologic Map of the Eastern Equatorial region of Mars*, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey

Head J.W., (2007), *The geology of Mars: new insights and outstanding questions*, Cambridge University Press, p. 1-46, doi.org/10.1017/CBO9780511536014.002

Hobbs S.W., Paull D.J., Clarke J.D.A., (2017), Testing the water hypothesis: Quantitative morphological analysis of terrestrial and martian mid-latitude gullies., *Geomorphology*, Vol. 295,

p. 705–721, doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.08.021

Howard A.D., Moore J.M., Irwin III R.P., (2005), An intense terminal epoch of widespread fluvial activity on early Mars: 1. Valley network incision and associated deposits., *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 110, E12S14, doi:10.1029/2005JE002459

Howard A.D., (2007), Simulating the development of Martian highland landscapes through the interaction of impact cratering, fluvial erosion, and variable hydrologic forcing., *Geomorphology*, Vol. 91, Issue 3, p. 332–363, doi:10.1016/j.geomorph.2007.04.017

Lenardic A., Nimmo F., Moresi L., (2004), Growth of the hemispheric dichotomy and the cessation of plate tectonics on Mars., *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 109, E02003, doi:10.1029/2003JE002172

Leverington D.W., (2017), Is Kasei Valles (Mars) the largest volcanic channel in the solar system?, *Icarus* Vol. 301, p. 37-57, doi.org/10.1016/j.icarus.2017.10.007

Mandt K.E., de Silva S.L., Zimbelman J.R., Crown D.A., (2008), Origin of the Medusae Fossae Formation, Mars: Insights from a synoptic approach., *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 113, E12011, doi:10.1029/2008JE003076

McEwen A.S. and Bierhaus E.B., (2006), The Importance of Secondary Cratering to Age Constraints on Planetary Surfaces, *The Annual Review of Earth and Planetary Science*, Vol. 34, p. 535–567, doi: 10.1146/annurev.earth.34.031405.125018

McEwen A.S., Preblich B.S., Turtle E.P., Artemieva N. A, Golombek M.P., Hurst M., Kirk R.L., Burr D.M., Christensen P.R., (2005), The rayed crater Zunil and interpretations of small impact craters on Mars, *Icarus*, Vol. 176, Issue 2, p. 351–381, doi:10.1016/j.icarus.2005.02.009

Mehta A. and Barker G.C., (1994), The dynamics of sand, *Reports on Progress in Physics*, Vol. 57, Issue 4, 383-416, doi.org/10.1088/0034-4885/57/4/002

Pedersen G.B.M. and Head III J.W., (2011), Chaos formation by sublimation of volatile-rich substrate: Evidence from Galaxias Chaos, Mars, *Icarus*, Vol. 211, Issue 1, p. 316–329, doi:10.1016/j.icarus.2010.09.005

Peulvast J.P., Mége D., Chiciak J., Costard F, Masson P.L., (2001), Morphology, evolution and tectonics of Valles Marineris wallslopes (Mars)., *Geomorphology*, Vol. 37, Issues 3–4, 329-352, doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00085-4

Plescia J.B., (2004), Morphometric properties of Martian volcanoes, *Journal Of Geophysical research*, Vol. 109, E03003, doi:10.1029/2002JE002031

Raitala J., (1990), Wrinkle ridges on mars, *Advances in Space Research*, Vol. 10, Issues 3–4, 71–73, doi.org/10.1016/0273-1177(90)90329-X

Rathbun J.A. and Squyres S.W., (2002), Hydrothermal Systems Associated with Martian Impact Craters, *Icarus*, Vol. 157, Issue 2, p. 362–372, doi.org/10.1006/icar.2002.6838

Robbins S.J. and Hynek B.M., (2014), The secondary crater population of Mars, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 400, p. 66–76, doi.org/10.1016/j.epsl.2014.05.005

Tanaka K.L., Skinner J.A., Jr., Dohm J.M., Irwin R.P., III, Kolb E.J., Fortezzo C.M., Platz T., Michael G.G., Hare T.M., (2014), *Geologic Map of Mars*, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey

Tornabene L.L., Watters W.A., Osinski G.R., Boyce J.M., Harrison T.N., Ling V., McEwen A.S., (2018), A depth versus diameter scaling relationship for the best-preserved melt-bearing complex craters on Mars, *Icarus*, Vol. 299, p. 68–83, doi.org/10.1016/j.icarus.2017.07.003

Vaucher J., Baratoux D., Toplis M.J., Pinet P., Mangold N., Kurita K., (2009), The morphologies of volcanic landforms at Central Elysium Planitia: Evidence for recent and fluid lavas on Mars, *Icarus*, Vol. 200, 39–51, doi:10.1016/j.icarus.2008.11.005

Ward A.W., (1979), Yardangs on Mars: Evidence of Recent Wind Erosion, Journal Of Geophysical Research, Vol. 84, No. B14, doi.org/10.1029/JB084iB14p08147

Διαδικτυακοί Ιστότοποι

ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας, 2.3. Ασπιδόμορφα ηφαίστεια,

http://www.geo.auth.gr/765/2_landforms/23_volcano_shield.htm, 22/06/2018.

Baas A.C.W., (2014), Streamer., In: Encyclopedia of Planetary Landforms., Springer, New York, NY, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-9213-9_426-1, 22/06/2018.

Baas A.C.W. and Hargitai H., (2014), Sand Patch., In: Encyclopedia of Planetary Landforms., Springer, New York, NY, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-9213-9_324-1, 22/06/2018.

Chojnacki M., (2014), Sand Ramp., In: Encyclopedia of Planetary Landforms., Springer, New York, NY, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-9213-9_538-1, 22/06/2018.

Chojnacki M., Hargitai H., Kereszturi Á. (2014) Climbing Dune., In: Encyclopedia of Planetary Landforms., Springer, New York, NY, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-9213-9_51-1, 22/06/2018.

Chojnacki M., Hargitai H., Kereszturi Á., (2014), Falling Dune., In: Encyclopedia of Planetary Landforms., Springer, New York, NY, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-9213-9_145-1#springerlink-search, 22/06/2018.

Drake N.B. and Hargitai H., (2014), Wind Streak., In: Encyclopedia of Planetary Landforms., Springer, New York, NY, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-9213-9_145-1#springerlink-search

[9213-9_569-1](#), 22/06/2018.

Elbelrhiti H. and Hargitai H., (2014), Barchan., In: Encyclopedia of Planetary Landforms., Springer, New York, NY, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-9213-9_12-1, 22/06/2018.

Encyclopedia Britannica, Glacial landform, Geology, <https://www.britannica.com/science/glacial-landform#ref49769>, 22/06/2018.

Encyclopedia Britannica, Roche moutonnée, Geology, <https://www.britannica.com/science/roche-moutonnee>, 22/06/2018.

ESA, Mars Express, The Ages of Mars, <http://sci.esa.int/mars-express/55481-the-ages-of-mars/>, 22/06/2018.

ESA, Robotic Exploration of Mars, Exomars Trace Gas Orbiter and Schiaparelli Mission (2016), <http://exploration.esa.int/mars/46124-mission-overview/>, 22/06/2018.

Hargitai H., (2014), Transverse Ridge., In: Encyclopedia of Planetary Landforms., Springer, New York, NY, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-9213-9_382-1, 22/06/2018.

I1802ABC_geology_equidistcyl, file:///C:/Users/user/Desktop/Mars/Data_My/Mars-Vector%20Data/I1802ABC_Mars_global_geology/I1802ABC_geology_equidistcyl_fgdc.htm, 22/06/2018.

NASA, For Educators, Regolith Formation, https://www.nasa.gov/audience/foreducators/topnav/materials/listbytype/Regolith_Formation.html, 22/06/2018.

NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Historical Log, <https://mars.nasa.gov/programmissions/missions/log/>, 22/06/2018.

NASA, Mars Exploration, Program & Missions, Viking 1 & 2,
<https://mars.nasa.gov/programmissions/missions/past/viking/>, 22/06/2018.

NASA Science Solar System Exploration, Mars, In Depth,
<https://solarsystem.nasa.gov/planets/mars/in-depth/>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, InSight, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=INSIGHT>,
22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mangalyaan, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2013-060A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mariner 4, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1964-077A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mariner 6, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1969-014A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mariner 7, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1969-030A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mariner 9, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1971-051A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN),
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2013-063A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Express, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2003-022A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Fact Sheet,

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Global Surveyor (1),

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/marsurv.html>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Global Surveyor (2),

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/masterCatalog.do?sc=1996-062A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars 3, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1971-049A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars 5, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1973-049A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars 6, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1973-052A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Pathfinder Rover

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=MESURPR>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Reconnaissance Orbiter,

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2005-029A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Science Laboratory (MSL),

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2011-070A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Opportunity, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2003-032A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Phoenix Mars Lander,

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2007-034A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Spirit, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2003-027A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Viking 1 Orbiter, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1975-075A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, 2001 Mars Odyssey, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2001-014A>, 22/06/2018.

Pidwirny, M., (2006), Periglacial Processes and Landforms, Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition., <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10ag.html>, 22/06/2018.

Radebaugh J., Sharma P., Korteniemi J., Fitzsimmons K.E., (2014), Longitudinal Dunes (or Linear Dunes), In: Encyclopedia of Planetary Landforms., Springer, New York, NY, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4614-9213-9_460-2, 22/06/2018.

USGS, Astrogeology Science Center, The Mars Global Digital Dune Database, <https://astrogeology.usgs.gov/geology/mars-dunes/the-mars-global-digital-dune-database>, 22/06/2018.

Χάρτες

Color-Coded Contour Map of Mars, M 25M RKT, U.S., (2003), Geological Survey, https://pubs.usgs.gov/imap/i2782/i2782_sh2.pdf, 22/06/2018.

USGS, Tanaka K.L., Skinner J.A. Jr., Dohm J.M., Irwin R.P. III, Kolb E.J., Fortezzo C.M., Platz T., Michael G.G, Hare T.M, (2014), Geologic Map of Mars, https://pubs.usgs.gov/sim/3292/pdf/sim3292_map.pdf, 22/06/2018.

Πηγές δεδομένων

Mars Crater Database Search, <http://craters.sjrdesign.net/> , 22/06/2018.

USGS, Astrogeology Science Center,

https://astrogeology.usgs.gov/search/map/Mars/Topography/HRSC_MOLA_Blend/Mars_HRSC_MOLA_BlendDEM_Global_200mp_v2, 22/06/2018.

USGS, Astrogeology Science Center,

<https://astrogeology.usgs.gov/search/map/Mars/Geology/Mars15MGeologicGISRenovation>, 22/06/2018.

USGS, NASA, International Astronomical Union, Gazetteer of Planetary Nomenclature,

https://planetarynames.wr.usgs.gov/GIS_Downloads , 22/06/2018.

USGS, Planetary GIS Web Server - PIGWAD, Mars Downloads,

https://webgis.wr.usgs.gov/pigwad/down/mars_dl.htm, 22/06/2018.

Πηγές εικόνων

Bourke M.C., Edgett K.S., Cantor B.A., (2008), Recent aeolian dune change on Mars, *Geomorphology*, Vol. 94, Issues 1–2, p. 247–255, doi:10.1016/j.geomorph.2007.05.012

Connerney J. E. P., Acuña M. H., Ness N. F., Kletetschka G., Mitchell D. L., Lin R. P., Reme H., (2005), Tectonic implications of Mars crustal magnetism, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 102, No. 42, 14970-14975, doi:10.1073/pnas.0507469102

ESA, Mars Express, Tharsis Montes Trio and Olympus Mons, <http://sci.esa.int/mars-express/50297-tharsis-montes-trio-and-olympus-mons/>, 22/06/2018.

ESA, Robotic Exploration of Mars, Exomars Trace Gas Orbiter and Schiaparelli Mission (2016), <http://exploration.esa.int/mars/46124-mission-overview/>, 22/06/2018.

Forget F., (2009), The present and past climates of planet Mars, The European Physical Journal Conferences, Vol. 1, p. 235-248, doi: 10.1140/epjconf/e2009-0924-9

French B. M., (1998), Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite, Houston, Lunar and Planetary Institute

Goudge T.A. and Fassett C.I., (2017), The Importance Of Lake Overflow Floods For Early Martian Landscape Evolution: Insights From Licus Vallis., 4th International Conference on Early Mars: Geologic, Hydrologic, and Climatic Evolution and the Implications for Life, 2-6 Oct. 2017, Flagstaff, AZ United States

Howard A.D., (2007), Simulating the development of Martian highland landscapes through the interaction of impact cratering, fluvial erosion, and variable hydrologic forcing., Geomorphology, Vol. 91, Issue 3, p. 332–363, doi:10.1016/j.geomorph.2007.04.017

Howard A.D., Moore J.M., Irwin III R.P., (2005), An intense terminal epoch of widespread fluvial activity on early Mars: 1. Valley network incision and associated deposits., Journal Of Geophysical Research, Vol. 110, E12S14, doi:10.1029/2005JE002459

NASA, Astronomy Picture of the Day, <https://apod.nasa.gov/apod/ap120422.html>, 22/06/2018.

NASA, Earth Observatory, Aerosols-Floods and Mudslides, https://earthobservatory.nasa.gov/Features/AstronautPinatubo/astronaut_pinatubo2.php, 22/06/2018.

NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institution of Technology, Mars Trek, <https://marstrek.jpl.nasa.gov/#v=0.1&x=131.90185300830996&y=28.630370559691478&z=6&p=urn%3Aogc%3Adef%3Acrs%3AEPG%3A%3A104905&d=>, 22/06/2018.

NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institution of Technology, On the Beauty of Yardangs, <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA19457>, 22/06/2018.

NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institution of Technology, Search Mars Images, <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/index.php?search=secondary+craters&category=Mars#submit>, 22/06/2018.

NASA, Martian Crater, <https://pds.jpl.nasa.gov/planets/captions/mars/crater.htm>, 22/06/2018.

NASA, Mars Education, Wind Streaks, <https://marsed.asu.edu/mep/wind/wind-streaks>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mariner 9, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1971-051A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Express, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2003-022A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Pathfinder Rover <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=MESURPR>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Reconnaissance Orbiter, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2005-029A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars Science Laboratory (MSL),

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2011-070A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Mars 5, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1973-049A>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Viking 1 Lander, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1975-075C>, 22/06/2018.

NASA, The NSSDCA, Viking 1 Orbiter, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1975-075A>, 22/06/2018.

The Planetary Society, Lakdawalla E., (2013), Noachian, Hesperian, and Amazonian, oh my! --Mars' Geologic Time Scale, <http://www.planetary.org/blogs/emily-lakdawalla/2013/10251246-noachian-hesperian-amazonian.html>, 22/06/2018.

Peulvast J.P., Mége D., Chiciak J., Costard F, Masson P.L., (2001), Morphology, evolution and tectonics of Valles Marineris wallslopes (Mars)., *Geomorphology*, Vol. 37, Issues 3–4, 329-352, doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00085-4