

Το ανάγλυφο και η γεωλογική δομή του πλανήτη Άρη

Τσαφαράς Αναστάσιος

¹ Ελληνική Ερασιτεχνική Αστρονομική Ένωση

² Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

* anastasiostsafaras@gmail.com

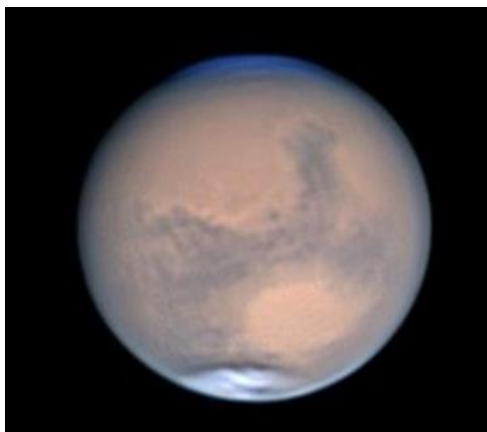
Περίληψη

Ο πλανήτης Άρης, είναι ένας ιδιαίτερος πλανήτης, με ξεχωριστή τοπογραφία και αρκετές ενδείξεις, για ζωή πάνω σε αυτόν. Η συστηματική εξερεύνηση αυτού του πλανήτη, ξεκίνησε από τις αρχές του 20ου αι, αρχικά μέσω επίγειων τηλεσκοπίων και έπειτα μέσω διαστημοσυσκευών, που προσγειώθηκαν στην επιφάνειά του και δορυφόρων που τέθηκαν σε τροχιά γύρω απ' αυτόν. Η εξερεύνηση του πλανήτη Άρη θυμίζει αρκετά την εξερεύνηση της Γης, καθώς οι επιστήμονες αξιοποιούν σχεδόν όλες τις χαρτογραφικές και γεωσκοπικές μεθόδους που χρησιμοποιούν και στην Γη.

Στην παρούσα εργασία, πρόκειται να γίνει μια γενική παρουσίαση των μεθόδων, και των ευρημάτων αυτών. Αρχικά θα γίνει αναφορά στις πηγές δεδομένων (rover – δορυφόροι), στο σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων του Άρη και στο επίπεδο αναφοράς των υψομέτρων. Έπειτα θα γίνει παρουσίαση του αναγλύφου και των χαρακτηριστικότερων γεωλογικών δομών του, μέσω κατάλληλων φωτογραφιών τοπογραφικών - γεωλογικών χαρτών και σκαριφημάτων. Τέλος υπάρχει ένα παράρτημα με συμπληρωματικό υλικό, για την καλύτερη γνωριμία με τον πλανήτη.

***Λέξεις-κλειδιά:** δορυφόροι, rover, κρατήρες, ηφαίστεια, κανάλια, φαράγγια, νερό, μετεωρίτες, ζωή.*

1. Εισαγωγή



Εικόνα 1: Φωτογραφία του πλανήτη Άρη από ερασιτέχνη αστροφωτογράφο.
(πηγή: <https://www.astrovox.gr/gallery/image/20594-άρης-4-αυγούστου>)

Ο πλανήτης Άρης είναι ένας πλανήτης που από τα αρχαία χρόνια εξερευνήθηκε περισσότερο από κάθε άλλον πλανήτη. Το δημοφιλέστερο χαρακτηριστικό αυτού του πλανήτη είναι το έντονο κόκκινο χρώμα του, γι' αυτό και είναι γνωστός ως ο «Κόκκινος Πλανήτης». Ο Άρης δεσπόζει στον νυχτερινό ουρανό καθώς, με γυμνό οφθαλμό φαίνεται σαν ένα έντονο κόκκινο αστέρι.

Ο πλανήτης πήρε το όνομα του από τον μυθικό θεό του Ολύμπου «Άρη». Ο Άρης κατά την μυθολογία ήταν ο θεός του πολέμου, του απaráμιλλου θάρρους και της ανδρείας. Έτσι δόθηκε

το όνομα αυτό στον τέταρτο κατά σειρά πλανήτη του ηλιακού συστήματος λόγω του έντονου κόκκινου χρώματός του, ένα χρώμα άμεσα συνδεδεμένο με το αίμα την φωτιά και τον πόλεμο.

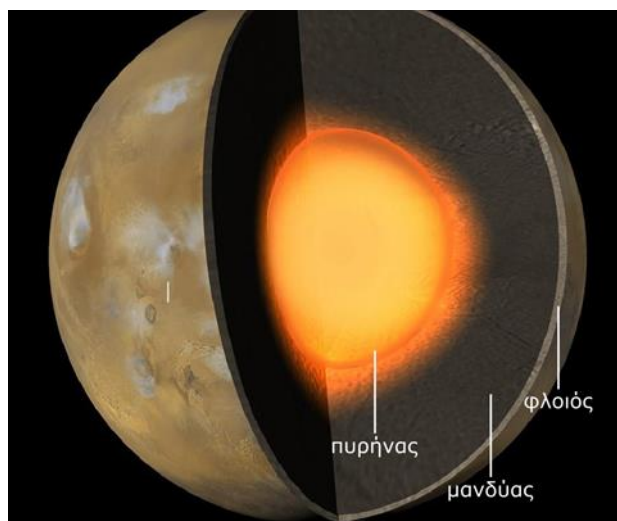
Δεν είναι μάλιστα λίγες οι φορές, όπου ο πλανήτης αυτός ενεργοποίησε την ανθρώπινη φαντασία και αποτέλεσε επίκεντρο των μεγαλύτερων θεωριών συνομοσίας, λόγω της εξαιρετικής ομοιότητάς του με τη γη. Οι θεωρίες για ύπαρξη εξωγήινης ζωής στον κόκκινο πλανήτη ξεκίνησαν όταν ο Αμερικανός αστρονόμος Πέρσιβαλ Λόουελ, μετά από χρόνια παρατηρήσεων ισχυρίστηκε ότι είδε μεγάλα κανάλια πάνω στην επιφάνεια του Άρη, τα οποία είχε φτιάξει ένας υποτιθέμενος εξωγήινος πολιτισμός. Τις ιδέες του τις έγραψε σε τρία βιβλία και της δημοσίευσε σε εκατοντάδες εφημερίδες της εποχής, γεγονός που ενέπνευσε αρκετούς συγγραφείς και αρκετούς σεναριογράφους ταινιών επιστημονικής φαντασίας.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Ο Άρης είναι ο τέταρτος κατά σειρά πλανήτης του ηλιακού συστήματος και ανήκει στους τέσσερις βραχώδεις πλανήτες του ηλιακού συστήματος. Απέχει 227.940.000 χιλιόμετρα από τον ήλιο, δηλαδή 1,5 φορές περισσότερο απ' ό τι απέχει η γη από τον ήλιο. Έχει διάμετρο 6.794 χιλιόμετρα με εκκεντρότητα 0.093 και μάζα $6,42 \times 10^{23}$ χιλιόγραμμα. Η περίοδος περιστροφής του γύρω από τον ήλιο είναι 687 «Γήινες» ημέρες ενώ μία «Αρειανή» ημέρα διαρκεί 24,61 ώρες. Δηλαδή ο Άρης και η Γη περιστρέφονται γύρω από τον άξονα περιστροφής τους με σχεδόν ίσες ταχύτητες. Μάλιστα η κλίση του άξονα περιστροφής του είναι $23^{\circ}27'$ δηλαδή είναι μόνο κατά $32'$ μικρότερη, από αυτήν της γης.

Το εσωτερικό του παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με αυτό της γης. Στο κέντρο του βρίσκεται ένας μεταλλικός πυρήνας διαμέτρου περίπου 3.000 χιλιόμετρα που αποτελείται κυρίως από σίδηρο. Ο πυρήνας περιβάλλεται από τον μανδύα ο οποίος έχει διάμετρο 1.800 χιλιόμετρα και πάνω του είναι τοποθετημένος ο φλοιός, πάχους 100 χιλιομέτρων.



Εικόνα 2: Σκαρίφημα που απεικονίζει το εσωτερικό του πλανήτη.
(πηγή: <https://www.naftemporiki.gr/story/1752863/apokalufthike-i-anatomia-tou-ari>)

Ο φλοιός του είναι εκτεθειμένος καθημερινά σε μια σε ένα σύνολο από γεγονότα που διαρκώς τον μεταβάλλουν. Στον πλανήτη Άρη είναι ιδιαίτερα έντονο το φαινόμενο της διάβρωσης και της αποσάθρωσης του φλοιού. Φαινόμενα όπως πτώσεις μετεωριτών, πολύ ισχυροί άνεμοι, μεγάλοι σεισμοί και καταιγίδες δημιούργησαν ένα πλανήτη με έντονη τοπογραφία, γεμάτο κρατήρες φαράγγια πελώρια βουνά και ηφαιστεια. Έτσι η επιφάνεια του Άρη μοιάζει περισσότερο με αυτήν της Σελήνης και του Ερμή παρά με της γης.

Το έντονο κόκκινο χρώμα της επιφάνειάς του «κόκκινου πλανήτη» οφείλεται σε οξειδία του σιδήρου. Η σκόνη που τον καλύπτει αποτελείται από σίδηρο και πυρίτιο. Γενικά όπως έχει αποδειχθεί το πυρίτιο είναι ένα υλικό που βρίσκεται σε αφθονία στον κόκκινο πλανήτη.

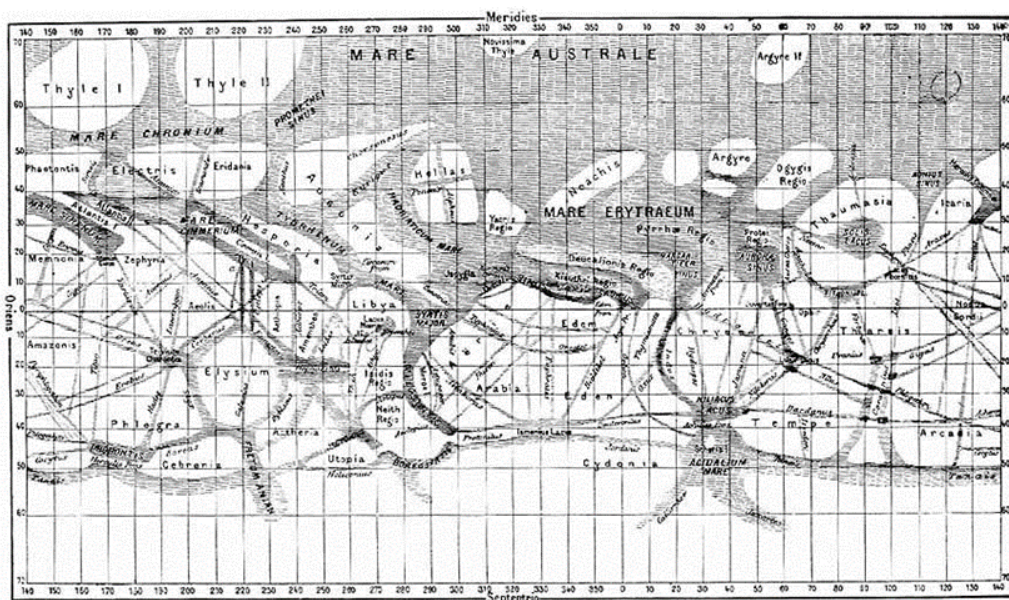
Στους πόλους του υπάρχουν μεγάλες μάζες παγωμένου νερού όπως ακριβώς συμβαίνει και στην γη. Σταδιακά εμφανίζονται και κάποια ίχνη υγρού νερού, τα οποία οφείλονται στην υγρασία της ατμόσφαιράς του. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν αρκετές ενδείξεις για υπόγεια ύδατα και για περιοχές όπου στο παρελθόν μπορεί να ήταν λίμνες.

Ο πλανήτης Άρης περιέχει ατμόσφαιρα, η οποία είναι λεπτότερη από αυτή της γης και η πίεση στο επίπεδο του εδάφους είναι μόνο το 0,7% της ατμοσφαιρικής πίεσης της γης. Επιπλέον αποτελείται κατά 95% από διοξείδιο του άνθρακα 2,7 από άζωτο και 1,6% από αργίλιο. Το οξυγόνο καλύπτει μόνο το 1,3% και οι υδρατμοί 0,3%. Λόγω της ατμοσφαιρικής του σύνθεσης και της απόστασής του από την γη, η θερμοκρασία του εδάφους του μπορεί να φτάσει την νύχτα κάτω από τους -53°C .

Έτσι ο πλανήτης αυτός εκ πρώτης όψεως μοιάζει με μία απέραντη άγονη έρημο, πλήρως ακατάλληλος για να φιλοξενεί ζωή. Όμως η συνεχής και λεπτομερής μελέτη του, από τις διαστημοσυσσκευές και τα ρομποτικά οχήματα που προσεδαφίστηκαν σε αυτόν, αποκάλυψαν έναν τελείως διαφορετικό κόσμο.

2.2 Γενικά χαρακτηριστικά

Προκειμένου να χαρτογραφηθεί ο πλανήτης Άρης, ιδρύθηκε ένα σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων παρόμοιο του διεθνούς συστήματος γεωγραφικών συντεταγμένων της γης (WGS 84). Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μεσημβρινούς και παραλλήλους (λ, φ). Το γεωγραφικό μήκος λ παίρνει τιμές από $0^{\circ} - 360^{\circ}$ ενώ το γεωγραφικό πλάτος $0^{\circ} - 90^{\circ}$. Το σύστημα αυτό επινοήθηκε το 1.800 από τους Γερμανούς αστρονόμους W. Beer και JH Mädler οι οποίοι και θέσανε σαν μηδενικό μεσημβρινό τον μεσημβρινό που διέρχεται από τον κρατήρα Sinus Meridiani («Μέσος Κόλπος»). Όμως όταν το αμερικανικό διαστημόπλοιο «Mariner 9» χαρτογράφησε τον πλανήτη σε ανάλυση περίπου 1 χιλιομέτρου το 1972, χρειαζόταν ένας πιο ακριβής ορισμός. Έτσι η Ομάδα Γεωδαισίας / Χαρτογραφίας του «Mariner 9», αποφάσισε ο πρώτος μεσημβρινός διέρχεται από το κέντρο ενός μικρού κρατήρα διαμέτρου 500 μέτρων που ονομάζεται Airy-0 και βρίσκεται στο Sinus Meridiani κατά μήκος της γραμμής του μεσημβρινού. Το παλιό σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιήθηκε ευρέως μέχρι το 2002. Έπειτα οι περισσότερες αποστολές χρησιμοποιούν το σύστημα που πρότεινε το Mariner 9.

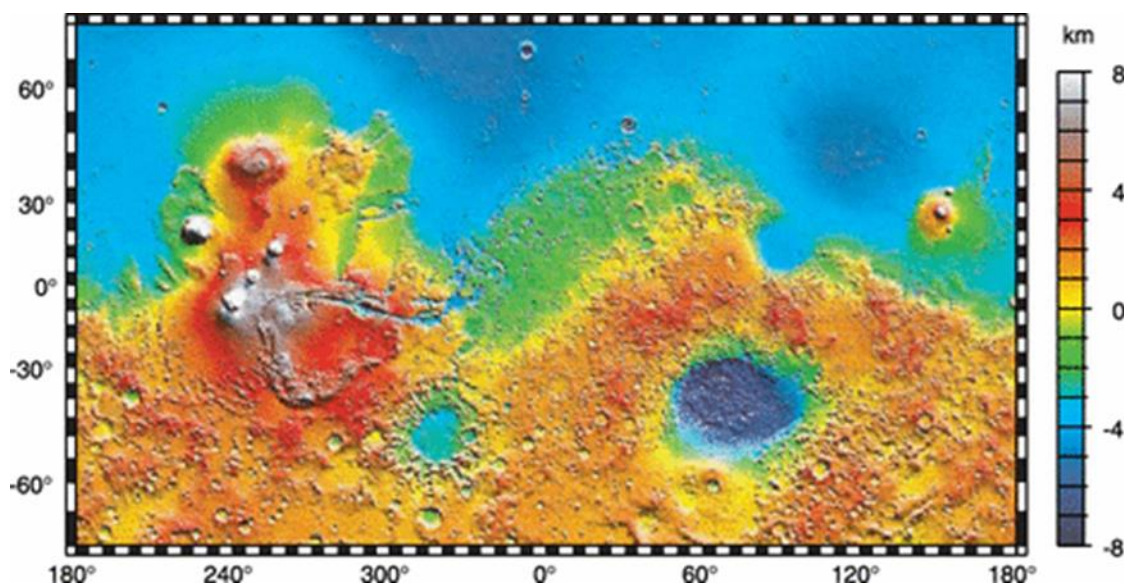


Εικόνα 3: Παγκόσμιος χάρτης του Άρη με γεωγραφικό κάναβο βασισμένο στο παλιό σύστημα συντεταγμένων

(πηγή: <https://www.quora.com/Does-Mars-have-geographic-coordinates>)

2.3 Επιφάνεια αναφοράς υψομέτρων

Ο πλανήτης Άρης δεν έχει ωκεανούς σαν την γη, οπότε δεν θα ήταν εφικτό να θεωρηθεί ως επιφάνεια αναφοράς των υψομέτρων η μέση στάθμη της θάλασσας. Έτσι ορίστηκε από την αποστολή «Maginer 9» επιφάνεια αναφοράς των υψομέτρων ο γεωμετρικός τόπος των σημείων του, όπου η ατμοσφαιρική πίεση του πλανήτη έχει τιμή 610,5 Pa. Όμως η επιφάνεια αυτή εγκαταλείφθηκε το 2001, καθώς απεδείχθη ότι δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής ο προσδιορισμός της και αντικαταστάθηκε από την ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας του Άρη, προκειμένου ο υψομετρικός δορυφόρος «Mars Orbiter», να συλλέξει όσο το δυνατόν ακριβέστερα δεδομένα.



Εικόνα 4: Παγκόσμιος υψομετρικός χάρτης του Άρη με επιφάνεια αναφοράς των υψομέτρων ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας του Άρη.

(πηγή: <https://www.quora.com/Does-Mars-have-geographic-coordinates>)

3. Πηγές δεδομένων

3.1 Δορυφορική συστήματα

Για πολλά χρόνια ο μοναδικό μέσο μελέτες και χαρτογράφησης του πλανήτη Άρη, αποτελούσαν τα επίγεια τηλεσκόπια. Με επίγεια τηλεσκόπια επιτυγχάνεται εύκολα και άμεσα μια καθολική μελέτη του πλανήτη, όμως η μέθοδος αυτή είναι πλήρως ακατάλληλη για μία μεγάλης κλίμακας μελέτη του πλανήτη.

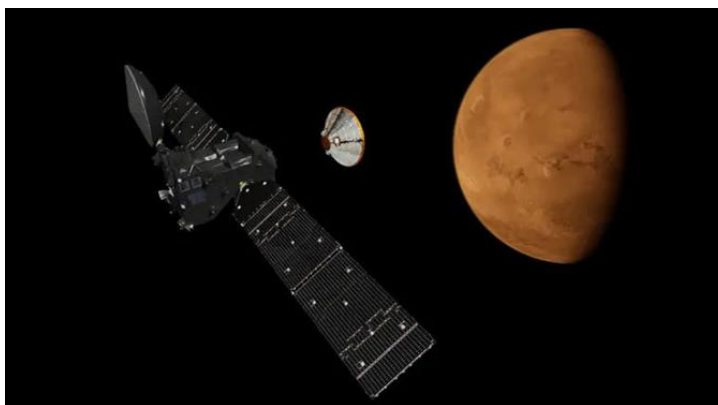
Η πρώτη λεπτομερής εικόνα του κόκκινου πλανήτη δόθηκε τον 20^ο αιώνα, όταν το Mariner 4 έγινε ο πρώτος δορυφόρος που τέθηκε σε τροχιά, γύρω από τον Άρη το 1964. Το διαστημόπλοιο αυτό έστειλε πίσω στην γη 22 φωτογραφίες από την επιφάνεια του Άρη, και απέδειξε ότι στον πλανήτη δεν υπάρχουν τεχνητά κανάλια, ούτε ζουν «αρειανοί», καταρρίπτοντας τα σενάρια για ύπαρξη ζωής στον Άρη. Οι φωτογραφίες του Mariner 4 αποκάλυψαν έναν πλανήτη άγονο, γεμάτο κρατήρες, φαράγγια και ηφαιστεια.

Το αμερικανικό Mariner 4 δεν αποτέλεσε την πρώτη αποστολή δορυφόρου προς τον κόκκινο πλανήτη. Πριν αυτό είχαν γίνει κι άλλες αποστολές με στόχο τον κόκκινο πλανήτη, όμως είχαν όλες αποτύχει παταγωδώς. Έπειτα το Mariner 4 ακολούθησαν και άλλες αποστολές όπως τα Mariner 5, Mariner 6, Mariner 7, Mariner 8, Mariner 9.

Από το πρόγραμμα Mariner της NASA η σημαντικότερη αποστολή ήταν ο δορυφόρος Mariner 9, καθώς κατάφερε να στείλει 7.329 φωτογραφίες και να χαρτογραφήσει για πρώτη φορά με ακρίβεια 0,5 χιλιομέτρων όλο τον πλανήτη. Μετά ακολούθησαν οι αποστολές Viking 1 και Viking 2 το 1975, όπου κατάφεραν να θέσουν σε τροχιά δύο δορυφόρους, και να και να προσεδαφίσουν για πρώτη φορά δύο μη επανδρωμένα σκάφη στην επιφάνειά του. Το 1992 εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος Mars Observer, ο οποίος αποσκοπούσε στην μελέτη της γεωλογίας και της ατμόσφαιρας του πλανήτη. Ο δορυφόρος όμως δεν κατάφερε να ολοκληρώσει την αποστολή του διότι χάθηκε το 1993.

Διάδοχος του Mariner 9 αποτέλεσε το Mars Global Surveyor, ένας δορυφόρος που τέθηκε σε τροχιά το 1999 με απώτερο σκοπό να χαρτογραφήσει την αρειανή επιφάνεια. Ο δορυφόρος κατάφερε μελετήσει ολόκληρη την αρειανή επιφάνεια, την ατμόσφαιρα καθώς και το εσωτερικό του πλανήτη. Επίσης ανακάλυψε ότι ο κόκκινος πλανήτης έχει πολύ επαναλαμβανόμενα καιρικά μοτίβα. Κάθε μέρα η κάμερα του, συλλέγει εικόνες που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός παγκόσμιου χάρτη. Αυτοί οι χάρτες δημιούργησαν ένα μεγάλο αρχείο παρατήρησης των μεταβαλλόμενων μετεωρολογικών και γεωλογικών συνθηκών στον Άρη.

Με την άφιξη του 21ου αιώνα ο Άρης απέκτησε και μια σειρά από νέους δορυφόρους και από άλλες διαστημικές εταιρίες πέραν της NASA όπως τους Mars Express και ExoMars της ESA οι οποίοι είναι ικανοί να μελετήσουν καλύτερα τον πλανήτη, και να αναζητήσουν σημάδια ύπαρξης ζωής, μετρώντας τις συγκεντρώσεις διαφόρων αερίων. Πλέον ο πλανήτης Άρης περιβάλλεται από 6 δορυφόρους, οι οποίοι παρέχουν εκατομμύρια δεδομένα στους επιστήμονες καθημερινά. Μάλιστα σε αρκετά από αυτά η πρόσβαση είναι ελεύθερη, μέσω του διαδικτύου.



Εικόνα 5: Ο ευρωπαϊκός δορυφόρος του ExoMars.
(πηγή: [ExoMars 2016 Mission – Missions – NASA Mars Exploration](#))

3.2 Συσκευές επιφανείας

Τα δορυφορικά συστήματα είναι κατάλληλα για την μελέτη του πλανήτη σε παγκόσμια κλίμακα. Παρ' όλα αυτά οι μετρήσεις τους δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές σε επίπεδο περιοχής. Έτσι οι επιστήμονες αποφάσισαν, αφού δεν είναι μέχρι στιγμής εφικτό να σταλεί μια επανδρωμένη αποστολή, να στείλουν μια σειρά από μη επανδρωμένες αποστολές στην αρειανή επιφάνεια.

Την δεκαετία του το 60 η ΕΣΣΔ ήταν η πρώτη χώρα που επιχειρήσε να προσεδαφίσει ρομποτικά συστήματα στο έδαφος του κόκκινου πλανήτη. Όμως όλες οι αποστολές απέτυχαν εκτός από το Mars 3, όπου προσεδαφίστηκε, και μετά από 20 δευτερόλεπτα καταστράφηκε.

Η πρώτη επιτυχημένη προσεδάφιση πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 1976, από την αποστολή Viking 1 της NASA και έπειτα από το Viking 2. Τα δύο αυτά οχήματα κατάφεραν να αποστείλουν εικόνες από το έδαφος του πλανήτη, να μελετήσουν την σύσταση του εδάφους και πραγματοποίησαν τρία βιολογικά πειράματα, με στόχο τον εντοπισμό εξωγήινης ζωής.

Η δεύτερη επιτυχημένη προσεδάφιση στον Άρη έγινε το 1997 με το ρομποτικό όχημα Mars Pathfinder. Στόχος του Pathfinder ήταν να κινηθεί κατά μήκος της επιφάνειας του πλανήτη συλλέγοντας δείγματα με στόχο την μελέτη της γεωλογίας και της τοπογραφίας της περιοχής, και απώτερο σκοπό τη εύρεση πιθανών ενδείξεων ζωής.

Τον Ιανουάριο του 2004, δύο γεωλογικά ρομπότ με το όνομα Spirit και Opportunity προσγειώθηκαν σε αντίθετες πλευρές του κόκκινου πλανήτη. Με πολύ μεγαλύτερη κινητικότητα από το rover Mars Pathfinder του 1997, αυτοί οι ρομποτικοί εξερευνητές περπάτησαν μίλια στην επιφάνεια του Άρη, διεξάγοντας γεωλογικές μετρήσεις πεδίου και κάνοντας ατμοσφαιρικές παρατηρήσεις. Φέρνοντας πανομοιότυπα, εξελιγμένα επιστημονικά όργανα, και τα δύο rover βρήκαν στοιχεία που αποδεικνύουν ότι ο πλανήτης Άρης στο παρελθόν είχε θάλασσες και κλίμα ικανό για να αναπτυχθεί ζωή.

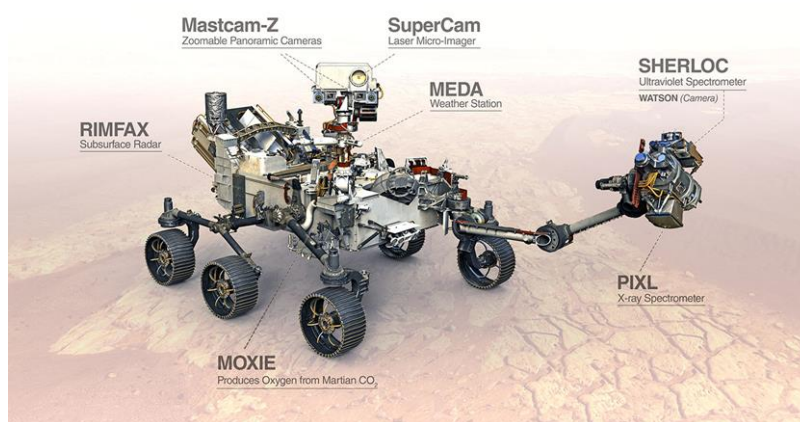
Αυτά τα δύο rover θα ήταν τα πιο σύγχρονα που διέθετε ο πλανήτης στην επιφάνεια του μέχρι το 2012. Από τις 5 Αυγούστου 2012 και έπειτα ο πλανήτης Άρης απέκτησε το μεγαλύτερο και πιο ικανό rover που στάλθηκε ποτέ το. Το rover Curiosity.

Το Curiosity, εφοδιασμένο με υπερσύγχρονα τεχνολογικά μέσα, εξερευνά τον κρατήρα Gale και αποκτά δείγματα πετρωμάτων, εδάφους και αέρα για ανάλυση επί του σκάφους. Το rover μεγέθους αυτοκινήτου είναι περίπου τόσο ψηλό όσο ένας μπασκετμπολίστας και χρησιμοποιεί ένα βραχίονα μήκους 2 μέτρων για να τοποθετήσει εργαλεία κοντά σε βράχους που έχουν επιλεγεί για μελέτη. Το μεγάλο μέγεθος του Curiosity του επιτρέπει να μεταφέρει ένα σύνολο από 10 προηγμένα επιστημονικά όργανα. Διαθέτει εργαλεία που περιλαμβάνουν 17 κάμερες, ένα λέιζερ για να εξατμίσει και να μελετήσει μικρά σημεία πετρωμάτων σε απόσταση και ένα τρυπάνι

για τη συλλογή δειγμάτων πετρωμάτων σε σκόνη. Στόχος του είναι η εύρεση πετρωμάτων που δημιουργούνται στο νερό ή έχουν σημάδια οργανικών ουσιών.

Στις 18 Φεβρουαρίου 2021 προσεδαφίστηκε το rover Perseverance της NASA, με στόχο να εξερευνήσει τον κρατήρα Jezero. Το rover προσεδαφίστηκε με σκοπό την εξερεύνηση του κρατήρα και την αναζήτηση εξωγήινης ζωής. Μαζί του φέρει μια πλειάδα σύγχρονων επιστημονικών οργάνων μέσω των οποίων πραγματοποιεί βιολογικά και γεωλογικά πειράματα. Όμως το σημαντικότερο είναι ότι πέραν των επιστημονικών οργάνων και των καμερών, είναι εφοδιασμένο με δύο μικρόφωνα, μία συσκευή παραγωγής οξυγόνου και ένα drone.

Έτσι το Perseverance κατέγραψε για πρώτη φορά τον ήχο της ατμόσφαιρας του πλανήτη Άρη. Με την συσκευή παραγωγής οξυγόνου, κατάφερε να μετατρέψει το διοξείδιο του άνθρακα που έχει η ατμόσφαιρα του πλανήτη σε οξυγόνο συστατικό απαραίτητο για την διεξαγωγή μίας επανδρωμένης αποστολής στον κόκκινο πλανήτη. Τέλος στις 19 Απριλίου 2021 ελευθέρωσε το drone Ingenuity, το οποίο έγινε το πρώτο drone που πέταξε σέ άλλον πλανήτη. Η αποστολή του Perseverance είναι η πιο φιλόδοξη που έγινε στον Άρη, καθώς μελετάει τον πλανήτη μέσα από αρκετά καινοτόμα και ποικίλα εργαλεία.



Εικόνα 6: Σκαρίφημα που αναπαριστά την σχετική τοποθέτηση όλων των οργάνων του rover Perseverance.

(πηγή: [Science Instruments on NASA's Perseverance Mars Rover – NASA's InSight Mars Lander](#))

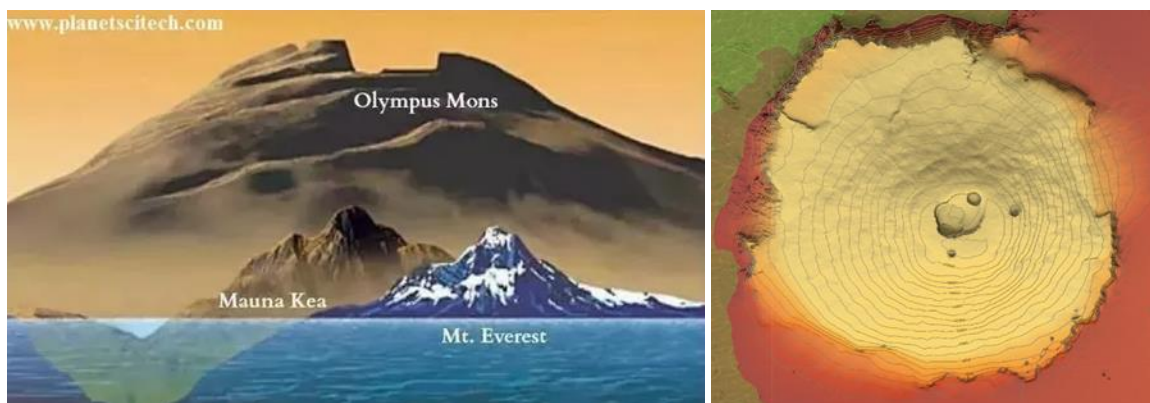
4. Ευρήματα

4.1 Τα ηφαίστεια και τα βουνά του Άρη

Ο πλανήτης Άρης χαρακτηρίζεται από ένα αρκετά έντονο και τραχύ ανάγλυφο. Σε γενικές γραμμές, η επιφάνειά του θυμίζει την επιφάνει της Σελήνης. Το ανάγλυφό του αποτελείται από εκατοντάδες λόφους, ηφαίστεια, κρατήρες και φαράγγια, τα περισσότερα εκ των οποίων έχουν ηλικία δισεκατομμυρίων ετών.

Στον Άρη υπάρχουν αρκετά ηφαίστεια, όμως όλα παραμένουν ανενεργά. Από αυτά τα πιο χαρακτηριστικά είναι: ο Όλυμπος του Άρη, το Arsia Mons, το Pavonis Mons και το Ascræus Mons. Το καθ' ένα από αυτά έχει ύψος πάνω από 20 χιλιόμετρα. Το μεγαλύτερο είναι ο Όλυμπος του Άρη, ένα ανενεργό ηφαίστριο, που έχει 24 χιλιόμετρα ύψος και διάμετρο 500 χιλιόμετρα. Έτσι αποτελεί με διαφορά το μεγαλύτερο ηφαίστριο και βουνό του ηλιακού μας συστήματος, καθώς το ύψος του είναι τριπλάσιο του ύψους του όρους Έβερεστ. Από την άλλη το Alba Patera, αποτελεί το μικρότερο ηφαίστριο του πλανήτη με ύψος 2 χιλιόμετρα και διάμετρο 700 χιλιόμετρα.

Τα περισσότερα ηφαίστεια του κόκκινου πλανήτη βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ οι περισσότεροι κρατήρες στο ανατολικό.



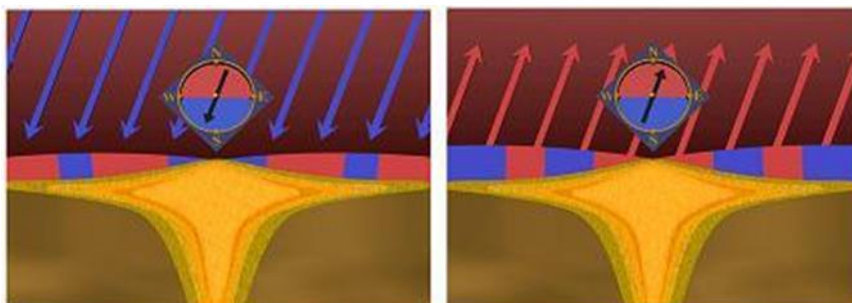
Εικόνα 7: Αριστερά: Σκαρίφημα που συγκρίνει το μέγεθος του Ολύμπου του Άρη με τα μεγαλύτερα βουνά της γης. Δεξιά: Τοπογραφικός χάρτης του Ολύμπου του Άρη.
(πηγή: <https://www.arcgis.com/apps/Viewer/index.html?appid=ee4fd19d7d514bb192359534f27169b8>)

4.2 Τεκτονική δραστηριότητα

Ο πλανήτης Άρης όπως και η γη διαμόρφωσε την μορφή του ανάγλυφου του, μέσω τεκτονικών διεργασιών. Δηλαδή η δημιουργία του ανάγλυφου στον κόκκινο πλανήτη, οφείλεται στην κίνηση και την σύγκρουση των τεκτονικών πλακών, όπως ακριβώς συμβαίνει και την γη. Σήμερα η πλανήτης είναι σε μεγάλο βαθμό ανενεργός τεκτονικά, όμως υπάρχουν αρκετά στοιχεία που αποδεικνύουν ότι στο παρελθόν δεν ήταν.

Το 1999 ο δορυφόρος Mars Global Surveyor, ανακάλυψε μέσω παλαιομαγνητικών μεθόδων, ότι η κίνηση των τεκτονικών πλακών του πλανήτη ήταν πιο δυναμική στο παρελθόν, απ' ό τι σήμερα. Το διαστημικό σκάφος, χρησιμοποιώντας ένα μαγνητόμετρο, κατάφερε να χαρτογραφήσει τις διακυμάνσεις που παρουσιάζει το μαγνητικό πεδίο στην αρειανή επιφάνεια και διαπιστώθηκε ότι οι παρακείμενες μαγνητικές ζώνες δείχνουν προς αντίθετες κατευθύνσεις, δίνοντας σε αυτές μια εντυπωσιακή ομοιότητα με τα μοτίβα που παρατηρούνται στο φλοιό των θαλάσσιων ραχών της Γης.

Οι μαγνητικές ζώνες του αρειανού φλοιού σχηματίστηκαν στο μακρινό παρελθόν, όταν ο Άρης είχε ένα ενεργό θερμό πυρήνα από λιωμένα μέταλλα, ο οποίος δημιούργησε ένα παγκόσμιο μαγνητικό πεδίο. Ο Άρης ήταν γεωλογικά ενεργός, με μάγμα να ανεβαίνει από το εσωτερικό του και να ψύχεται στην επιφάνεια, σχηματίζοντας νέο φλοιό. Καθώς ο νέος φλοιός στερεοποιούνταν, το μαγνητικό πεδίο που διαπερνούσε το στερεοποιημένο μάγμα, το πόλωσε, «αποθηκεύοντας» την φορά που είχε το μαγνητικό πεδίο εκείνη την εποχή. Έπειτα, περιοδικά οι εσωτερικές συνθήκες στον πλανήτη άλλαζαν και το παγκόσμιο μαγνητικό πεδίο αντέστρεφε την κατεύθυνση. Το αντίθετα κατευθυνόμενο μαγνητικό πεδίο στη συνέχεια «αποθηκεύτηκε» σε νεότερο φλοιό.



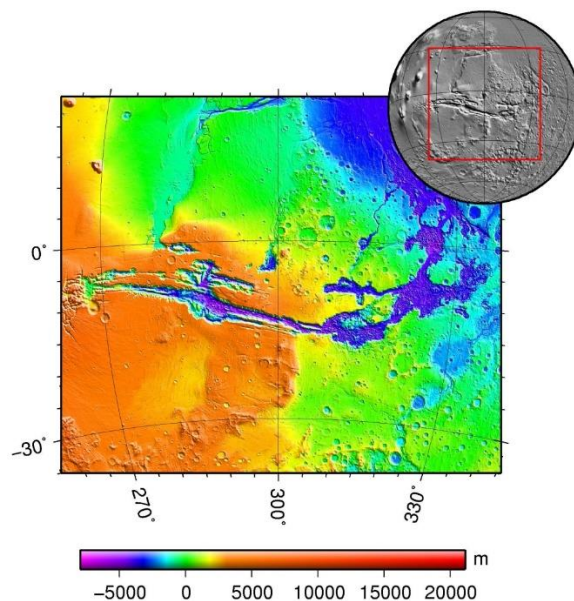
Εικόνα 8: Σκαρίφημα που δείχνει τον τρόπο με τον οποίο δημιουργήθηκαν οι μαγνητικές λωρίδες στην επιφάνεια του Άρη. Στην αριστερή αναπαράσταση το μαγνητικό πεδίο είχε την φορά που δείχνουν τα μπλε βέλη με αποτέλεσμα τα πετρώματα του νεογέννητου φλοιού να αποκτήσουν την ίδια πολικότητα. Όμως στην συνέχεια (δεξιά) η πολικότητα αντιστράφηκε, με αποτέλεσμα τα πετρώματα που δημιουργήθηκαν μετά, να πολωθούν με αντίστροφη πολικότητα.

(πηγή: <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/1999/ast29apr991>)

4.3 Γεωλογικές δομές – φαράγγια

Στον πλανήτη Άρη υπάρχουν αρκετές γεωλογικές δομές που εμφανίζονται και στην γη. Δομές όπως ρήγματα και πτυχές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, που αποδεικνύει την ύπαρξη τέτοιων δομών είναι τα φαράγγια, και τα φυσικά κανάλια.

Το μεγαλύτερο φαράγγι του πλανήτη, είναι το Valles Marineris, ένα φαράγγι που βρίσκεται κοντά στον ισημερινό του. Το φαράγγι αυτό ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά από το διαστημόπλοιο Mariner 9 και είναι αρκετές φορές μεγαλύτερο από κάθε φαράγγι της γης, ακόμα και από το δημοφιλές Gran Canyon. Αποτελείται από ένα σύστημα εκατοντάδων κανονικών ρηγμάτων συνολικού μήκους 4.000 χιλιομέτρων πλάτους 100 χιλιομέτρων και μέγιστου βάθους 7 χιλιομέτρων.



Εικόνα 9: Τοπογραφικός χάρτης του Valles Marineris.
(πηγή: <https://en-academic.com/dic.nsf/enwiki/54490>)

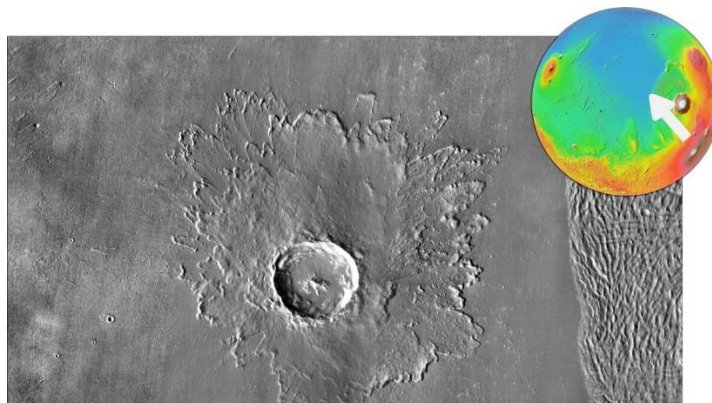
4.4 Οι κρατήρες

Σύμφωνα με τις τελευταίες μελέτες της NASA στην επιφάνεια του κόκκινου πλανήτη υπάρχουν περισσότεροι από 45.000 κρατήρες με διάμετρο μεγαλύτερη από 5 χιλιόμετρα. Οι κρατήρες αυτοί έχουν δημιουργηθεί είτε από πρόσκρουση μετεωριτών-κομητών είτε από την έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα του πλανήτη. Στην πραγματικότητα, οι περισσότεροι κρατήρες στον Άρη είναι κρατήρες πρόσκρουσης.

Τα μεγέθη των κρατήρων πρόσκρουσης, ποικίλουν. Γι' αυτόν τον λόγο, οι επιστήμονες ταξινομούν τους κρατήρες σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: απλούς κρατήρες, σύνθετους κρατήρες, κρατήρες δακτυλίου κορυφής και λεκάνες πολλαπλών δακτυλίων. Όλοι οι κρατήρες πρόσκρουσης μοιράζονται αρκετά κοινά χαρακτηριστικά, χωρίς όμως να είναι ταυτόσημοι. Αυτό μπορεί να δώσει στους γεωλόγους στοιχεία για τις ιδιαιτερότητες της κάθε πρόσκρουσης και τις συνθήκες κατά τη στιγμή της πρόσκρουσης και μετά.

Σε αντίθεση με τους κρατήρες πρόσκρουσης, οι κρατήρες δημιουργήθηκαν από την είσοδο υπογείων υδάτων στο θερμό μάγμα που υπάρχει κάτω από τον φλοιό του. Όταν το μάγμα έρχεται σε επαφή με το νερό, το νερό εξατμίζεται «βίαια», με αποτέλεσμα να προκαλείται μια μεγάλη έκρηξη με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός μεγάλου κρατήρα, όπως ακριβώς θα συνέβαινε αν τοποθετούσαμε έναν δυναμίτη στο έδαφος και τον πυροδοτούσαμε. Έτσι η ύπαρξη ηφαιστειακών κρατήρων στην επιφάνεια του Άρη, αποτελεί βασικό σημάδι ύπαρξης νερού και κατά συνέπεια ζωής στον κόκκινο πλανήτη. Στην περίπτωση της γης, μια ισχυρή ένδειξη νερού

κάτω από την επιφάνεια, αποτελεί ο κρατήρας



Εικόνα 10: Ο κρατήρας πρόσκρουσης Tooting στον Άρη, που πιστεύεται ότι είναι μια πιθανή προέλευση των μετεωριτών Shergottite (πάνω δεξιά παγκόσμιος χάρτης του πλανήτη Άρη, που δείχνει την τοποθεσία του κρατήρα).

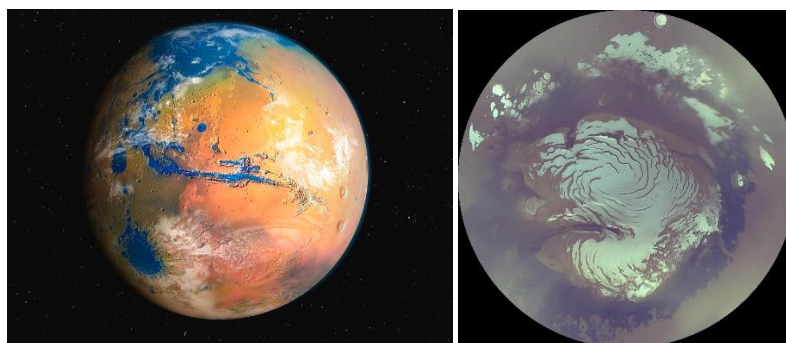
(πηγή: <https://cosmosmagazine.com/space/astronomy/martian-meteorites-origin-craters-ai/>)

4.5 Νερό

Σύμφωνα με τις μελέτες της NASA, ένας πρωτόγονος ωκεανός στον Άρη είχε περισσότερο νερό από ότι ο Αρκτικός Ωκεανός της Γης. Όμως τώρα ο ωκεανός αυτός έχει εξαφανιστεί, καθώς ο πλανήτης δεν διαθέτει πια μαγνητικό πεδίο, με αποτέλεσμα τα μόρια του νερού να χτυπηθούν από τον ηλιακό άνεμο και διασπάστηκαν σε άτομα υδρογόνου και οξυγόνου. Τα άτομα του υδρογόνου απέκτησαν ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα διαφυγής, με αποτέλεσμα να διαφύγουν στο διάστημα. Μάλιστα σύμφωνα με μια νέα μελέτη, πιστεύεται ότι το μεγαλύτερο μέρος αυτού του νερού βρίσκεται παγιδευμένο μέσα στα πετρώματα του πλανήτη.

Σήμερα ο πλανήτης Άρης θυμίζει μια απέραντη έρημο και εκ πρώτης όψης φαίνεται να είναι και ξηρός. Παρ' όλα αυτά στην ατμόσφαιρα του υπάρχουν υδρατμοί, οι οποίοι αν μπορούσαν να συμπυκνωθούν, θα δημιουργούσαν ένα στρώμα πάχους μόλις 10 μικρομέτρων. Το νερό αυτό δεν παραμένει στάσιμο στην ατμόσφαιρά του, αλλά αντίθετος κινείται μέσω του κύκλου του νερού, όπως συμβαίνει και στην γη. Μάλιστα παρά την μικρή ποσότητα των υδρατμών, η συνεχής κίνηση του νερού μέσα από την ατμόσφαιρα του κόκκινου πλανήτη έχει σημαντική επίδραση στο κλίμα του.

Ο πλανήτης επιπλέον διαθέτει παγωμένους πόλους, όπως και η γη. Στον νότιο πόλο του πλανήτη υπάρχουν γιγάντιες μάζες ξηρού πάγου συνολικής διαμέτρου 350 χιλιόμετρα. Η σύνθεση τους αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Αντιθέτως ο βόρειος πόλος αποτελείται από ένα μεγαλύτερο στρώμα υδάτινου πάγου διαμέτρου 1000 μέτρα. Κατά την διάρκεια του αρειανού καλοκαιριού, το διοξείδιο του άνθρακα που περιέχουν οι πολικοί του πάγοι, απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα το μέγεθος τους να μειώνεται σημαντικά.



Εικόνα 11: Αριστερά: Έτσι πιστεύεται ότι ήταν ο Άρης όταν είχε ωκεανούς. Δεξιά: Ο βόρειος πόλος του πλανήτη Άρη.

(πηγές: <https://fineartamerica.com/featured/1-terraformed-mars-mark-garlickscience-photo->

[library.html](#), <https://www.iceandclimate.nbi.ku.dk/research/iceotherplanets/iceonmars/>

4.6 Ενδείξεις για ζωή

Από την εποχή του Πέρσιβαλ Λόουελ μέχρι σήμερα, η ανθρωπότητα προσπαθεί να βρει ενδείξεις που αποδεικνύουν την ύπαρξη ζωής στον κόκκινο πλανήτη. Στην προσπάθεια αυτή έχουν όμως, έχουν γίνει αρκετά λάθη τα οποία έγιναν αφορμή για δημιουργία θεωριών συνωμοσίας, σχετικά με την ύπαρξη αρειανών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί αυτό του Πέρσιβαλ Λόουελ, που ενέπνευσε πολλούς συγγραφείς και σεναριογράφους.

Στις 27 Δεκεμβρίου 1984 μια ομάδα Αμερικανών κυνηγών μετεωριτών βρήκε έναν μετεωρίτη στην περιοχή Allan Hills της Ανταρκτικής. Ο μετεωρίτης αυτός ήταν ένα τμήμα από έναν μεγαλύτερο μετεωρίτη και είχε μάζα 1,9 κιλά. Οι μελέτες που έγιναν στο κέντρο Johnson της NASA εντόπισαν απολιθώματα βακτηρίων και μικροοργανισμών. Μάλιστα οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι ο μετεωρίτης αυτός προήλθε από τον πλανήτη Άρη, διότι η χημική του σύσταση είναι ίδια με αυτή των πετρωμάτων που αναλύσαν το Viking στον κόκκινο πλανήτη. Αυτά τα ευρήματα αποτελούν ένδειξη για την ύπαρξη εξωγήινης ζωής στον Άρη. Παρ' όλα αυτά πολλοί επιστήμονες αμφιβάλλουν για το αν τα βακτήρια αυτά προήλθαν από τον κόκκινο πλανήτη, καθώς ο μετεωρίτης προσέκρουσε στην γη πριν από 13.000 χρόνια.

Τα σημαντικότερα ευρήματα που αποδεικνύουν την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη, προέρχονται από τα rover που προσεδαφίστηκαν στην επιφάνειά του, όπως το Opportunity, το Curiosity και το ExoMars της ESA. Το Curiosity rover της NASA, εντόπισε ορισμένες ποσότητες οργανικών ενώσεων, οι οποίες αποτελούν το μεγαλύτερο αποδεικτικό στοιχείο ύπαρξης ζωής στον Άρη. Οι ενώσεις αυτές βρέθηκαν στο εσωτερικό κάποιων βράχων του πλανήτη σε ένα αρχαίο δίκτυο καναλιών που κατεβαίνουν από το χείλος του κρατήρα Gale και αποτελούνται από έναν τύπο άνθρακα που στη Γη δημιουργείται από μικροοργανισμούς.



Εικόνα 12: Αριστερά: Αποτελέσματα από το εργαλείο τριβής του Opportunity. Δεξιά: Αποτελέσματα από το τρυπάνι του Curiosity.

(πηγή: <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-rover-finds-conditions-once-suited-for-ancient-life-on-mars>)

5. Επίλογος

Παρά το γεγονός ότι στον κόκκινο πλανήτη έχουν σταλεί αρκετές διαστημοσυσκευές και έχουν ληφθεί εκατομμύρια φωτογραφίες τόσο από αυτές όσο και από επίγεια τηλεσκόπια, δεν έχουν λυθεί ακόμα όλα τα μυστικά του. Σίγουρα θα χρειαστούν αρκετές αποστολές ακόμα τόσο μη επανδρωμένες όσο και επανδρωμένες προκειμένου να εξερευνηθεί πλήρως. Παρ' όλα αυτά ακόμα και ένας ερασιτέχνης αστρονόμος, μπορεί να εξερευνήσει και να φωτογραφήσει αρκετά φαινόμενα του πλανήτη με ένα τηλεσκόπιο, συμβάλλοντας δυναμικά στην κατανόηση αυτού του μακρινού κόσμου.

Κάθε τηλεσκόπιο διαμέτρου μεγαλύτερης από 70 χιλιοστά είναι ικανό να αποκαλύψει λεπτομέρειες της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας του πλανήτη. Η βέλτιστη μεγέθυνση για την παρατήρηση είναι περίπου 30 φορές η διάμετρος του τηλεσκοπίου σε ίντσες. Για παράδειγμα για ένα τηλεσκόπιο 8 ιντσών η βέλτιστη μεγέθυνση είναι 240x. Παράλληλα προτείνεται και η χρήση πλανητικών φίλτρων, που βιδώνουν στο κάτω μέρος του προσοφθαλμίου. Τα πλανητικά φίλτρα συμβάλλουν στην μείωση του χρωματικού σφάλματος στα διοπτρικά τηλεσκόπια και αυξάνουν την χρωματική αντίθεση.

Η κατάλληλη περίοδος, για την παρατήρηση του κόκκινου πλανήτη είναι όταν αυτός βρίσκεται σε αντίθεση με την γη. Δηλαδή όταν η απόσταση γης-Άρη είναι η μικρότερη. Τότε ένας ερασιτέχνης αστρονόμος μπορεί να παρατηρήσει τους πόλους του και την μεταβολή του μεγέθους τους. Στις αντιθέσεις ευνοείται η παρατήρηση του βόρειου πόλου, διότι ο νότιος είναι συνεχώς στραμμένος ως προς την γη. Όμως όταν ο νότιος πόλος συρρικνωθεί πάρα πολύ, αρχίζει να γίνεται ορατή η βόρεια παγοκάλυψη, γεγονός που σημαίνει ότι στο νότιο ημισφαίριο ξεκινάει το καλοκαίρι, ενώ στο βόρειο ο χειμώνας και αντίστροφα. Επίσης είναι εμφανής η μεταβολή των σκούρων ζωνών της επιφάνειάς του, ένα φαινόμενο όπου στο παρελθόν πιστεύανε ότι οφειλόταν σε εκτάσεις βλάστησης. Τέλος οι έμπειροι παρατηρητές μπορούν να αντιληφθούν το ξέσπασμα μιας μεγάλης αμμοθύελλας, εντοπίζοντας περιοχές όπου από ανοιχτόχρωμες γίναν σκούρες.

Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα να μελετήσουν οι ερασιτέχνες τον πλανήτη και μέσα από δορυφορικά δεδομένα, καθώς τα περισσότερα από αυτά είναι ανοιχτά. Έτσι οι ερασιτέχνες μπορούν αν έχουν τα απαραίτητα λογισμικά και γνώσεις τηλεπισκόπησης, να κάνουν τις δικές τους φωτοερμηνείες. Όλα τα παραπάνω καθιστούν τον πλανήτη Άρη έναν πολύ ενδιαφέρον στόχο για τους ερασιτέχνες αστρονόμους.

Ευχαριστίες

Κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια. Επιπλέον ευχαριστήσω θερμά το ΕΤΕΠ της ΣΑΤΜ-ΜΓ του ΕΜΠ Λήδα Στάμου, που προθυμοποιήθηκε να επιβλέπει αυτό το έργο, δίνοντάς μου συμβουλές και επιλύοντας τις απορίες μου. Τέλος ευχαριστώ πολύ τον ομότιμο καθηγητή της ΣΑΤΜ-ΜΓ του ΕΜΠ Ρωμύλο Κορακίτη, για την πολύτιμη βιβλιογραφία που μου πρότεινε.

Αναφορές

- [1] J. Wilkinson, The Solar System in Close-Up, Astronomers' Universe, DOI 10.1007/978-3-319-27629-87.
- [2] The Backyard Astronomer's Guide (2008), Terence Dickinson and Alan Dyer.
- [3] ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ ΠΟΥ ΑΓΑΠΗΣΑ (β' τόμος 1999), Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος.
- [4] Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ - ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΓΑΛΗ ΕΚΡΗΣΗ ΩΣ ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ – (1993), RONAN A. COLIN
- [5] <https://openstax.org/books/astronomy-2e/pages/1-introduction>
- [6] <https://www.newsbeast.gr/environment/arthro/366244/gematos-kratires-o-planitis-aris>
- [7] <https://www.quora.com/Does-Mars-have-geographic-coordinates>
- [8] <https://space.stackexchange.com/questions/39119/how-were-mars-zero-elevation-datum-defined-what-are-their-shapes>
- [9] <https://www.meteorologiaenred.com/el/planeta-marte.html>
- [10] <https://www.meteorologiaenred.com/el/planeta-marte.html>
- [11] <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/?page=operpage=99order=date+descsearch=>
- [12] <https://marsed.asu.edu/mep/craters>
- [13] <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/sensing-our-planet/in-search-of-martian-craters>

- [14] <https://www.esa.int/ScienceExploration/SpaceScience/MarsExpress/WateronMars>
[15] <https://www.nasa.gov/press/2015/march/nasa-research-suggests-mars-once-had-more-water-than-earth-s-arctic-ocean>
[16] <https://www.nytimes.com/2021/03/19/science/mars-water-missing.html>
[17] <https://www.space.com/mars-organics-curiosity-rover-possible-biosignature>
[18] <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-rover-finds-conditions-once-suited-for-ancient-life-on-mars>

Παράρτημα

- Ο παρακάτω σύνδεσμος παρέχει πρόσβαση σε μια πλειάδα δορυφορικών δεδομένων από τον πλανήτη Άρη: <https://ode.rsl.wustl.edu/mars/>
- Αυτή η διαδικτυακή εφαρμογή απεικονίζει την θέση των σημερινών διαστημοσυσκευών του Άρη: [Mars Now – Explore – NASA Mars Exploration](#)
- Στον παρακάτω ισότοπο υπάρχει ιστορικό αρχείο καταγραφής όλων των αποστολών με στόχο τον πλανήτη Άρη: <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/historical-log/>

Πίνακας 1: Λεπτομερή χαρακτηριστικά του πλανήτη Άρη

Απόσταση από τον Ήλιο	227.940.000 km
Διάμετρος	6794 km
Μάζα	6.42×10^{23} kg
Πυκνότητα	3950 kg/m ³
Τροχιακή εκκεντρότητα	0.093
Περίοδος περιφοράς	687 Γήινες μέρες
Περίοδος περιστροφής	1,029 Γήινες μέρες
Τροχιακή ταχύτητα	24 km/s
Κλίση άξονα	25.20
Μέση θερμοκρασία	-60°C
Αριθμός Φεγγαριών	2