



A VÖRÖS BOLYGÓ TÜZHÁNYÓI

Vulkáni kúpok a Marson

Földünk a geológiailag aktív égitestek közé tartozik, elég, ha a folyamatosan vándorló tektonikus lemezekre, a földrengésekre vagy a vulkánokra gondolunk. Utóbbiak igen változatos méretben és alakban vannak jelen bolygónkon, Földünk azonban nem az egyedüli vulkanikus égitest a Naprendszerben. Bolygószo­mszédunkon, a Vénuszon szintén találunk tűzhányókat, a Jupiter lo holdja pedig Naprendszerünk vulkanikusan legaktívabb égitestje. A Mars szintén bővelkedik vulkáni formákban, melyek bár (hasonlóan a vénusziakhoz) már rég kihuny­ t tűzhányók, sokuk a Naprendszer legnagyobbjai közé tartozik. Pillantsunk hát bele a marsi vulkánok világába!

A Mars a legjobban ismert bolygó a Föld után. Sok dol­ gban hasonlítanak: mindkét égitest kőzetbolygó, vas-nikkel maggal és szilikátos köpen­ nyel. Forgásten­ gelyük dőlésszöge és tengelyforgási idejük csaknem megegyezik, valamint méretükben is közel állnak egy­ máshoz. A két égitest ásvány- és kőzettani összetétele is nagyon hasonló, rengeteg Földön ismert folyamat a Marson is megfigyelhető, ugyanakkor ezek némileg eltérnek a földiektől. A két bolygó közti különbségek főbb okai: más naptávolság, méret, tömeg és sűrűség, a fejlődés és a belső differenciálódás eltérő mértéke, valamint a nagyméretű hold, a lemeztektonika és az óceánok megléte vagy épp hiánya. Mivel ez a két kőzet­ bolygó mind felépítésében, mind kialakulásában szor­ os rokonságot mutat, emiatt a felszíni formakincseik­ ben szintén vannak azonosságok.

A marsi vulkanizmus hasonlít a földire: mindkét planétán szilikátvulkanizmus a jellemző. A vulkánok eloszlása a Marson kizárólag a forró feláramlási terü­ letekhez (ún. foltokhoz) köthető. A Földön is találunk forrópontokat – legjobb példa erre a Hawaii-szigetek – azonban a földi vulkánok túlnyomó része a lemez­ határoknál található.

A marsi vulkánokat alapvetően három nagy cso­ portba sorolhatjuk: léteznek pajzsok, kúpok és paterák. A pajzsok a bolygó legnagyobb vulkáni felépítményei. Lejtőszögük mindössze néhány fokos, lapos tetejük közepén komplex vulkáni kaldera is előfordulhat. Mindegyik pajzsvulkán magassága felülmúlja a 13000 métert, mind közül a legmagasabb az Olympus Mons, mely az egész Naprendszer legmagasabb tűzhányója a maga 20 kilométer feletti magasságával.

A kúpok a pajzsoknál sokkal kisebb képződmények, ugyanakkor sokkal meredekebbek, lejtőszögük a 10 fokot is elérheti. Sűrűbb lágából, esetleg eruptív kitöré­ sek törmelékéből állnak. Ilyen típusú vulkánra jó pél­ da a Ceraunius Tholus.

A marsi vulkánok harmadik nagy csoportját az ún. paterák alkotják, ezek a legidősebb ismert vulkánok a bolygón. Nagy átmérőjű, extrém lapos, erősen erodált képződmények, ismertetőjelük a sugaras mintázat, valamint a komplex kalderamaradvány. A paterákra

	Föld	Mars
Közepes naptávolság (millió km)	149.6	227.9
Keringési idő (földi nap)	365.26	686.98
Közepes pálya menti sebesség (km/s)	29.8	24.14
Pályahajlás az Ekliptikához (°)	0	1.85
Tengelyferdeség (°)	23.45	23.98
Tengelyforgási idő (óra, perc)	23 56	24 37
Egyenlítői átmérő (km)	12756	6786
Tömeg (10 ²³ kg)	59.7	6.42
Felszín (millió km ²)	510	145
Térfogat (10 ¹² km ³)	1.083	0.163
Sűrűség (g/cm ³)	5.5	3.9
Felszíni nehézségi gyorsulás (m/s ²)	9.78	3.69
Felszíni átlaghőmérséklet (°C)	+15	-53
Átlagos felszíni légnyomás (hPa)	1013.25	6.1
Szökési sebesség (km/s)	11.2	5

elsősorban a robbanásos kitörések voltak a jellemzők. Ezeket a vulkánokat a nagyon alacsony lejtőszög, az erős erodáltság és néhány esetben az erős összetorlódottság miatt igen nehéz lehatárolni vagy elkülöníteni egymástól. Ilyen vulkáni forma például a Tyrrhena Patera.

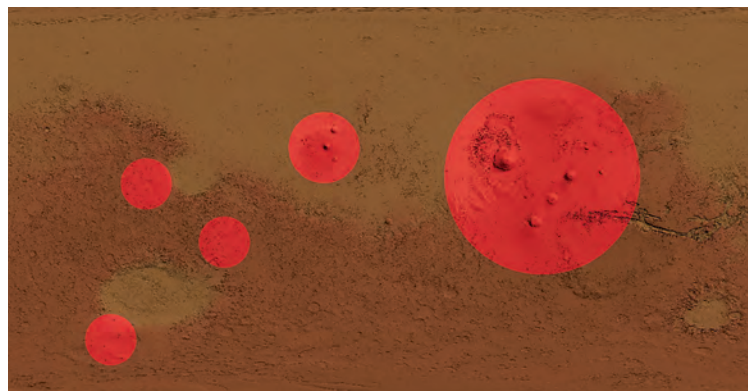
Az Olympus Mons-t, régi nevén Nix Olympica-t már Giovanni Schiaparelli (1835-1910) is látta távcsövével, mint a globális porviharból kiemelkedő alakzatot. Egy évszázaddal később, 1971. november 14-én érkezett meg a Mariner-9 űrszonda a Marshoz. A bolygó felszínét ekkor újfent egy globális porvihar uralta, eltakarva a felszínt az űrszonda műszerei előtt. A homogén Mars-gömbből egyetlen folt tűnt csak ki, a Nix Olympica-nak nevezett alakzat, melyről több társával együtt kiderült, hogy valójában hatalmas vulkánok. Innentől fogva ezt a tűzhányót már Olympus Mons néven jegyzi a szakirodalom.

Hogyan lehet megállapítani, milyen magas egy marsi vulkán? Milyen meredek lejtőjű? Hogyan lehet ezeket földi tűzhányókkal összehasonlítani?

Ehhez ún. digitális magasságmodelleket, idegen szóval DEM-eket (Digital Elevation Model) kell használnunk. Ezek olyan adatbázisok, melyek az égitest felszínének bizonyos pontjairól tartalmazznak térbeli koordinátákat. Vizsgálódásomhoz két ilyen modellt, a Földről az SRTM, míg a Marsról az MGS MOLA adatait használtam fel. A megfelelő térinformatikai szoftverek segítségével könnyedén meghatározható a vulkánok magassága, átmérőjük és lejtőszögük.

Az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) nevű programot 2000. február 11-én indították, azzal a céllal, hogy egy, az Endeavour űrsiklóra szerelt műszerrel magassági adatokat gyűjtsenek. A körülbelül kéthetes időintervallum alatt az É.sz. 60° és a D.sz. 57° közötti területet mérték fel, így a Föld felszínének körülbelül 80%-ára kiterjedő, nagy pontosságú magasságmodell jött létre, melynek felbontása 30 méter pixelenként. A mérésorozatot egy radarrendszerrel végezték, amely két fő részből állt: az Endeavour raketerében elhelyezett fő antennából és egy 60 méter hosszú, kitolható árbóc végére szerelt külső antennából. A két különböző pontból készített felvételek közti különbségek lehetővé tették a földfelszín magasságának meghatározását.

A Mars Global Surveyor 1997-ben érkezett a vörös bolygóhoz és közel egy évtizedig végzett ott méréseket. Főbb feladatai közé tartoztak a Mars belső szerkezetének vizsgálata, a vízgyűjtők lehatárolása, a marsi évszakok és a hósapkák fejlődésének vizsgálata, valamint egy globális topográfiai térkép összeállítása a bolygóról. Utóbbihoz egy MOLA (Mars Orbital Laser Altimeter) nevű lézeres magasságmérőt használt, mellyel egy teljes bolygót lefedő, 3D-s felszínmodellt készített



A fő vulkáni területek eloszlása a Marszon

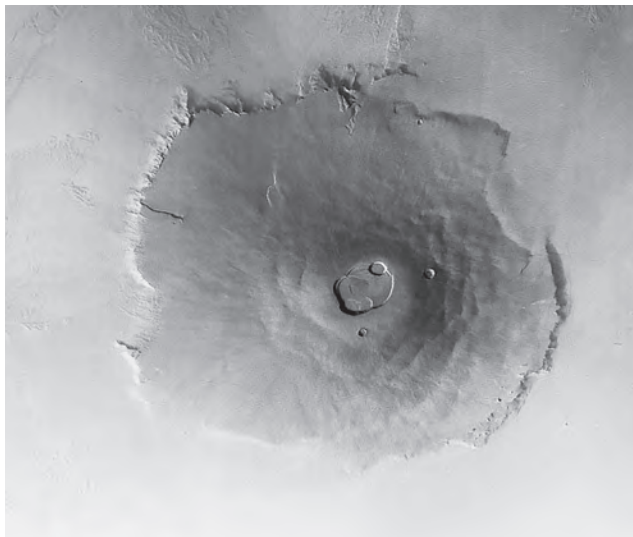
a Marsról. A 400 kilométer magasan haladó szonda szenzorja a kibocsájtott és visszaverődött impulzusok különböző beérkezési idejéből határozta meg a magasságkülönbségeket.

Megállapítható, hogy a marsi vulkánok sokkal magasabbak földi társaiknál: átlagmagasságuk 7000 méter, míg a vizsgált földieké 4500 méter. A vulkánok magasságát összehasonlító diagramon jól látható, hogy a földi vulkánok magasságukat tekintve nagyjából átfedésben vannak a kúpokkal és paterákkal. Érdekesség, hogy a Marsról hiányoznak a 10 kilométer körüli vulkánok: a kúpok legnagyobb magassága 8-9 ezer méter, a pajzsok viszont legalább 5 ezer méterrel magasabbak. Vélhetően, ha a működő marsi vulkanizmus idején egy vulkán magassága elérte a kúpok legnagyobb magasságát, jó eséllyel tovább folytatódott a növekedés legalább 13000 méterig.

Ahhoz, hogy megértsük, hogy a két bolygó vulkánjai miért eltérő magasságúak, meg kell határoznunk, hogy egy égitesten mennyi lehet egy hegység elméleti maximális magassága. Ehhez egy egyszerű számításra van szükségünk. Ha a hegységet alkotó kőzet sűrűségének értéke: ρ , az adott égitesten uralkodó felszíni nehézségi gyorsulás: g , a hegység magassága: h (kúp esetén), a hegységet alkotó kőzetnek a törési szilárdsága: σ , akkor hegység magasságának elméleti maximuma a $h/3 \cdot \rho \cdot g < \sigma$ képletből kiszámítható.

Becslés a vulkánok elméleti maximális magasságára a két bolygón.

Égitest	Föld		Mars
Kőzet	gabbró/ bazalt	gránit/ riolit	gabbró/bazalt
ρ (g/cm ³)	3,5	2,7	3,9
g (m/s ²)	9,81	9,81	3,7
σ (MPa)	160	150	160
h (m)	9000	11000	33000

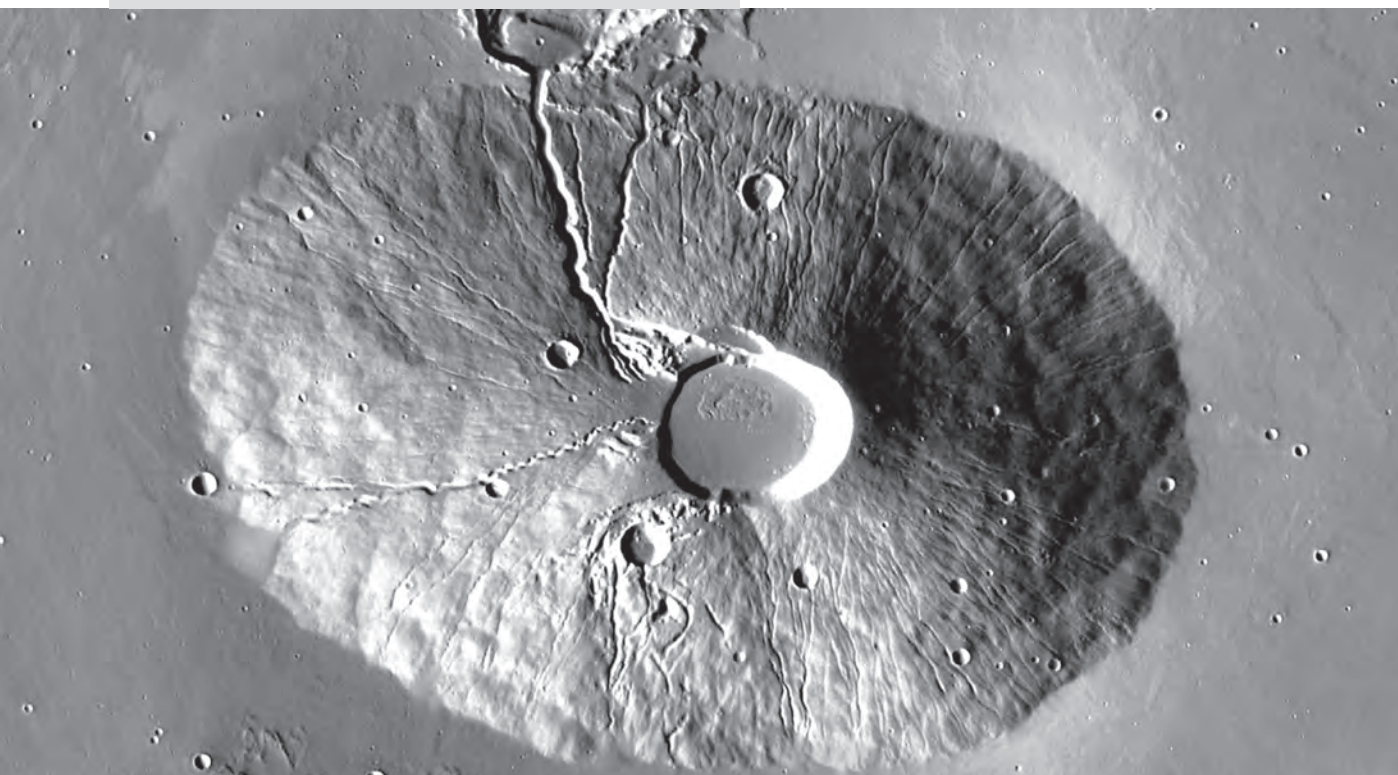


Az Olympus Mons a Mariner-9 felvételén (NASA)

Jól látható, hogy a Marson elméletben (bázikus vulkanizmust feltételezve, továbbá a σ értékét a földivel ekvivalensnek tekintve), legfőképp a jóval kisebb nehézségi gyorsulás miatt sokkal nagyobbra nőhetnek a vulkánok, mint a Földön. A Mars kérge sokkal vastagabb (20-80 km, szemben a földi 6-40 km-rel), így a földinél sokkal nagyobb vulkánokat is képes megtartani. A Marson nincs lemeztectonika, így nem vándoroltak el a vulkánok a forró feláramlások felől, ezért lehetővé vált, hogy a vulkánok a földieknél sokkal nagyobb méretűre nőjenek.

A Mars legmagasabb tűzhányója az Olympus Mons, mely 20990 méter magas; a Föld legmagasabb vulkánja pedig 9200 méteres magasságával a hawaii Mauna Kea

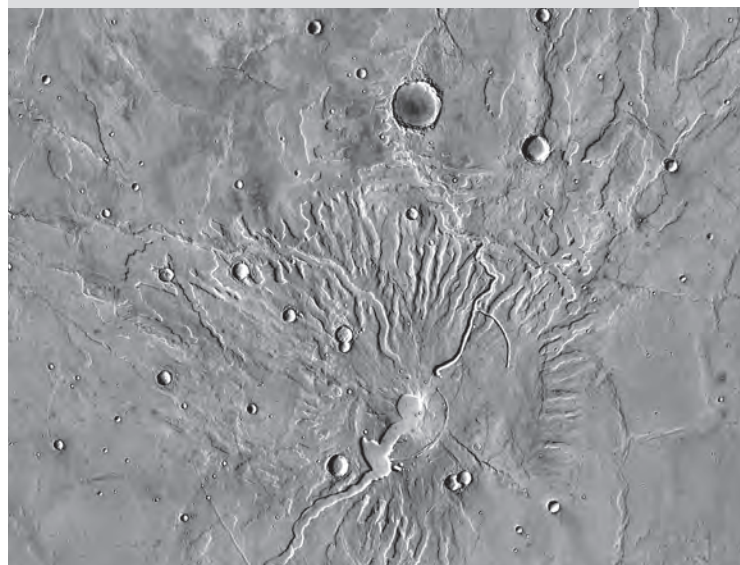
A Ceraunius Tholus (NASA)

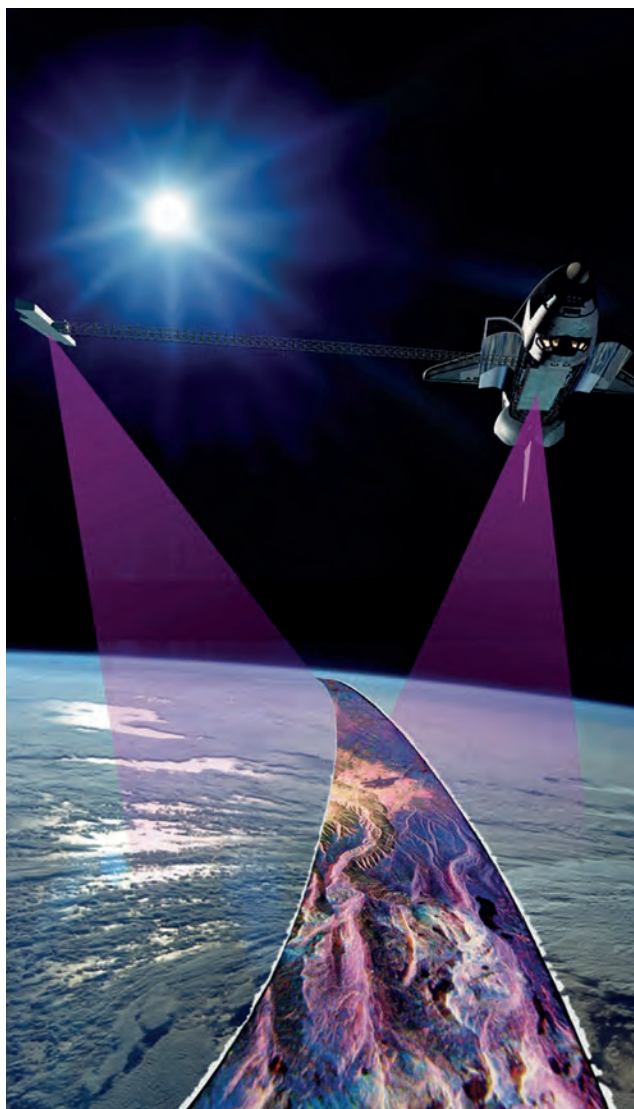


(melynek tengerszint feletti magassága mindössze 4207 méter, de az aljzattól számított mérete a legmagasabb vulkánná teszi). Az összehasonlító metszeten jól látszik, hogy a marsi vulkán nemcsak magasságában, de átmérőjében is messze felülmúlja földi párját. Fontos azonban megemlíteni, hogy a sok helyen olvasható 24-25 kilométeres magasság megtévesztő: maga a vulkán „csak” 21 kilométer magas, azonban az itt található vulkánokat magába foglaló Tharsis-hátság további 3,5 kilométerrel emelkedik ki a marsi felszínből.

Megállapítható továbbá, hogy a marsi vulkánok lejtőszöge jóval laposabb, mint a földiekké. Ennek következtében lejtőszög-diagramjaik már első látásra eltérnek egymástól. Néhány földi vulkán lejtőszögét

A Tyrrhena Patera /NASA/





Az Endeavour űrsikló adatgyűjtés közben

vizsgálva jól látszik, hogy az értékek igen széles tartományban oszlanak el, továbbá ezek a diagramok igen lassan laposodnak el. A földi vulkánok lejtői tehát sokkal változatosabbak, ez visszavezethető a külső erők intenzív hatására.

A marsi vulkánok lejtőszög-értékei viszont szűk tartományon belül helyezkednek el, a szögérték növekedésével gyakoriságuk hirtelen leesik. A földi vulkánok átlagosan $14,5^\circ$ -os lejtőszögűek, a marsi tűzhányók meredeksége a földi átlag csaknem tizede, $1,5^\circ$. Ez magyarázható a marsi vulkánokat felépítő, a földi tűzhányókénál hígabb, nagyobb vastartalmú lávával, illetve a ritkább légkörrel, mely miatt a kiömlött láva lassabban hűlt. Feltétlen említést érdemel, hogy míg a marsi tűzhányók összetételüket tekintve bázikus kőzetekből épülnek fel, addig a vizsgált földi vulkánok túlnyomó része a marsiaknál jóval

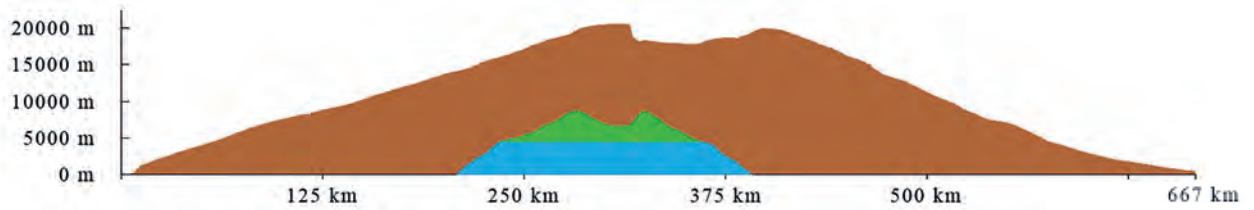
savanyúbb és viszkózusabb lávából (andezit, riolit) jöttek létre. A lejtőszög-értékek szórása (tehát az átlagtól való eltérése) is más a két planétán: ez az érték a Földön 8,37, míg a Marson 1,88. Ez azzal magyarázható, hogy a marsi vulkánok lejtői (számottevő erózió híján) sokkal „homogénebbek”, míg a földi tűzhányók lejtői, az intenzív külső erők felszínformáló hatása miatt sokkal egyenetlenebbek.

A leglényegesebb különbség a két égitest vulkanizmusa között az, hogy míg a földi vulkáni tevékenység ma is aktív, addig a marsi vulkanizmus néhány tízmillió éve leállt. A vörös bolygó legfiatalabb vulkáni képződménye egy lávafolyás az Arsia Mons lejtőjén, mely körülbelül 10 millió éves. Az aktivitásbeli különbség legfőbb oka a Föld és a Mars eltérő mérete, így eltérő mennyiségű belső hőtartalékuk. A Mars tömegegységére nagyobb felület jut, mint a Föld esetén, így a bolygó folyékony magja gyorsabban kihűlt, „megakasztva” ezzel a belsejében lejátszódó anyagáramlásokat.

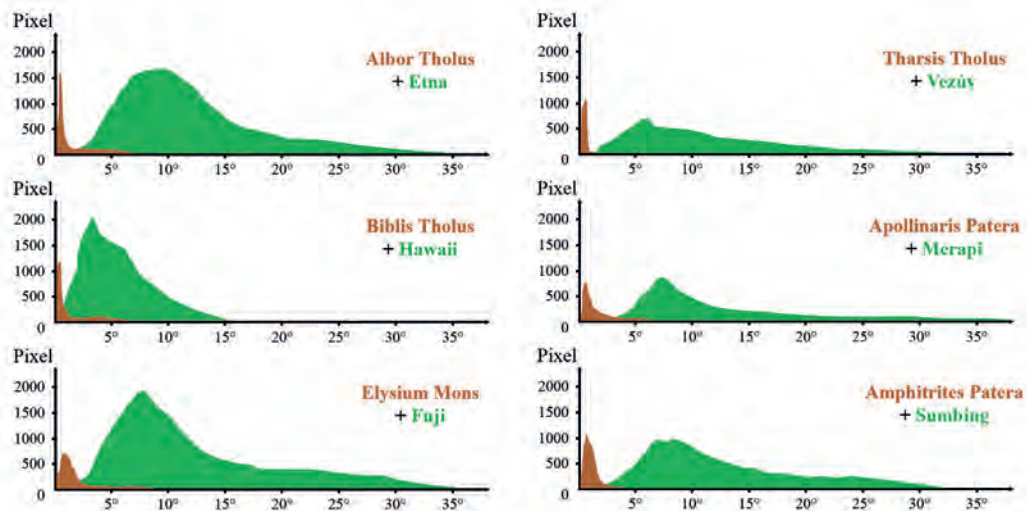
A Mars Global Surveyor (NASA)



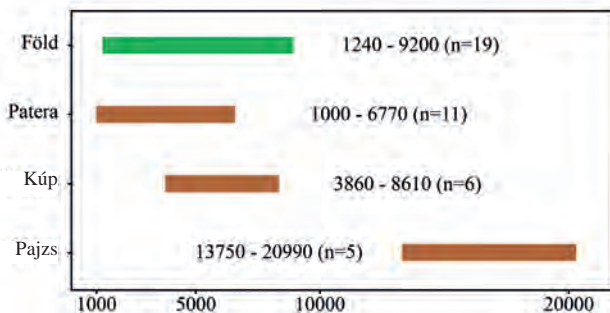
A Földön tapasztalható aktív felszínformálódás, hegyképződés és vulkanizmus fő mozgatórugója a lemeztektonika. A kőzetlemezek vándorlása, az óceánfenékek szétnyílása, a szubdukció, és a kontinensek mozgása egy több milliárd éve tartó folyamat, melyet a Föld (radioaktív anyagok bomlásából származó) belső hője által keltett konvekciós áramlások hajtanak. Jó példa erre az ún. Hawaii-Emperor szigetlánc, melynek legfiatalabb tagja



A marsi Olympus Mons és a földi Mauna Kea összehasonlítása, magassági torzítással



Néhány marsi (barna) és földi (zöld) vulkán lejtőszögének eloszlásdiagramja



Az általam vizsgált marsi és földi vulkánok magasságának összehasonlító diagramja, az egyes típusok magasság-intervallumaival és az őket alkotó vulkántípusok elemszámával (n)

a lánc egyik végén található Hawaii „Nagy sziget”, a sor mentén haladva pedig a szigetek mérete és a vulkánok magassága a lepusztulás miatt egyre csökken, majd, szintén az erózióknak köszönhetően, a vulkáni láncolat a tenger alatt folytatódik tovább, egészen az alábukási zónáig. A Marson ugyanakkor a tudomány mai állása szerint nem létezik aktív lemezkéreg, a

Valles Marineris, a legmélyebb ismert kanyonrendszer viszont minden bizonnyal a kezdődő, de félbeszakadt lemeztektónikáról tanúskodik. Ennek oka a marsi kéreg földinél nagyobb vastagsága, valamint a belső hőforrások gyors kimerülése. Összegezve az eddigieket, a planetológiai értelemben kis különbségek a két bolygó vulkánjai közt, illetve az őket létrehozó belső erők között, a két égitest némileg eltérő paramétereire és genetikájára vezethetőek vissza.

KOVÁCS GERGŐ

IRODALOM:

Nyitókép: (CC) Kevin Gill, www.flickr.com/photos/kevinmgill
 Shuttle Radar Topography Mission adatbázis (www.usgs.gov)
 MGS MOLA adatbázis (<http://pds-geosciences.wustl.edu>)
 Kereszturi Á. (2012): Mars - fehér könyv a vörös bolygóról. 9-10, 19-30. Magyar Csillagászati Egyesület; ISBN 9789638759757
 Sik András (2005): SUPERNOVA a Marson. 101-102. Akadémiai Kiadó, Budapest; ISBN 9789630582865
 Lóki József — Demeter Gábor (2009): Geomatematika 142. Debreceni Egyetem Egyetemi és Nemzeti Könyvtár; ISBN 9789634732754
 Greeley R. — Spudis P. D. (1981): Volcanism on Mars. Reviews of Geophysics. 19(1), 13-41.