



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ	
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ	
ПРИМЕНО:	5 - 07. 2010
ОРГАН ВРЕД	БРОЈ
0603	5 / 897

Eolski oblici reljefa na Marsu - *diplomski rad*-

Mentor:
Dr Slobodan Marković

Kandidat:
Ivana Mezei

Novi Sad, 2010.

Sadržaj:

Uvod	2
1.Osnovni podaci o Marsu.....	3
1.1 Mars kroz vekove.....	3
1.2 Geološki razvoj Marsa	5
1.3 Orbita i rotacija Marsa	6
1.4 Gustina i masa Marsa.....	7
1.5 Struktura Marsa.....	8
1.6 Atmosfera, temperatura i pritisak	10
2. Oblici reljefa na Marsu.....	13
2.1 Krateri i polarne kape.....	14
2.2. Kanali.....	17
2.3. Vulkani.....	19
3. Eolski oblici reljefa na Zemlji	21
3.1. Erozivni oblici eolskog reljefa	21
3.2 Akumulativni oblici eolskog reljefa.....	22
4. Eolski oblici reljefa na Marsu	26
4.1 Upoređenje barhana pustinje Namib sa Marsom	30
Pustinja Namib.....	31
Mars	32
4.1.1. Vrste barkanskih formi	33
Klasični simetrični barhani: debeli i masivni.....	34
Klasični simetrični barhani: megabarhani i vrlo veliki barhani	35
Klasični simetrični barhani: proto megabarhani	37
Barhanske dine koje se razvijaju u transverzalne dine	37
Prelazak barhana u linearne dine	38
Zaključak	41
Literatura	42
Kratka biografija	43
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	44



Uvod

Živimo u malom delu svemira, naše susedstvo čine nama najbliže planete. Koliko su nam one slične po svojim fizičkim i hemijskim karakteristikama? Čovečanstvu je većitu pažnju budila crvena planeta, Mars. Po svojim karakteristikama je vrlo slična Zemlji, čak i više no što se može zamisliti. Zato i ne čudi činjenica da je Mars jedna od najistraženijih planeta u današnje vreme. Oduvek je budio maštū ljudi o raznim letovima, mogućnosti života ljudi na toj planeti ili eventualnim malim zelenim-Marsovcima. No, ipak to bi bio deo za neku naučnofantastičnu knjigu, a u ovom radu biće više reći o geomorfološkim sličnostima Zemlje i Marsa.

Ideja o postojanju vetra na Marsu i nije zapravo nova. Eolske aktivnosti na Marsu su prvi put spomenute 1909. godine od strane E. M. Antoniadija, do tada se niko nije bavio ovom tematikom. Kada je Mars bio najbliži Suncu, Antonijadi je primetio žute oblake što je predstavljalo nepobitnu činjenicu da postoji aktivnost vetra. Tek kada je Mariner 9 ušao u orbitu Marsa, 1971. godine, moglo se jasno potvrditi da postoji aktivnost vetra zbog oluje koja je sprečila letelicu da načini slike površine ove ineteresantne planete.

Veliki je broj globalnih faktora koji utiču na stvaranje površinskih oblika planete počev od mase, udaljenosti od Sunca, hemijskih karakteristika, atmosfere, površinske temperature i gravitacije. Na površini Marsa postoje mnoge vrste različitih tvorevina koje su nastale vulkasnom, tektonskom i eolskom aktivnošću. Međutim, iako na Zemlji manje primetan na Marsu su najjači morfološki agensi eolski procesi. Eolski procesi po intenzitetu i dimenzijama oblika eolskog reljefa premašuju sve ono što je viđeno na Zemlji. U ovom radu biće više reći upravo o tim agensima koji su Mars oblikovali i od njega stvorili veličanstvenu površinu prepunu dolina, kanjona, dina, barhana...

1.Osnovni podaci o Marsu

1.1 Mars kroz vekove

Vekovima je Mars privlačio pažnju praistorijskih civilizacija zbog svoje specifične crvene boje, za koju danas znamo da potiče od oksida gvožđa, i zbog svog sjaja. Zapise o Marsu nalazimo još u drevnoj Kini, Asiriji, Egiptu i drugim državama. U drugom milenijumu pre nove ere Vavilonci već znaju za neobično kretanje Marsa. Dali su mu ime po svom bogu kuge i smrti zvanom Nergal. U Hindu mitologiji Mars je poznat pod imenom Mangala a kod drevnih Turaka nosio je naziv Sakit. Stare Helene je boja Marsa asocirala na proteklu krv tokom ratovanja pa je dobio naziv po bogu rata Aresu. Današnji naziv ove planete potiče od rimljana, koji su preuzeli skoro celokupnu grčku mitologiju, pa se i kod njih daje ime po bogu rata. Naime, Mars je bio Bog rata kojeg su rimljeni veoma obožavali, bio je sin Jupitera i Junone, a prema legendi i otac Romula i Rema koji su osnovali Rim. S obzirom da su rimljeni verovali da je Bog Mars pomogao Rimu da postane najveća sila na svetu, nije ni čudo što su statuu Marsa držali u Pantheonu i smatrali ga ocem čitavog rimskog carstva.



Slika 1. Mars

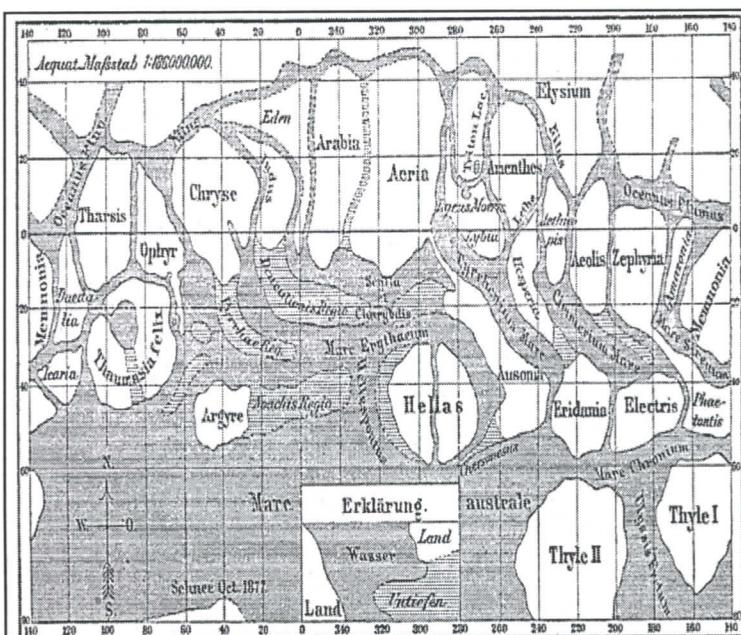
Izvor: www.meridiangraphics.net

Prva bitnija proučavanja Marsa došla su sa buđenjem filozofskih ideja u Grčkoj. Čuveni mislilac Aristotel je 300 god.pre nove ere posmatrao oklutanaciju Marsa Mesecom. Na taj način je zaključio da se Mars nalazi dalje od Meseca. Objavljinjem čuvene knjige Ptolomeja – Almagest (oko 130 god), objašnjena su kretanja svih do tada poznatih planeta, pomoću ekvanta i epicikla. Zanimljivo retrogradno kretanje Ptolomej je uspeo da objasni upravo ovom terijom epiciklova. Zatim je Tiho Brahe, čuveni danski astronom, odredio poziciju Marsa na noćnom nebu. Sva ta otkrića su urađena golim okom , sve dok Galileo Galilej nije 1609 god. konstruisao prvi teleskop. On je posmatrao oko 1610 god. faze Marsa. Marsove faze posmatrao je i Franciscus Fontana oko 1638 god. Kristijan Hajgens je nacrtao ono što je smatrao da su oblici reljefa. Ta posmatranja su pokazala da je Mars planeta slična Zemlji i zbog toga možda može biti naseljena Marsovima. Sa svojim nećakom Kasirijem proučavali su Mars od 1672. god. Mislili su da vide oblake na Marsu kao i površinske strukture reljefa, kao i polarane kape. Vilijam Heršl i njegova sestra Karolina su takođe primetili polarne kape Marsa kada su posmatrali ovu planetu između 1777-1784. god. Ledene kape indicirale su postojanje vode na Marsu, oblaci su

nacrtao ono što je smatrao da su oblici reljefa. Ta posmatranja su pokazala da je Mars planeta slična Zemlji i zbog toga možda može biti naseljena Marsovima. Sa svojim nećakom Kasirijem proučavali su Mars od 1672. god. Mislili su da vide oblake na Marsu kao i površinske strukture reljefa, kao i polarane kape. Vilijam Heršl i njegova sestra Karolina su takođe primetili polarne kape Marsa kada su posmatrali ovu planetu između 1777-1784. god. Ledene kape indicirale su postojanje vode na Marsu, oblaci su

pokazivali da postoji atmosfera, obe stvari su ukazivale na to da Mars može biti naseljen. Heršl je takođe otkrio inklinaciju Marsa, približno 24 stepena.

Prve topografske mape načinili su Madler i Beer 1830. Prvi su odredili ono što je danas Sinus Meridiani Martis. Narednih dvadesetak godina porasla su posmatranja Marsa i počela su da se dodeljuju imena raznim oblicima na Marsu. Na primer Solis Lacus, Syrtis Major... Međutim ovi nazivi koji se danas koriste potiču od Schiaparelli-ja. On je video linije koje se protežu duž Marsa, te linije je nazvao kanali. 1877 Skjapareli je objavio prvu detaljniju kartu Marsa.



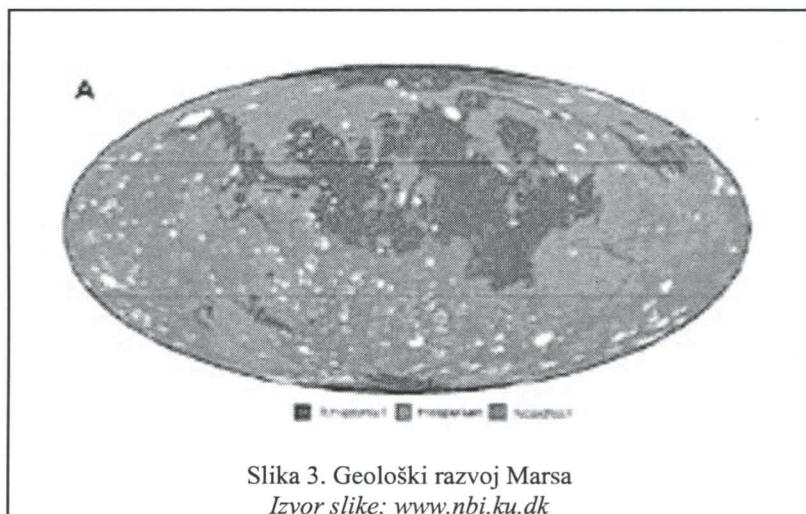
Slika 2. Mapa Marsa, Skjapareli
Izvor: en.wikipedia.org

U isto vreme su i primećeni sateliti Marsa, Asaf Hal je otkrio Fobos i Dejmos. Oba satelita su nepravilnog oblika i imaju veliki broj udarnih kratera.

Današnje karte su zasnovane na podacima koje su sakupile svemirske letelice poput Marsovog globalnog istraživača, koji je poslao 100 000 snimaka Marsa i detaljnije je istražio planetu i Mars ekspreza koji snima čitavu površinu Marsa.

1.2 Geološki razvoj Marsa

Od 1996. godine tri letelice su sletele na površinu Marsa a četiri su smeštene u njegovoj orbiti. Te letelice su poslale gomilu značajnih podataka o ovoj iznenadjuće misterioznoj planeti. Uz pomoć obilja podataka naučnici su uspeli da shvate da se Mars menjao i imao svoj geološki razvoj poput naše Zemlje. Evolucija Marsa se može geološki podeliti u tri razdoblja Noachian, Hesperian, i Amazonian. Razdoblja su dobila ime po oblastima na Marsu koje su bile formirane u tim vremenskim periodima. Vremenska skala perioda je zasnovana na studijama o učestanosti udarnih kratera na površini Marsa. Zasniva se na argumentima da starije periode imaju više udarnih kratera. Međutim, još uvek se vodi debata o dužini perioda tako da se godine moraju uzeti aproksimativno. Na slici su prikazane periode Marsa- Noachian narandžasta boja, Hesperian zelena boja i Amazonian plava boja.

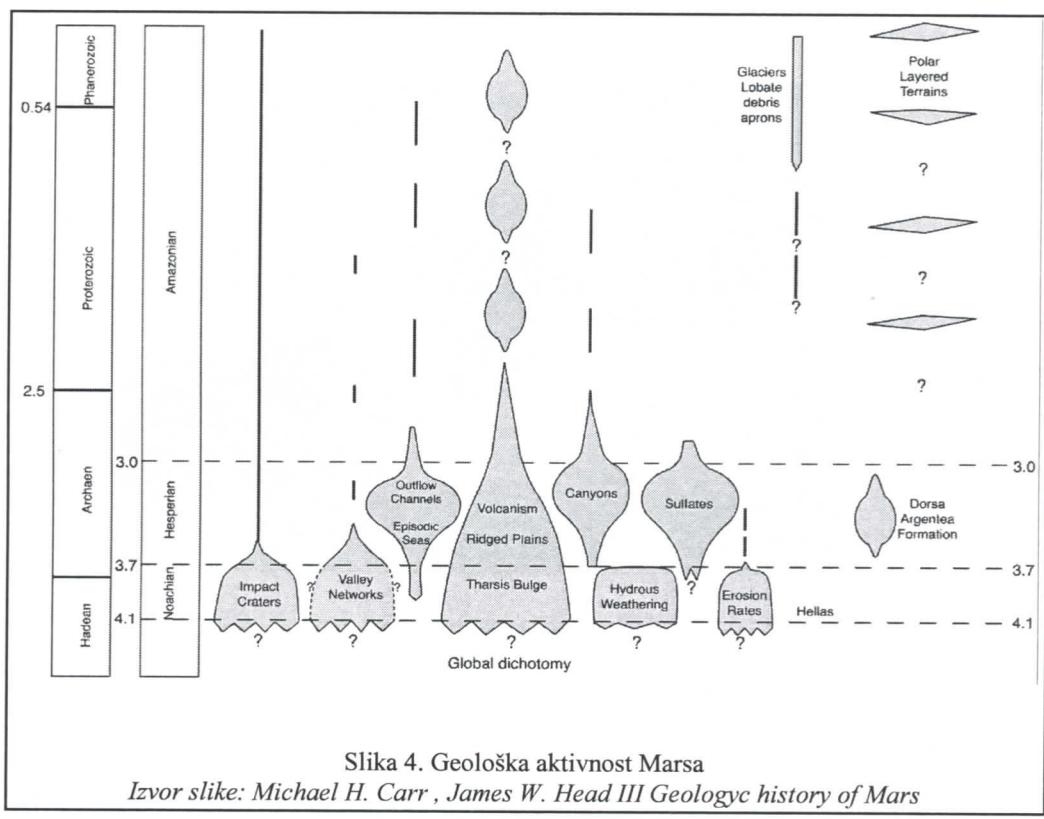


Period Noahian je najstariji period, trajao je od rođenja Marsa, 4.5 milijardi godina pa sve do 3.7 milijardi godina. Ovu eru karakteriše vrlo veliki broj kratera, pozamašan broj udarnih basena, vulkanska aktivnost i formacija mreža najstarijih dolina. Gustina vidljivih kratera koji imaju u prečniku 100 km je aproksimativno $2 \times 10^{-6} \text{ km}^{-2}$. Većina vulkanskih oblasti je u ovom razdoblju smeštena u Tarzisu, gde se vulkani protežu duž 5000 km a visine i do 9 km. Geološke tvorevine u ovoj oblasti kao što su osušene rečne doline i delte reka ukazuju na to da je klima bila znatno toplija. Da bi takva klima mogla da postoji atmosfera je sigurno bila tanja nego danas.

Period Hesperian trajao je od oko 3.7 milijardi godina do odrike 3 milijardi godina. Tokom tog vremenskog perioda klima Marsa je postala suvlja. Voda koja je eventualno tekla Marsovom površinom tokom perioda Noahian, se smrzla. Najbitnija

karakteristika ovog perioda su vulkani koji su izbacivali lavu i stvarali ravnice lave. Još jedna zanimljiva karakteristika ovog perioda su kanali, koji su se formirali tokom kasnog Hesperiana. U vreme ove epohe formirana je Dolina Marinera.

Period Amazonian počeo je pre 3 milijardi godina i traje do današnjeg dana, obuhvata 2/3 Marsove istorije. Uprkos dugom periodu koji obuhvata ova era, geomorfološke promene površine zasnovane su na osnovnim procesima impaktnih kratera, tektonike i vulkanizma koji su umogome skromniji od predhodna dva perioda. Olimpus Mons napoznatiji vulkan Sunčevog sistema je formiran u ovom razdoblju.



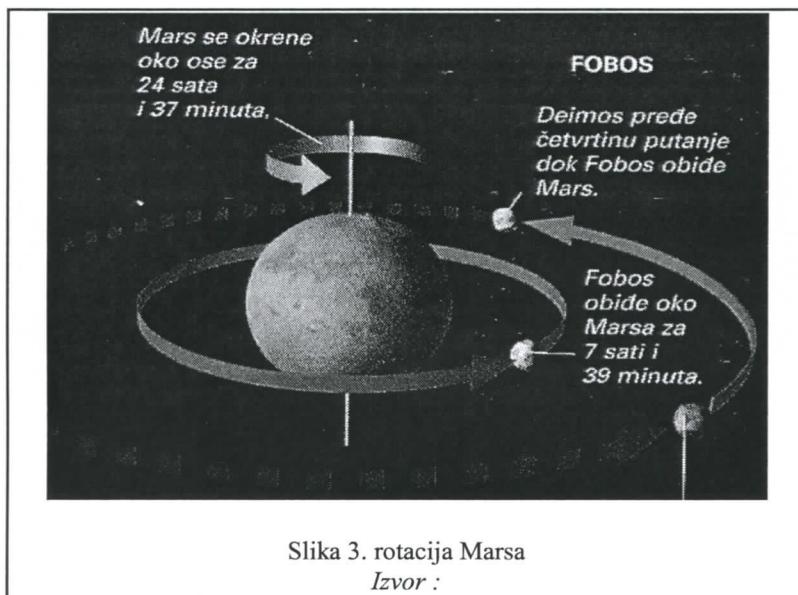
Slika 4. Geološka aktivnost Marsa

Izvor slike: Michael H. Carr, James W. Head III *Geologic history of Mars*

1.3 Orbita i rotacija Marsa

Mars je četvrta planeta od Sunca i po svojim karakteristikama vrlo je slična Zemlji. Kreće se po eliptičnoj putanji oko Sunca. Ta putanja ima relativno velik ekcentricitet (0.00934) pa odstojanje od Marsa do Sunca poprlično varira, od 206.6 miliona kilometara do 249.2 miliona kilometara. Put oko Sunca Mars pređe za nekih 687 naših, zemaljskih dana i to je dužina Marsove godine. Razdaljina između Marsa i Zemlje zavisi od pozicije planeta na njihovim orbitama, ona može biti od 54,500,000 kilometara do 401,300,000

kilometara. Poput Zemlje, Mars rotira od zapada ka istoku za 24,6229 sati i to je, dakle, jedan Marsov dan. Marsov dan se inače zove *sol*. Ovaj dan je jedva nešto duži od našeg zemaljskog dana koji traje 23,9345 sati. Marsova kugla je naklonjena na jednu stranu u odnosu na ravan orbite. Zbog ovog naklona kod Marsa on iznosi $24,935^\circ$, na planeti postoje različita godišnja doba. Ima jedna zanimljiva stvar sa godišnjim dobima na Marsu. Zbog relativno velikog ekscentriteta orbite godišnja doba na Marsu su sasvim nejednakih dužina. Tako na severnoj polulopti proleće traje 194, a jesen tek 142 Marsova dana. Na jugu opet proleće traje svega 142 dana itd. Južna leta su kratka i topla, a severna duga i hladna. Osa rotiranja Marsa usmerena je ka maloj zvezdi SAO 33185 šeste veličine u blizini sjajnog Deneba. Ta zvezda je Marsova severnjača. Pod uticajem ostalih tela u Sunčevom sistemu Marsova osa rotiranja ne miruje, već pravi krug po nebu pa se tako menja i Marsova severnjača. Taj krug osa napravi za 97 000 godina.



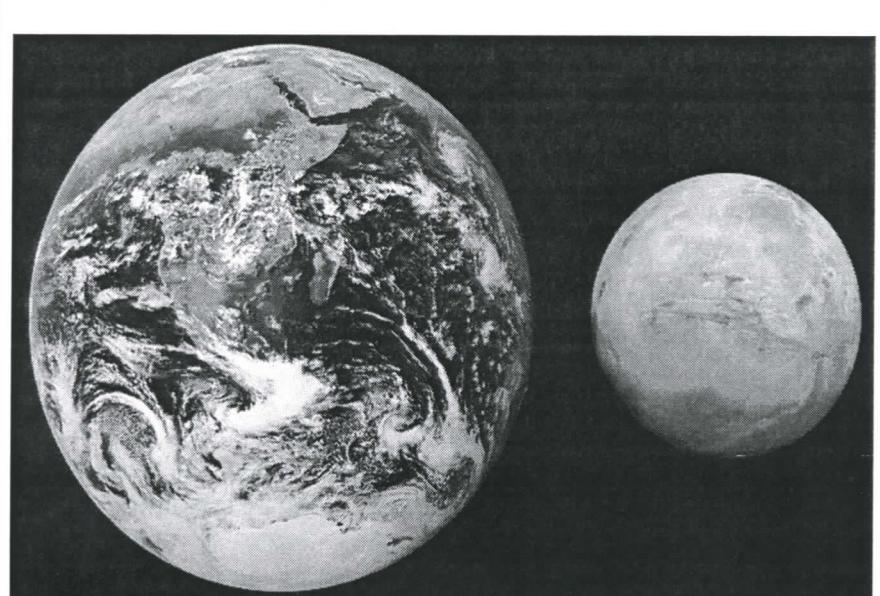
Slika 3. rotacija Marsa

Izvor :

1.4 Gustina i masa Marsa

Mars je mala planeta. Njegov prečnik 6794 km je skoro duplo manji od prečnika naše planete. Gledano iz daljine on izgleda kao savršena bilijarska kugla, međutim precizna merenja su pokazala da je ta kugla na polovima malo spljoštena pa je njen ekvatorski prečnik za 44 kilometara veći od polarnog. Zapravo postoje dva jasna ispupčenja na njemu. To su vulkanski predeli Tharsis i nešto manji na suprotnoj strani Elysium. Geometrijski centar Marsa je pomeren za 2,5 kilometara ka jugu u odnosu na centar mase. Kod Marsa pada u oči da je tvorcu, već ponestajalo teškog materijala kad je gradio ovu planetu. Srednja gustina planeta Sunčevog sistema počevši od Marsa definitivno opada. Dok prve tri planete (Merkur, Venera i Zemlja) imaju srednju gustinu

od preko 5 g/cm^3 , srednja gustina Marsa je svega $3,93 \text{ g/cm}^3$. Jasno je da telo male srednje gustine i male zapremine ima i malu masu. Masa Marsa je skoro deset puta manja od mase Zemlje. Shodno tome i gravitacija Marsa je manja od gravitacije Zemlje (tri puta), a brzina koju neko telo mora da razvije ako hoće da napusti ovu planetu je $5,03 \text{ km/sec}$ (1. kosmička brzina).



Slika 4. Zemlja i Mars

Izvor: www.astronomynotes.com/solarsys/pics/marserth.

1.5 Struktura Marsa

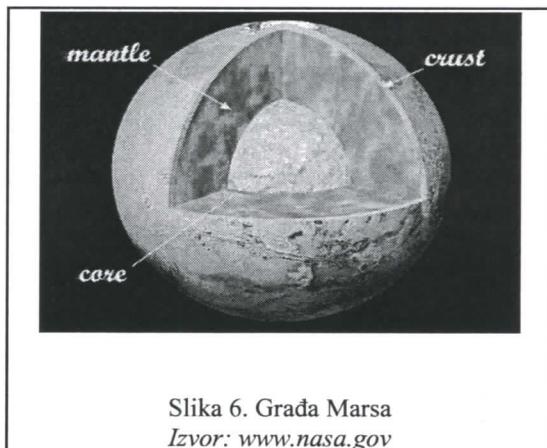
Unutrašnjost Marsa je malo poznata, ali na osnovu poznavanja nekih opštih činjenica i idući logičkim sledom zaključujemo da je ona po strukturi različita od unutrašnjosti Zemlje. Mars je građen od čvrstog materijala, ali relativno mala gustina svedoči o prilično malom metalnom jezgru. Ovo jezgro nije u tečnom stanju jer na Marsu nije detektovano neko značajnije magnetno polje. Poluprečnik jezgra je oko 1700 kilometara, a njegova gustina je između 5 i 8 g/cm^3 . Srednja gustina plašta je između $3,33$ i $3,58 \text{ g/cm}^3$ što je veće od gustine plašta Zemlje. Ovaj plašt je građen od silikatnog materijala. Kako je kora na Marsu u stanju da podnese tako ogromne formacije kao što je Tharsis ona mora da je dosta deblja od kore Zemlje i to nekih pet do šest puta, što znači da je debela oko 200 km . Hemijska priroda Marsovog tla je različita od stena Zemlje ili Meseca. Ono je slično glini ili ilovači. Pronadjeni su prirodni radioaktivni izotopi kalija, uranijuma i torijuma u tlu u proporcijama sličnim onim koje su nađene na terestričkom

tu. U površinskom materijalu su nadjene izvesne količine gvozđa, silikona, kalcijuma, aluminijuma i titanijuma.



Prve indikacije o postojanju magnetnog polja na Marsu dao je Mariner 4, 1965. god. Ta polja su verovatno ostatci primarnog, globalnog polja koje je nestalo u međuvremenu. Istraživanja ukazuju na to da kada je Mars bio 500 miliona godina star njegovo globalno polje je nestalo. Do nestanka magnetnog polja je došlo zbog, kako naučnici misle, udarca asteroida u planetu.

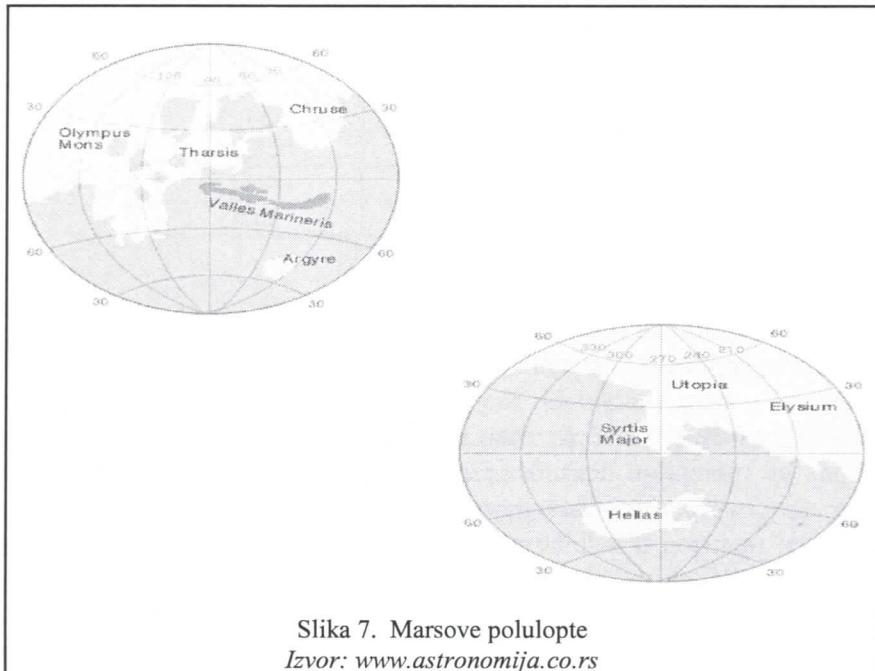
Mars izgleda kao da je sastavljen od dve različite polulopte. Južna (zauzima dve trećine planete) je nešto viša od srednjeg topografskog nivoa, za kilometar ili dva, obiluje kraterima iz najranije istorije Marsa i donekle podseća na Mesečeve visoravni. Severna trećina Marsa je opet nešto ispod srednjeg nivoa, ima manje kratera i njena površina je mlađa. Tu se pružaju blage i prostrane ravnice, nastale verovatno dejstvom erozije i poplava lave. S druge strane ovde su smeštene velike i visoke vulkanske visoravni. Otkud potiču ove razlike izmedju dve Marsove polulopte još uvek je misterija. Može biti da su u kreiranju ovakvog reljefa glavnu ulogu odigrali udari velikih asteroida u davnoj prošlosti. Ili su u pitanju neke unutrašnje aktivnosti u periodu formiranja Marsove kore. Granica između ovih oblasti nagnuta je u odnosu na ekvator za nekih 30 stepeni. Granica je široka i strma. Krateri južne hemisfere su stari tri do četiri milijardi godina. Ima ih nekoliko karakterističnih tipova: velikih sa ravnim dnom, malih dobro očuvanih sa naglašenim peharom, zatim tu su krateri sa jakim i širokim bedemima, te krateri na čiji izgled je uticala erozija vetrova. Najveći prepoznatljiv udarni krater je Hellas basen koji ima oko 1600 km u prečniku. Tu je i neobična mreža malih dolina koje nalikuju na naše, zemaljske drenažne sisteme, zatim išarani ispreturni tereni, ponekad zatrpani erozivnim dejstvom, predeli potopljeni vulkanskom lavom. Najupadljiviji predeo je sigurno ogromna pukotina Valles Marineris koja se čini kao da je nešto veliko i moćno ogromnom kandžom zagrebalo planetu. Oko



Slika 6. Građa Marsa
Izvor: www.nasa.gov

4500 km je dugačka, blizu 600 km široka i 7 do 10 km duboka. Na severnoj polulopti padaju u oči dve velike oblasti ogromnih vulkana: Tharsis i Elysium.

Tharsis je široka vulkanska zaravan veličine nekih 4000 kilometara koja se diže do 10 kilometara iznad srednjeg površinskog nivoa. Manjim svojim delom zahvata i južnu polovinu Marsa. Nešto dalje je i Elysium, zaravan visine oko šest kilometara sa tri manja vulkana: Hecates Tholus, Elysium Mons i Albor Tholus.



1.6 Atmosfera, temperatura i pritisak

U odnosu na Zemlju Mars ima vrlo retku atmosferu. Njen pritisak na površini je oko 6 milibara (0.6 % atmosferskog pritiska na Zemlji). Merenja koje je uradio Viking 1976. god. ukazivala su na to da se atmosfera mahom sastoji od ugljen-dioskida 95.3 % i ima ružičastu boju sitnih čestica oksida gvožđa. Pored ugljen-dioksida atmosferu čine i azot 2.7 %, argon 1.6 % i ostali gasovi 0.4 %. Na Marsovoj atmosferi vrlo slabo je zastupljen efekat staklene bašte, koji je sposoban da podigne temperaturu na površini za samo 5 C. Najnovija istraživanja (iz 2004. god) ukazuju na to da na Marsu postoji metan (oko desetog dela u milijardi). Uzrok za postojanje metana nije sa sigurošću utvrđen, jedna od teorija je vulkanska aktivnost a druga je da metan potiče od bakterija. Kako bilo, metan nije raspoređen uniformno po čitavoj planeti. Pored ovog gasa nađen je i amonijak, iste te godine. Neki naučnici veruju da amonijak ukazuje da je postojao život na Marsu.

Tabela 1. Sastav atmosfere Marsa

Element	Hemski simbol	Procenat [%]
Ugljen dioksid	CO ₂	95.32
Azot	N ₂	2.7
Argon	Ar	1.6
Kiseonik	O ₂	0.13
Ugljen monoskid	CO	0.07
Voda	H ₂ O	0.03
Neon	Ne	0.00025
Kripton	Kr	0.00003
Ksenon	Xe	0.000008
Ozon	O ₃	0.000003

Iako je Marsova atmosfera mnogo tanja u odnosu na zemljinu, dovoljne je gustine da ima slične dinamičke oblike koji se mogu videti i u zemljinoj atmosferi, kao što su oblaci i cikloni. Na Zemlji, oblaci su sačinjeni od vodene pare u vazduhu a na Marsu oblaci predstavljaju kondenzaciju ili vodene pare, ili češće, pare karbon-dioksida. Iznad polarnih regiona pretpostavlja se da su oblaci sačinjeni uglavnom od karbon-dioksida, a približavanjem ka ekuatoru oblaci su većinom sačinjeni od vodene pare zbog viših temperatura. Na slici je prikazan beli oblak u sredini a u gornjem levom uglu je veliki vihor, i to je marsovski ciklon sličan uraganu na Zemlji. Inače, cikloni mogu biti i do 600 km u prečniku. Naučnici su zaključili da se cikloni mogu protezati od 6-7 km iznad površine, a kovitlac se kreće u suprotnom smeru kretanja kazaljke na časovniku. Atmosferska dinamika je vezana za Koriolisovu silu, koje je zastupljena kao i na Zemlji zbog brze rotacije Marsa.

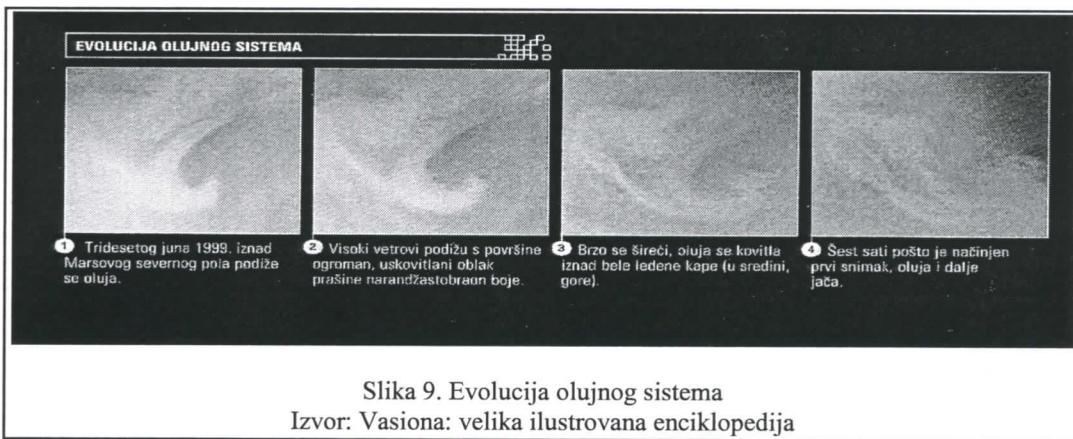
Pored oblaka, još jedan zanimljiv dinamički oblik u Marsovoj atmosferi jesu oluje prašine. Smatra se da svake godine nastaju oluje prašine, započinju na južnoj hemisferi tokom leta. Tokom proleća mnoge lokalne oluje mogu se videti u oblastima gde se razvijaju jaki vetrovi. Oluje prašine su nekoliko kilometara dugačke. Oluja se stvara kada se zamrznute čestice podignu iznad površine putem jakih, polarnih vetrova. Što je veća količina prašine u atmosferi u tom je veće zagrevanje atmosfere tokom dana što rezultuje povećanje temperature a time i veću temepratursku razliku između dana i noći u gornjim delovima atmosfere. Povišenje temperature i temperaturskom razlikom stvaraju se jaki vetrovi koji kupe čestice prašine i na taj način se šire duž čitave planete.



Slika 8. Marsov oblak
Izvor: www.lukew.com/marsgeo

Mars je hladna planeta. Temperature koje vladaju na Marsu su niže nego što bi se očekivalo na tom rastojanju od Sunca. Da je Zemlja na istom mestu bila bi opet toplija od Marsa. Temperatura zavisi od latitude i od doba dana. Ona se na Marsu znatno više menja nego u pustinjama Zemlje. Dnevne promene su veće blizu tla zbog velike sposobnosti tla da isijava toplotu tokom noći. Međutim za vreme peščanih oluja ova

sposobnost tla opada pa su i temperaturne razlike između dana i noći tada manje. Na visini od nekoliko kilometara dnevne razlike u temperaturi nisu toliko zavisne od tla i više zavise od ulaznih sunčevih zraka. Oscilacije u temperaturi usled dejstva Sunca su ovde pravilne, periodične i potpuno u skladu sa položajem Sunca na Marsovom nebu. Najniže teperature na Marsu javljaju se zimi na polovima: 140 K (-133° C), a najviše na dnevnoj strani u vreme leta 300 K (27° C). Prosečna temperatura inače iznosi 218 K (-55° C). Velike razlike u temperaturi na jednom mestu u toku godine (30° C) posledica su izdužene Marsove putanje. Temperatura naravno opada sa visinom. Na Marsu na svakih jeden kilometar visine temperatura opadne za oko 1,5K.

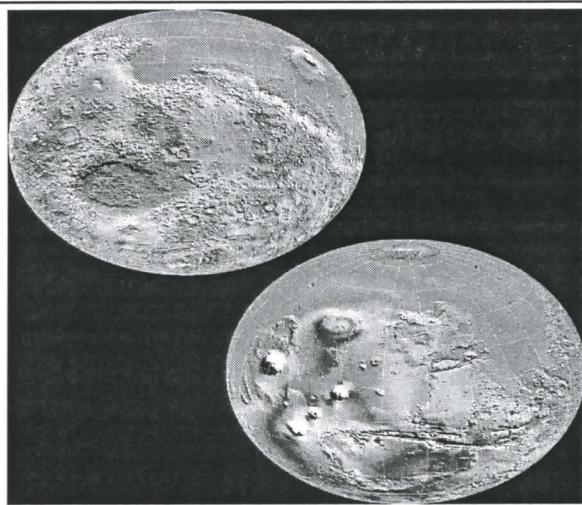


Slika 9. Evolucija olujnog sistema
Izvor: Vasiona: velika ilustrovana enciklopedija

2. Oblici reljefa na Marsu

Reljef Marsa izgrađivan je delovanjem tri osnovna morfogenetska procesa: endogenog, kosmogenog i egzogenog. Endogeni procesi izgradili su osnovne tektonske oblike reljefa kao i oblike vulkanskog reljefa. Za njihovo delovanje vezano je izgrađivanje makro reljefa planetarnog karaktera. To su uzdignute „kontinentalne“ i spuštene „okeanske“ oblasti južne, odnosno, severne Marsove polulopte. U njima su izgrađivani potonji oblici reljefa. U kontinentalnim oblastima izgrađivana su uzvišenja, kotline rovovi, raseline, vulkanske kupe i lavični potoci. U okeanskim oblastima stvarane su prostrane ravnice sa lavičnim pokrovima. Kosmogeni procesi vezani su za intenzivno i dugotrajno meteoritsko bombardovanje Marsove površine. Egzogeni procesi vezani su za delovanje eolske, fluvijalne i glacijalne erozije kao i za kriogenetske procese u stalno zamrznutom zemljištu koji su uslovili pojave urvanja i soliflukcije. Najjači morfogenetski agens u današnjem reljefu Marsa je eolska erozija. Danas nema reka na Marsu pa su oblici reljefa postali fluvijalnom erozijom izgrađivani u davnoj prošlosti, kada su globalne klimatske prilike bile drugačije od današnjih slične onim tokom pleistocene glacijacije na Zemlji. Erozivni oblici sličnu su onima na Zemlji samo što su većih dimenzija.

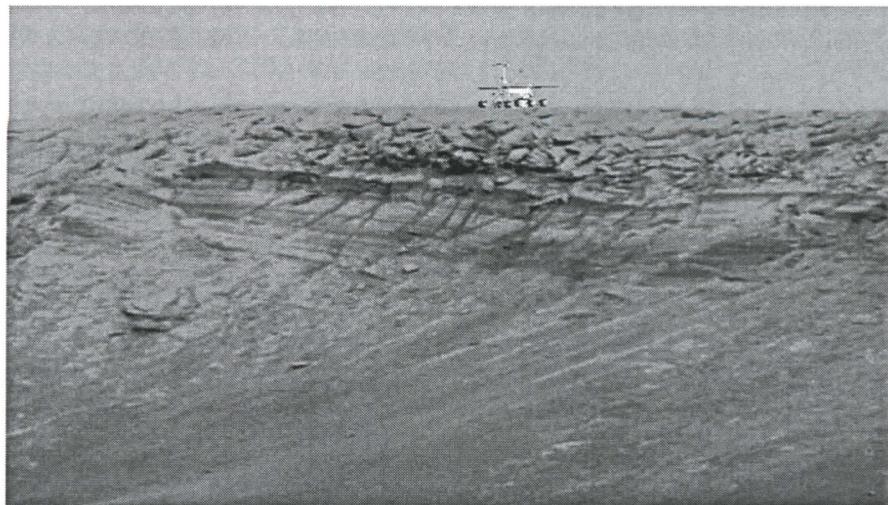
Površinski oblici reljefa na Marsu nastali su udarima meteorita, dejstvom vetra, vulkasnom aktivnošću i rasedanjem. Naučnici veruju da ja na površini Marsa, kao i u njegovoj unutrašnjosti nekada tekla voda prosecajući doline i kanale. Krateri potiču iz vremena jakih meteoritskih kiša, pre 3.9 milijardi godina. Najviše ih je na južnoj hemisferi, koja je geološki starija od severne. U današnje vreme Marsova topografija nam je u potpunosti dostupna. Mars Global Surveyor je 1999. godine napravio kompletну topografsku mapu Marsa. Na toj mapi oblasti sa toplim bojama (tj. crvena, žuta i narandžasta) su južne visoravni ispresečane kraterima, a oblasti sa hladnim bojama (plava, zelena) su nizije. Južni deo Marsa je poprlično sličan površini prepunoj kratera na Merkuru ili Mesecu, gde krateri svih oblika i dimenzija dominiraju pejzažom.



Slika 10. Topografija Marsa
Izvor: astronomy.nmsu.edu/aklypin

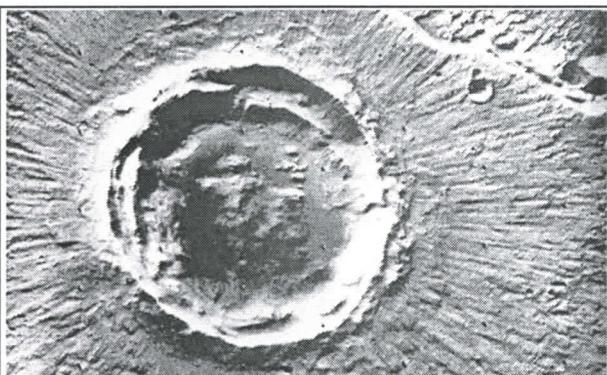
2.1 Krateri i polarne kape

Marsova površina je veoma izrovana – ima nekoliko desetina hiljada kratera, imenovano je tek oko hiljadu. Krateri su raznovrsni: ima ih u obliku činije, prečnika manjeg od 5 km ali i basena prečnika nekoliko stotina kilometara. Najstariji krateri, na južnoj polulopti, su neprekidno izloženi eroziji. Dna su ispunjena lavom, a obodi su im se spustili, pa su dobili prepoznatljiv plitak izgled. Preko njih formirani su manji, mlađi karetri. Materijal iz kratera uglavnom se širio izlivanjem po površini, ređe izbacivanjem u vazduh. Vrlo mali i neupadljiv krater ali ipak najviše proučavan u 2004.godini je *Krater Izdržljivosti*. Spada u kratere oblika činije, prečnika je 130 m a starosti manje od 4 milijarde godina. Krater je dobio ime po brodu kojim je britanski istraživač irskog porekla Ernest Šeklton doplovio do Antartika. Kružnog je oblika, sa krševitim strmim obodom. Unutrašnji obronci spuštaju se do dna kratera 20-30 m. Stenovito tlo mestimično izviruje iz površinskog nanosa na dnu, a ostatak dna prekriven je razbacanim materijalom i dinama. Dine koje se nalaze na dnu su crvenkasta prašina duboka od nekoliko centimetara do odprilike jednog metra.



Slika 11. Krater Izdržljivosti

Izvor: www.nasa.gov.



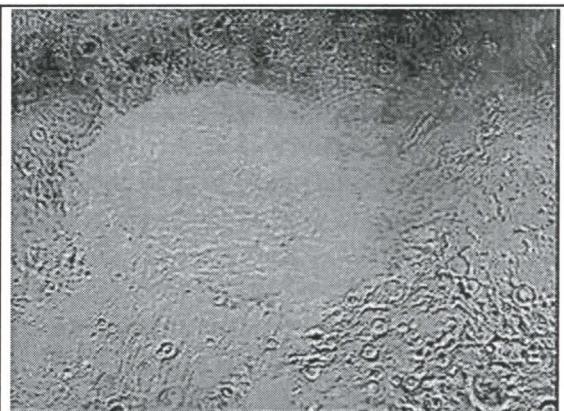
Slika 12. Belz krater

Izvor: history.nasa.gov

Belz krater spada u kratere sa razlivenim materijalom, poznati i kao krateri s nasipom. Postoje samo na Marsu. Mali su, imaju zidove u obliku izdignutog nasipa a materijal izbačen iz njih širio se u okolinu izlivanjem. Belc je pravi primer takvog kratera. Pri njihovom nastanku na površinu bi izbila podzemna voda ili bi toplota oslobođena u udaru istopila voden led. Novonastali vodeni tokovi nanosili su materijal na okolni teren.

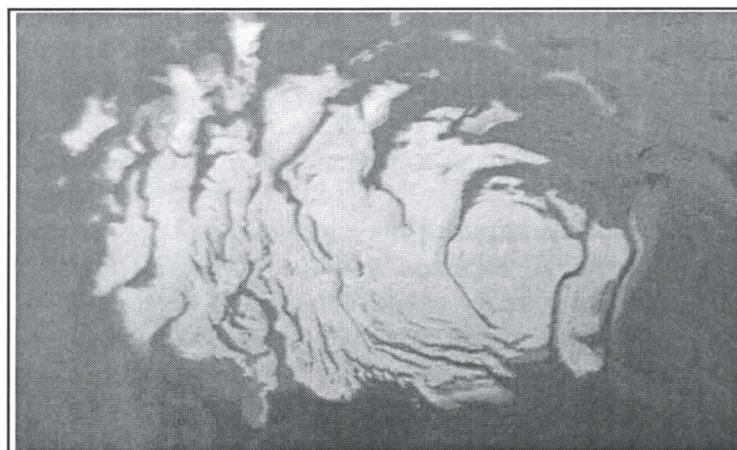


Najveći udarni krater na Marsu je *Hellas Planitia* (Grčka ravnica). To je najistaknutiji oblik reljefa južne polulopte. Starosti oko 4 milijarde godina, prečnika 2200 km a tip je basena. Na prvi pogled ne bi se reklo da je reč o udarnom krateru. Njegov zvanični latinski naziv upućuje na veliku niziju. Takav naziv krater je dobio pre više sto godina kada se površina Marsa mogla posmatrati isključivo teleskopima sa Zemlje, pa stvarna priroda tog ogromnog plitkog basena nije bila poznata. Posebno veliki krateri koji su doživeli niz promena nazivaju se baseni. Slični su morima na Mesecu. I drugi i treći po veličini krateri na Marsu nose latinski naziv *planitia- Isisidis i Argure Planitia*. Tokom 3.5-4 milijarde godina dno ovog basena plavila je lava, a njegov izgled menjali su voda, vatar i novi krateri. Uprkos svemu, neka od njegovih prvobitnih obeležja još uvek su vidljiva. Zadržao je oblik i deo oboda, kao i zakrivljene litice okrenute prema središtu kratera, moguće ostatke višestrukih prstenova, koji se protežu više stotina kilometara od ruba.



Slika 13. Hellas Planitia

Izvor: www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Sect19/hellas



Slika 14. Južna polarna kapa, snimak je načinjen u aprilu 2000 g .
kada je imala prečnik svega 420 km.

Izvor: www.daviddarling.info/encyclopedia/M/Marspoles.html

Marsove polarne kape su predmet grozničavog istraživanja zadnja dva veka. Osnovno pitanje je od čega su kape sastavljene. Astronomi su se nadali da su one od vode i za to su tražili dokaze. Prve pretpostavke da polarne kape predstavljaju velike naslage smrznute vode javile su se u drugoj polovini XVIII veka. Tako je William Herschel, na

osnovu svojih višegodišnjih osmatranja, došao na ideju da Marsove polarne kape po svemu veoma liče na Zemljine polarne kape i da su prema tome sastavljene od vodenog leda. Međutim, krajem prošlog veka javila se hipoteza po kojoj se polarne kape na Marsu sastoje od zaledenog ugljen-dioksida. Kako vodena para u to vreme nije detektovana u Marsovoj atmosferi ova hipoteza je delovala vrlo ubedljivo sve dok sredinom ovog veka nije utvrđeno da spektar svetlosti koji reflektuju polarne kape više odgovara vodenom ledu nego ugljen-dioksidu. Tako je ponovo osnažena hipoteza o vodi na Marsovim polovima. Međutim, šezdesetih godina ovog veka izgrađen je numerički model topotognog stanja Marsa i taj model je ponovo bacio sumnju na "vodenu" teoriju. Po ovom modelu u uslovima koji vladaju na Marsu na polovima bi ipak trebalo da je smrznuti ugljen dioksid, bar kad se radi o sezonskim naslagama. Model sugerije postojanje relativno tanke naslage smrznutog ugljen-dioksida, od nekoliko metara blizu polova ka sve tanjim naslagama u pravcu ekvatora. Po svemu sudeći stvar s polarnim kapama je ovakva. U periodu polarnih noći (zimsko doba) temperatura opadne na nivo ispod tačke mržnjenja ugljen-dioksida i ugljen-dioksid iz atmosfere se zaledi (tzv. suvi led) i to u tolikoj količini da atmosferski pritisak opadne za 25%. Tada i kape narastu i vide se lepo sa Zemlje. Kada dodu topliji dani zaledjeni ugljen dioksid ponovo prelazi u gasovito stanje, vraća se u atmosferu i kape polako kopne. Kako međutim i tada, dakle kad je temperatura iznad tačke mržnjenja ugljen-dioksida, i dalje ostane nesto leda to mora da je u pitanju zaledena voda. Prema tome Marsove polarne kape predstavljaju velike rezervoare vode.

Severna polarna kapa je bogatija vodom nego južna jer je i "večni led" na severu veći. U rano proleće južna polarna kapa koja se proteže sve do 50° počinje da kopni. Sa dolaskom toplijeg perioda godine kapa se smanjuje po latitudi za oko 1° svakih pet dana. Tada ivice polarne kape postaju krzave jer se led povlači preko rapavog terena (krateri, pukotine i sl.). U letu kapa je svedena na najmanju meru i sa Zemlje se više ne može videti. Međutim ona i dalje postoji sto potvrđuju snimci svemirskih brodova. Južna polarna kapa počinje opet da raste sa dolaskom hladnijeg doba. Tada se iznad kape formira sloj tamnih oblaka koji se šire i do 35° ka ekvatoru. Povremeno ova "polarna kapuljača" postaje transparentna za crvene svetlosne zrake što omogućava fotografisanje polarne kape i praćenje njenog rasta.

Razvoj severne polarne kape je sličan razvoju južne mada ne u svim detaljima jer su godišnja doba na južnoj i severnoj polulopti različita. Na severnoj polulopti vladaju kratke hladne zime i duga sveža leta što dozvoljava velike sezonske naslage leda i uopšte duži opstanak severne kape. Severna kapa je nešto veća jer se proteže do 60° tj. pruža se oko 1800 km od pola ka ekvatoru.

2.2. Kanali

Godine 1877. Đovani Virginius Skjapareli, direktor opservatorije u Milanu, je objavio vest da je na Marsu uočio duge, tamne, uzane i prave linije. Ove linije nazvao je *canali*. Skjapareli nije rekao da su te linije irigacioni ili neki drugi kanali kojima teče voda. Međutim, ta vest je toliko odjeknula da su neki pomislili da postoji civilizacija koja je te kanale iskopala. Ali nešto drugo je bilo u pitanju... Reljef koji je nastao oblikovale su tekuće i zaledena voda. Marsovim prostranstvima protežu se potpuno oblikovane džinovske doline nalik na kanale. Neke od njih proseklji su brzi vodenii tokovi u vreme

katastrofalnih poplava, druge su oblikovali mirniji tokovi koji su tekli mrežom rečnih dolina, a ostale su uklesali lednici.

Kasei Vallis

Dolina Kasei, nazvana je po japanskoj reči za Mars, najveći je odvodni kanal. Ne samo što je najduži već je u gornjem toku mestimično širi od 200 km do 3 km. Katastrofalna bujica koja ga je prosekla bila je veća od bilo koje poznate poplave na Marsu ili na Zemlji. Kanal započinje u Mesečevoj ravnici, severno od središta Marinerove doline a zatim se kroz brežuljkaste visoravni pruža prema Zlatnoj dolini. Duž toka vidi se niz ostrva, stvorenih razdvajanjem i ponovnim spajanjem vodenog toka. Ovaj kanal je star 3-3.5 milijardi godina, dužina iznosi oko 1780 km a spada u tip odvodnih kanala.



Slika 15. Sistem odvodnog kanala,dolina Kasei

Izvor: www.dlr.de/.../2006/kasei_valles_s_co_380.jpg

Nanedi Vallis



Slika 16. Dolina Nanedi i uski središnji kanal

Izvor: www.newscientist.com/.../dn10389-2_320.jpg

Ovaj veliki odvodni kanal nalazi se u relativno ravnom području. Dužine je oko 508 km, starosti 2-3.5 milijardi godina. Na jugu nema vidljivo izvorište, ali se njegov zmijoliki oblik lako može pratiti prema severu, preko Ksantijine zemlje, izbratzane kraterima sve do naglog završetka. Čini se da su kroz ovaj kanal prošli različiti tokovi. Prvobitno je krivudava reka umalo stvorila lučna jezera. Zatim su delovi korita presušili i pretvorili se u terase, koje se dans nalaze između glavnog kanala i ravnice ispunjene kraterima, iznad. Jarak u sredini kanala ukazuje na metu kojim je tekao poslednji tok.

Reull Vallis

Dolina Reul ubraja se u veće kanale na južnoj polusferi. Proteže se duž severnog dela Prometejeve zemlje, istočno od grčkog basena. Smatra se da je imala složenu evoluciju jer poseduje osobine sve tri vrste kanala pronađenih na Marsu. Ipak u glavni kanal ulivaju se pritoke, što je osobina slivnog kanala. Glavni kanal uz to ima i osobine kanala nastalog erozijom – široko ravno dno i strme ravni. Dolina je dobila naziv po gelskoj reči za planetu.

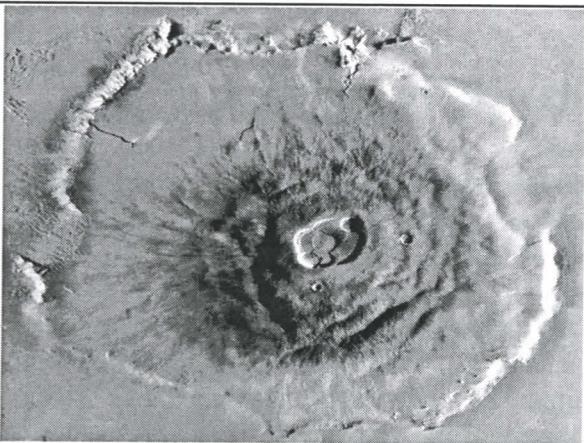


Slika 17. Dolina Reul (gore levo) spaja se sa
“pritokom” Teviot (desno)
Izvor: www.universetoday.com/am/uploads/mars

2.3. Vulkani

Vulkanska aktivnost počela je pre više milijardi godina i trajala je tokom većeg dela istorije Marsa. On je možda još uvek vulkanski aktivan, mada se erupcije ne očekuju. Ogromne vulkane koji danas postoje na Marsu, stvorile su erupcije lave u prošlosti.

Na ogromnom uzvišenju na zapadnoj polulopti nazvanom Tarsis postoje vulkani različitih veličina i tipova, od velikih štitastih do manjih vulkana sa kupolom. Regijom dominira Olimp a tu su još tri vulkana, koja bi se u svakoj drugoj oblasti smatrala ogromnim. Nanizani su jedan na drugi i čine planinski venac Tarsis (Tharsis Montes). Paunova planina je štitasti vulkan široke osnove i nagnutih strana, sličan onima na havajima, čini središnji deo lanca. Vrh vulkana izdignut je 7 km iznad okolne ravnice i ima kalderu unutar većeg, plitkog ulegnuća. Iz kaldere ističe više stotina uskih tokova lave, a ostali tokovi potiču iz obližnjih jama. Vulkan je star 300 miliona godina a ima prečnik 375 km. Najveći vulkan u Sunčevom sistemu pa i na Marsu je Olimp. Visok je 24 km i 50 puta je veći od bilo kojeg štitastog vulkana na Zemlji, veličine države Arizone. Prečnika je 648 km a oko 30 miliona godina je starosti. Olimp se smatra najmlađim štitastim vulkanom. Složena kaldera na vrhu okružena je širokim terasama, stvorenim oticanjem lave, ispresecanim užim tokovima. Oko njih je ogromna kosina visoka do 6 km. Severno i zapadno od vrha, poput latica cveta, prostiru se prostrane ravnice nazvane aureole. To područje ogromnih grebena i blokova nepoznatog porekla širi se 1000 km unaokolo.



Slika 18. Olympus Mons

Izvor: www.astro.psu.edu/.../011-mars-olympus-mons.jpg

Najseverniji od tri vulkana koji čine venac Tarsis na vrhu istoimenog uzvišenja je Ascraeus Mons. Starosti je 100 miliona godina a prečnika 460 km. Venac se pruža pravcem jugozapad-severoistok. U istom pravcu pruža se i velika zona raseda odavno zatrpanih lavom. Tri vulkana rasla su postupnim taloženjem više hiljada pojedinačnih i uzastopnih tokova lave koji su kroz rasede izbijali na površinu. Ascraeus je najviši član lanca, 18 km viši od okolne ravnice. Oko oboda kaldere vide se brojni tokovi i kanali, koji

svedoče o putukojim je tekla lava. Drugi vulkan po veličini, odmah posle Olimpa je Arsia Mons. Starosti oko 700 miliona godina, a prečnika 475 km. Najjužniji od tri vulkana koji čine venac Tarsis, prečnika je 120 km. Njegov vrh izdiže se više od 9 km iznad okolne ravnice. Kao i kod ostala dva vulkana, kaldera na vrhu je veća od bilo koje na Zemlji. Vulkan je okružen lučnim rasedima, a tokovi lave šire se niz njegove blage obronke. Lava je po sastavu slična bazaltu i male je viskoznosti., a tokovi su kraći pri vrhu nego niže na obroncima.

3. Eolski oblici reljefa na Zemlji

Eolski procesi predstavljaju aktivnost vetra. Vetrovi mogu da transportuju, nanose i stružu materijal i jesu efikasni činioci u regionima sa oskudnom vegetacijom i velikom količinom nekonsolidovanih sedimenata. Iako je voda mnogo moćnija od vetra, eolski procesi su važni u aridnim okruženjima. Pošto je vazduh u pustinjama suv iznad njih se vrlo retko stvaraju oblaci. U odsustvu vegetacije Sunce inenzivno zagreva gole, stenovite površine. Pod uticajem zagrevanja u toku dana i hlađenja u toku noći stene pucaju, drobe se i krune. Komadi stena se dalje sve više usitnjavaju i pretvaraju u pesak. Vetar zahvata najsitnije čestice i nosi ih sa sobom izlažući stene daljem insolacionom raspadanju. Vetar eroduje Zemljinu površinu deflacijom, uklanjanjem fino granulisanih čestica, turbulentnim vrtloženjem vetra i abrazijom. Erozivnim radom vetra stvaraju se u reljefu Zemljine površine eolski oblici. Njihovo izgrađivanje vrši se u okviru eolskog procesa. Eolski oblici reljefa mogu biti erozivni i akumulativni. Eolski erozivni oblici postaju eolskom korazijom na golum stenovitim površinama. Eolski akumulativni oblici izgrađuju se nagomilavanjem peskovitog materijala, koji je nošen i razvejavan deflacijom i nagomilan na mestima gde slabih mehanička i transportna snaga vetra. Erozivni i akumulativni oblici eolskog reljefa izgrađuju se u različitim pustinjskim oblastima. Dok se kod drugih geomorfoloških procesa izgrađivanje ovih oblika vrši u okviru jednog jedinstvenog predeonog kompleksa. Dotle se u eolskom reljefu ovi oblici izgrađuju u odvojenim, međusobno morfogenetski različitim pustinjama.

3.1. Erozivni oblici eolskog reljefa

Oblici eolskog erozivnog reljefa postaju pod neposrednim delovanjem deflacji i eolske korazije. Većina od njih predstavljaju mikro oblike reljefa u hamadama, predeonomorfološkim celinama eolskog erozivnog reljefa. Pod uticajem deflacji, sitni rastreisti materijal postao u procesu mehaničkog raziravanja stena, biva izduvan i odnošen vetrom preko stenovitih površina hamada. Pesak nošen vetrom, intenzivno struže i glaća stenovite površine. Ovaj proces eolske korazije je stalан и dugotrajan. Zbog toga se na površini homogenih stena, koje se odlikuju izuzetnom čvrstinom, stvaraju manje ili veće uglačane stenovite površine. Stalnim korazinim delovanjem, peska one su gotovo polirane. Većina deflacionih zona sadrži pustinjski peščani pločnik, pokrivač koji liči na fragmentisanu stenu koja se javlja nakon što su vetar i voda uklonili finije frakcije. Gotovo polovina pustinja na Zemlji je ovakva stenolika deflaciona zona. Stenski pokrivač u pustinjama sa peščanim pločnicima sprečava deflaciju. Tamne, sjajne mrlje, nazvane pustinjska glazura, često se javljaju na površini nekih stena u pustinjama. Obično sadržaj ovakvih stena čine mangan, oksidi gvožđa, hidroksidi, i glineni minerali koji uzrokuju ovu pojavu i daju sjaj steni. Baseni nastali deflacijom, su udubljenja koja su se formirala uklanjanjem čestica vetrom. Oni su obično malih dimenzija, ali mogu biti prečnika i nekoliko kilometara. Čestice nošene vetrom vrše abraziju kopna. Udarima i trenjem

čestice prave brazde ili male depresije. Ovakvim dejstvom nastaju ventifakti. Izvajani oblici, koji se nazivaju jardanzi, mogu biti nekoliko desetina metara visoki i nekoliko kilometara dugački a izbratzdani su dejstvom pustinjskog vetra. Čuvena sfinga u Gizi, Egipat, je najverovatnije naknadno izmenjeni jardang. Osim erodovanja, u eolskim procesima, vetr je agens kojim se vrši transport čestica. Transportom čestica se smatra premeštanje čestica od mesta erozije do mesta



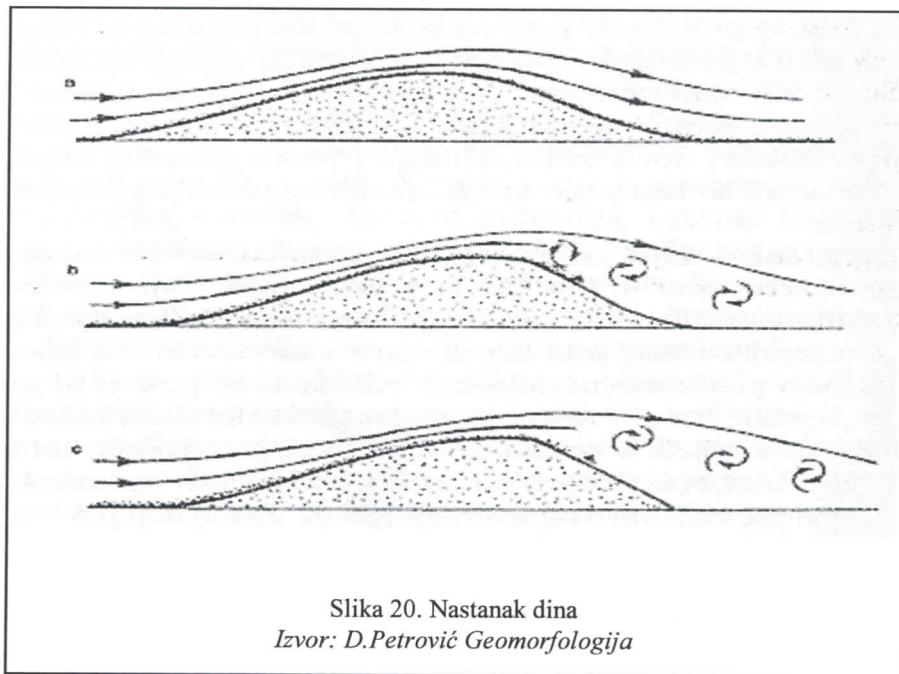
Slika 19. Jardang Lut pustinje u Iranu
Izvor: geoinfoamu.edu.pl/.../PlateE-19.jpeg

depozicije, odnosno, mesta odlaganja, koji se naziva akumulacija. Takođe, jednom nataloženi materijal može biti, što je u eolskom procesu često, ponovo pokrenut do novog mesta akumulacije. Pokrenute čestice se mogu nalaziti u atmosferi u vidu suspenzije. Vetrovi pri površini Zemlje sadrže suspendovane čestice ne veće od 0.2 milimetara u prečniku. Ove čestice vetr rasejava u vidu prašine ili još finije (sitnije) čestice od prašine one se mogu videti u vidu izmaglice. Transport vетrom može biti izuzetno veliki reda veličine stotine pa i hiljade kilometara. Pored suspenzije čestice mogu biti nošene i saltacijom. Saltacija je nošenje čestica vетrom u nizu skokova. Saltacija uglavnom podiže čestice peska ne više od jednog centimetra iznad Zemlje.

3.2 Akumulativni oblici eolskog reljefa

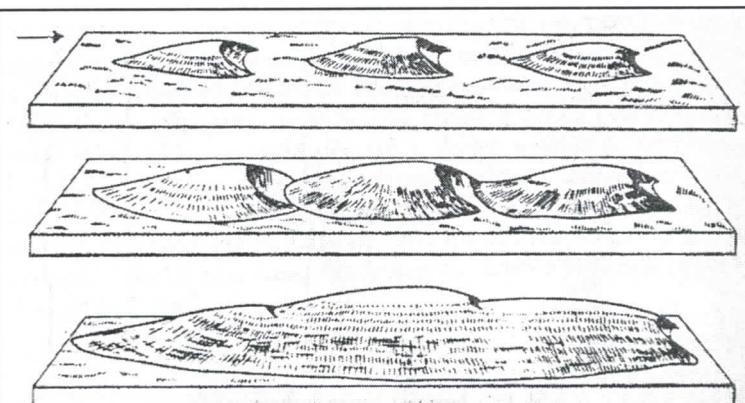
Izgrađivanje akumulativnih oblika eolskog reljefa vezano je za nagomilavanje i oblikovanje peskovitih masa u ergovima. Eolski pesak se nagomilava na mestima gde slabi transportna snaga vetr ili se u reljefu javljaju prepreke koje ometaju nesmetano odnošenje peska. Na prostranim peskovitim površinama, vetr izgrađuje veoma dinamične oblike akumulativnog reljefa. Oblici eolskog akumulativnog reljefa izgrađeni su od od peskovitih masa. Pesak ergova se naziva živi pesak ili pokretni pesak. Najvećim

delom on potiče od aluvijalnih rečnih naslaga, marinskih i jezerskih sedimenata i eluvijuma nastalog fizičkim razoravanjem, iz kojih je izduvavan deflacijom. Čestice eolskog peska su od 0.05 do 0.25 mm. U njemu skoro nema prašine jer je izduvana i odnešena vетrom. U pesku preovladavaju postojani minerali kao što je kvarc. Nagomilavanje peskovitih masa u pustinjskim predelima vrši se u obliku svojevrsnih brežuljaka i nanosnih bedema. Ono je slično navejavanju snežnih smetova. Tipski oblik eolskog akumulativnog reljefa su dina. To su peskovita uzvišenja u obliku kupastih brežuljaka i izduženih bedema, postala eolskom akumulacijom peska. One mogu biti visoke i preko 100 m. Izgrađivanje dina teče u nekoliko evolutivnih faza pri čemu se javlja njihova upadljiva morfološka raznolikost. U početnoj fazi dominantni vетар nagomilava pesak u obliku sočivastih uzvišenja. Ova sočivasta uzvišenja se potpuno preinacavaju i dobijaju oblik štita. Na stranama se javljaju sitno zatalasane peskovite površine u obliku paralelnih rebrastih gredica. Tokom dalje evolucije peskoviti brežuljak postupno narasta u pravu dinu. Spoljašnje strane okrenute poprečno na pravac veta, blago su nagnute i na njima se vrši akumulacija peska, a unutrašnje strane, okrenute niz vетar, strmo su nagnute. Teme dina nije uobljeno, već se spoljašnje i unutrašnje strane sučeljavaju pod oštrim uglom, stvarajući ivicu u vidu grebena. Postupnim prebacivanjem peska preko grebena, sa spoljašnje na unutrašnju stranu dolazi do laganog kretanja celokupne peskovite mase dina u pravcu duvanja veta. To je seljenje ili migracija dina. Izgrađivanje dina zavisi i od režima dominantnog veta, što uključuje njegovu stalnost, pravac i jačinu. Povod za stvaranje dina može biti i usamljeni žbun oskudne pustinjske vegetacije. Pravac i jačina veta su u granama žbuna delimično poremećeni. Brzina veta je trenutno smanjena, što izaziva neposredno nagomilavanje peska na zavetrinskoj strani žbuna u vidu manje, peskovite kose, koja se snižava u pravcu duvanja veta to je inicijalna dina ili nebkh.



Slika 20. Nastanak dina
Izvor: D.Petrović Geomorfologija

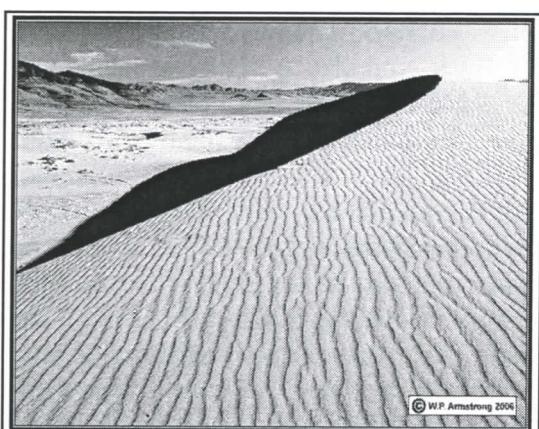
Barhani su dine u obliku srpa ili polumeseca, poprečnog na pravac dominantnog vetra. Spoljašnja strana, okrenuta protiv vetra, ispučena je konveksna, a unutrašnja zavetrinska strana je udubljena, kokavna. Spoljašnja strana je blaže nagnuta ($5-8^{\circ}$), a unutrašnja je strmija ($30-35^{\circ}$). Barhani su uglavnom razvijeni u obodu ergova, dok su u središnjim delovima dosta retki. Visina barhana je različita i kreće se od jednog pa do 20-30 m a dužina im se kreće od 40 do 70 m. Poseban oblik dina je sif. Toje dina čiji greben ima oblik slova "S". Sifovi nastaju delovanjem nestalnog vetra čije vazdušne struje imaju različitu brzinu kretanja. Zbog toga se zatalasava gornja ivica grebena i zadobija vijugav izgled. Stifovi su tipski razvijeni u Sahari. Česta pojava u pustinjama je bočno srastanje barhana i sifova sa ostalim dinama. Na taj način barhani i sifovi se utapaju u složene sisteme peskovitih greda sa nepravilnim i vijugavim grebenima. To su barhanski bedemi. Njihova dužina dostiže 10-20 km, a visina 100-150 m. Barhanski bedemi se pružaju uglavnom paralelno, a rastojanja između njih iznose 60-70 metara.



Slika 21. Srastanje barhana u barhanski bedem
Izvor: D.Petrović Geomorfološka

Sve dine kod kojih se zapaža seljenje u pravcu duvanja vetra, nazivaju se pokretne dine. Nasuprot njima postoje i nepokretne dine, koje su stabilne. Stabilnost ovih dina uslovljena je kapilarnim uticajima plitke izdanske vode koja vlaži donje partie peska u dinama. Time se čvršće povezuje i stabilizira peskovita masa u unutrašnjosti dina, dok se na površini obnavlja. Nepokretne dine su češće na obodu ergova Sudana, Kalaharija i Gobija. Pored nepokretnih dina postoje i takozvane parabolične dine. One nestaju iz barhana. Naime, kada se usled kapilarnosti stabilizuju oba srpasti kraja barhana, gde je peskovita masa najtanja i najbliža uticaju kapilarnosti, onda deflacija izdrujava samo središnji deo srpastog bedema, gde je peskovita masa nadeblja i van dohvata kapilarnosti izdanske vode. Zbog ovakve delimične stabilizovanosti barhana središnji deo njegovog grebena se pomera u pravcu vetra, dok oba stabilizovana kraja srpastog bedema ostaju na mestu. Oblik barhana se postupno menja. Spoljašnja strana barhana koja je prvo bitno bila konveksna zadobija postupno konkavan oblik. Tako nastaju parabolične dine. Njihov oblik je potpuno suprotan obliku barhana. Parabolične dine ne predstavljaju završan oblik delimično stabilizovanih dina. Deflacijskom biva

odnošen pesak samo središnjeg dela dine. Zbog toga se konkavni bedem sve više izvija, smanjuje i snižava. Kada središni deo parabolične dine bude sasvim odnešen onda u reljefu ostaju samo dugačke, peskovite gredice izdužene u pravcu duvanja vetra. Njihovo čelo predstavljaju stabilizovani deo kraja nekadašnjeg srpastog bedema barhana, odnosno parabolične dine. Tako postaju longitudinalne ili uzdužne dine. Nasuprot njima su transverzalne dine, koje su poprečne na pravac duvanja vetra. Poseban morfološki tip dina su piramidalne dine. One su složeni oblik eolskog akumulativnog reljefa. Predstavljene su peskovitim uzvišenjima u obliku nepravilnih piramida: od središnjeg, najvišeg dela, radijalno se granaju oštiri peskoviti grebeni. Postanak piramidalnih dina tumači se pojmom interferencije vazdušnih struja, koja je izazvana obojnim vetrovima i vihorima sa planinskog oboda pustinja. Piramidalne dine zahvataju relativno male površine obodnih pustinjskih oblasti Srednje Azije i Afrike.



Slika 22. Masivna bela dina, Nevada, jugoistok Falona

Izvor: waynesword.palomar.edu/ww0704.htm



slika 23. Peščana dina u Dolini smrti, Kalifornija

Izvor: waynesword.palomar.edu

4. Eolski oblici reljefa na Marsu

Ideja da na Marsu postoje vetrovi i nije nova, još je 1909. godine E.M. Antoniadi pomenuo da postoji eolska erozija, ali u to vreme nije detektovana. Značajniji pomak je nastao sa misijom "Mariner 9". Eolska erozija i akumulacija na Marsu premašuje po intenzitetu i dimenzijsama oblika eolskog reljefa sve ono što je viđeno na Zemlji. Glavni razlog su uraganski vetrovi na Marsu koji daleko premašuju jačinu i brzinu vetrova na Zemlji. Na Zemlji, u pustinjskim oblastima vetar pri brzini od 30m/sek pokreće i nosi stenovitu drobinu od 10 cm u prečniku, odnosno od 1 kg težine. Srednja brzina vetrova na Marsu je 50-100 metara u sekundi, a maksimalna čak 140 m/sek. Pri takvim brzinama vetrova pokreće se stenovita drobina 5 puta teža od one na Zemlji. Zbog toga su deflacija i eolska korazija mnogostruko jače nego na Zemlji. Povoljni uslovi za intenzitet eolske erozije su gola, bezvodna površina Marsa bez vegetacije sa obiljem peskovitih masa i klasičnog materijala u uslovima da je ubrzanje Marsove teže 2.6 puta manje nego na Zemlji. Peščane oluje na Marsu imaju sezonski karakter ali planetarni značaj jer mogu obuhvatiti čitavu planetu kao što je to bio slučaj za vreme misije "Mariner 9" 1971 godine.

Moćne peskovite oluje počinju krajem proleća na južnoj polulopti, kada se Mars nalazi u perihelu. U prvim danima prašinasti oblaci se sporo šire a zatim brzo narastaju, pretežno u zapadnom pravcu, pa za nekoliko nedelje potpuno prekriju planetu. Oblaci praštine se penju i do 30 km visine. Prestanak oluja je postepen a prašina se sporo sleže. Za nekoliko nedelja atmosfera postaje prozračna. Peščana oluja se vidi putem teleskopa kao žućkasti oblak koji se brzo širi i prekriva planetu. Tokom oluje brzina vetrova na Marsu je oko 30 m/s što izaziva brzo podizanje čestica praštine i nastanak oluje. Severni vetrovi usmereni su ka jugu i granaju se u tri vazdušne struje. Južni vetrovi prema orientaciji eolskih oblika reljefa manje su izraženiji od severnih. To je posledica složenog reljefa južne polulopte, gde nema prostranih ravnica već se javljaju veliki meteoritski krateri koji skreću vetrove sa njihovog osnovnog pravca. Na Marsovoj površini su ogromne mase peska i praštine žuto-naranđaste boje i stenovitog drobinskog materijala nastalog temepraturnim razaranjem i meteoritskim bombardovanjem.



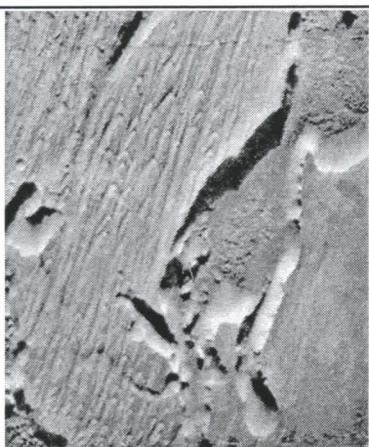
Slika 22. oluja na Marsu i na Zemlji

Izvor:

www.msss.com/mars_images/moc/9_12_00_dust_storm/

Na ovoj slici upoređena je oluja na Marsu sa olujom na Zemlji. Gornji deo slike pokazuje oluju nadomak Marsovog severnog pola posmatranu 29.09.2000. god. Slika je načinjena uz pomoć kamere Marsovog orbitera. Na donjoj slici je prikazana terestička oluja koja se desila 26.02.2000.godine. Oluja je bila udaljena oko 1800 km. od obale severozapadne Afrike, u blizini Zemljinog ekvatora.

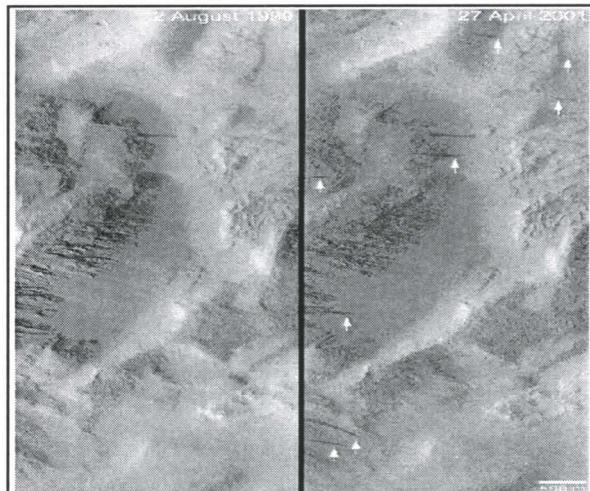
Najbitniji oblici reljefa na Marsu su nastali udarima veta. Ti oblici su nastali erozijom i deponovanjem materijala. Erozija se može desiti iza neke prepreke gde jaki vetrovi uspevaju da oduvaju fine čestice, ostavljajući za sobom ravni lave a to se može videti kao tamni tragovi. S druge strane neke prepreke mogu usporiti vetar i na taj način će doći do deponovanja suspendovanih čestica. Na slici je prikazano mnogo svetlih linija koje su nastale udarima vetra, mogu se zapaziti u podnožju Olimpus Monsa velikog štitastog vulkana. Posredstvom Mars Global Surveyor-a zaključeno je da se udari vetra mogu menjati tokom kratkog perioda. Na slici 24 napravljen je upoređenje oblasti u kojoj ima udara veta iz avgusta 1999. i aprila 2001.godine. na slici su belim strelicama označeni novi udari vetra koji nisu ranije postojali.



Slika 23. Udar vetra

Izvor:

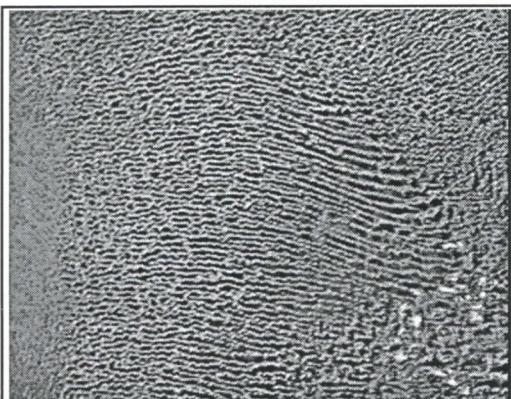
www.lukew.com/marsgeo/aeolian2.html



Slika 24. Promena intenziteta vetra

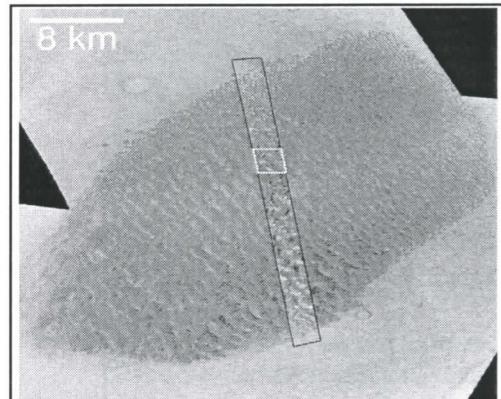
Izvor: www.lukew.com/marsgeo/aeolian2.html

Osnovni oblik eolske akumulacije su dine, često džinovskih dimenzija. Peskoviti barhanski bedemi dostižu, zapadno od ravnice Helas, dužinu od 50-100 km. a širinu 10-20 km. Slični oblici reljefa javljaju se i u drugim oblastima. U predelu Biblide longitudinalne dine dostižu dužinu od 8-10 km a širinu 0.5-0.6 km zahvatajući površinu do 100.00 km². Dine se zapažaju i po dnu velikih meteoritskih kratera u vidu džinovskih barhana dužine 25-50 km. Slične su barhanima u pustinji Srednje Azije i Sahare. U krateru Proktor prečnika 150 km, dine stvaraju nizove barhanskih bedema između kojih su linearne interkolinske depresije. Na slici 25.a) je prikazana dina iz Saudijske Arabije koja sadrži barhane. Dina je 100 m visoka i 2.5 km široka. Na slici 25.b) je prikazana dina na Marsu u krateru Proktor. Široko rasprostranjenih eolskih akumulativnih oblika zapaža se i u severnoj polarnoj oblasti. Dine i barhani pružaju se stotinama kilometara. Zapažaju se longitudinalne i tarnsverzalne dine, barhani i barhanski bedemi. Njih ima i u severnom kanjonu i drugim kanjonima i njihov postanak je vezan za prizemne vazdušne struje na dnu kanjona. Na slici 26 a) prikazana je dina iz Kalifornije Salton more, a na slici 26.b) dina na Marsu- Charsa Boreale region.



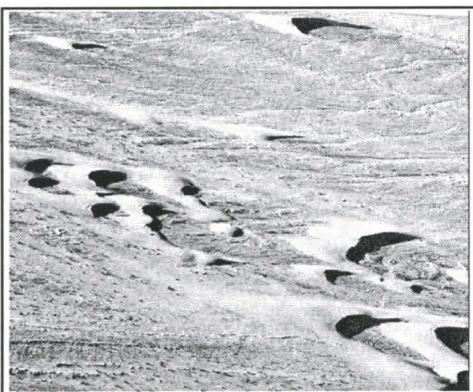
Slika 25. a) Dina na Zemlji

Izvor: Aeolian Processes and Landforms
Ms. Deithra L. Archie, New Mexico State University



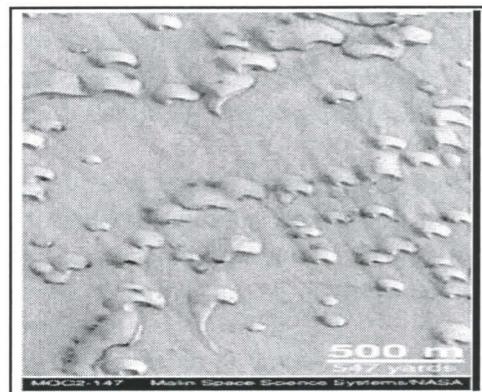
Slika 25. b) Dina na Marsu

Izvor: Aeolian Processes and Landforms
Ms. Deithra L. Archie, New Mexico State Universit



Slika 26 . a) Dina na Zemlji

Izvor: Aeolian Processes and Landforms
Ms. Deithra L. Archie, New Mexico State



Slika 26 b) Dina na Marsu

Izvor: Aeolian Processes and Landforms
Ms. Deithra L. Archie, New Mexico State

Planininski masiv visije Fersida (Tarzis Mons) je moćna barijera severnim i južnim vetrovima pa se u podnožju javlja velika eolska akumulacija peska u vidu brežuljkastog reljefa dina i barhana.

Eolska deflacija se zapaža na mestima gde se tektonske pukotine u vidu brazda podudaraju sa pravcem vetrova. Prostrane pukotinske brazde kao što su Tempe, Tantal i Meteoriti očišćene su eolskom deflacijskom. Delovanjem eolske korazije stvaraju se jardanzi na visiji Farside, u ravnicama Amozonije, Eolije i u južnoj polarnoj oblasti. Oni daleko prevazilaze dimenzije jardanga na Zemlji. Dužina im dostiže 50 i više kilometara, širina 1 km a dubina do 20 m.



Slika 27. a) Jardang na Zemlji
Izvor: Aeolian Processes and Landforms
Ms. Deithra L. Archie, New Mexico State



Slika 27 b) Jardang na Marsu
Izvor: Aeolian Processes and Landforms
Ms. Deithra L. Archie, New Mexico State

U reljefu se zapažaju zatvorene kotline postale dubinskom deflacijskom. Njih ima severno i istočno od ravnice Argir. Na obodu južne polarne oblasti ove kotline su različitih oblika i dimenzija (od 0.5 km do nekoliko kilometara u prečniku, duboke do 400 m). Slične deflacione kotline zapažaju se na Zemlji. Takve su kotline Katara u Africi prečnika 20-25 km, dubine 200m, Turfanska kotlina Centralne Azije (150 m ispod morskog nivoa). U Marsovim prstenastim kotlinama Argir i Helas deflacija za vreme globalnih bura podiže prašinu do 50 km visine.

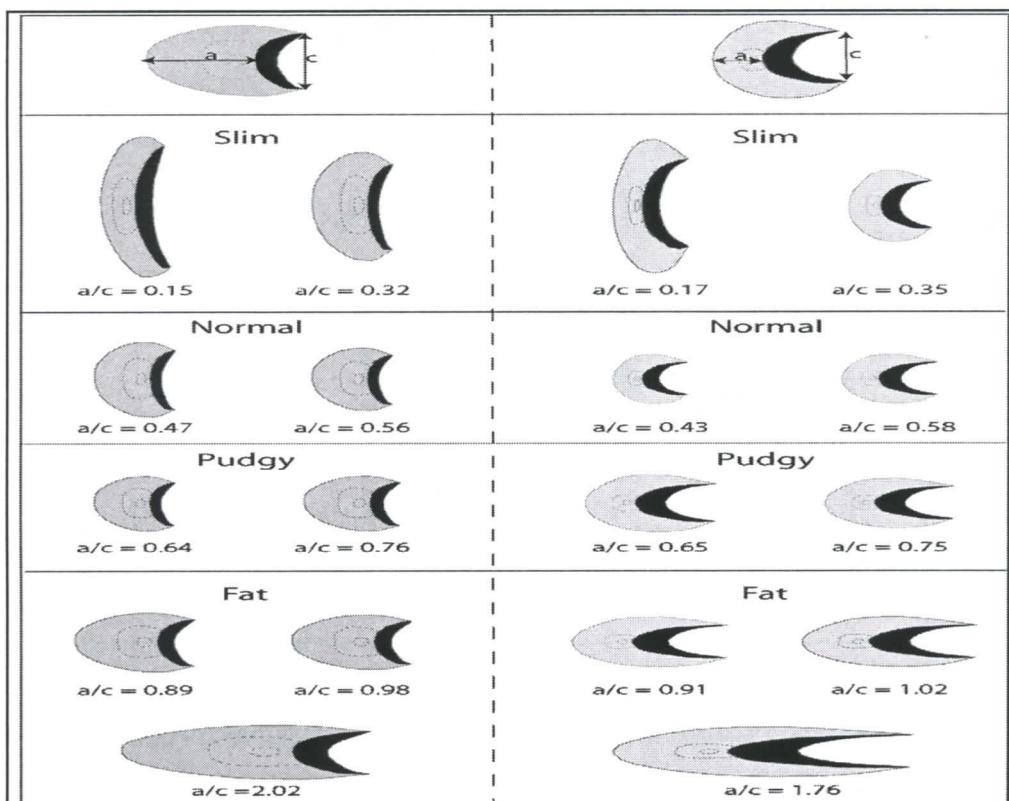
U zavetinskim stranama meteoritskih kratera javlja se eolska akumulacija peska u vidu repa. To su ustvari longitudinalni peskoviti bedemi čija dužina iza velikih meteoritskih kratera dostiže 50 km a širina 5-10 km, koji se postupno sužavaju. U pustinjama na Zemlji stvrajau se slični oblici u zavetini uzvišenja koja se javljaju kao barijera peskovitim strujama ali su znatno manjih dimenzija.

Na mestima prizemljenog dela Vikinga 1 zapaža se na kamenju (prečnika od 25 do 65 cm) tipično pustinjsko saće koje se javlja u kamenitim pustinjama na Zemlji.

4.1 Upoređenje barhana pustinje Namib sa Marsom

Barhani su individualne pokretne dine rastućeg oblika, sa dva roga koji su okrenuti direktno na kretanje dina. Dakle imaju oblik srpa ili polumeseca. Na globalnom nivou Zemlje oko 1% svih dina spada u barhane. Ali na Marsu većina dina koja se mogu javiti su upravo barhani, zato će se posvetiti veća pažnja analizi barhana i upoređenju barhana na Zemlji i na Marsu.

Morfološkom podelom barhana najviše su se bavili *Lond i Sharp* (1964). Na osnovu odnosa između dužine nagiba koji je izložen vetu (a) i visine od roga do roga (c) podeljeni su u četiri grupe: tanki (0.25), normalni (0.5), deblji (0.75) i najdeblji (≥ 1) slika 28. Oni su takođe predložili da manja veličina zrna ili brža brzina veta prouzrokuju strmije i tuplje strane i da niska saturacija protoka peska između dina stvara otvoreno rastući mesečev oblik dina. *Meckenna Neuman* (2000) je primetio da dine koje se nalaze u obastima krupnijeg sedimenta ili sporijeg veta će imati niži, duži profil, u odnosu na one koje su oblastima finijih sedimenata i jačeg veta.

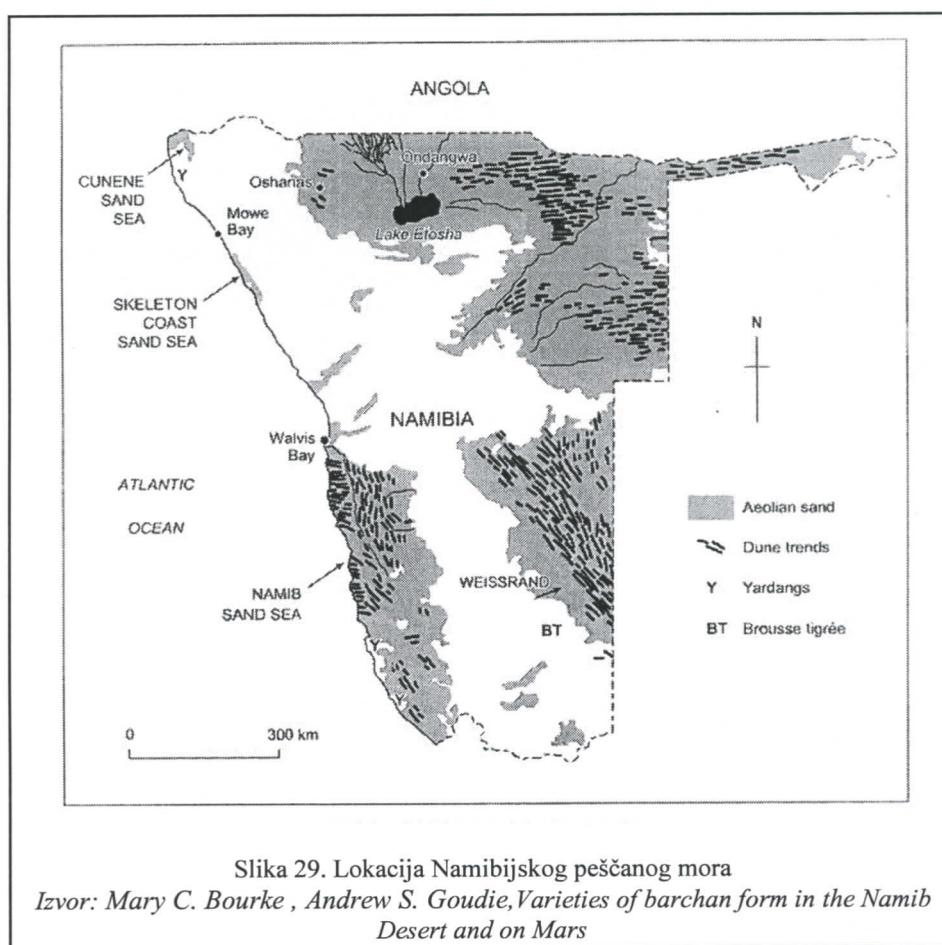


Slika 28. Šematski prikaz idealnih oblika barhana

Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars*

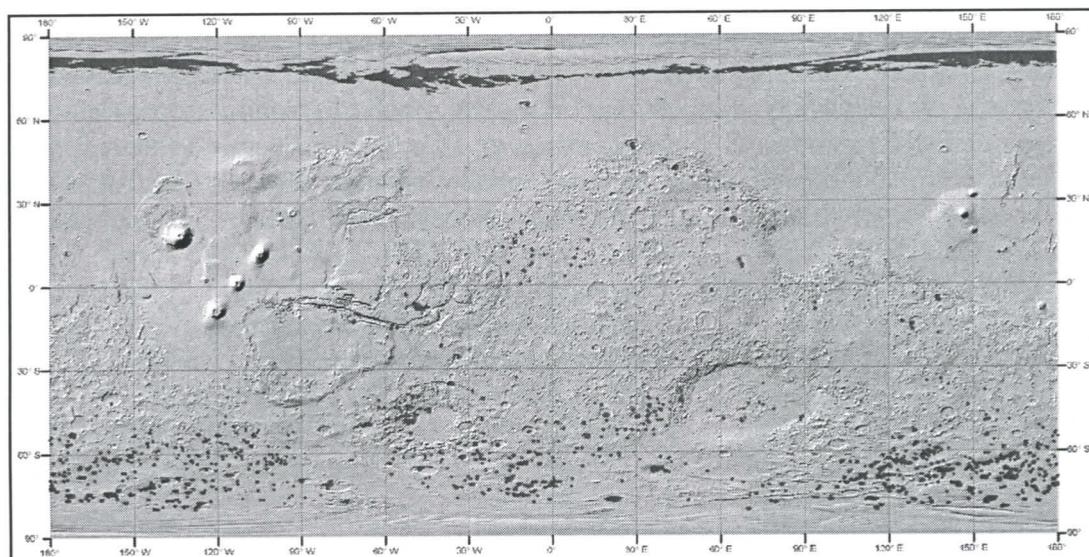
Pustinja Namib

Pustinja Namib je velika pustinja u jugo-zapadnoj Africi. Ime "Namib" na Nama jeziku znači "ogromno" i zaista pustinja zauzima područje od oko 50.000 km², pružajući se nekih 1.600 km duž Atlantskog okeana obalom Namibije. Od istoka na zapad njena širina varira između 50-160 km. Ovo područje se smatra najstarijom pustinjom na svetu, koja je ovakve sušne i polu-sušne uslove imala bar 80 miliona godina. Njenu neplodnost izaziva oistar suvi vazduh koga rashlađuje hladna Bengela struja koja teče duž obale. Pustinja ima manje od 10 mm kiše godišnje i gotovo je u potpunosti neplodna. Najviše u proučene Namibijske dine su one u blizini Walvis Bay (grad u Namibiji, što u prevodu znači "Zaliv kitova"). Barhani se obično javljaju nadomak obale, gde je unutrašnjost glavnih ergova okaraketrirana velikim linearnim, transverzalnim sistemima. U priobalnim oblastima, gde su se barhani razvili, većina vetrova koji nose pesak duvaju iz južnih ili južno-zapadnih pravaca i generalno tako i izgleda orijentacija barhana.



Mars

Iako se male dine mogu zapaziti na mnogim mestima na Marsu (Zimbelman 1987.) oblasti kontinualnog i gustog peščanog pokrivača se mogu naći u tri osnovna područja. Najveća koncentracija postoji u širokom pojasu koji delimično okružuje severnu polarnu kapu (slika 30.). Druga grupa dina smeštena je na višim latitudama južne hemisfere unutra kratera dinskih polja. Treća grupa sačinjena je od izolovanih staza transverznih dina i barhana u unutrašnjosti kratera i na nižim latitudama kao što su kanali i uvale (Thomas, 1981; Ward et al., 1985; Lancaster and Greeley, 1987).



Slika 30. Globalna distribucija disnih polja na Marsu

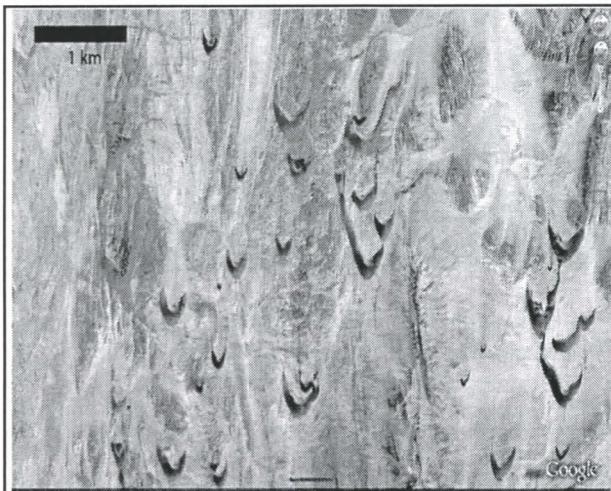
Izvor: : Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars*

Nedavnim globalnim pregledom dina na Marsu uočeno je da dine velikih razmara ispunjavaju oko $800\ 000\ km^2$ površine Marsa, šest puta manje od procenjene ukupne oblasti za velike dine na Zemlji oko $5000\ 000\ km^2$ (Hayward et al., 2007). Individualne dine na Marsu su podeljene na barhane, barhanoide, transverzne dine i kompleksne dine koje su kombinacija ovih tipova (Cutts, 1973; Breed, 1977; Breed et al., 1979; Tsoar and Thomas 1995. Bourke, 2006.). Poput Namiba barhani su široko rasprostranjeni i na Marsu (Bourke et al., 2004.). Uz pomoć podataka koje je načinila kamera Mars orbiter (MOC) uočeno je da su na Marsu u proseku barhani veći u mnogim dinskim poljima no na Zemlji, sa prosečnom kosinom od 215 m i širinom dina oko 400m. Uočeno je da postoje i manji barhani i oni su dodati bazi podataka.

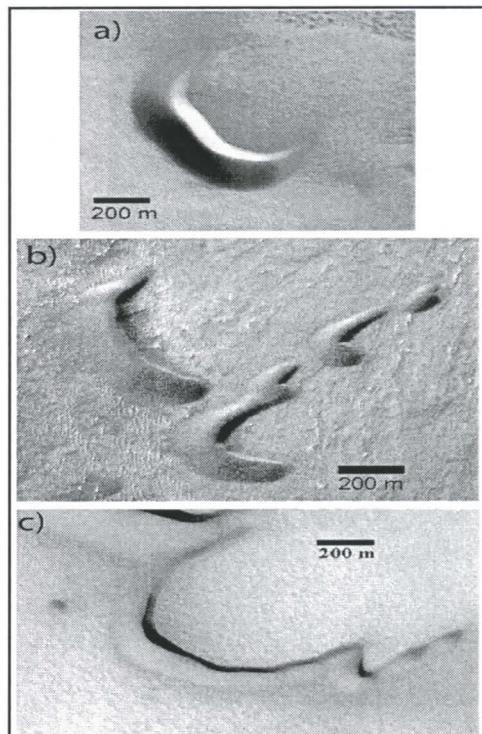
4.1.1. Vrste barkanskih formi

Klasični simetrični barhani: normalni i tanki

Najjednostavnije forme barhana su klasične, rastuće individualne tvorevine. Neke od njih su elegantno tanke (slika 31.) kao što je prikazano na slici kamenih ploča na jugu i istoku Luderitz i Elizabeth Bay. Takođe se mogu videti pravilno duž ravni. Vrlo su širokog opsega veličina, neki imaju i do 500-600m, a neki su samo nekoliko metara široki. Tipovi tankih barhana su tvorevine oblasti sa vetrovima koji ne duvaju u istom pravcu i koji imaju mali priliv peska (Parteli at al., 2007). Takvi primeri se u južnom Namibu mogu videti na stenovitim površinama koje imaju vrlo ograničen peščani pokrivač, a zbog svoje bliskosti obali imaju vrlo veliku brzinu veta. Lancaster (1989) je uočio da vetrovi u oblasti Luderitz duvaju u relativno istim pravcima i da imaju totalni godišnji peščani protok od 1200 tona po metru godišnje. Što ima za posledicu migracije barhana uzimajući u obzir njihovu veličinu, posebno visinu. Drugi modeli ukazuju na to da se tanki barhani stvaraju zbog manjeg vezivanja dina. Međutim jasno je da se tanki barhani manje javljaju nego deblji kao npr. barhani u blizini Walvis Bay (Hesp i Hasting, 1998.). Tanki i normalni barhani se takođe mogu naći na Marsu (slika 32.). Javljuju se u predelu peščanih mora severnih polarnih predela i u unutrašnjosti kratera južne polarne hemisfere. Postoji i nekoliko primera ekstra tankih barhana (npr.slika 32.pod c- a/c=0.17). Tako tanke dine su retkost na Zemlji.



Slika 31. Tanki barhani u pustinji Namib, $a/c=0.5$
Izvor: Google Earth and digital globe



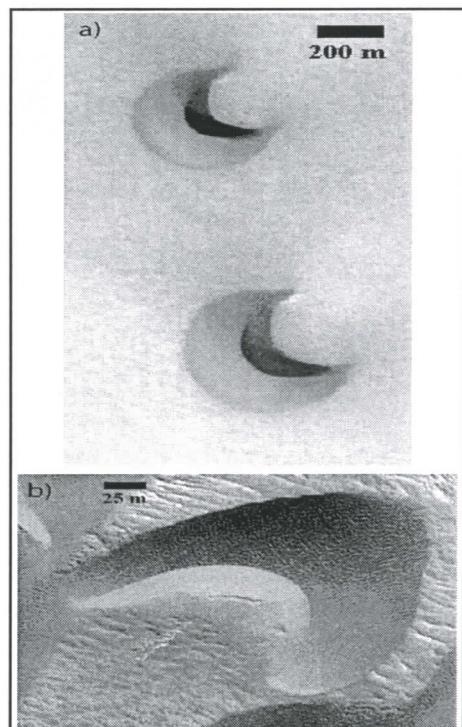
Slika 32. Primeri tankih barhana na Marsu
Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S.
Goudie, Varieties of barchan form in the
Namib Desert and on Mars

Klasični simetrični barhani: debeli i masivni

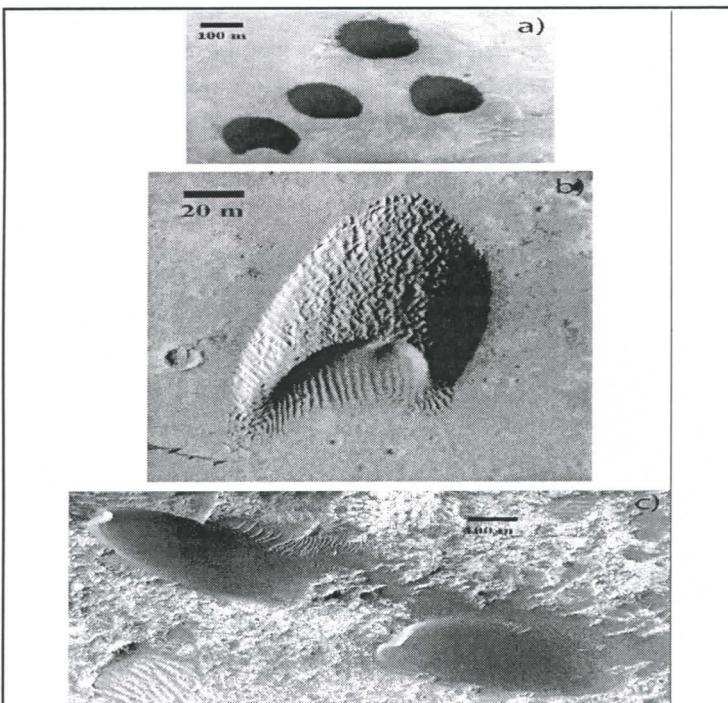
Neki jednostavni oblici barhana poput srpasog, poseduju veću površinu u odnosu na njihovu širinu, u odnosu na primere koji su navedeni gore. Kao primer ovakvih barhana islustrovana je slika br.33, gde su rogovi relativno mali u odnosu na ukupnu masu dina. Tako masivne dine se javljaju u oblastima gde postoji značajan priliv peska i manja brzina smicanja (Parteli at al., 2007 slika 34.). Dine bogate psekonom (masivne dine) se mogu takođe uzeti u modelu gde postoji visok stepen grupisanja dina ili gde brzina veta menja smer sa varijacijom i do 40^0 (Reffet et al., 2009). Većina opisanih barhana u literaturi, koji se mogu uočiti na Zemlji, spadaju u deblje pre nego u tanje barhane (npr. Zapadna pustinja u Egiptu, Stokes et al.,). Ovu pretpostavku potvrđuju i slike iz južnog Maroka, južnog Perua i Katara. Na Marsu, barhani koji su bogati peskom, su pronađeni na marginama velikih disnih polja i na lokacijama gde može postojati topografski uticaj na brzinu protoka peska. To može ukazati na veću sedimentnu zalihu i na manju brzinu čestica (slika 35).



Slika 33. Deblji barhani iz centralnog dela Namiba. Odnos a/c kod ova dva veća barhana je 0.74
Izvor: Google Earth and digital globe



Slika 34. Primeri normalnih barhanskih dina sa Marsa a) a/c=0.55 b) a/c=0.65
Izvor: : Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars



Slika 35. Primeri masivnih dina na Marsu a) $a/c=1.1$, b) $a/c=1.45$ c)
 $a/c=3$

Izvor: : Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars*

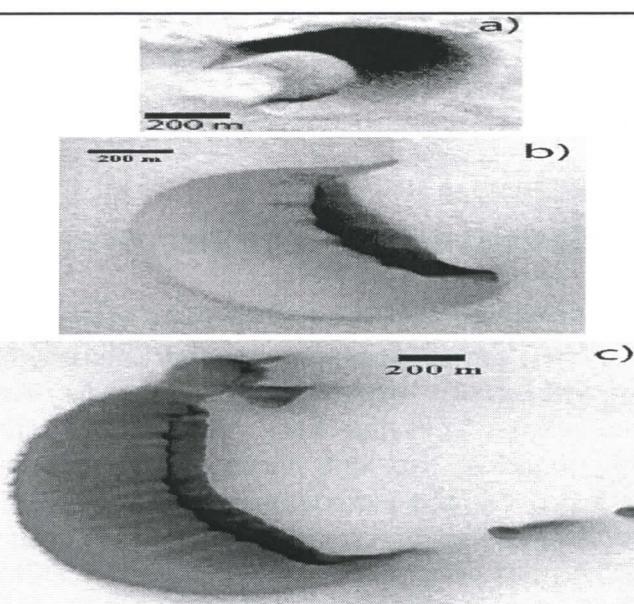
Klasični simetrični barhani: megabarhani i vrlo veliki barhani

Neki barhani su vrlo velike tvorevine, koji se mogu pretvoriti u megabarhane (Cooke et al., 1993). Oni koji imaju preko 500 m u širini, često imaju sekundarnu tvorevinu na svojim bočnim stranama, koja može dovesti do nestabilnosti. Oni takođe mogu da rasipaju male barhane niz vетar duž pustinjske ravnice (slika 36). Ovo je ustvari primer koji je opisao Elberhiti i njegovi saradnici kao „površinsko talasanje koje prouzrokuje nestabilnost“. Oni tvrde da prilikom sudara dina i promene smera vetra destabiliziju velike dine i prave površinske talase na njihovim bočnim stranama. Rezultat rasprostranjenosti površinskog talasanja koje se kreće većom brzinom nego same dine, jeste da prouzrokuje seriju malih, tek rođenih barhana tako što kida rogove velikih dina. Kompatibilni primeri nestabilnosti mogu se videti u južnom Maroku (Hersen et al., 2004). Po snimcima od 44 megabarhana na Zemlji, oko 72% su debeli ili bogati peskom barhani. Dine na Marsu su znajačno veće od dina na Zemlji. Najveći barhani u polarnom delu regiona Marsa, su samo neznatno veći od onih u Namibiji. Slično Namibiji, smatra se da postoji površinsko talasanje na nekim od ovih većih dina što prouzrokuje izgrađivanje

sekundarnih oblika i rađanje barhana iz disnih rogova (slika 37c). Međutim, generalno najveći barhani imaju ugalvnom jednostavnu ane komplikovanu morfologiju (Bourke i Balme,2008.). Claudin i ostali su predložili da je odsustvo kompleksnih i složenih morfologija na Marsu vezano za zakone koji važe za obe planete, s toga su te veće dine na Marsu ekvivalentne malim barhanima na Zemlji. Ono što još treba objasniti je pravidno odsustvo izolovanih srpastih megabarhana na Marsu. Za razliku od megabarhana na Zemlji, 92% najvećih barhana u severnom polarnom regionu Marsa su normalni i tanki.



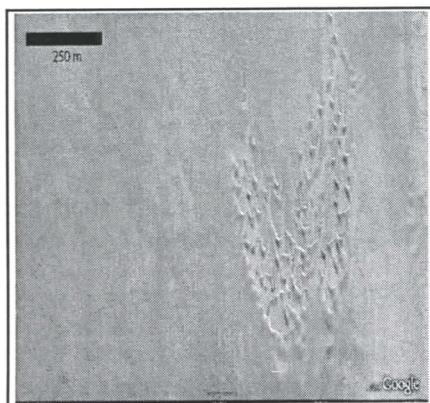
Slika 36. Nestabilni masivni barhani u Namibiji, odnos a/c je 0.99
Izvor: Google Earth and digital globe



Slika 37. Primeri najvećih barhana na Marsu a) veliki masivni barhan a/c=0.82
b) veliki normalni barhan a/c=0.56, c) tanak veliki barhan a/c=0.31
Izvor: : Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars*

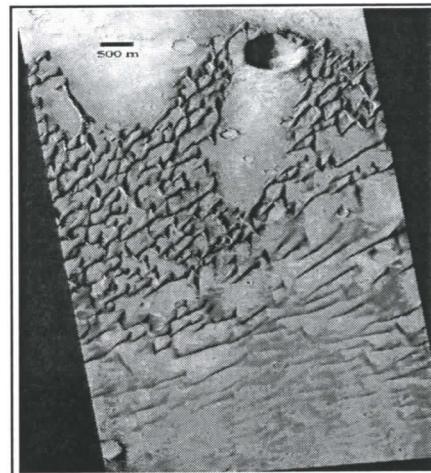
Klasični simetrični barhani: proto megabarhani

Vrlo izuzetan barhan je identifikovan u južnom delu Namibije slika 38. To je klasična barhanska forma koja zauzima odprilike 400 m u dužini i oko 700 m u širini a pretežno je sastavljena od grupe manjih barhana koji čine protomegarhan (Cooke et al., 1993.). Slična forma još nije detektovana na Marsu mada postoje primeri smanjenih i modifikovanih barhana koji mogu biti pod uticajem sličnih procesa (slika 39.). Ovi barhani zahtevaju dalje proučavanje.



Slika 38. Protomegarhan sačinjen od individualnih barhana u južnom Namibu

Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars*



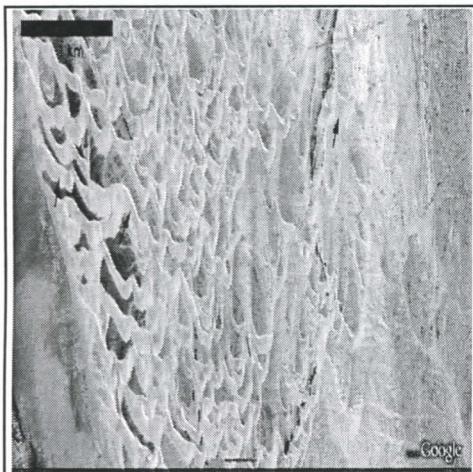
Slika 39. Barhanska dina na Marsu
Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars*

Barhanske dine koje se razvijaju u transverzalne dine

Postoje mnogi primeri klasičnih, individualnih barhana, u Namibu, koji se spajaju sa svojim najbližim susedima da bi se uz pomoć vetrova formirale transverzalne dine. Ovaj slučaj se može videti u sevrenoj Namibiji- Cunene Erg gde postoji prelaz od pojedinačnih barhana, čije je čestice vetar zahvatio i osiromašio na taj način oblasti megajardanga, ka gustoj mreži poprečnih dina koje se mogu videti nadomak Cunene River. Generalno se smatra da je pokretljivost peska vrlo važna i da će se sa većim protokom peska pojaviti pre transverzalne dine no individualni izolovani barhani.

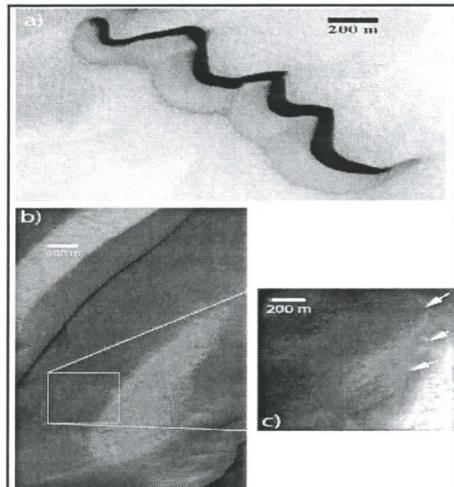
Na Marsu ima i morfoloških i stratogeografskih tragova koji govore o tome da se manji barhani bočno spajaju i tako formiraju transverzalne i barhanoidne grebene. Na slici 41.(a) vidi se jedan primer gde se četiri barhana stapaaju i obrazuju jedan barhanoidni greben. Slika 41. (b i c) prikazuje zaobljene slojeve visokog albeda otkrivene u podnožju jednog transverzalnog grebena na Marsu. Ti slojevi upućuju na to da je dati transverzalni

greben nastao stepenastim slaganjem bočno spojenih barhana. Njihov snažni albedo i izloženost eroziji veta govori da su se ti slojevi međusobno stopili.



Slika 40. Transverzna dina nastala bočnim spajanjem barhana u Namibu

Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars*



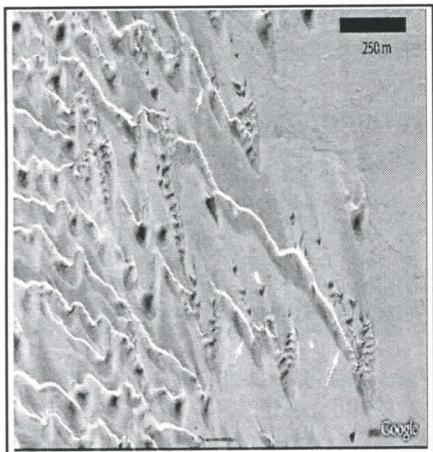
Slika 41. bočno spjanje Barhana na Marsu

Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars*

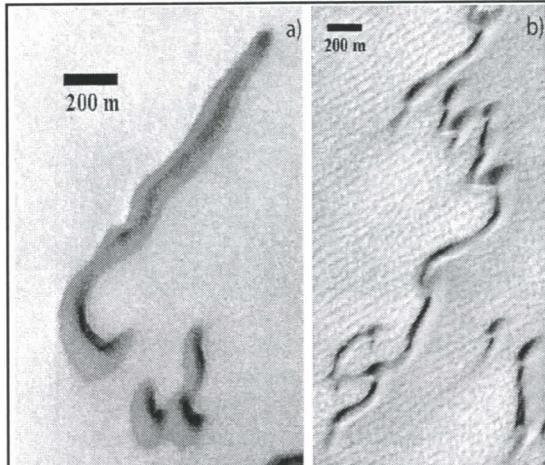
Prelazak barhana u linearne dine

Asimetričnost

Počevši od klasičnog modela Bagnold (1941) moguće je zapaziti da se pojedini jednostavni polumesečasti oblici deformišu i poprimaju linearni oblik onda kada zalaze u područja vetrova promenljivog pravca. Ovo je slučaj sa Namibijom naročito kada se ide prema istoku u pravcu grebena Great Escarpment i sve više udaljava od obalskog područja relativno slabog jednosmernog vetra. Nekoliko kilometara dugački linearni grebeni mogu nastat u smeru vetra iz prvobitnih barhana (slika 42.). Izgleda kao da se zapadni rogovi sve više izdužuju pod dejstvom vetrova koji duvaju sa jugoistoka. Lancaster (1982.) predpostavlja da je možda neujednačena količina sedimenata kao i blizina peščanog mora mogla uticati na nastanak ovakvih formi. Linearne dine takođe nastaju asimetričnim produživanjem barhanskih grana usled dejstva dvosmernih vetrova na Marsu slika 43 (a i b). Ovo upućuje na to da ovaj granasti izgled može da posluži kao pokazatelj odgovarajuće jačine šeme dvosmernih vetrova na Marsu. Dokazi o postojanju drugih mehanizama nastajanja asimetričnih produžetaka barhanskih grana kao što je na primer sudaranje dina, takođe su pronađeni na Marsu. (Bourke).



Slika 42. Nestabilni barhani koji se razvijaju u linearne dine, Namibija.
Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars*

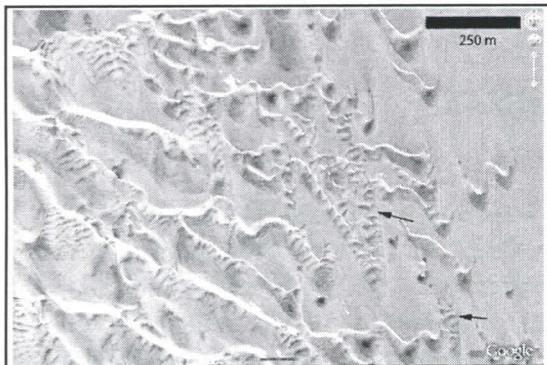


Slika 43. primeri asimetričnosti barhana na Marsu
Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars*

Barhanska jata i nebkhе

U Namibijskoj pustinji nalazi se nekoliko zanimljivih grebena linearnih dina koje izgleda formiraju jata barhana približno iste veličine. Ovaj način spajanja barhana Wang i drugi (2004) vide kao model formiranja složenih linearnih dina, ali do danas nije pronađen ni jedan takav primer na terenu. Jedan tip (slika 44.) nastaje nizvetar kao jedan nestabilan barhan, gde mali barhani nastaju tako što se grane sve više produžuju i šire. Ovaj sistem formiranja linearnih dina postoji i na Marsu (slika 45.) i taj model obuhvata sudar kupola kao i barhana (Bourke 2006.). Jedan problem koji je neophodno razrešiti jeste određivanje do koje mere barhanska jata predstavljaju sam završetak linearnih dina odnosno u kojoj meri su oni posledice raspadanja linearnih dina (Parteli i Herrmann, 2007.). Vrlo je moguće da se na Marsu dešavaju oba ova scenarija.

Drugi model izgleda da nastaje duvanjem veta u smeru niz veća polja nebkhе (slika 46.) Izgleda da ovaj tip nastaje od peska nagomilanog oko žbunova a ne uobičajenim načinom postepenog nastajanja iz neusidrenih gomila peska. U Namibiji nisu pronađeni nikakvi primeri transformacija barhana u vidu paraboličnih dina pod uticajem vegetacije (Duran i ostali 2005.).



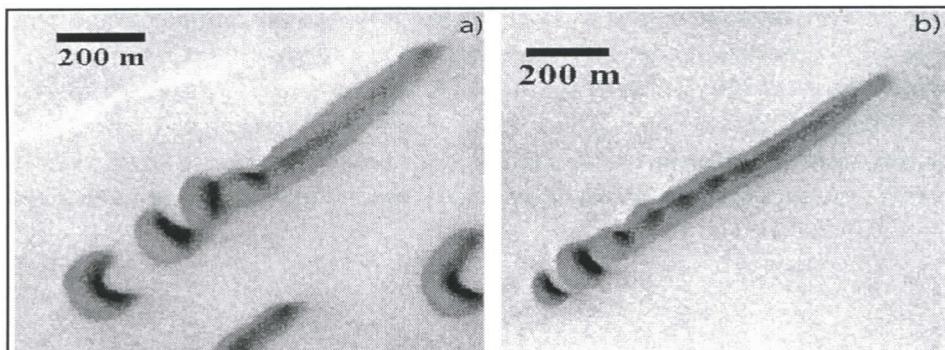
Slika 44. Barhanski niz koji formira linearnu dinu

Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S.
Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib
Desert and on Mars*



Slika 46. Konvoj proto-barhana formiranih na
poljima nebke

Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S.
Goudie, *Varieties of barchan form in the
Namib Desert and on Mars*



Slika 45. Formiranje linearnih dina na Marsu sudarom barhana i kupola

Izvor: Mary C. Bourke , Andrew S. Goudie, *Varieties of barchan form in the Namib
Desert and on Mars*

Zaključak

Mnogobrojne informacije su potrebne da bi se složila geološka slagalica Marsa. Da bi se razumeli geološki procesi na Marsu neophodno je početi sa izučavanjem sličnih procesa na Zemlji. Ti procesi, koji se odvijaju na Zemlji se mogu pratiti skoro izbliza sa velikom preciznošću. Kako tehnologija napreduje kvalitet slika i rezolucija se poboljšavaju i na taj način obezbeđuju više pojedinosti i detalja vezanih za Marsovu površinu. S obzirom na više hiljada snimaka Marsove površine, detaljnija proučavanja njegovog reljefa tek predstoje i trajaće godinama. Najnovija istraživanja pomoći kosmičkim letelicama će doneti nove rezultate i omogućiti detaljnije tumačenje morfogeneze reljefa Marsa. Buduće misije će slati veći broj rovera da bi obezbedile što bolje razumevanje i praćenje promena eolskih i ostalih procesa na Marsovoj površini.

Dosadašnji rad naučnika je jasno pokazao da ima dosta sličnosti između eolskih oblika reljefa na Zemlji i na Marsu. Ono što je jasno jeste da su široko rasprostanjeni eolski oblici reljefa na Marsu i da u svojim razmerama premašuju iste oblike na Zemlji. Najveće forme na Marsu su dine i barhani, koje su vrlo različite i kompleksnije tvorevine nego što se pretpostavljalio. Među faktorima kojima se mogu objasniti ove raznolikosti jesu različite brzine i smer duvanja vetra, zastupljenost peska, karakteristike peščanih zrna i interakcija dina međusobno. Da bi se dalje napredovalo u ovom izučavanju peščanih tvorevina neophodno je u budućnosti pravljenje različitih modela, koji bi ukazali na raznolikost dinskih tvorevina. Ovo je esencijalno ukoliko se dinske forme budu uzimale kao osnova za dalja proučavanja površinskih peščanih tvorevina na Marsu.

Literatura

1. Dr Dragutin Petrović, Dr Predrag Manojlović „Geomorfologija” Beograd 1997.godine
2. Vladis Vučnović „Astronomija” Školska knjiga, Zagreb, 2005.godine
3. Srpsko geografsko društvo „GLOBUS” Beograd,1998.godine
- Korisćeni podaci sa interneta:
 4. www.uapress.arizona.edu/onlinebks/mars/chap04.htm
 5. www.nasa.gov/worldbook/mars_worldbook.html
 6. www.lukew.com/marsgeo/aeolian5.html
 - 7.www.astronomija.co.rs
 8. Ms. Deithra L. Archie, “Aeolian Processes and Landforms” New Mexico State University
 9. Michael H. Carr , James W. „Geologic history of Mars” Earth and Planetary Science Letters, 26.june 2009.
 10. Mary C. Bourke, Andrew S. Goudie, “Varieties of barchan form in the Namib Desert and on Mars” Aeolian Research, 26.may 2009.

Kratka biografija



Ivana Mezei rođena je 27.09.1984. godine u Zrenjaninu. Posle završene osnovne škole upisala gimnaziju "Zrenjaninska Gimnazija" u Zrenjaninu. Po završetku gimnazije, školovanje nastavila u Novom Sadu na Prirodno – matematičkom fakultetu na odseku za fiziku, smer astronomija sa astrofizikom.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Tip zapisa:

TZ

Vrsta rada:

VR

Autor:

AU

Mentor:

MN

Naslov rada:

NR

Jezik publikacije:

JP

Jezik izvoda:

JI

Zemlja publikovanja:

ZP

Uže geografsko područje:

UGP

Godina:

GO

Izdavač:

IZ

Mesto i adresa:

MA

Fizički opis rada:

FO

Naučna oblast:

NO

Naučna disciplina:

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

UDK

Čuva se:

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ

Monografska dokumentacija

Tekstualni štampani materijal

Diplomski rad

Ivana Mezei

dr Slobodan Marković

Eolski oblici reljefa na Marsu

srpski (latinica)

srpski/engleski

Srbija

Vojvodina

7.07.2010.

Autorski reprint

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

4/43/46/10/1

Fizika

Planetologija

Eolski procesi, dine

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

nema

Mars je po svojim geomorfološkim karakteristikama vrlo sličan planeti Zemlji. U reljefu Marsa se zapažaju oblici tektonskog reljefa koji su slični oblicima tektonskog reljefa na Zemlji. Najjače morfološke agense u današnjem

reljefu Marsa je predstavljaju eolske sile.

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

Datum odbrane:

7.07.2010.

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

dr Imre Gut, vanredni profesor PMF, Novi Sad

član:

dr Slobodan Marković, venredni profesor PMF, Novi Sad, mentor

član:

dr Milan Pantić, vanredni profesor PMF, Novi Sad, mentor

član:

dr Milica Pavkov-Hrvojević, vanredni profesor PMF, Novi Sad

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Type of record:

TR

Content code:

CC

Author:

AU

Mentor/comentor:

MN

Title:

TI

Language of text:

LT

Language of abstract:

LA

Country of publication:

CP

Locality of publication:

LP

Publication year:

PY

Publisher:

PU

Publication place:

PP

4/43/46/10/1

Physical description:

PD

Scientific field:

Physics

SF

Scientific discipline:

Planetology

SD

Subject/ Key words:

Aeolian Processes, dynes

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

none

N

Abstract:

Mars for its geomorphological characteristics very similar to the planet Earth. The landscape of Mars is observed tectonic forms of relief similar to relief tectonic forms on Earth. Morphological powerful agents in today's landscape of Mars is the aeolis force .

AB

Diplomski rad

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on: 7.07.2010.

DE

Thesis defend board:

DB

President: Imre Gut Ph. D., associated professor, "Faculty of Natural Sciences – Department of Physics", Novi Sad

Member: Slobodan Marković, Ph. D., associated professor, "Faculty of Natural Sciences – Department of Geography", Novi Sad, supervisor

Member: Milan Pantić, Ph. D., associated professor, "Faculty of Natural Sciences – Department of Physics", Novi Sad, supervisor

Member: Milca Pavkov – Hrvojević, assistant professor " " Faculty of Natural Sciences – Department of Physics ", Novi Sad

