

# Areomorfometriai vizsgálatok a Nanedi Valles körzetében

---

**Tudományos Diákköri Dolgozat**

Készítette:

**Balint Zita**

ELTE-TTK földtudomány BSc, csillagász szakirány

Témavezető:

**Dr. Székely Balázs**

egyetemi docens



ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék

**Budapest**

**2012**

## 1.Tartalomjegyzék

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 2. Bevezetés.....                                  | 3  |
| 3. A Mars .....                                    | 5  |
| 3.1. A Mars topográfiája.....                      | 5  |
| 3.2. Mars-kutatás fontos kérdései.....             | 7  |
| 3.3. Jelenleg is aktív Mars-kutató űrszondák ..... | 9  |
| 3.4. A HRSC működési elve .....                    | 11 |
| 4. A Nanedi Valles.....                            | 14 |
| 5.Módszertan .....                                 | 17 |
| 5.2. A program rövid leírása .....                 | 17 |
| 5.1. A program működési elve.....                  | 18 |
| 5.4. A lejtőszög-hisztogramok elemzése .....       | 21 |
| 5.5. Színezés alkalmazása a teljes területre ..... | 32 |
| 5.6. A lejtőszög-hisztogramok osztályozása .....   | 33 |
| 6. Eredmények diszkussziója .....                  | 35 |
| 7. Köszönetnyilvánítás.....                        | 37 |
| 8. Irodalomjegyzék .....                           | 38 |
| 9. Melléklet.....                                  | 41 |

## 2. Bevezetés

A Föld után a rendelkezésre álló adatokat tekintve a Mars a legismertebb bolygó. Már akkor is sok ismeretet szereztek róla, amikor a csillagászok még klasszikus csillagászati eszközökkel vizsgálták a vörös bolygót. Mivel a Mars megfigyelésének eredményei a Földdel való hasonlóságot mutattak, nem szűnt meg a bolygó iránti érdeklődés. Ma már a tudomány és technika fejlődésének köszönhetően űrszondák segítségével vizsgáljuk a Mars felszínét, ezáltal részletes képet kapunk a felszín morfológiájáról.

Dolgozatomban egy marsi völgyrendszerről, a Nanedi Vallesről és környékéről írok. A völgyrendszer keletkezése mai napig vita tárgyát képezi. Ahhoz, hogy megalkossunk egy elméletet a keletkezéséről, meg kell ismernünk, elemeznünk kell a terület morfológiáját. Erre alkalmas vizsgálati módszer lehet az- ún. geomorfometria, a felszín kvantitatív elemzése, mely tudományágat a Mars esetében areomorfometriának nevezik (a Mars Árész elnevezéséből). Egyik módszere a lejtőszög-hisztogramok osztályozása, a dolgozatomban ennek előrevetítésére RGB (Red, Green, Blue) színezést alkalmazok. A hisztogramok könnyebb kezelhetősége érdekében készítettem egy programot, amivel a színezést is megvalósítottam. A programmal további célom a hisztogramok osztályozásának megvalósítása. Az osztályozás célja, hogy különböző kategóriákba soroljuk a lejtőszög-hisztogramokat. A különböző osztályokat színezés segítségével jelenítjük meg.

Célom egy olyan térkép elkészítése, amin további vizsgálatok elvégzése után, képet kapunk a völgy és környezete morfológiai jellegzetességeiről, areomorfometriai szempontból hasonlóan viselkedő zónáiról. Ezen információk birtokában megérthetjük, milyen folyamatok alakították ki és formálták a völgyet és környékét. A kapott térképet összevetjük a földtani térképpel is, ha az elkészült (készítése jelenleg is folyamatban van (USGS, 2012)).

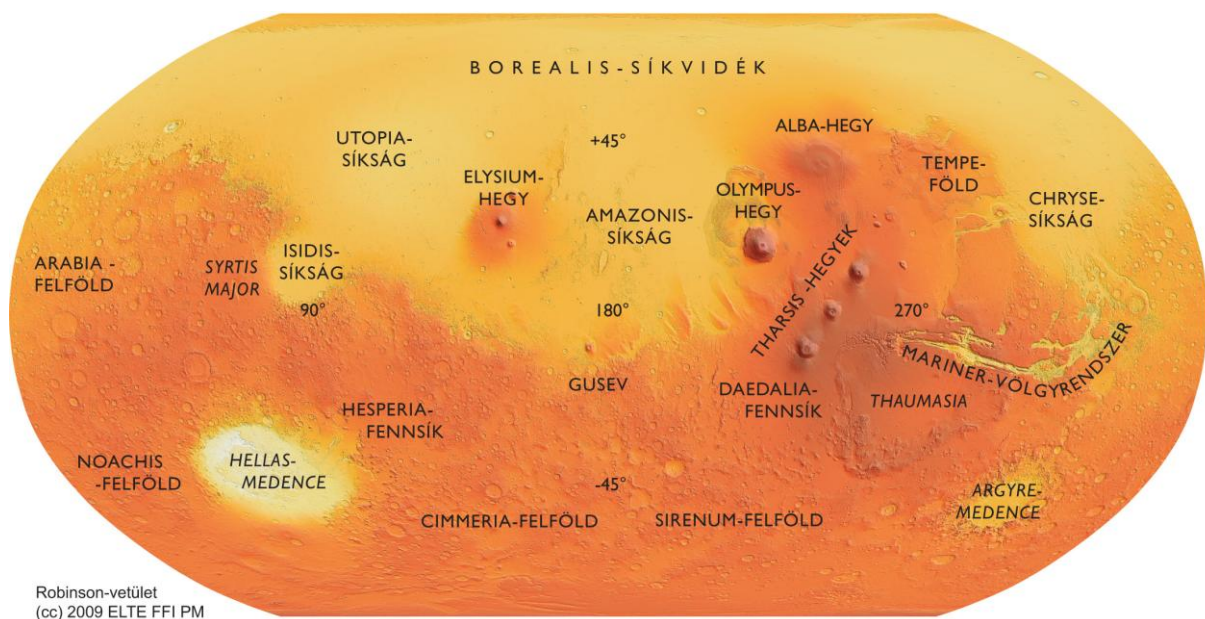
Hosszú távú célom több különböző módszer segítségével elvégezni az osztályozást, mert az osztályozások eredményei összehasonlításával még pontosabb képet alkothatunk a vizsgált területről.

### 3. A Mars

A Mars a Naprendszer negyedik bolygója, a kőzetbolygók közül a legtávolabbi a Naptól. Nevét a római Mars hadisten után kapta. Méretét tekintve körülbelül feleakkora, mint a Föld, átmérője pedig 6780 km (Dinwiddie és Ridpath, 2005). Átlagos távolsága Naptól, 227,9 millió km. Kis méretének köszönhetően gyorsabban hűlt le, mint bolygónk. Légköre igen ritka, főleg szén-dioxidból áll, felszíni átlagos légnyomása 6 millibar. A Mars hideg bolygó, átlagos hőmérséklete  $-63^{\circ}\text{C}$ . A Marsról való ismereteinket a távcsöves megfigyeléseken túl a különféle – keringő vagy leszállóegységekből álló – űrmissziók eredményei szolgáltatják. Jelenleg is van három mesterséges holdként keringő egység marskörüli pályán: a Mars Odyssey (NASA), a Mars Express (ESA) és a Mars Reconnaissance Orbiter (NASA), emellett pedig még egy aktív marsjáró, ún. *rover* is tartózkodik a Mars felszínén, az Opportunity, amely közvetlenül tudja vizsgálni a felszínt.

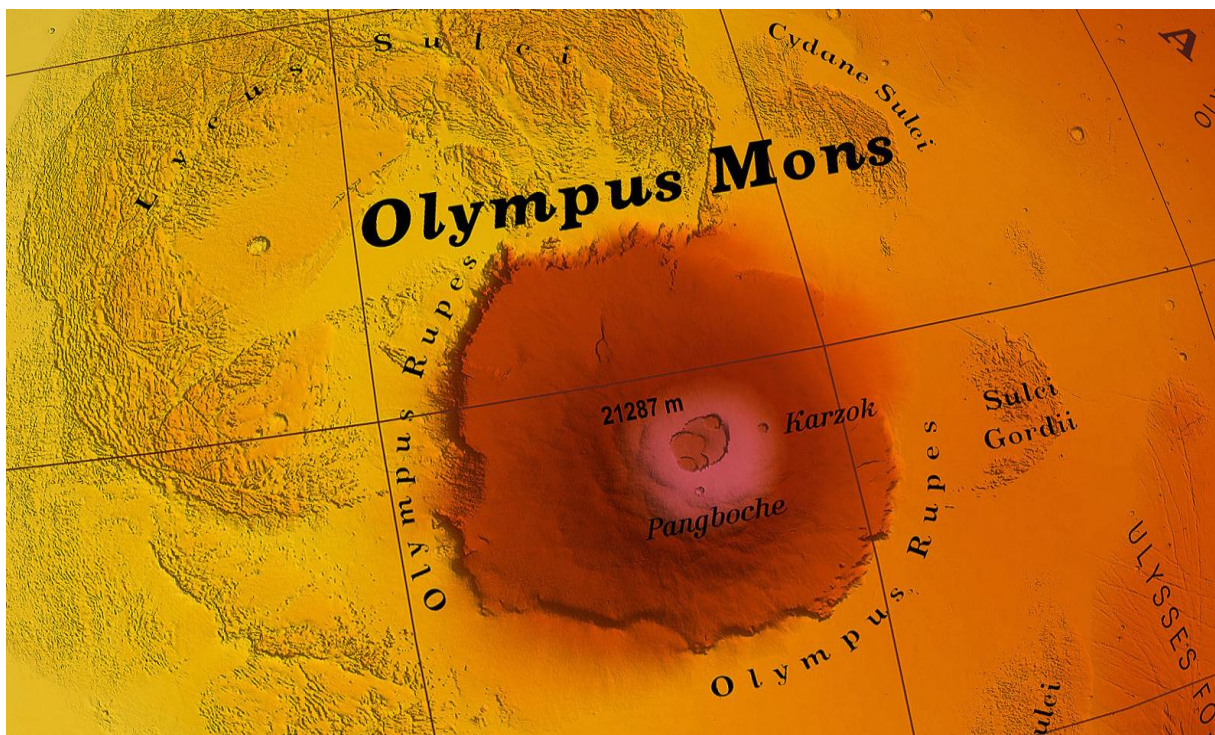
#### 3.1. A Mars topográfiája

A marsi tájak rozsdavörös színét a magas vastartalom magyarázza, amit a Viking-mérések igazolnak. A Mars felszínét változatos és izgalmas alakzatok borítják (1.ábra).



1. ábra: A Mars topográfiai térképe. Forrás: Hargitai, 2009a

Felületét két különböző arculatú és származású féltekére oszthatjuk. A déli félgömb erősen kráterezett ősi felszín. A Marson található kráterek tulajdonságai alapvetően megegyeznek a holdi és merkúri kráterekével. Bár a marsi kráterek erodáltabb formák benyomását keltik a Viking által szolgáltatott képeken sok kisméretű friss kráter is látszik, ami arra utal, hogy az elmúlt 2 milliárd évben csekély eróziós hatás volt a Marson (Gábris et al. 1998). Ezzel szemben a vulkanikus eredetű északi félgömb összefüggő lávával borított síkvidék ezért kráttersűrűsége jóval kisebb, ami a felszín relatív fiatalságára utal. Itt található a pajzsvulkánok is és a nagyméretű töréses hasadékok is (például a Valles Marineris, melyet több mint 4000 km hosszú, helyenként 700 km széles és átlagosan 8 km mély völgyek rendszere alkot (Dinwiddie és Ridpath, 2005)). Itt található például a Naprendszer legnagyobb vulkánja az Olympus Mons, mely egy 24 km magas, 648 km átmérőjű pajzsvulkán a Tharsis Régióban (2. ábra). A tűzhányók nagy tömege vastag kéregre utal.



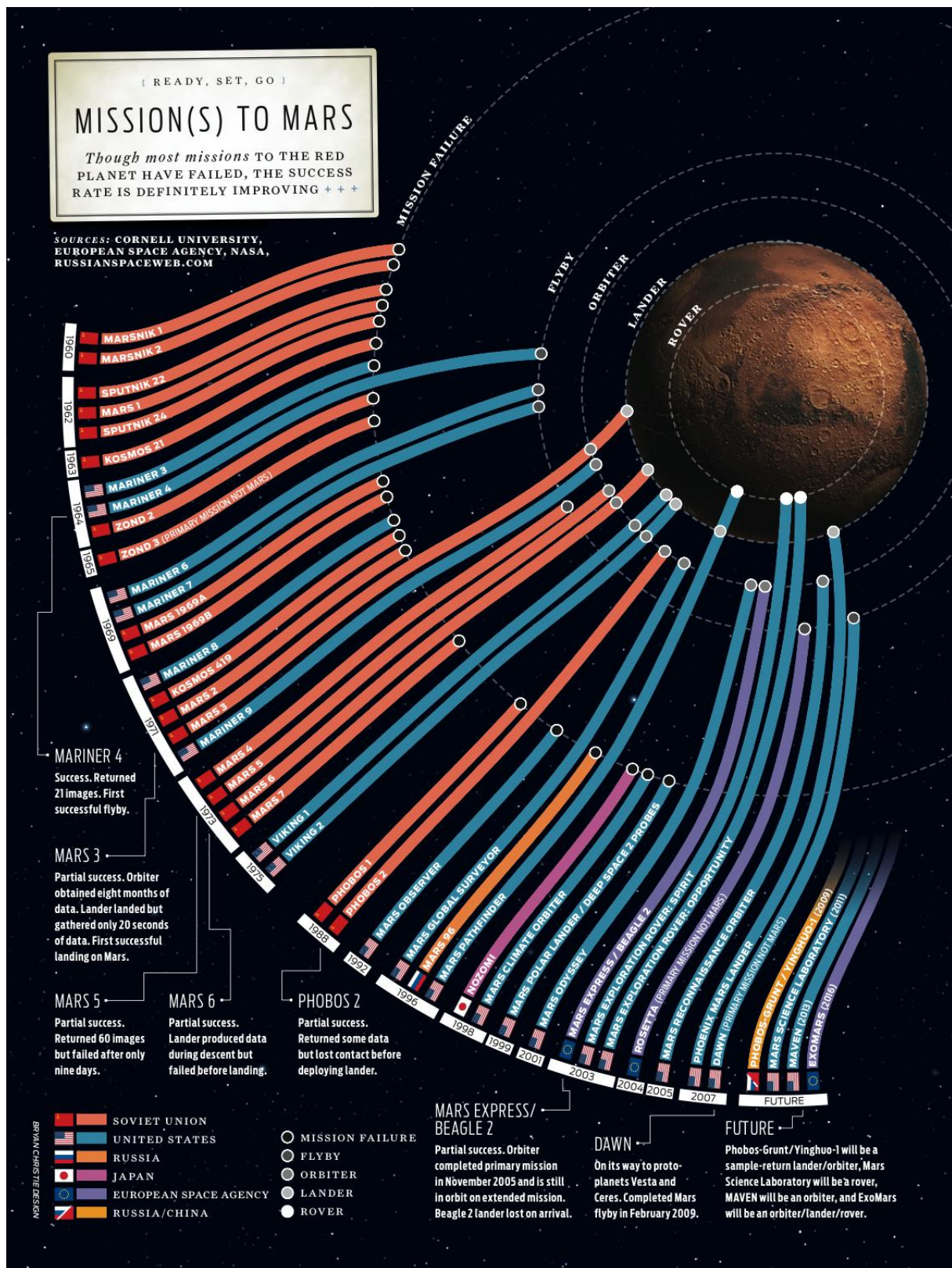
2. ábra: Az Olympus Mons térképi nézete. Forrás: Hargitai, 2009b

A nagyfelbontású képeken ezres nagyságrendben láthatóak a 10–1000 km hosszú meder- vagy völgyszerű formák. Kialakulásuk ma már bizonyosra vehetően folyékony

víznek köszönhető. Ennek alátámasztásául szolgál, hogy a magasabban fekvő területekről a mélyebbek felé tartanak. Sok helyen látható, hogy a medrek átmetszenek a krátereket, de olyan helyek is vannak, ahol a kráter az eróziós folyamat után keletkezett. Egyes völgyek olyan benyomást keltenek, hogy ott nagytömegű, rövid idő alatt lezúduló áradat vonult végig (Gábris et al., 1998). A fent említett két felszíntípus mellett, meg kell említeni a sarki területeket is, melyeket 100 méteres nagyságrendű vastag állandó vízjég-takarók borítanak (északi féltekén 1000, déli féltekén 350 km átmérőjű). Az északi pólus környékén érdekes spirális szerkezetű gleccsornyelvek találhatók (Gábris et al., 1998).

### **3.2. Mars-kutatás fontos kérdései**

A Hold után a Mars a legismertebb szilárd felszínű égitest. Ez többek között közelségének köszönhető. Az első közeli képeket a vörös bolygóról a Mariner-4 szolgáltatta 1964-től. Nagy sikert arattak a Viking űrszondák az 1970-es években, melyeknek leszálló egységei több éven átvizsgálták a felszínt. Az említetteken kívül még sok más küldetést szerveztek melyek nagy része sikeres volt (3. ábra). Ezeknek a keringő- és leszálló egységeknek köszönhetjük azokat az információkat, melyeket a távcsöves megfigyelések nem képesek biztosítani számunkra.



3. ábra: Mars küldetések (1960–2007) Forrás: Bryan, 2009

A Marson sikerült először olyan jelenségeket megfigyelni, melyek emlékeztetnek a Földön végbemenő folyamatokra. A legtöbbször szóba kerülő kérdés a Mars-kutatással kapcsolatban, hogy van-e élet a Marson. Bár a kutatásokat többnyire űrszondák végzik, mégis a legnagyobb mellette szóló bizonyíték az Antarktison talált Marsról származó meteorit, melybe baktériumokhoz hasonlító fosszíliákat találtak (Redd, 2012). De nem ez az egyetlen oka a vörös bolygó kutatásának. A kialakulásának és a szerkezeti felépítésének kutatása ugyanolyan fontos és érdekes, mint a bolygót alkotó kőzetek, ásványok meghatározása, vagy a felszíni formák megismerése és kialakulásuk vizsgálata. A jelen dolgozat szempontjából a felszínalakító folyamatok közül az egykori folyóvízi jellegű erózió kérdése a legfontosabb, de nagy jelentőséggel bírnak a belső erők folyamatai is, esetlegesen a tektonikai jelenségek, illetve a glaciális hatások.

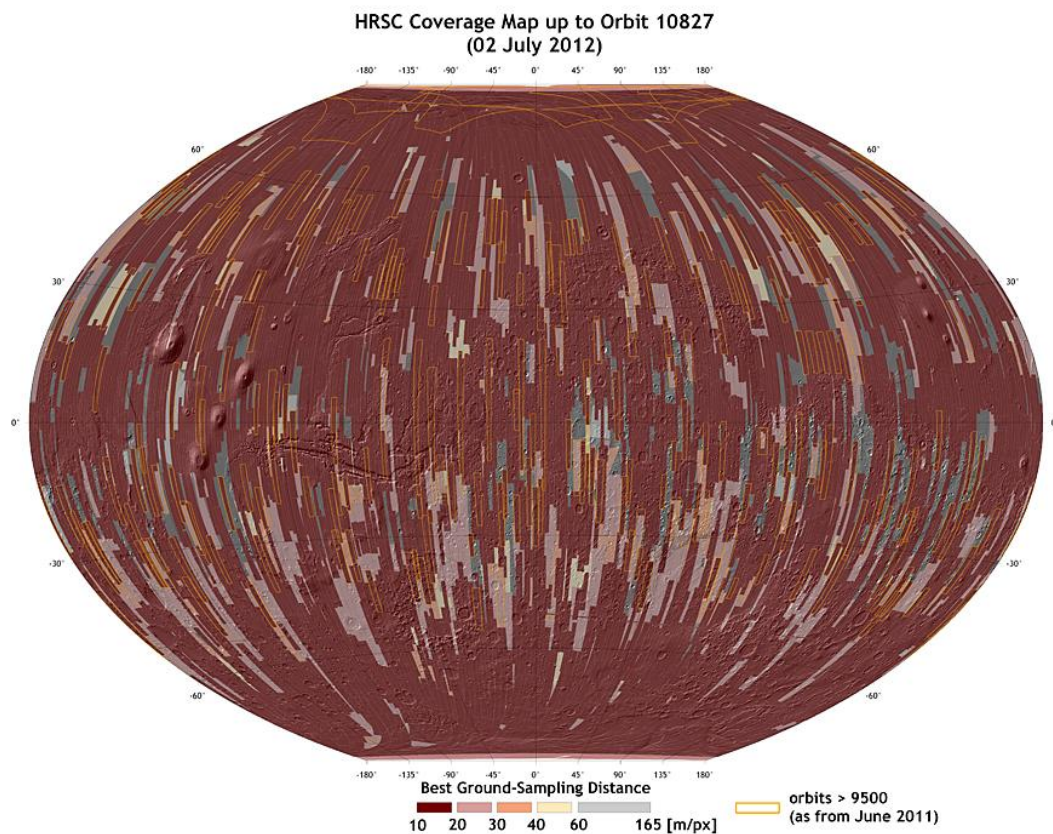
### **3.3. Jelenleg is aktív Mars-kutató űrszondák**

A Mars Odyssey-t a NASA küldte a Marsra 2001-ben. Legnagyobb felfedezése az volt, hogy nagy mennyiségű hidrogént talált a Marson. A küldetésének harmadik évétől kommunikációs közvetítőként működik a leszálló egységek és a Föld között (Webster és Brown, 2010).

2005-ben lőtték fel, szintén a NASA által küldött, Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) űrszondát. Fő feladata nagy felbontású képek készítése a Mars felszínéről és leszállásra alkalmas helyek keresése (Wikipedia, 2012).

Az amerikai Mars Exploration Rover egyik robotja az Opportunity, mely 2004-ben szállt le a Mars felszínére. Bár a marsjáró élettartamát 90 napra tervezték, és fő küldetését elvégezte, még mindig működőképes és folyamatosan szolgáltatja az új adatokat. A robot sikeresen igazolta, hogy a folyékony víz szerepet játszott a vörös bolygó felszíni fejlődésében (Webster és Savage, 2004).

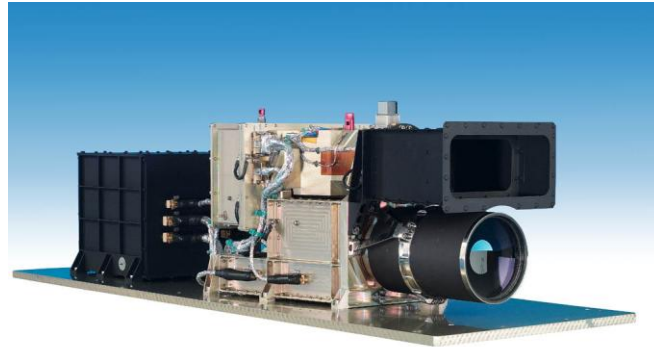
A Mars Express az első európai Mars-kutató űrszonda, melyet az ESA 2003-ban küldött a vörös bolygóhoz. A műholdra felszerelt műszerek segítségével különböző vizsgálatokat végeztek, például a felszín alatti rétegek, a felső légkör valamint a felszín és légkör összetételének tanulmányozását, valamint a gravitációs tér változásaiból a bolygó belsejének tanulmányozása. Továbbá a Mars Express-re szerelt HRSC (High Resolution Stereo Camera) nagy felbontású színes képeket készít a felszínről, ezek alapján készítik el a felszíni térképeket. A HRSC kamera segítségével a Mars felszínének jelentős részét sikerült leképezni, az egy keringés alatt egyszerre felvett általában elnyúlt területeket orbit-nak nevezzük (4. ábra). Az általam vizsgált terület, ami a Nanedi Valles és körzetét fedi le a h0905-ös orbit.



4. ábra: A Marsot lefedő orbitok 2012. július 2-ig. Forrás: Freie Universität Berlin, 2012a

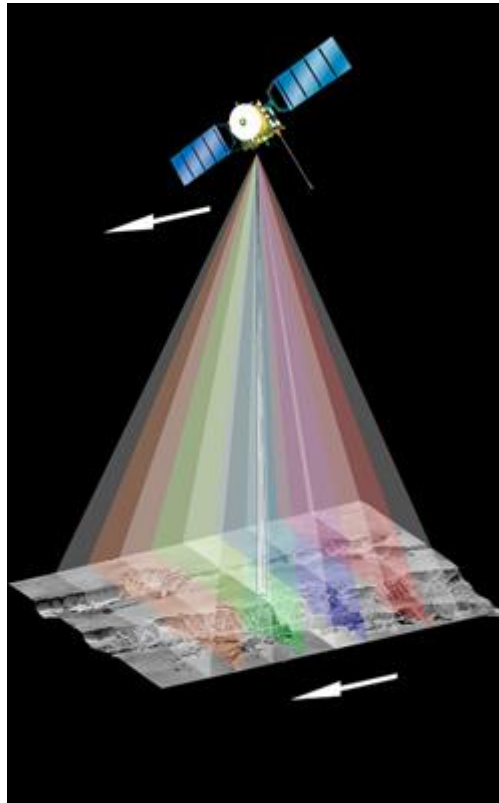
### 3.4. A HRSC működési elve

A Mars Expressre különböző kutatásokhoz szükséges eszközt szereltek, többek között a HRSC-t, mely nem más, mint egy nagy felbontású színes sztereokamera (5. ábra). Két komponensből áll: egy kamera-egységből és egy digitális egységből.



5. ábra: A HRSC műszer. Forrás: ESA, 2012a

A HRSC kilenc párhuzamosan rögzített CCD (Charge Coupled Device) érzékelője egyidejűleg rögzíti az adatokat, és ez által egyidejűleg biztosít nagy felbontású sztereó, többszínű, és többfázisú képet a Mars felszínéről. A kép készítése azon elven alapul, hogy a kamera egység egy vonal mentén észleli a felszínt. A kilenc lineáris CCD elrendezés kilenc különböző frekvencia tartományban készít képeket egyidejűleg (6. ábra).



6. ábra: A HRSC működési elve. Forrás: Freie Universität Berlin, 2012b

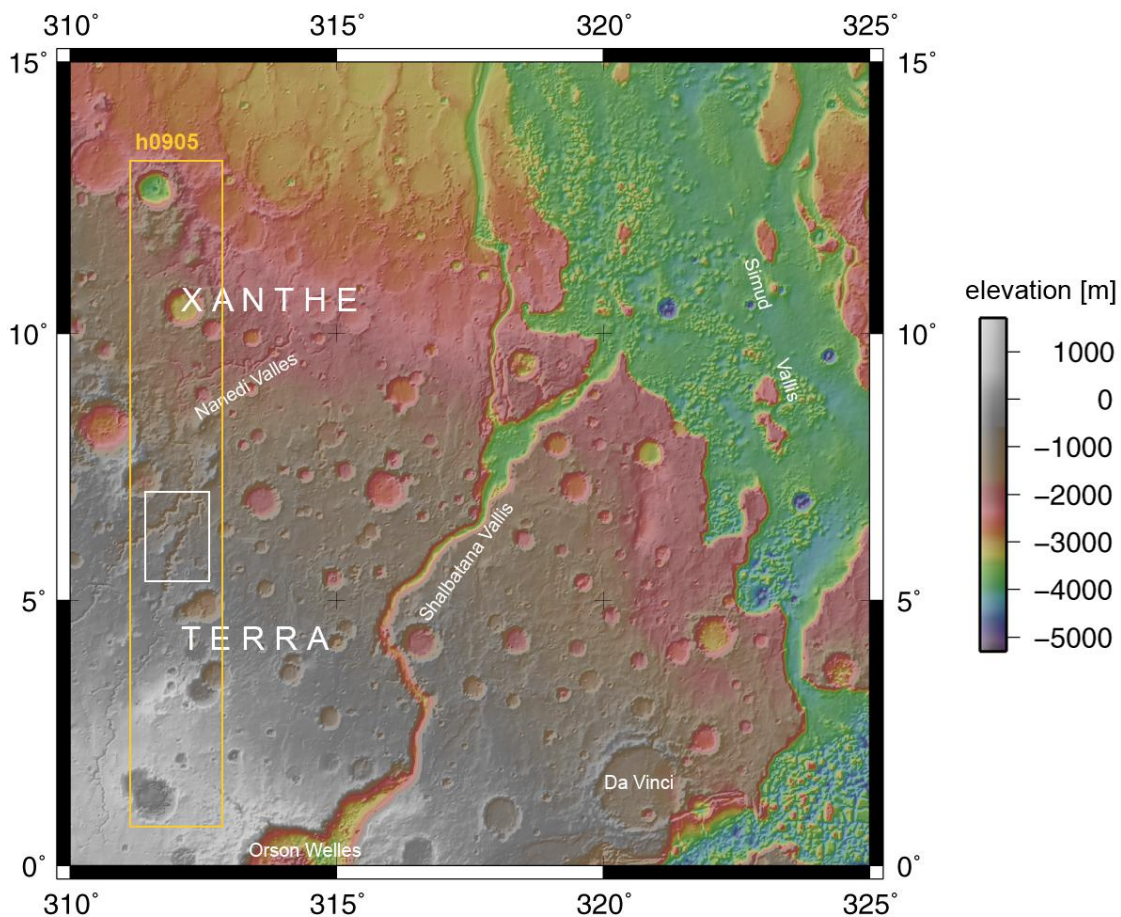
A háromdimenziós képek a lefelé, hátrafelé és előre felvett felvételekből készülnek. Ismerve a kamera pontos térbeli helyzetét a kép készítése pillanatában, meghatározhatók a képen lévő objektumok pontos térbeli elhelyezkedése. A HRSC-be beágyazott kiegészítő SRC (Super Resolution Channel) ötször nagyobb felbontású képet biztosít. Az SRC optikai rendszer egy Matsukov-Cassegrain teleszkóp 972 mm gyújtóponttal, úgy elhelyezve, hogy tengelye párhuzamos a HRSC kamerafej optikai tengelyével. Az SRC szenzor egy 1024x1032 darabos 9 mikronos pixelből álló CCD, ami 250 km-en repülő űreszköz esetén, a talajon 2,3 méteres négyzetes pixelnek felel meg. Az SRC szenzor sztereó képalkotását két irányban vezérelt (előre-, +18,9° illetve hátratekintő, -18,9°) vonalérzékelők végzik, amelyek által 675±90 nm spektrális intervallum érhető el. Ez a technológia lehetővé teszi számunkra, hogy a nagy felbontású képekből lehetőleg minél pontosabb digitális domborzatmodellt készítsünk. Mind a kilenc lineáris CCD elrendezés 5184 db 7 négyzetmikronos pixelből áll, aminek a felszínen egy 250 km-es magasságban repülő űreszköz esetén 10 m-es négyzetes pixel felel meg, tehát a HRSC felbontása 10 méter/pixel. A multi-spektrális

képkészítés négy színtartomány (kék  $440\pm 45$  nm, zöld  $530\pm 45$  nm, vörös  $750\pm 20$  nm, közeli infravörös  $970\pm 45$  nm) használata segítségével hajtódik végre (European Space Agency, 2012). Az általam vizsgált terület, a Nanedi Valles körzetéről készült kép 18 méter/pixel felbontású (Freie Universität Berlin, 2012). A sztereo képekből a domborzati modellt fotogrammetriai eljárással számolták ki. A domborzati modell 50 méteres felbontású. A DTM-ből (digitális domborzat modell) készült a lejtőszög-kép, amiből a lejtőszög-hisztogramokat OPALS-szal számította ki Kovács Gábor.

## 4. A Nanedi Valles

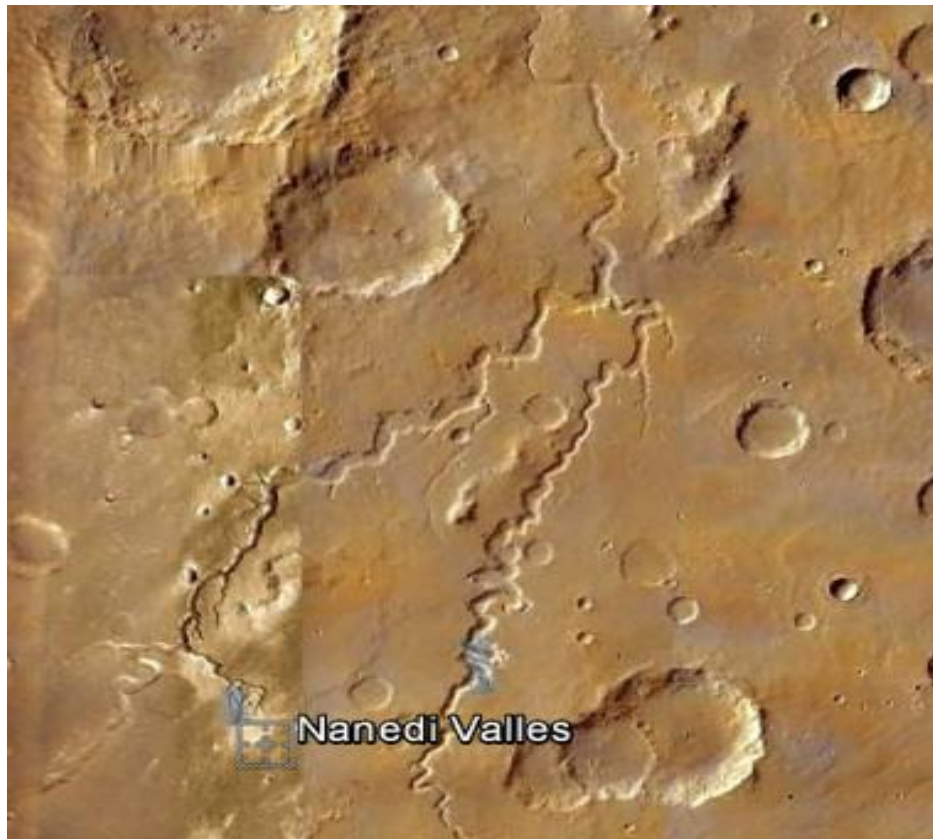
Kutatási területem a Nanedi Valles és környezete. A vallis (többes számban valles) jelentése völgy, mélyedés. A Mars esetében azért nem használjuk a Földön használt elnevezéseket, mert a Nemzetközi Csillagászati Unió bolygófelszíni nevekkal foglalkozó munkacsoportjának alapelve szerint az idegen égitestek helyneveit latinos formában kell írni (Hargitai et al., 2010). Ez azért fontos, mert az idegen bolygókon, például a Marson található felszíni formakincsek nem minden esetben feleltethetők meg a Föld felszínén találhatókka, mivel azok kialakulása eltérhet egymástól, illetve az idegen bolygó esetén, nem mindig tudjuk biztosan, hogy milyen folyamat hatására alakultak ki.

A Nanedi Valles egy DNy-ÉK-i orientációjú, körülbelül 800 km-es völgyrendszer a sűrűn kráterezett Xanthe Terra régióban (7. ábra).



**7. ábra:** Naxos Vallis (a kutatási területem sárga téglalappal jelölve) és térsége. Forrás: European Space Agency, 2012b

Szélessége 0,8–5 km-ig terjed, mélysége átlagosan 0,5 km a környező területekhez képest. Relatív lapos aljzatú, meredek falú, meanderező völgy, mely két ága északi irányban egyesül (8. ábra; Neukum, 2012). A völgyrendszer viszonylag lapos, alacsony reliefű területen fekszik. Különböző méretű áradások jelei figyelhetők meg a völgyben (Dinwiddie R. és Ridpath I., 2005). Egyes helyeken jól megfigyelhető a teraszképződés is, valamint kis vízfolyás nyoma a csatorna középpontjában (Dinwiddie R. és Ridpath I., 2005). A vizsgált képet a völgyről a Mars Express HRSC kamerája szolgáltatotta (h0905-ös orbit).



8. ábra: A Nanedi Valles képe. Forrás: Google Mars, 2012

A Nanedi Valles árkos rendszereinek kialakulásáról máig folynak a viták. Egyes kutatók szerint (Freie Universität Berlin, 2012) a talajvíz kiáramlása által okozott erózióról van szó, míg mások szerint a jégtakaró alatti folyadék-áramlásról vagy a felület beomlása és a vízáramlás együttes hatása alakította ki a völgyet. Míg a vita folyik, valószínűbbnek tűnik, hogy a völgy kialakulása egy rövid folyamatos áradatnak köszönhető (Freie Universität Berlin, 2012).

## 5. Módszertan

Lejtőszög-hisztogramot először Favalli et al. (1999) mutatott be az Etnára, utána Székely et al. 2002 a Keleti-Alpok domborzati modelljéből már lepusztulás történeti következtetéseket vont le ISOCLASS osztályozást használva. Ezt követően Korzikát is vizsgálták (Székely et al. 2004). A TMIS.morph és TMIS.morph2 projektekben Székely és Podobnikar (2009) már vizsgálta ISOCLASS osztályozással a Nanedi Vallést is. Legutóbb e technikát alkalmazták nagyobb területre a TMIS.ascrea projektben (Székely, szóbeli közlés).

A Bécsi Műszaki Egyetem Fotogrammetriai és Távérzékelési Intézetének (IPF) Topographic Mars Information System – Automatic Selection, Categorization and Recognition of Areomorphic Features (TMIS.ascrea) projekt keretein belül szerepelt a lejtőszög-hisztogramok kiszámolása, 4×4 km-es ablakra, OPALS szoftverrel. Az IPF biztosította számomra az elemzésre szánt adatokat (ASCII szöveges táblázatban megadott lejtőszög-hisztogramokat), melyeket Kovács Gábor készített elő az OPALS segítségével. Ezeket az adatokat dolgoztam fel egy általam készített programmal. A marsi lejtőszög-hisztogramok megjelenítése és elemzése céljából a National Instruments LabView 2011-es változatával írtam egy programot. A program előnye, hogy interaktív módon jeleníthető meg a több mint 83000 hisztogram. A szoftver a vizualizációhoz betölti a lejtőhisztogramokat és a terület georeferált háttérképét, így a felhasználónak lehetősége van mutatóeszköz segítségével a kívánt lejtőhisztogram grafikus megjelenítésére.

### 5.1. A program rövid leírása

Az általam készített program elsődleges célja a marsi lejtőszög-hisztogramok feldolgozása, de természetesen alkalmazható más területeken is, ha a lejtőszög-hisztogramokat előzetesen elkészítjük vagy készen megkapjuk. A programot úgy

készítettem, hogy az átlagos Windows-felhasználók számára is könnyen érthető kezelőfelülettel rendelkezzen.

A program hasznosítási lehetőségei:

- Készen kapott lejtőszög-hisztogramok megjelenítése
- Valamely (a példában a 0905-ös) orbit képének vagy DTM-jének megjelenítése, marsi koordináták ráillesztése és annak megjelenítése
- Kijelölt koordinátához tartozó lejtőszög-hisztogram megjelenítése
- Azon területek megjelenítése, melyekhez tartozó hisztogramok ferdesége adott intervallumon belül esik
- A módusz amplitúdójához, az eloszlás ferdeséghez és szóráshoz színintenzitás hozzárendelése és ezeknek megjelenítése a teljes területen és ezek tetszőleges kombinációját alkalmazva RGB típusú színes képet kapunk

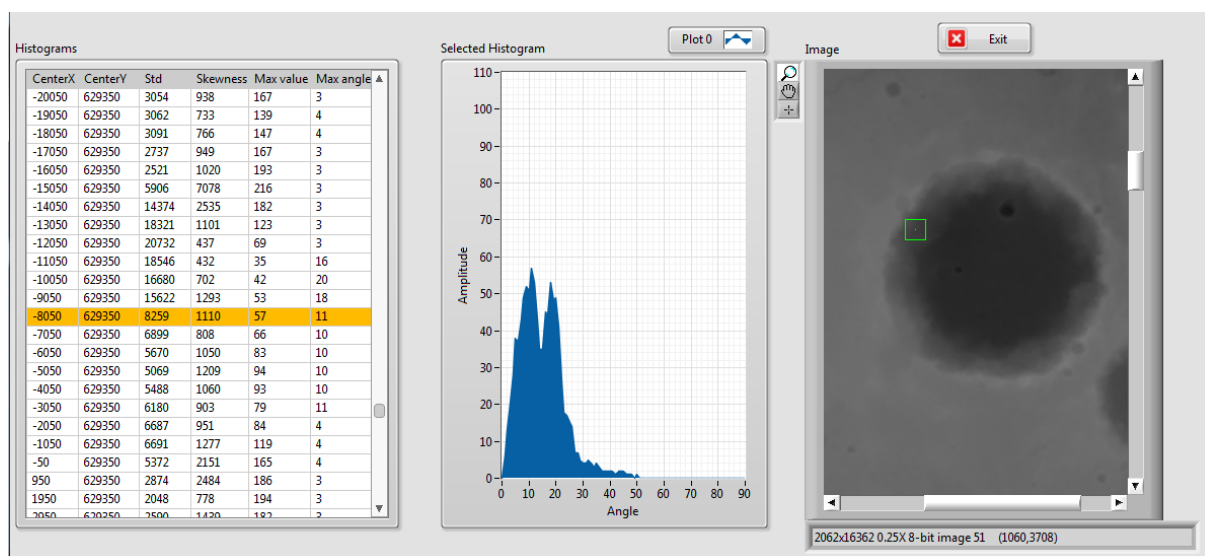
További célok:

- A hisztogramok tulajdonságainak kiértékelése és ezen tulajdonságok által a lejtőszög-hisztogramok osztályozása.
- Az osztályozott hisztogramokból lejtőszög-hisztogram térkép készítése.
- A program végleges elkészültét követően egy telepítőt készítek mely tartalmazni fogja a program használatához szükséges összes kiegészítő szoftvert

## **5.2. A program működési elve**

A lejtőszög-hisztogramokat egy szöveges fájlban kaptam meg, majd ebből a számomra hasznos információkat (lejtőszög-hisztogram, szórás, ferdeség, csúcs) kinyertem, egy bináris fájlba mentettem a gyorsabb elérés érdekében. Az adatok így módon történő átkonvertálásával jelentősen gyorsabbá válik a program indítása (az

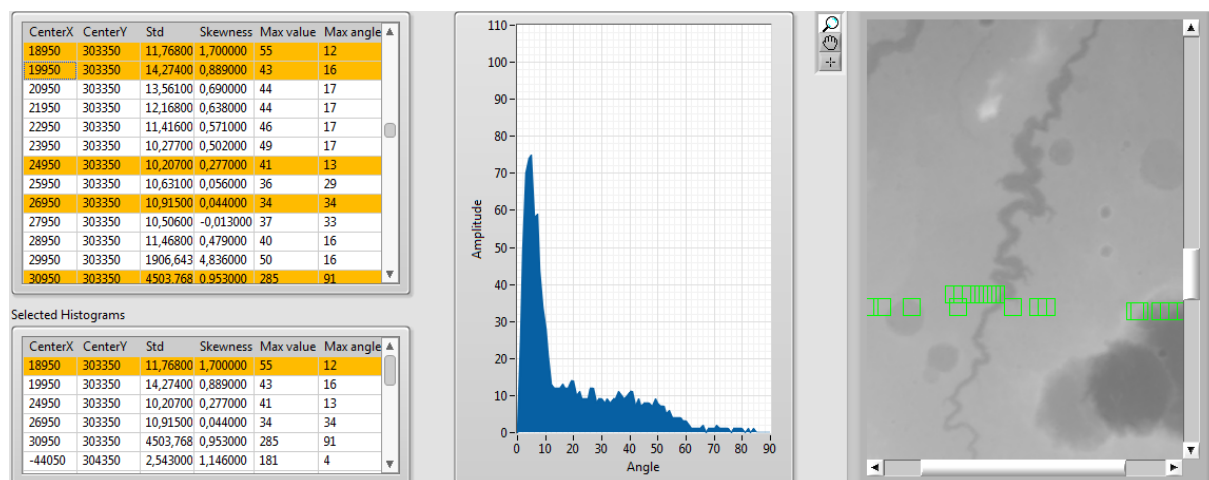
adatok bináris fájlból történő beolvasása 1-2 másodperc). Ezzel egyidejűleg megjelenítjük a 905-ös orbitot. A fájlból kiolvasott hisztogramokat a program kilistázza egy táblázatba (ablak középpontjának marsi koordinátája, szórás, ferdeség, csúcs). Amennyiben a táblázatban kijelölünk egy elemet, megjelenítem az ehhez tartozó hisztogramot és a képen kijelölöm ennek pontos helyét. Ez a művelet indirekt módon is működik, a kép adott pontjára kattintva megjelenik a legközelebb eső ablakhoz tartozó hisztogram stb. (9. ábra).



**9. ábra: A program működési elve (balra a koordináta, szórás, ferdeség és csúcsra vonatkozó adatok, középen a lejtőszög-hisztogram, jobbra a 905-ös orbit DTM-je. A zöld négyzet jelöli a hisztogramra vonatkozó területet) Megjelenítés: Balint, 2012**

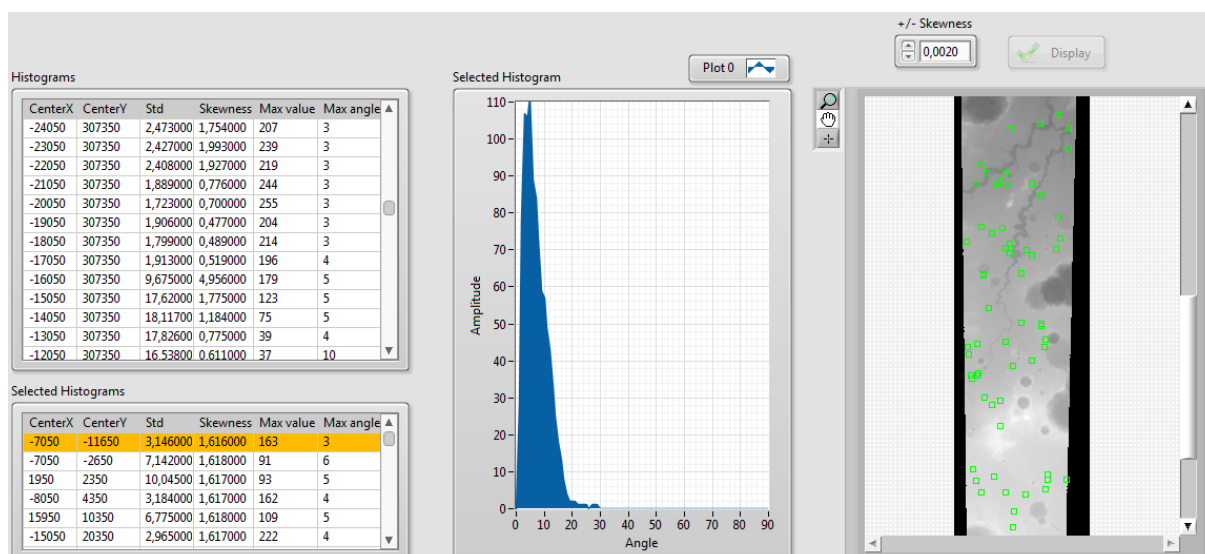
A programmal több ablakot egyidejűleg is megjeleníthetünk, amennyiben a táblázatban több elemet jelölünk ki egyszerre. A kijelölt elemeket egy külön táblázat tartalmazza. Erre mutat példát a 6. ábra, ahol bal oldalon fent a hisztogram adatok látszanak, sárgával jelölve a kiválasztott hisztogramokat. Közvetlenül alatta a kiválasztott elemek vannak, külön táblázatba foglalva. Ez azért fontos, mert a körülbelül 83000 hisztogram közül akárhányat kiválaszthatunk véletlenszerűen is, és ha meg szeretnénk nézni a rájuk vonatkozó adatokat elég időigényes lenne, mire mindegyiket egyenként visszakeresnénk, a táblázat segítségével viszont az összes adatot egyszerre vizsgálhatjuk. A program egy hátránya, hogy csak az utolsó

kiválasztott hisztogramot jeleníti meg, de a jobb oldalon láthatjuk, hogy az összes kiválasztott hisztogramhoz tartozó területet kijelöli (10. ábra).



**10. ábra: Több elem egyidejűleg való kiválasztása és a hozzátartozó területek megjelenítése. Megjelenítés: Balint, 2012**

A programmal lehetőségünk van ferdeség szerint is vizsgálni a lejtőszög-hisztogramokat. Kiválasztunk egy tetszőleges hisztogramot a táblázatból, vagy a képen a kívánt területre kattintva és megnézzük a ferdeségének értékét. Ezek után megadhatunk egy  $\pm$  értékhatárt, amin belül kijelöli az összes hisztogramot. Például, ha a kiválasztott lejtőszög-hisztogramunk ferdeségének értéke 1,617 és értékhatárnak a  $\pm 0,002$ -et adjuk meg, akkor a program az összes olyan hisztogramot kijelöli, és a hozzá tartozó területeket megjeleníti melyek ferdeségének értéke a [1,615, 1,619] intervallumba esik. A program az intervallumba eső hisztogramok adatait külön táblázatba jeleníti meg, és a képen kijelöli az összes hozzájuk tartozó területet (11. ábra). Azért választottam a ferdeséget a szórás, illetve csúcsosság helyett, mert tudomásom szerint még senki nem vizsgálta a Mars felszínét a lejtőszög-hisztogramok ferdeségének szempontja szerint.

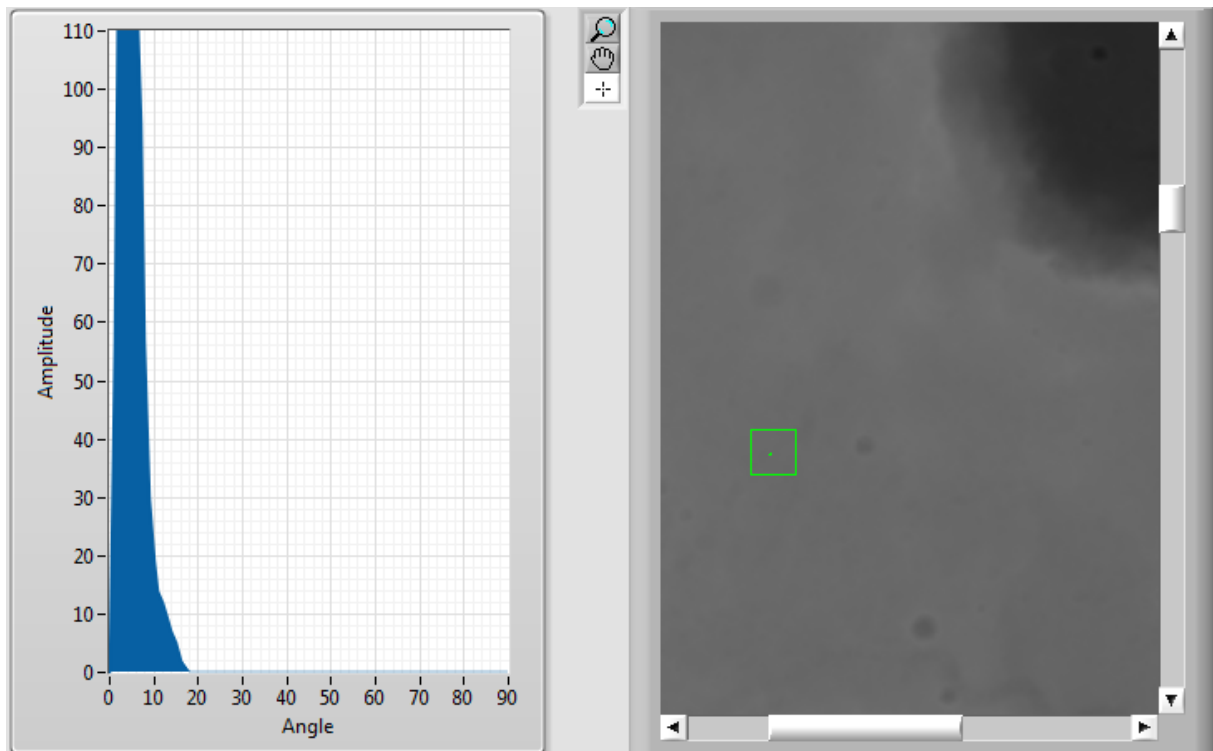


11. ábra: Hasonló ferdeségű területek kiválasztása. Megjelenítés: Balint, 2012

### 5.3. A lejtőszög-hisztogramok elemzése

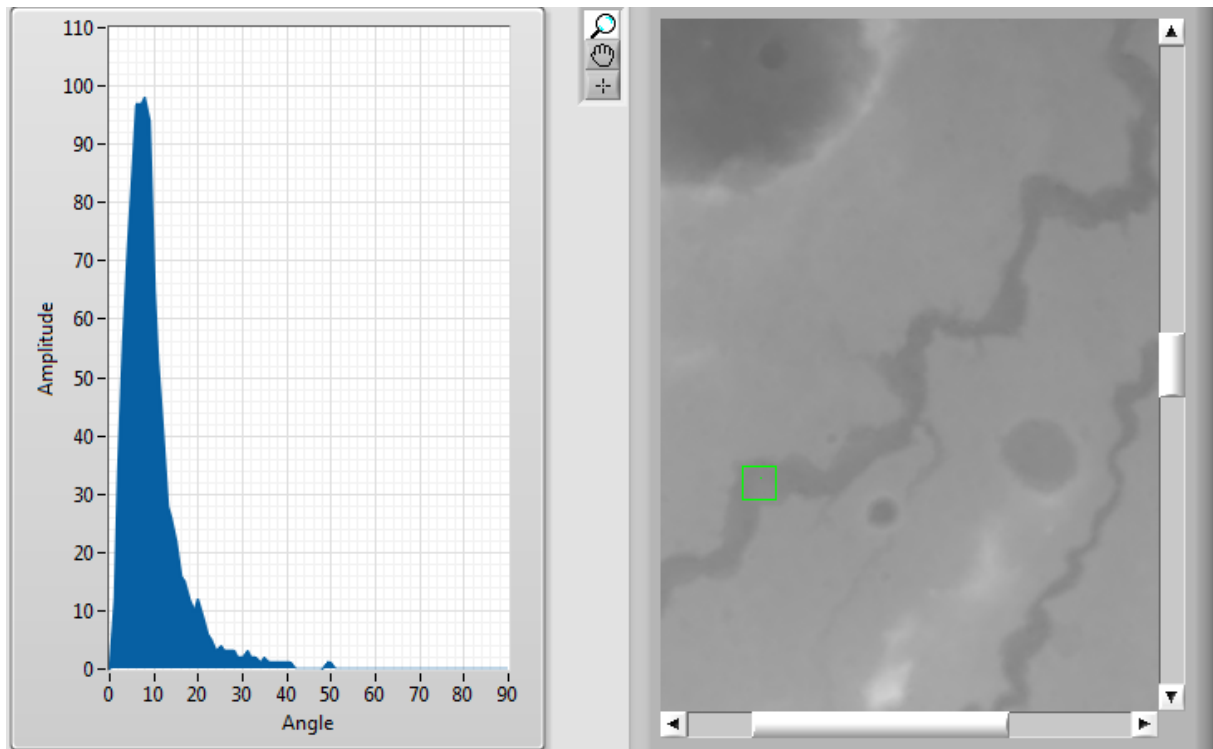
Vizsgálataim során HRSC kamerával készített képeket és a kapott lejtőszög-hisztogramokat használtam bemenő adatként. A lejtőszög-hisztogramok tulajdonságait tekintve különböző csoportokba sorolhatóak, mint például unimodális, bimodális, illetve ferde, egyenes. Az egyes területek is mutatnak némi hasonlóságot, például a kráterek belseje és a völgymeder lejtőszög-hisztogramja olyan eloszlást mutat, mint a sík terület lejtőszög-hisztogramja (átlagosan 10°-os szögnél van egy nagy csúcsa) (12, 13, 14 ábra).

A 12. ábra jobb oldalán kisebb kráterekkel borított platót látunk. A zöld kerettel jelzett területre kiszámolt lejtőszög-hisztogram a bal oldalon látható. Ez egy egycsúcsú, kissé ferde (ferdeségének értéke: 1,067) hisztogram. A lejtőszög-értékek 0°-18° között vannak, de a legtöbb 2° és 8° között van, ami nagyléptékben viszonylag sík területre utal, de ahogy a Föld felszínén sincs tökéletesen sík terület, úgy a Mars felszíne is egyenetlen, amit okozhat eolikus felszínformálás, de akár a becsapódásokból származó kisebb, nagyobb törmelékek is.



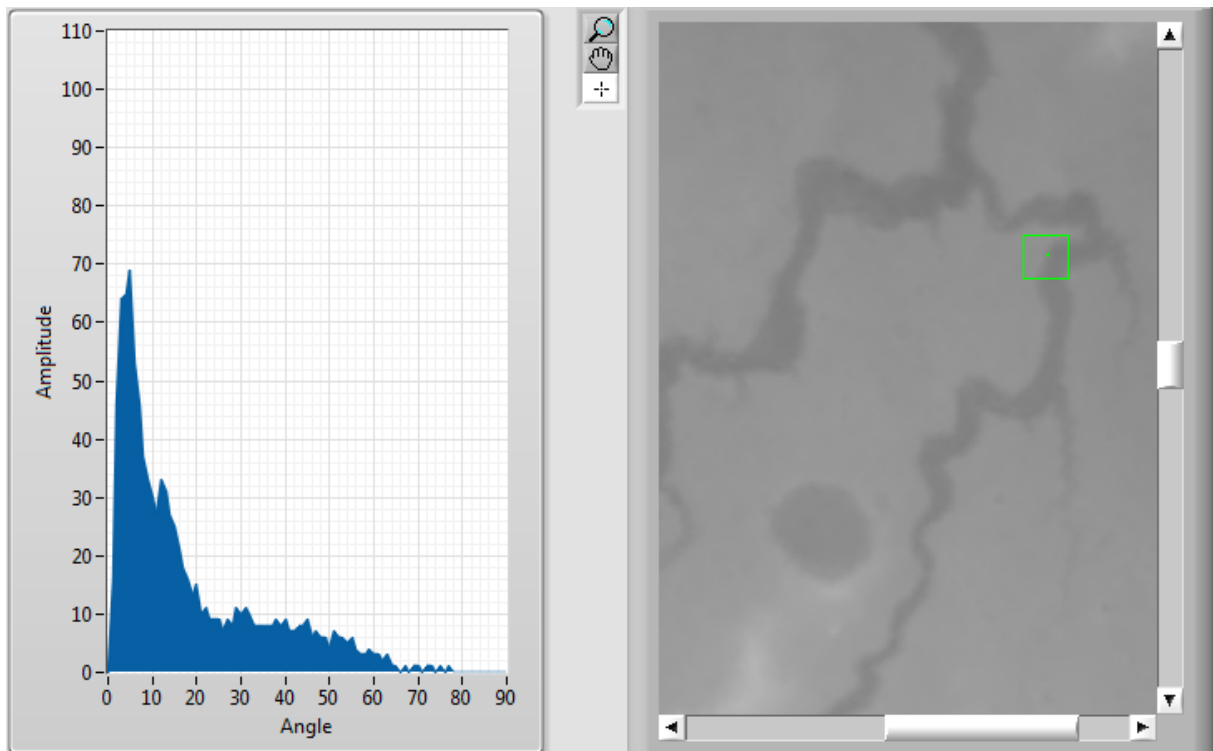
12. ábra: Sík terület (kisebb kráterekkel borított plató) lejtőszög-histogramja. Megjelenítés: Balint, 2012

A 13. ábrán a völgy nyugati ágának egy szakasza látható, ahol az ablak pontosan beleilleszkedik a völgymederbe. Ez annak köszönhető, hogy a Nanedi Valles egyes részein a völgy szélessége eléri akár az 5 km-t is. Ez a histogram sok hasonlóságot mutat a fent említett viszonylag sík plató histogramjával. Szintén egycsúcsú lejtőszög-histogramról van szó mely a legtöbb értéket a  $2^{\circ}$ - $12^{\circ}$  között veszi fel. Ferdeségének értéke duplája: 2,57, ami a bár nagyon kis számban (darabszámuk az 5-öt sem éri el), de akár  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$  szögek megjelenésének tudható be. Ez annak a bizonyítéka lehet, hogy a völgy medre lapos. A nagyobb lejtőszögeket okozhatja, hogy a  $4 \times 4$  km-es ablak a völgy oldalát is érinti, vagy az esetleges folyóvízi erózió hatása az odahordott törmelékek mutatkoznak meg.



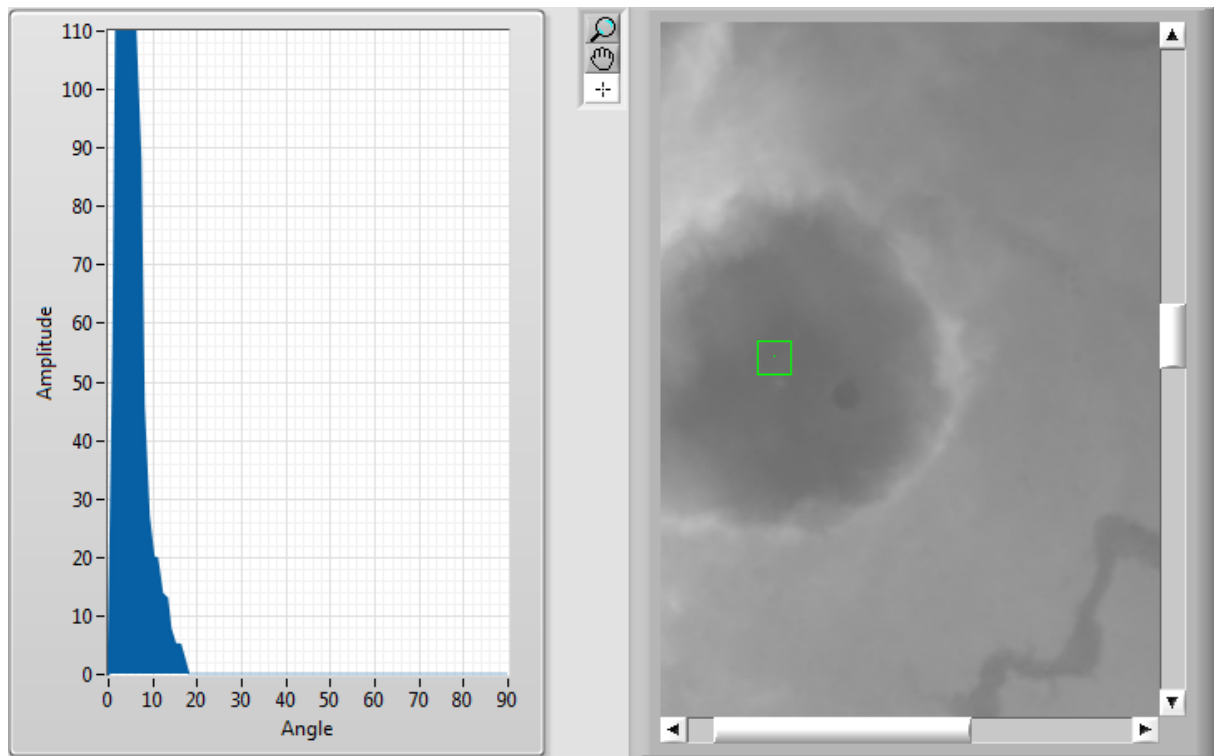
13. ábra: Nanedi Valles Ny-i ága völgymedrének lejtőszög-histogramja. Megjelenítés: Balint,2012

A 14. ábrán a Nanedi Valles keleti és nyugati ágának az egyesülését látjuk. A völgy keleti ágának egy részére kiszámolt lejtőszög-histogramnak, a meder lapos aljának és a völgy melletti platószerű területnek köszönhetően, van egy csúcsa  $2^{\circ}$ - $8^{\circ}$ -os lejtőszög között, és bár kevesebb számban, de megjelennek az akár  $70^{\circ}$ - $80^{\circ}$ -os lejtőszögek is, ami a völgy meredek oldalára utal. A histogram ferdeségének értéke: 1,22.



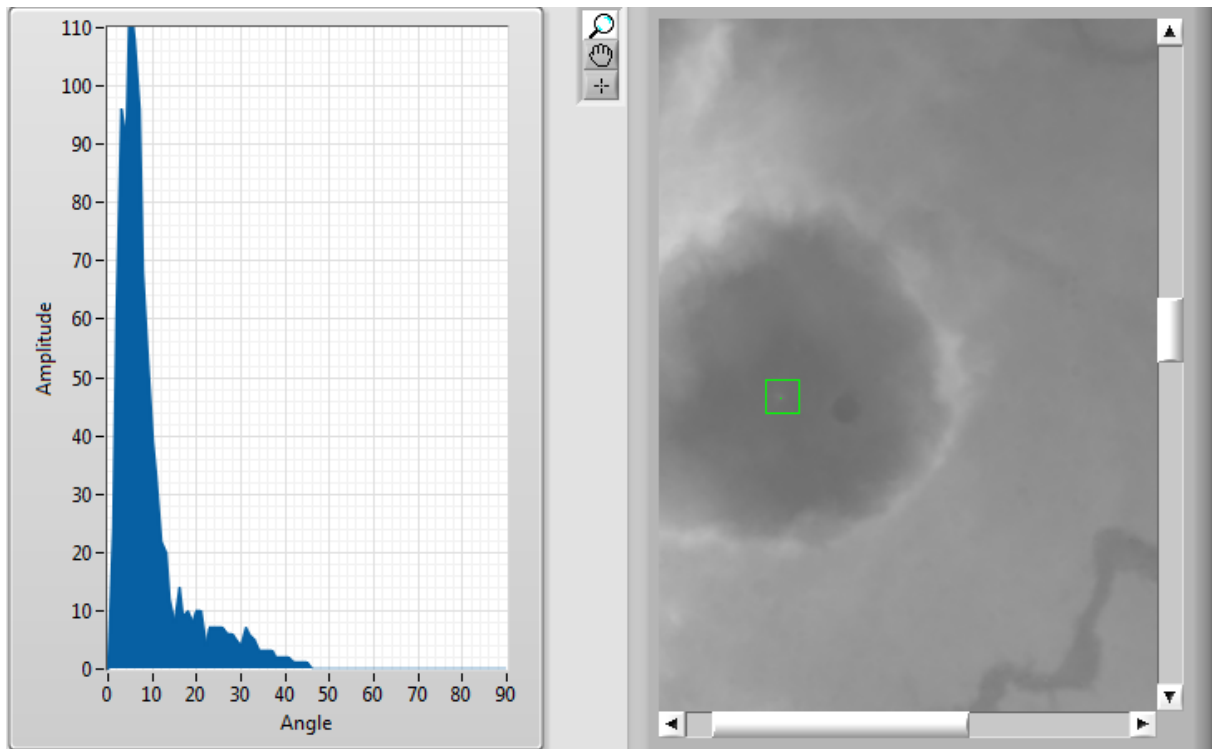
14. ábra: Völgy és völgyperem lejtőszög-histogramja. Megjelenítés: Balint, 2012

A kráter belsejét, közel a középponttól a 15. ábrán szemléltetem. A lejtőszög-histogram szinte teljesen megegyezik a platószerű terület lejtőszög-histogramjával. A lejtőszög-értékek itt is  $0^{\circ}$ - $18^{\circ}$  között vannak. Ferdeségének értéke: 1,236, ami közel áll a 10. ábrán szemléltetett histogram ferdeségének értékéhez. Ezek alapján kimondható, hogy a kráter belseje, a középponthoz közeli részen, viszonylag sík terület helyezkedik el. A kisebb egyenetlenséget a becsapódásból származó törmelékek okozhatják.



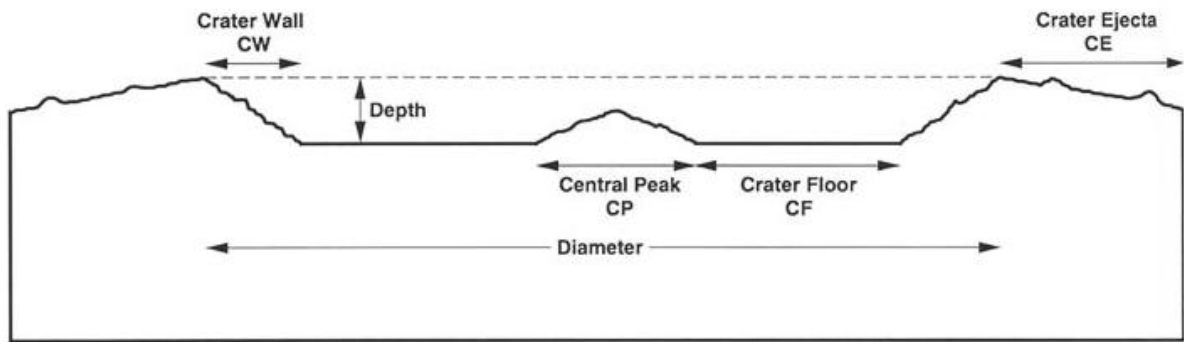
15. ábra: Kráter belsejének a lejtőszög-histogramja. Megjelenítés: Balint, 2012

A 16. ábrán egy a Nanedi Valles nyugati ágától északra található kráter közepének a lejtőszög-histogramja látható. A histogram egy csúcsból áll, melyet a 2°-8°-os lejtőszögek alkotnak és egy ferdén lejtő részből áll, melynek maximuma 16°-nál, minimuma 46°-nál van. Ferdeségének értéke: 1,948. A nagyobb lejtőszögek, egy kitüremkedésre utalnak. Ez a terület nagyjából a kráter közepét fedi le.



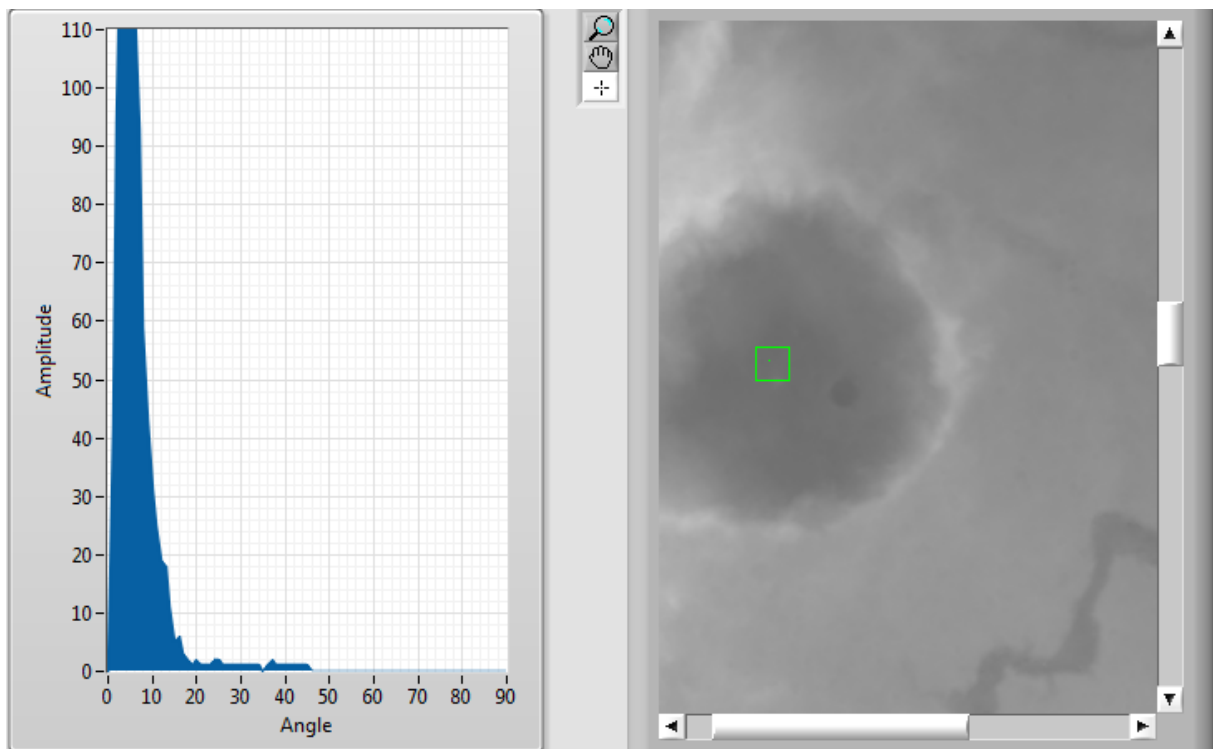
16. ábra: Kráter közepének lejtőszög-histogramja. Megjelenítés: Balint, 2012

A 15. ábra és a 16. ábra együttesen magyarázat lehet a kráterek elméleti kinézetére, amit a 17. ábra jól szemléltet. Az ábrán látható, hogy a kráter központi részén a becsapódott meteorit maradványa egy kiemelkedett részt hoz létre. A 16. ábrán látható lejtőszög-histogram nagyobb,  $15^{\circ}$ - $46^{\circ}$ -os lejtőszögek ennek a kiemelkedésnek a magyarázata lehet. És ahogy a 15. ábrán láthattuk, a kráter közepétől távolodva viszonylag sík platónak megfelelő lejtőszög-histogram látható. Ezek egyértelműen bizonyítják az alábbi sematikus képen látható kráter nézetét. A kráter keresztmetszet vázlatán látható, hogy a kráter központi részén egy kiemelkedés található, ezt követi a platószerű belső. A kráter peremének belső oldala viszonylag meredeken emelkedik. A perem csúcsát elérve a kráter külső falán lassabb, laposabb lejtés következik. Ennek szemléltetésére és részletesebb magyarázatára a későbbiekben visszatérek.



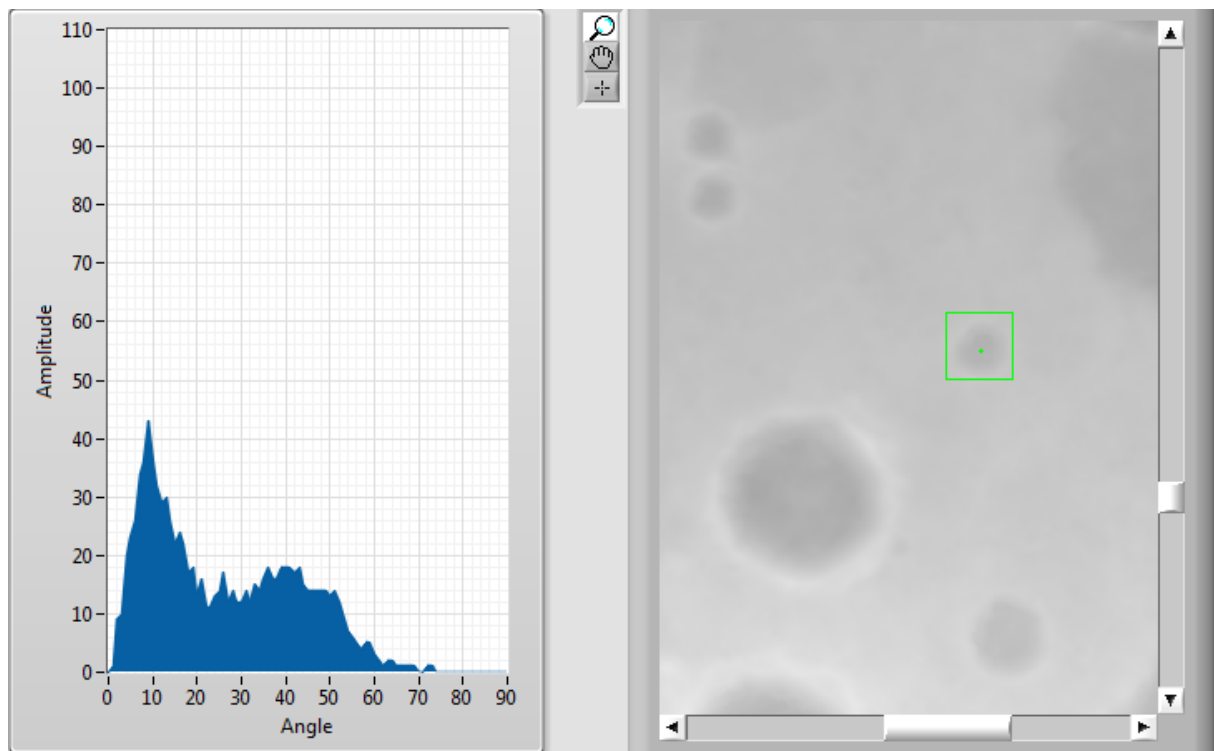
17. ábra: Becsapódási kráter vázlatos keresztmetszete. Forrás: NASA, 2012

A 18. ábrán látható 4x4 km-es ablak magába foglalja a kráter közepét és a mellette levő területet is. Ez a hisztogram szintén jól szemlélteti, bizonyítja a fent leírt elméletet.



18. ábra: A kráter közepe és a körülötte elterülő plató. Megjelenítés: Balint, 2012

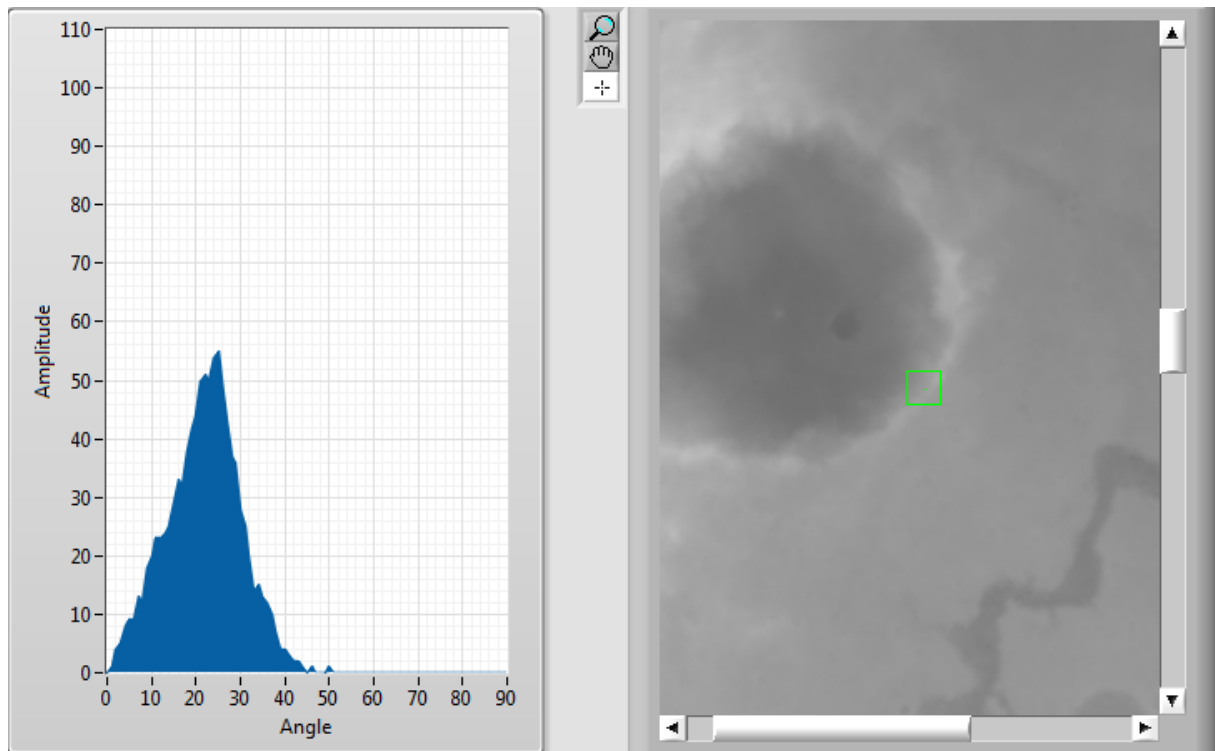
A 19. ábrán egy kis méretű kráter (a 4x4 km-es ablakból látszik, hogy átmérője kisebb, mint 4 kilométer) látható. A lejtőszög-hisztogramon látjuk, hogy a 17. ábrának megfelelően az összes lejtőszöget tartalmazza, amit a kráter peremének és belsejének megfelelően tartalmaznia kell. A hisztogram van egy jól elkülönülő és egy enyhén kitüremkedő csúcsa (enyhén bimodális). Ferdeségének értéke: 0,47.



19. ábra: Kis méretű kráter hisztogramja a teljes kráter területére. Megjelenítés: Balint, 2012

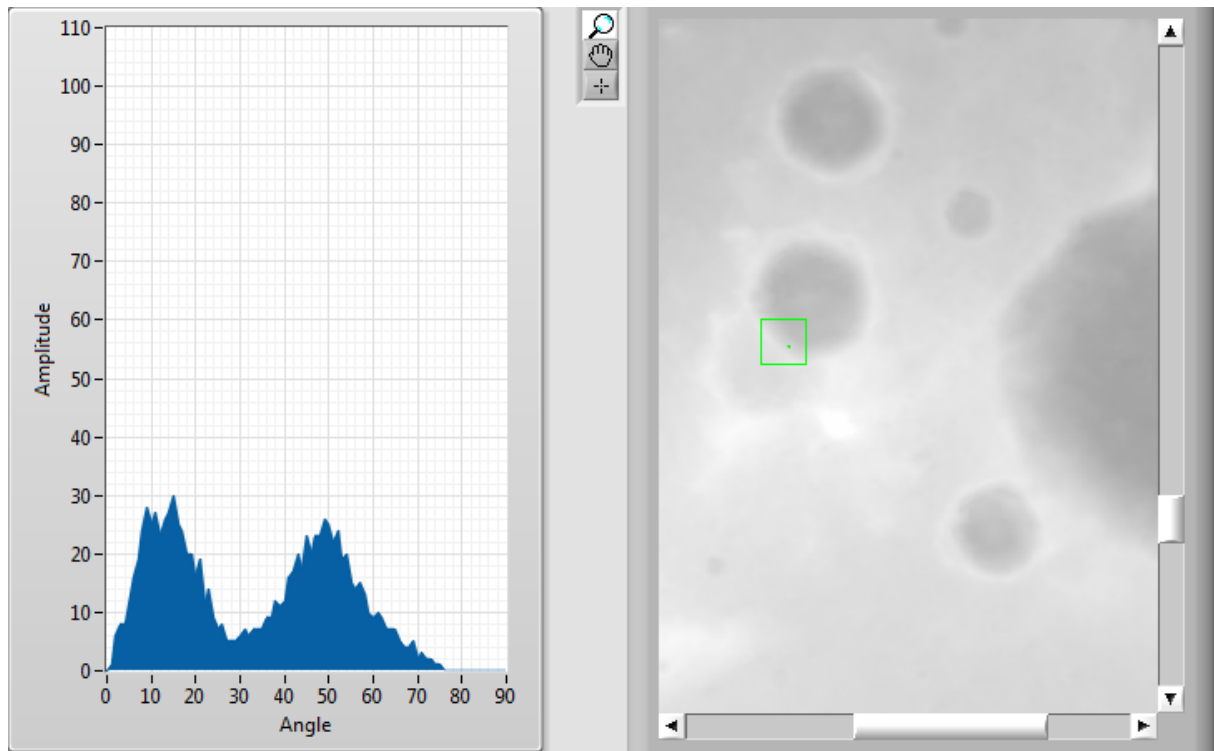
A legváltozatosabb lejtőszög-hisztogramokat a kráter pereme szolgáltatja. Találunk példát unimodális (20. ábra), bimodális (21. ábra), közel egyenletes (22. ábra) és ferde (23. ábra) lejtőszög-hisztogramokra. E sokszínűség oka lehet, hogy a kráter pereme nem szimmetrikus, mivel az erózió nem egyenletesen pusztította le a felszínt. Egyes kráterek között különbség lehet a rajtuk végbement erózió erőssége. Megfigyelhetünk olyan krátereket is, amik egymással átfednek, így a fiatalabb becsapódás részben lepusztítja az idősebb kráter eredeti formáját.

Unimodális lejtőszög-hisztogramra egyaránt jó példa a platószerű területnél, a völgymedernél és a kráter belsejénél bemutatott hisztogramok, mint a 18. ábra, hiszen ennek a típusú hisztogramnak a lényege, hogy egy domináns csúccsal rendelkezik. Az példán látható hisztogram a  $25^\circ$  szögnél rendelkezik egy csúccsal és a csúcs két oldalán viszonylag egyenletesen lejt. Ferdeségének értéke 0,038. A lejtőszög-hisztogram egy közel egyenes, enyhén ívelt területre vonatkozhat.



20. ábra: Unimodális lejtőszög-histogram egy kráter pereméről. Megjelenítés: Balint, 2012

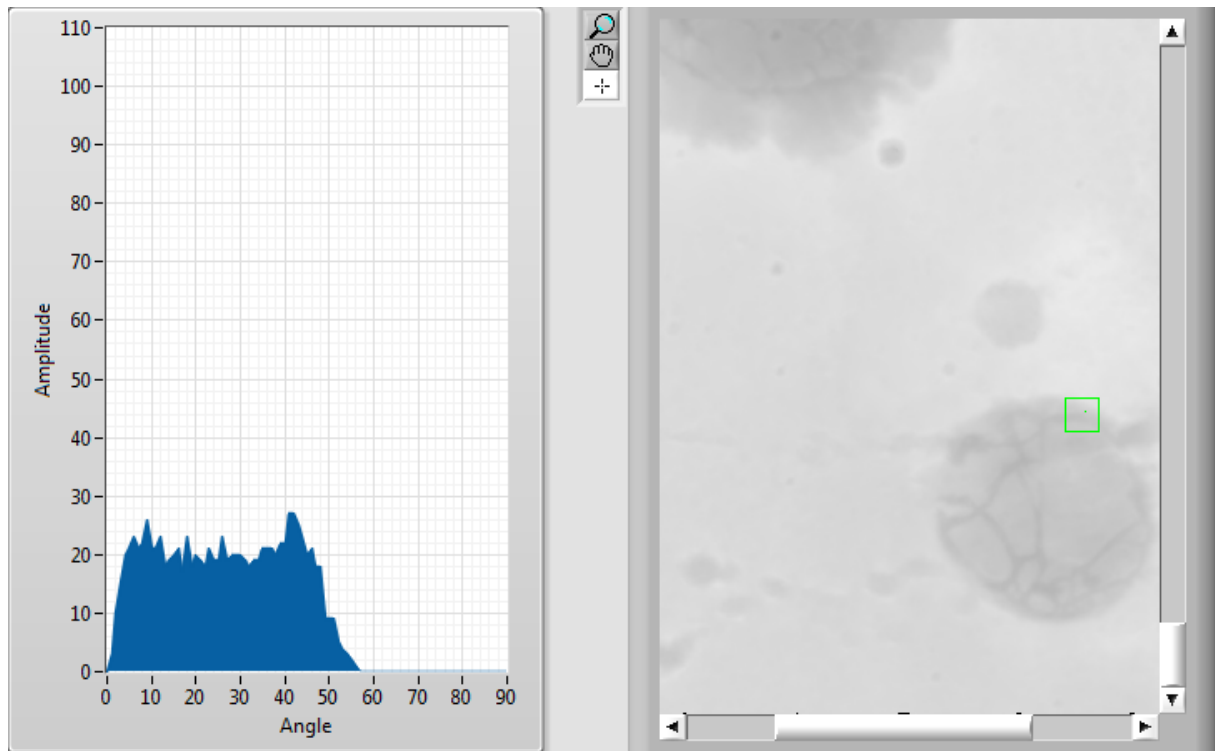
Ahogy a kráter vázlatos keresztmetszetén is láttuk a kráterek meredeken lejtő peremét hirtelen viszonylag sík terület követ, ami tipikusan bimodális histogramot rajzol ki, hiszen két uralkodó terület típusról van szó. A sík terület a kisebb lejtőszögeknél, míg a meredek perem a nagyobb lejtőszögeknél fog egy-egy csúcsot eredményezni. Az ablakok méretéből kifolyólag (4×4 kilométer) ez a kisebb méretű kráterek esetén mutatható jól ki, ahol az ablak egyszerre foglalja magába a kráter peremének és belsejének egy részét. A 17. ábrán erre látunk egy példát, a képen látható kráter a völgytől délre található. A histogramnak a  $10^{\circ}$ – $20^{\circ}$  és a  $45^{\circ}$ – $55^{\circ}$  között van egy-egy csúcsa, ferdeségének értéke: 0,1.



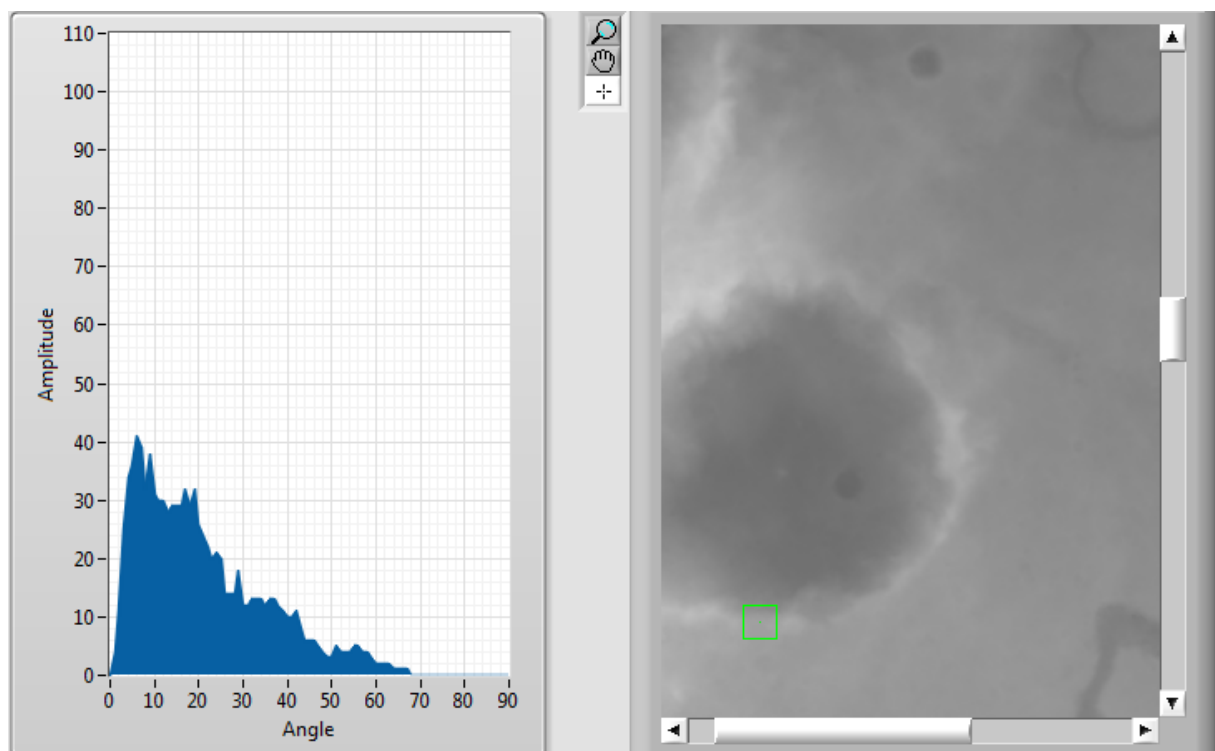
21. ábra: Bimodális lejtőszög-hisztogram egy kráter pereméről. Megjelenítés: Balint, 2012

Közel egyenletes eloszlású hisztogramot szemléltet a 22. ábra. A lejtőszög-hisztogram ferdeségének értéke:  $-0,002$  ami közel áll a szimmetrikushoz. Ilyen típusú hisztogramot akkor kaphatunk, ha területet jellemző lejtőszögek nagyon változatosak, esetünkben kb.  $5^\circ$ – $55^\circ$  közötti lejtőszögek közel ugyan annyi található. Ezt tipikusan eredményezheti az ívelt vagy a nagyon változatos, „göröngyös” felszín.

A már többször látott kráter déli peremén találunk olyan területet, aminek a lejtőszög-hisztogramja jó példa a ferde, hosszan elnyúló hisztogramra, amit a 23. ábra mutat. A hisztogram a legnagyobb értéket a  $6^\circ$ -nál veszi fel, ami a  $68^\circ$ -ig, közel egyenletesen csökken, ferdeségének értéke  $0,913$ . Ez az ablak legnagyobb részén sík területet foglal magába, ami a lejtőszögek alapján eleinte finoman, majd egyre erőteljesebben, hirtelen emelkedik.

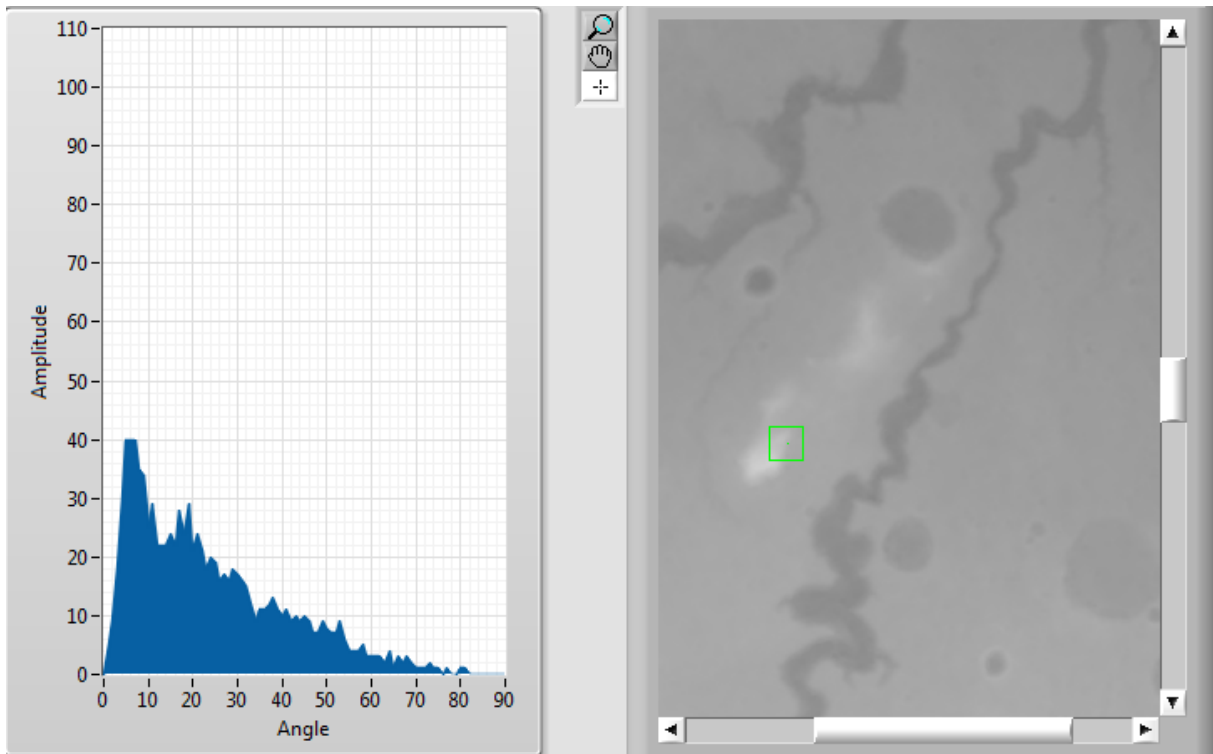


22. ábra: Közel egyenletes eloszlású lejtőszög-histogram egy kráter pereméről. Megjelenítés: Balint, 2012



23. ábra: Ferde, hosszan elnyúló lejtőszög-histogram egy kráter pereméről. Megjelenítés: Balint, 2012

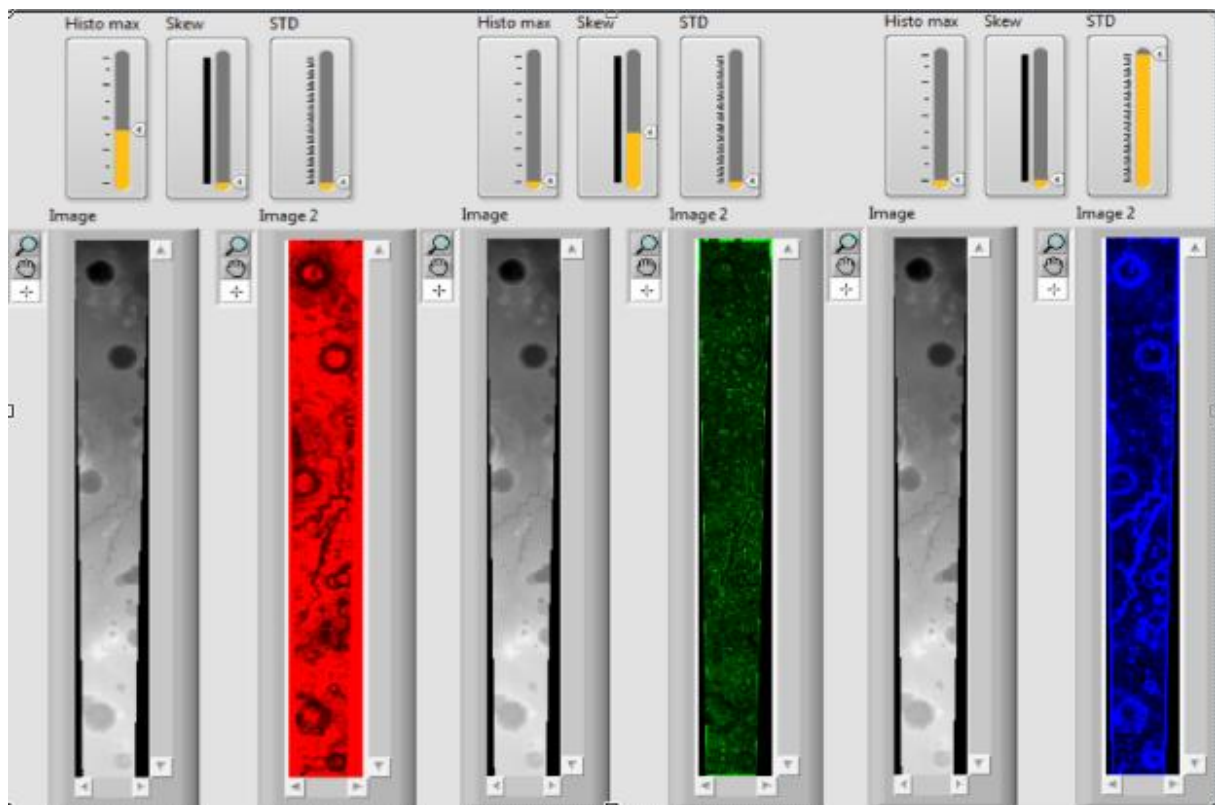
A völgy két ága között érdekes alakzatot találunk, ferde lejtőszög-hisztogrammal (24. ábra).



24. ábra: Ferde lejtőszög-hisztogram egy, a platószerű környezetből kiemelkedő alakzatról. Megjelenítés: Balint, 2012

#### 5.4. Színezés alkalmazása a teljes területre

A lejtőszög-hisztogramok vizsgálatának céljából a programot továbbfejlesztve, színezést alkalmaztam a 0905-ös orbitra. Az RGB (Red, Green, Blue) alapú színezés három színen alapszik a piros, zöld és kék színeken, amit három különböző adathoz rendeltem hozzá: a módusz amplitúdójához pirosat, a ferdeséghez zöldet és a szóráshoz kéket. A színskála 0–255-ig terjed, ahol a 0 a fekete, a 255 a teljesen telített szín, ennek megfelelően az érték növekedésével egyenesen arányosan nő a szín intenzitása. A színezéshez először megvizsgáljuk a hisztogram csúcsosság, ferdeség és szórás értékeit és az értékek megfelelően rendeljük hozzá az adott színt a 4×4 kilométeres ablakokhoz. A képet külön-külön is színezhettük a három tulajdonság szerint (25. ábra), de akár két színt kombinálva vagy mindhármát egyszerre is alkalmazhatjuk (26. ábra).



25. ábra: Színezés (pirossal csúcsosság, zölddel ferdeség, kékkel szórás alapján). Megjelenítés: Balint, 2012

Ha összehasonlítjuk az eredeti képet a színezés alkalmazása utáni képekkel láthatjuk, hogy azok a morfológiai egységek (kráterek, völgy, stb.), amelyek az eredeti képen jól látszanak a színes képeken is jól elkülöníthetőek, tehát összefüggésbe hozhatóak a különböző területekre kiszámolt lejtőszög-hisztogramok a tulajdonságaik alapján. Ez bizonyíthatja, hogy a Mars felszínét érdemes a lejtőszög-hisztogramok alapján vizsgálni. A színezés alkalmazásának eredménye mutatja, hogy érdemes lehet osztályozni a lejtőszög-hisztogramokat és egyúttal egy előzetes képet kapunk, hogy mire számíthatunk az osztályozás után. Azért szükséges a hisztogramok osztályozása, mert a színezés egy nagyon leegyszerűsített alkalmazás, ami több szempontból sem tökéletes, például nem tudja jól kezelni a bimodalitást.

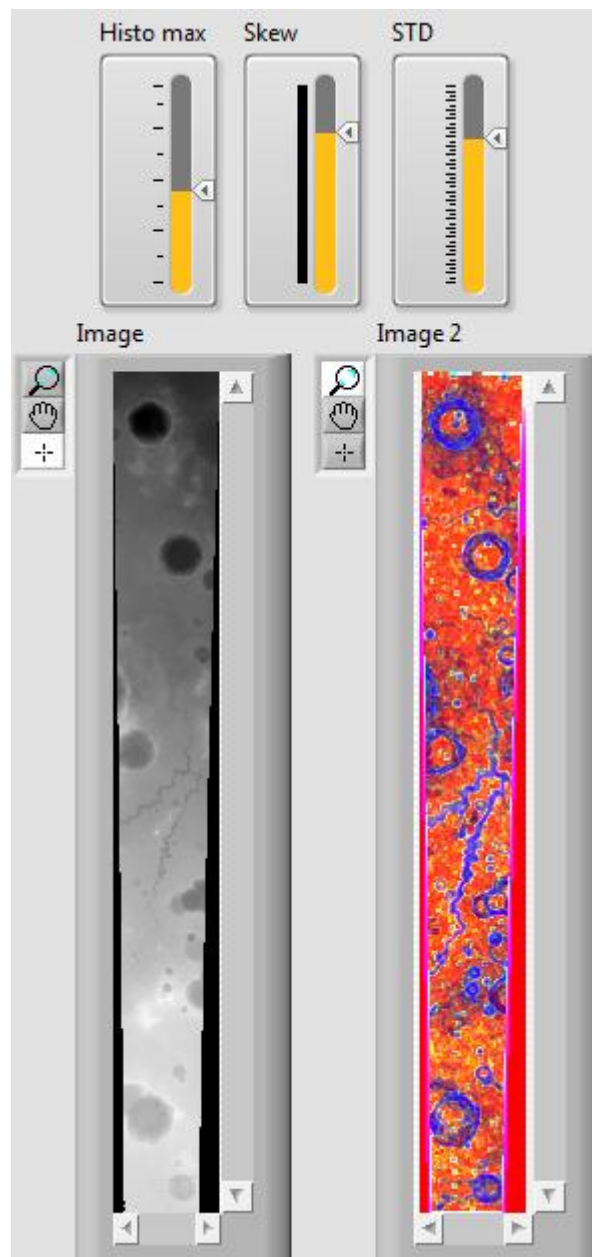
## 5.6. A lejtőszög-hisztogramok osztályozása

A lejtőszög-hisztogramok osztályozásának célja, hogy a morfológiai egységeket lejtőszög szerint különböző osztályokba sorolva és az egyes osztályokat különböző színnel jelölve készítsünk lejtőszög-hisztogram térképet. Szabad szemmel csak a nagy szerkezeti-morfológiai egységeket tudjuk elkülöníteni, viszont az osztályozás során az 1-2°-os lejtőszög-eltéréseket is észlelhetjük és vizsgálhatjuk.

Várhatóan hasonló eloszlású területekről, mint pl. a völgy aljzata, völgy oldala, sík terület, kráter pereme, kráter belseje stb. kiválasztunk egy lejtőszög-hisztogramot, ami a tapasztalati eloszlásunk lesz és kiszámoljuk a két eloszlás közötti legnagyobb eltérést. A kapott értéket összevetjük egy előre meghatározott tartomány alsó és felső kritikus értékeivel. Ha az eltérés értéke a tartományon kívülre esik, akkor elutasítjuk azt a feltevést miszerint a két eloszlás megegyezik, ellenkező esetben elfogadjuk. Mint minden vizsgálatnál itt is előfordulhatnak hibák, például az is előfordulhat, hogy egy tapasztalati eloszlás lényegesen különbözik az elméleti eloszlástól, de a legnagyobb eltérés nem haladja meg a kritikus értéket. Ekkor meg kell fontolnunk, hogy érdemes lenne-e egy új kategóriát létrehozni. A különböző osztályokba sorolt hisztogramokhoz tartozó területet különböző színnel fogjuk jelölni. Ez által rajzolódik ki a lejtőszög-hisztogram térkép. A módszerünk megbízhatóságát azzal tudjuk ellenőrizni, hogy az általunk készített térképet összevetjük egy földtani térképpel és megvizsgáljuk a hasonlóságot közöttük.

## 6. Eredmények diszkussziója

A 26. ábrán látjuk az RGB színezés eredményét, amit az általam készített programmal valósítottam meg. A képet megvizsgálva, a völgy és a kráter peremek láthatóan elkülönülnek az őket körülvevő laposabb területektől, akár külön-külön, akár együttesen alkalmazva a színezést a területre, erre még több példát a mellékletbe látunk.



26. ábra: Színezés mindhárom tulajdonság szerint. Megjelenítés: Balint, 2012

Bár ezzel a módszerrel nem kaptunk tökéletesen tiszta, élénk képet, mégis kimutathatók a nagyobb morfológiai egységek és a ferdeség alapú valamint az RGB színezés eredményeképpen elkülönülni látszik a völgymeder és völgy oldala is (lásd melléklet). Ha a vizsgált területen a legészakabbra található krátert vizsgáljuk meg közelebbről, láthatjuk, hogy az eredeti képen a kráter körül halványan látszó elszóródott törmelékek az RGB és a módusz amplitúdóján alapuló színes képen egyértelműen megmutatkozik (lásd melléklet). Az eredmények fényében érdemes megvalósítani a lejtőszög-hisztogramok osztályozását, mivel az osztályozás után, várhatóan tisztul, élesedik a kép és kirajzolódnak a felszín kisebb változásai is. Már a színezésből is látszik, hogy például egy kráter esetén nem várhatunk egységes színezést az egész területére, hiszen az osztályozást lejtőszögek alapján végezzük, és mint láttuk a példa hisztogramoknál a kráter belseje általában lapos terület kis lejtőszögekkel, míg a pereme meredekebb oldalú és különböző modalitású hisztogramok jellemzik. A lejtőszögek eloszlása főleg attól függ, hogy milyen mértékű erózió pusztította le a területet például egy kráter északi oldalát esetleg állandó jég boríthatja, ezáltal jobban megőrizve a kezdeti fázist, esetleg jégzsákok is kialakulhattak, míg a déli oldal a nappalok és éjszakák váltakozása során a jég, ha csak rövid időre is a Nap közvetlen hatására, kiolvadhat, így egy folyamatos eróziót előidézve. E folyamatból kiindulva történhetnek beszakadások is, ami egy meredek oldalú krátert eredményez. A völgy esetében a lejtőszög-hisztogramok osztályozása eredményeképpen, folyóteraszra emlékeztető alakzatokat vagy a völgy középpontjában húzódó kis csatorna kirajzolódását várnánk.

A földtani térkép elkészülte után, az általam készített lejtőszög-hisztogram térkép és a földtani térkép összehasonlítása megmutathatja, mennyire alkalmazható ez a módszer, azaz a két térkép mennyiben különbözik egymástól.

## 7. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Székely Balázsnak, hogy segítette munkámat és mindvégig támogatott benne.

Az adatok előkészítésében a Bécsi Műszaki Egyetem (Technische Universität Wien) Fotogrammetriai és Távérzékelési Intézetének (IPF) OPALS és GeoSegmenter programokat fejlesztő csoportjai, **Székely Balázs és Kovács Gábor nyújtottak segítséget.**

Köszönöm továbbá Raveloson Andreának a dolgozat megírásában nyújtott segítségét, valamint Gulyás Sándor segítségét a LabView programozási nyelv elsajátításában.

## 8. Irodalomjegyzék

Bryan, 2009. Special Report: Why Mars? Why now? Part I: Challengers  
<http://spectrum.ieee.org/image/79352>. Hozzáférés: 2012. december.

Dinwiddie R. és Ridpath I., 2005.

Univerzum, Ikar, Budapest, (magyar fordítás), 160-175 oldal.

European Space Agency , 2012a. HRSC: High Resolution Stereo Camera.

<http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=34826&fbodylongid=1597>.

Hozzáférés: 2012.december.

ESA (European Space Agency), 2012b. Nanedi Valles system on Mars.

[http://www.esa.int/SPECIALS/Mars\\_Express/SEM7F6OFGLE\\_0.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express/SEM7F6OFGLE_0.html) Hozzáférés: 2012. december.

Favalli, M., Innocenti, F., Pareschi, M.T., Pasquarè, G., Mazzarini, F., Branca, S., Cavarra, L., Tibaldi, A. (1999): The DEM of Mt. Etna: geomorphological and structural implications. *Geodinamica Acta* (Paris) 12(5):279-290.

Freie Universität Berlin, 2012a. HRSC Coverage Map.

<http://www.geoinf.fu-berlin.de/eng/projects/mars/coverage.php>. Hozzáférés: 2012. december.

Freie Universität Berlin, 2012b. ESA presents Mars in 3D.

[http://www.geoinf.fu-berlin.de/eng/projects/mars/preleases/361/fullres/6\\_HRSC\\_ScanPrinciple.jpg](http://www.geoinf.fu-berlin.de/eng/projects/mars/preleases/361/fullres/6_HRSC_ScanPrinciple.jpg).

Hozzáférés: 2012. december.

Gábris Gy., Marik M., Szabó J., 1998. Csillagászati földrajz.

Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998, 177-201 oldal.

Webster, G., Brown, D., 2010. NASA's Odyssey Spacecraft Sets Exploration Record on Mars.

<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2010-418&rn=news.xml&rst=2849>.

Hozzáférés: 2012. december.

Hargitai, H., 2009a. Robinson Mars map series: Topographic map

[http://planetologia.elte.hu/ipcd/mars\\_mola\\_nagy.jpg](http://planetologia.elte.hu/ipcd/mars_mola_nagy.jpg). Hozzáférés: 2012. december.

Hargitai, H., 2009b. Olympus Mons.

<http://planetologia.elte.hu/vrml/olympus.html>. Hozzáférés: 2012. december.

Hargitai et al., 2010.

Javaslat a planetológiai nevezéktan magyar rendszerére. Meteor csillagászati évkönyv 2010, 280-302 oldal.

NASA, 2012. Guide to Magellan Image Interpretation. Chapter 7. Impact Craters.

<http://history.nasa.gov/JPL-93-24/ch7.htm>. Hozzáférés: 2012. december.

Neukum, G., 2012. HRSC Press Release #253 - Nanedi Valles (orbit 0905)

<http://www.geoinf.fu-berlin.de/eng/projects/mars/hrsc253-NanediValles.php>. Hozzáférés: 2012. december

Redd, N. T., 2012. Life on Mars: Exploration & Evidence

<http://www.space.com/17135-life-on-mars.html>. Hozzáférés: 2012. december.

Székely B, Danišík M., Kuhlemann J., Frisch W. (2005):The real face of Corsica: evaluation of local slope histograms reveals hidden structural features. Geophys. Res. Abstracts 7:09989

Székely et al. 2002. Neotectonic movements and their geomorphic response as reflected in surface parameters and stress patterns in the Eastern Alps

Székely és Podobnikar, 2009. A Method for Automated Extraction of Martian Talus Slopes – Case Studies of Nanedi Valles and West Candor Chasma, Mars

USGS, 2012, Mars 1:1M Geologic Map sin Progress

<http://astrogeology.usgs.gov/Projects/PlanetaryMapping/MapStatus/MarsStatus/statusChart/mtm05047.html>

Webster és Brown, 2010

NASA's Odyssey Spacecraft Sets Exploration Record on Mars

<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2010-418&rn=news.xml&rst=2849>. Hozzáférés: 2012. december.

Webster és Savage, 2004. Opportunity Rover Finds Strong Evidence Meridiani Planum Was Wet

<http://marsrovers.jpl.nasa.gov/newsroom/pressreleases/20040302a.html>. Hozzáférés: 2012. december.

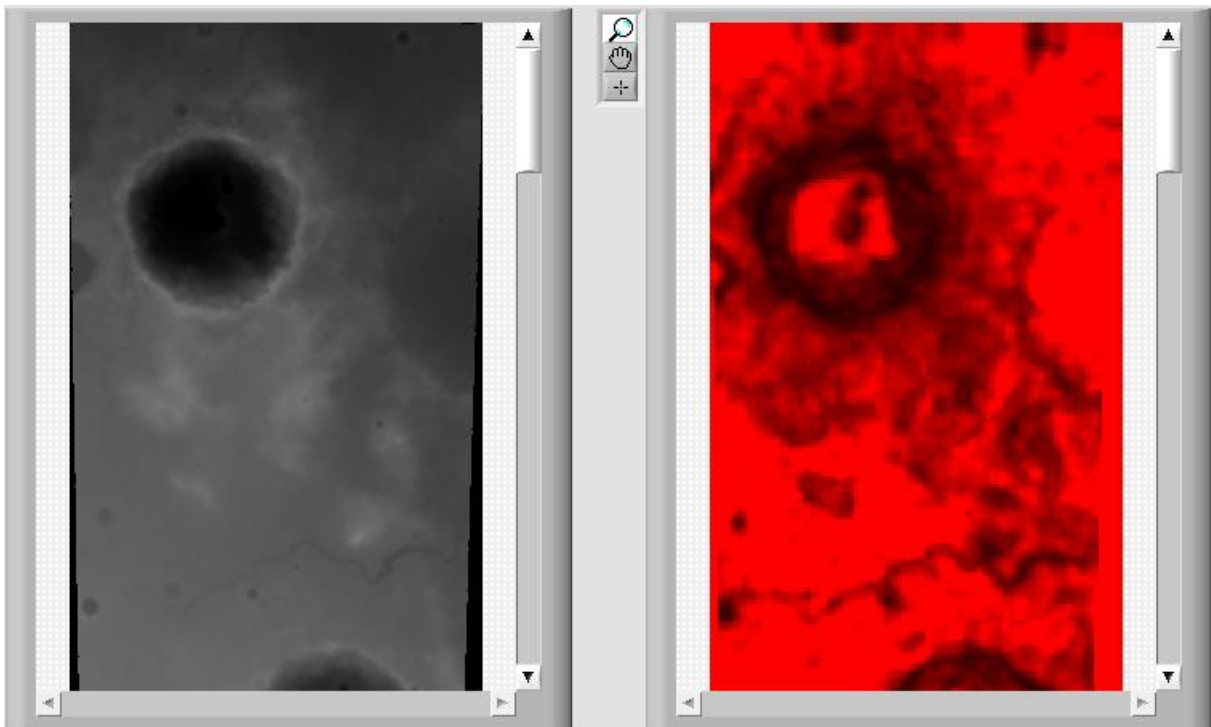
Webster és Savage, 2004. Volcanic Rock in Mars' Gusev Crater Hints at Past Water

<http://marsrovers.jpl.nasa.gov/newsroom/pressreleases/20040305a.html>. Hozzáférés: 2012. december.

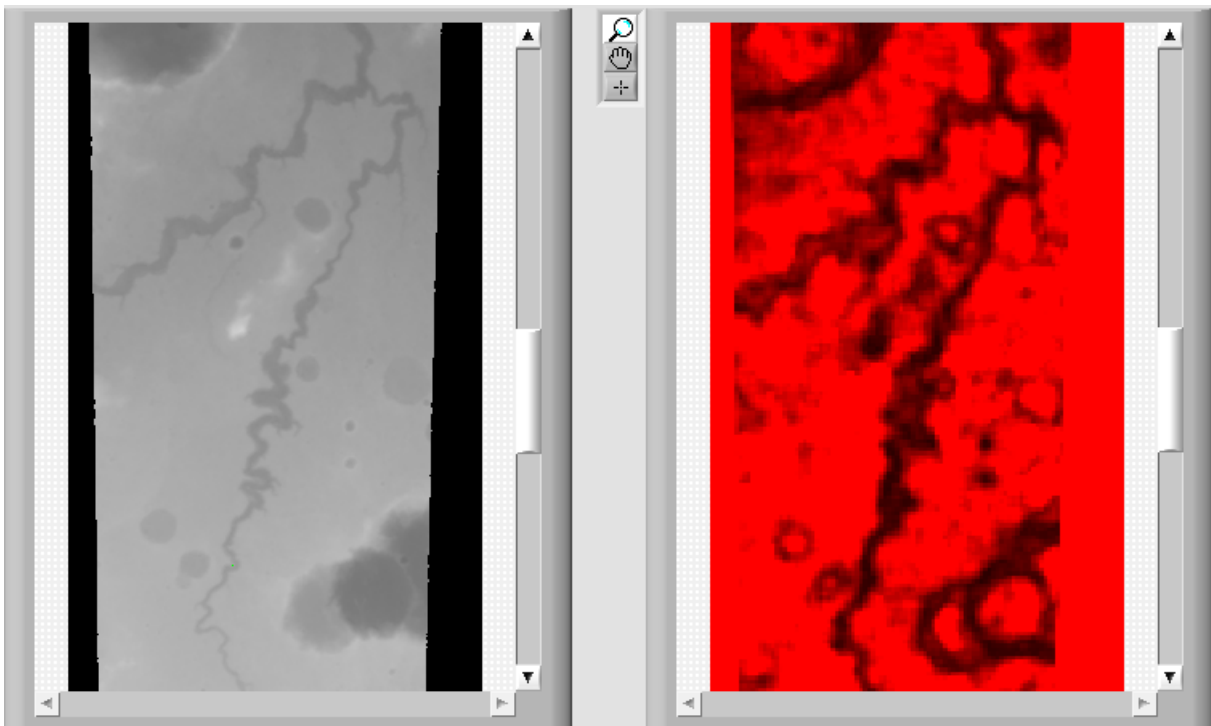
Wikipedia, 2012. Mars Reconnaissance Orbiter

[http://hu.wikipedia.org/wiki/Mars\\_Reconnaissance\\_Orbiter](http://hu.wikipedia.org/wiki/Mars_Reconnaissance_Orbiter). Hozzáférés: 2012. december.

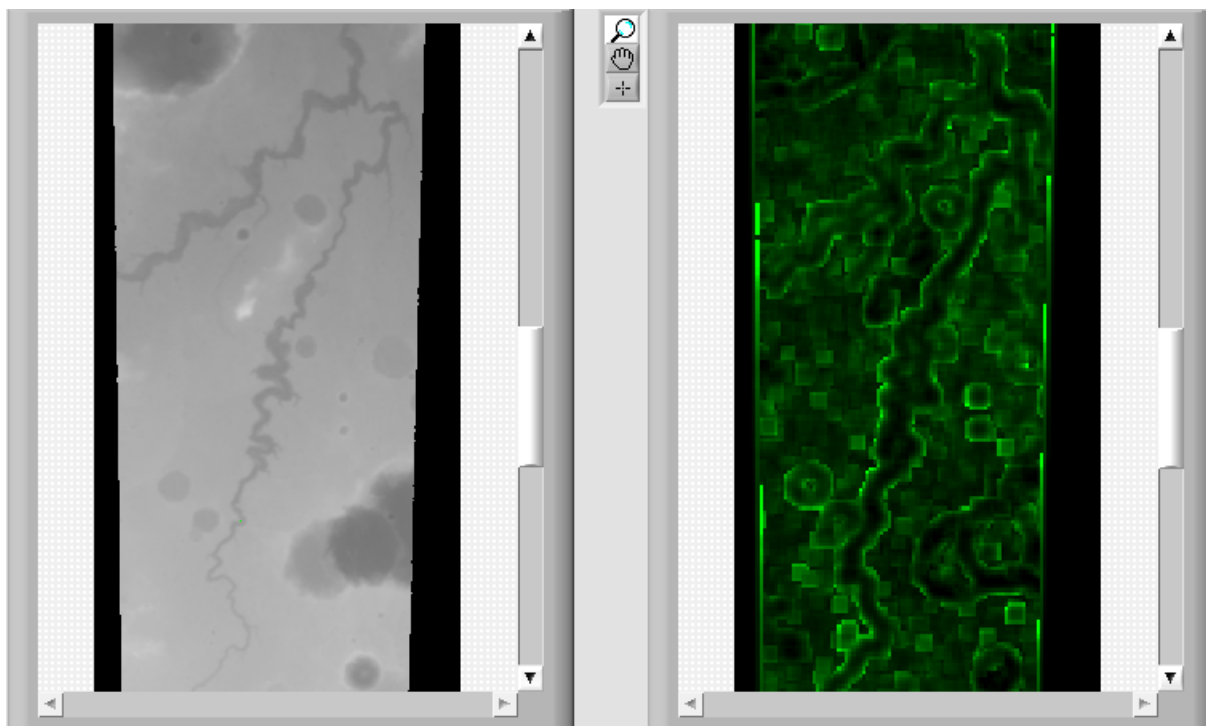
## 9. Melléklet



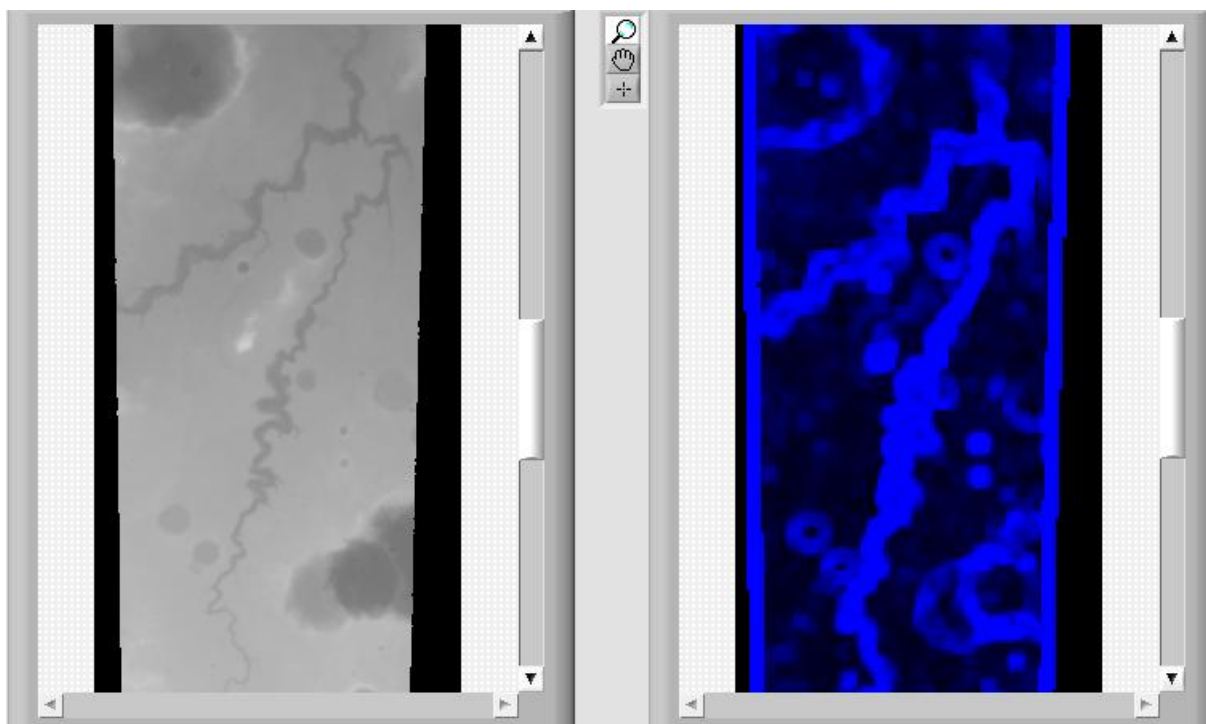
1. ábra: Északi részen fekvő kráter és törmelékek. Színezés alapja: csúcsosság. Megjelenítés: Balint, 2012



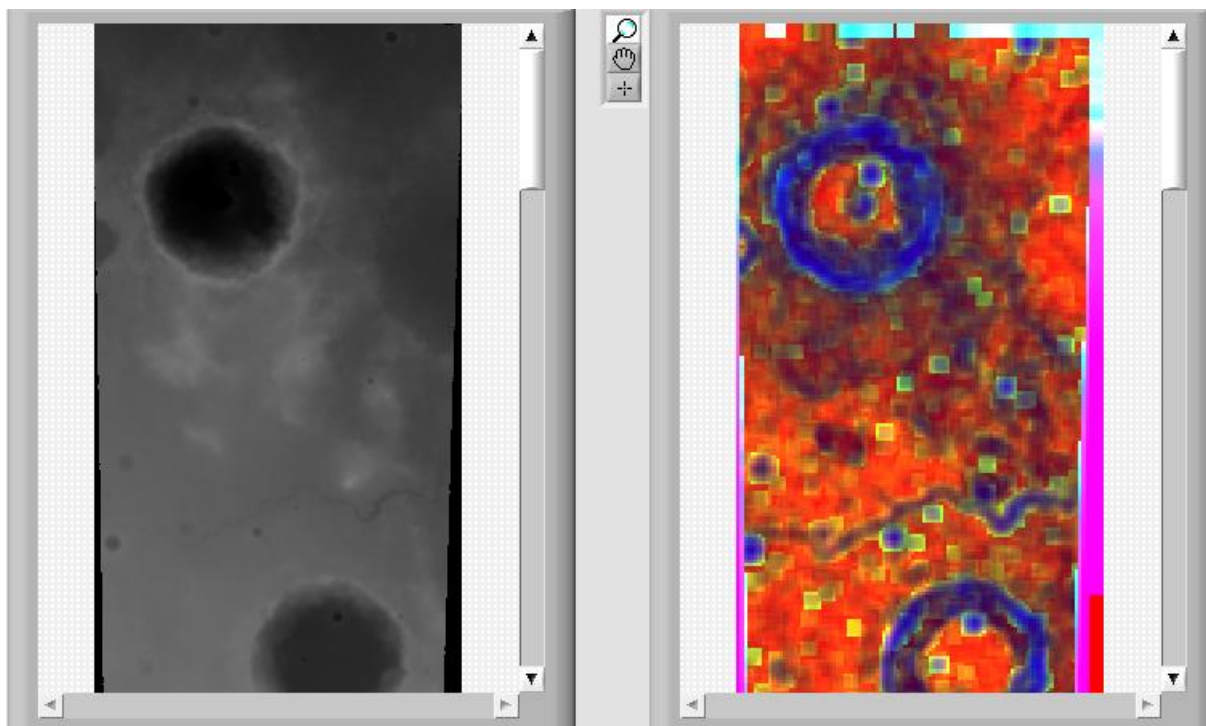
2. ábra: Völgy. Színezés alapja: csúcsosság. Megjelenítés: Balint, 2012



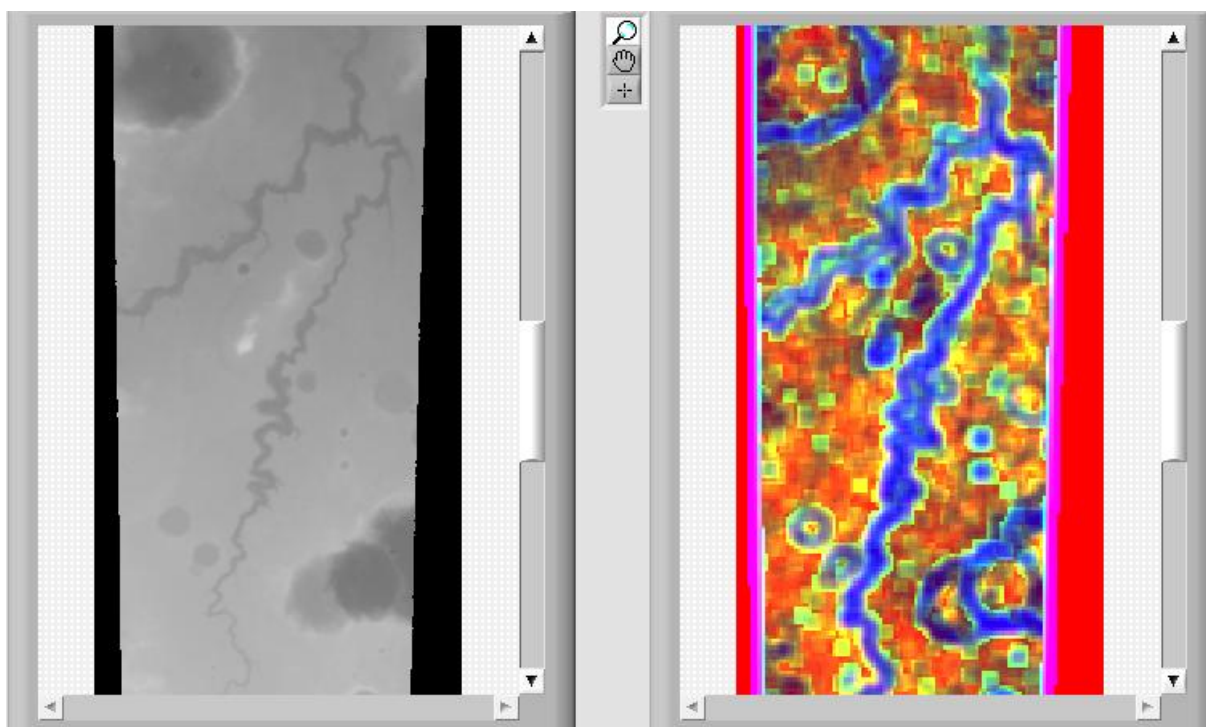
3. ábra: Völgy. Színezés alapja: ferdeség. Megjelenítés: Balint, 2012



4. ábra: Völgy. Színezés alapja: szórás. Megjelenítés: Balint, 2012



5. ábra: Északi részen fekvő kráter és törmelékek. Színezés alapja: RGB. Megjelenítés: Balint, 2012



6. ábra: Völgy. Színezés alapja: RGB. Megjelenítés: Balint, 2012