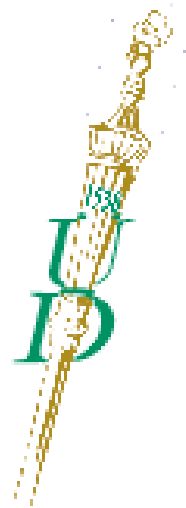


Debreceni Egyetem

Természettudományi és Technológiai Kar

Földtudományi Intézet



**A Mars vulkanizmusának térinformatikai elemzése a
földi vulkanizmus tükrében**

OTDK Dolgozat

Témavezető
Dr. Szabó Gergely
egyetemi adjunktus

Készítette
Kovács Gergő
Földrajz BSc
Geoinformatika szakirány

Debrecen, 2014. május 16.

Tartalomjegyzék

1. Témaválasztás indoklása	3
2. Bevezetés.....	4
3. Irodalmi feldolgozás, áttekintés	5
3.1. A távérzékelés	5
3.2. A Mars megismerése	6
3.2.1 A Mars megfigyelése az ókorban.....	7
3.2.2. A Mars megfigyelése a távcsövek korában	8
3.2.3. Mars-kutatás az űrszondák korában.....	10
3.3. Vulkanizmus a Marson.....	13
3.4. Vulkanizmus a Földön.....	19
4. Felhasznált anyagok és módszerek	21
4.1. SRTM	23
4.2. MGS-MOLA.....	24
5. Eredmények	25
5.1. A vizsgált vulkánok alapadat-arányosságainak összehasonlítása	27
5.2. A vizsgált vulkánok magasságának összehasonlítása.....	32
5.3. A vizsgált vulkánok lejtőszögeinek és eloszlásuknak összehasonlítása	35
6. Összefoglalás	37
7. Irodalomjegyzék	40

1. Témaválasztás indoklása

Napjainkban az űrkutatás reneszánszát éli. Az élet, főleg a fejlett országokban elképzelhetetlen az űrkutatás vívmányai nélkül; a távolabbi jövő pedig egyenesen arról fog szólni, hogy az ember más égitesteken is benépesít a Naprendszeren belül. Itt lehet szó újabb űrállomások építéséről, kolóniák létesítéséről a Holdon és a Marson, de az elrugaszkodottabb elképzelések azt sem tartják kizártnak, hogy egész aszteroidákat veszünk birtokba, bányászati célokból.

A klasszikus szereplők (USA, Oroszország) mellett új országok is bekapcsolódtak az űrkutatásba (Kína, India, EU), valamint egyre nagyobb teret nyernek különböző magáncégek is, mint például a SpaceX vagy a Virgin Galactic. Bolygónk kísérője mellett a másik fő célpont az emberiség számára a Mars, mely a Föld mellett az egyetlen bolygó az úgynevezett lakhatósági zónában, így második/harmadik otthonunkként szolgálhat a távolabbi jövőben. Dolgozatom témaválasztásában így nem volt mellékes az, hogy a jövőben, az űrverseny újraéledésében mindenképpen nagy szerepet fog kapni a Hold és a Mars meghódítása, így ezek morfológiájának részletesebb megismerése.

Végezetül, régi hobbim az amatőr csillagászat, így bő évtizedes az érdeklődésem a téma iránt, így a témaválasztásomban nem volt mellékes a téma iránti rokonszenv sem; mint ahogy az sem, hogy reményeim szerint jelen munkám a későbbiekben ugródeszkaként szolgálhat más, hasonló témájú és jellegű kutatásokba való bekapcsolódáshoz.

2. Bevezetés

Külső bolygósomszédunk, a Mars, a leginkább ismert bolygó a Föld után. Sok tényezőben hasonlít a Földre: tengelyforgási ideje és forgástengelyének dőlésszöge csaknem megegyezik bolygónkkal, valamint méretében és Naptávolságában is közel esik Földünkhöz. A két planéta ásvány- és kőzettani összetétele is nagyon hasonló, valamint rengeteg földi folyamat a Marson is megfigyelhető, ugyanakkor ezen folyamatok a Mars eltérő paraméterei miatt másak, mint amiket a Földön tapasztalunk. A két bolygó közti eltérések fő okai: az eltérő naptávolság, méret, tömeg és sűrűség; a fejlődés és a belső differenciáció eltérő mértéke; valamint a nagyméretű hold, a lemeztectonika és az óceánok megléte vagy épp hiánya. Mivel e két kőzetbolygó felépítésükben, valamint kialakulásukban is szoros rokonságot mutat, ezért a felszíni formakincseikben szintén vannak azonos elemek. Jelen munkámban a Mars jellegzetes és igen látványos formakincseiről, a vulkánokról és a vulkanizmusról fogok írni, összehasonlítva a Földön található vulkánokkal.

A kitűzött céljaim közé tartozik a mindkét bolygón megtalálható, nagyobb méretű, közel azonos felépítésű vulkáni eredetű felszínformák összehasonlítása térinformatikai módszerekkel. A dolgozat első felében megismerjük a bolygó főbb paramétereit, sorra vesszük a bolygót felfedező csillagászokat és űrszondákat. Az összehasonlítás első felében a két bolygó vulkáni területeinek eloszlását mutatom be. Majd a marsi vulkánok különböző típusait hasonlítom össze térinformatikai módszerekkel, különböző paraméterek alapján, majd a második felében ezeket földi vulkánokkal hasonlítom össze. Kitérek a vulkánok magasságainak és lejtőszögeinek különbségeire, valamint ezen alapadatok néhány hányadosát is kiszámítom. Sorra veszem, hogy a különböző formákat alakító erők recensek-e vagy fosszilizsek. Végezetül a két bolygó vulkáni formáinak különbségeit vezetem vissza geológiai és areológiai okokra, külön odafigyelve a két bolygó közti eltérésekre.

3. Irodalmi feldolgozás, áttekintés

3.1. A távérzékelés

Ahogy prof. Dr. Lóki József definiálta: „A távérzékelés során a Föld felszínének területeiről, objektumairól, jelenségekről illetve folyamatokról úgy nyerünk adatokat, információkat, hogy az érzékelő műszerek nincsenek közvetlen kapcsolatban a megfigyelés tárgyával (Lóki, 1996).” Tehát a távérzékelés lényege, hogy a megfigyelő egyén vagy műszer és a megfigyelt objektum között nincs közvetlen kapcsolat, bizonyos fizikai távolság mindig jelen van a megfigyelő és a megfigyelt között. Távérzékelés egy könyv olvasása és egy távoli csillag távcsővel való vizsgálata is. Magába a távérzékelésbe rengeteg tevékenység belefér: légterek radarral való ellenőrzése, repülőgépről való légi fotózás, műholdas felvételek készítése a Föld vagy más bolygók felszínéről, vagy Naprendszeren kívüli égitestek vizsgálata optikai, röntgen vagy rádiótartományban működő teleszkópokkal.

A távérzékelés elméleti alapja az, hogy a valóságban minden egyes tárgy kibocsát és visszaver bizonyos elektromágneses hullámokat (Lóki, 1996); tehát olyan test, ami nem bocsát ki és nem is ver vissza semmilyen sugárzást, azaz ún. abszolút fekete test (földi körülmények közt) nem létezik. Bizonyos hullámhosszokat elnyelve a rájuk eső fényből más hullámhosszú fényt vernek vissza. Ezt érzékeli színek formájában az emberi szem, mely maga is az egyik legjobb (és legrégebbi) távérzékelési rendszer. Magába a távérzékelésbe nemcsak az adott objektum vizuális vizsgálata tartozik, hanem a kapott adatok számítógépes szoftverekkel történő kiértékelése is (Lóki 1996).

Munkám során, a mérések végzésekor magam is távérzékeléssel kinyert adatokkal dolgoztam, mindkét bolygónál egy-egy, ingyenesen elérhető, keringőegységekkel készített adatbázist vettem a munkám során igénybe.

3.2. A Mars megismerése

A Mars a Naptól számított negyedik bolygó, 2006 óta pedig, amikor is elveszítette az akkori legkisebb bolygó, a Plútó nagybolygói státusát (Internet1), Naprendszerünk második legkisebb bolygója. Az összes bolygó közül ez hasonlít legjobban a Földre: a szoros felépítésbeli rokonság (mindkét bolygó a kőzetbolygók csoportjába tartozik) mellett a két bolygó tengelyferdesége és tengelyforgási ideje is csaknem megegyezik (1. táblázat). Azonban a Mars a Földnél sokkal kisebb méretű és tömegű. Pályáját tekintve messzebb kering a Naptól, így sokkal hidegebb világ. Ritka légköre szén-dioxidból áll (Internet3), az alacsony légnyomás miatt pedig a felszínen nem található folyékony víz. Két holdja van, a Phobos és a Deimos, ezek azonban csupán a „közeli” aszteroidaövezetből befogott apró kisbolygók, így nincsenek olyan hatással a bolygóra, mint a Hold a Földünkre.

1. táblázat A Mars és a Föld összehasonlító táblázata

	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
Excentricitás	0.0167	0.0934
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
Holdak száma	1	2

Forrás: Sik, 2011.

3.2.1 A Mars megfigyelése az ókorban

A Mars, köszönhetően vörös színének és nagy fényességének, már az ősidőkben ismert égitest volt; az ősi népek kivétel nélkül a háború, a véres harcok istenét látták benne. Az ókorban sokféle néven nevezték: a sumerok Nergalnak hívták, a görögöknél Árész hadisten volt, a rómaiaknál az ő római megfelelőjének, Marsnak nevezték, Egyiptomban pedig Rá isten csillaga volt (Internet2). A Mars már az ókorban feltűnést keltett nemcsak színével, de különös égi mozgásával is, a bolygónak ezt a mozgását már Hipparkhosz (ie. 160-125.) is leírja. A pályáján többségében előrefele halad, de kétévente egy alkalommal lelassul, majd megáll, visszafordul és egy hurkot ír le, majd továbbhalad előre az égen. Érdekes módon erre a jellegzetes mozgásra Arisztarkhosz már képes volt helyes magyarázatot adni i.e. 250 körül (Internet2). Szerinte a Föld is egy egyszerű bolygó, a Mars pályája pedig a Földpályán kívül található, ezzel magyarázható a Mars hurokvetése az égen, ilyenkor a Föld „lekörözi” külső bolygótestvérét.

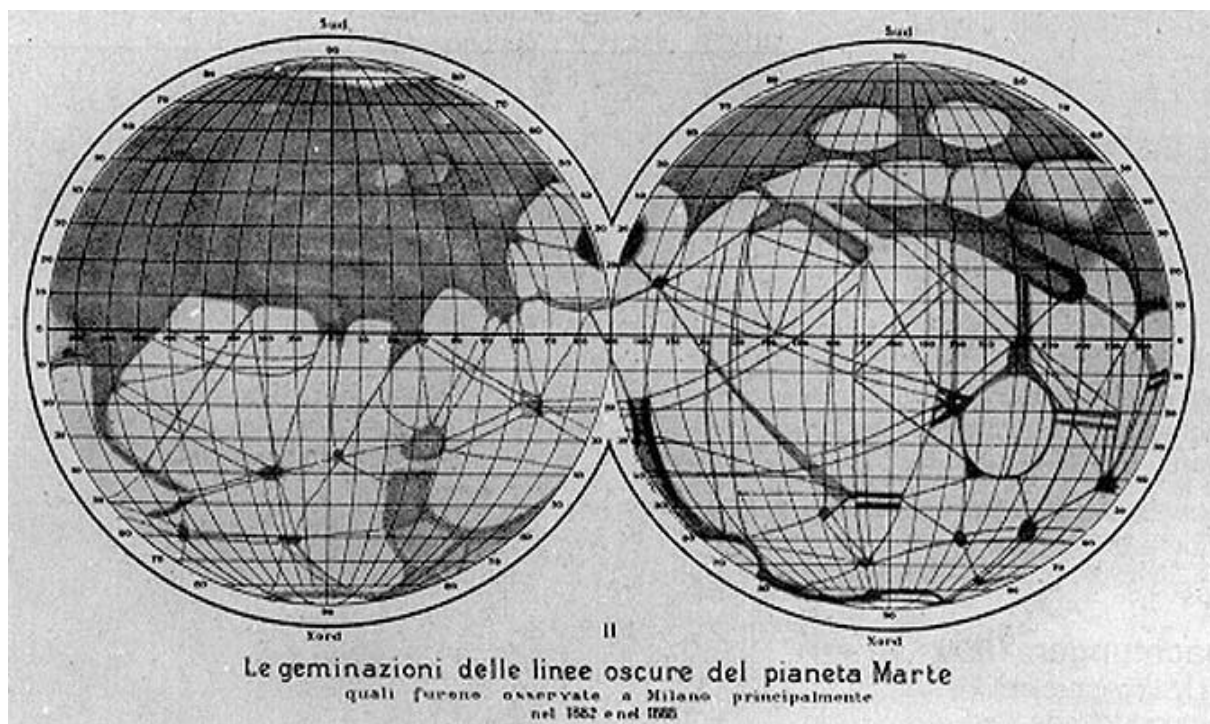
Arisztarkhosz Napközéppontú, heliocentrikus modelljét viszont később felváltotta a Földközéppontú, geocentrikus világkép. Ezt az világképet Ptolemaiosz foglalta össze, aki meghatározta a bolygók mozgását, valamint bonyolult elméletet alkotott a bolygók hurokvetésének okára. Ptolemaiosz szerint a bolygók Föld körüli keringését egy tökéletes körpálya, a deferens szabja meg (Internet4). A bolygó azonban egy kisebb körpályán, az epicikluson kering, ennek az epiciklusnak a központja kering a deferens mentén a Föld körül. A Mars-pálya alakját legelőször Keplernek sikerült meghatároznia, Tycho Brahe megfigyeléseit felhasználva. Munkája során rájött, hogy a bolygó a Naptól távolabb lassabban, míg a Naphoz közelebb gyorsabban halad a pályáján; valamint hogy a bolygópálya alakja egy olyan ellipszis, melynek egyik gyújtópontjában a Nap áll. E két felismerés alkotja Kepler első két törvényét, melyek az *Astronomia Nova* (1609) c. munkájában jelennek meg (Internet2).

3.2.2. A Mars megfigyelése a távcsövek korában

Az égitest vizuális megfigyelése igazán csak a középkorban, a távcső feltalálása után lendült fel, ekkor volt a planéta megfigyelésének igazi hőskora, szinte nem volt olyan csillagász, aki ne vizsgálta volna a Marsot távcsövön keresztül. Amellett, hogy a megfigyelések során sorra gyűltek a bizonyítékok a Ptolemaiosz-i geocentrikus világkép megcáfolására (például egyre növekvő bonyodalmak az epiciklusos pályaelméletben, vagy a Mars fázisváltozásának felismerése); sikerült egyre többet megtudni magáról az égitestről is. A bolygók távcsöves kutatásának története Galileo Galilei-hez kötődik, ő fordította először az ég felé távcsövét (Internet2). Ő ismerte fel a csillagok és bolygók közti fő különbséget: míg az állócsillagok a távcsövekben is fénypontok maradtak, addig a bolygók már korongnak látszódtak a látómezőben. A Marsról elsőként Francesco Fontana készített rajzokat, azonban a távcsövek fejlődése csak a XVII. század derekára tette lehetővé részletek megpillantását a bolygón.

Elsőként Christiaan Huygens volt az, akinek sikerült részleteket is felismernie a bolygó korongján, például a rajzain általa csak „Óraüveg-tenger”-nek nevezet Syrtis Major-területet. E terület segítségével először kísérelte meg meghatározni a bolygó tengelyforgási idejét (Hollósy, 2003). Sikerült meghatároznia, hogy az körülbelül egyenlő a Földével, vagyis 24 óra, továbbá megfigyelései során a marsi hósapkákat is felfedezte. Meg kell említeni még Giovanni Cassini nevét is, aki a Syrtis Major-t észlelve az 1666-os oppozíció során pontosabban meghatározta a Mars tengelyforgási idejét; valamint egy csillagfedés során, a csillag folyamatos halványodásából azt állapította meg, hogy a bolygónak légköre is van.

A Mars távcsöves vizsgálatába a XVII. század végén William Herschel is bekapcsolódott, aki megállapította, hogy a Mars forgástengelye ferde (Internet2), valamint kiszámolta a bolygó tényleges átmérőjét, amire a Föld méretének 55%-a jött ki (Hollósy, 2003). A XIX. század közepén aztán elkészültek az első Mars-térképek. Az első, átfogó térképet 1840-ben Johann Heinrich Mädler készítette. A XIX. század végén kiemelkedő volt Giovanni Schiaparelli olasz csillagász munkássága.



1. ábra Schiaparelli 1888-as Mars-térképe
(Forrás: Internet7)

Részletes térképet készített a Marsról (**1. ábra**), valamint felfedezte a „Mars-csatornákat” tehát a bolygó tengereknek nevezett sötétebb területeit összekötő sávokat. A térképein feltüntetett olasz canali, azaz csatorna megnevezést azonban az angol szakirodalom channel-ként vette át, ami viszont utcacsatornát jelent (Hollósy, 2003). Ettől kezdve kaptak nagyobb nyilvánosságot a csillagászok szakmai vitái, a közvéleményt ekkortól fogva kezdte érdekelni az esetleges intelligens marsi élet kérdése, rengeteg akkori újság, kiadvány foglalkozott ezzel (pl. The University of Chicago Press, 1896. dec. 1.: Is Mars inhabited?; Science 1893. máj. 5.: The canals of Mars – Internet 5-6).

Egyre többen kapcsolódtak be a Mars vizuális megfigyelésébe, Percival Lowell a Mars-csatornák megfigyeléséhez saját obszervatóriumot is épített, azonban az egyre több és egyre jobb műszerekkel készült észlelések nem támasztották alá a csatornák létét. A XX. század elején készült rajzokon már olyan területek is azonosíthatók voltak, mint a Tharsis-hátság pajzsvulkánjai, de rohamléptekben fejlődtek az új (távérzékelési) vizsgálati módszerek, mint a fotográfia vagy a spektroszkópia (Hollósy, 2003).

3.2.3. Mars-kutatás az űrszondák korában

A Mars űreszközökkel való kutatása a hidegháborúban, az űrverseny keretében kezdődött el. A bolygót először a szovjetek érték el a Marsz-1 névre elkeresztelt űreszközükkel, 1962-ben. A szonda elsődleges célja a bolygó megközelítése és fényképek továbbítása volt a Földre (Internet16). Az űreszközt felszerelték napszél-, és mikrometeorit-detektorral, magnetométerrel és TV-kamerával is (Horvai, 2003). A következő sikeres küldetés az amerikai Mariner-4 nevéhez fűződik 1965-ben. Ez a szonda összesen 21 szürkeárnyaltos képet készített az égitestről (Internet17), melyek egyértelműen megcáfolták a Mars-csatornák létét, valamint megállapították, hogy az égitest sivárságával sokkal inkább hasonlít a Holdra, mint a Földre (Horvai, 2003). A következő kiemelkedően sikeres amerikai Mars-szonda a Mariner-9 volt, 1972-ben állt pályára a bolygó körül. Felvételei alapján született az első, közeli felvételekből összeállított Mars-térkép, továbbá készített felvételeket a nagyobbik holdjáról, a Phobosról is (Horvai, 2003). A szonda felvételei alapján bebizonyosodott, hogy korai időszakaiban a Mars hasonlíthatott a Földre. Összesen több mint 7000 felvételt készített, ekkor születtek az első képek a bolygó vízfolyáshálózatairól (Internet18), a Nix Olympica-ról (Francis 1988), későbbi nevén az Olympus Mons-ról vagy a Valles Marineris-ről. A következő szondapáros, a szovjet Marsz-2 és Marsz-3 már sikeresen el is érték a vörös bolygót 1971-ben. Ez a két szonda már jóval komolyabb volt elődjénél, mindkét szonda két részből állt: egy keringő és egy leszálló egységből. Felépítésük szinte teljesen megegyezett, a keringő és a leszálló egység súlya együttesen 4650 kg volt, a fő antenna 2.5 méteres, a bolygóra ereszkedő kapszula pedig 1.2 méter átmérőjű volt. (Intenet19, Internet20) Az űrszondák feladata volt többek között a marsi felszín és légkör, a bolygóközi mágneses tér, valamint a napszél tanulmányozása. Ehhez a sokrétű feladatkörhöz sokféle műszerrel szerelték fel a szondák keringő és leszálló egységeit is. A keringő egységek műszerei között megtalálható volt a magnetométer, IR és UV fotométer, kozmikus részecskedetektor, valamint spektrométer is (Internet19, Internet20). Továbbá kétfajta képalkotó rendszerrel is el voltak látva: egy 350 mm fókuszú, szűklátókörű és egy 52 mm-es fókuszú, nagy látószögű kamerával, a rendszer 1000x1000 pixel felbontású képeket volt képes a Földre továbbítani. A Marsra leszálló egységek pedig el voltak látva gamma-sugár és Röntgen-spektrométerrel, szélességmérővel, hőmérővel és barométerrel is, kétkamerás rendszerük pedig 360°-os látómezőt biztosított (Internet19, Internet20). A szondapáros küldetése szerencsétlenül végződött: a Marsz-2 leszállóegységének ejtőernyője nem nyílt ki, így az becsapódott a

felszínbe, valamint akkor épp globális porvihar dúlt a bolygón, így a Marsz-3 sem tudott fotózni, ezt a szondát 20 másodperccel a felszínre ereszkedés után egy sziklának csaphatta a vihar (Horvai, 2003). 1976-ban az amerikai Viking szondapáros sikeresen elérte a bolygót. Keringőegységeik a bolygót fotózták, nagyfelbontású (a legrészletesebb felvételeik 10-20 m/pixel felbontásúak voltak – Sik, 2011) képeikből sikerült pontos, globális fotótérképeket és Mars-gömböket készíteni (Horvai, 2003). A nagyfelbontású képek lehetővé tették a hósapkák, pajzsvulkánok, folyóvölgyek tanulmányozását; de a Mars két holdja, a Phobos és a Deimos is vizsgálható volt a felvételeken. Leszállóegységeik a felszínt sikeresen elérve panoráma-felvételeket készítettek, valamint az élet (nyomai) után kutatva mérték a hőmérsékletet, a széljárást, elemezték a marsi talajt (Horvai, 2003). Bár a mérési eredményeik között volt pozitív és negatív is, a következtetés sokáig az volt, hogy a Marson nem létezik-létezett élet. Az állásponton mára annyit pontosítottak, hogy a Viking-szondák mérései alapján nem lehet teljes bizonyossággal kijelenteni, hogy nem létezett élet a Marson (Horvai, 2003). Ezután következett egy nagyobb szünet, majd 1997-ben két amerikai szonda is sikerrel járt: a Mars Global Surveyor és a Mars Pathfinder. Az MGS feladata fényképezni, feltérképezni a bolygót (erre a későbbiekben bővebben kitérek, mert az MGS MOLA nevű szenzorjának mérései alkotják dolgozatom egyik alappillért), továbbá reléállomásként is szolgál a Mars és a Föld közt (Horvai, 2003). A Mars Pathfinder pedig egy leszállóegység volt, ez két részből állt: egy állomásból és egy roverből. Az állomás fotókat készített, a rover feladata pedig a talaj elemzése volt (Horvai, 2003).

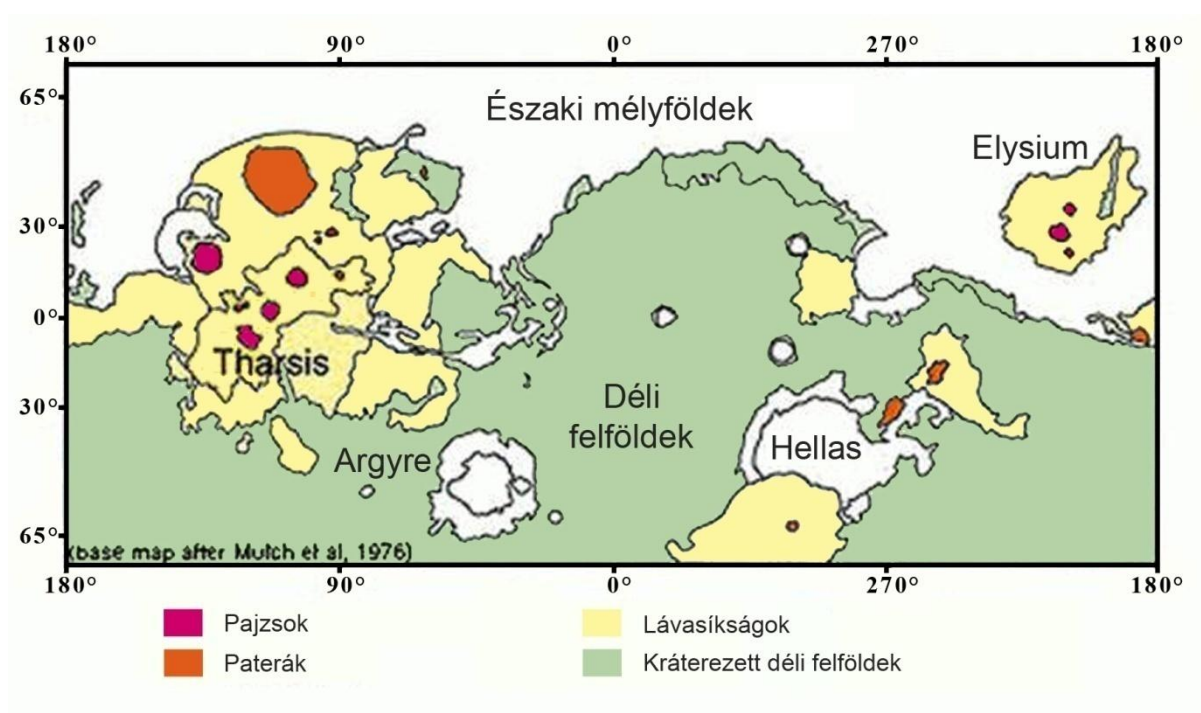
2001-ben a Mars Odyssey nevű szonda állt mars körüli pályára, célja felvételek készítése a bolygó felszínéről és a marsi víz utáni nyomozás (Horvai 2003). Legfontosabb műszere egy hősugárzásmérő eszköz, de rendelkezik neutrontetektorral és gamma-sugárzásmérővel is (Internet21). Az űrszonda később reléállomásként is szolgált a 2003-ban a bolygóra érkező roverek, a Spirit és az Opportunity, valamint a Föld között. A Mars Exploration Rovers program keretében 2003. jún. 10-én és júl. 7-én indított két mars-járó küldetése a marsi klíma történetének és a víz múltbéli aktivitásának kutatása volt (Internet22). Mindkét rover várakozáson felül teljesített, és sok információval szolgált a Mars korai fejlődéséről. A szondák miniatűr geológiai laboratóriumként működtek, hála sokoldalú műszerparkjuknak. Az elsődleges tudományos műszereik közé tartozott egy panorámakamera, mikroszkopikus képalkotó, spektrométerek és mágneses érzékelők (Internet23). Rendelkeztek még hosszú robotkarokkal, melyekkel könnyebben hozzáfértek a műszereikkel a sziklákhöz, valamint egy miniatűr marófejjel, mely képes volt eltávolítani a sziklák legkülső rétegeit, betekintést

engedve a belsejükbe. Mind a két mars-járó 2010 márciusában hallgatott el. Három év múlva, 2006-ban érkezett egy újabb keringőegység a vörös bolygóra, a Mars Reconnaissance Orbiter, melynek célja a marsi víz múltbeli nyomainak keresése és annak bizonyítása, hogy a marsi víz a múltban tartósan megmaradt. A szonda ehhez a felszínt fotózza, a víz nyomait keresi a felszínen és a légkörben, valamint hidratált ásványok nyomai után kutat (Internet24). Az MRO fedélzetén hat tudományos eszköz is található, ezek közül az egyik legfontosabb a HiRISE (High Resolution Imaging Science Experiment), mely az eddigi legnagyobb felbontású képeket készítő eszköz. Látható tartományban képes 1 méter átmérőjű tárgyakat is azonosítani. Infravörös tartományban pedig, a pálya felszín feletti magasságától függően (200 és 400 km között) pedig szubméteres felbontásra is képes (Internet25).

A 2012-es év szintén jelentős volt a bolygó megismerésének történetében, ekkor érte el a Marsot a Curiosity (Kíváncsiság), mely az eddigi legnagyobb és legösszetettebb felépítésű űrszonda, amit a bolygóra küldtek. Nagysága egy kisebb személyautóéval ér fel, súlya közel két tonna. Műszerparkjába a legújabb fejlesztések kerültek, az elektromos áram biztosításáról pedig a napelemek helyett egy miniatűr atomreaktor gondoskodik (Internet26). Feladatai közé tartozik az esetleges marsi élet nyomainak keresése, az élet szempontjából fontos tényezők mennyiségének és előfordulásának meghatározása, valamint a Mars talajának és légkörének elemzése (Internet27).

3.3. Vulkanizmus a Marson

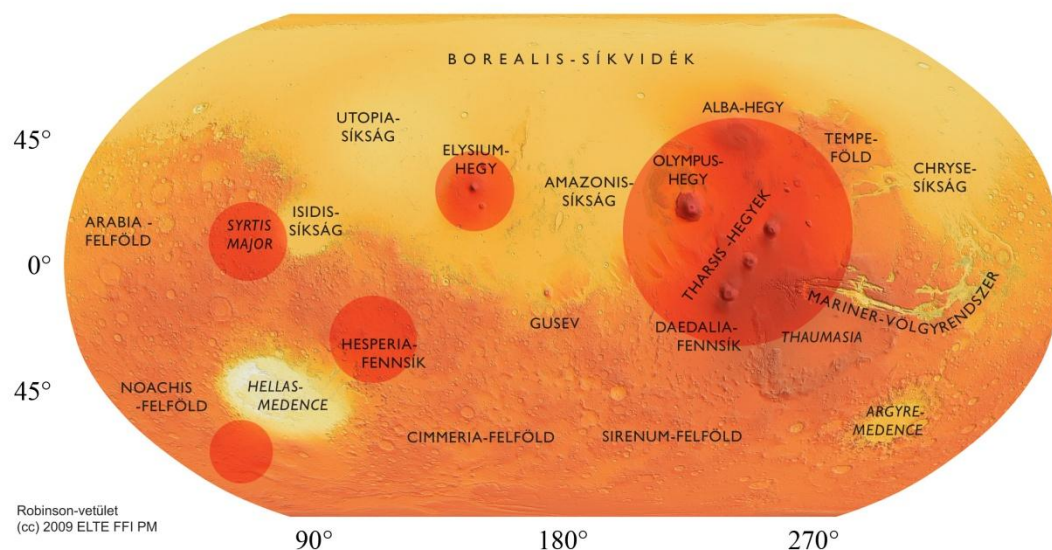
Areológiaiailag a Mars igen erős észak-déli irányú aszimmetriát mutat, délen idősebb bazaltos felföldek találhatóak; míg északon, 3-5 km-rel mélyebben fiatalabb bazaltos-andezites, esetleg andezites mélyföldek dominálnak. Ezt a jelentős aszimmetriát viszont több nagy alakzat is megtöri: a Mars hatalmas, tektonikus eredetű kanyonya, a Valles Marineris; a kozmikus becsapódás által létrehozott Hellas- és Argyre-medence, valamint a két nagy vulkáni kiemelkedés, a Tharsis és az Elysium-hátság (2. ábra). Utóbbi két nagy vulkáni alakzat ad otthont a legnagyobb marsi tűzhányóknak.



2. ábra A Mars nagyszerkezeti egységei

Forrás: Internet8 nyomán saját szerk.

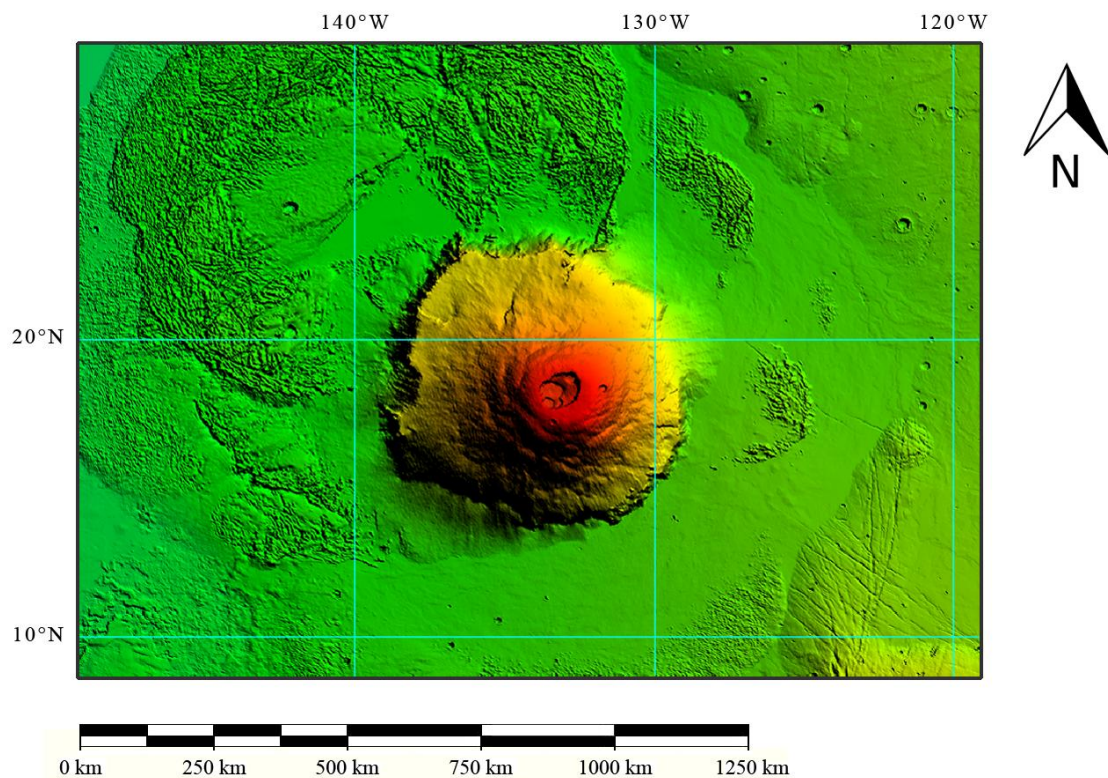
A marsi vulkánok méretükben messze felülmúlják földi párjaikat, itt találhatóak a Naprendszer legmagasabb hegyei. Ezek a vulkánok nagy vulkáni központokon, ún. hátságokon helyezkednek el, ilyen területek a Tharsis-, és az Elysium-hátság mellett a Syrtis Major térsége vagy a Hellas-medence körüli vulkáni terület (Kereszturi, 2012).



3. ábra A fő vulkáni területek eloszlása a bolygón

Forrás: Internet9 nyomás saját szerk.

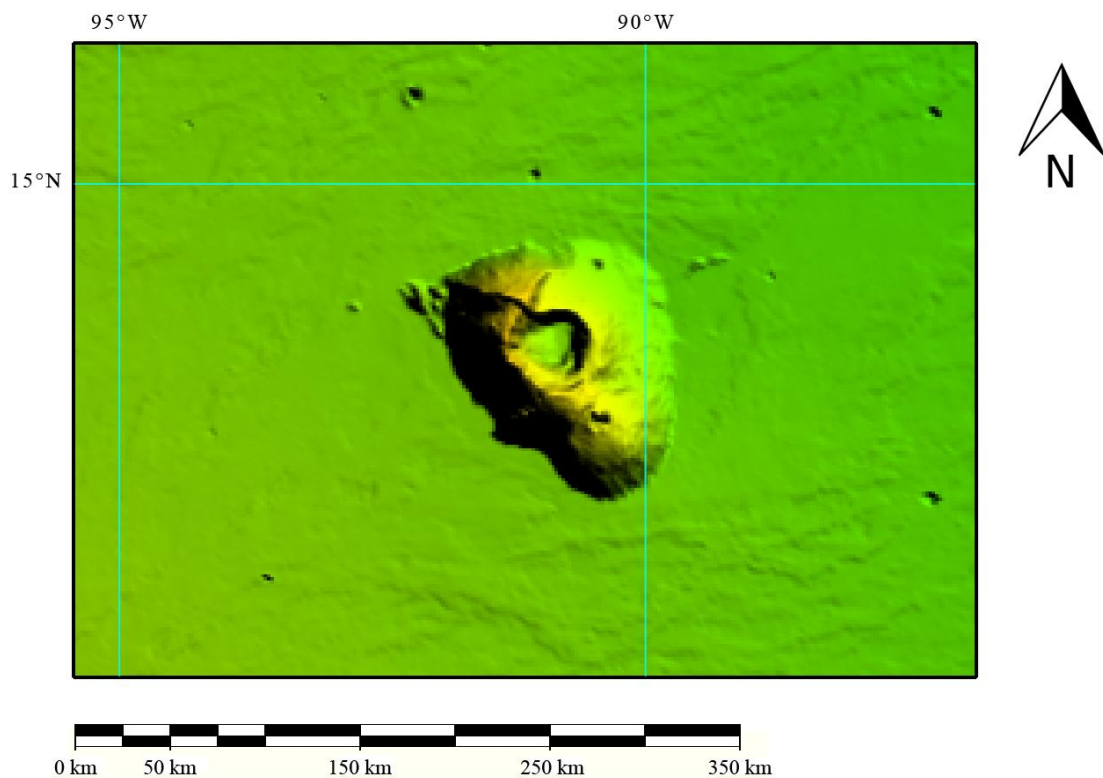
Ezek a területek forró foltok felett alakultak ki (**3. ábra**) és mivel ezen a bolygón a lemeztektonika hiányzik, a vulkáni felépítmények nem vándoroltak el ezen forró foltok felől, igen nagy méretűre nőttek (Kereszturi, 2012). Így a marsi vulkánok eloszlása a földi vonalas jellegűvel ellentétben foltos típusú. Ezeken a területeken igen nagy vulkánok találhatók, ezeket három fő csoportra oszthatjuk (Greeley & Spudis, 1981; Kereszturi, 2012): pajzsokra, kúpokra és paterákra. A pajzsok (latin nevükön mons) a bolygó legnagyobb, legmarkánsabb vulkánjai, összesen öt darab vulkán tartozik ide: az Olympus-, Ascraeus-, Arsia-, Pavonis-, és az Elysium Mons. Egymásra települő vékony rétegekből épülnek fel, néhány fokos lejtőszögűek, lapos kúpjuk centrumában komplex kalderát is megfigyelhetünk (Kereszturi, 2012). Mind az öt vulkáni pajzs magasabb 13 kilométernél, a legmagasabb közülük az Olympus Mons (**4. ábra**), mely a maga 20 kilométer feletti magasságával a Naprendszer legmagasabb vulkánja. Területileg ezek a vulkánok két helyre összpontosulnak: a Tharsis- és az Elysium-hátságra.



4. ábra Az Olympus Mons

Forrás: saját szerk.

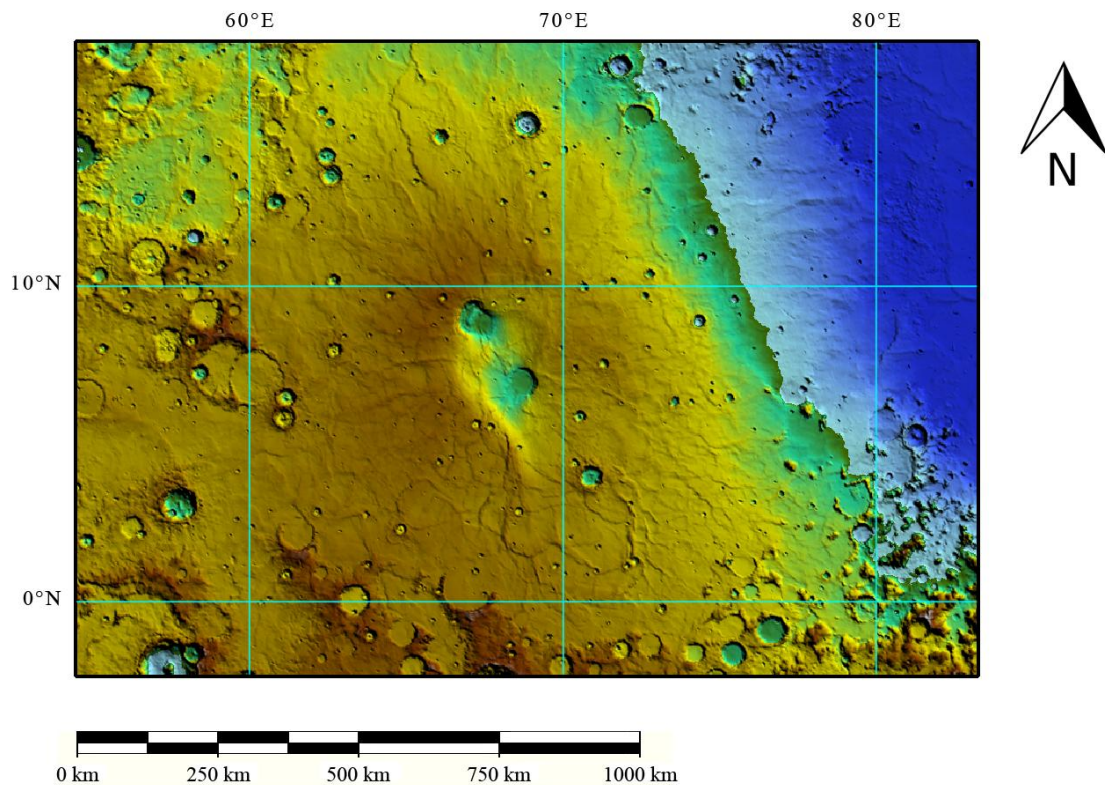
A kúpok (latin nevükön tholus) (**5. ábra**) a pajzsoknál sokkal kisebb, de meredekebb képződmények, olykor a 10 fokos lejtőszöget is elérik (Kereszturi, 2012). Anyaguk sűrűbb lávából és esetleg eruptív kitöréses törmelékből épülhet fel. Összesen hét darab vulkán sorolható ide: a Tharsis-, Uranius-, Biblis, Ceraunius-, Jovis-, Albor-, és Hecates Tholus. Közöttük is igen gyakoriak a központi kráterrel rendelkezők. Előfordulásuk szorosan kapcsolódik a pajzsvulkánokhoz, szintén az említett Tharsis- és Elysium-hátságokon fordulnak elő.



5. ábra A Tharsis Tholus

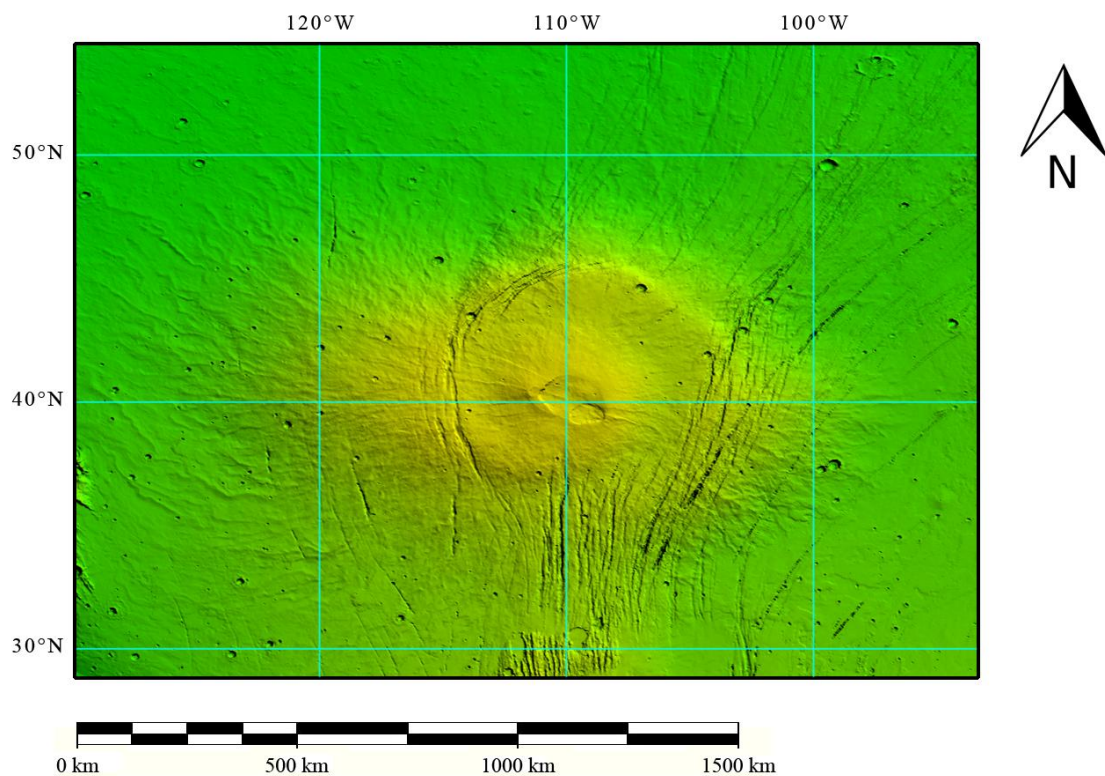
Forrás: saját szerk.

A harmadik nagy csoportot a paterák (ennek a szónak a magyar megfelelője a tál, de a magyar szakirodalom a patera-t használja) alkotják, ezek a bolygó legidősebb (ismert) vulkánjai, nagyméretű, rendkívül lapos, erősen lepusztult képződmények, jellegzetességük a sugaras mintázat és a komplex kaldera maradványa. Többségében robbanásos kitörések voltak rájuk a jellemzők (Kereszturi, 2012). Ezeket a képződményeket a nagyon alacsony lejtőszögük, erős erodáltságuk és sok esetben erős összetorlódottságuk miatt igen nehéz is elkülöníteni, elhatárolni egymástól (így az alapterületüket és átmérőjüket is csak bizonyos pontatlansággal lehet lemérni). Egy esetben például a szinte teljesen összeolvadt Meroe és a Nili Patera-t egy vulkánnak vettem. (**6. ábra**)



6. ábra A Meroe és a Nili Patera „ikervulkánja”, északon a Nili, délen a Meroe kalderamaradványával
 Forrás: saját szerk.

Előfordulásukat tekintve főleg a déli, kráterezett felföldön találhatóak nagy számban, különösen a Hellas-medence környékén. Vannak viszont olyan alakzatok, melyeket nem lehet e három csoport valamelyikébe helyezni. Külön csoportként kell kezelni például az Alba Patera-t (**7. ábra**), ez a vulkán teljesen egyedi jellegű, a paterák közé sem sorolható be, és sehol máshol nem található ilyen alakzat a Naprendszerben (Greeley & Spudis, 1981). Ez a legnagyobb ismert vulkán a bolygón, átmérője csaknem 1000 km, törésekkel körülvett kúpja igen lapos, lejtőszöge 0.1° alatti (Kereszturi, 2012).



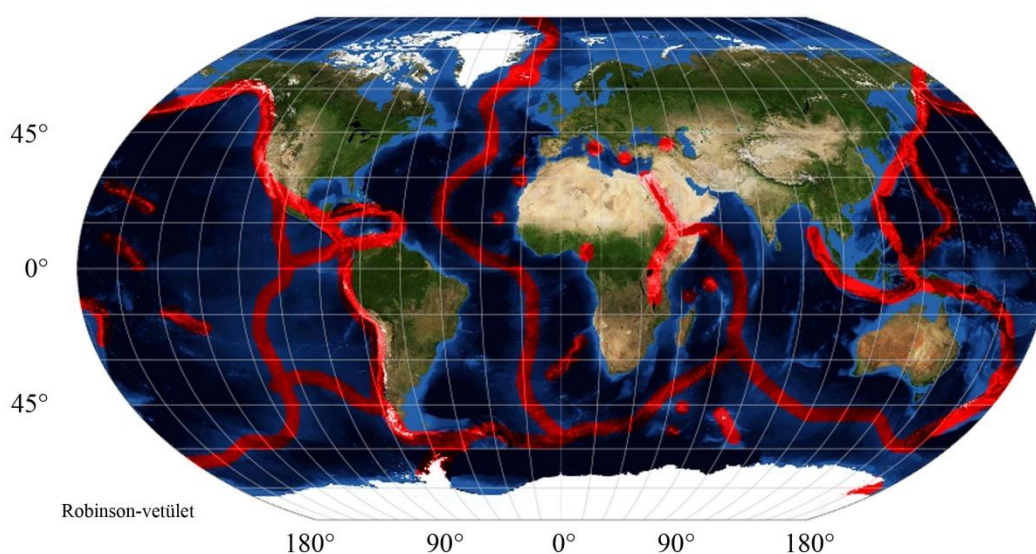
7. ábra Az Alba Patera

Forrás: saját szerk.

Röviden összefoglalva azt mondhatjuk, hogy a marsi vulkánok létrejötte és egyenetlen eloszlása nem lemeztektónikához, hanem köpenyfeláramlásokhoz köthető. A Mars vulkanizmusa már fosszilis, az utolsó vulkáni tevékenység a bolygón néhány tízmillió éve történhetett (Kereszturi, 2012).

3.4. Vulkanizmus a Földön

Planetológiai értelemben a földi és a marsi vulkanizmus közel áll egymáshoz, mindkét bolygóra szilikát alapú vulkanizmus a jellemző. A két bolygó közti kisebb eltérések miatt a földi vulkanizmus jellege kis mértékben eltér a marsinál. Az aktív lemeztektonikának köszönhetően a vulkánok eloszlása vonalas jellegű, habár a Földön is bőven találhatunk forró foltokat. A forró foltokat leszámítva viszont a földi vulkánok mindig két kőzetlemez határán helyezkednek el. (8. ábra)



8. ábra A vulkanizmus területi eloszlása a Földön

Forrás: Internet10 nyomán saját szerk.

Attól függően, hogy a két szomszédos lemezszegély közeledik-e egymáshoz, vagy távolodik, úgy a magma összetétele és így a létrejövő vulkánok kőzetanyaga, formája és működése is eltér. Távolodó lemezszegélyeknél az óceánok alatt ún. hasadékvulkánok húzódnak több ezer km hosszúságban, ezek alkotják az óceánközépi hátságokat (Gábris et al, 2013). Az innen felbukkanó láva SiO_2 -ben és gázokban szegény, így hígabb; a felszínre kerülve nagy, alacsony lejtőszögű pajzsvulkánokat hoz létre, remek példa erre Izland pajzsvulkánjai. Ha viszont a két kőzetlemez közeledik egymáshoz, a láva az alábukó lemez anyagából származik, így gáz és SiO_2 -tartalma nagyobb lesz (Gábris et al, 2013), ami hevesebb vulkáni tevékenységet, törmelékszórást és mindenekelőtt meredekebb lejtőjű, úgynevezett sztratóvulkánok létrejöttét eredményezi.

Meg kell említeni még a forró foltokhoz kötődő vulkánokat is. Ezek a vulkánok a kőzetlemezek belsejében találhatóak meg, előfordulnak mind óceáni, mind szárazföldi kőzetlemezen. Mindig a köpeny anyagának feláramlásával hozhatók kapcsolatba (Gábris et al, 2013), és mivel az aktív lemeztektonika miatt a kőzetlemez folyamatosan „elmászik” a forró folt felett, hosszú, láncszerűen sorakozó vulkánok jönnek létre (pl. Hawaii-szigetek). Ma Földünkön körülbelül 70-90 forró foltot tartunk számon (Gábris et al. 2013), többségük az óceáni lemezekben helyezkedik el. E vulkánokból álló láncolatok egyik vége állhat még ma is aktív vulkánokból (pl. Hawaii-szigetek), míg a lánc másik vége felé haladva egyre idősödnek a vulkáni hegyek, egyre erodáltabbak lesznek, majd eltűnnek a tenger felszíne alatt, ahol a láncolat még több ezer km mélyen folytatódhat (Gábris et al. 2013). Ha földrajzi régiókban gondolkodunk, a Föld vulkánjai 12 nagy régióhoz köthetők (Internet13):

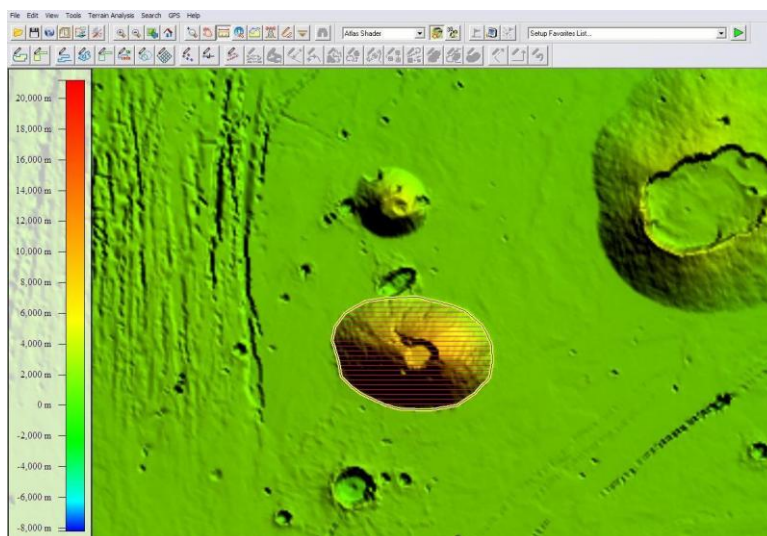
1. Afrika és a környező szigetek (pl. Meru, Kilimandzsáró)
2. Mediterráneum (pl. Stromboli, Etna, Vezúv)
3. Izland (pl. Vatna, Hekla)
4. K-Ázsia (pl. Klucsevszkaja, Fudzsi-szan)
5. A Csendes-óceán DNy-i része, DK-Ázsia, India (pl. Merapi, Tambora)
6. A Csendes-óceán középső és D-i része, Új-Zéland (pl. Mauna Loa, -Kea)
7. A Csendes-óceán É-i része, Alaszka (pl. Novarupta, Mt. Spurr)
8. É-Amerika (pl. Mt. St. Helens, Popocatapetl)
9. Közép-Amerika (pl. Tacaná, Irazú)
10. Ny-Indiai szigetek (pl. Mt. Pelée)
11. D-Amerika és a környező szigetek (pl. Galeras, Cotopaxi)
12. Antarktisz (pl. Mt. Erebus, Mt. Sidley)

A földi vulkanizmusról összességében röviden azt lehet mondani, hogy működése elsősorban a lemeztektonikához köthető, vulkánjai pedig területileg egyenletesebben oszlanak el. Aktivitását tekintve a mai napig aktív vulkanizmusról van szó, mely jelentős szerepet játszik a felszínformálódásban, kőzetek és talajok képződésében és a légköri összetétel alakításában is.

4. Felhasznált anyagok és módszerek

A dolgozatban (mivel nincs, és várhatóan az elkövetkezendő két évtizedben nem is lesz lehetőség a felszíni, terepi vizsgálatokra) a távérzékelés módszereit alkalmaztam, ehhez rengeteg marsi és földi keringőegység-adat áll rendelkezésemre. A Mars körül keringő űrszondák működési elvükben, adatgyűjtési módszereikben és szenzoraik felépítésében megegyeznek a Föld felszínét vizsgáló műholdakkal. Ezeknek a keringőegységeknek a műszerei közé tartoznak optikai és infravörös tartományban működő kamerák, a felszín kémiai összetételét vizsgáló spektrométerek, valamint digitális domborzat-modelleket előállító műszerek, pl. aktív lézer-szkennerek.

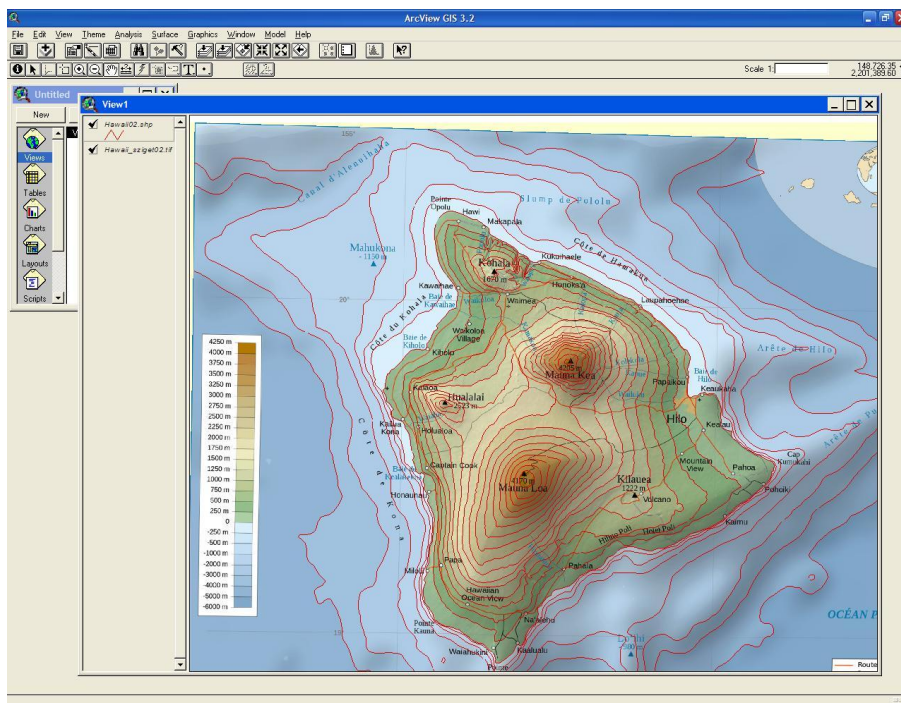
A munka során több adatbázis is igénybe lett véve: a földi vulkánok vizsgálata során az SRTM, míg a Mars esetében az MGS MOLA mérései adták a kiindulási alapot. A rendelkezésre álló adatbázisokkal való munkához az első számú szoftver a Global Mapper 14 volt. A szoftver gond nélkül felismerte a NASA-szabványú IMG fájlokat, képes volt az SRTM adatainak lekérésére, valamint sokrétű feladatkört volt képes betölteni. A programmal lehetővé vált keresztszelvények készítése, magasságmérés, területszámítás. A vulkánok magasságának, alapterületének, valamint átmérőjének leméréséhez a Global Mapper Measure Tool eszközt használtam (9. ábra), a mérést többször (3-5) megismételve, azokból számtani közepet véve kaptam meg az eredményt. Az átmérőt két vagy három irányból mértem meg, majd szintén átlagoltam.



9. ábra A vulkánok alapterületének lemérése a Global Mapper programban, a képen a marsi Ceraunius Tholus látható

Forrás: saját szerk.

A keresztmetszvények készítéséhez a Global Mapper „3D path profile” nevű eszközét használtam, az így kapott keresztmetszvényeket pedig az Adobe Photoshop 8.0-ban raktam mérethelyesen össze. Ehhez szükség volt a Photoshopban leradírozni a keresztmetszvényről minden felesleges vonalat, majd a legnagyobb méretű „vulkánra” rárakni a kisebbeket, mindezt úgy, hogy a vulkánok mind horizontális, mind vertikális kiterjedésükben arányosak legyenek egymással. A lejtőszögek méréséhez, valamint hisztogramok készítéséhez a QGIS 2.2 Valmiera-t, valamint az IDRISI Taiga-t használtam, utóbbi szoftverrel készítettem magát a lejtőszög-mérést és a hozzájuk tartozó hisztogramokat, melyeket azután Photoshop-pal tisztáztam le. Hawaii szigetének topográfiai térképének bedigitalizálásához (itt ugyanis meg kellett oldani, hogy a sziget tenger alatti részeiről is legyen adat, ugyanis az SRTM nem mutatja a tenger alatti területeket) pedig az ArcView 3.2-es verzióját használtam (10. ábra). Ez utóbbi szoftverrel készítettem el bedigitalizált térképből TIN-, majd GRID-modellt, amiből pedig Global Mapper-rel szintén lehet keresztmetszvényt készíteni. Továbbá az ábrák, a sávdíagramok és néhány térkép készítéséhez is a Photoshop-ot vettem igénybe.

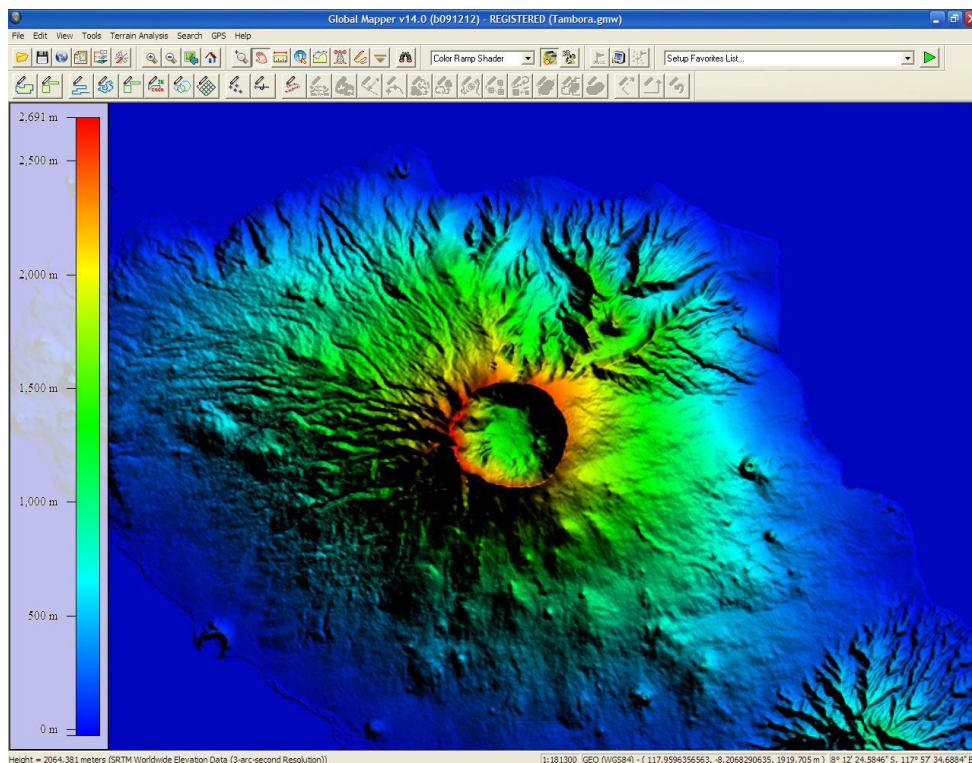


10. ábra Hawaii topográfiai térképének bedigitalizálása ArcView programmal

Forrás: Internet11 nyomán saját szerk.

4.1. SRTM

Az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) egy 2000. február 11-én indult nemzetközi projekt, mely során az Endeavour űrsiklóra szerelt műszerrel magassági adatokat gyűjtöttek a földfelszínről. A küldetés két hetes időtartama során a földfelszín közel 80 százalékáról (az É. sz. 60.°-tól a D. sz. 57.°-ig) sikerült adatot gyűjteni, így létrejött egy közel globális, nagy felbontású felületmodell, melynek pontossága pixelenként megközelítőleg 90 méter (Internet14). Az ingyenesen elérhető adatbázist egy, az Űrsiklóra szerelt radarrendszerrel készítették, mely két fő részből állt: a fő antenna az Endeavour raketerében volt elhelyezve, a külső antenna pedig egy kitolható árboc végén volt, 60 méterre az Űrhajótól. Az egy időpontban, két különböző pontról készített két felvétel közti kis különbség lehetővé tette a felület magasságának meghatározását (NASA, 2014). Az adatokat a Google Earth és a Global Mapper segítségével kértem le az adott földi területekre: a vizsgált földi vulkán területét megjelöltem a Google Earth-ben egy téglalappal, majd azt a Global Mapperbe importálva „lehívtam” az arra a területre vonatkozó SRTM adatokat (**11. ábra**).



11. ábra A Tambora vulkánról készült SRTM-felszínmodell a Global Mapper programban

Forrás: saját szerk.

4.2. MGS-MOLA

A Mars Global Surveyor 20 éves szünet után az első sikeres amerikai Mars-misszió az 1976-os Viking óta. A szonda 1996. november 7-én indult el a Földről, majd 309 nap múlva, 1997. szeptember 12-én érkezett a Marshoz és közel egy évtizeden át, egészen a 2006. novemberi elnémulásáig gyűjtött adatokat a bolygóról. A szonda poláris pályán kering a Mars körül, 400 km magasan, kétóránként megkerülve a bolygót (Internet15). Műszerei között található egy lézeres magasságmérő (MOLA - Mars Orbiter Laser Altimeter), mellyel sikerült egy 3D-s, a teljes bolygót lefedő (Deák, 2011) topográfiai térképet készíteni a Marsról. A műszer a magasság meghatározásához a szonda által kibocsájtott, majd a Marsról visszaverődött és a szonda által a MOLA gyűjtőtükrébe érkező impulzusok beérkezési idejét használja fel, ezt a fénysebességgel elosztva kapja meg a magasságot, megközelítőleg 30 méteres pontossággal (Internet29). A MOLA főbb mérései, felfedezései közé tartozik a Naprendszer legpontosabb globális topográfiai térképének összeállítása, a hósapkák fejlődésének évszakonkénti nyomon követése, a Marsot uraló globális déltől északra lejtés megállapítása, marsi vízgyűjtő területek lehatárolása, valamint a Mars belső szerkezetének vizsgálata (Internet28).

A dolgozathoz a MOLA projekt hivatalos weboldalán elérhető adatbázis lett felhasználva, ez összesen ~5 GB-nyi, többféle felbontásban elérhető NASA-szabványú IMG-képfájl foglalta magába. Az adatokat a MOLA weboldaláról töltöttem le (Internet12) különböző részletességgel: a magassági adatok elérhetők 4, 16, 32, 64 és 128 pixel/fok felbontásban. Az IMG formátumú képfájllhoz tartozik egy lbl kiterjesztésű fájl is, ez foglalja magába a magassági adatokat.

5. Eredmények

A vizsgált vulkánoknál a következő paramétereket mértem le és hasonlítottam össze: magasság, alapterület, a vulkán átmérője az alapnál, átlagos lejtőszög, valamint ezek néhány hányadosa: átmérő/magasság, alapterület/magasság, magasság/lejtőszög, átmérő/lejtőszög (4-5. táblázat). Elsőként a két bolygó vizsgált vulkánjainak alapadatait hasonlítottam össze, táblázatokba foglalva. Ezek az adatok a következők: magasság, alapterület, átmérő (az alapnál) és átlagos lejtőszög. Majd ezek után az alapadatok néhány arányossága lett összevetve.

2. táblázat A főbb marsi vulkáni alakzatok fontosabb paramétereinek összehasonlítása

Név	Magasság (m)	Alapterület (km ²)	Átmérő (km)	Lejtőszög (°)
Alba Patera	6770	1050000	1000	0.78
Albor Tholus	3860	20200	160	1.4
Amphitrites Patera	2000	52500	250	1
Apollinaris Patera	3160	32000	190	1.63
Arsia Mons	17560	121000	400	1.6
Ascreaus Mons	18160	110000	400	1.73
Biblis Tholus	7170	16900	150	1.65
Ceraunius Tholus	8610	9900	110	3.83
Elysium Mons	13750	69000	300	1.8
Hadriaca Patera	1500	75000	350	1.5
Hecates Tholus	4710	25800	190	2.2
Malea Patera	1400	120000	350	0.6
Meroe-Nili Patera	2420	500000	700	0.63
Olympus Mons	20990	230500	600	2.64
Pavonis Mons	13930	117500	340	1.6
Peneus Patera	1000	23000	200	0.7
Pityusa Patera	2500	160000	450	0.8
Tharsis Tholus	8550	13600	130	2.55
Tyrrhena Patera	3000	48000	300	0.62
Ulysses Patera	4360	140000	450	0.72
Uranius Patera	4870	52000	250	0.97
Uranius Tholus	4850	2800	60	1.7

Forrás: saját mérések

3. táblázat A vizsgált földi vulkánok alapadatainak összehasonlítása

Név	Magasság (m)	Alapterület (km ²)	Átmérő (km)	Lejtőszög (°)
Chimborazo	6250	135	12	15.7
Coropuna	6375	250	13	13
Cotopaxi	5840	100	10	15
Etna	3290	185	13	12.5
Fudzsi-szan	3720	245	18	12.5
Galeras	4180	200	16	18.7
Kilimandzsáró	5830	1400	50	10
Llullaillaco	6710	80	10	15.2
Mauna Kea	9200	27000	180	5.7
Merapi	2890	85	9	14.5
Mt. Kenya	4860	460	25	9.6
Mt. Rainier	4340	210	16	22.7
Popocatepetl	5370	210	17	16.6
Sivelucs	3200	360	20	17.8
Slamet	3390	225	15	14.4
Sumbing	3280	175	15	14
Tacaná	4040	85	9	24.6
Tambora	2670	930	32	10.7
Vezúv	1240	60	9	11.8

Forrás: saját mérések

5.1. A vizsgált vulkánok alapadat-arányosságainak összehasonlítása

4. táblázat A vizsgált marsi vulkánok adatainak arányosságai

Név	Átmérő/magasság	Alapterület/magasság	Magasság/lejtőszög	Átmérő/lejtőszög
Alba Patera	147.7	155	8680	1282
Albor Tholus	41.45	5.2	2757	114
Amphitrites Patera	125	26.25	2000	250
Apollinaris Patera	60.12	10.1	1938	116
Arsia Mons	22.78	6.9	10975	250
Ascraeus Mons	22	6	10497	231
Biblis Tholus	21	2.35	4345	91
Ceraunius Tholus	12.77	1.15	2248	28
Elysium Mons	21.8	5	7638	166
Hadriaca Patera	233.3	50	1000	233
Hecates Tholus	40.3	5.5	2140	86
Malea Patera	250	85.7	2333	583
Meroe-Nili Patera	290	206.6	3841	1111
Olympus Mons	28.6	11	7950	227
Pavonis Mons	24.4	8.4	8706	212
Peneus Patera	200	23	1428	285
Pityusa Patera	180	64	3125	562
Tharsis Tholus	15.2	1.6	3352	51
Tyrrhena Patera	100	16	4838	483
Ulysses Patera	103.2	32	6055	625
Uranius Patera	51	10.7	5020	257
Uranius Tholus	12.4	0.6	2852	35

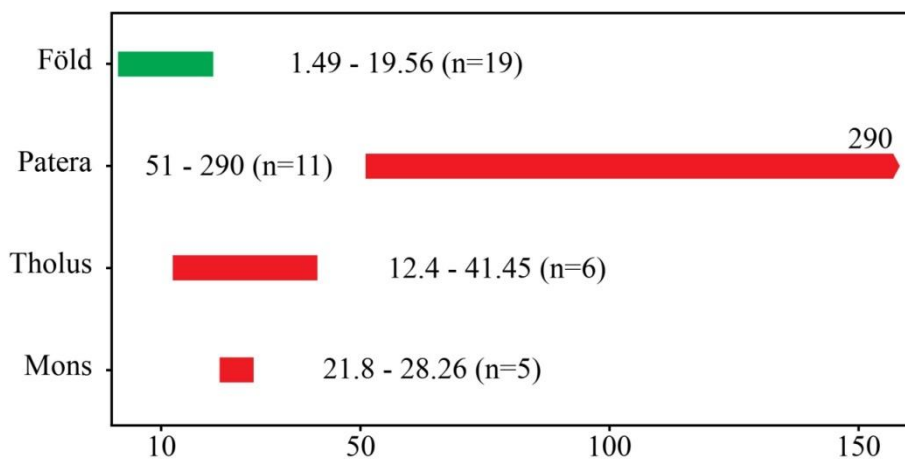
Forrás: saját mérések

5. táblázat a vizsgált földi vulkánok adatainak arányosságai

Név	Átmérő/magasság	Alapterület/magasság	Magasság/lejtőszög	Átmérő/lejtőszög
Chimborazo	1.92	0.0216	398	0.76
Coropuna	2.03	0.039	490	1
Cotopaxi	1.71	0.017	389	0.6
Etna	3.95	0.056	263	1.04
Fudzsi-szan	4.83	0.065	297	1.44
Galeras	3.82	0.047	257	0.85
Kilimandzsáró	8.57	0.24	583	5
Llullaillaco	1.49	0.011	441	0.65
Mauna Kea	19.56	2.93	1614	31.57
Merapi	3.11	0.029	200	0.62
Mt. Kenya	5.14	0.094	506	2.6
Mt. Rainier	3.68	0.048	191	0.7
Popocatepetl	3.16	0.039	323	1.02
Sivelucs	6.25	0.1125	180	1.12
Slamet	4.42	0.066	235	1.04
Sumbing	4.57	0.053	234	1.07
Tacaná	2.22	0.021	164	0.36
Tambora	11.98	0.3483	250	2.9
Vezúv	7.25	0.048	105	0.76

Forrás: saját mérések

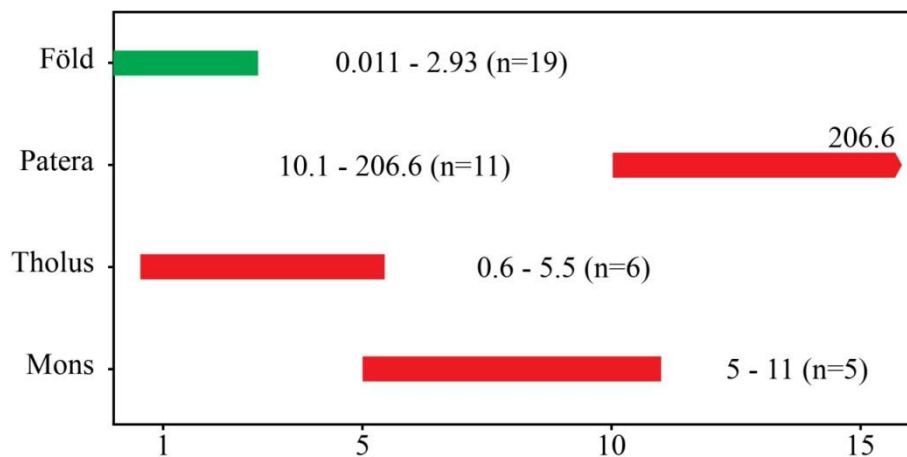
Amint a 2-5. táblázatban látható, a marsi vulkántípusok, a pajzsok, kúpok és paterák határozottan elkülönülnek egymástól, az egyes adatok típustól függően más-más értéket vesznek fel. Ez már az átmérő és a magasság arányosságánál (**12. ábra**) látszik, a paterákra jellemzően nagy érték jött ki igen nagy intervallumon belül (51-290), ennek fő oka a paterák nagy átmérőbeli szórása, elég, ha az 1000 km átmérőjű Alba Patera-ra és a 190 km átmérőjű Apollinaris Patera-ra gondolunk. A kúpokra már sokkal alacsonyabb érték jött ki (12.4-41.45), a pajzsoknál pedig ez az érték a kúpok tartományán belül egy elég szűk tartományt tesz ki (21.8-28.6). Ez az érték a Földön igen alacsony (1.49-19.56).



12. ábra Az átmérő és a magasság arányosságai a marsi vulkántípusok (vörös) és a földi vulkánok (zöld) esetében (méter/méter), az egyes intervallumok kiterjedésével és az őket alkotó vulkánok elemszámával (n)

Forrás: saját szerk.

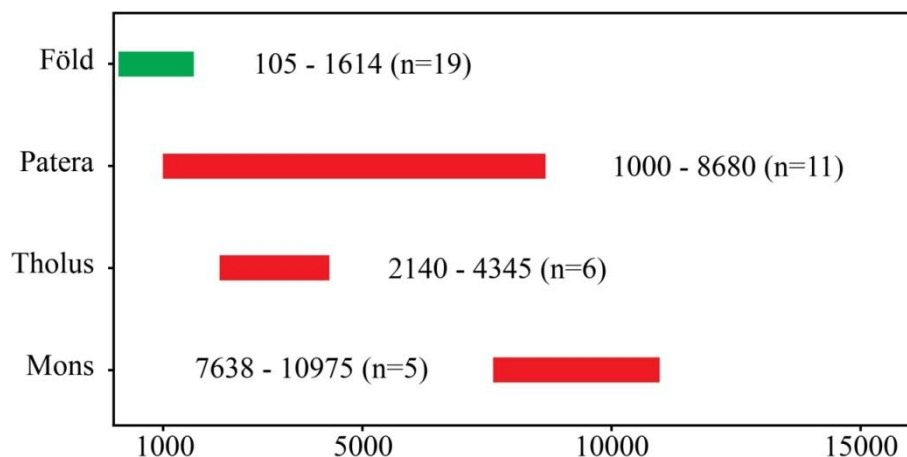
Az alapterület és magasság hányadosánál (**13. ábra**) viszont meg lehet állapítani, hogy a 10-től nagyobb értékkel rendelkező vulkánok (az Olympus Mons kivételével) mind paterák, ezek a vulkánok a horizontális méret nagy szórása miatt ismételen nagy intervallumon belül oszlanak el (10.1-206.6). A pajzsok jellemzően 5 feletti (5-11), míg a kúpok két kivétellel 5 alatti értéket (0.6-5.5) vesznek fel, ennek oka a két típus eltérő horizontális kiterjedése. A földi vulkánok és a marsi kúpok közt viszont nagy átfedés tapasztalható. A földi vulkánoknál ennek az arányszámnak az alsó határa igen alacsony (0.011).



13. ábra Az alapterület és magasság arányosságai a marsi vulkántípusok (vörös) és a földi vulkánok (zöld) esetében (km²/méter), az egyes intervallumok kiterjedésével és az őket alkotó vulkánok elemszámával (n)

Forrás: saját szerk.

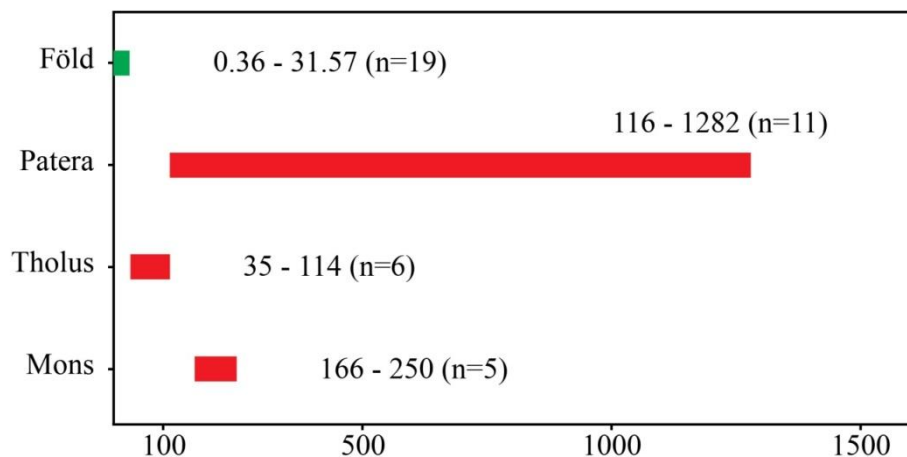
A magasság/lejtőszög aránynál (**14. ábra**) a paterák újfent igen nagy tartományt tesznek ki (1000-8680), ez a számottevő magasságbeli szórásnak (1000-6770 méter) köszönhető. A kúpok a paterákon belül helyezkednek el, sokkal kisebb értéktartománnyal (2140-4345), ami visszavezethető a nagyobb lejtőszögre és magasságra. A pajzsok pedig kis átfedésben a paterákkal, de nagy magasságuk miatt nagyobb értékeket vesznek fel (7638-10975). Szintén átfedésben vannak a paterákkal a marsiaknál nagyobb lejtőszögű földi tűzhányók (105-1614).



14. ábra A magasság és lejtőszög arányosságai a marsi vulkántípusok (vörös) és a földi vulkánok (zöld) esetében (méter/fok), az egyes intervallumok kiterjedésével és az őket alkotó vulkánok elemszámával (n)

Forrás: saját szerk.

Az átmérő/lejtőszög aránypárnál (15. ábra) a paterák nagy intervallumon belüli elhelyezkedését (116-1282) szintén a paterák átmérőjének nagy változatosságával magyarázhatjuk. A kúpok és a pajzsok a diagramon való eltérő elhelyezkedése nem az eltérő lejtőszöggel, hanem újfent az eltérő átmérővel magyarázható, példának felhozhatjuk a 600 km átmérőjű Olympus Mons-t és a tized akkora, 60 km átmérőjű Uranus Tholus-t. A földi vulkánok igen kis értékei (0.36-31.57) pedig visszavezethetők a kis átmérőre és a nagy lejtőszögre.



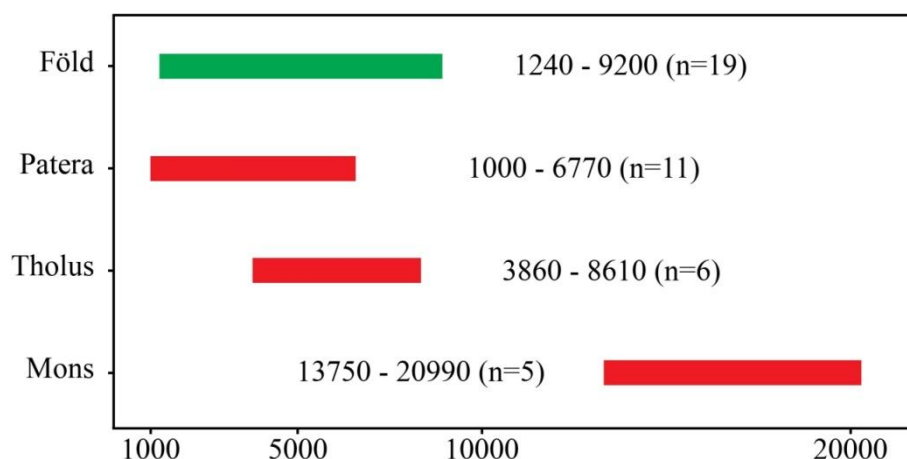
15. ábra Az átmérő és lejtőszög arányosságai a marsi vulkántípusok (vörös) és a földi vulkánok (zöld) esetében (km^2/fok), az egyes intervallumok kiterjedésével és az őket alkotó vulkánok elemszámával (n)

Forrás: saját szerk.

Összességében a fenti négy ábrán szépen visszaköszönnek a vulkánok egyes jellegzetességei: a paterák alacsony lejtőszöge, valamint nagy átmérője és területe; a kúpok kis átmérője és nagy lejtőszöge; a pajzsok nagy magassága és a kúpokénál nagyobb, de a pateráknál sokkal kisebb horizontális kiterjedése; valamint a földi vulkánoknak a marsiaknál kisebb magassága, átmérője és alapterülete, de lényegesen nagyobb lejtőszöge.

5.2. A vizsgált vulkánok magasságának összehasonlítása

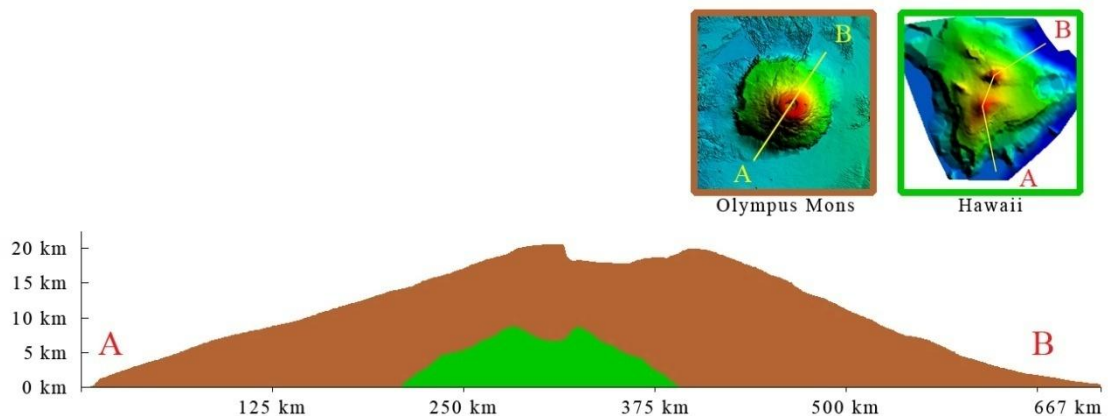
A mérések alapján megállapíthatjuk, hogy a marsi vulkánok magasságukban jóval felülmúlják földi párjaikat, a vizsgált marsi tűzhányók átlagmagassága 7000 méter, míg ugyanez az érték a Föld esetében csupán 4500 méter. A **16. ábra** egy általam készített sávdigram, melyen a különböző marsi vulkántípusok, valamint az elemzésbe bevett földi vulkánok magasságbeli eloszlása látható. Amint láthatjuk, a földi vulkánok nagyjából átfedésben vannak a marsi kúpokkal és paterákkal. A marsi vulkántípusok sávjainál viszont a kúpok és a pajzsok közt egy jókora, kb. 5000 méteres rés tátong, amely talán egy kritikus magasság létét mutatja körülbelül 9-10000 méternél. Véleményem szerint ez úgy magyarázható, hogy ha a működő marsi vulkanizmus idején egy vulkán magassága elérte a kúpok legnagyobb magasságának számító 8-9000 métert, jó esély volt rá, hogy meg sem állt a növekedésben legalább 13-14000 méterig.



16. ábra A marsi és a földi vulkánok magasságának összehasonlító sávdigramja, az egyes típusok magasságainak kiterjedésével és az egyes vulkántípusok elemszámával (n)

Forrás: saját szerk.

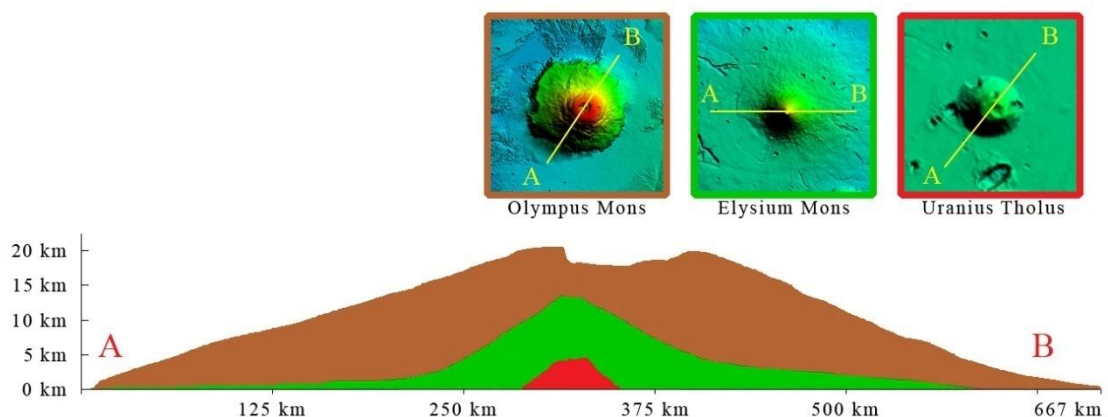
A legmagasabb tűzhányó a Marson az Olympus Mons, mely 20990 méter magas; míg a Földön a hawaii Mauna Kea a legmagasabb, a maga 9200 méteres magasságával (**17. ábra**). A keresztmetszvényen jól látható, hogy az Olympus Mons magasságban több mint kétszeresen felülmúlja Hawaii-t, talapzata körülbelül háromszor nagyobb, kalderája pedig meghaladja a Hawaii két csúcsának, a Mauna Loa-nak és a Mauna Kea-nak a távolságát, de szépen látható a két vulkán lejtőszögbeli különbsége is.



17. ábra A marsi Olympus Mons (barna) és a földi Mauna Kea (zöld) összehasonlítása, a metszet helyével, magassági torzítással.

Forrás: saját szerk.

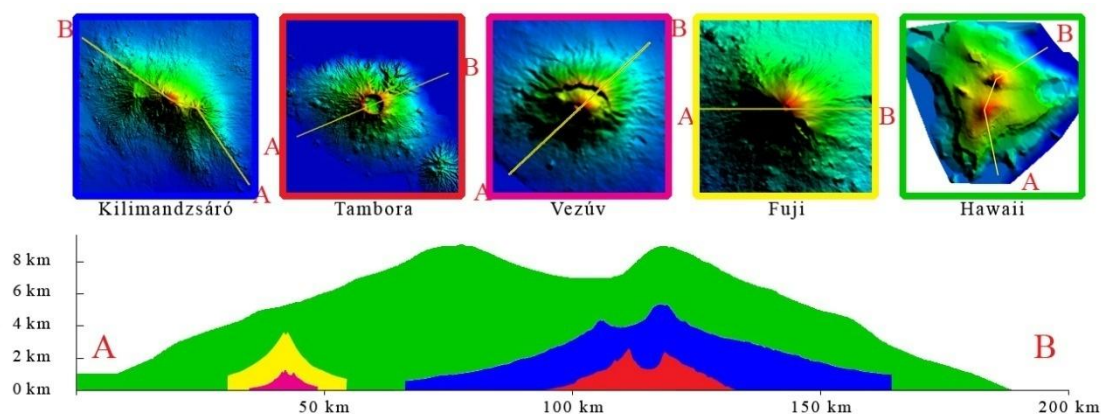
A mars vulkánjai széles magassági tartományt fednek le, az egyik legkisebb vulkáni kúp, a Uranus Tholus például csak 4850 m magas (**18. ábra**). Amíg az Olympus Mons a klasszikus pajzsvulkán megjelenési jegyeit hordozza magán, addig a zöld színben látható Elysium Mons inkább a földi rétegvulkánokra emlékeztet: nem rendelkezik kalderával, valamint felfelé hirtelen emelkedik. A vörös színnel ábrázolt Uranus Tholus pedig még meredekebb lejtésű, alacsony, de a talpzata is kicsi; csúcsa széles, lapos plató, amivel kicsit a Balaton-felvidék bazaltsapkás tanúhegyeire emlékeztet.



18. ábra Az Olympus Mons (barna), az Elysium Mons (zöld) és az Uranus Tholus (vörös) összehasonlítása, a metszet helyével, magassági torzítással.

Forrás: saját szerk.

A földi vulkánok is széles magassági tartományt fednek le, de jóval kisebb intervallumon belül, mint a Marson. Valamint elmondható, hogy mind a legnagyobb, mind a legkisebb földi tűzhányó alacsonyabb a marsi párjánál. A legkisebb vizsgált vulkán a Földön a Vezúv (1240 méter), míg a legnagyobb a hawaii Mauna Kea (9200 méter). A **19. ábrán** megfigyelhető továbbá, hogy a földi tűzhányók jóval meredekebbek a marsiaknál, valamint a Földön sok ún. összetett vulkán-t találhatunk (pl. Kilimandzsáró). Továbbá észrevehető, hogy az alacsony lejtőszögű Hawaii-pajzsvulkánnál mennyire meredekebb például a rétegvulkánok csoportjába tartozó Fuji. Mind a Marson, mind a Földön találhatunk kalderával rendelkező vulkánokat, a Marson a pajzsvulkáni-, míg a Földön a rétegvulkáni kaldera dominál.

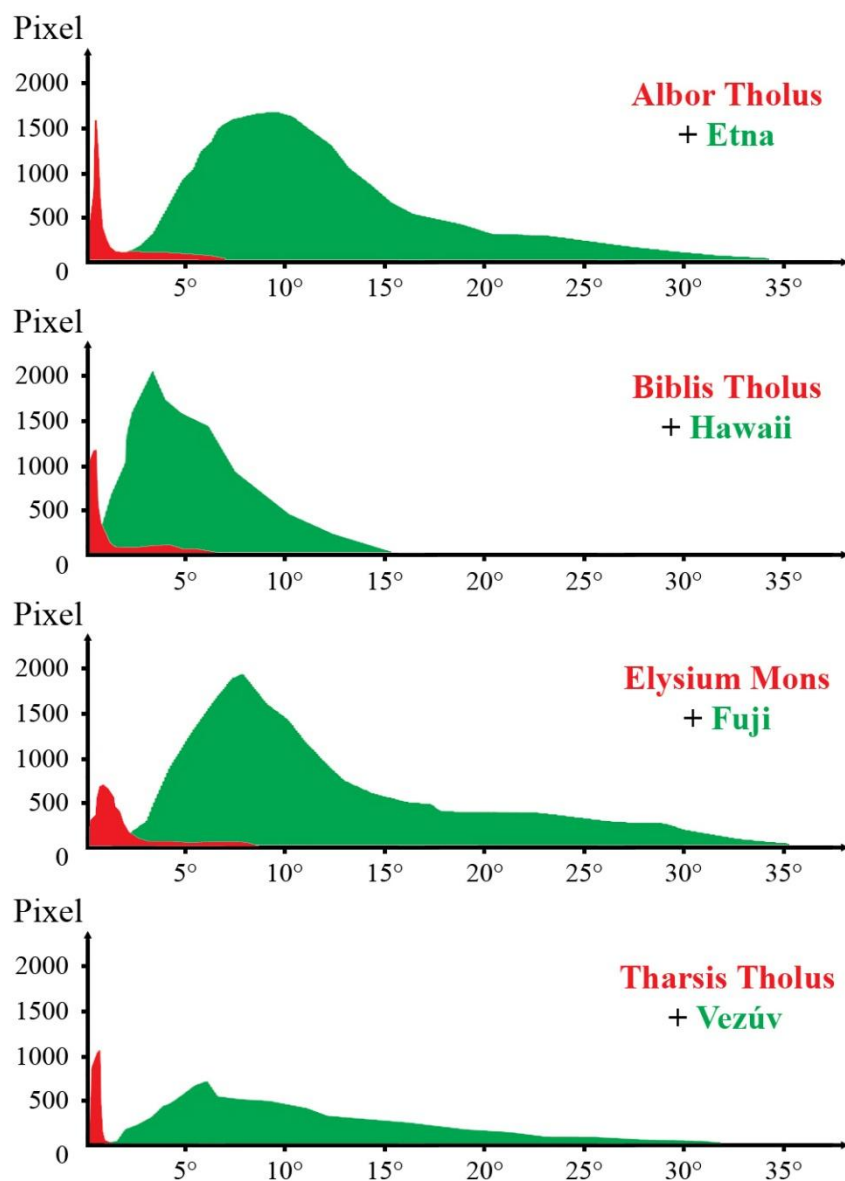


19. ábra A Hawaii (zöld), a Fuji (sárga), a Vezúv (lila), a Kilimandzsáró (kék) és a Tambora (vörös) összehasonlítása a metszet helyével, magassági torzítással.

Forrás: saját szerk.

5.3. A vizsgált vulkánok lejtőszögeinek és eloszlásuknak összehasonlítása

Lejtőszög tekintetében megállapíthatjuk, hogy a vizsgált földi vulkánok sokkal meredekebbek, mint a marsiak. Így a hisztogramjaik is már első látásra jelentősen elütnek egymástól a két planéta esetében. A Föld néhány vulkánjáról készült hisztogramon jól látható, hogy nemcsak széles szögtartományban oszlanak el a lejtőszög-értékek, hanem igen nagy gyakoriságot produkálnak; így a szögérték növekedésével a diagram csak lassan laposodik el (20. ábra).



20. ábra Néhány marsi (vörös) és földi (zöld) vulkán lejtőszögének eloszlásdiagramja.

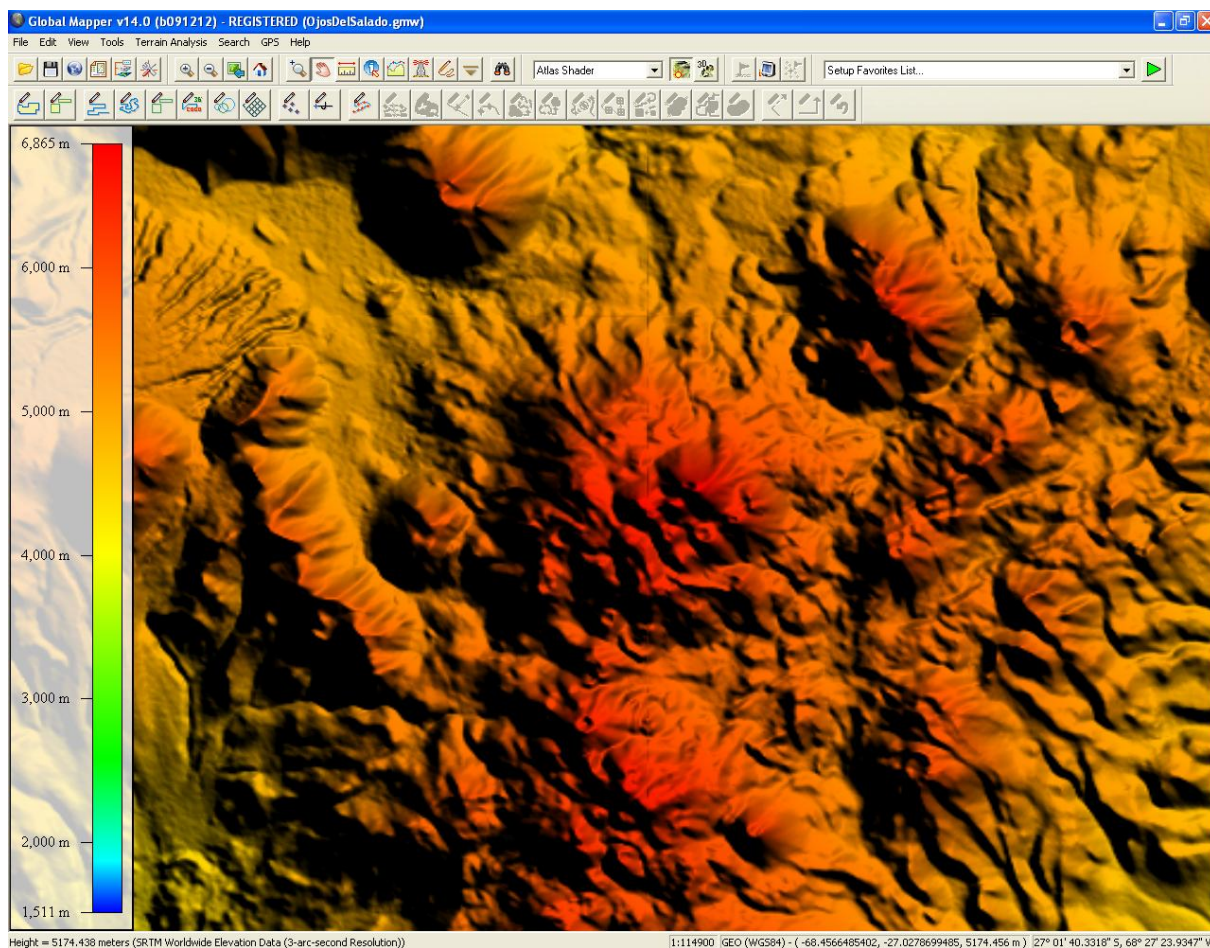
Forrás: saját szerk.

Ez azt jelenti, hogy a Föld tűzhányóinak lejtői a marsiaknál sokkal változatosabbak, inhomogénebbek, amit könnyedén visszavezethetünk a külső erőknek a marsinál sokkal intenzívebb munkavégzésére. A Mars tűzhányói viszont csak néhány fokérték esetében produkálnak nagy gyakoriságot, a lejtőszög-érték növekedésével viszont hirtelen esik le a gyakoriság a nullához közeli értékre. Ami szintén szembetűnő, hogy teljesen más szögtartományban produkálnak nagy értéket a vulkánok a két planéta esetében. Láthatjuk, hogy amíg a Föld esetében ez a szám 5 és 10 fok között alakul, addig ugyanez az érték a mars esetében 0 és 1 fok között helyezkedik el.

A Föld vulkánjainak lejtőszöge átlagosan 14.5 fokos értéket vesz fel, míg a marsi tűzhányók esetében ez az érték a földinek csupán körülbelül tizede, 1.5 fok. A két bolygó vulkánjainál a lejtőszög-értékek szórása is másképp alakul: a Marson átlagosan 1.88, míg a Földön 8.37 a szórás átlagos mértéke. Ezt úgy magyarázhatjuk, hogy míg a földi tűzhányók lejtői sok esetben igen változatosak, egyenetlenek; addig a marsi vulkánok lejtői viszonylag egyenletesek, „egyneműek”, kevés bennük az egyenetlenség.

6. Összefoglalás

Dolgozatomban sorra vehettük a Mars és a Föld vulkánjainak hasonlóságait-különbségeit, legyen szó a vulkánok magasságáról, lejtőszögéről, vagy különböző adatainak arányosságairól. Amíg a marsi vulkánoknál könnyű dolgom volt az elemzések készítésénél, addig a Föld esetében nehéz volt összeválogatni 19 olyan vulkánt; mégpedig azért, mert míg a Marson gyakorlatilag (a Meroe és Nili Patera kivételével) minden vulkán egy külön álló hegy, addig a Földön rengeteg vulkánt azért nem tudtam bevonni az elemzésbe, mert nem alkotnak külön álló egységet. Remek példa erre az Ojos del Salado vulkán (**21. ábra**), ahol nem lehetett konkrétan meghúzni a vulkán határait, mivel ezen a helyen több (kb. 8-10) vulkáni kráter található és nem lehet konkrétan elszeparálni őket egymástól.



21. ábra Az Ojos del Salado (középen) vulkánról készült SRTM-felszínmodell a Global Mapper programban
Forrás: saját szerk.

Ez a sok esetben nehéz vagy esetleg lehetetlen elválaszthatóság viszont, amellettt hogy sok nehézséget okozott; maga is egy lényeges különbség lett a két bolygó vulkáni alakzatai között: míg a Marson a tűzhányók magányos hegyekként emelkednek ki, több száz, esetleg több ezer kilométerre egymástól; addig a Földi vulkánok közt nehéz ilyet találni, többségük inkább csoportokban helyezkedik el, vagy közép-, magashegységi tájba vannak beékelődve. Ezt magyarázhatjuk a lemeztektonikával és folyamatos hegységképződéssel.

Összegzésként az mondható el, hogy a Föld és a Mars vulkanizmusa igen hasonló jellegű, viszont vannak olyan apró különbségek a két bolygó között, amik miatt a vulkánok némileg eltérőek. Ami feltétlen elsőbbséget érdemel a felsorolásban az, hogy a Földön ma is aktív vulkanizmus található, míg a Marson a vulkáni tevékenység néhány tízmillió éve megszűnt. A vulkanizmus legfiatalabb nyoma egy, az Arsia Mons lejtőjén található lávafolyás, mely körülbelül 10 millió éves (Kereszturi, 2012) Ennek legfőbb oka a két bolygó eltérő mérete, így belső hőtartaléka; a Mars tömegegységére nagyobb felület jut, így gyorsabban hűlt, mint a Föld (Kereszturi, 2012). A vulkáni területek eltérő jellegű eloszlásának fő oka a lemeztektonika megléte vagy épp hiánya. A Földön tapasztalható aktív felszínformálódás, hegységképződés és vulkanizmus fő mozgatórugója a lemeztektonika. A Marson viszont a tudomány mai állása szerint nem létezik aktív lemezkéreg (bár a Valles Marineris, a legmélyebb ismert kanyonrendszer minden bizonnyal egy kezdődő, de félbeszakadt lemeztektonikáról tanúskodik) (Sik, 2005), mivel a kéreg sokkal vastagabb (20-80 km), ridegebb és a belső hőforrások is kisebbek (Kereszturi, 2012). Továbbá véleményem szerint a nagy tömegű, jelentős perturbációt okozó hold hiánya is szerepet játszik abban, hogy a Marson nincs működő lemeztektonika.

A Marson található vulkánok méreteikben sokszorosán felülmúlják földi párjaikat, ez több okra vezethető vissza. Egyrészt, a marsi gravitáció a földinél 2.6-szor gyengébb, így egy adott tömegű vulkán a Marson kisebb súlyú, mint a Földön (Kereszturi, 2012). Másrészt, a vastagabb marsi kéreg sokkal nagyobb vulkánokat is képes megtartani, mint a sokkal vékonyabb földi (Kereszturi, 2012). Harmadrészt pedig, mivel a Marson nincs lemeztektonika, a vulkáni felépítmények nem vándoroltak el a forró foltok felől, így ez a tényező is csak segítette a nagyméretű vulkánok létrejöttét (Kereszturi, 2012). Tehát a planetológiai értelemben kis különbségek a vulkanizmusban a két bolygó némileg eltérő paramétereire és genetikájára vezethetők vissza.

Dolgozatomban több továbbfejlesztési irányt is kijelöltem, ezek közé tartozik legelőször az, hogy sokkal több földi vulkánt vonok be az analízisbe, ezen kívül a földi vulkánokat is több csoportra osztom fel, típusuk szerint. Ezen kívül még több paraméter szerint szeretném kielemezni az egyes vulkánokat, például minimum lejtőszög, maximum lejtőszög; valamint az abszolút magasság mellett a vulkáni formák relatív magasságát is szeretném mérni. Be szeretném vonni az analízisbe a mindkét bolygón megtalálható egyes vulkáni mikroformákat is, mint például a marsi pszeudokrátéereket. Végezetül a méréseket szeretném újból, nagyobb pontossággal és nagyobb szoftveres palettával elvégezni, erre az ArcGIS 10.1-et találok megfelelőnek, mivel a MOLA speciális, NASA-formátumú IMG-fájljainak beolvasására az ArcGIS 9.3 nem volt megfelelően képes.

7. Irodalomjegyzék

Kereszturi Á. (2012) *Mars - fehér könyv a vörös bolygóról*. 9-10, 19-30. Magyar Csillagászati Egyesület; ISBN 9789638759757

Gábris Gyula (2013) *Általános természetföldrajz II.* 55, 72-74. ELTE Eötvös Kiadó; ISBN 9789633120637

Sik András (2005) *SUPERNOVA a Marson*. 101-102. Akadémiai Kiadó, Budapest; ISBN 9789630582865

Gábris Gyula – Marik Miklós – Szabó József (1988) *Csillagászati földrajz*. 181-183. Nemzeti Tankönyvkiadó; ISBN 9631954781

Peter Francis (1988) *A bolygók*. 233. Gondolat Kiadó; ISBN 9632818725

Greeley R. – Spudis P. D. (1981): Volcanism on Mars. *Reviews of Geophysics*. 19(1), 13-41.

Lóki József (1996) *Távérzékelés*. 11, 16. Kossuth Lajos Tudományegyetem Kiadó

Horvai Ferenc (2003): Irány a Mars! *Meteor* 33(7-8.) 31-39. Magyar Csillagászati Egyesület HU ISSN 0133249X

Hollósy Tibor (2003): A vizuális Mars-megfigyelés történetéből *Meteor* 33(7-8.) 17-24. Magyar Csillagászati Egyesület HU ISSN 0133249X

ELTE – Sik A.(2011): *Keringőegység-adatok térinformatikai integrálása a Mars jeges lejtőformáinak vizsgálatához*. (Doktori dolgozat) 7, 12.

ELTE – Deák M.(2011): *Barlangok a Marson – Az Arsia-hegy térségének lávabarlangjai*. (Diplomamunka) 9.

Internet-es források:

Internet1 - <http://tudasbazis.csillagaszat.hu/apro-egitestek/pluto-kuiper-objektumok.html>
letöltve: 2014. április 14.

Internet2 - <http://planetologia.elte.hu/emars.pdf>
letöltve: 2014. február 03.

Internet3 - <http://planetologia.elte.hu/leirasok.pdf>
letöltve: 2014. március 01.

Internet4 - <http://tudasbazis.csillagaszat.hu/csillagaszattortenet/okori-gorog-csillagaszat.html>
letöltve: 2014. április 14.

Internet5 - <http://www.jstor.org/stable/1767264>

letöltve: 2014. április 14.

Internet6 - <http://www.jstor.org/stable/40671155>

letöltve: 2014. április 14.

Internet7 - <http://planetologia.elte.hu/ipcd/marstwinanals.jpg>

letöltve: 2014. január 22.

Internet8 -

http://volcano.oregonstate.edu/oldroot/volcanoes/planet_volcano/mars/Mars_Map.gif

letöltve: 2014. március 01.

Internet9 - http://planetologia.elte.hu/ipcd/mars_mola_nagy.jpg

letöltve: 2014. január 22.

Internet10 - <http://gothos.info/wp-content/uploads/2011/04/robinson.png>

letöltve: 2014. február 04.

Internet11 - <http://www.awesomestories.com/images/user/324420d4d6.png>

letöltve: 2014. április 14.

Internet12

- http://pds-geosciences.wustl.edu/missions/mgs/megdr.html?DATA_SET_ID=MGS-M-MOLA-5-MEGDR-L3-V1.0

letöltve: 2013. szeptember 02.

Internet13 - <http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/world.html>

letöltve: 2014. április 08.

Internet14 - <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm>

letöltve: 2014. január 21.

Internet15 - <http://mars.jpl.nasa.gov/odyssey/odyssey/mgs/overview/>

letöltve: 2014. február 14.

Internet16

- http://solarsystem.nasa.gov/missions/profile.cfm?Sort=Advanced&MCode=Mars_1&Display=ReadMore

letöltve: 2014. április 14.

Internet17

- http://solarsystem.nasa.gov/missions/profile.cfm?Sort=Advanced&MCode=Mariner_04

letöltve: 2014. április 14.

Internet18

- http://www.urvilag.hu/ureszkozok_a_marsnal_1960_2000/20031226_a_mars_meghoiditasa_3_resz_1969_es_1971_kilenc_urszonda

letöltve: 2014. április 14.

- Internet19 -
http://solarsystem.nasa.gov/missions/profile.cfm?Sort=Advanced&MCode=Mars_02&Display=ReadMore
letöltve: 2014. április 14.
- Internet20 -
http://solarsystem.nasa.gov/missions/profile.cfm?Sort=Advanced&MCode=Mars_03&Display=ReadMore
letöltve: 2014. április 14.
- Internet21 -
<http://solarsystem.nasa.gov/missions/profile.cfm?Sort=Advanced&MCode=Odyssey&Display=ReadMore>
letöltve: 2014. április 14.
- Internet22 - <http://solarsystem.nasa.gov/missions/profile.cfm?Sort=Advanced&MCode=MER>
letöltve: 2014. április 14.
- Internet23 -
<http://solarsystem.nasa.gov/missions/profile.cfm?Sort=Advanced&MCode=MER&Display=ReadMore>
letöltve: 2014. április 14.
- Internet24 - <http://mars.jpl.nasa.gov/mro/mission/overview/>
letöltve: 2013. december 27.
- Internet25 - <http://mars.jpl.nasa.gov/mro/mission/instruments/hirise/>
letöltve: 2013. december 27.
- Internet26 -
<http://solarsystem.nasa.gov/missions/profile.cfm?Sort=Advanced&MCode=MarsSciLab&Display=ReadMore>
letöltve: 2014. április 14.
- Internet27 -
<http://solarsystem.nasa.gov/missions/profile.cfm?Sort=Advanced&MCode=MarsSciLab>
letöltve: 2014. április 14.
- Internet 28 - <http://mola.gsfc.nasa.gov/discoveries.html>
letöltve: 2014. április 14.
- Internet29 - <http://mola.gsfc.nasa.gov/about.html>
letöltve: 2014. április 26.