

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Mehmet Ali AKGÜL

**MARS/GALE KRATERİNDE UZAKTAN ALGILAMA VE YER
GÖZLEMLERİ İLE HEMATİT MİNERALİ DAĞILIMININ
ARAŞTIRILMASI**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2022

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARS/GALE KRATERİNDE UZAKTAN ALGILAMA VE YER
GÖZLEMLERİ İLE HEMATİT MİNERALİ DAĞILIMININ
ARAŞTIRILMASI**

Mehmet Ali AKGÜL

DOKTORA TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 14/11/2022 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Suphi URAL
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Kemal GÜRBÜZ
ÜYE

.....
Prof. Dr. Nazım AKSAKER
ÜYE

.....
Prof. Dr. Gökhan AYDIN
ÜYE

.....
Doç. Dr. Hakan AKSU
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

MARS/GALE KRATERİNDE UZAKTAN ALGILAMA VE YER GÖZLEMLERİ İLE HEMATİT MİNERALİ DAĞILIMININ ARAŞTIRILMASI

Mehmet Ali AKGÜL

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Suphi URAL
Yıl: 2022, Sayfa: 132
Jüri : Prof. Dr. Kemal GÜRBÜZ
: Prof. Dr. Nazım AKSAKER
: Prof. Dr. Gökhan AYDIN
: Doç. Dr. Hakan AKSU

Bu çalışmanın amacı Mars'ın tamamını gözlemleyebilen uydu verilerinin daha hassas yer verileri ile kalibrasyonunu yaparak daha hassas verilerin üretilebilmesini sağlamaktır. Çalışmada, ABD tarafından 2006 yılında Mars yörüngesine yerleşen MRO uydusu üzerinde bulunan CRISM algılayıcısının FRT görüntüleme tipi ile yine ABD tarafından 2012 yılında Mars'da Gale Krateri bölgesine indirilen Curiosity keşif aracı üzerinde bulunan Mastcam algılayıcısı kullanılarak, kraterin kuzeybatı kanadında ve kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan topografik bir yükselti olan VRR bölgesinde mineral araştırması yapılmıştır. Uydu verisi ön işleme için gerekli olan düzeltmeler IDL/ENVI programı üzerinde çalışan CAT modülü kullanılarak yapılmış, düzeltmeleri yapılmış uydu verisine Bant Derinliği yöntemi uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar MICA kütüphanesindeki mineraller ile karşılaştırılmış, VRR bölgesinde hematit minerali (Fe_2O_3) tespit edilmiştir. Aynı bölgede Mastcam verilerinin analiziyle hematit minerali tespit edildiği gibi CRISM algılayıcısının hematit tespit edemediği piksellerde de Mastcam hematit tespit etmiştir. CRISM verisine getirilmesi gereken düzeltmenin hesaplanması için çalışma alanında 40 adet CRISM pikseline isabet eden Curiosity keşif aracının 78 sol gününe ait 273 hematit örneği kullanarak bir model geliştirilmiştir. Pearson korelasyon katsayısı (r) % 86 ve MAE % 1.5 olarak bulunan modelin regresyon katsayıları kullanılarak hematit mineralini tespit eden BD860_2 indisi ModBD860_2 olarak modifiye edildiği gibi bu indis CRISM verisine uygulanarak çalışma alanındaki hematit minerali dağılımı haritası da güncellenmiştir. Çalışma alanında hematit minerali dağılımı BD860_2 indisi kullanılarak % 46 olarak tespit edilmesine rağmen ModBD860_2 indisi kullanılmasıyla bu oran % 74 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hiperspektral Uzaktan algılama, Astrojeoloji, Gezegen madenciliği, Gediz Vadisi, Hematit



ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION OF HEMATITE MINERAL DISTRIBUTION USING REMOTE SENSING AND GROUND OBSERVATIONS IN MARS/GALE CRATER

Mehmet Ali AKGÜL

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Suphi URAL
Year: 2022, Page: 132
Jury : Prof. Dr. Kemal GÜRBÜZ
: Prof. Dr. Nazım AKSAKER
: Prof. Dr. Gökhan AYDIN
: Assoc. Prof. Dr. Hakan AKSU

The aim of this study is to calibrate the satellite data, which can observe the whole of Mars, with more sensitive ground data, to ensure that more sensitive data can be produced. In the study, mineral exploration was carried out in the VRR region, which is a topographical elevation extending in the northwest flank of the crater and in the northeast-southwest direction, using the FRT imaging type of the CRISM sensor on the MRO satellite sent to Mars orbit by the USA in 2006 and the Mastcam sensor located on the Curiosity rover, which was also landed on the Gale Crater region on Mars by the USA in 2012. The necessary corrections for the satellite data preprocessing were made by using the CAT module running on the IDL/ENVI program, and the Band Depth method was applied to the corrected satellite data. The results were compared with the minerals in the MICA library, and the hematite (Fe_2O_3), which can produce iron by processing, was determined in the VRR region. In the same region, hematite mineral was detected by the analysis of Mastcam data, and Mastcam detected hematite in pixels where the CRISM detector could not detect hematite. A model was developed using 273 hematite samples from the 78 sol days of the Curiosity rover, which hit 40 CRISM pixels in the study area to calculate the correction to be brought to the CRISM data. By using the regression coefficients of the model, whose Pearson correlation coefficient (r) was found to be 86% and MAE was found to be 1.5%, The BD860_2 index, which detects the hematite mineral, was modified as ModBD860_2 and this index was applied to the CRISM data, and the hematite mineral distribution map in the study area was updated. Although the distribution of hematite in the study area was determined as 46 % using the BD860_2 index, it was found to be 74 % using the ModBD860_2 index.

Key Words: Hyperspectral Remote sensing, Astrogeology, Planetary mining, Gediz Vallis, Hematite



GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Mars'ta kolonileşme çalışmalarının en önemli kriteri hammadde kaynağıdır. 2012 yılında Mars yüzeyine indirilen, 899 kg ağırlığa sahip Curiosity keşif aracını Mars'a taşıyan Atlas V 541 roketinin baz maliyeti 145 milyon \$'dır (Rocketbuilder, 2022). Bu görev kapsamında taşıma maliyeti yaklaşık 161 000 \$/kg olmasına rağmen bu miktar 200 000 \$/kg'a kadar çıkabilmektedir (Marspedia, 2022). Bu maliyetin yüksekliği, barınma amaçlı yerleşim yerlerinin üretileceği hammadde den günlük hayatta kullanılacak alet ve ekipmanların üretileceği hammaddeye kadar tüm bunların Mars'tan karşılanması zorunlu kılmaktadır. Bu sebeple yerleşim yeri seçiminde en önemli kriter hammaddeye ulaşım olmaktadır. Yapılması gereken ilk çalışmalar ise Mars'taki mineral dağılımının haritalanması olmaktadır.

Mars mineral çalışmaları, Hawaii'de bulunan 3.8 m çapındaki UKIRT (United Kingdom Infrared Telescope) ve benzeri Yer Tabanlı teleskoplar ile Dünya yörüngesinde bulunan Hubble Teleskobu (2022 yılında fırlatılan James Webb Teleskobu da benzer çalışmalarda kullanılabilecektir) kullanılarak kızılötesi gözlemler ile yapılmakta fakat bu gözlemler hassasiyet açısından sınırlı kalmaktadır. Söz konusu bu gözlemlerin, ileride yapılacak uzay çalışmalarında, uzay araçlarının iniş yerinden güzergâhının belirlenmesine ve uzay aracı üzerinde bulunan algılayıcıların tasarlanmasına kadar (Dalgaboyu aralığı, algılama hassasiyeti ve yersel çözünürlük vb.) birçok konuda faydası bulunmaktadır.

Uzay araçları ile yapılan Mars görevleri, bilim otoriteleri tarafından dahi bir Mars uğursuzluğu olarak nitelendirilecek kadar çok sayıda başarısızlıkla dolu olmasına rağmen ilk başarılı Mars görevi ABD'ye ait Mariner 4 uzay aracı ve ilk mineral araştırma çalışması Sovyet Rusya'ya ait olan ve Mars yörüngesine 29.01.1989 tarihinde giren Phobos 2 uydusu tarafından yapılmıştır. Phobos 2 uydusu üzerinde bulunan Kızılötesi Tayfölçeri (Infrared Spectrometer, ISM) ile gezegen yüzeyinin bileşimleri araştırılmıştır. Uydu verileri ile mineraloji çalışmalarında

ABD, 11.9.1997 tarihinde Mars yörüngesine yerleşen Mars Global Surveyor (MGS) uydusu üzerinde bulunan Termal Emisyon Tayfölçeri (Thermal Emission Spectrometer, TES) yardımıyla, 24.10.2001 tarihinde Mars yörüngesine giren 2001 Mars Odyssey uydusu üzerinde bulunan Termal Emisyon Görüntüleme Sistemiyle (Thermal Emission Imaging System, THEMIS) ve 10.3.2006 tarihinde Mars yörüngesine giren Mars Keşif uydusu (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) üzerinde bulunan Mars Kompakt Keşif Görüntüleme Tayfölçeri (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars, CRISM) ile yüzeyin bileşimlerini ve dağılımını incelemiştir. Mineraloji çalışmalarına, Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) ise 30.12.2003 tarihinde Mars yörüngesine giren Mars Express uydusu üzerinde bulunan Kızılötesi Mineralojik Haritalama Tayfölçeri (Infrared Mineralogical Mapping Spectrometer, or Observatoire pour la Mineralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activit, OMEGA) ile katılmıştır.

Her ne kadar Mars yörüngesindeki uydular gezegenin tamamını gözlemleyebilse de üzerinde bulunan algılayıcıların hassasiyetinin düşüklüğü, çok ince de olsa gezegenin sahip olduğu atmosfer ve sürekli oluşan toz fırtınaları ve benzeri atmosferik nedenlerden dolayı yersel çalışmaları mecbur kılmıştır. Yersel mineraloji çalışmalarının öncüleri ise ABD tarafından 4.12.1996 tarihinde fırlatılan ve 4.7.1997 tarihinde Mars yüzeyine iniş yapan ve üzerinde Alfa Proton X-ışını Tayfölçeri (Alpha Proton X-ray Spectrometer, APXS) bulunan Pathfinder görevinin bir parçası olan Sojourner keşif aracı, 4.1.2004 tarihinde Mars yüzeyine iniş yapan Spirit keşif aracı, Spirit'in kardeşi olan 25.1.2004 tarihinde iniş yapan Opportunity keşif aracı, 25.5.2008 tarihinde iniş yapan Phoenix iniş aracı, 6.8.2012 tarihinde iniş yapan Curiosity keşif aracı ve 18.2.2021 tarihinde iniş yapan Perseverance keşif aracıdır.

Bu tezin amacı Mars yüzeyinde hematit mineralinin dağılımının uydu ve yer gözlemleri ile araştırılmasıdır.

Çalışmada, uydu verisi olarak ABD tarafından 2006 yılında Mars yörüngesine yerleşen üzerindeki sensörlerden dolayı bir gezegen yörüngesindeki teknolojik olarak en güçlü uydu olarak tanımlanan Mars Keşif uydusu (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) üzerinde bulunan, 0.36 ile 3.92 μm arasındaki 545 bantta hiperspektral algılama da yapabilen Mars Kompakt Keşif Görüntüleme Tayfölçeri (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars, CRISM) verisi kullanılmıştır.

Yersel veri olarak ise yine ABD tarafından 2012 yılında Gale kraterinin Kuzey-Batısında yer alan Gediz vadisi olarak isimlendirilen bölgeye iniş yapan üzerinde 11 adet farklı algılayıcısı bulunan Mars Uzay Laboratuvarı (Mars Science Laboratory, MSL) görevinin bir parçası olan Curiosity keşif aracının üzerinde bulunan Mastcam algılayıcısı kullanılmıştır. Mastcam algılayıcısı, mesafeye bağlı olarak milimetreden metreye kadar çözünürlüğe sahip, 0.45 ile 1.1 μm arasında 12 bantta algılama yapabilen multispektral bir görüntüleyicidir.

Uydu verisinin ön işleme için gerekli olan fotometrik, atmosferik ve geometrik düzeltmeler ile veri filtreleme/çizgi düzeltmeleri IDL/ENVI programı üzerinde çalışan CAT (CRISM Analysis Toolkit) modülü kullanılarak yapılmıştır. Düzeltmeleri yapılmış uydu verisine, spektral verilerin parametrelendirilmesinde en yaygın yöntem olarak kullanılan Bant Derinliği (Band Depth, BD) yöntemi uygulanmış, çıkan sonuçlar CRISM Analizi ile Tanımlanan Mineraller (Minerals Identified through CRISM Analysis, MICA) kütüphanesindeki mineraller ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, işlenmesi ile demir üretilen, gelecekte kurulması düşünülen bir Mars yerleşiminin yer seçiminde ve imarında ki en önemli minerallerin başında gelecek olan hematit minerali tespit edilmiştir.

Yersel verinin analizi, Curiosity keşif aracı üzerinde bulunan Mastcam algılayıcısı kullanılarak aynı BD yöntemi ile yapılmış, bu analizler sonucunda uydu verisinde olduğu gibi hematit minerali tespit edilmiştir.

CRISM verisinde hematitin absorbe olduğu 860 nm'deki bant derinliğini hesaplayan BD860_2 indisi ile Mastcam algılayıcısında hematitin absorbe olduğu 867 nm'deki bant deriliğini hesaplayan BD867 indisi arasında kurulan model sonucunda Pearson korelasyon katsayısı (r) % 86 olarak bulunmuştur.

Bulunan model katsayıları kullanılarak uydu verilerinin analizi ile bulunan değrlere bir düzeltme yapılabilmekte, Mars'ın tamamı için görüntüleme yapan uydulardan alınan verilerin daha hassas sonuçlara ulaşılması mümkün olmaktadır.



TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam sırasında bana yol gösteren ve hiçbir zaman yardımını esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Suphi URAL'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin şekillenmesinde büyük yardımlarını gördüğüm, Doktora Tez İzleme Komitesi üyesi değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Kemal GÜRBÜZ ve Sayın Prof. Dr. Nazım AKSAKER'e ve tezin değerlendirmesini yapan Sayın Prof. Dr. Gökhan AYDIN ve Sayın Doç. Dr. Hakan AKSU'ya teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	III
ABSTRACT.....	V
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	VII
TEŞEKKÜR.....	XI
İÇİNDEKİLER	XIII
ÇİZELGE LİSTESİ	XV
ŞEKİL LİSTESİ.....	XVII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XXI
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	13
2.1. Uzaktan Algılama Çalışmaları.....	13
2.2. Yersel Çalışmalar.....	30
3. MATERYAL ve METOT.....	41
3.1. Çalışma Alanı	41
3.2. Materyal.....	49
3.2.1. Uzaktan Algılama Verisi.....	49
3.2.2. Yersel Veri	56
3.3. Meto.....	64
3.3.1. Uzaktan Algılama Verisi Ön İşleme ve Mineral Analizi	64
3.3.2. Yersel Veri Ön İşleme ve Mineral Analizi.....	71
3.3.3. Model Kurulması	73
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	79
4.1. Uzaktan Algılama Analiz Sonuçları	79
4.2. Yersel Veri Analiz Sonuçları	82
4.3. Model Sonuçları.....	85
5. SONUÇLAR.....	101

KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	121
EKLER.....	127
Ek-1 Mastcam.....	129



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Curiosity keşif aracı için son dört aday iniş yeri özellikleri (Golombek ve ark., 2011).....	42
Çizelge 3.2. MRO uydusu algılayıcılarının özellikleri (NASA, 2022e).	51
Çizelge 3.3. CRISM algılayıcısı modları ve özellikleri (Morgan ve ark., 2017). ...	52
Çizelge 3.4. Mastcam kamerasının özellikleri (Lakdawalla, 2018).....	61
Çizelge 3.5. Mastcam algılayıcısı bant özellikleri (Bell ve ark., 2017).	62
Çizelge 3.6. CRISM'e ait İndislerin formülleri ve açıklamaları (Viviano-Beck ve ark., 2014).....	70
Çizelge 3.7. Mastcam'e ait İndislerin formülleri ve referansları (Seeger, 2020)....	73
Çizelge 3.8. İkili karşılaştırma istatistikleri formülleri.	76
Çizelge 4.1. Modelde kullanılan CRISM ve Mastcam değerleri.	85
Çizelge 4.2. Mastcam BD867 indislerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	88
Çizelge 4.3. Performans istatistikleri sonuçları.....	90
Çizelge 4.4. Uygun değerlere ait istatistiksel sonuçlar.	93
Çizelge 4.5. Doğrusal model regresyon katsayıları, Pearson korelasyon katsayıları (r) ve Belirginlik katsayıları (R^2).	94
Çizelge 4.6. Kalibrasyon ve validasyona ait regresyon katsayıları, Pearson korelasyon katsayıları (r) ve Belirginlik katsayıları (R^2).....	96
Çizelge 4.7. Kalibrasyon ve validasyona ait istatistiksel sonuçlar.....	98



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. J. Mädler ve W. Beer tarafından çizilen Mars haritası (Beer ve Mädler, 1840).....	3
Şekil 1.2. R. A. Proctor tarafından çizilen Mars haritası (Proctor, 1869).	3
Şekil 1.3. C. Flammarion tarafından çizilen Mars haritası (Flammarion, 1884).....	4
Şekil 1.4. G. Schiaparelli tarafından çizilen Mars haritası (Schiaparelli, 1888).	4
Şekil 1.5. ABD'nin Mars görevleri (NASA, 2022c).	8
Şekil 2.1. Mariner 4 uzay aracı tarafından Mars'taki kraterleri açıkça gösteren ilk fotoğraf (NASA, 2022b).....	14
Şekil 2.2. Mars'taki Olympus Mons'un merkezi (NASA, 2022b).	16
Şekil 2.3. THEMIS VIS kamerası ile çekilmiş Gale kraterine ait V52390002 numaralı görüntü (Christensen ve ark., 2022).....	20
Şekil 2.4. HRSC kamerası ile üretilmiş Jezero krateri topoğrafik haritası (ESA, 2022a).....	21
Şekil 2.5. HiRISE kamerası tarafından çekilen Curiosity keşif aracı (NASA, 2022d).	22
Şekil 2.6. Mars'ta gözlemlenen ortalama güneş rüzgarı akışı (CU Boulder, 2022).	24
Şekil 2.7. Schiaparelli iniş aracı çarpma bölgesi (ESA, 2022b).	26
Şekil 2.8. Tianwen 1 tarafından çekilmiş Mars'ın kuzey kutup dairesi (CNSA, 2022a).	28
Şekil 2.9. Mars yüzeyinde bulunan iniş ve keşif araçlarının konumları (NASA, 2022d).	30
Şekil 2.10. Viking 1 tarafından çekilmiş Mars yüzeyinin ilk panoramik görüntüsü (NASA, 2022b).....	31
Şekil 2.11. Viking 2 aracı tarafından çekilmiş ilk görüntü (NASA, 2022b).	32

Şekil 2.12. Pathfinder iniş aracı tarafından çekilmiş ilk görüntü (NASA, 2022d).	33
Şekil 2.13. Beagle 2 aracı (ESA, 2022c).	34
Şekil 2.14. Spirit keşif aracından çekilmiş Gusev krateri'ne ait görüntü (NASA, 2022b).	35
Şekil 2.15. Opportunity keşif aracından gelen ilk görüntü (NASA, 2022b).	36
Şekil 2.16. Phoenix iniş aracından gelen ilk görüntü (NASA, 2022a).	37
Şekil 2.17. Curiosity keşif aracının Hazcams kamerasından çekilen Sharp Dağı (NASA, 2022c).	38
Şekil 2.18. InSight iniş aracının çalışma prensibi.	39
Şekil 2.19. Perseverance keşif aracından gelen ilk renkli görüntü (NASA, 2022a).	40
Şekil 2.20. Zhurong keşif aracından gelen ilk renkli görüntü (CNSA, 2022c).	40
Şekil 3.1. Curiosity keşif aracı için önerilen tüm iniş alanlarını (kırmızı noktalar) ve son dört aday alanı (mavi noktalar) (Smithsonian Institution, 2022a).	42
Şekil 3.2. Curiosity keşif aracı için son dört aday (Smithsonian Institution, 2022b).	43
Şekil 3.3. Çalışma alanı (Akgül ve Ural, 2022).	44
Şekil 3.4. Jeolojik birimlerin korelasyonu (Tanaka ve ark., 2014).	45
Şekil 3.5. İnceleme alanı jeolojik haritası (Tanaka ve ark., 2014).	46
Şekil 3.6. İnceleme alanının stratigrafik dikme kesiti (Fraeman ve ark., 2020b; Edgar ve ark., 2020).	47
Şekil 3.7. Vera Rubin Sırtının perspektif görünümü (Fraeman ve ark., 2020b).	48
Şekil 3.8. Diyajenezine katkıda bulunmuş olası ana su yolları (Fraeman ve ark., 2020b).	48
Şekil 3.9. MRO uydusu üzerinde bulunan algılayıcıları gösterir plan (NASA, 2005).	49

Şekil 3.10. MRO uydusu algılayıcıları elektromanyetik spektrumunu (NASA, 2022d).....	50
Şekil 3.11. CRISM interaktif haritası arayüzü (JHUAPL, 2022).....	53
Şekil 3.12. CRISM verilerine ulaşım için PDS arşivi arayüzü.....	54
Şekil 3.13. FRT0000B6F1_07_IF165S_TRR3 görüntüsüne ait spectral medyan grafiği.....	55
Şekil 3.14. FRT0000B6F1_07_IF165L_TRR3 görüntüsüne ait spectral medyan grafiği.....	55
Şekil 3.15. Curiosity keşif aracı rotası (WUSTL, 2022).	57
Şekil 3.16. Curiosity keşif aracı algılayıcıları ve konumları (NASA, 2022f).	58
Şekil 3.17. Mastcam algılayıcısının ana bileşenleri (Lakdawalla, 2018).	60
Şekil 3.18. Mastcam algılayıcısı bantlarına ait dalgaboyu grafikleri (Bell ve ark., 2012).....	63
Şekil 3.19. Mastcam kalibrasyon hedefi (Lakdawalla, 2018).	64
Şekil 3.20. CRISM verisi analizi akış şeması.....	65
Şekil 3.21. PDS'den CAT formatına çevirme.....	66
Şekil 3.22. Fotometrik düzeltme (PHT) ve Atmosferik düzeltme (ATM).	67
Şekil 3.23. CRISM veri filtreleme / Çizgi düzeltme (CLN, Destripe, Despike). ..	67
Şekil 3.24. Geometrik düzeltme (GEO).	68
Şekil 3.25. İndislerin hesaplanması (SUM).....	69
Şekil 3.26. Bant derinliği (Viviano-Beck ve ark., 2014).....	69
Şekil 3.27. MSL Curiosity Analyst's Notebook sitesi arayüzü (WUSTL, 2022). .	71
Şekil 3.28. Mastcam kalibrasyon hedefi (Wellington, 2018).	72
Şekil 3.29. İnceleme alanı çerisinde kalan CRISM pikselleri ve Sanal İstasyonları.	74
Şekil 3.30. İnceleme alanı çerisinde kalan CRISM Sanal İstasyonları ve Curiosity keşif aracı güzergahının birlikte görünümü.....	75

Şekil 4.1. İnceleme alanının Mineral indisleri uygulanmış haritası (RGB: BD860_2, BD640_2, BD920_2).	79
Şekil 4.2. Piksel spektral grafiği (Continuum Removed).....	80
Şekil 4.3. Hematit minerali dalgaboyu (The MICA Files, 2019).	81
Şekil 4.4. Hematit minerali dağılım haritası.....	82
Şekil 4.5. Sharp Dağı'nın kuzeybatı çeyreğini gösteren HiRISE görüntüsü (Fraeman ve ark., 2020a).	83
Şekil 4.6. Çalışmada analiz ettikleri CRISM görüntülerinin konumu ve Curiosity keşif aracı güzergahı (Fraeman ve ark., 2020a).	84
Şekil 4.7. CRISM pikselleri ve Curiosity keşif aracı güzergahı.....	85
Şekil 4.8. Uygun değerlerin seçimine ait akış şeması.	91
Şekil 4.9. Uygun değerlerin seçimine ait grafik.	92
Şekil 4.10. Uygun değerlere ait Modelin grafiği.	93
Şekil 4.11. ModBD860_2 ve Mastcam BD867 minimum/maksimum grafiği.	95
Şekil 4.12. Kalibrasyon grafiği.....	97
Şekil 4.13. Validasyon grafiği.....	97
Şekil 4.14. ModBD860_2 indisi ile üretilen Hematit minerali dağılım haritası....	98

SİMGELER VE KISALTMALAR

ADR	: Ancillary Data Records
APXS	: Alpha Particle X-Ray Spectrometer
ASI	: Agenzia Spaziale Italiana
AU	: Astronomical Unit
BD	: Band Depth
BD860_2	: CRISM için 860 nm'deki Bant Derinliği
BD867	: Mastcam için 867 nm'deki Bant Derinliği
Caltarget	: Calibration target
CAT	: CRISM Analysis Toolkit
CDR	: Calibration Data Records
CheMin	: Chemical and Mineralogy
ChemCam	: Chemistry and Camera
CNSA	: China National Space Administration
CRISM	: Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars
CTX	: Context Imager
DAN	: Dynamic Albedo Of Neutrons
DDR	: Derived Data Record
DRT	: Dust Removal Tool
EDR	: Experimental Data Record
ESA	: European Space Agency
FLYBY	: Yakın Geçiş
HiRISE	: High-Resolution Imaging Science Experiment
HST	: Hubble Space Telescope
ISRO	: Indian Space Research Organization
IR	: Infrared
JAXA	: Japan Aerospace Exploration Agency

JIRAM	: Jovian Infrared Auroral Mapper
LDR	: Limb Data Record
M ³	: Moon Mineralogy Mapper
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
MAHLI	: Mars Hand Lens Imager
MARCI	: Mars Color Imager
MARDI	: Mars Descent Imager
Mastcam	: Mast Camera
MASCOT	: The Mobile Asteroid Surface Scout
MCS	: Mars Climate Sounder
ME	: Ortalama Hata
MEDLI	: Mars Science Laboratory Entry Descent and Landing Instrument
MER	: Mars Exploration Rover
MESSENGER	: MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry, and Ranging
MICA	: Minerals Identified through CRISM Analysis
ModBD860_2	: CRISM için Modifiye edilmiş BD860_2 indisi
MOLA	: Mars Orbiter Laser Altimeter
MRO	: Mars Reconnaissance Orbiter
MSL	: Mars Science Laboratory
MRDR	: Map-Projected Multispectral Reduced Data Record
MTRDR	: Map- Projected Targeted Reduced Data Record
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NIR	: Near InfraRed
NSE	: Nash-Sutcliffe Etkinlik Katsayısı
NIMS	: Near-Infrared Mapping Spectrometer
OCAMS	: OSIRIS-REx Camera Suit

OMEGA	: Observatoire pour la Minéralogie, L'Eau, les Glaces et l'Activité (Infrared Mineralogical Mapping Spectrometer)
OSIRIS-REx	: Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification ve Security–Regolith Explorer
PB	: Yüzde Sapma
PSD	: Planetary Data System
r	: Pearson korelasyon katsayısı
R ²	: Belirginlik Katsayısı, Determinasyon Katsayısı
RAD	: Radiation Assessment Detector
REMS	: Rover Environmental Monitoring Station
Roscosmos	: Rusya Uzay Faaliyetleri Kurumu
SAM	: Sample Analysis at Mars
SHARAD	: Shallow Subsurface RADAR
Sol	: Solar day on Mars
SSI	: Solid-State Imaging
TRDR	: Targeted Reduced Data Record
USGS	: U.S. Geological Survey
UVS	: Ultraviolet Spectrometer
VNIR	: Visible Near Infrared
VRR	: Vera Rubin Ridge



1. GİRİŞ

Güneş sisteminde gece/gündüz sıcaklık farkları, mevsimler ve 25 saatlik güneş döngüsü ile Dünya'ya en çok benzeyen gezegen Mars'tır. Bu özellikler Mars'ı diğer gezegenlere göre daha yaşanabilir kılmaktadır. Geçmişte akan suyun oluşturduğu kanallar ve çeşitli karmaşık yüzeylere sahip olan gezegen, soğuk ve kuru koşullar dolayısıyla şu anda yaşamı desteklemiyor olsa da bilim adamları, tarihin başında daha sıcak, daha nemli ve çok daha yoğun bir atmosfere sahip olduğuna inanmaktadırlar. Mars'ın bir zamanlar göller, hatta muhtemelen nehirler ve bir okyanus ile kaplı olduğu düşünüldüğünde gezegenin ikliminin nasıl ve neden değiştiğini öğrenmek, Dünyamızın iklimini ve gelecekte nasıl değişebileceğini anlamamıza yardımcı olacaktır. Dünyamızinkine eşit büyüklükte karasal alana sahip ve zengin doğal kaynaklar barındıran Mars yüzeyinde, hava ve su da dâhil olmak üzere yaşam desteği için gerekli olan mineraller bulunabilir veya üretilir. Bu kaynaklar, gezegeni keşfetmeye devam ederken, insanların Mars'ta yaşaması ve çalışması için gerekli olacaktır (NASA, 1997).

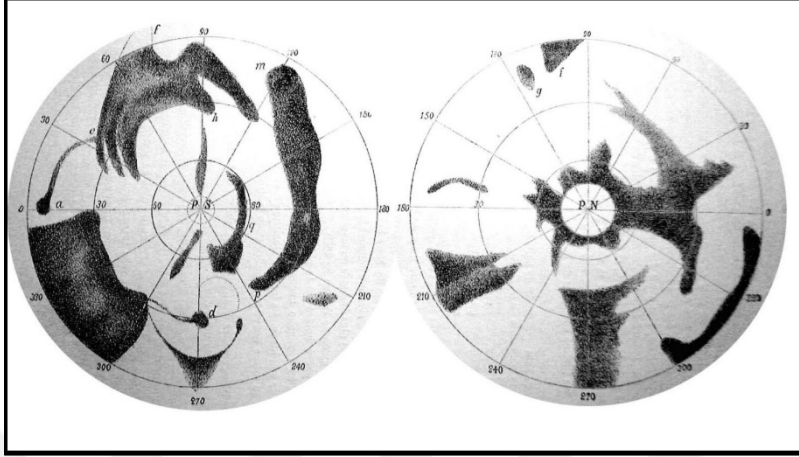
Mars'ın Güneş etrafında çizdiği eliptik yörüngeden dolayı Güneş'e olan uzaklığı 206.7×10^6 ile 249.26×10^6 km arasında değişmekte, Dünya'dan uzaklığı ise 54.6×10^6 ile 401.4×10^6 km arasında olmaktadır. Bir yılını yaklaşık 687 günde tamamlayan gezegenin bir günü ise 24.7 saate tekabül etmektedir. Gezegenin yarıçapı ekvatorda 3396.2 km, ağırlığı 0.6×10^{24} kg, yerçekimi ise 3.7 m/s^2 'ye karşılık gelmektedir. Yüzey sıcaklığı Viking 1 iniş sahası için -89°C ile -31°C arasında değişmekte, yüzey basıncı ise aynı bölge için 6.9 milibar ile 9 milibar arasındadır. Gezegen Dünyaninkine göre ince de olsa bir atmosfere sahip olup, atmosferin % 95.1'i Karbon dioksit (CO_2), % 2.6'u Nitrojen (N_2), % 1.9'i Argon (Ar), % 0.2'si Oksijen (O_2) ve % 0.1'si ise Karbon monoksit (CO)'den oluşmaktadır (NASA, 2022b).

Kayıtlı insanlık tarihi boyunca yoğun bilimsel ilginin ve çalışmanın odağı olan Mars, teleskopun ortaya çıkmasından önce bile, gökbilimciler gezegenin gökyüzündeki hareketini dikkatlice incelemişlerdir. Teleskoptan önce Mars'ın gökyüzündeki hareketinin dikkatli gözlemleri sonucunda ilk astronomlar gezegen hakkında iki şey çıkarmışlardı. Bunlardan birincisi bir Mars yılının yaklaşık 687 Dünya günü olduğunu, ikincisi ise retrograd hareketi denilen gökyüzündeki garip döngü yoluydu (Sheehan, 1996).

1609 yılında teleskopun icadı ile Mars daha ayrıntılı gözlenmeye başlanmış, aynı yılı Galileo yaptığı gözlem ile gezegenin kırmızımsı-turuncu diskinden başka bir şey ortaya çıkaramasa da, daha büyük teleskoplar yavaş yavaş gezegenden daha fazla bilgi almaya başlamışlardı (Sheehan, 2015). Yüzeydeki albedo işaretlerini ilk gösteren harita Christiaan Huygens tarafından 1659 yılında yayınlanmış, bu işaretlerinin belirlenmesi, astronomların Mars'ın dönüş periyodunun yaklaşık 24 saat olduğunu belirlemesine sağlamıştı (Hotakainen, 2008). Giovanni Cassini 1666 yılında rapor edene kadar parlak kutup başlıkları fark edilmemişti (Cattermole, 1992).

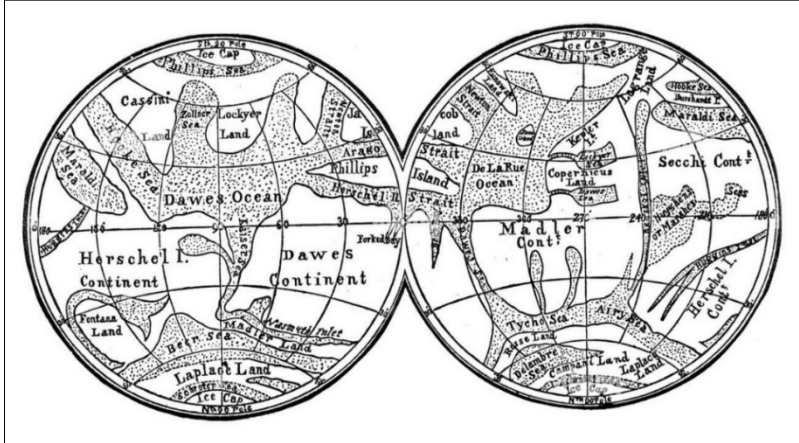
Sir William Herschel, 1777 yılından 1783 yılına kadar Mars'ı gözlemlemiş, yaptığı çalışmalar neticesinde gezegenin dönme ekseninin yörüngesine dikten yaklaşık 30° eğimli olduğunu belirleyen ilk kişi olmuştur. Bu sonuç, Mars'ın Dünya'ya benzer şekilde dört mevsim yaşadığını göstermişti. Herschel, gezegenin dönüş süresini de 24 saat 39 dakika 21.67 saniye olarak belirlemiş ayrıca bulutlara bağladığı gezegenin görünümünde gördüğü değişikliklere dayanarak Mars'ın çevresinde ince bir atmosferin varlığını tespit etmişti (Herschel, 1781).

1830 yılında Mars ve Dünya arasındaki mesafe kısılmış, Mars'ın ilk tam haritası bu süre zarfındaki gözlemlerden elde edilmişti. 1840 yılında Johan von Mädler ve Wilhelm Beer tarafından gezegen için bir enlem-boylam sistemi kuran ilk harita yayınlanmış (Şekil 1.1), ayrıca çalışmaları sonucunda Mars'ın dönüş süresini 24 saat 37 dakika 22,6 saniye olarak hesaplamışlardı (Beer ve Mädler, 1831).

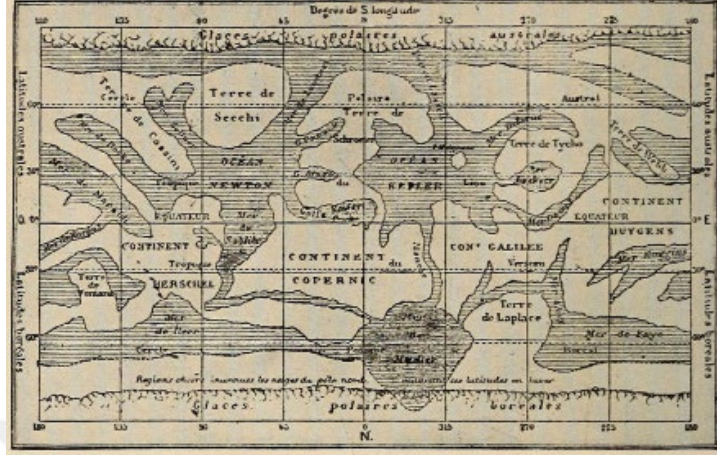


Şekil 1.1. J. Mädler ve W. Beer tarafından çizilen Mars haritası (Beer ve Mädler, 1840).

1830 yılı ile 20. yüzyılın başları arasında çok sayıda Mars çizimi yapılmış, en önemlileri arasında 1867 yılında Richard Anthony Proctor (Şekil 1.2) ve 1876 yılında Camille Flammarion tarafından çizilenler sayılabilir (Şekil 1.3).

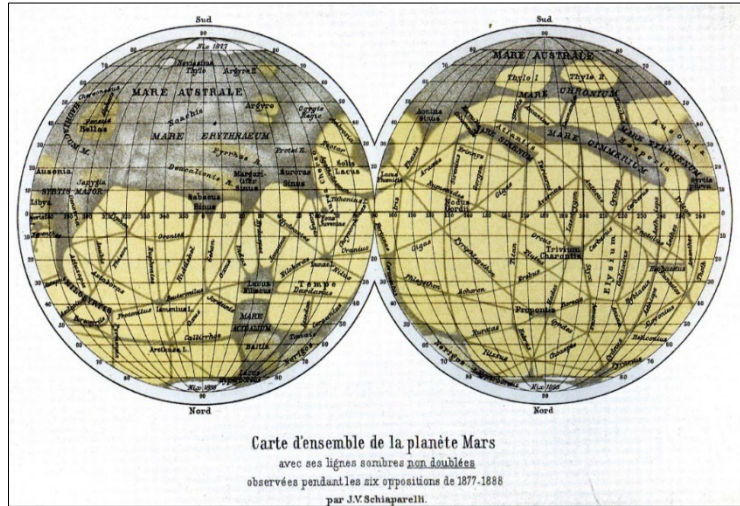


Şekil 1.2. R. A. Proctor tarafından çizilen Mars haritası (Proctor, 1869).



Şekil 1.3. C. Flammarion tarafından çizilen Mars haritası (Flammarion, 1884).

Proctor ve Flammarion'un her ikisi de haritalarında bölgeleri adlandırmış olsalar da, şu anda kullanılan isimlendirme sistemi, Giovanni Schiaparelli tarafından 1877 haritasında gösterildiği şekilde kullanılmaktadır. Schiaparelli'nin haritasını tüm enlemlere genişlettiği ve projeksiyonu revize ettiği haritası Şekil 1.4'de verilmektedir.



Şekil 1.4. G. Schiaparelli tarafından çizilen Mars haritası (Schiaparelli, 1888).

1877 yılında Mars ve Dünya birbirlerine çok yaklaşmışlar, bunun sonucunda da yeni keşiflerin artmasına sebep olmuştu. Mars'ın iki uydusu Phobos ve Deimos, Asaph Hall tarafından aynı yıl keşfedilmişti (Hall, 1877).

Teleskopik boyut ve teknolojiye ilerlemeler, astronomik gözlemlerin kalitesini ve türünü büyük ölçüde artırdı ve Mars mineral çalışmaları, teleskop teknolojisindeki ilerlemelerden yararlanan alanlardan biri oldu.

Yer Tabanlı teleskoplardan ve Hubble Uzay Teleskobu'ndan Mars'ın kızılötesi gözlemleri, hidratlı minerallerin varlığı da dâhil olmak üzere yüzey boyunca mineralojik varyasyonların kanıtlarını sağlamıştı (Barlow, 2008). Hubble Uzay Teleskobu'ndan yapılan gözlemlerle birlikte uyarlanabilir optiğin ortaya çıkışı, çözünürlükte çarpıcı gelişmeler sağladı ve daha sonra yalnızca Mars'ta yörüngedeki uzay araçları tarafından görülen Mars özelliklerinin incelenmesine olanak vermişti. Dünya üzerindeki radyo teleskoplarından yapılan radar gözlemleri, iniş araçları ve keşif araçları için iniş alanlarının seçiminde önemli olan yüzey pürüzlülüğü hakkında önemli bilgiler sağlamışlardı (Rivera-Valentin ve ark., 2021).

20.yy'ın ikinci yarısında ABD ile Sovyet Rusya arasında başlayan uzay yarışından nasibi alan Mars, öncelikle yakın geçiş uzay araçları (Flyby), daha sonra yörüngesinden uydular (Orbiter), iniş araçları (Lander) ve nihayetinde keşif araçları (Rover) ile incelenmeye başlanmıştı.

Mars'a ilk uzay aracı gönderen Sovyet Rusya olmuştu. Birkaç başarısızlıktan sonra, 1.11.1962 tarihinde fırlatılan ve 19.6.1963 tarihinde Mars yüzeyinin yaklaşık 193000 km yakınında uçan Mars 1 uzay aracıyla başarılı oldu. Uzay aracı, gezegeni fotoğraflamak, geçiş sırasında güneş rüzgârı hakkında veri elde etmek ve Mars'ın bir manyetik alanı olup olmadığını belirlemek için gönderilmiş olsa da, anten yönlendirme sistemindeki bir arızadan dolayı Dünya'ya hiçbir veri gönderemedi (Govorchin, 1965).

ABD'nin ilk başarılı Mars görevi ise 14.7.1965 tarihinde gezegenin yüzeyinden 9920 km mesafeden geçen Mariner 4 uzay aracı olmuştu. Uzay aracının

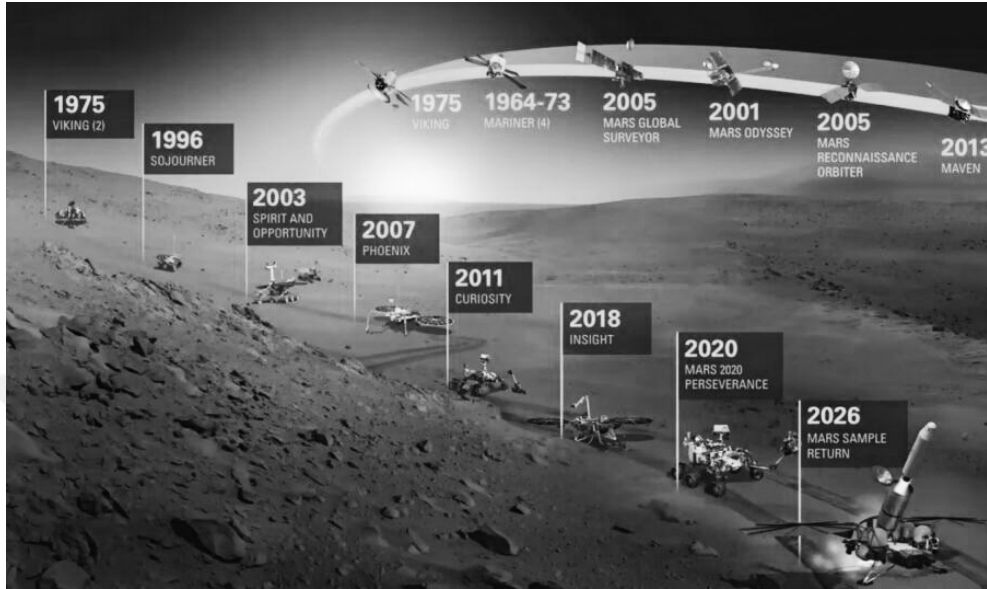
Dünya'ya gönderdiği 22 yakın çekim fotoğraf Mars yüzeyinin yoğun kraterli bir yüzeyi olduğunu ortaya çıkarmış, üzerinde bulunan algılayıcılar, Mars'ın esas olarak karbondioksitten (CO_2) oluşan bir atmosferle çevrili olduğunu ve bu atmosferin 500 ila 1000 Pascal (Pa) aralığında bir yüzey basıncı uyguladığını tespit etmişti (Nicks, 1967; Sloan, 1968). Mariner 4'ün bu başarısında sonra 25.2.1969 tarihinde Mariner 6 ve 27.3.1969 tarihinde Mariner 7 uzay araçları başarı ile fırlatılmıştı. Mars'a yakın geçiş yapan uzay araçları toplamda 200'den fazla resmi Dünya'ya göndermeyi başarmışlardı (Collins, 1971).

Görevin devam eden uzay aracı Mariner 9, yakın geçiş uzay aracı değil Mars yörüngesine giren bir uyduydu. Mariner 4, 6 ve 7 uzay araçları, Mars hakkında önemli yeni bilgiler getirmesine rağmen kameralarının kapsadığı yüzey alanı çok küçüktü ve Mars'ın yoğun kraterli, jeolojik olarak ölü bir dünya olduğunu öne sürmüştü (Steinbacher ve ark., 1972). Ancak 24.11.1971 tarihinde Mariner 9 uydusunun Mars yörüngesine girdiğinde bu görüş çarpıcı biçimde değişmişti (Steinbacher ve ark., 1973). Mariner 9 uydusu tarafından yapılan keşifler arasında, genç volkanların, kanyonların ve kanalların yanı sıra yoğun kraterli bölgelerin varlığı, yerel toz fırtınaları, buz bulutları ve sabah sisi gibi meteorolojik olaylar, Mars, Phobos ve Deimos'un boyutu ve şekli hakkında ayrıntılı bilgiler, atmosfer içindeki sıcaklık gradyanları, yüzey ve atmosferin termal özellikleri ve atmosferik bileşimi ve ayrıca akan bir sıvının, büyük olasılıkla suyun oluşturduğu kanalların keşfi bulunmaktaydı (Hartmann ve Raper, 1974).

Mariner 9 uzay aracının Mars'a ulaşmasından birkaç hafta sonra, kasım ayı sonlarında Sovyet Rusya tarafından 19 Mayıs ve 28 Mayıs 1971'de fırlatılan Mars 2 ve Mars 3 uzay araçları Mars yörüngesine ulaştı. 1971 yılındaki küresel toz fırtınası, iki Sovyet uzay aracı geldiğinde gezegeni tamamen kaplamıştı. Resimler çekildi, ancak gezegenin yalnızca özelliksiz yüzünü gösterdiler (Johnson, 1979). Ancak diğer sensörler daha faydalı veriler sağladı. Kızılötesi radyometre, yüzey sıcaklıkları ve termal ataletle ilişkin ilk göstergeyi sağladı ve gezegenin yüzeyinin kuru tozla

kaplı olduğunu düşündürdü. Kuzey kutup başlığının sıcaklık gözlemleri, karbondioksitin yoğunlaşma sıcaklığına yakındı, bu da CO₂'nin buzulların ana bileşeni olduğunu gösteriyordu. Atmosferin, Mars 2 ve Mars 3 fotometreleriyle yapılan gözlemleri, toz fırtınası bulutlarının yüksekliğinin 10 km olduğunu ve toz fırtınası sırasında atmosferdeki su buharı miktarının son derece düşük olduğunu gösterdi (Harvey, 1996). Hem Mars 2 hem de Mars 3 uyduları iniş aracı taşıyorlardı. Mars 2 iniş modülü 27 Kasım'da uydudan ayrıldı ancak iniş sırasında başarısız oldu ve düştü. Mars 3 iniş modülü 2 Aralık'ta serbest bırakıldı ve başarılı bir şekilde Mars yüzeyine indi. Bununla birlikte, 20 saniyelik iletimden sonra, arazi aracından gelen iletişim kesildi ve asla kurtarılamadı (Perminov, 1999). Sovyet Rusya, Mars 2 ve Mars 3 uzay araçlarında yakaladığı başarıyla Mars görevlerine ağırlık verdi. 21.7.1973 tarihinde Mars 4, 25.7.1973 tarihinde Mars 5, 5.8.1973 tarihinde Mars 6 ve 9.8.1973 tarihinde Mars 7 uzay araçlarını başarı ile fırlattı (Moroz, 1975). Mars 4 uzay aracı Mars yörüngesine girecek bir uydu olarak tasarlansa da bir arızadan dolayı yörüngeye girememiş sadece yakın geçiş yapmış ama Mars'ın ilk kez gece iyonosferini tespit etmişti. Mars 5 başarılı bir şekilde gezegenin yörüngesine girse de basınç kaybı nedeni ile sadece 22 sefer yörüngede dolanmış ve 60 adet fotoğrafı Dünya'ya gönderebilmişti. Mars 5, termal stabiliteğin Mars yüzeyi boyunca değiştiğini belirleyen ilk uzay aracıydı, bu da yüzey malzemelerinin parçacık boyutundaki farklılıkları gösteriyordu (Harvey, 1996). Mars 6 iniş modülü, iniş sırasında geri bilgi göndererek atmosferik yoğunluk ve sıcaklık profillerinin ilk yerinde gözlemlerini sağladı. Ancak, inişte hemen sinyal kesildi ve bu da iniş aracının düştüğünü gösteriyordu (Perminov, 1999). Sovyet Rusya 1988 yılına kadar Mars'a geri dönmedi ve uzay araştırma çabalarını geçici olarak Venüs'e odakladı.

ABD'nin 1975 yılından 2026 yılına kadar olan Mars görevlerinin tarihsel gelişimi Şekil 1.5'de verilmektedir. Bu görevler, Mars yörüngesinde uydular, gezegen yüzeyinde keşif araçları ve iniş araçları olmak üzere üç kısma ayrılmaktadır.



Şekil 1.5. ABD'nin Mars görevlerinin tarihsel gelişimi (NASA, 2022c).

ABD Mariner görevlerinden sonra Mars araştırmalarına Viking görevleri ile devam etti. Viking görevi 20.8.1975 tarihinde fırlatılan Viking 1 ve 9.9.1975 tarihinde fırlatılan Viking 2 uzay araçlarında oluşmaktaydı. Her iki uzay aracı, Mars yörüngesinde dönmek için tasarlanmış uydu ve yüzeye iniş yapacak iniş araçlarından oluşmaktaydı (Soffen ve ark., 1976; Soffen, 1977). Viking 1 iniş aracı 20.7.1976 tarihinde Mars yüzeyine başarılı bir iniş yaptı ve 13.11.1982 tarihine kadar çalıştı. Viking 2 iniş aracı ise 3.9.1976 tarihinde yüzeye iniş yaptı ve 11.4.1980 tarihine kadar görev yaptı. Yörüngede bulunan iki Viking uydusu ise toplamda 52000'den fazla görüntü alarak yüzey jeolojisi ve Mars atmosferini ayrıntılı olarak görüntülediler (Soffen, 1976; Snyder, 1977).

Sovyet Rusya en son 1973 yılında yaptığı Mars araştırmalarına 15 yıl sonra Phobos görevi ile döndü. Asıl hedef görevin adında anlaşılacağı gibi Mars'ın büyük uydusu Phobos'du. Phobos 1 uzay aracı 7.7.1988 ve Phobos 2 uzay aracı ise 12.7.1988 tarihinde başarı ile fırlatıldı. İki uzay aracıda, Mars yörüngesinde bir uydu

ve Phobos uydusu yüzeyine inecek bir iniş aracından oluşmaktaydı. Phobos 1, fırlatılmasında iki aydan kısa bir süre sonra iletişim sistemini kapatan hatalı bir komut dizisi alması sonucunda uzayda kayboldu (Sagdeev ve ark., 1988). Phobos 2 ise 29.1.1989 tarihinde Mars yörüngesine girdi ve Kızılötesi Radyometre Tarama cihazı (Thermoscan , Scanning Infrared Radiometer) ile yüzeyin ilk termal kızılötesi dalga boyu görüntüleri de dahil olmak üzere Mars'ta bir dizi gözlem yaptı. Phobos 2 uzay aracı ile 27.3.1989 tarihinde iletişim kesilmiş olsa da, uzay aracı Phobos'un ayrıntılı görüntülerini, uydunun kütlesi ve yoğunluğunun ilk doğru tahminlerini, yüzey bileşimi ve yüzeydeki sıcaklık değişimleri hakkında birçok bilgi sağladı (Sagdeev ve ark., 1988).

Viking görevlerinin sona ermesinin ardından, ABD'nin Mars keşfi, 90'lı yıllara kadar kırılmayan önemli bir durgunluğa girmişti. Mars Global Surveyor (MGS) 7.11.1996 tarihinde fırlatıldı, 11.9.1997 tarihinde Mars yörüngesine başarıyla ulaştı ve radyo iletişiminin kesildiği 2.11.2006 tarihine kadar çalıştı (Albee ve ark., 1998; Albee ve ark., 2001). Uydu üzerinde, Mars Orbiter Kamerası (MOC), Mars Orbiter Lazer Altimetre (MOLA), Termal Emisyon Tayfölçeri (TES) gibi algılayıcılar bulunmaktaydı. MOC üzerinde, yüksek çözünürlüklü görüntüler (1,5 ila 12 m/piksel çözünürlük) sağlayan siyah beyaz dar açılı kamera, kırmızı ve mavi geniş açılı kameralar (240 m/piksel çözünürlük) ve günlük global görüntüleme (7.5 m/piksel çözünürlük) yapan kameralar bulunmaktaydı. MOLA, yüzey için topoğrafik ve pürüzlülük değerlerini belirlemek için lazer darbeleri kullanmakta, TES ise yüzey ve atmosferin termal özelliklerinin yanı sıra yüzey bileşimi hakkında bilgi vermekteydi (NASA, 2022b).

Bir iniş aracı ve bir keşif aracı olarak tasarlanan Mars Pathfinder (MPF) uzay aracı 4.12.1996 tarihinde fırlatılmış ve ABD'nin bağımsızlık günü olan 4 Temmuz 1997 tarihinde Mars'a başarılı bir iniş gerçekleştirmişti. Uzay aracının inişini yumuşatmak için hava yastıklarını kullanan yeni bir tür iniş mekanizması kullanmıştı. Uzay aracı indikten sonra, hava yastıkları sönmüş, üçgen şeklindeki

platform açılmıştı. Adını Amerikan sivil haklar lideri Sojourner Truth'dan alan Sojourner keşif aracı bu platformdan Mars yüzeyine hareket etmişti. Keşif aracının yalnızca bir hafta ve iniş aracının bir ay görev yapması beklenmesine rağmen, ikisi de 27.8.1997 tarihine kadar başarı ile çalışmışlardı. Keşif aracı, iniş aracından 100 m kadar mesafe kat etmişti. İniş aracı bir stereo kamera ve bir meteorolojik sensörlere sahip iken keşif aracı, toprak ve kayaç bileşimlerini karakterize etmek için bir navigasyon kamerası ve bir Alpha Proton X-Ray Tayfölçeri taşıyordu (Golombek, 1977; Golombek ve ark., 1999).

Üçte ikisi kısmen veya tamamen başarısızlıkla sonuçlanan Mars görevlerinin, insan hatasından dolayı başarısızlıkla sonuçlanan görevi Mars İklim Uydusu (MCO, Mars Climate Orbiter) görevidir. 11.12.1998 tarihinde başarı ile fırlatılan uzay aracı Mars hava durumu uydusu olarak hizmet etmek üzere tasarlanmıştı. Ne yazık ki, İngilizce ve metrik ölçü birimleri arasındaki dönüştürmede bir hata, uzay aracının hava freni operasyonları sırasında atmosfere çok alçaktan girmesine ve uzay aracının muhtemelen atmosferde yanmasına neden olmuştu (NASA, 2022b).

Adını Arthur C. Clarke'ın ünlü romanı “2001: A Space Odyssey” ithafen alan 2001 Mars Odyssey uzay aracı Mars yörüngesinde uydu olarak tasarlanmış ve 7.4.2001 tarihinde fırlatılmıştı. 24.10.2001 tarihinde Mars yörüngesine giren uzay aracı üzerinde, doğal radyoaktif bozunma veya kozmik ışınlarla etkileşim yoluyla yüzey malzemeleri tarafından üretilen gama ışınlarını ve nötronları ölçmek için bir Gama Işını Tayfölçeri ile hem görünür (VIS: 18 m/piksel çözünürlük) hem de kızılötesi (IR: 100 m/piksel çözünürlük) olarak gözlemleyen Termal Emisyon Görüntüleme Sistemi (THEMIS) bulunmaktaydı. Kızılötesi kamera hem gündüz hem de gece çalışmakta, yüzey malzemelerinin termo-fiziksel özellikleri hakkında son derece değerli bilgiler sağlamaktaydı. Kızılötesi kamera ise, gündüz Mars yüzeyinde meydana gelen mineralojik değişimleri belirlemek için kullanılmaktaydı (Saunders ve ark., 2004).

Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) ilk Mars görevinin adı Mars Express idi. Mars yörüngesinde görev yapacak bir uydu ve bir iniş aracından oluşan uzay aracı 2.6.2003 tarihinde fırlatıldı ve 25.12.2003 tarihinde Mars'a ulaştı. Beagle 2 adı verilen iniş aracı başarısız olsa da Mars Express uydusu çok başarılı oldu. Özellikle Mars yüzeyinin üç boyutlu görüntülerini üreten Yüksek Çözünürlüklü Stereo Kamera (HRSC) ve Mars yüzeyindeki mineralojik çalışmaların en önemli kaynaklarından biri olan OMEGA sensörü bu uydu üzerinde bulunmaktaydı (Schmidt, 2001; Chicarro ve ark., 2004).

2003 yılına geldiğinde ABD, Spirit yani Ruh ve Opportunity yani Fırsat isimli keşif araçlarını Mars'a göndermişti. Spirit (MER-A) uzay aracı 10.6.2003 tarihinde ve Opportunity (MER-B) uzay aracı 8.7.2003 tarihinde fırlatılmıştı. İki araçta Pathfinder iniş aracı için geliştirilen hava yastığı-yastık iniş sistemi ile başarılı bir iniş gerçekleştirmişlerdi. Keşif araçları üzerinde, Panoramik Kamera (Pancam), Minyatür Termal Emisyon Tayfölçeri (Mini-TES), Alfa Parçacık X-Işını Tayfölçeri (APXS) ve birçok gelişmiş sensör bulunmaktaydı (Arvidson ve ark., 2006; Squyres ve ark., 2004).

Spirit ve Opportunity görevlerinden 2 yıl sonra bu çalışmamızda verilerini kullandığımız Mars Keşif uydusu (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) 12.8.2005 tarihinde fırlatılmıştı (Zurek ve Smrekar, 2007). Mars yörüngesindeki en güçlü sensörlere sahip uydu olan MRO uydusunu görevi, Mars'ın mevcut iklimini, mevsimsel ve yıllar arası iklim değişikliğinin fiziksel mekanizmalarını karakterize etmek, Mars'taki karmaşık tabakalı arazinin doğasını belirlemek, su ile ilgili yer şekillerini belirlemek, sulu ve/veya hidrotermal aktivite kanıtı gösteren yerleri araştırmak, yersel araştırmalar yapmak için en yüksek potansiyele sahip bölgeleri belirlemek ve karakterize etmektir (Graf ve ark., 2005; Taylor ve ark., 2014a).

MRO uydusunun fırlatılmasından 6 yıl sonra 26.11.2011 tarihinde fırlatılan Curiosity keşif aracı 6.8.2012 tarihinde Mars yüzeyinde Gale kraterine iniş yapmıştır. Bu çalışmamızda yersel veri olarak kullandığımız Mastcam algılayıcısı

Curiosity keşif aracı üzerinde bulunmaktadır. Keşif aracının başlıca görevi, Mars yüzeyinin ve yüzeye yakın jeolojik malzemelerin kimyasal, izotopik ve mineralojik bileşimini araştırmaktır.

Dünya'dan teleskop gözlemleri ile başlayan insanoğlunun Mars yolculuğu yakın geçiş uydular, yörüngesindeki uydular ve yüzeye inen araçlar ile devam etmektedir. Sıradaki görev ise insanlı Mars programlarıdır. Bu programların en önemli parçalarından birisi de yerleşim yerinin seçimidir. Yapılan bu çalışma ile CRISM verisi kullanılarak, işlenmesiyle demir üretilen hematit minerali tespit edilmiştir. Bu mineral gelecekte kurulması düşünülen bir Mars yerleşiminin yer seçiminde ve imarında ki en önemli minerallerin başında gelecektir.

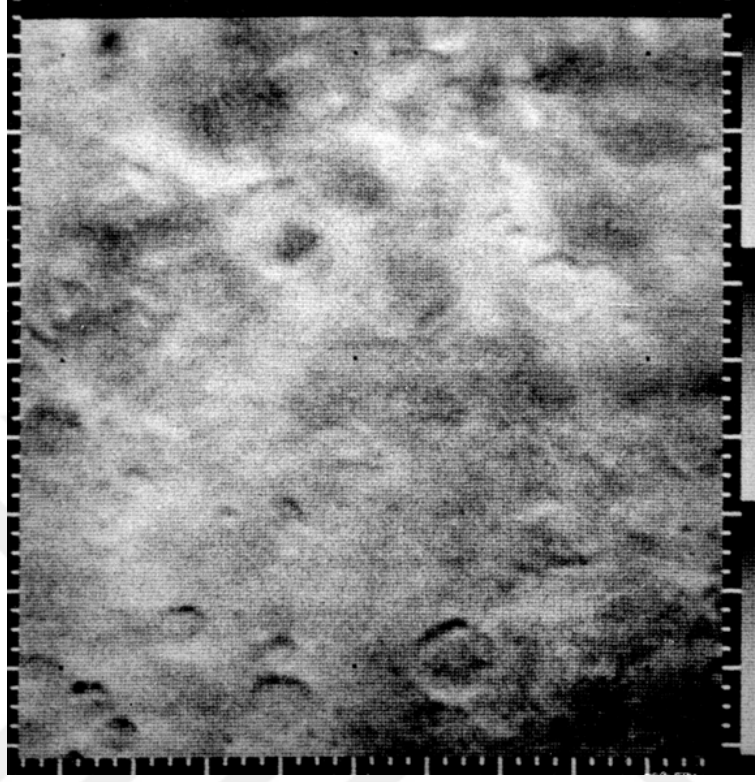
Bu çalışmada 06.08.2012 tarihinde Mars yüzeyine başarılı bir şekilde inen, veri analizi ve gözlem yapmaya devam eden Curiosity keşif aracı tarafından üretilen yersel veriler ile CRISM verileri arasında bir model geliştirilmiştir. Bu model parametresinin CRISM verilerinde hematiti tespit eden BD860_2 indisine uygulanması ile ModBD860_2 indisi bulunmuştur. ModBD860_2 indisinin CRISM verilerine uygulanmasıyla BD860_2 indisinin hematit varlığını tespit edemediği alanların da potansiyel araştırma alanları olabileceği görülmüş, ayrıca gelecekteki hematit gibi önemli mineralleri bulmak için iniş araçlarının konumunun planlanmasında veya keşif araçlarının güzergâh planlamasında ModBD860_2 indisi benzeri düzeltilmiş indislerin kullanıldığı CRISM verilerinin daha doğru olacağı kanaatine varılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde çalışmanın konusu ile ilgili geçmiş literatür çalışmaları uzaktan algılama ile ilgili çalışmalar ve yersel çalışmalar olma üzere iki ana başlıkta anlatılmıştır.

2.1. Uzaktan Algılama Çalışmaları

ABD tarafından Cape Canaveral uzay üssünden Atlas-Agena D roketiyle 28.11.1964 tarihinde fırlatılan Mariner 4 uzay aracı, yakın geçiş modunda Marsı araştırması için kullanılan bir dizi uzay aracının dördüncüsüdür. Mariner 4, Mars gezegenine yapılan ilk başarılı uçuşunu temsil etmekle beraber 14-15.7.1965 tarihlerinde Mars yüzeyinin Dünya'ya ilk görüntülerini göndermiştir. Bunlar, derin uzaydan dönen başka bir gezegenin ilk görüntülerini temsil etmektedir. Uzay aracı, Mars'ın yakın plan bilimsel gözlemleri yapmak ve bu gözlemleri Dünya'ya iletmek için tasarlanmıştı. Diğer görev hedefleri, Mars çevresindeki gezegenler arası uzayda alan ve parçacık ölçümleri yapmak ve uzun süreli gezegenler arası uçuşlar için mühendislik yetenekleri konusunda deneyim ve bilgi sağlamaktı (Nicks, 1967; Sloan, 1968). Mariner 4 aracından 15.7.1965 tarihinde 13600 km yükseklikten çekilen, Mars yüzeyindeki kraterleri açıkça gösteren ilk fotoğraf Şekil 2.1'de verilmiştir. Bu görüntüde Amazonis Planitia'nın güneyinde mevcut yoğun kraterli bir bölge görülmektedir.



Şekil 2.1. Mariner 4 uzay aracı tarafından Mars'taki kraterleri açıkça gösteren ilk fotoğraf (NASA, 2022b).

ABD tarafından 25.2.1969 tarihinde fırlatılan Mariner 6 ve 27.3.1969 tarihinde fırlatılan Mariner 7 uzay araçları Mars'ı yakın geçiş modunda görüntüleyecek çift uzay aracı görevinden oluşmaktadır. Görevlerin birincil amacı, yakın uçuşlar sırasında Mars'ın yüzeyini ve atmosferini incelemek, özellikle Dünya dışı yaşam arayışıyla ilgili olmak üzere gelecekteki araştırmaların temelini oluşturmaktır. Her iki uzay aracı, geniş ve dar açılı bir televizyon kamerası, bir kızılötesi spektroskop, bir kızılötesi radyometre ve bir morötesi spektroskop taşımaktaydı (Collins, 1971).

Rusya tarafından 19.5.1971 tarihinde Baykonur uzay üssünden fırlatılan Mars 2 ve 28.5.1971 tarihinde fırlatılan Mars 3 uzay araçları birer yörünge ve iniş

araçlarından oluşan özdeş iki uzay aracıydılar. İki uzay aracında görevi, Mars yüzeyini ve bulutları görüntülemek, Mars'taki sıcaklığı belirlemek, yüzeyin topografyasını, bileşimini ve fiziksel özelliklerini incelemek, atmosferin özelliklerini ölçmek, güneş rüzgârını, gezegenler arası ve Mars manyetik alanını ölçmek ve ayrıca iniş araçları ile Dünya arasında iletişimi sağlamak üzere röle vazifesi görmektir (Johnson, 1979; Harvey, 1996). İki uzay aracında üzerinde, Mars yüzeyinin sıcaklığını belirlemek için kızılötesi radyometre, atmosferik su buharı konsantrasyonlarının emilmesiyle spektral analiz yapmak için bir fotometre, bir kızılötesi fotometre, atomik hidrojen, oksijen ve argonu tespit etmek için bir ultraviyole fotometre, üst atmosferdeki hidrojeni tespit etmek için bir Lyman-alfa sensörü, bir görünür aralık fotometresi, bir radyoteleskop ve radyometre cihazı, bir kızılötesi tayfölçer bulunmaktaydı (Perminov, 1999).

ABD tarafından 30.5.1971 tarihinde Atlas-Centaur roketi ile Cape Canaveral uzay üssünden fırlatılan Mariner 9 uzay aracı başka bir gezegenin yörüngesinde dönen ilk uzay aracıydı. Mariner 8 ve Mariner 9 uzay araçlarının Mars yörüngesinde dolaşmak üzere iki uzay aracından oluşan görev, Mariner 8 uzay aracının düzgün fırlatılamamasından kaynaklı olarak iki uzay aracının görevde Mariner 9'a verilmiştir. Mariner 8'in Mars yüzeyinin %70'ini haritalama görevi ve Mariner 9'un Mars atmosferindeki ve Mars yüzeyindeki zamansal değişikliklerin izlenmesi görevi birleştirilmiştir. Mariner 9 uzay aracı üzerinde, geniş ve dar açılı TV kameraları, kızılötesi radyometre, ultraviyole tayfölçer ve kızılötesi interferometre tayfölçer algılayıcıları mevcuttu. Uzay aracı, Mars'ın atmosferik bileşimi, yoğunluğu, basıncı ve sıcaklığı ile yüzey bileşimi, yerçekimi ve topografyası hakkında veri topladı. Mariner 9, Mars volkanları, Valles Marineris, kutup başlıkları ve Phobos ve Deimos uydularının ilk ayrıntılı görüntüleri de dahil olmak üzere, Mars yüzeyinin küresel bir haritasını çıkardı (Steinbacher ve ark., 1972; Steinbacher ve ark., 1973; Hartmann ve Raper, 1974).

sıcaklığını ölçmek için bir kızılötesi radyometre, yeraltı dielektrik sabitini araştırmak için bir radyo teleskop polarimetresi, yüzey dokusunu karakterize etmek için iki polarimetre ve üst atmosferdeki emisyonları incelemek için bir tayfölçer mevcuttu (Shelton, 1969; Harvey, 1996; Perminov, 1999).

Viking projesi, 20.8.1975'te fırlatılan Viking 1 ve 9.9.1975'te fırlatılan Viking 2 olmak üzere Mars'a iki ayrı uzay aracının fırlatılmasından oluşuyordu. Her uzay aracı bir uydu ve bir iniş aracından oluşuyordu. Mars yörüngesine girdikten ve iniş yeri seçimi için kullanılan görüntüleri Dünya'ya gönderdikten sonra, yörünge aracı ve iniş aracı ayrıldı ve iniş aracı Mars atmosferine girerek seçilen bölgeye yumuşak iniş yaptı. Viking 1'den ayrılan iniş aracı 20.7.1976 tarihinde Chryse Planitia bölgesine ve Viking 2'den ayrılan iniş aracı ise 3.9.1976 tarihinde Utopia Planitia bölgesine iniş yaptı (Soffen ve ark., 1976; Soffen, 1977).

Viking uydularının temel amaçları, yüzeye iniş yapacak araçları taşımak, iniş alanlarını bulmak ve onaylamak için keşif yapmak, yüzeye inen araçlar için bir iletişim rölesi olarak hareket etmek ve kendi bilimsel araştırmalarını yapmaktır. Uydunun bilimsel araştırmalarının başında ise Mars yüzeyinin yüksek çözünürlüklü görüntülerini elde etmek, atmosferin ve yüzeyin yapısını ve bileşimini karakterize etmek ve yaşam kanıtı aramak gelmekteydi. Viking uydularının üzerinde, yüzeyi görüntülemek için kamera, atmosferik su buharı ve kızılötesi termal haritalama için bilimsel araçlar mevcuttu (Soffen, 1976; Snyder, 1977).

Rusya tarafından 12.7.1988 tarihinde Baykonur uzay üssünden fırlatılan Phobos 2 uzay aracının görevi, gezegenler arası çevre çalışmaları yürütmek, Güneş gözlemleri yapmak, Mars çevresindeki plazma ortamını karakterize etmek, Mars'ın yüzey ve atmosferik araştırmalarını yürütmek ve Mars uydusu Phobos'un yüzey bileşimini incelemektir.

Phobos 2 uzay aracı uygun olarak çalışarak Güneş, gezegenler arası ortam, Mars ve Phobos hakkında veri topladı. Görevin son aşamasından kısa bir süre önce, uzay aracı Phobos'un yüzeyinden 50 m'ye yaklaşacak ve biri hareketli bir "hazne",

diğeri sabit bir platform olan iki iniş aracını serbest bırakacak iken Phobos 2 ile temas kesildi. Resmi olarak görev, uzay aracı sinyalinin 27 Mart 1989'da başarıyla geri alınamamasıyla sona erdi. Başarısızlığın nedeninin, yerleşik bilgisayarın arızası olduğu belirlendi (Sagdeev ve ark., 1988).

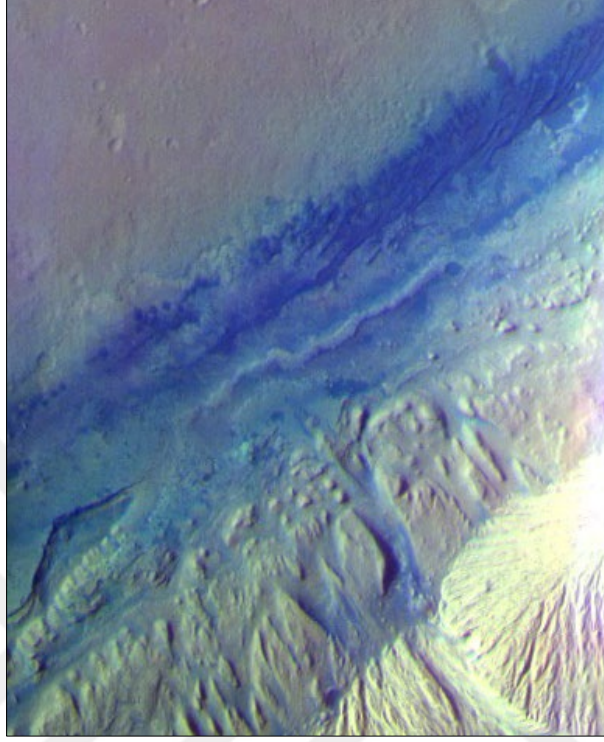
ABD tarafından 7.11.1996 tarihinde Delta II roketi ile Cape Canaveral uzay üssünden fırlatılan Mars Global Surveyor (MGS) uzay aracı 7 yıllık bir süre boyunca Mars'ın yörüngesinde dolaşarak yüzey morfolojisi, topografya, kompozisyon, yerçekimi, atmosferik dinamikler ve manyetik alan hakkında veriler topladı. Bu veriler yüzey süreçlerini, jeolojiyi, malzemenin dağılımını, iç özelliklerini, manyetik alanın evrimini ve Mars'ın hava ve iklimini araştırmak için kullanılacaktır (Albee ve ark., 1998; Albee ve ark., 2001).

MGS uzay aracı üzerinde, yüzey özelliklerinin bir metre kadar yüksek çözünürlüklü görüntülerini alabilen Mars Orbiter Kamerası (MOC), bir hedef tarafından yayılan enerjinin kızılötesi spektrumunu ölçebilen ve bu suretle kayaç, toprak, buz, atmosferik toz ve bulutların bileşimini tespit edebilen Termal Emisyon Tayfölçeri (TES), bir lazer ışınının yüzeye ulaşması, yansması ve geri dönmesi için geçen süreyi ölçebilen bu suretle yüzeyin yüksekliğini ve Mars'ın topografik bir haritasını çıkartabilen Mars Orbiter Lazer Altimetre (MOLA), Mars atmosferinin fiziksel özelliklerinin belirleyen Radyo Bilimi Araştırmaları (RS), Mars'ın bir manyetik alanı olup olmadığını ve varsa alanın gücünü ve yönünü belirleyen Manyetik Alan Araştırması (MAG/ER) ve Rus, Avrupa ve ABD görevlerinin yüzey iniş araçlarına ve keşif araçlarına röle vazifesi görecek olan Mars Relay sensörleri bulunmaktadır (NASA, 2022b).

ABD tarafından 7.4.2001 tarihinde Delta II roketi ile Cape Canaveral uzay üssünden fırlatılan 2001 Mars Odyssey uzay aracı yedi aylık bir yolculuktan sonra 24.10.2001 tarihinde Mars'a ulaştı. Görevin birincil bilim hedefi, Mars'taki ortamın hayata elverişli olup olmadığını belirlemeye yardımcı olmak için veri toplamak, Mars'ın iklimini ve jeolojisini karakterize etmek ve gelecekteki olası astronot

görevleri için potansiyel radyasyon tehlikelerini incelemektir. Uydu, ayrıca beş yıllık bir süre boyunca Mars'a yapılacak gelecekteki görevler için bir iletişim rölesi olarak tasarlanmış olmasına rağmen görev süresi uzatılarak halen Curiosity keşif aracı için röle vazifesi görmeye devam etmektedir. 2001 Mars Odyssey uydusu üzerinde, insanlı görevlerde radyasyonla ilgili riskle ilgili olarak yakın uzay radyasyon ortamını ölçen Mars Radyasyon Ortamı Deneyi (Mars Radiation Environment Experiment, MARIE), yüksek çözünürlüklü bir kamera kullanarak Mars yüzeyinin mineralojisini haritalayan Termal Emisyon Görüntüleme Sistemi (Thermal Emission Imaging System, THEMIS), bir termal kızılötesi görüntüleme tayfölçeri ve yüzeyin elementel bileşimini haritalayan ve sıg yeraldındaki hidrojen bolluğunu belirleyen Gama Işını Tayfölçeri (GRS) bulunmaktadır (Saunders ve ark., 2004).

2001 Mars Odyssey uydusu üzerinde bulunan THEMIS sensörü yardımıyla 5.10.2013 tarihinde çekilen Curiosity keşif aracının iniş yaptığı Gale kraterinin görüntüsü Şekil 2.3'de verilmektedir.

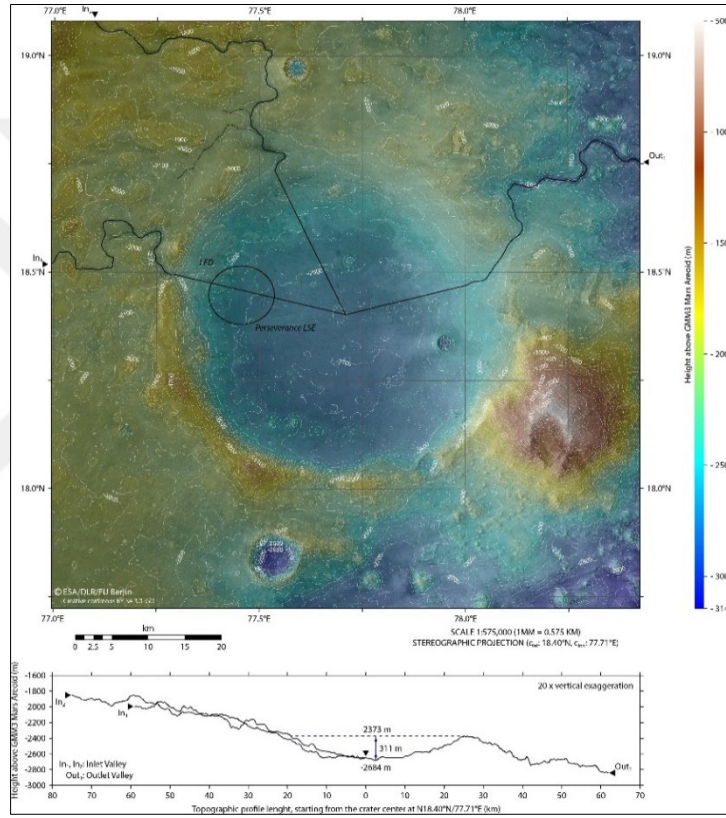


Şekil 2.3. THEMIS VIS kamerası ile çekilmiş Gale kraterine ait V52390002 numaralı görüntü (Christensen ve ark., 2022).

Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) tarafından 2.6.2003 tarihinde Kazakistan'da bulunan Baykonur uzay üssünden fırlatılan Mars Express uydusu, üzerinde başarısız bir iniş yapan Beagle 2 iniş aracını da taşıyan Mars Express görevinin bir parçasıydı. Uydunun başlıca görevleri, küresel yüksek çözünürlüklü foto-jeolojik (10 m çözünürlük), mineralojik (100 m çözünürlük) ve atmosferik bileşimin haritasını çıkarmak, yeraltı yapısını ve küresel atmosferik dolaşımı incelemek, atmosfer ve yeraltı ile atmosfer ve gezegenler arası ortam arasındaki etkileşimi incelemekti. Uydu üzerinde, yüksek çözünürlüklü stereoskopik kamera (HRSC), kızılötesi mineralojik haritalama tayfölçeri (OMEGA), kızılötesi tayfölçeri (PFS), ultraviyole tayfölçeri (SPICAM), Nötr ve

yüklü parçacık sensörleri (ASPERA), Radyo bilimi deneyi (MaRS) ile yeraltı radarı ve altimetre bulunmaktadır (Schmidt, 2001; Chicarro ve ark., 2004).

Mars Express uydu üzerinde bulunan HRSC sensörü yardımıyla üretilen, Perseverance keşif aracının 18.2.2021 tarihinde iniş yaptığı Jezero kraterine ait topoğrafik harita Şekil 2.4’da görülmektedir.



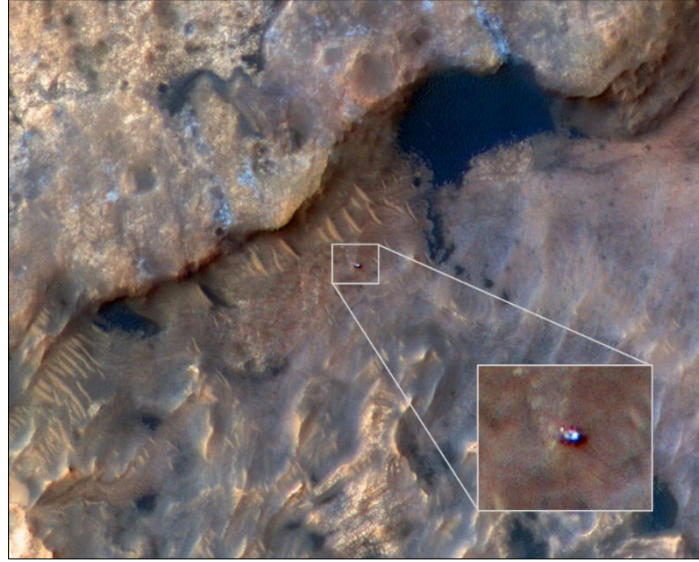
Şekil 2.4. HRSC kamerası ile üretilmiş Jezero krateri topoğrafik haritası (ESA, 2022a).

ABD tarafından 12.8.2005 tarihinde Atlas V 401 roketi ile Cape Canaveral uzay üssünden fırlatılan Mars Keşif uydusu (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) bir Mars yılı boyunca Mars'ın yörüngesinde dolaşmak ve yüksek çözünürlüklü bir

görüntüleyici de dâhil olmak üzere altı bilimsel araçla veri toplamak üzere tasarlanmıştır (Zurek ve Smrekar, 2007).

Misyonun bilimsel hedefleri, Mars'ın mevcut iklimini, mevsimsel ve yıllar arası iklim değişikliğinin fiziksel mekanizmalarını karakterize etmek, Mars'taki karmaşık tabakalı arazinin doğasını belirlemek, su ile ilgili yer şekillerini belirlemek, sulu ve/veya hidrotermal aktivite kanıtı gösteren yerleri araştırmak, yersel araştırmalar yapmak için en yüksek potansiyele sahip bölgeleri belirlemek ve karakterize etmektir. MRO uydusu, yüzey kompozisyonunu inceleyecek, yer altı suyunu arayacak, atmosferdeki tozu ve suyu izleyecek ve hava durumunu izleyecektir (Graf ve ark., 2005; Taylor ve ark., 2014a).

MRO uydusu üzerinde bulunan HiRISE kamerası tarafından 31.5.2019 tarihinde çekilen Curiosity keşif aracının görüntüsü Şekil 2.5’de verilmektedir. Bu görüntüde Curiosity keşif aracı mavimsi bir nokta olarak görünmekte olup bu tezin çalışma alanı olan Vera Rubin Sırtı (Vera Rubin Ridge, VRR) aracın kuzeyinde görülmektedir.



Şekil 2.5. HiRISE kamerası tarafından çekilen Curiosity keşif aracı (NASA, 2022d).

Hindistan tarafından 5.11.2013 tarihinde Sriharikota'daki Satish Dhawan Uzay Merkezi'nden fırlatılan Mangalyaan veya diğer adıyla MOM (Mars Orbiter Mission) uydusu Mars'ın yüzey özelliklerini, morfolojisini, mineralojisini ve atmosferini keşfetmek için tasarlanmıştır.

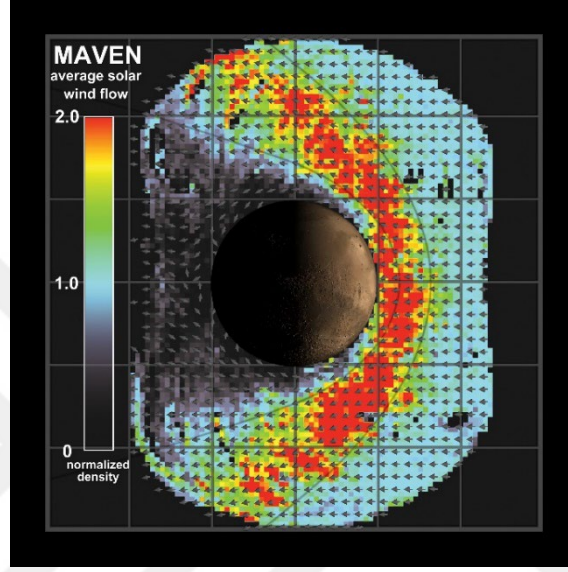
Uydu üzerinde, Mars Renkli Kamera (Mars Colour Camera, MCC), Lyman Alpha Fotometresi (Lyman Alpha Photometer, LAP), Termal Görüntüleme Tayfölçeri (Thermal Infrared Imaging Spectrometer, TIS), Mars Ekzosferik Nötr Kompozisyon Analizörü (Mars Exospheric Neutral Composition Analyser, MENCA) ve Mars Metan Sensörü (Methane Sensor for Mars, MSM) olmak üzere beş ayrı sensör bulunmaktadır (Kumar ve Chauhan., 2014).

ABD tarafından 18.11.2013 tarihinde Atlas V 401 roketi ile Cape Canaveral uzay üssünden fırlatılan Mars Atmosferi ve Uçucu Evrimi (Mars Atmosphere and Volatile Evolution, MAVEN) uydusunun dört temel görevi vardır.

Bunlar, Mars atmosferinden uzaya uçucu maddelerin kaybının zaman içinde oynadığı rolü belirlemek, üst atmosferin, iyonosferin mevcut durumu ve güneş rüzgarıyla etkileşimini belirlemek, nötr gazların ve iyonların uzaya mevcut kaçış hızlarını ve bunları kontrol eden süreçleri belirlemek ve Mars'ın zaman içindeki kayıp tarihini anlatacak kararlı izotopların oranlarını belirlemektir.

Uzay aracı üzerinde, manyetometre, Nötr Gaz ve İyon Kütle Tayfölçeri (Neutral Gas and Ion Mass Spectrometer, NGIMS), Langmuir Sondası (Langmuir Probe and Waves, LPW), Görüntüleme Ultraviyole Tayfölçeri (Imaging Ultraviolet Spectrograph, IUVS), Güneş Rüzgar Elektron Analizörü (Solar Wind Electron Analyzer, SWEA), Güneş Rüzgar İyon Analizörü (Solar Wind Ion Analyzer, SWIA), Güneş Enerjili Parçacıklar (Solar Energetic Particle, SEP) ile bir SupraTermal ve Termal İyon Bileşimi (SupraThermal and Thermal Ion Composition, STATIC) olmak üzere 8 adet sensör bulunmaktadır (Jakosky ve ark., 2015).

MAVEN uzay aracı tarafından gözlemlenen Mars'taki ortalama güneş rüzgârı akışı Şekil 2.6'da görülmektedir. Kırmızı renk, gözlemlenen daha yüksek güneş rüzgârı yoğunluklarına karşılık gelmektedir.



Şekil 2.6. Mars'ta gözlemlenen ortalama güneş rüzgârı akışı (CU Boulder, 2022).

Roscosmos ve ESA'nın birlikte yürüttüğü ExoMars 2016 görevi, İz Gaz uydusu (Trace Gas Orbiter, TGO) ve başarısız bir iniş yapan Schiaparelli iniş aracı olmak üzere iki bölümden oluşmaktaydı.

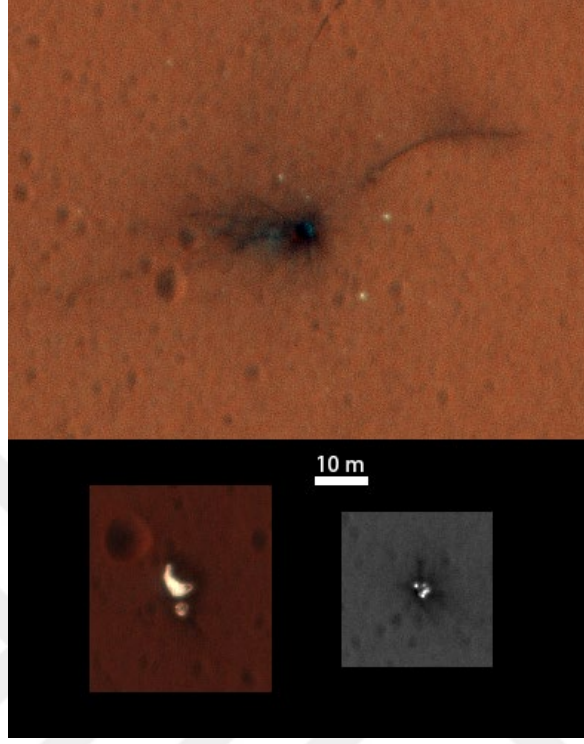
14.3.2016 tarihinde Kazakistan'da bulunan Baykonur uzay üssünden fırlatılan TGO uydusunun görevleri, Schiaparelli iniş aracını Mars yüzeyine göndermek ve iniş sırasında veri iletiminin bir kısmını desteklemek, Mars'taki eser gazların biyolojik veya jeolojik kökenine ilişkin araştırmaları yapmak, İz gaz araştırmaları, atmosferik bileşim ve sıcaklıktaki mevsimsel değişikliklerin izlenmesini ve yeraltı hidrojeninin haritalanmasını içermektedir.

Uydu üzerinde, Atmosferik Kimya Paketi (Atmospheric Chemistry Suite, ACS), Renkli ve Stereo Yüzey Görüntüleme Sistemi (Color and Stereo Surface

Imaging System, CaSSIS), Hassas Çözünürlüklü Epitermal Nötron Dedektörü (Fine Resolution Epithermal Neutron Detector, FRENDO) ve Mars Keşfi için Nadir ve Occultation (Nadir and Occultation for Mars Discovery, NOMAD) olmak üzere dört ayrı algılayıcı bulunmaktadır (NASA, 2022b).

Schiaparelli iniş aracı 16.10.2016 tarihinde uzay aracından planlandığı gibi ayrılmasına rağmen navigasyon sistemindeki bir anormallik, arka ısı kalkanının ve paraşütün vaktinden önce serbest kalmasına ve iniş iticilerinin ateşlenmesine neden olmuş bunun sonucunda iniş aracı hayatta kalamayacağı son 3.7 km'lik yükseklikten serbest olarak düşmüştür

MRO uydusu üzerinde bulunan HiRISE kamerası tarafından 1.11.2016 tarihinde çekilen Schiaparelli iniş aracı çarpma bölgesi Şekil 2.7'de görülmektedir. Hem ana çarpma bölgesi (üstte) hem de paraşüt ve arka ısı kalkanı (sol altta) olan bölge, renkli bir görüntünün oluşturulmasını sağlayan üç farklı filtre aracılığıyla görüntülenen HiRISE görüntüleme alanının orta kısmında yakalanmaktadır.



Şekil 2.7. Schiaparelli iniş aracı çarpma bölgesi (ESA, 2022b).

Birleşik Arap Emirlikleri (United Arab Emirates, UAE) tarafından inşa edilen ve 19.7.2020 tarihinde Japonya’da bulunan Tanegashima uzay üssünden fırlatılan Hope (Al-Amal, Umut) uydusunun görevi, Mars atmosferinin dinamiklerini ve dış uzay ve güneş rüzgarıyla etkileşimini incelemektir (Amiri ve ark., 2022).

Görevin bilimsel hedefleri, mevcut Mars hava durumu ile Mars'ın eski iklimi arasındaki bağlantıyı araştırmak, hidrojen ve oksijenin davranışını ve kaçışını izleyerek Mars'ın atmosferinin uzaya kaçan mekanizmalarını incelemek, Mars atmosferinin alt ve üst seviyelerinin nasıl bağlantılı olduğunu araştırmak ve Mars atmosferinin gün ve yıl boyunca nasıl değiştiğine dair küresel bir resim yaratmaktır (Almatroushi ve ark., 2021).

Uzay aracı üzerinde, Emirlik Keşif Görüntüleyici (Emirates eXploration Imager, EXI), Emirlik Mars Kızılötesi Tayfölçeri (Emirates Mars InfraRed Spectrometer, EMIRS), Emirlik Mars Ultraviyole Tayfölçeri (Emirates Mars Ultraviolet Spectrometer, EMUS) bulunmaktadır (Amiri ve ark., 2022).

Çin Ulusal Uzay İdaresi (China National Space Administration, CNSA) tarafından 23.7.2020 tarihinde Wenchang fırlatma kompleksinden fırlatılan Tianwen 1 eski adıyla Huoxing uzay aracı bir uydu ve bir keşif aracından oluşmaktadır.

Görevin bilimsel hedefleri, Mars topografyasını ve jeolojisini incelemek, toprağı ve su-buz içeriğini karakterize etmek, yüzey malzemesinin bileşimini belirlemek, Mars iyonosferini, iklimini ve çevresini profillemek, yerçekimi ve manyetik alanları incelemektir (NASA, 2022b).

Uydu üzerinde, bir adet yüksek ve bir adet orta çözünürlüklü görüntüleme kamerası, bir yüzey altı algılama radarı, bir mineraloji tayfölçer, bir manyetometre, bir iyon ve nötr partikül analizörü ve bir enerji partikül analizörü bulunmaktadır.

Tianwen 1 uydusu tarafından çekilen ilk dört fotoğraflardan bir tanesi olan ve Mars'ın kuzey kutbundaki buz örtüsünü gösteren fotoğraf Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.8. Tianwen 1 tarafından çekilmiş Mars'ın kuzey kutup dairesi (CNSA, 2022a).

Nachon ve ark. (2014) Gale kraterinin kuzeyinde yer alan Yellowknife bölgesindeki sediman birikintiler içinde bol miktarda hafif tonlu kırık dolgu malzemesini analiz etmişlerdir. Çalışmada Curiosity keşif aracı üzerinde bulunan Mastcam ve ChemCam algılayıcılarını kullanmışlar, bu kırık dolguların birçoğunun alçıtaşı ve bazanit için beklenen bir seviyede hidratlanmış kalsiyum sülfat damarlarından oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bu damarların yüzeyde akarsu sedimanlarının birikmesinden sonra ortaya çıktığını, nispeten asidik olmayan koşullarda kalıcı sulu aktiviteye işaret ettiğini belirtmişlerdir.

Buz ve ark. (2017), Gale kraterinin tabanındaki anakaya olmayan kayalarda ve sediman birimlerde, yamaçlardan taşınmış olduğu yorumlanan çeşitli litolojiler tespit etmişlerdir. THEMIS ve CRISM algılayıcılarına ait görüntüleri kullanarak yaptıkları analiz sonuçlarında anakaya spektral özelliklerinde önemli farklılıklar gözlemlememişler fakat yamaçlardaki kayaların bazı CRISM görüntülerinde Fe/Mg fillosilikatların eşlik ettiği olivin içeren anakaya görmüşlerdir. Bu fillosilikatların spektral özelliklerinin, Sharp Dağı'nda CRISM tarafından tespit

edilen Aliminyum ikameli nontronitten farklı olduğunu bundan dolayı farklı bileşimdeki sıvılar tarafından oluştuğunu tahmin etmişlerdir.

Fraeman ve ark. (2020a), Gale kraterinin VRR bölgesinde, ferrik demirin neden olduğu absorpsiyonların yörüngeden neden güçlü bir şekilde görülebildiğini belirlemek ve aşağı Sharp Dağı boyunca CRISM verilerinin yorumlanmasını iyileştirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Curiosity keşif aracının güzergâhı boyunca koordineli olarak CRISM verileri ve yerinde spektral veriler analiz edilmiş, VRR anakayasında CRISM verilerinde en derin demir absorpsiyonuna sahip alanlar yerinde ölçülerde de en derin demir absorpsiyonuna sahip olduğunu tespit etmişlerdir. VRR anakayasının benzersiz spektral özelliklerinden dolayı güçlü demir absorpsiyonlarının yörüngeden görülebilmesine rağmen toz ve bazaltik kum bölgenin alt kısımlarında bulunan anakayadaki demir absorpsiyonlarını yörüngeden ölçme yeteneğini engellediğini belirtmişlerdir.

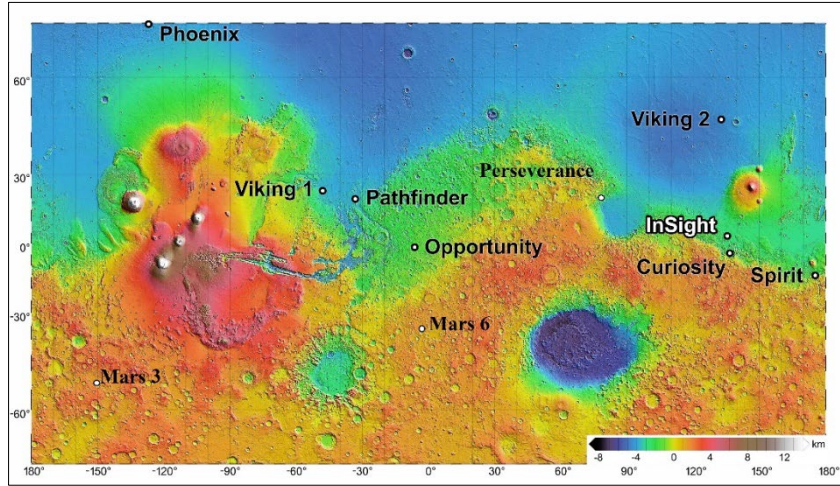
Horgan ve ark. (2020) VRR bölgesinde, Curiosity keşif aracı üzerinde bulunan Mastcam ve ChemCam algılayıcılarını kullanarak bölgedeki kırmızıdan mora ve griye kadar keskin renk varyasyonlarının mineralojik kökenlerini belirleye çalışmışlardır. Bu renk farklılıklarının muhtemelen çökelmeden sonra sedimanların diyajenetik değişimine bağlı olduğunu, bu süreçlerin eski Mars ortamlarının kimyasal ve mineralojik imzalarını nasıl değiştirdiğini belirlemek, Mars'ın geçmiş yaşanabilirliğini anlamak ve MSL görevinin hedeflerine ulaşmak için kritik öneme sahip olduğunu belirtmişleridir. Renk varyasyonlarının hematitin kristallliği, tane boyutu ve dokusu ile ilgili spektral özelliklerdeki değişikliklerle tutarlı olduğunu, iri taneli gri hematitin gri bölgelerde spektral olarak baskın olduğunu ve mor alanlarda bulunduğunu, nanofaz ve ince taneli kırmızı kristalli hematitin kırmızı ve mor alanlarda mevcut ve spektral olarak baskın olduğunu belirtmişlerdir.

Bennett ve ark. (2021) VRR bölgesinde, Curiosity keşif aracı üzerinde bulunan MAHLI algılayıcısını kullanarak, anakayaların rengini, tane boyutunu ve laminasyon stilini ayrıca nodüllerin, diyajenetik kristallerin ve çeşitli koyu gri demir

açısından zengin özelliklerin oluşumunu araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda, VRR bölgesine kalan kayaçlarda bol ve yaygın diyajenetik özellikleri ortaya çıkarmış, daha iri olduğu tahmin edilen kayaç hedeflerinin genellikle daha ince tanelere sahip olduğunu, tahmin edilenlerden daha fazla diyajenetik özellik içerdiğini ve bu da tane boyutunun diyajenez derecesini ve tipini etkilemiş olabileceğini belirtmişlerdir.

2.2. Yersel Çalışmalar

Mars yüzeyine, Rusya tarafından 1971 yılında gönderilen Mars 3 ve 1973 yılında gönderilen Mars 6 iniş araçları ile ABD tarafından 1975 yılında gönderilen Viking 1 iniş aracı, aynı yıl gönderilen Viking 2 iniş aracı, 1996 yılında gönderilen Pathfinder iniş aracı ve bünyesindeki Sojourner keşif aracı, 2003 yılında gönderilen Spirit ve ikizi Opportunity keşif araçları, 2007 yılında gönderilen Phoenix iniş aracı, 2016 yılında gönderilen Curiosity keşif aracı, 2018 tarihinde gönderilen InSight iniş aracı ve 2020 yılında gönderilen Perseverance keşif aracı konumlarına ait harita Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Mars yüzeyinde bulunan iniş ve keşif araçlarının konumları (NASA, 2022d).

Rusya'nın 28.5.1971 tarihinde fırlattığı ve 3.12.1971 tarihinde başarılı bir iniş yapan Mars 3 aracı Mars yüzeyine iniş yapan ilk uzay aracıdır. Mars'ın Kuzey yarım küresinde bulunan Sirenum Terra bölgesine iniş yapan araç sadece 110 saniye çalışabilmiştir (Harvey, 1996; Johnson, 1979; Perminov, 1999).

Rusya Mars 3 aracından sonra Mars 6 aracını 5.8.1973 tarihinde fırlatmış, bu uzay aracının Mars ekvatorunun hemen güneyinde yer alan ise Margaritifer Terra bölgesine inmesi planlanmıştır. Fakat Mars 6 aracından 12.3.1974 tarihinde Mars yüzeyine inişe geçtiği sırada sadece 224 saniye veri alınabilmiş daha sonra uzay aracı ile irtibat kesilmiştir (Shelton, 1969; Istomin ve ark., 1976; Perminov, 1999).

ABD'nin 20.8.1975 tarihinde fırlattığı Viking 1 aracı tarihteki ilk başarılı iniş aracı olma özelliği taşımaktadır. Bu araç, Mars'ın kuzey ekvator bölgesinde, batıda Tharsis bölgesine yakın düz dairesel bir ova olan Chryse Planitia bölgesine 20.7.1976 tarihinde inmiş olup iletişimin kesildiği 13.11.1982 tarihine kadar 2642 sol (Mars günü) başarı ile görev yapmıştır (Masursky ve ark., 1976; Soffen, 1976).

Viking 1 aracının 2 numaralı kamerasından 20.7.1976 tarihinde çekilen, Şekil 2.10'da verilen görüntü Mars yüzeyinden gelen ilk panoramik görüntüdür. Viking 1'in inişinden kısa bir süre sonra çekilen görüntüde Chryse Planitia bölgesi görülmektedir.



Şekil 2.10. Viking 1 tarafından çekilmiş Mars yüzeyinin ilk panoramik görüntüsü (NASA, 2022b).

Viking 1'den 20 gün sonra 9.9.1975 tarihinde fırlatılan Viking 2 aracı 3.9.1976 tarihinde Utopia Planitia bölgesine başarılı bir iniş yapmıştır. Mars

yüzeyinin ve atmosferinin biyolojisini, kimyasal bileşimini (organik ve inorganik), meteorolojisini, sismolojisini, manyetik özelliklerini, görünümünü ve fiziksel özelliklerini incelemek üzere aygıtlar taşıyan araç 11.4.1980 tarihine kadar 1281 Sol boyunca başarı ile görev yapmıştır (Masursky ve ark., 1976; Soffen ve ark., 1976; Soffen, 1977).

Viking 2 aracının 2 numaralı kamerasından 5.8.1976 tarihinde Utopia Planitia bölgesinden çekilen ilk görüntü Şekil 2.11’de verilmektedir. Viking 2 aracının inişinden 2 gün sonra çekilen bu görüntüde görülen kayaçların ve toprağın renkleri Viking 1 aracının indiği Chryse Planitia sahasındakilere benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 2.11. Viking 2 aracı tarafından çekilmiş ilk görüntü (NASA, 2022b).

ABD’nin düşük maliyetli gezegensel keşif görevlerinin ikincisi olan Pathfinder iniş aracı 4.12.1996 tarihinde Cape Canaveral üssünden fırlatılmış olup Chryse Planitia’daki Ares Vallis bölgesine 4.7.1997 tarihinde başarılı bir iniş yapmıştır. Görevin temel amacı, Mars yüzeyine düşük maliyetli inişlerin ve keşiflerin fizibilitesini göstermektir. Görev, keşif aracı ile iniş aracı ve iniş aracı ile Dünya arasındaki iletişim testleri, görüntüleme cihazları ve sensörleri, yüzeydeki

keşif aracının manevra kabiliyeti ve sistemleri testlerini kapsamaktaydı. Bilinmeyen nedenlerle iletişimin kesildiği 27.9.1997 tarihine kadar görev yapmıştır (Golombek, 1977; Golombek ve ark., 1999).

Pathfinder iniş aracının Mars yüzeyine inişinden kısa bir süre sonra 5.7.1997 tarihinde çekilen ilk görüntü Şekil 2.12’de verilmektedir. Sojourner adlı küçük keşif aracı ön planda görülmektedir. Keşif aracının her iki tarafındaki beyaz malzeme, iniş şokunu emmek için kullanılan sönük hava yastığı sisteminin bir parçasıdır. Keşif aracı ve ufuk arasında kayalarla kaplı Mars yüzeyi görülmekte olup sağ tarafta açık kahverengi gökyüzüne karşı iki tepe görülmektedir.

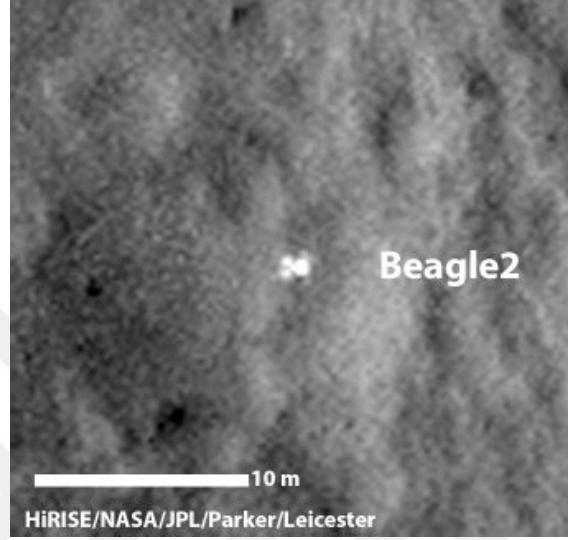


Şekil 2.12. Pathfinder iniş aracı tarafından çekilmiş ilk görüntü (NASA, 2022d).

ESA tarafından 2.6.2003 tarihinde Baykonur uzay üssünden fırlatılan Mars Express, üzerinde Beagle 2 aracını taşıdığıdır. Bu araç, Mars'ta geçmiş yaşamın kanıtlarını arayacak bir astrobiyoloji görevini yürütmesi amaçlanmasına rağmen Mars'a iniş yapmak için Mars Express'den 19.12.2003 tarihinde ayrılmış ve bir daha sinyal alınamamıştır (Chicarro ve ark., 2004; Schmidt, 2001; Wright ve ark., 2003).

25.12.2003 tarihinde Mars'a indiği düşünülen aracın 11.2.2004 tarihinde resmi olarak kayboluşu ilan edilmesinden sonra MRO uydusu üzerinde bulunan

yüksek çözünürlüklü HiRISE kamerası kullanılarak 16.1.2015 tarihinde beklenen iniş alanı içerisinde, iniş merkezine 5 km mesafede bulunmuştur (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Beagle 2 aracı (ESA, 2022c).

Cape Canaveral uzay üssünden, ABD tarafından 10.6.2003 tarihinde fırlatılan Spirit diğer ismi ile MER-A keşif aracı 3.1.2004 tarihinde, dev bir çarpma kraterindeki olası eski bir göl olan Gusev kraterine başarılı bir iniş yapmıştır. Spirit 23.4.2009'da hareket kabiliyetini ciddi şekilde sınırlayan ince bir tabaka kum cebine girmiş ve hareket ettirmek için yapılan çok sayıda girişim başarısız olmuştur. Spirit keşif aracı ile son irtibat 22.3.2010'da gerçekleşmiş olup 6 yıl 2 ay boyunca toplam 7.73 km yol kat etmiştir (Arvidson ve ark., 2006; Squyres ve ark., 2004; Taylor ve ark., 2014b).

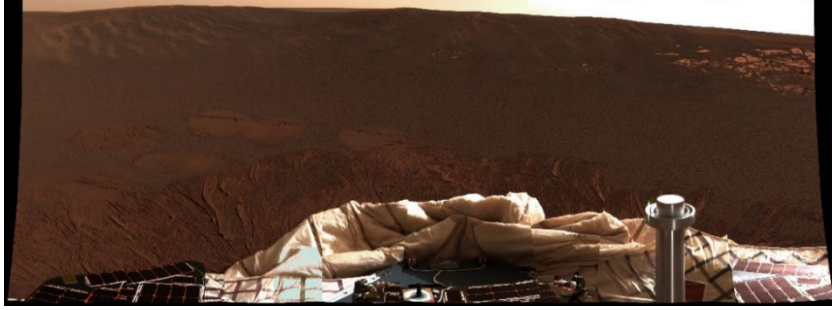
Spirit keşif aracında bulunan panoramik kamera tarafından çekilen ilk renkli Mars görüntüsü Şekil 2.14'de verilmektedir. Bu görüntü başka bir gezegenin yüzeyinde o güne kadar çekilmiş en yüksek çözünürlüklü görüntü olma özelliğine sahipti.



Şekil 2.14. Spirit keşif aracından çekilmiş Gusev krateri'ne ait görüntü (NASA, 2022b).

ABD tarafından 8.7.2003 tarihinde fırlatılan Opportunity diğer ismi ile MER-B keşif aracı 25.1.2004 tarihinde Terra Meridiani bölgesine iniş yapmış 14 yılı aşkın bir süre görev yaptıktan sonra 10.6.2018 tarihinde iletişimi kesilmiştir. Keşif aracının bilimsel hedefi, Mars'ta yaşamın ortaya çıkıp çıkmadığını belirlemeye yardımcı olmak için veri toplamak, Mars'ın iklimini karakterize etmek, Mars'ın jeolojisini karakterize etmek ve Mars'ın insan keşfine hazırlanmaktır. İniş yapılan Terra Meridiani bölgesi, tipik olarak suda oluşan demir açısından zengin bir mineral olan iri taneli hematit kanıtı gösterdiği için “Hematit Bölgesi” olarak da bilinmektedir (Crisp ve ark., 2003; Cook, 2005; Squyres ve ark. 2006).

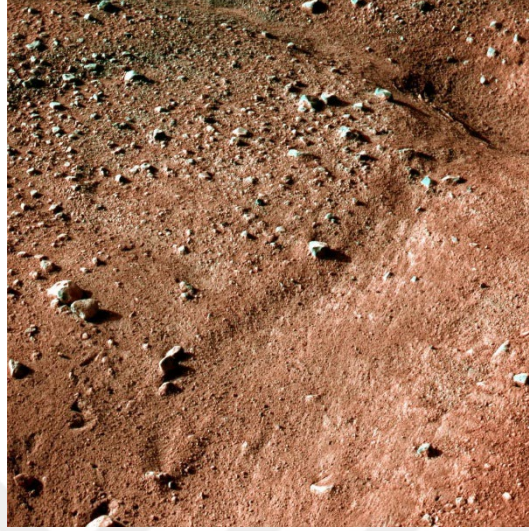
Bu bölge Mars'ta bir uzay aracı tarafından şimdiye kadar ziyaret edilen en karanlık iniş alanıdır. Opportunity keşif aracının yolculuğunun ilk gününde çekilen Şekil 2.15'de verilen görüntüyü oluşturmak için kameranın yakın kızılötesi, yeşil ve mavi filtrelerinden alınan veriler birleştirilmiştir.



Şekil 2.15. Opportunity keşif aracından gelen ilk görüntü (NASA, 2022b).

ABD'nin 4.8.2007 tarihinde fırlattığı ve 25.5.2008 tarihinde başarılı bir iniş yapan Phoenix iniş aracından son sinyalin alındığı 2.11.2008 tarihinde görev resmen sona ermiştir. İniş süresi ile birlikte toplamda 10 ay boyunca görev yapan aracın ana hedefleri ise kutup iklimi ve hava durumunu, kuzey ovalarını şekillendiren jeomorfolojiyi ve aktif süreçleri, regolitin fiziksel özellikleri ile sulu mineraloji ve kimyayı belirlemek olarak belirlenmiştir (Guinn ve ark., 2008; Smith ve ark., 2008).

Vastitas Borealis adlı bir kutup bölgesine iniş yapan aracın stereo görüntüleyicisi tarafından inişten kısa bir süre sonra alınan, iki renk filtresinden çıkarılan yaklaşık renkli görüntü Şekil 2.16'da gösterilmektedir. Bu görüntüde Dünya'nın kutup bölgelerindeki buzlu zemine benzer şekilde aracın yakınındaki zeminde çokgen bir desen görülmektedir.



Şekil 2.16. Phoenix iniş aracından gelen ilk görüntü (NASA, 2022a).

Gücü 125 W enerji üreten bir radyoizotop termoelektrik jeneratörü (RTG) tarafından sağlanan Curiosity keşif aracı, ABD tarafından 26.11.2011 tarihinde Cape Canaveral uzay üssünden fırlatılmıştır. Keşif aracı sekiz aylık yolculuğu sonunda 6.8.2012 tarihinde Mars yüzeyine iniş yapmış, gerekli kontrollerden sonra 22.8.2012 tarihinde ilk sürüşüne çıkmıştır.

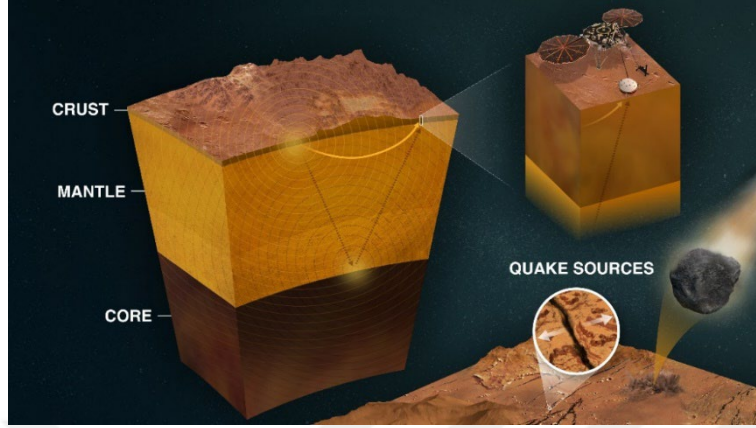
Curiosity keşif aracının iniş yaptığı 6.8.2012 tarihinde, Tehlikeden Kaçınma Kamerası (Hazard avoidance cameras, Hazcams) tarafından çekilen, keşif aracının ana bilim hedefi olan Sharp Dağı resmi adıyla Aeolis Mons Dağı Şekil 2.17’de görülmektedir.



Şekil 2.17. Curiosity keşif aracının Hazcams kamerasından çekilen Sharp Dağı (NASA, 2022c).

Vandenberg Hava Kuvvetleri uzay üssünden, ABD tarafından 5.5.2018 tarihinde fırlatılan InSight iniş aracı, 26.11.2018 tarihinde Elysium Planitia bölgesinin batısına başarılı bir iniş yapmıştır. InSight iniş aracı, Mars'ın iç yapısı ve süreçlerinin araştırılması yoluyla karasal gezegenlerin oluşumunu ve evrimini anlamak ve mevcut tektonik aktivite seviyesini ve göktaşı çarpma etkisini belirlemek için tasarlanmış kameralar, X-band transponder, sismik ve ısı akışı aletleri taşımaktadır (Golombek ve ark., 2017; Banerdt ve ark., 2020).

Şekil 2.18'de çalışma prensibi verilen InSight iniş aracı, Mars'ın iç tabakalarını incelemek için bir sismometre kullanmaktadır. Sismik sinyaller, farklı malzeme türlerinden geçerken değişiklik göstermekte ve bu değişiklikler incelenerek, gezegenin kabuğunun, mantosunun ve çekirdeğinin özelliklerini tespit etmek mümkün olmaktadır.



Şekil 2.18. InSight iniş aracının çalışma prensibi.

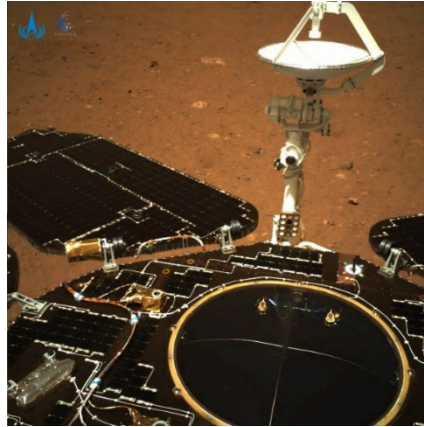
ABD tarafından Cape Canaveral uzay üssünden Atlas V-541 roketiyle 30.07.2020 tarihinde fırlatılan ve 18.2.2021 tarihinde Isidis Planitia çarpma havzasının batı ucundaki Jezero Kraterine başarılı bir iniş yapan Perseverance keşif aracının birincil bilim hedefleri, mikrobiyal yaşamı destekleyebilen geçmiş ortamları belirlemek, olası geçmiş mikrobiyal yaşamın işaretlerini aramak, kayaç ve regolit örneklerini toplamak ve bunları gelecekteki görevler için yüzeyde saklamak ve Mars atmosferinden oksijen üretimini test etmek olarak belirlenmiştir. Perseverance keşif aracı Ingenuity ismi verilen bir helikopteride barındırmakta olup bu Mars helikopterinin görevi zayıf Mars atmosferinde otonom, kontrollü uçuşun elde edilebileceğini göstermektir (Balaram ve ark., 2021; Farley ve ark., 2020; Moeller ve ark., 2021).

Perseverance keşif aracının sağ Mastcam-Z kamerası kullanılarak inişinden 3 gün sonra 21.2.2021 tarihinde çekilen ilk renkli görüntüsü Şekil 2.19'da verilmektedir.



Şekil 2.19. Perseverance keşif aracından gelen ilk renkli görüntü (NASA, 2022a).

CNSA tarafından 23.7.2020 tarihinde Wenchang fırlatma kompleksinden fırlatılan Tianwen 1 uzay aracı üzerinde bulunan Zhurong keşif aracı, 15.5.2022 tarihinde Mars'ın kuzey yarımküresindeki geniş bir ova olan Utopia Planitia'nın güney kısmına inerek ÇİN'in Dünya dışında bir gezegene inen ilk keşif aracı ve ABD'nin beş keşif aracından sonra Mars'taki altıncı keşif aracı olmuştur (CNSA, 2022b). Zhurong keşif aracının arka tarafında bulunan navigasyon kamerası kullanılarak çekilen Şekil 2.20'de, aracın güneş panelleri ve anteni açılmış olarak ayrıca Mars yüzeyindeki kırmızı toprak ve kayalar açıkça görünmektedir.



Şekil 2.20. Zhurong keşif aracından gelen ilk renkli görüntü (CNSA, 2022c).

3. MATERYAL ve METOT

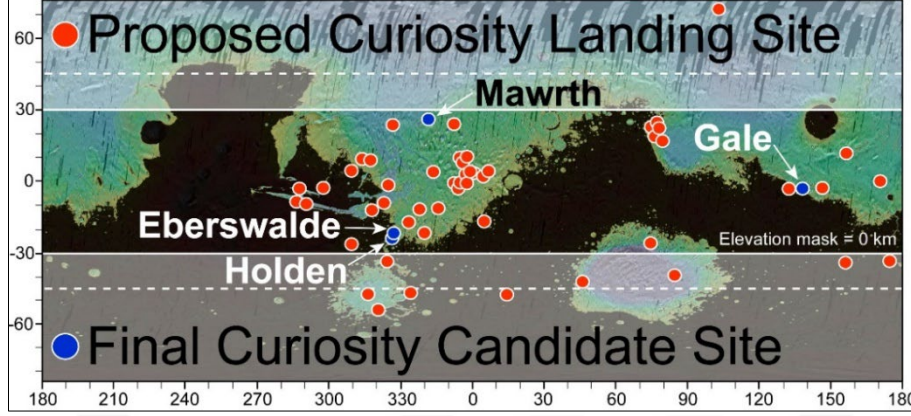
3.1. Çalışma Alanı

Uzaktan algılama verilerinin hassasiyetinin arttırılması için yersel verilere ihtiyaç duyulduğundan çalışma alanı olarak, Curiosity keşif aracının 06.08.2012 tarihinde iniş yaptığı Gale krateri seçilmiştir.

Curiosity keşif aracının ineceği yeri tespit etmek amacı ile birincisi Haziran 2006, ikincisi Ekim 2007, üçüncüsü Eylül 2008, dördüncüsü Eylül 2010 ve beşincisi Mayıs 2011 tarihinde olmak üzere 5 adet çalıştay yapılmış ve son çalıştay Gale kraterinin seçimi ile sonuçlanmıştır (NASA, 2022g).

Curiosity keşif aracının ideal iniş alanı için aranan kriterlerin başında, geçmiş veya şu an yaşanabilir bir ortamın açık kanıtlarına sahip olması, yüzeyde korunan ve açığa çıkarılan kayaç tabakaları gibi olumlu bir jeolojik kayda sahip olması, geçmiş su kanıtlarına sahip olması, aynı zamanda tamamı nispeten pürüzsüz, güvenli bir iniş alanı içinde yer alması, Mars'taki geçmiş ortamların hikâyesini anlatan birçok kayaç tabakaları içerebilen uçurumlar gibi alanlara ulaşabilmesi için iniş alanından en az 20 km seyahat edebilecek olması gelmiştir (NASA, 2022d).

Haziran 2006 tarihinde ilk çalıştayda seçilen muhtemel iniş yerleri ve son çalıştayda finale kalan son dört iniş yerini gösterir harita Şekil 3.1'de verilmektedir. Beyaz gölgeli alanlar ekvatorun kuzey ve güneyinde 30 dereceden fazladır ve burada beklenen mevsimsel olarak sert (soğuk) koşullar nedeniyle Curiosity keşif aracının çalışma sıcaklığı sınırları dışındadır. Siyah alanların yüksekliği 0 kotunun üzerinde olup iniş için düşünülemeyecek kadar yüksektir.



Şekil 3.1. Curiosity keşif aracı için önerilen tüm iniş alanlarını (kırmızı noktalar) ve son dört aday alanı (mavi noktalar) (Smithsonian Institution, 2022a).

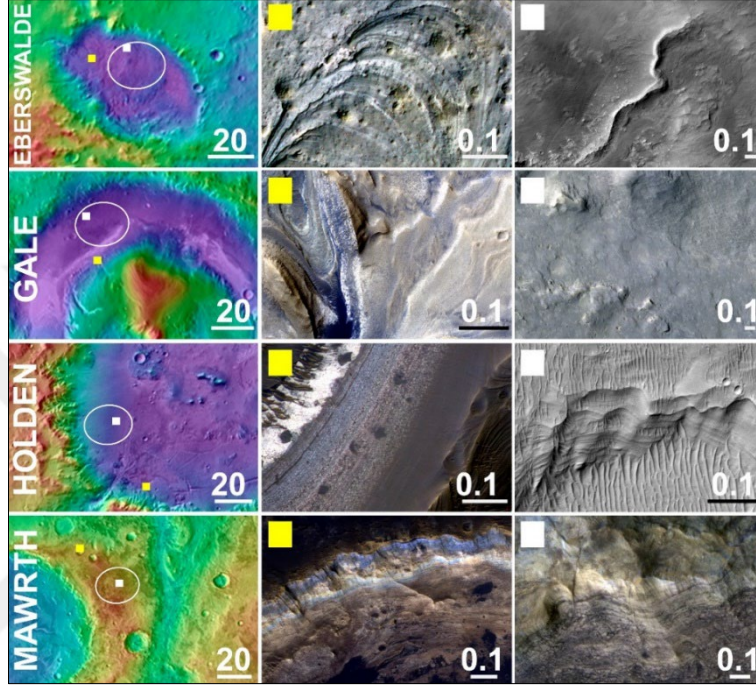
Son dörde kalan Holden Krater, Mawrth Vallis, Eberswalde Krateri ve Gale Krateri'nin özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Curiosity keşif aracı için son dört aday iniş yeri özellikleri (Golombek ve ark., 2011).

Yer	Koordinat	Kot	Hedef
Holden Krater	26.37°S, 325.10°E	-1940 m	Akarsu Tabakalı, Fillosilikatlar
Mawrth Vallis	24.01N, 341.03°E	-2246 m	Noachian Tabakalı Fillosilikatlar
Eberswalde Krateri	23.86°S, 326.73°E	-1450 m	Delta
Gale Krateri	4.49°S, 137.42°E	-4451 m	Tabakalı Sülfatlar, Fillosilikatlar

Eski bir nehrin döküldüğü gölde oluşturduğu delta ile Eberswalde, kil ve sülfat tabaklarından oluşan bir dağ olan Gale, taşkın kaynaklı sedimanlara sahip eski bir göl olması muhtemel ve kil bakımından zengin sedimanlar içeren bir krater olan

Holden ve en az iki tür kil içeren tabakalara sahip Mawrth, Curiosity keşif aracı için son dört aday iniş yeri olarak finale kalan yerler olmuşlardır (Şekil 3.2) .

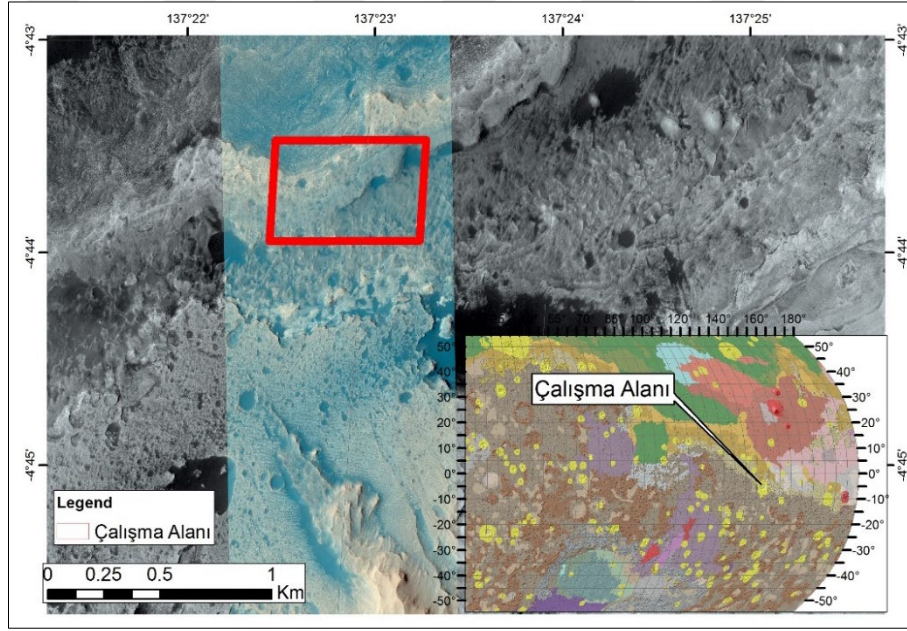


Şekil 3.2. Curiosity keşif aracı için son dört aday (Smithsonian Institution, 2022b).

2011 yılında beşincisi yapılan çalıştay sonucunda seçilen Gale Krateri ortasındaki tabakalı malzeme dağı nedeniyle keşfetmek için büyüleyici bir yer olarak görülmüş, tabakaların Mars'ın geçmişte neye benzediği hakkında, belki de kızıl gezegen tarihinin çoğunu kapsayan bir hikâye anlatıyor olabileceği düşünülmüştür. Yörüngeden yapılan araştırmalar, tabakaların kotlarına bağlı olarak farklı minerallere sahip olduğunu ortaya çıkarmış, höyüğün dibine yakın yerlerde kil minerallerin bulunduğu, kil içeren tabakaların üzerinde kükürtlü tabaklar ve bunların üzerinde oksijen içeren mineraller bulunduğu tespit edilmiştir. Akan suyun hem höyükte hem de krater duvarında oyulmuş kanallara sahip olduğu görülmüş, Curiosity'nin, tepeye ulaşmak için kraterin daha düz bir kısmına inmesi ve tabaka

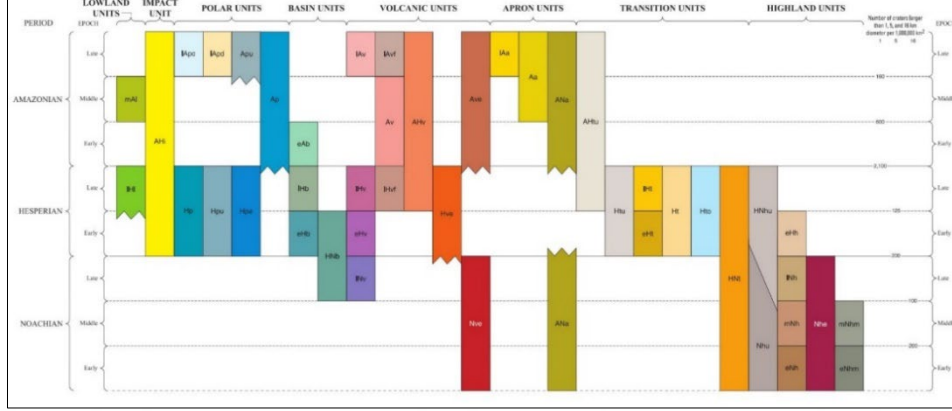
tabaka yukarı doğru dikkatli bir şekilde hareket edeceği düşünülmüştür (NASA, 2022d).

Çalışma alanı, Mars koordinat sistemine göre (Equirectangular_MARS) 4.5895°S, 137.4417°E koordinatlarında yer alan Curiosity keşif aracının iniş yaptığı yaklaşık 152 km çapında olan Gale kraterinin yukarı Gediz vadisi olarak isimlendirilen bölgesidir (Şekil 3.3). Kraterin merkezinde, tabanından yaklaşık 5.5 km yükseklikte olan Aeolis Mons Dağı mevcuttur. Curiosity keşif aracı 06.08.2012 tarihinde bu bölgeye başarılı bir şekilde inmiş olup görevine halen devam etmektedir.



Şekil 3.3. Çalışma alanı (Akgül ve Ural, 2022).

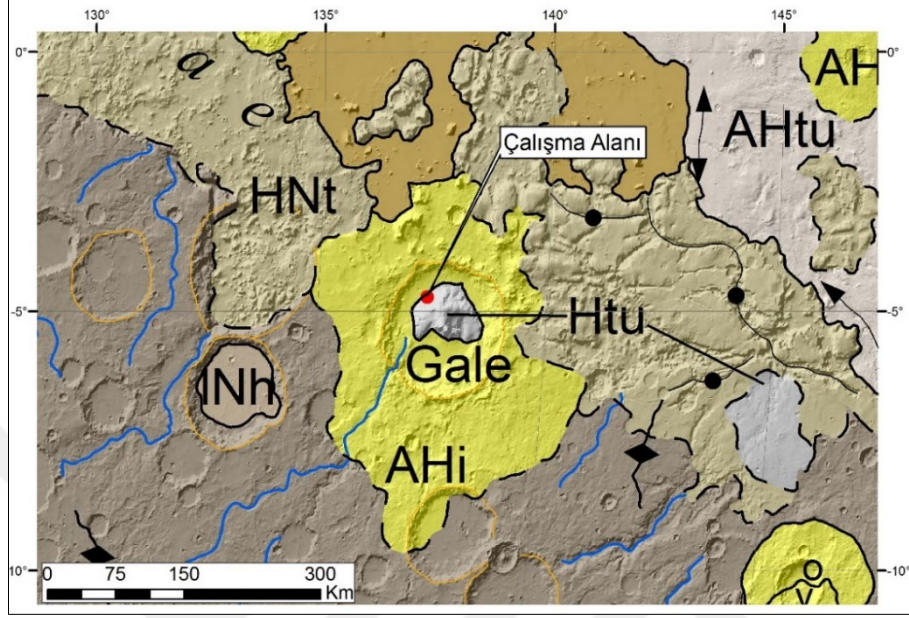
Mars jeolojik tarihi, Mars yüzeyindeki çarpma krater yoğunlukları çalışmaları sonucunda antik çağlardan günümüze Noakyan, Hisperyan ve Amazonyan olarak üç döneme ayrılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Jeolojik birimlerin korelasyonu (Tanaka ve ark., 2014).

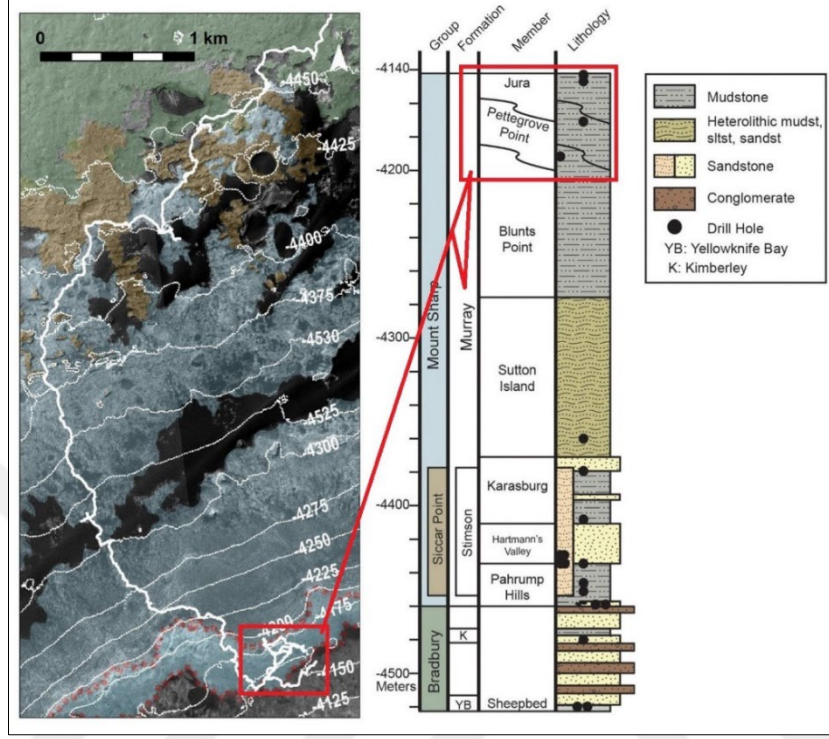
Hesperian dönemindeki asidik hava koşulları, Valles Marineris, Gale krateri, Schiaparelli, Terby ve diğer düzlük kraterlerde tabakalı sedimanların sülfatla zenginleşmesine yol açmıştır. Mars'taki jeolojik arazilerin en belirgin erozyonunun bir kısmı Hesperian döneminde gerçekleşmiştir. Amazon dönemi ise, Mars için en uzun jeolojik dönem olmasına rağmen, soğuk, kuru ve oksitleyici bir çevre, azaltılmış küresel etki akışı ve ara sıra da olsa bölgesel olarak daha yoğun ve aralıklı volkanizmayı kapsamaktadır. Akarsu/buzul aktivitesi, malzeme biriktirme oranlarının ve önceki dönemlere kıyasla kümülatif jeolojik modifikasyon miktarlarının önemli ölçüde azalmasını kapsamaktadır (Tanaka ve ark., 2014).

Gale kraterinin jeolojik yapısı ise AHi birimi olarak adlandırılan Noakyan-Hispanyan döneminin sınırından Amazonyan dönemine kadar olan dönemi kapsar (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. İnceleme alanı jeolojik haritası (Tanaka ve ark., 2014).

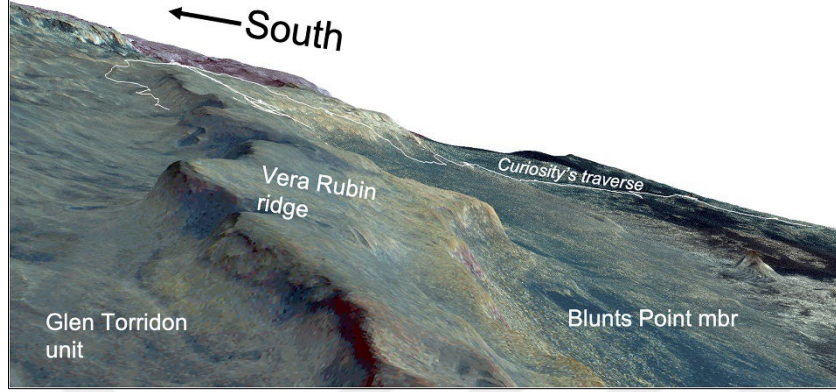
Geç Hisperyan ve Amazonyan'da demir oksitler baskın minerallerdir. Erken Hisperyan döneminin sonunda, Mars atmosferi inceldikçe ve günümüze kadar devam eden yüzey suyu azaldıkça iklim durumu kurak ve serin hale gelmiştir. Baskın jeolojik süreç, demir açısından zengin kayaların atmosferik peroksitler tarafından oksidasyonuna sebep olmuştur. Demir oksitler bu çağda oluşmuştur. Bu nedenle, sıvı su ile ilişkili mineraller, Noakyan ve Hisperyan arazilerinde yoğunlaşmıştır (Xue ve Jin, 2014).



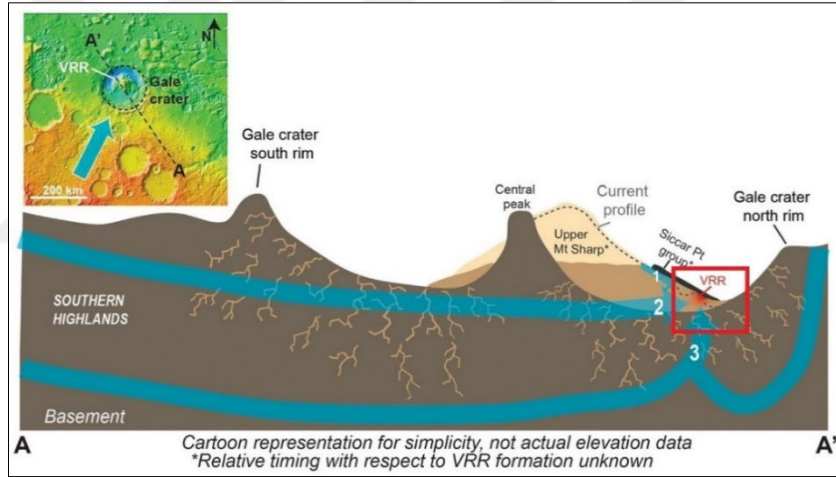
Şekil 3.6. İnceleme alanının stratigrafik dikme kesiti (Fraeman ve ark., 2020b; Edgar ve ark., 2020).

Edgar ve ark., (2020), yapmış oldukları çalışmada, inceleme alanında ince taneli, paralel tabakalı çamurtaşının bol olduğunu ve stratigrafik sütununda görüldüğü üzere çamurtaşının kalınlığının en az 300 m olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 3.6).

HiRISE kamerasından alınan renkli görüntü ile dikey olarak 2 kez abartılı HiRISE stereo dijital yükseklik modeli kullanılarak oluşturulmuş olan VRR sırtının perspektif görünümünü Şekil 3.7’de gösterilmektedir. VRR topografik olarak kendisini çevreleyen kayalardan daha yüksekte olup bu nedenle erozyona çevredeki kayalardan daha dirençlidir. Sırtın hem kuzey hem de güney taraflarındaki eğimde belirgin bir kırılma, onu çevreleyen araziden onlarca metre yukarıda durmasına neden olmuştur (Fraeman ve ark., 2020b).



Şekil 3.7. Vera Rubin Sırtının perspektif görünümü (Fraeman ve ark., 2020b).



Şekil 3.8. Diyajenezine katkıda bulunmuş olası ana su yolları (Fraeman ve ark., 2020b).

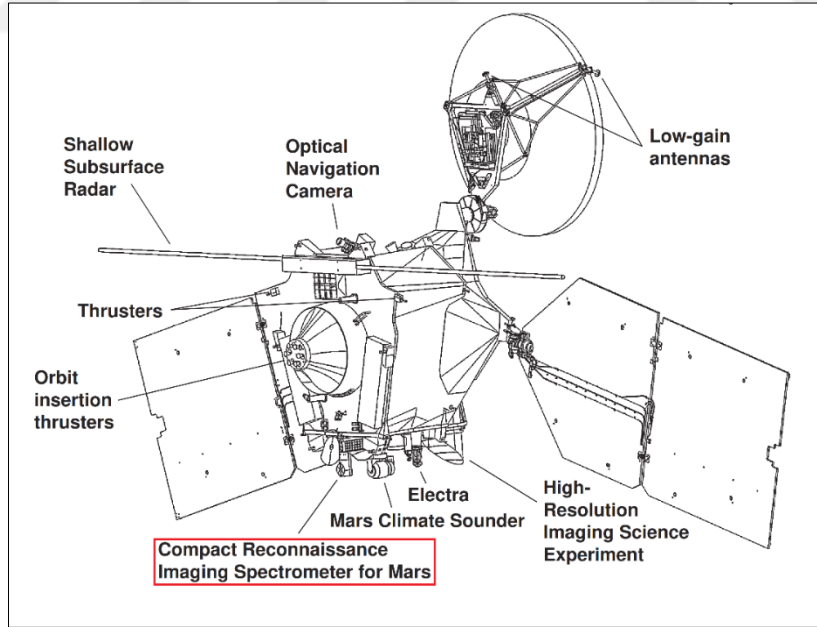
Aeolis Mons Dağı'nın tabanında VRR'yi belirleyen, Gale kraterinin idealleştirilmiş kesiti ve sedimanların diyajenezine katkıda bulunmuş olabilecek tahmini ana su yolları Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Birinci güzergâh, Gediz Vadisi'nden aşağı doğru VRR'nin mevcut konumuna doğru yönlendirilmiş olabilecek Aeolis Mons Dağı'ndan nispeten sık yeraltı akışlarını takip eder. İkinci

güzergâh, güneydeki dağlık bölgelerden Gale kraterine akan ve Aeolis Mons Dağı'nı geçen bir yeraltı suyu yolunu göstermektedir. Üçüncü güzergah ise, Gale krateri tabanında, güneyden drenajın daha derin yollarını veya yerel sızan suların yüzeye çıkabileceğini göstermektedir (Fraeman ve ark., 2020b).

3.2. Materyal

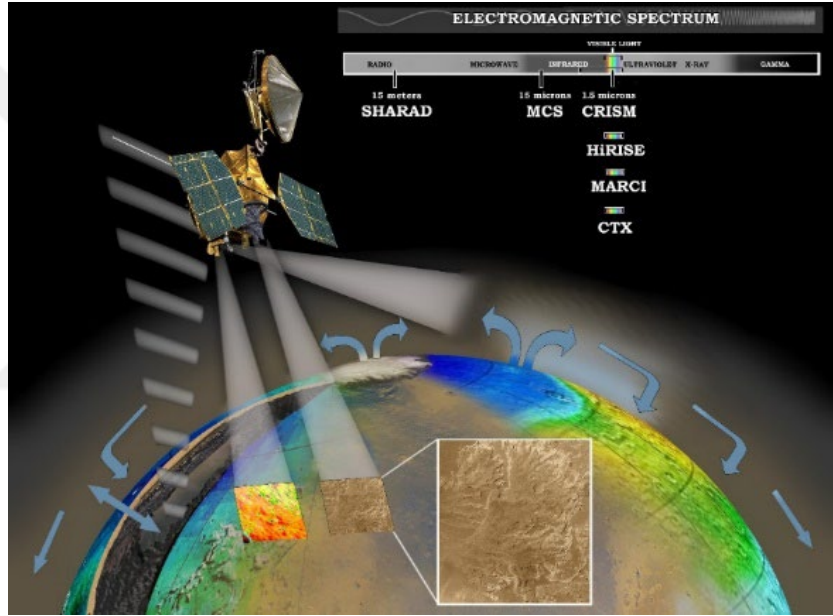
3.2.1. Uzaktan Algılama Verisi

Uzaktan algılama verisi olarak kullanılan Mars Kompakt Keşif Görüntüleme Tayfölçeri (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars, CRISM) Mars Keşif uydusu (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) üzerinde yer almakta olup algılayıcının uydu üzerindeki konumu Şekil 3.9'da gösterilmiştir (Murchie ve ark., 2007). Bu uydu 12.08.2005 tarihinde Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Cape Canaveral uzay üssünden fırlatılmış olup 10.03.2006 tarihinde Mars yörüngesine girmiştir.



Şekil 3.9. MRO uydusu üzerinde bulunan algılayıcıları gösterir plan (NASA, 2005).

Ayrıca MRO uydusu üzerinde, Bağlam Görüntüleyici (Context Imager, CTX), Yüksek Çözünürlüklü Görüntüleme Bilimi Deneyi (High-Resolution Imaging Science Experiment, HiRISE), Sığ Yeraltı RADARI (Shallow Subsurface RADAR, SHARAD), Mars Renkli Görüntüleyici (Mars Color Imager, MARCI) ve Mars İklim Ölçücü (Mars Climate Sounder, MCS) algılayıcıları bulunmakta olup bu algılayıcıların elektromanyetik spekturumu Şekil 3.10'da, özellikleri ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.10. MRO uydusu algılayıcıları elektromanyetik spekturumu (NASA, 2022d).

Çizelge 3.2. MRO uydusu algılayıcılarının özellikleri (NASA, 2022e).

Algılayıcılar	Özellikleri
CRISM	Bu algılayıcı, görüntülerin görünür ve yakın kızıl ötesi yansımalarını, Mars'ta bir futbol sahasından çok daha büyük olmayan yüzey alanlarında, özellikle su varlığında oluşanlar olmak üzere mineralleri tanımlayan yüzlerce "renk"e böler.
CTX	Bu kamera, HiRISE ve CRISM tarafından sağlanan Mars'taki önemli noktaların yüksek çözünürlüklü analizi için bir bağlam sağlamaya yardımcı olacak geniş alan görüntüleri sağlar.
HiRISE	Görünür dalga boyundaki bu kamera, gizemli olukların enkaz örtülerindeki küçük ölçekli nesneleri ve kanyonların, kraterlerin ve tabakalı sedimanların jeolojik yapısının ayrıntılarını ortaya çıkartır.
SHARAD	Bu sondaj radarı, bir metreden daha derinlerde su buzu olup olmadığını görmek için Mars yüzeyinin altını araştırır.
MARCI	Bu hava durumu kamerası bulutları ve toz fırtınalarını izleyerek, Mars'ın mevsimsel ve yıllık değişimlerini karakterize etmeye yardımcı olur.
MCS	Bu atmosferik profil oluşturucu, Mars atmosferindeki sıcaklık, toz ve su buharı konsantrasyonlarındaki dikey değişiklikleri tespit eder.

Çalışmada kullanılan CRISM verisi 0.36 μm ile 3.92 μm arasında 545 banda sahip olup hiperspektral görüntüleme yapmaktadır. Görünür yakın kızılötesinde (VNIR) 0.36 μm ile 1.02 μm arasında 107 bantta algılama yaparken kızılötesinde (IR) 1.02 μm ile 3.92 μm arasında 438 bantta algılama yapmaktadır. Elektronik arka planı ölçmek için IR dedektöründen fazladan bir satır bulunmaktadır (Murchie ve ark., 2007). Uydunun farklı yersel çözünürlüğe ve banda sahip farklı görüntüleme özellikleri mevcuttur (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. CRISM algılayıcısı modları ve özellikleri (Morgan ve ark., 2017).

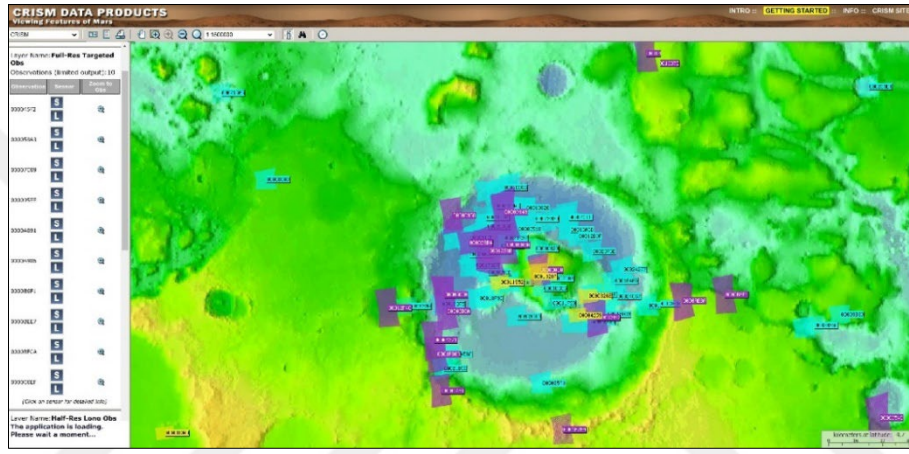
Görüntüleme tipi	Yersel çözünürlük (m/piksel)	Algılama cinsi (Mapping/Targeted)	VNIR bant sayısı	IR bant sayısı
MSP	~200	M	19	55
MSW	~100	M	19	55
HSP	~200	M	107	154
HSV	~200	M	107	N/A
MSV	~100	M	90	N/A
FRT	~20	T	107	438
HRL	~40	T	107	438
HRS	~40	T	107	438
ATO	~20x10	T	107	438
FRS	~20	T	107	438
ATU	~20x40	T	107	438

CRISM algılayıcısı hem multispektral hem de hiperspektral olarak algılama yapabilmektedir. Algılayıcının gözlem modları EDR (Experimental Data Record), DDR (Derived Data Record), LDR (Limb Data Record), TRDR (Targeted Reduced Data Record), CDR (Calibration Data Records), ADR (Ancillary Data Records), MRDR (Map-Projected Multispectral Reduced Data Record) ve MTRDR (Map-Projected Targeted Reduced Data Record) modlarıdır (Murchie ve ark., 2016).

Bu çalışmada 18 m yersel çözünürlüğe sahip hiperspektral veriye sahip TRDR modu kullanılacaktır. TRDR, EDR ürünlerinden, yani tek bir gözlemden türetilen radyometrik olarak kalibre edilmiş CRISM spektral görüntü küpüdür.

Çalışma alanına tekabül eden CRISM algılayıcısına ait “FRT0000B6F1” görüntüsü Planetary Data System (PDS) ait siteden temin edilmiştir.

Johns Hopkins Üniversitesi (JHU) Uygulamalı Fizik Laboratuvarı'nda (Applied Physics Laboratory, APL) inşa edilen CRISM algılayıcısı JHU/APL'nin Mars görevindeki ilk bilim aracıdır. CRISM verisine, JHU/APL tarafından kullanıma sunulan Şekil 3.11'de gösterilen CRISM interaktif haritası arayüzü kullanılarak ulaşılabilir.



Şekil 3.11. CRISM interaktif haritası arayüzü (JHUAPL, 2022).

İnteraktif harita üzerinden çalışma alanına düşen görüntü veya görüntüler seçildikten sonra Şekil 3.12'de gösterilen arayüz ile CRISM versinin ham verilerine ulaşılabilir.

CRISM DATA PRODUCTS
Viewing Features of Mars

BROWSE PRODUCTS

vnir_rgb
Enhanced visible color
red = 592nm
green = 533 nm
blue = 492nm

Downloads:
• [PNG](#)
• [PNG w/ geo. grid](#)
• [Map/Stretch Info](#)

ir_ira
IR surface brightness
gray level = brightness at 1330nm.

Downloads:
• [PNG](#)
• [PNG w/ geo. grid](#)
• [Map/Stretch Info](#)

Click images above to enlarge.

ABOUT BROWSE PRODUCTS

[Interpreting the Browse Products](#)
[Visible and Near-Infrared \(VNIR\) Browse Products](#)
[Infrared \(IR\) Browse Products](#)

ACCESS TO MRO DATA IN THE PDS

The following links provide direct access to the PDS archive of calibrated CRISM data for this observation, as well as to CTX or HiRISE images coordinated with it.

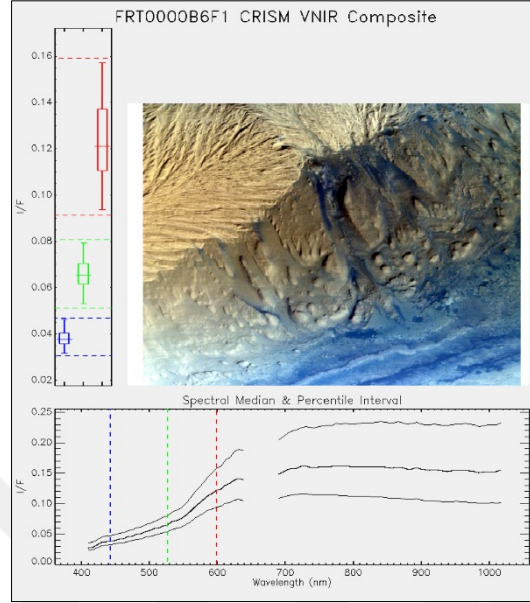
[VNIR image data, calibrated to units of IF](#)
[VNIR geometric information, in several units](#)
[IR image data, calibrated to units of IF](#)
[IR geometric information, in several units](#)
[Accompanying CRISM emission phase function data, and CTX and HiRISE coordinated images](#)

OBSERVATION DETAILS

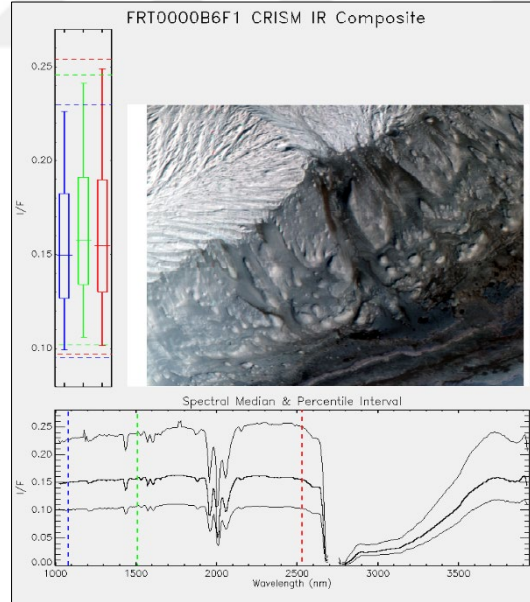
File	FRT0000B6F1_07_IF165S_TRR3.LBL
Comment	Layers and channel on slope of Gale Crater mound in MOC M03-01521
Year/Day of Year	2006_191
Observation Class	FRT
Observation Id	0000B6F1
Image Count within Observation Sequence	07
File Type	IF
Macro Number	165
Sensor Id	3
Solar Longitude	96.28
Incidence Angle	58.9
Emission Angle	25.3
Phase Angle	49.8
Lines	450
Samples	640
Image Start Time	2006-07-09T09:23:58.597
Image Stop Time	2006-07-09T09:25:58.331
Start Spacecraft Clock Count	"40900062658.51546"
Stop Spacecraft Clock Count	"40900062778.34124"
Center Latitude	-4.801725
Center Longitude	137.418725

Şekil 3.12. CRISM verilerine ulaşım için PDS arşivi arayüzü.

Bu görüntünün VNIR (0.36 μm - 1.02 μm) olan kısmı “FRT0000B6F1_07_IF165S_TRR3” ismiyle, IR (1.02 μm - 3.92 μm) olan kısmı ise “FRT0000B6F1_07_IF165L_TRR3” ismiyle ayrı ayrı “img” formatında indirilebilmekte olup ön işlem adımlarında da farklılık göstermektedir. İki verininde spektral medyan grafiği ile birlikte RGB kompozit görüntüsü Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.13. FRT0000B6F1_07_IF165S_TRR3 görüntüsüne ait spectral medyan grafiği.



Şekil 3.14. FRT0000B6F1_07_IF165L_TRR3 görüntüsüne ait spectral medyan grafiği.

3.2.2. Yersel Veri

Curiosity keşif aracı, Mars ortamını mevcut bir yaşam alanı olarak veya eski yaşamları keşfetme amacı ile tasarlanmış ve Mars'ta en az bir Mars yılı (687 Dünya günü) boyunca çalışması planlanmıştır. Keşif aracının sekiz bilimsel hedefi vardır.

Bunlar;

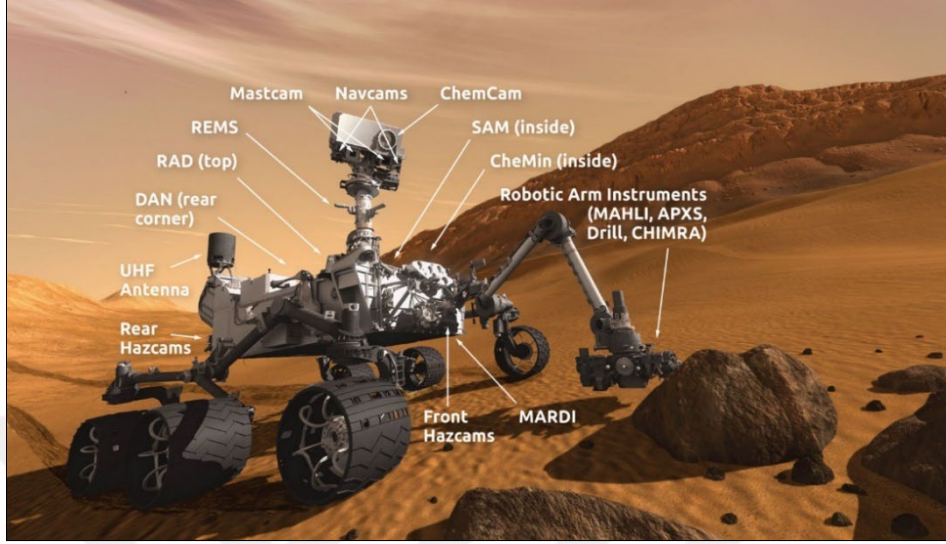
- 1) Organik karbon bileşiklerinin doğasını ve envanterini belirlemek,
- 2) Yaşamın kimyasal yapı taşlarının envanterini çıkarmak,
- 3) Biyolojik süreçlerin etkilerini temsil edebilecek özellikleri belirlemek.
- 4) Mars yüzeyinin ve yüzeye yakın jeolojik malzemelerin kimyasal, izotopik ve mineralojik bileşimini araştırmak,
- 5) Kayaları ve toprakları oluşturan ve değiştiren süreçleri yorumlamak,
- 6) Uzun vadeli (yani 4 milyar yıllık) atmosferik evrim süreçlerini değerlendirmek,
- 7) Su ve karbondioksitin mevcut durumunu, dağılımını ve döngüsünü belirlemek,
- 8) Galaktik kozmik radyasyon, güneş proton olayları ve ikincil nötronlar dâhil olmak üzere geniş yüzey radyasyonu spektrumunu karakterize etmektir (NASA, 2022b).

Curiosity keşif aracı 26.11.2011 tarihinde Atlas V 541 roketi ile Cape Canaveral uzay üssünden fırlatılmış ve 06.08.2012 tarihinde Gale krateri bölgesine başarılı bir iniş yapmıştır. İlk sürüşünü 22.8.2012 tarihinde yapan Curiosity keşif aracı görevine devam etmekte olup şu ana kadar takip ettiği rotası Şekil 3.15'de verilmektedir.



Şekil 3.15. Curiosity keşif aracı rotası (WUSTL, 2022).

Bu araç üzerinde birçok gelişmiş algılayıcı mevcuttur. Bunlar; Mastcam (Mast Camera), MAHLI (Mars Hand Lens Imager), MARDI (Mars Descent Imager), APXS (Alpha Particle X-Ray Spectrometer), ChemCam (Chemistry and Camera), CheMin (Chemical and Mineralogy), SAM (Sample Analysis at Mars), RAD (Radiation Assessment Detector), DAN (Dynamic Albedo Of Neutrons), REMS (Rover Environmental Monitoring Station), MEDLI (Mars Science Laboratory Entry Descent and Landing Instrument) algılayıcılarıdır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Curiosity keşif aracı algılayıcıları ve konumları (NASA, 2022f).

MAHLI olarak adlandırılan Mars El Merceği Görüntüleyici, jeologların genellikle yanlarında sahaya taşıdıkları büyüteçli el merceğinin gezici versiyonudur ve yakın çekim görüntüleri, kaya yüzeylerindeki mineralleri ve dokuları ortaya çıkarmak için kullanılır.

MARDI isimli Mars İniş Görüntüleyici, keşif aracının planlanan iniş alanına inerken aşağıdaki arazinin renkli bir videosunu çekerek, aracın Gale Krateri'ni keşfetmeye başladığında, görev planlayıcılarının en iyi yolu seçmelerine yardımcı olmaktadır.

Alfa Parçacık X-Işını Tayfölçeri kısaca APXS olarak adlandırılır ve bir kaya veya toprak yüzeyinin hemen yanına yaklaştırıldığında, mevcut kimyasal elementlerin miktarlarını ve türlerini ölçmek için iki tür radyasyon kullanır.

Kimya ve Kamera aracı ChemCam olarak bilinir. ChemCam'in lazeri, kamerası ve spektrografi, kayaların ve toprakların kimyasal ve mineral bileşimini belirlemek için birlikte çalışır.

Kimyasal ve Mineraloji cihazı veya kısaca CheMin, mevcut olan farklı minerallerin türlerini ve miktarlarını belirlemek için toz halindeki kaya numunelerinin kimyasal analizini gerçekleştirir.

SAM olarak adlandırılan Örnek Analiz Aracı, potansiyel olarak yaşamla ilişkili önemli bileşenler olan organik kimyasalları ve hafif elementleri araştıran ve ölçen üç farklı araçtan oluşur.

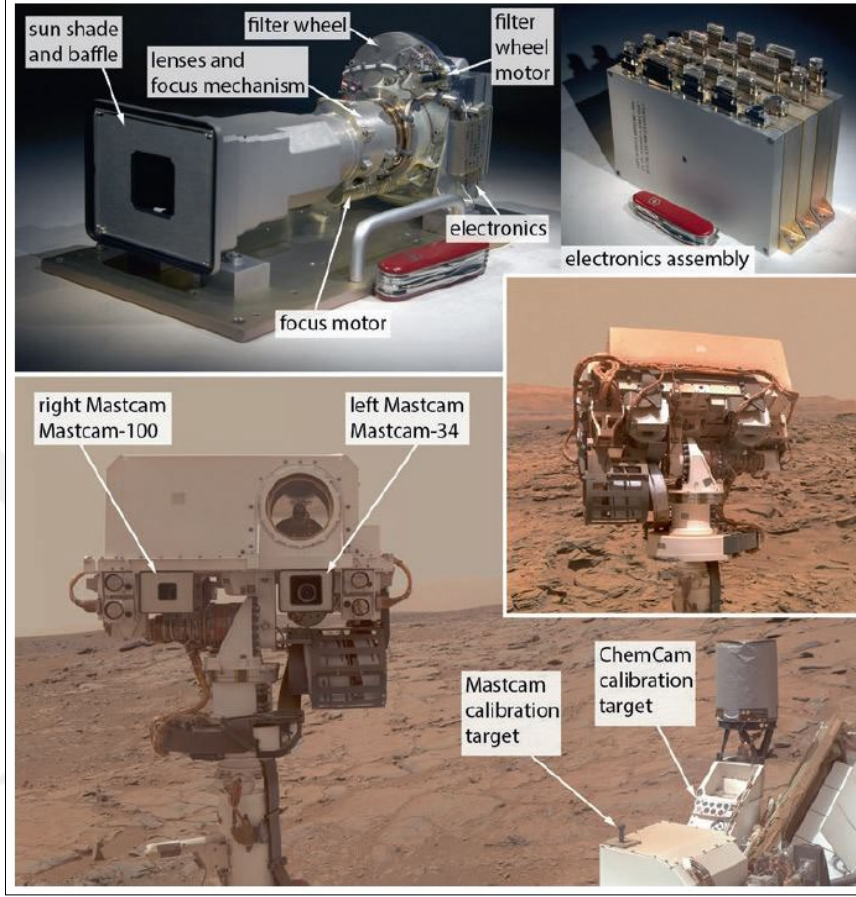
Radyasyon Değerlendirme Dedektörü, RAD olarak da bilinir ve Mars'ın gelecekteki insan keşiflerine hazırlanmaya yardımcı olur. RAD, güneş ve uzay kaynaklarından Mars yüzeyine ulaşan zararlı radyasyonun türünü ve miktarını ölçer.

Kısaca DAN olarak adlandırılan Dinamik Nötron Albedo aracı, Mars topraklarından salınan nötronların yeraltında sıvı veya donmuş suyun bulunduğunu gösteren belirgin değişiklikleri arar.

Rover Çevresel İzleme İstasyonu, REMS olarak adlandırılır ve keşif aracı etrafındaki meteorolojik koşullar hakkında günlük ve mevsimsel raporlar sağlamak için gereken tüm hava durumu araçlarını içerir.

MEDLI olarak adlandırılan Mars Bilim Laboratuvarı Giriş İniş ve İniş Aleti, uzay aracının farklı kısımları üzerindeki etkileri belirlemeye yardımcı olmak için iniş sırasında meydana gelen ısıtma ve atmosferik basınç değişikliklerini ölçmekle görevlidir (Lakdawalla, 2018; NASA, 2022f).

Çalışmada kullanılan Mastcam algılayıcısı, Curiosity keşif aracının üzerinde sabit ve dikey bir kol üzerinde bulunan iki kameradan, aracın içinde bulunan elektronik aksamdan ve aracın gövdesi üzerinde bulunan bir kalibrasyon hedefinden oluşmaktadır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Mastcam algılayıcısının ana bileşenleri (Lakdawalla, 2018).

Mastcam algılayıcısına ait iki kamera insan gözünün yüksekliği gibi düşünülerek yerden yaklaşık 2 m yükseklikte konumlandırılmış, aralarında 24.64 cm mesafe ile de stereoskopik görüntü elde edebilmesine imkân tanınmıştır. Sağ kamera, sol kameradan 3 kat daha hassas görüntü alabilmekte ve bu hassasiyet 1 km mesafede 7.4 cm'ye karşılık gelmektedir. Sol kamera ise sağ kameradan daha geniş bir alanı görüntüleyebilmektedir. Mastcam kameralarına ait özellikler Çizelge 3.4'de verilmektedir.

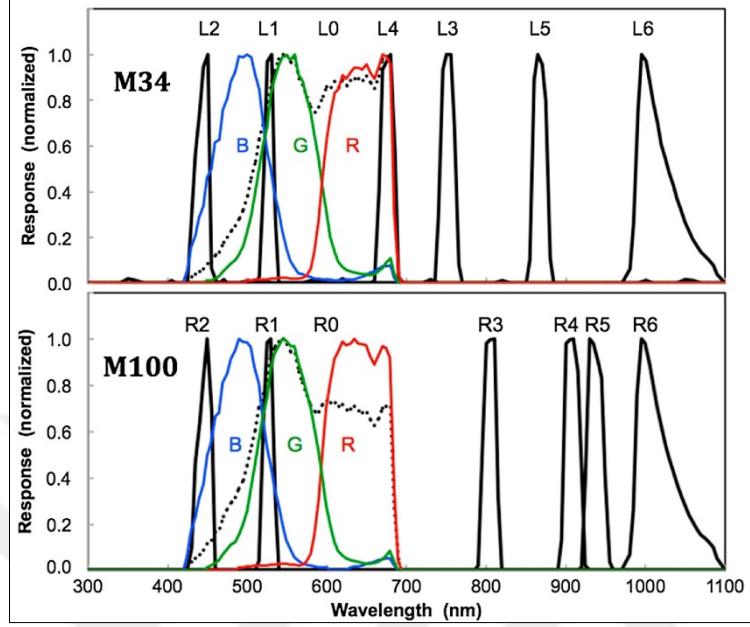
Çizelge 3.4. Mastcam kamerasının özellikleri (Lakdawalla, 2018).

	Mastcam-34 (Mastcam-L)	Mastcam-100 (Mastcam-R)
Teker altından yüksekliği (Boresight height above bottom of wheels)	1.97 m	
Teker altından asansör ayar elemanı eksen yüksekliği (Elevator actuator axis height above bottom of wheels)	1.91 m	
Stereo ayırma (Stereo separation)	24.64 cm	
Yatay görüş alanı (FOV (horizontal 1600 pixels))	20.6°	6.8°
Dikey görüş alanı (FOV (vertical 1200 pixels))	15°	5.1°
Anlık görüş alanı (instantaneous field of view (IFOV))	218 µrad	74 µrad
2 m'lik mesafede piksel boyutu (Pixel scale at a distance of 2 m)	450 µm	150 µm
1 km'lik mesafede piksel boyutu (Pixel scale at a distance of 1 km)	22 cm	7.4 cm
Odak oranı (focal ratio)	f/8	f/10
Etkin odak uzaklığı (effective focal length)	34 mm	100 mm
Odak menzili (in-focus range)	0.4 m to infinity	1.6 m to infinity
Pozlama aralığı (exposure range)	0 to 838.8 s in increments	0.1 ms
Video kare hızı (video frame rate)	5.9 to 7.7 fps at 720p (1280-by-720)	
	3.9 to 4.7 fps for full frame	

Mastcam ile aracın etrafındaki manzara, kaya ve sedimanların jeomorfolojisi, stratigrafisi ve dokusu araştırılabilmektedir. Ayrıca atmosferik ve hatta astronomik olayları da izlemek mümkündür. Mastcam kameralarına ait bantların dalga boyları ve özellikleri Çizelge 3.5’de, dalgaboylarına ait grafik ise Şekil 3.18’de verilmiştir.

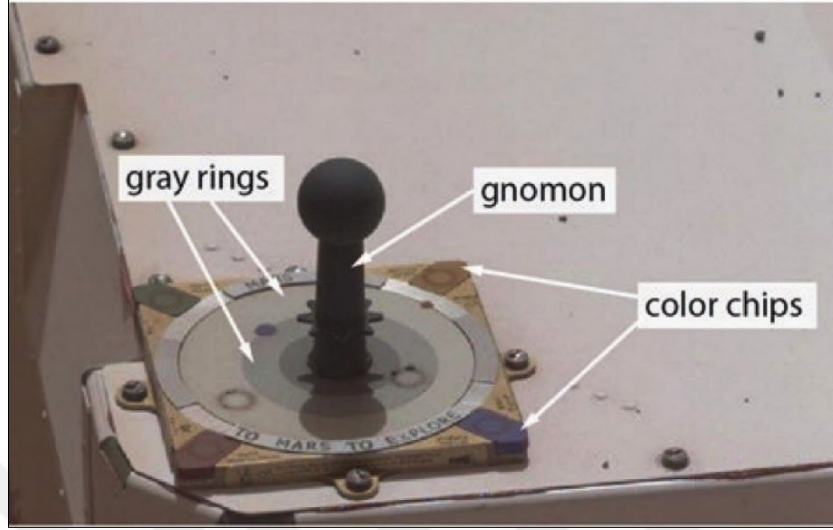
Çizelge 3.5. Mastcam algılayıcısı bant özellikleri (Bell ve ark., 2017).

Filtre pozisyonu	Sol kamera Mastcam-L ($\lambda_{eff} \pm HWHM$ (nm))	Filtre pozisyonu	Sağ kamera Mastcam-R ($\lambda_{eff} \pm HWHM$ (nm))
L0 (Kırmızı)	640 $\pm$ 44	R0 (Kırmızı)	638 $\pm$ 44
L0 (Yeşil)	554 $\pm$ 38	R0 (Yeşil)	551 $\pm$ 39
L0 (Mavi)	495 $\pm$ 37	R0 (Mavi)	493 $\pm$ 38
L1	527 $\pm$ 7	R1	527 $\pm$ 7
L2	445 $\pm$ 10	R2	447 $\pm$ 10
L3	751 $\pm$ 10	R3	805 $\pm$ 10
L4	676 $\pm$ 10	R4	908 $\pm$ 10
L5	867 $\pm$ 10	R5	937 $\pm$ 10
L6	1012 $\pm$ 21	R6	1013 $\pm$ 21



Şekil 3.18. Mastcam algılayıcısı bantlarına ait dalgaboyu grafikleri (Bell ve ark., 2012).

Mastcam algılayıcısına ait görüntülerin jeolojik çalışmalarda kullanılabilmesi için gerekli olan düzeltmelerde Mastcam kalibrasyon hedefi kullanılmaktadır. Bu hedef, keşif aracı güvertesinin sağ tarafında, kameraların ön pencerelerinden yaklaşık 1.2 m uzaklıkta, Rover Pyro Ateşleme Tertibatı kontrol kutusunun üstünde bulunmaktadır. Spirit ve Opportunity keşif araçları üzerinde bulunan Panoramik kamera (Panoramic Camera, Pancam) görüntülerinin kalibre edilmesi için kullanılan kalibrasyon hedefi ile neredeyse aynı olan bu kalibrasyon hedefi veya kısa adı ile "caltarget" (Bell ve ark., 2003; Bell ve ark., 2006), üç gri tonlamalı halka ve dört renk yongası ile çevrili bir top ve çubuk merkezi direğinden (gnomon) oluşur (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Mastcam kalibrasyon hedefi (Lakdawalla, 2018).

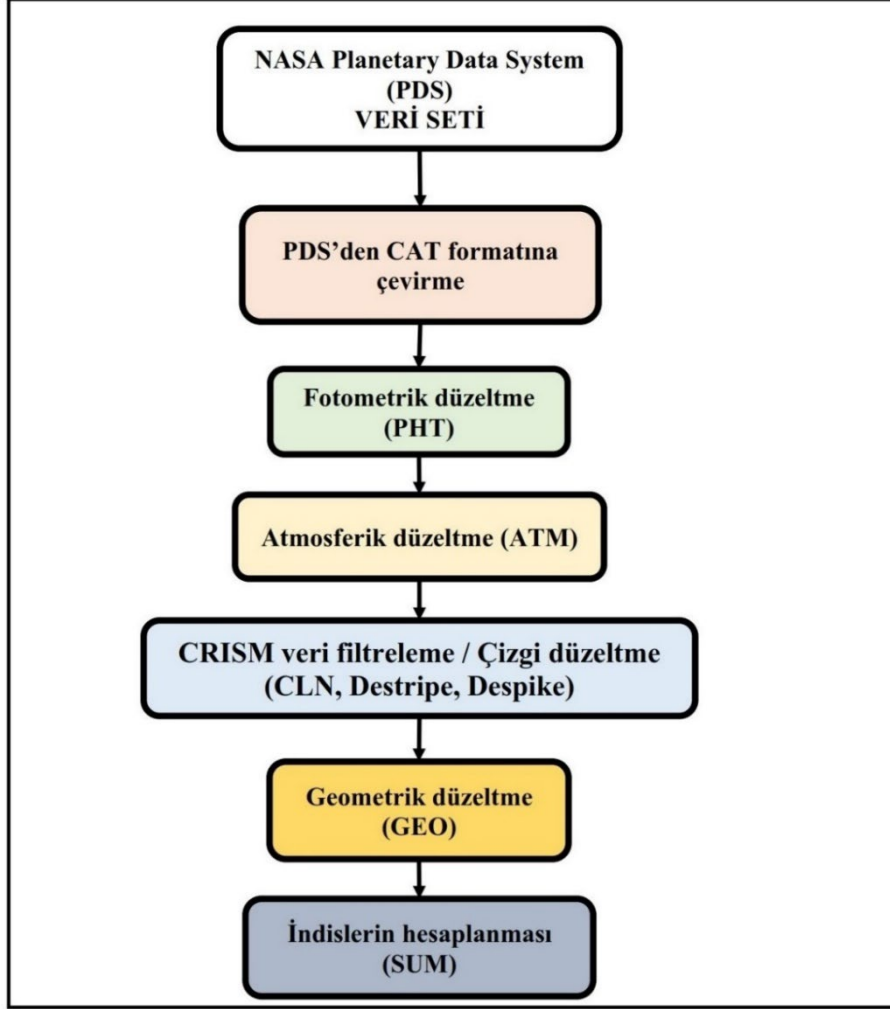
MER (Mars Exploration Rover) tasarımından farklı olarak, Mastcam kalibrasyon hedefi, renk yongalarının yüzeyinin hemen altına gömülü altı silindirik mıknatıs ve çevreleyen bir manyetik toz halkası Mars tozunu çekerken, mıknatıs bölgelerinin merkezini nispeten temiz tutan beyaz ve gri halkalar içerir (Goetz ve ark., 2008; Madsen ve ark., 2003).

3.3. Metot

3.3.1. Uzaktan Algılama Verisi Ön İşleme ve Mineral Analizi

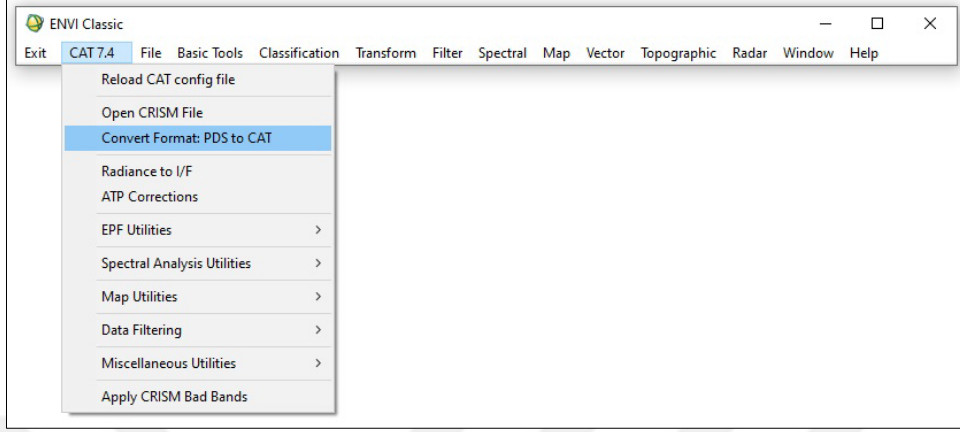
CRISM Analysis Toolkit (CAT), CRISM algılayıcısından gelen verileri analiz etmek ve görüntülemek için IDL/ENVI programı üzerinde çalışan bir yazılım sistemidir. CAT, bir ENVI programı eklentisi olarak çalışır, bu nedenle ENVI'nin yerleşik görüntüleme ve spektral analiz araçları, CRISM verileri yüklenip işlendikten sonra kullanılabilir (Morgan ve ark., 2017).

CRISM verisi Seelos ve ark., (2009) anlatıldığı şekilde CAT yazılımı kullanılarak Şekil 3.20'de verilen iş akış şemasına göre analiz edilmiştir.



Şekil 3.20. CRISM verisi analizi akış şeması.

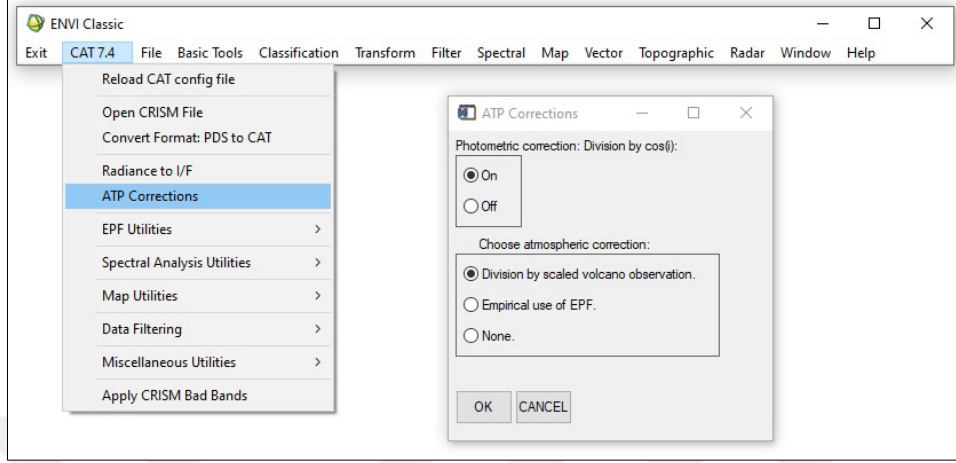
PDS sitesinden indirilen ham verilerin analiz edilebilmesi için yapılması gerek ilk işlem CAT formatına çevrilmesidir. Bunun için ENVI programı üzerinde CAT modülünde bulunan “Convert Format: PDS to CAT” kullanılmaktadır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. PDS’den CAT formatına çevirme.

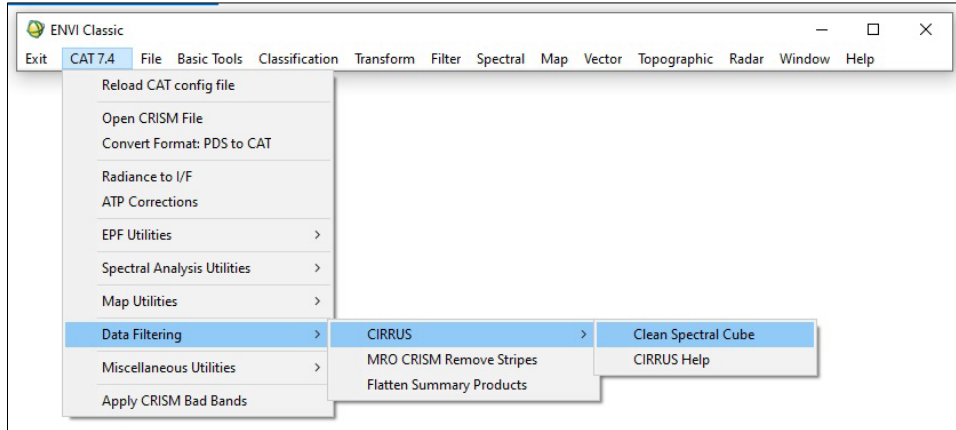
Fotometrik düzeltme, CRISM görüntüsünün, güneş geliş açısının kosinüsüne bölünmesi ile yapılır bu değer çalışmada kullanılan FRT0000B6F1 görüntüsü için 58.866214752197266 derecedir. Fotometrik düzeltme, ENVI programı üzerindeki CAT modülünde “ATP Corrections” içerisinde bulunan “Photometric correction: Division by cos(i)” komutu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.21).

Atmosferik düzeltme ise, Olympus Mons dağı üzerinden geçen bir gözlem sırasında elde edilen ölçekli bir atmosferik iletim spektrumu ile tüm CO₂ absorpsiyon bantlarını ortadan kaldırarak yapılır. Bu işlem, Güneş sistemimizin ve dolayısı ile Mars’ın en yüksek dağının zirvesinden ve tabanından ölçülen spektrum farkı kullanılarak yapılmaktadır (Daswani, 2011). Atmosferik düzeltme, ENVI programı üzerindeki CAT modülünde “ATP Corrections” içerisinde bulunan “Division by scaled volcano observation” komutu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.22).



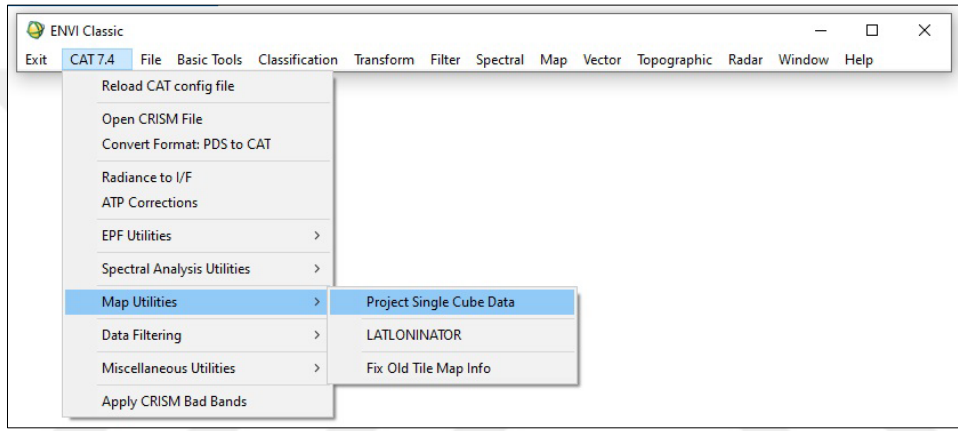
Şekil 3.22. Fotometrik düzeltme (PHT) ve Atmosferik düzeltme (ATM).

Veri filtreleme ile görüntü üzerinde oluşan gürültü düzeltilirken, eksik piksellerin çevresindeki piksellerin ortalaması ile düzeltilmesi ise Çizgi düzeltme ile yapılmaktadır. Bu iki düzeltme ENVI programı üzerindeki CAT modülünde “Data Filtering” içerisinde bulunan “Clean Spectral Cube” komutu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.23).



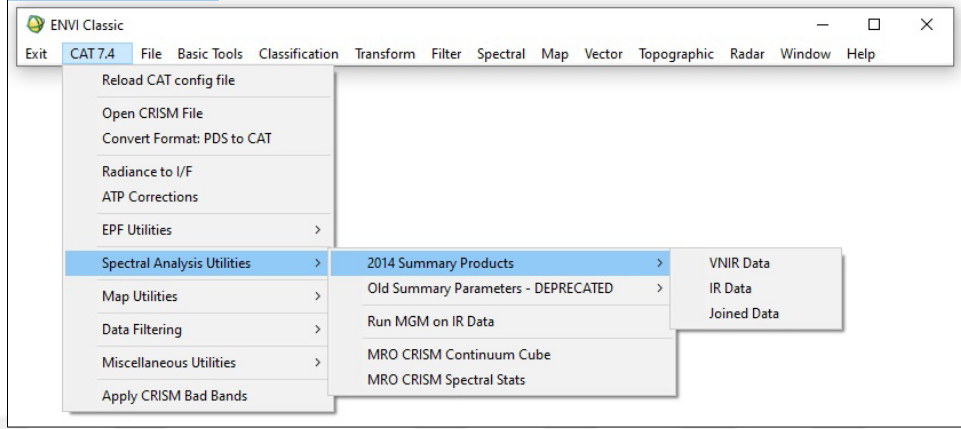
Şekil 3.23. CRISM veri filtreleme / Çizgi düzeltme (CLN, Destripe, Despik).

Fotometrik, Atmosferik ve veri filreleme/çizgi düzeltmesi yapılmış görüntülerin koordinatlı bir şekilde kullanılabilmesi için bir projeksiyon sistemine getirilmesi gerekmektedir. Bu düzeltme ise Geometrik düzeltme ile yapılmaktadır (Gurunadham ve ark., 2014, Arvidson, 2017). Bu düzeltme ENVI programı üzerindeki CAT modülünde “Map Utilities” içerisinde bulunan “Project Single Cube Data” komutu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.24).



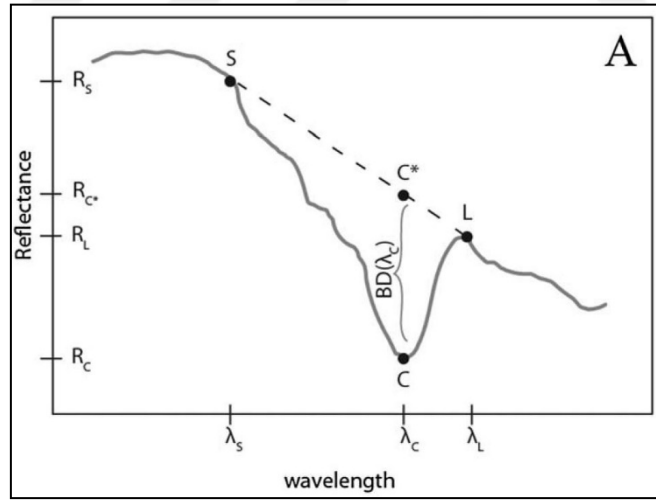
Şekil 3.24. Geometrik düzeltme (GEO).

Gerekli düzeltmeleri yapılmış CRISM verisi kullanılarak indisler hesaplanmıştır. Bu indisler ENVI programı üzerindeki CAT modülünde “Spectral Analysis Utilities” içerisinde bulunan “2014 Summary Products” komutu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. İndislerin hesaplanması (SUM).

Bu indislerin çoğunluğu Bant Derinliğini (BD) hesaplayan indislerdir (Şekil 3.26). Bant derinliği (absorpsiyonu) spektral verilerin parametrelendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (Clark ve Roush, 1984).



Şekil 3.26. Bant derinliği (Viviano-Beck ve ark., 2014).

Bant derinliği, Viviano-Beck ve ark.,'da (2014) anlatıldığı şekilde Formül 1'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$BD(\lambda_C) = 1 - \frac{R_C}{aR_S + bR_L} \quad (1)$$

Bu formülde b, Formül 2'de verildiği şekilde hesaplanırken a değeri ise 1-b olarak hesaplanmaktadır.

$$b = \frac{\lambda_C - \lambda_S}{\lambda_L - \lambda_S} \quad (2)$$

R_C: λ_C dalgaboyunun yansımaya değerini, R_S: λ_S dalgaboyunun yansımaya değerini ve R_L: λ_L dalgaboyunun yansımaya değerinin göstermektedir.

Çizelge 3.6. CRISM'e ait İndislerin formülleri ve açıklamaları (Viviano-Beck ve ark., 2014).

İndis	Formül	Açıklaması
BD530_2	$1 - (R_{530} / (a * R_{614} + b * R_{440}))$	Daha yüksek değer daha ince taneli kristal hematit
BD640_2	$1 - (R_{624} / (a * R_{600} + b * R_{760}))$	Demir mineralleri (özellikle maghemit)
BD860_2	$1 - (R_{860} / (a * R_{755} + b * R_{977}))$	Kristalli demir mineralleri (özellikle hematit)
BD920_2	$1 - (R_{920} / (a * R_{807} + b * R_{984}))$	Kristalin ferrik mineraller ve Düşük Kalsiyum Piroksen

R_x= x dalgaboyunun yansımaya değeri.

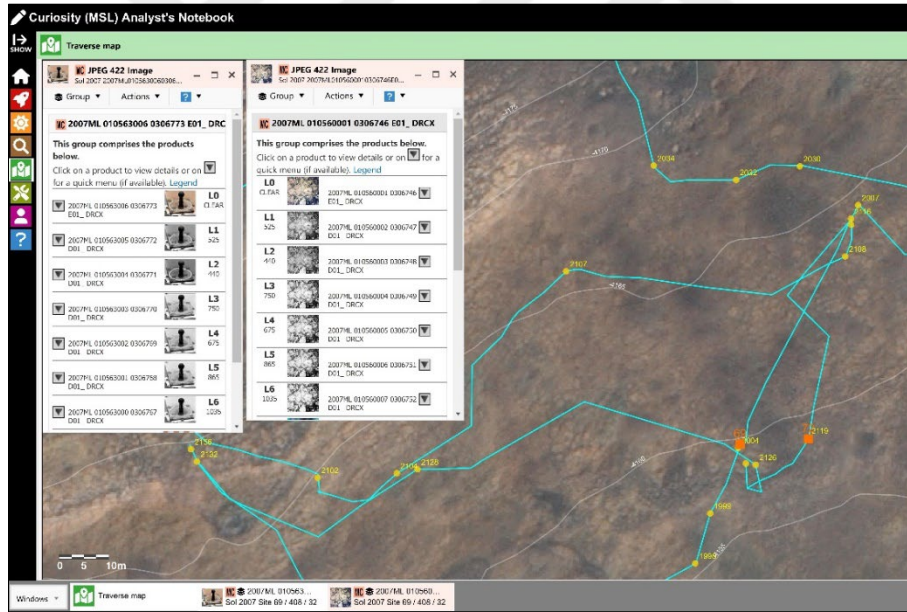
Çizelge 3.6'da verilen formüllerdeki b katsayıları formül (2) yardımı ile bulunmuş olup a katsayısı ise 1-b'den hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, BD530_2 indisinin a değeri 0.483 ve b değeri 0.517, BD640_2 indisinin

a değeri 0.850 ve b değeri 0.150, BD860_2 indisinin a değeri 0.527 ve b değeri 0.473, BD920_2 indisinin a değeri 0.362 ve b değeri 0.638 olarak bulunmuştur.

Yersel karşılaştırma için kullanılacak olan Mastcam algılayıcısı 0.445 μm ile 1.013 μm aralığında görüntüleme yapmaktadır. Özellikle 0.55 μm ve 0.86 μm bantlarında absorbe olan Hematit (Fe_2O_3) hem CRISM hem de Mastcam algılayıcısı için ortak mineral olarak karşılaştırılabilmesi mümkündür.

3.3.2. Yersel Veri Ön İşleme ve Mineral Analizi

Yersel veri için kullanılacak olan Curiosity keşif aracı üzerinde bulunan Mastcam algılayıcısına ait ham veriler MSL Curiosity Analyst's Notebook sitesinden temin edilebilmektedir (Şekil 3.27).

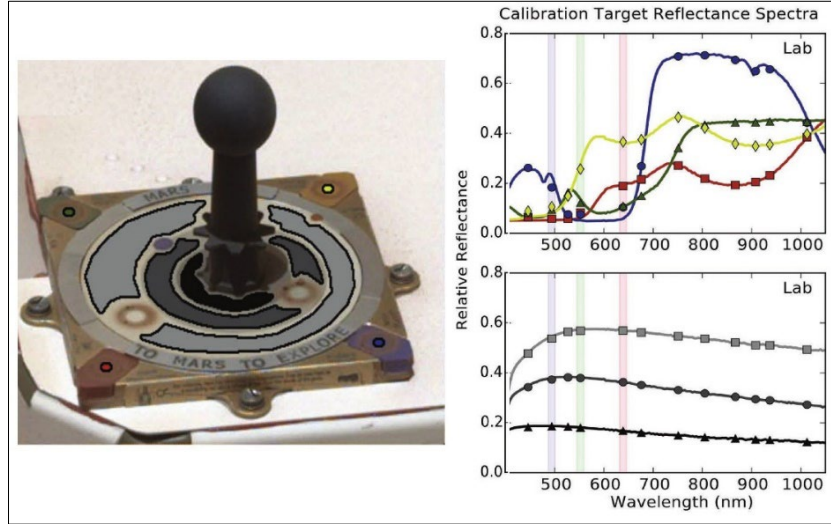


Şekil 3.27. MSL Curiosity Analyst's Notebook sitesi arayüzü (WUSTL, 2022).

Çalışma alanını kapsayan sol 1800 ve sol 2300 günleri arası taranmış olup çalışmada kullanılabilecek çok bantlı multispektral olarak çekilmiş olan 78 sol gününe ait görüntüler tespit edilmiş ve bunlara ait özellikler Ek-1’de verilmiştir.

Mastcam görüntülerindeki dalga boyu pozisyonunda elde edilen spektrumlar, uçuş öncesi kalibrasyon katsayılarına ve keşif aracı güvertesindeki kalibrasyon hedefinin (Caltarget) gözlemlerine dayalı olarak kalibre edilmekte ve elde edilen görüntüler, görüntü alma sırasında güneşin açısına göre düzeltilmektedir (Bell ve ark., 2017). Bu dalga boyu aralığında elde edilen spektrumlar, özellikle demir içeren minerallere ve oksidasyon fazlarına duyarlıdırlar. Örneğin, 867 nm ve 527 nm bant derinlikleri demir oksidasyonunun varlığını gösterirken, 937 nm bant derinliği 900 nm civarında geniş bir absorpsiyonun varlığına bağlı olarak mafik demir içeren mineralleri gösterebilir (Wellington ve ark., 2017).

Mastcam algılayıcısına ait görüntülerin kalibrasyonunda kullanılan Mastcam kalibrasyon hedefi (Caltarget) üzerinde bulunan üç gri tonlamalı halka ve dört renk yongasının konumu ve laboratuvar ortamındaki yansımalarına ait grafikleri Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Mastcam kalibrasyon hedefi (Wellington, 2018).

Mastcam görüntüleri ve Çizelge 3.7’de verilen formüller yardımıyla ilgili indisler hesaplanabilmektedir. Burada hematit için belirleyici indis olan BD867 indisi 867 nm’de bant derinliğini hesaplayan indistir. Bu indisin CRISM verisindeki karşılığı ise BD860_2 olarak isimlendirilen indistir.

Çizelge 3.7. Mastcam’e ait İndislerin formülleri ve referansları (Seeger, 2020).

İndis	Formül	Referanslar
BD527	$1-(R_{527}/(0.648*R_{446}+0.352*R_{676}))$	Wellington ve ark., 2017
BD867	$1-(R_{867}/(0.556*R_{751}+0.444*R_{1012}))$	Bell ve ark., 2000

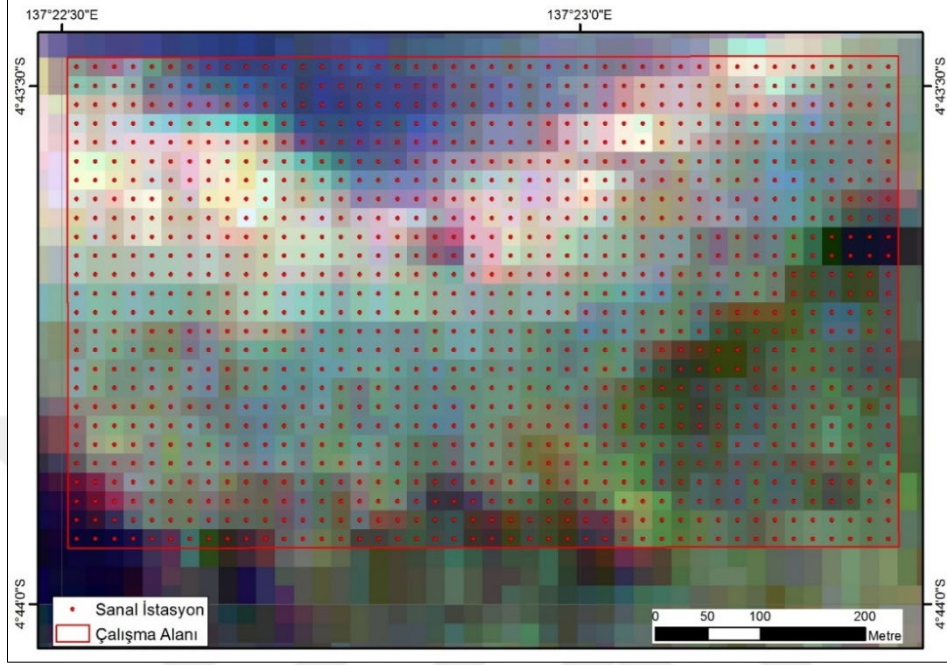
R_x = x dalgaboyunun yansıma değeri.

BD527 indisinin daha büyük değer alması daha yüksek demir oksidasyon derecesini gösterebilirken (Farrand ve ark., 2008), BD867 indisinin daha büyük değerleri ince taneli, kırmızı kristalli hematit varlığı ile tutarlıdır (Bell ve ark., 2000).

3.3.3. Model Kurulması

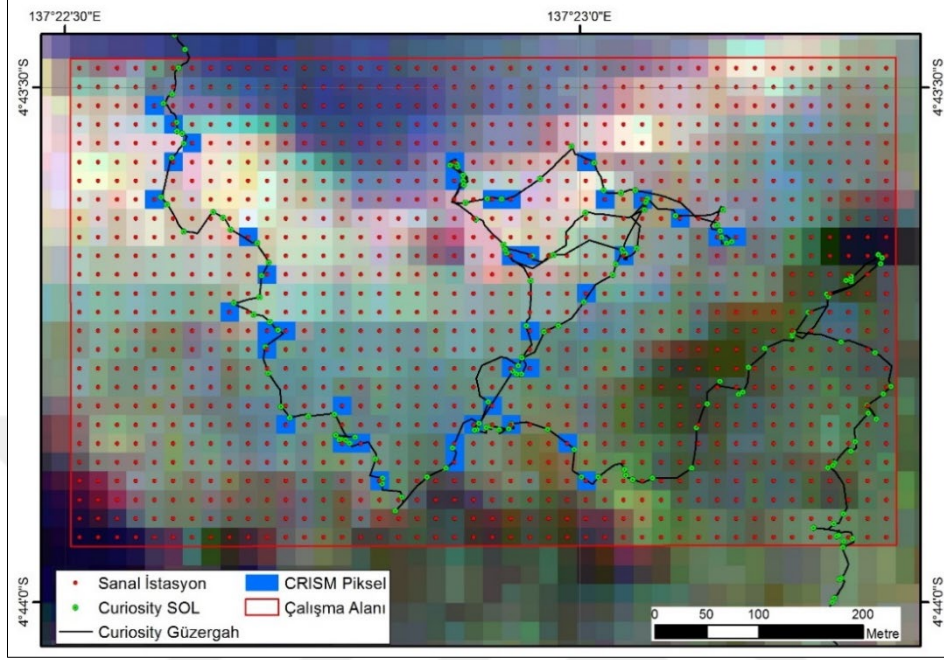
CRISM verisinde hematitin absorbe olduğu 860 nm’deki bant derinliğini hesaplayan BD860_2 indisi ile Mastcam algılayıcısında hematitin absorbe olduğu 867 nm’deki bant derinliğini hesaplayan BD867 indisi arasında model kurulmuştur.

Hesaplamalarda ve çalışmada kolaylık olması açısından CRISM piksellerini temsil eden ve her pikselin orta noktası olacak şekilde sanal istasyon noktaları ArcMap programı ile üretilmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. İnceleme alanı içerisinde kalan CRISM pikselleri ve Sanal İstasyonları.

Çalışma sahasına toplam 1144 adet sanal istasyon noktası tekabül etmesine rağmen Curiosity keşif aracı güzergahına 141 adet, sol günü noktalarına 71 adet ve modelde kullanılmak üzere Mastcam analizi yapılan noktalara ise 40 adet sanal istasyon noktası tesadüf etmiştir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. İnceleme alanı içerisinde kalan CRISM Sanal İstasyonları ve Curiosity keşif aracı güzergahının birlikte görünümü.

CRISM ve Mastcam verileri arasında kurulan modelin kabul edilebilir olup olmadığını tespit edebilmek için istatistikler yöntemleri kullanılmıştır. Model sonuçlarını analiz etmek için, Pearson korelasyon katsayısı (r), ortalama hata (ME), ortalama mutlak hata (MAE), Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE) ve yüzde sapma (PB) karşılaştırma istatistikleri kullanılmıştır. Bu istatistiklerin hangi formüller ile hesaplanacağı Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Pearson korelasyon katsayısı (r), 1 değerinin mükemmel olduğu doğrusal ilişkinin uyumunu değerlendirmek için kullanılır. NSE istatistiği ise gözlemlenen değerlerin varyansına kıyasla artıkların varyansının nispi büyüklüğünü belirler ve $-\infty$ ile 1 arasında değişir; burada 1 değeri mükemmel ve negatif değerler zayıf ilişkiyi temsil eder (Nash ve Sutcliffe, 1970). ME istatistiği gösterge ölçümlerine kıyasla fazla tahmini (pozitif) veya eksik tahmini (negatif) belirler. MAE istatistiği

ise mutlak hatanın ortalama büyüklüğünün göstergesidir. PB istatistiği gözlemlere göre gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkı ölçer. PB, ME ve MAE için mükemmel değer 0'dır.

Çizelge 3.8. İkili karşılaştırma istatistikleri formülleri.

İstatistik	Formül
Pearson Korelasyon Katsayısı	$r = \frac{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})(C_i - \bar{C})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2) \sum_{i=1}^N (C_i - \bar{C})^2}}$
Mutlak Hata	$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_i - G_i)$
Ortalama Mutlak Hata	$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_i - G_i)$
Nash-Sutcliffe Etkinlik Katsayısı	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (C_i - G_i)^2}{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2}$
Yüzde Sapma	$PB = 100 \frac{\sum_{i=1}^N (C_i - G_i)}{\sum_{i=1}^N G_i}$
Determinasyon Katsayısı	$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})(C_i - \bar{C})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2) \sum_{i=1}^N (C_i - \bar{C})^2}} \right)^2$

G_i = Mastcam değerleri, $\bar{G}$ = Mastcam değerleri ortalaması, C_i = CRISM değerleri, $\bar{C}$ = CRISM değerleri ortalaması, N= Veri çifti sayısı.

Pearson korelasyon katsayısı (r), simule edilen ve ölçülen veriler arasındaki doğrusallık derecesini tanımlar. -1 ile 1 arasında değişen korelasyon katsayısı, gözlemlenen ve simule edilen veriler arasındaki doğrusal ilişkinin derecesinin bir indeksidir. r = 0 ise, doğrusal bir ilişki yoktur. r = 1 veya -1 ise, mükemmel bir pozitif veya negatif doğrusal ilişki vardır.

Benzer şekilde, R^2 , model tarafından açıklanan ölçülen verilerdeki varyansın oranını tanımlar. R^2 , 0 ile 1 arasında değişir, daha yüksek değerler daha az hata varyansını gösterir ve tipik olarak 0,5'ten büyük değerler kabul edilebilir olarak belirtilmektedir (Santhi ve ark., 2001; Liew ve ark., 2007).

NSE, ölçülen veri varyansına (“bilgi”) kıyasla kalan varyansın (“gürültü”) görelî büyüklüğünü belirleyen normalleştirilmiş bir istatistiktir (Nash ve Sutcliffe, 1970). NSE, gözlemlenen ve simüle edilmiş verilerin grafiğinin 1:1 çizgisine ne kadar iyi uyduğunu gösterir. NSE, $-\infty$ ile 1.0 (1 dahil) arasında değişir ve NSE = 1 optimal değerdir. 0.0 ile 1.0 arasındaki değerler genellikle kabul edilebilir performans seviyeleri olarak görülürken, <0.0 değerleri, ortalama gözlemlenen değerin simüle edilen değerden daha iyi bir tahmin edici olduğunu gösterir, bu da kabul edilemez performansı gösterir.

PB istatistiği, simüle edilen verilerin gözlemlenen benzerlerinden daha büyük veya daha küçük olma ortalama eğilimini ölçer (Gupta ve ark., 1999). PB’nin optimal değeri 0’dır ve düşük büyüklük değerleri doğru model simülasyonunu gösterir. Pozitif değerler, modelin eksik tahmin yanlılığını, negatif değerler, modelin fazla tahmin etme yanlılığını gösterir (Gupta ve ark., 1999).

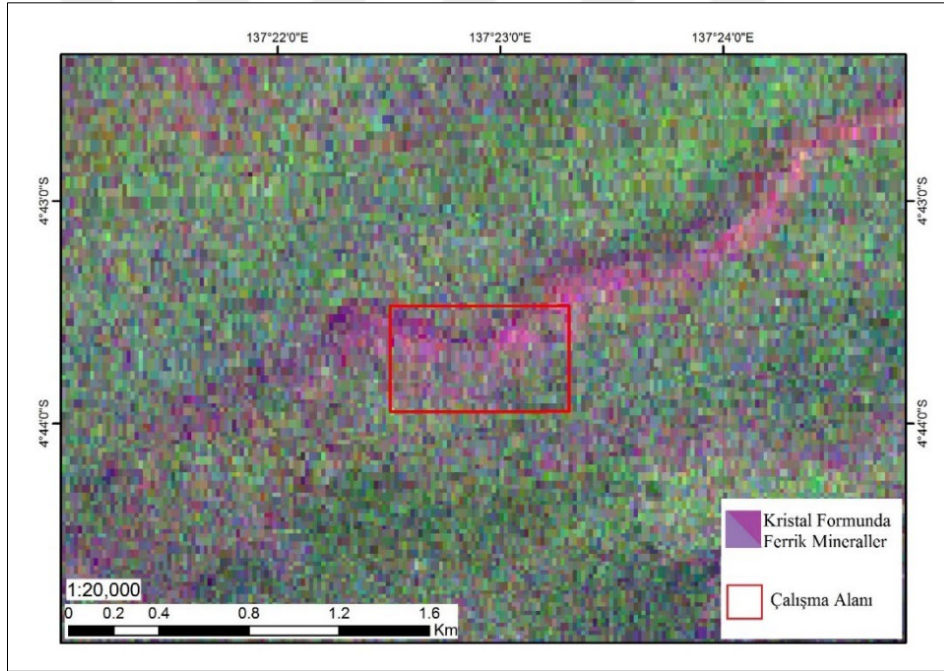


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Uzaktan Algılama Analiz Sonuçları

Çizelge 3.6’da gösterildiği şekilde Viviano-Beck ve ark., (2014) tarafından formüle edilen BD860_2, BD640_2 ve BD920_2 indisleri kullanılarak üretilmiş üç bantlı görüntü Şekil 4.1’de verilmektedir.

Bu görüntü demir mineralleri ile ilgili bilgileri göstermesinin yanı sıra mineralin görünür yakın kızılötesi (VNIR) ve yakın kızılötesi (NIR) dalga boylarındaki eğriliğini temsil eder. Haritada görülen eflatun/mor alanlar kristal formunda ferrik mineraller olarak tanımlanmaktadır.

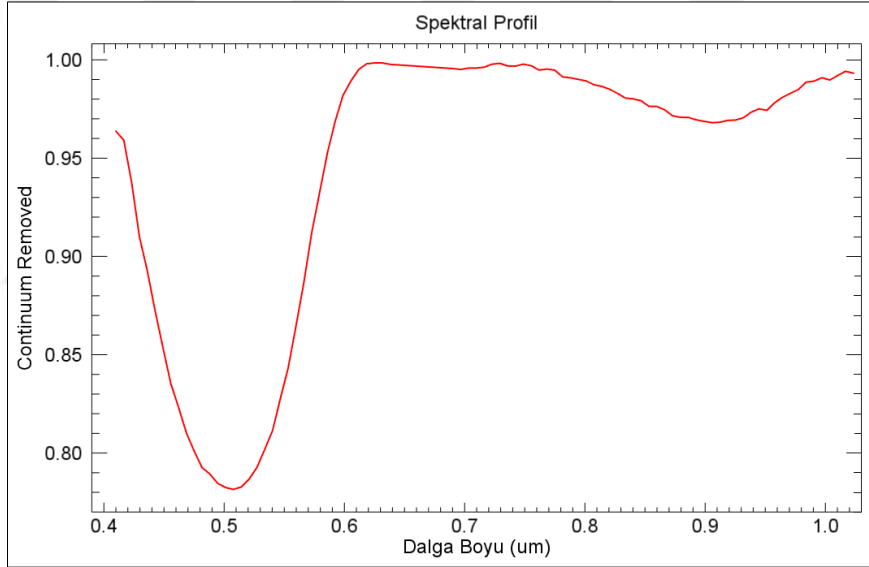


Şekil 4.1. İnceleme alanının Mineral indisleri uygulanmış haritası (RGB: BD860_2, BD640_2, BD920_2).

Ferrik mineral olarak tanımlanmış piksellerin hangi mineral olduğunu saptamak için ilgili pikselin dalga boyu grafiği çıkarılarak hangi dalga boylarında

absorbe olduğu tespit edilmiştir. Bunun için Şekil 4.1’de çalışma alanı içerisinde ferrik minerallerin en yoğun olduğu pikselin dalgaboyu çıkarılarak “Continuum Removed” olarak gösterilmiştir (Şekil 4.2).

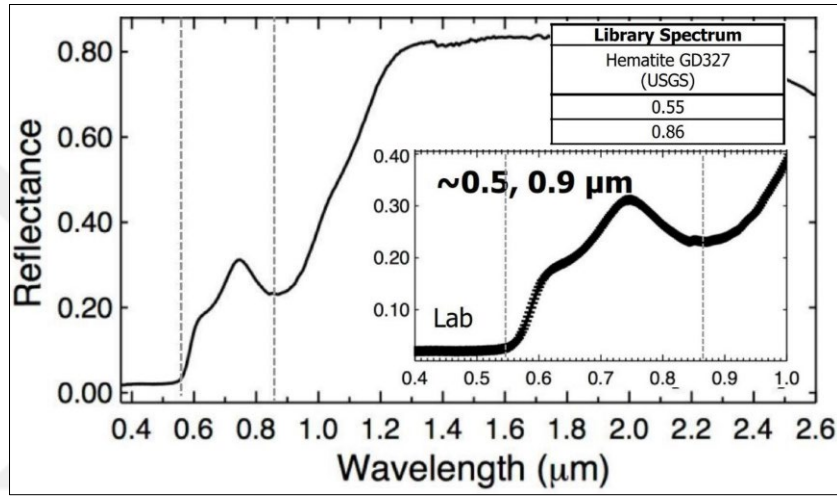
Continuum Removed yöntemi, dalgaboyunu bir süreklilik eğrisi ile karşılaştırarak normalleştirir, böylece absorpsiyon derinliğini ve konumunu ölçmek için ortak bir taban çizgisi tanımlar. Bir süreklilik eğrisi, spektruma dışbükey bir gövde uydurularak oluşturulan matematiksel bir fonksiyondur. Ortaya çıkan yansıma eğrisi, bant merkezlerinin ve derinliklerinin daha iyi bir resmini verir (Wolfe ve Black, 2018).



Şekil 4.2. Piksel spektral grafiği (Continuum Removed).

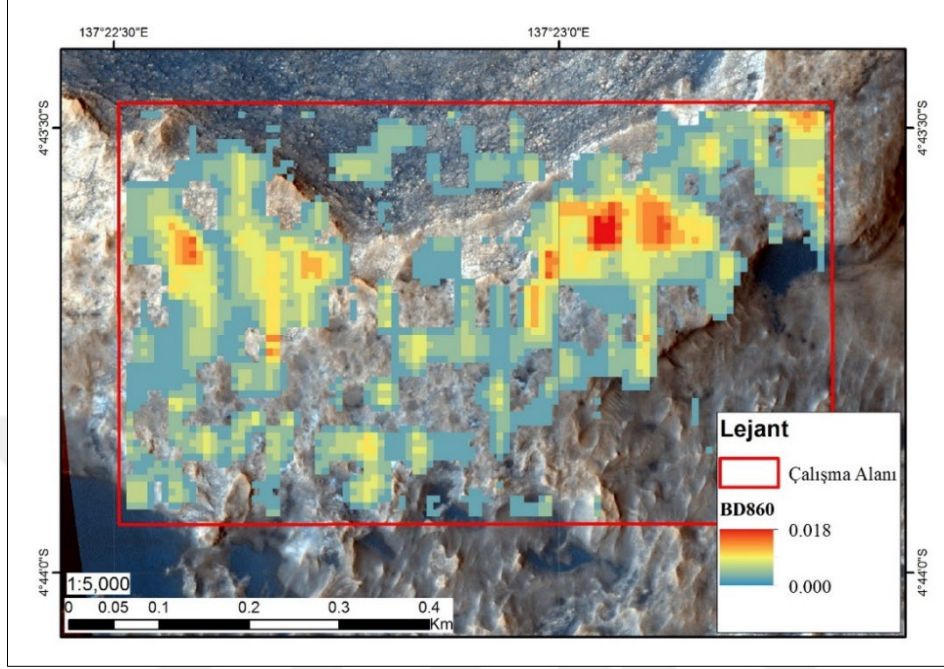
Şekil 4.2’de verilen dalgaboyu grafiğinde absorbe olduğu değere göre MICA (Minerals Identified through CRISM Analysis) arşivindeki mineraller ile karşılaştırmış ve bu mineralin hematit olduğu tespit edilmiştir. MICA arşivinde bulunan hematit mineraline ait dalgaboyu grafiği ve absorbe değerleri Şekil 4.3’de verilmektedir.

Mars'taki hematit, kristallerin yalnızca nanometre boyutunda olduğu, nanofaz biçiminde toz halinde yaygındır. İnce taneli (kırmızı) ve iri taneli (gri) hematit daha güçlü absorpsiyonlar meydana getirmekte olup bu absorpsiyonlar demirden kaynaklı yük transferi ve kristal alan geçişlerinden dolayı 0.5 ve 0.9 μm dalga boyları civarında olmaktadır (The MICA Files, 2019).



Şekil 4.3. Hematit minerali dalgaboyu (The MICA Files, 2019).

Özellikle hematit mineralinin yüksek absorbe olduğu 0.860 μm dalgaboyundaki bant derinliğini hesaplayan BD860_2 indisi Çizelge 3.6'da verilen formül yardımıyla, 18 m yersel çözünürlüğe sahip olan CRISM verisinin her pikseli için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda çalışma alanında BD860_2 indisinin -0.016 ile 0.018 arasında yer aldığı görülmüştür. Bu indisin 0'dan büyük değer aldığı piksellerde hematit mineralinin varlığına işaret etmekte olup üretilen hematit minerali dağılım haritası Şekil 4.4'de verilmektedir.



Şekil 4.4. Hematit minerali dağılım haritası.

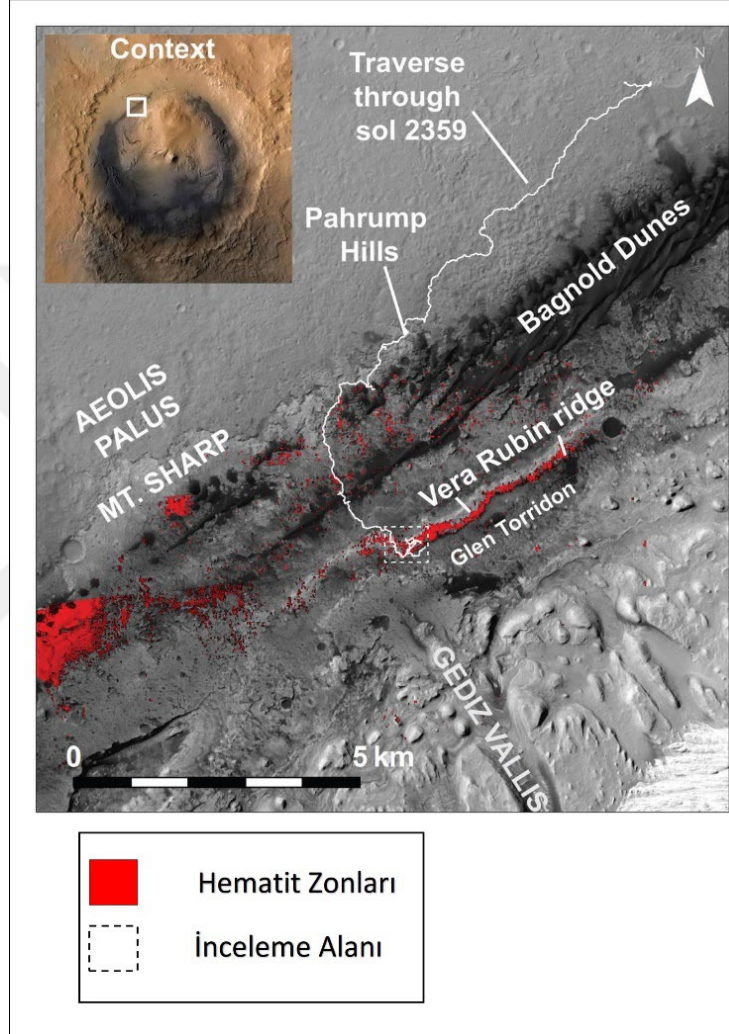
Partikül boyutu ve albedo gibi bileşik faktörlerin etkisi olsa da, genel olarak bant derinliği absorbe olan mineralin bolluğu ile ölçeklenmektedir (Clark ve Roush, 1984; Pelkey ve ark., 2007). Şekil 4.4’de verilen hematit minerali dağılım haritası incelendiğinde özellikle çalışma alanının kuzey-batı ve kuzey-doğu bölgelerindeki hematitin diğer bölgelere göre daha bol olduğu görülmüştür.

4.2. Yersel Veri Analiz Sonuçları

Çalışmada kurulan modelde yersel veri olarak kullanılan, Mastcam algılayıcısı analiz edilerek üretilen BD867 indisi değerlerinin bulunmasında Fraeman ve ark. (2020a) tarafından yapılan çalışmadan ve Fraeman (2020)’de verilen veri setinden yararlanılmıştır.

Fraeman ve ark. (2020a) yaptıkları çalışmada, Mastcam ve ChemCam algılayıcılarından, sol 758 ile sol 2360 (Eylül 2014 - Mart 2019) arasında bulunan, Pahump Hills'deki Sharp Dağı'nın tabanından çalışma alanımız olan Vera Rubin

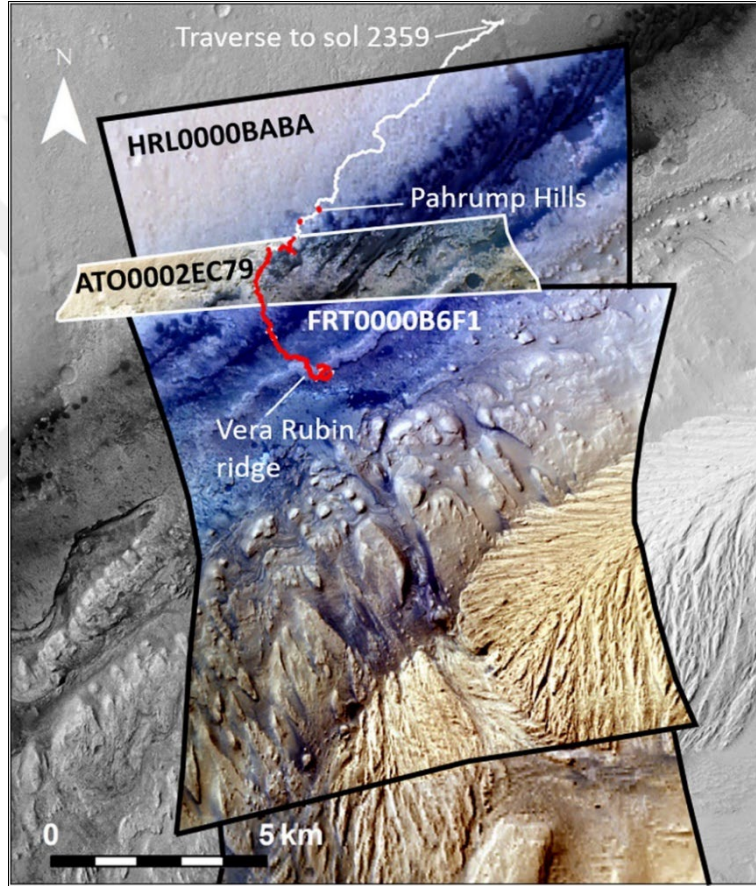
sırtı ve Glen Torridon bölgesinin küçük bir kısmını da kapsayacak kadar olan bölgede spektral verileri incelemişlerdir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Sharp Dağı'nın kuzeybatı çevreğini gösteren HiRISE görüntüsü (Fraeman ve ark., 2020a).

Şekil 4.6'da gösterilen CRISM verilerini de analiz ettikleri çalışma sonucunda, CRISM verilerinden yapılan yorumlamanın, yerinde gözlemlerden elde

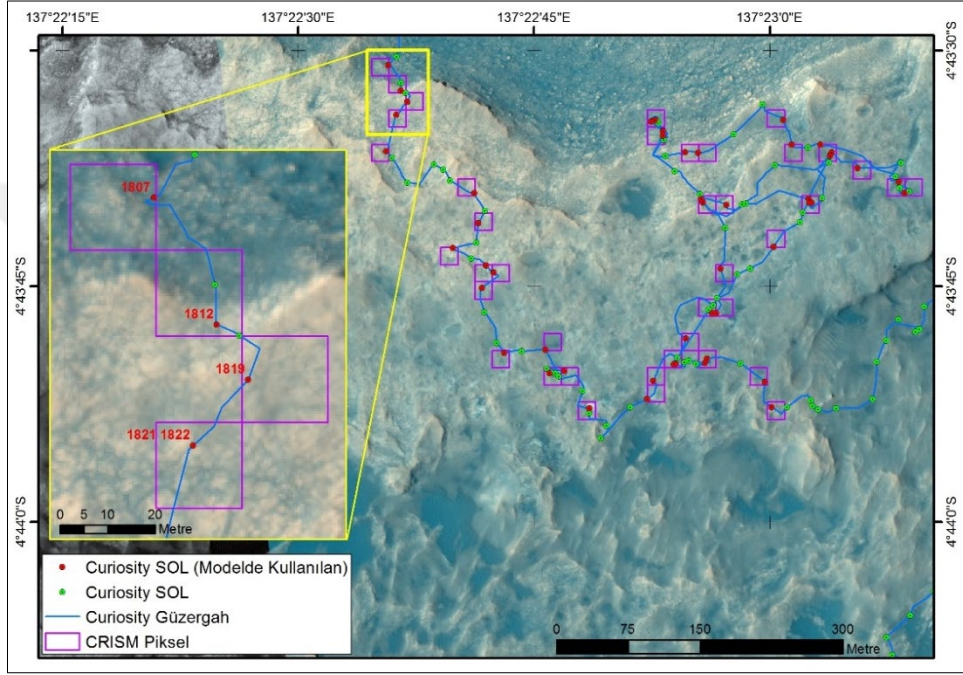
edilen yüzey özellikleri bilgisi yoluyla doğrulanabileceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca CRISM tarafından tahmin edildiği gibi Curiosity keşif aracı tarafından doğrulanmış hematitin Vera Rubin sırtında mevcut olduğunu ve bunun sonucunda yörüngeden görüntülenen spektral absorpsiyonlara dayalı mineral tanımlamalarının doğruluğuna sürekli bir güven sağlanacağını belirtmişlerdir.



Şekil 4.6. Çalışmada analiz ettikleri CRISM görüntülerinin konumu ve Curiosity keşif aracı güzergahı (Fraeman ve ark., 2020a).

4.3. Model Sonuçları

Çalışma alanına isabet eden sol 1800'den sol 2300'e kadar 500 günlük zaman diliminde Mastcam BD867 indisi hesaplanan noktalar tek tek tespit edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. CRISM pikselleri ve Curiosity keşif aracı güzergahı.

Tespit edilen 78 sol noktasının 40 adet CRISM pikseline isabet ettiği görülmüş, her sol noktasında birden fazla indis hesaplandığı gibi her CRISM pikseline de birden fazla sol noktası düştüğü tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Modelde kullanılan CRISM ve Mastcam değerleri.

CRISM piksel id	Curiosity sol günleri	Toplam sol gün sayısı	Toplam mastcam örnek sayısı
92	1807	1	3
137	1812	1	6
182	1819	1	3
225	1821-1822	2	7
240	2056- 2059- 2081- 2091	4	9
247	2036	1	4
284	2046- 2050	2	8
312	1827	1	3
330	2043	1	4
331	2041	1	5
336	2034	1	3
338	2005- 2006- 2007- 2029- 2110- 2113	6	17
384	2009	1	4
405	1843	1	1
430	2014	1	2
431	2016	1	3
463	2132- 2135- 2138-2147-2153	5	21
464	2101	1	2
469	2000- 2002- 2120- 2122- 2123- 2124	6	15
494	1850	1	5
555	1996	1	3
580	1866	1	2
626	1871	1	3
627	1876-1877	2	10
640	2160	1	6

CRISM piksel id	Curiosity sol günleri	Toplam sol gün sayısı	Toplam mastcam örnek sayısı
670	1879 -1885	2	3
727	2169 -2171	2	6
728	2165	1	3
806	1899	1	11
814	1986	1	4
847	1893	1	8
857	1964- 1967- 1970- 1978- 1980- 1984- 2225- 2229- 2231- 2235- 2246- 2247	12	43
859	2257- 2259- 2262- 2289- 2296	5	14
894	1905	1	5
895	1906	1	5
900	1959	1	3
906	2299	1	2
944	1950	1	6
984	1936- 1939	2	8
995	2300	1	3
	TOPLAM	78	273

Her CRISM pikseline düşen Mastcam BD867 indisi örnekleri sol gününden bağımsız olarak gruplandırılmış ve tanımlayıcı istatistik değerleri SPSS programı yardımıyla hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Mastcam BD867 indislerine ait tanımlayıcı istatistikler.

CRISM piksel id	Toplam mastcam örnek sayısı	Minimum değer	Maksimum değer	Ortalama değer	Ortanca değer	Maks.-min. fark
92	3	0.0168	0.0441	0.0293	0.0268	0.0273
137	6	0.0178	0.0507	0.0321	0.0294	0.0329
182	3	0.0146	0.0806	0.0401	0.0252	0.0659
225	7	-0.0256	0.0292	-0.0014	-0.0053	0.0549
240	9	-0.0142	0.1118	0.0210	0.0084	0.1259
247	4	0.0130	0.1129	0.0461	0.0292	0.0998
284	8	-0.0133	0.0343	0.0028	-0.0011	0.0476
312	3	-0.0062	0.0466	0.0170	0.0107	0.0528
330	4	0.0007	0.0319	0.0174	0.0184	0.0312
331	5	-0.0060	0.1296	0.0357	0.0130	0.1356
336	3	0.0028	0.0928	0.0356	0.0110	0.0900
338	17	0.0146	0.1541	0.0670	0.0587	0.1395
384	4	0.0159	0.0363	0.0280	0.0300	0.0204
405	1	0.0396	0.0396	0.0396	0.0396	0.0000
430	2	0.0362	0.0614	0.0488	0.0488	0.0252
431	3	-0.0369	0.0357	0.0036	0.0121	0.0726
463	21	-0.0305	0.0584	-0.0003	-0.0128	0.0888
464	2	0.0088	0.0297	0.0193	0.0193	0.0209
469	15	-0.0010	0.0754	0.0257	0.0246	0.0764
494	5	0.0161	0.0569	0.0377	0.0412	0.0408
555	3	-0.0163	0.0020	-0.0047	0.0001	0.0183
580	2	-0.0022	0.0484	0.0231	0.0231	0.0507
626	3	-0.0149	0.0136	0.0023	0.0082	0.0285
627	10	-0.0215	0.0270	0.0030	0.0023	0.0485

CRISM piksel id	Toplam mastcam örnek sayısı	Minimum değer	Maksimum değer	Ortalama değer	Ortanca değer	Maks.-min. fark
640	6	-0.0009	0.0202	0.0096	0.0099	0.0210
670	3	-0.0365	0.0516	0.0133	0.0248	0.0881
727	6	-0.0161	0.1080	0.0144	-0.0058	0.1241
728	3	-0.0267	0.0105	-0.0083	-0.0086	0.0372
806	11	0.0030	0.1040	0.0317	0.0181	0.1010
814	4	0.0269	0.1187	0.0690	0.0652	0.0918
847	8	-0.0438	0.0411	0.0007	0.0010	0.0849
857	43	-0.0464	0.0862	0.0012	-0.0173	0.1326
859	14	-0.0216	0.0977	0.0386	0.0252	0.1193
894	5	-0.0365	0.0228	-0.0155	-0.0275	0.0592
895	5	-0.0135	0.0675	0.0221	0.0174	0.0810
900	3	0.0099	0.0965	0.0447	0.0276	0.0866
906	2	0.0004	0.0057	0.0031	0.0031	0.0053
944	6	-0.0192	0.0272	0.0017	-0.0029	0.0464
984	8	-0.0306	0.0425	0.0037	-0.0025	0.0732
995	3	-0.0079	0.0183	0.0030	-0.0014	0.0262

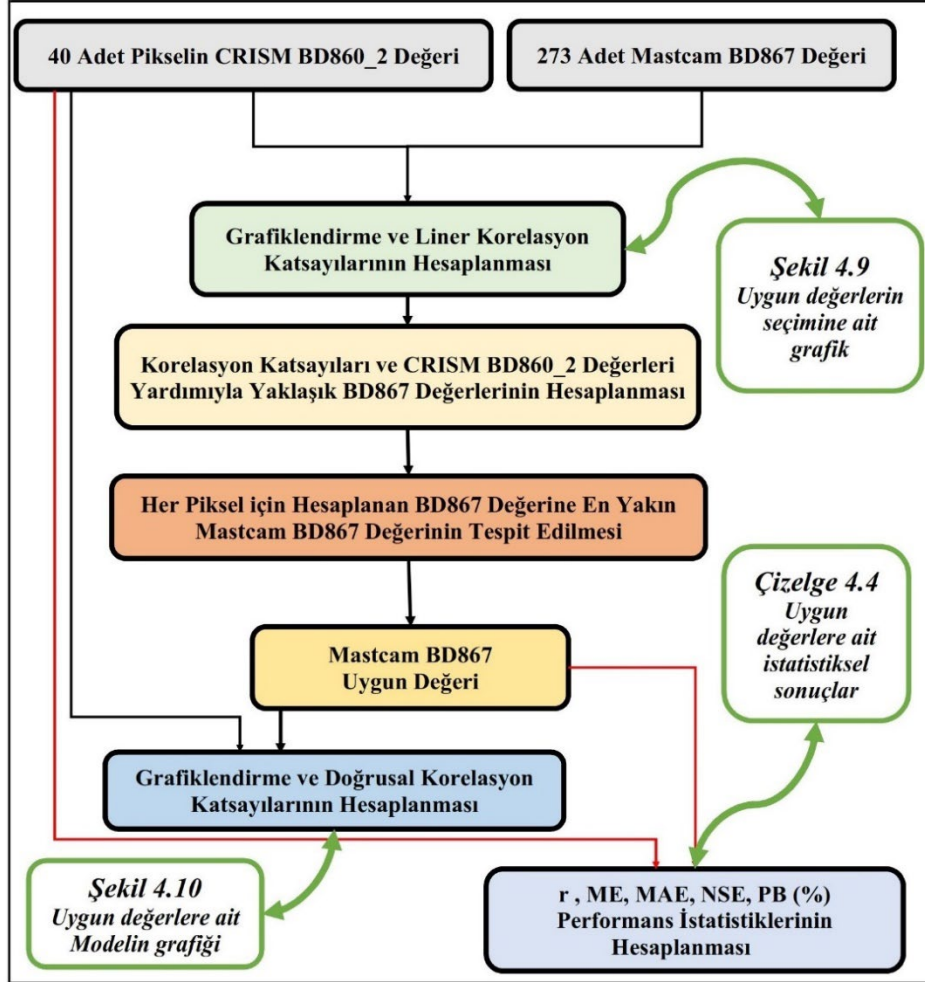
Model kurulması aşamasında, CRISM BD860_2 indisine karşılık birden fazla Mastcam BD867 indisi mevcut olduğundan Çizelge 4.2’de hesaplanan ortanca değer, ortalama değer, minimum değer ve maksimum değerler kullanılarak, r istatistiği, ME istatistiği, MAE istatistiği, NSE istatistiği ve PB istatistiği değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Performans istatistikleri sonuçları.

Değerler	r	ME	MAE	NSE	PB (%)
Minimum	0.43	0.01	0.02	0.04	-114.6
Maksimum	0.41	-0.06	0.06	-2.23	-98.42
Ortalama	0.55	-0.02	0.02	-0.68	-95.42
Ortanca	0.50	-0.01	0.02	-0.29	-93.75

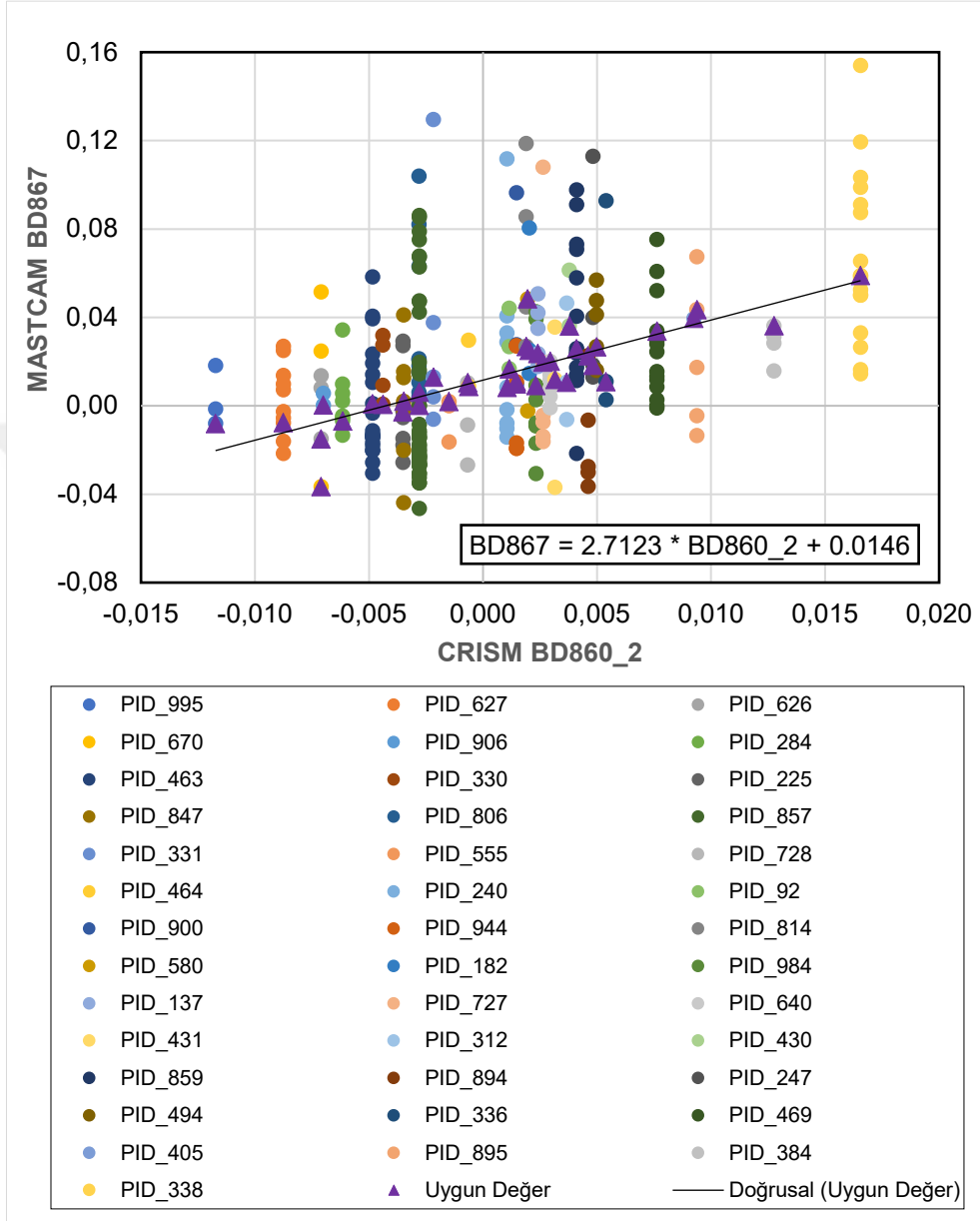
İstatistik sonuçları incelendiğinden r istatistik değerinin 0.5’den büyük olan ortanca ve ortalama değerin istatistiksel olarak kabul edilebilir olduğu, mükemmel uyum için 0’a yaklaşması gereken ME istatistiği ve MAE istatistiği değerleri incelendiğinde en iyi sonucun minimum değerlerin verdiğini, 0’dan büyük değerlerin kabuledilebilir olduğu NSE istatistiği incelendiğinde minimum değerlerin uygun olduğu ve optimal değeri 0 olan PB istatistiği sonuçları incelendiğinde ise en iyi sonucun ortanca değerlerin verdiği görülmüştür.

Modelde ampirik (görgül) bir yaklaşım kullanılarak Şekil 4.8’de verilen iş akış şemasına göre yapılmıştır.



Şekil 4.8. Uygun değerlerin seçimine ait akış şeması.

Mastcam BD867 indisi değerlerinin ortanca değer, ortalama değer, minimum değer ve maksimum değerlerinden farklı olarak CRISM BD860_2 indisi ile en uygun modeli oluşturacak değerlerin tespiti için CRISM BD860_2 indisi değerlerine karşılık bütün Mastcam BD867 indisi grafiklendirilmiştir (Şekil 4.9).

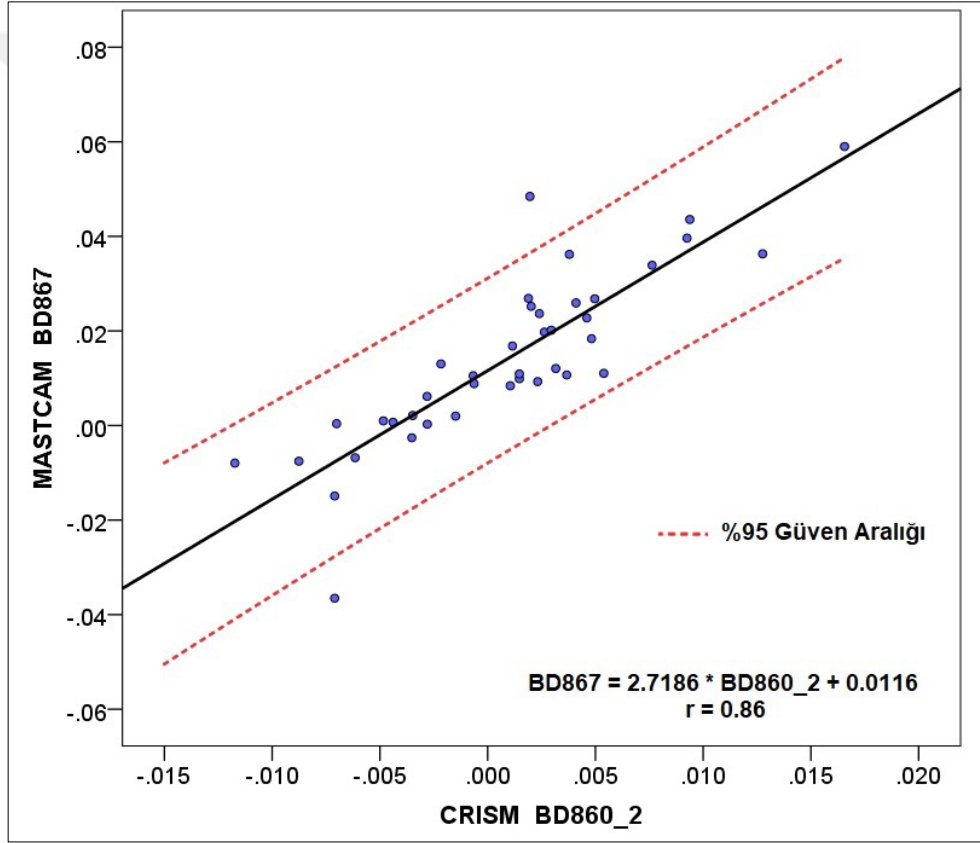


Şekil 4.9. Uygun değerlerin seçimine ait grafik.

Şekil 4.9’da verilen grafikteki eğim çizgisine en yakın Mastcam BD867 indisi değerlerine karşılık CRISM BD860_2 indisi kullanılarak kurulan modelin istatistik sonuçları Çizelge 4.4’de ve grafiği ise Şekil 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.4. Uygun değerlere ait istatistiksel sonuçlar.

	r	ME	MAE	NSE	PB (%)
Uygun Değer	0.86	-0.01	0.02	-0.08	-93.49



Şekil 4.10. Uygun değerlere ait Modelin grafiği.

Uygun değerler ile kurulan modelin, r istatistiği % 86 olarak yüksek bir değer bulunmuş, ME istatistiği ve MAE istatistiğinin 0’a yakın değerler alması

modelin güvenilirliğini teyit etmiş fakat 0'dan yüksek çıkması gereken NSE istatistiği ile mükemmel değeri 0 olan PB istatistiği düşük kalmıştır (Çizelge 4.4).

CRISM BD860_2 indisine uygulanacak olan regresyon katsayıları ortanca değer, ortalama değer, minimum değer, maksimum değer ve uygun değerler olmak üzere ayrı ayrı hesaplanmış kurulan modellerin r istatistiği ve R² istatistiği Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Doğrusal model regresyon katsayıları, Pearson korelasyon katsayıları (r) ve Belirginlik katsayıları (R²).

Değerler	Regresyon katsayıları	r	R ²
Minimum	BD867 = 1.5724*BD860_2 - 0.0077	0.43	0.18
Maksimum	BD867 = 2.6592*BD860_2 + 0.0556	0.41	0.17
Ortalama	BD867 = 1.9073*BD860_2 + 0.0183	0.55	0.30
Ortanca	BD867 = 1.7039*BD860_2 + 0.0131	0.50	0.25
Uygun Değer	BD867 = 2.7186*BD860_2 + 0.0116	0.86	0.74

Çizelge 4.5'de verilen modellerin r istatistiği ve R² istatistiği değerleri incelendiği zaman en iyi sonucun uygun değerlere ait olduğu görülmüş, ortanca ve ortalama değerlerin r istatistiğinin de kabul edilebilir olduğu görülmüştür.

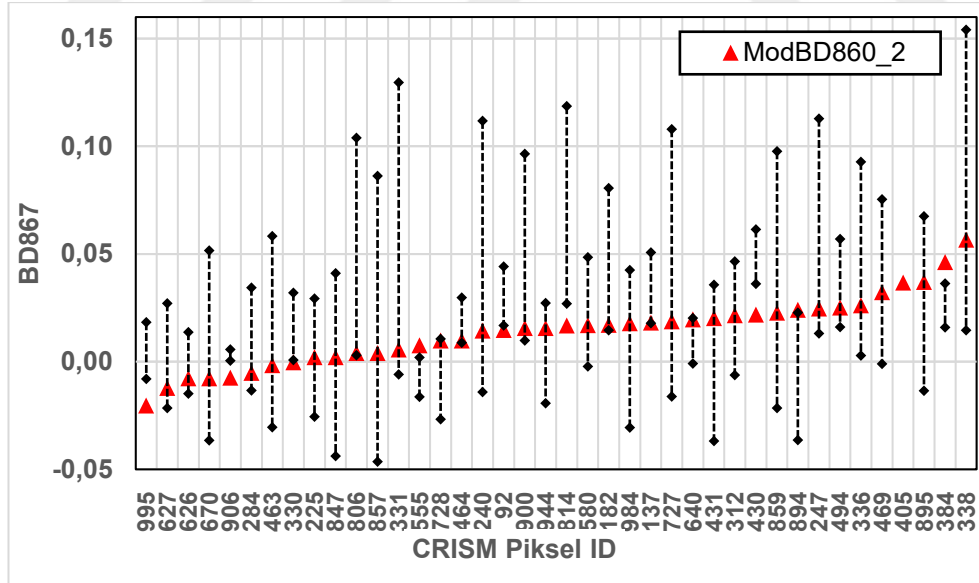
Viviano-Beck ve ark., (2014) yaptıkları çalışmada BD860_2 indisinin nasıl hesaplanacağını Çizelge 3.6'da belirtmelerine rağmen verdikleri formül ve Çizelge 4.5'de bulduğumuz uygun değere ait regresyon katsayıları entegre edilerek yersel veriler ile hassaslaştırılmış ModBD860_2 olarak isimlendirdiğimiz hematit mineraline duyarlı yeni bir indis bulunmuştur. Bu indisin formülü ise aşağıda verilmiştir.

$$ModBD860_2 = 2.7302 - \left(\frac{2.7186 * R_{860}}{0.527 * R_{755} - 0.473 * R_{977}} \right) \quad (3)$$

CRISM verisinin 755 nm, 860 nm ve 977 nm dalgaboylarındaki yansıma değerlerinin yukarda verdiğimiz ModBD860_2 formülünde yerine konulmasıyla Mastcam algılayıcısının yersel gözlemlerinde ulaştığı hassasiyete hematit dağılımına uydu gözlemleriyle ulaşılabilme mümkündür.

Çizelge 4.5’de verilen uygun değere ait regresyon katsayıları ve 40 adet CRISM pikselinin BD860_2 indisleri kullanılarak ModBD860_2 indisleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler Çizelge 4.2’de verilen Mastcam BD867 indislerinin her piksel için minimum ve maksimum değerleri ile karşılaştırılıp grafiklendirilmiştir (Şekil 4.11).

Burada amaç, uygun değere ait regresyon katsayıları kullanılarak hesaplanan ModBD860_2 indisi değerinin Mars yüzeyinde ölçülen değerleri ne kadar temsil ettiğini tespit etmektir.



Şekil 4.11. ModBD860_2 ve Mastcam BD867 minimum/maksimum grafiği.

Yapılan hesaplamalar sonucunda, uygun değere ait regresyon katsayıları kullanılarak bulunan değerlerden 7 âdetinin minimum değerden düşük hesaplandığı, 3 âdetinin ise maksimum değerlerden büyük hesaplandığı tespit edilmiştir. Minimum değerler için doğruluk oranı % 82.5 (33/40) ve maksimum değerler için doğruluk oranı ise % 92.5 (37/40) olarak bulunmuştur.

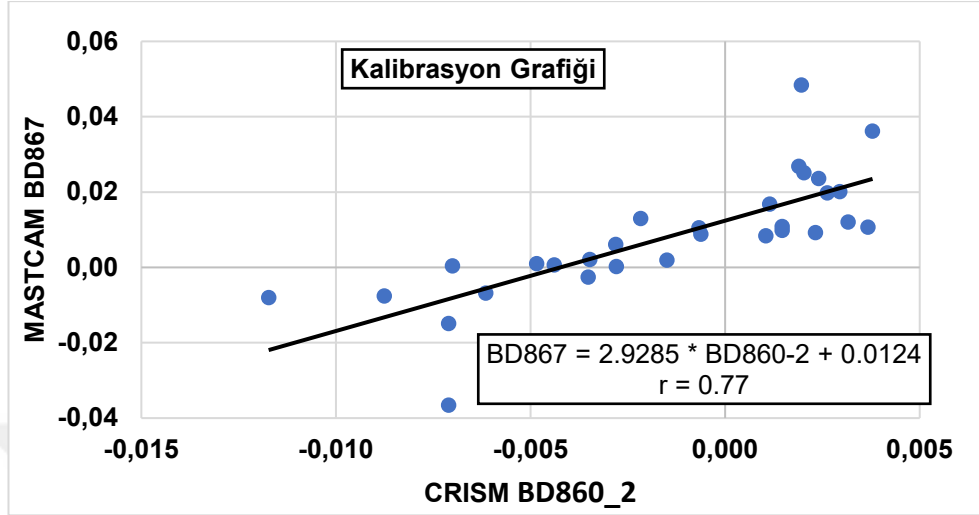
Toplamda ise % 75 (30/40) oranında bir doğruluk ile CRISM BD860_2 indisi ve uygun değer regresyon katsayılarının kullanılması ile hesapla bulunan ModBD860_2 indisi değerinin Mars yüzeyinde karşılığının olduğu sonucuna varılmıştır.

Her ne kadar 40 noktanın tamamının kullanıldığı modelin istatistikleri uygun bulunsada ayrıca CRISM piksel ID'lerine göre ilk 30 noktadan bir model daha kurulmuş geriye kalan diğer 10 nokta ise validasyonda kullanılmıştır. Hesaplanan kalibrasyon ve validasyona ait regresyon katsayıları ile pearson korelasyon katsayıları (r) ve belirginlik katsayıları (R^2) Çizelge 4.6'da, grafikleri ise Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de verilmiştir.

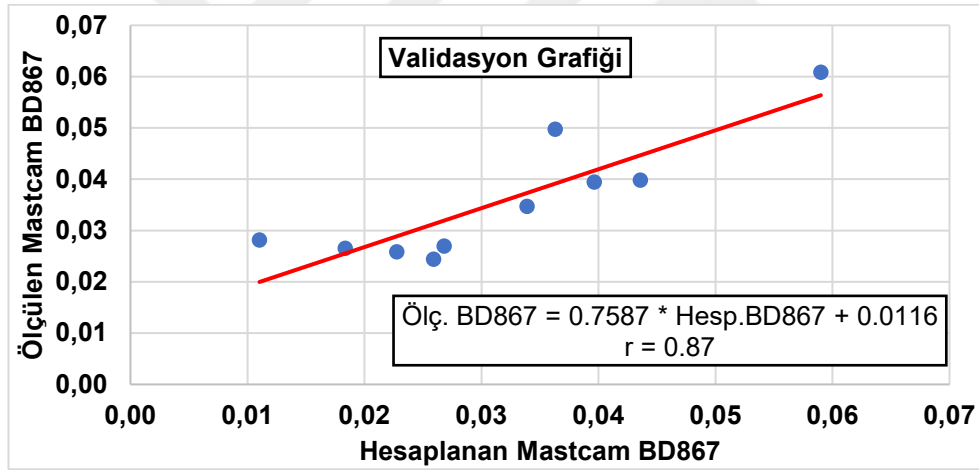
Çizelge 4.6. Kalibrasyon ve validasyona ait regresyon katsayıları, Pearson korelasyon katsayıları (r) ve Belirginlik katsayıları (R^2).

	Regresyon katsayıları	r	R^2
Kalibrasyon	$BD867 = 2.9285 \cdot BD860_2 + 0.0124$	0.77	0.60
Validasyon	$BD867 = 0.7587 \cdot BD860_2 + 0.0116$	0.87	0.76

Kalibrasyon ve validasyon istatistikleri incelendiğinden, kalibrasyona ait hem r istatistiğinde hem de R^2 istatistiğinde 40 noktanın tamamının kullanıldığı modelin istatistik sonuçlarına göre düşük kalsada validasyon istatistiklerinin daha yüksek değerler aldığı görülmüştür.



Şekil 4.12. Kalibrasyon grafiği.



Şekil 4.13. Validasyon grafiği.

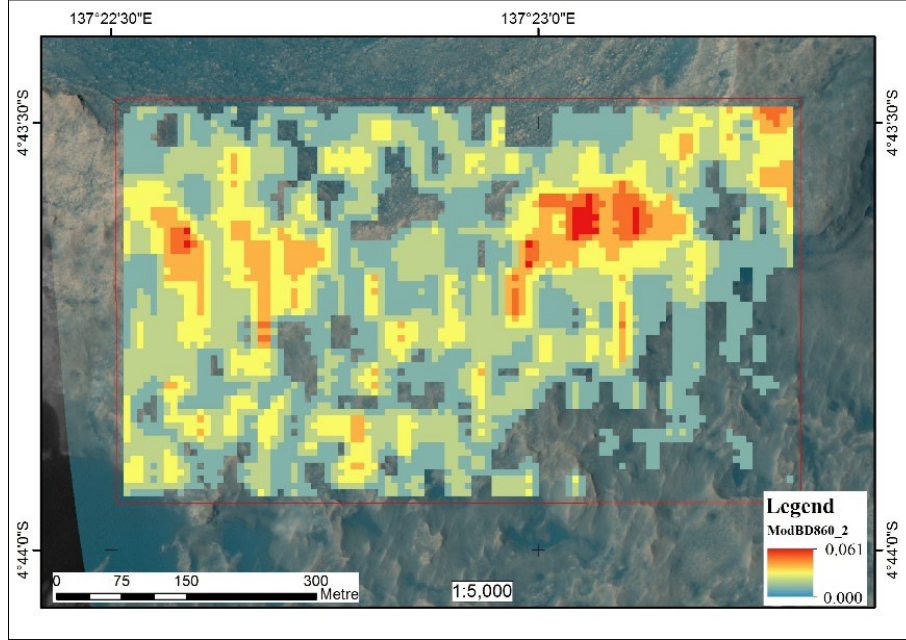
Kalibrasyonda kullanılan noktaların ve validasyonda kullanılan değerlerin r istatistiği, ME istatistiği, MAE istatistiği, NSE istatistiği ve PB istatistiği hesaplanmıştır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Kalibrasyon ve validasyona ait istatistiksel sonuçlar.

	r	ME	MAE	NSE	PB (%)
Kalibrasyon	0.77	-0.01	0.01	-0.04	-117.30
Validasyon	0.87	0.00	0.01	0.67	12.43

Kalibrasyon ve 40 noktadan kurulan modelin istatistikleri karşılaştırılmasında, r istatistiği ve PB istatistiği açısından 40 nokta modelinin daha iyi sonuç verildiği görülse de ME, MAE ve NSE istatistiği açısından kalibrasyon modelinin daha uygun olduğu görülmüştür. Validasyon istatistiği sonuçları ise tüm istatistikler açısından en iyi sonucu vermekle birlikte özellikle 0.67 olarak bulunan NSE istatistiği, validasyonun güvenilirliği açısından çok önemlidir (Çizelge 4.7).

Formül 3’de nasıl hesaplanacağı verilen ModBD860_2 indisi kullanılarak üretilen hematit dağılımı haritası Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14. ModBD860_2 indisi ile üretilen Hematit minerali dağılım haritası.

Çalışma alanına düşen 1144 adet CRISM pikselinden Şekil 4.4’de verilen BD860_2 indisi ile üretilmiş hematit dağılım haritasında 523 adet pikselde hematit minerali bulunmakla birlikte Şekil 4.14’de verilen ModBD860_2 indisi ile üretilmiş haritada bu piksel sayısı 843 adet olarak tespit edilmiştir. Yaklaşık 37 ha’lık çalışma alanının düzeltilmemiş hematit dağılımında % 46’lık bir kısma tekabüle eden yaklaşık 17 ha’lık kısmında hematit mineraline rastlanırken, düzeltme yapıldıktan sonra % 74’lük bir oran ile 27 ha’lık bir alanda hematit minerali olduğuna ilişkin anomali elde edilmiştir. Düzeltme yapıldıktan sonra hematit varlığı tespit edilen alan 10 ha’lık bir artış göstermiş olup çalışma alanının % 27’sine karşılık gelmektedir.



5. SONUÇLAR

Mars yüzeyinde bulunan iniş ve keşif araçları, üzerlerindeki algılayıcılarla çok hassas analizler yapabilmelerine rağmen kısıtlı bir alanda çalışılabilmekte, yörüngedeki uydular ise Mars yüzeyinin tamamında gözlem yapabilmesine rağmen iniş/keşif araçlarına göre daha kaba sonuçlar ile analiz yapabilmektedir. Noktasal analizler yapabilen iniş araçlarına karşın keşif araçları hareket ederek daha çok alanda analiz yapabilseler de bütün bir gezegen düşünüldüğü zaman bu alanlar çok kısıtlı kalmaktadır. Sojourner keşif aracı 0.1 km, Spirit keşif aracı 7.7 km, Opportunity keşif aracı 45.2 km ve görevine devam eden Curiosity keşif aracı 28.2 km yol kat etmiş, tüm Mars görevleri tarihi boyunca şu ana kadar toplam 81.2 km'lik bir mesafede yersel analiz yapılabilmektedir. Buna karşın bir çerçevesi yaklaşık 14 km'ye 13 km olan CRISM verisi ile yaklaşık 182 km²'lik bir alanın 18 m hassasiyetinde mineral analizini yapmak mümkündür. Bu çalışmada ana gaye yersel olarak elde edilen verilerin hassasiyetinin artırılabilmesine yönelik bir model kurulmasıdır.

Çalışma alanımız olan VRR bölgesi Aeolis Mons'un kuzeybatı kanadında ve kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan topografik bir yükselti olmakla birlikte Curiosity keşif aracı tarafından yaklaşık 17 ay boyunca araştırılmış ve bu araştırma bugüne kadar Mars'taki görsel tabakaların en uzun süreli ve en kapsamlı araştırması olmuştur. CRISM verisinde 860 nm bant derinliğine, Mastcam algılayıcısında ise 867 nm bant derinliğine hassas olan hematit minerali, hem CRISM algılayıcısı hem de Mastcam algılayıcısı kullanarak VRR bölgesinde tespit edilmiştir.

Çalışma alanının uzaktan algılama ile analizinde, 9.7.2008 tarihinde çekilen MRO uydusu üzerinde bulunan CRISM algılayıcısının hiperspektral verisi kullanılmıştır. Verinin analizinde IDL/ENVI yazılım üzerinde çalışan CAT modülü kullanılmıştır. Bu modül yardımıyla ayrıca hematit mineralinin tespitinde kullanılan BD860_2 indisi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda çalışma alanına isabet

eden 1144 CRISM pikselinin 523'ünde bu indis pozitif değer olarak hematit varlığına işaret etmiştir. 1144 piksel -0.0164 ile 0.0183 arasında değerler almıştır.

Yersel veri analizinde ise 2017 Eylül ile 2019 Ocak tarihleri arasında çalışma alanı olan VRR bölgesinde araştırma yapan Curiosity keşif aracı üzerinde bulunan Mastcam algılayıcısı verilerinden yararlanmıştır. Keşif aracı bölgede yaklaşık 500 sol günü görev yapmış olmasına rağmen sadece 78 sol gününde hematit mineralini tespit eden multispektral görüntüleme yapmıştır. Bu çalışmamızda tamamı tozlu anakayalardan olmak üzere 78 sol gününe ait 273 örnek kullanılmıştır.

Hesaplanan CRISM BD860_2 indisi değerleri ile Mastcam BD867 indisi değerleri arasında bir model kurulmadan önce her CRISM pikseline isabet Mastcam sol günleri tespit edilmiştir. Aynı piksele isabet eden sol günlerine ait Mastcam BD867 indis değerleri piksel bazında gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmalar sonucunda 40 CRISM pikseli içerisine giren 273 BD867 indisi değerleri analizinde, 16 CRISM BD860_2 indisi değeri negatif değer almasına rağmen yani hematit yoktur denilebilmesine rağmen bu negatif piksellere isabet eden Mastcam BD867 değerlerinde pozitif değerlerle karşılaşmış yani "hematit vardır" sonucuna varılmıştır. Buradan VRR'nin Aeolis Mons'da benzersiz bir hematit içeren bölge olduğuna dair CRISM kaynaklı yorumlamanın doğru olmadığı, Curiosity keşif aracı tarafından analiz edilen Aeolis Mons'un alt kotlarındaki anakaya örneklerinde tespit edilen fakat CRISM verilerinde tespit edilemeyen hematit mineralleri ile ortaya çıkmıştır.

Modelin kurulmasında ampirik bir yaklaşım benimsenmiş, 40 CRISM BD860_2 indisine karşılık gelen 273 Mastcam BD867 indisi grafiklendirilmiş ve doğrusal modelin regresyon katsayıları tespit edilmiştir. Bu katsayılar CRISM BD860_2 indisi değerleri ile çarpılarak 40 pikselin herbiri için ayrı ayrı BD867 indis değeri hesaplanmış, hesapla bulunan bu indis değerine en yakın Mastcam BD867 indis değeri tespit edilmiştir.

Tespit edilen 40 adet Mastcam BD867 indis değeri ile CRISM BD860_2 indis değerleri arasındaki ilişki r , ME, MAE, NSE ve PB istatistikleri ile test edilmiştir. En iyi sonucu % 86 ile r istatistiği vermiş, bu doğrusal modelin regresyon katsayıları ise $BD867 = 2.7186 \cdot BD860_2 + 0.0116$ olarak bulunmuştur.

Viviano-Beck ve ark., (2014) yaptıkları çalışmada BD860_2 indisinin “ $1 - (R_{860} / (0.527 \cdot R_{755} + 0.473 \cdot R_{977}))$ ” olarak hesaplanacağını belirtmelerine rağmen bu formül ve çalışmada bulduğumuz regresyon katsayıları entegre edilerek yersel veriler ile hassaslaştırılmış ModBD860_2 olarak isimlendirdiğimiz yeni bir indis bulunmuştur. Bu indisin formülü ise “ $2.7302 - (2.7186 \cdot R_{860} / (0.527 \cdot R_{755} + 0.473 \cdot R_{977}))$ ”dır.

Ayrıca 40 örneğin 30’u kalibrasyonda ve 10’u validasyonda olmak üzere iki kısma ayrılarak bir model daha kurulmuş, kalibrasyonun r istatistiği % 77, doğrusal model regresyon katsayıları “ $BD867 = 2.9285 \cdot BD860_2 + 0.0124$ ” olarak bulunmuş validasyonun r istatistiği ise % 87 olarak hesaplanmıştır.

Pearson korelasyon katsayısı (r) % 86 olarak bulunan modelin regresyon katsayıları kullanılarak BD860_2 indisi ModBD860_2 olarak güncellenmiş ve bu indisten yararlanılarak çalışma alanına ait düzeltilmiş bir hematit minerali dağılım haritası üretilmiştir. Yeni üretilen haritada 1144 CRISM pikselindeki ModBD860_2 indisi değerlerinin 843’ünün pozitif değer olarak hematit varlığına işaret ettiği görülmüş olup 1144 pikselin -0.0331 ile 0.0612 arasında değerler aldığı hesaplanmıştır. ModBD860_2 indisi değerleri her pikseldeki Mastcam BD867 indisin minimum/maksimum değerleri aralığı ile karşılaştırılmış, 7 pikselin minimum değerinin altında, 3 pikselin maksimum değerinin üstünde hesaplandığı görülmüştür. Toplamda 40 pikselin 30’unun doğru aralıkta hesaplandığı, uygulamada bu regresyon katsayılarının kullanılması ile % 75 istatistiksel olarak gerçek hematit değerlerinin tespit edilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen algoritmanın CRISM verilerine uygulanmasıyla uydu verilerinin mevcut tekniklerle hematit varlığını tespit edemediği alanların da potansiyel araştırma bölgeleri olabileceğini göstermiş, ayrıca gelecekteki keşif aracı görevlerinde hematit gibi önemli mineralleri bulmak için yapılacak güzergâh planlamasında düzeltilmesi yapılmış CRISM verilerinin daha doğru olacağı kanaatine varılmıştır.

Bu çalışma kapsamında CRISM uydu verisi ile Curiosity keşif aracı üzerinde bulunan Mastcam algılayıcısı arasında bir korelasyon kurulmuş olsa da gelecekte yapılacak çalışmalarda keşif aracı üzerinde bulunan mineral analizi yapabilen ChemCam ve CheMin algılayıcısı kullanılarakta benzer bir çalışma yapılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca optik olarak görebildiği her uzaklıkta mineral analizi yapabilen Mastcam algılayıcısı ile daha hassas fakat daha yakın mesafeden analiz yapabilen ChemCam ve CheMin algılayıcıları arasında da bir model kurulmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bu sayede Mastcam algılayıcısına getirilecek düzeltme değerleri ile daha geniş alanda daha hassas analizler yapabilecektir.

Çalışmada 40 CRISM pikseline düşen 273 Mastcam verisi arasında ilişkinin tespiti için ampirik bir yaklaşım benimsenerek istatistiksel olarak en iyi sonucu veren noktalar seçilmesiyle bir model kurulmuştur. Bir sonraki aşamada yapılacak çalışmalarda bu 273 verinin tamamının kullanılacağı yapay sinir ağı veya makine öğrenimi tabanlı yöntemler kullanılarak daha hassas modeller kurulması uygun olacaktır.

Yaptığımız çalışmada CRISM BD860_2 indisi ile Mastcam BD867 indisi arasında bir model kurulmuş ve model parametreleri ile CRISM için ModBD860_2 olarak adlandırdığımız hematit mineralini tespit edebilen yeni bir indis bulunmuştur. Hematit minerali 0.9 μm dalga boyundan hariç olarak 0.5 μm dalga boyunda da absorbe olmakta olup bu değer CRISM için BD530_2 indisi ve Mastcam içinse BD527 indisi ile hesaplanabilmektedir. Gelecek çalışmalarda bu iki indis arasında

da bir model kurularak CRISM için BD530_2 indisi yerine ModBD530_2 olarak isimlendirilecek yeni bir indis bulunmalıdır.

18.2.2021 tarihinde Jezero kraterine iniş yapan Perseverance keşif aracı üzerinde, bu çalışmada kullandığımız Mastcam algılayıcısının daha gelişmiş bir modeli olan Mastcam-Z algılayıcısı bulunmaktadır. Adından da anlaşılacağı üzere yakınlaştırma özelliği bulunan bu algılayıcıda Mastcam'de 867 nm 'de algılama yapan bant yerine 866 nm'de algılama yapan bant bulunmaktadır. Hematit minerali, Perseverance Mastcam-Z algılayıcısıyla BD866 indisi ile tespit edilebilecektir. Çalışmada bulduğumuz ModBD860_2 indisinin doğrulaması için bu indis Jezero kraterinde CRISM verisine uygulanmalı ve Mastcam-Z BD866 indisi değerleri ile karşılaştırmasının uygun olacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Akgül, M. A., Ural, S., 2022. Mars'ta Hiperspektral CRISM Verileri Yardımıyla Mineralojik Haritalama . Geosound , 55 (1) , 1-19 .
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geosound/issue/69846/1081800>.
- Almatroushi, H., AlMazmi, H., AlMheiri, N. et al. 2021. Emirates Mars Mission Characterization of Mars Atmosphere Dynamics and Processes. Space Sci Rev 217, 89 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00851-6>.
- Amiri, H.E.S., Brain, D., Sharaf, O. et al. 2022. The Emirates Mars Mission. Space Sci Rev 218, 4 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00868-x>.
- Arvidson, R. E., et al., 2006. Overview of the Spirit Mars Exploration Rover Mission to Gusev Crater: Landing site to Backstay Rock in the Columbia Hills, J. Geophys. Res., 111, E02S01, <https://doi.org/10.1029/2005JE002499>.
- Arvidson, R., Morgan, F., Seelos, F., Seelos, K., 2017. Crism demonstration: Data access, processing, and analysis. Flagstaff, Arizona, ABD. 3rd Planetary Data Workshop.
- Banerdt, W.B., et al., 2020. Initial results from the InSight mission on Mars, Nature Geosciences,13, No.3,183-189, <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0544-y>.
- Balaram, J., et al., 2021. The Ingenuity Helicopter on the Perseverance Rover, Space Sci.Rev.,217, No.4,Article56, <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00815-w>.
- Barlow, Nadine., 2008. Mars: An Introduction to its Interior, Surface and Atmosphere, ISBN 978-0-521-85226-5, Published by Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Beer, W., Mädler, J.H., 1831. Physische Beobachtungen des Mars bei seiner Opposition im September 1830. Astronomische Nachrichten, v.191, p.447–56.
- Beer, W., Mädler, J.H., 1840. Fragments sur les corps celestes du systeme solaire. Bachelier.

- Bell, J. F., III, et al., 2000. Mineralogic and compositional properties of Martian soil and dust: Results from Mars Pathfinder, *J. Geophys. Res.*, 105(E1), 1721–1755, <https://doi.org/10.1029/1999JE001060>.
- Bell, J. F., III, et al., 2003. Mars Exploration Rover Athena Panoramic Camera (Pancam) investigation, *J. Geophys. Res.*, 108(E12), 8063, <https://doi.org/10.1029/2003JE002070>.
- Bell, J. F., III, Joseph, J., Sohl-Dickstein, J.N., Arneson, H.M., Johnson, M.J., Lemmon, M.T., Savransky, D., 2006. In-flight calibration and performance of the Mars Exploration Rover Panoramic Camera (Pancam) instruments. *J. Geophys. Res. E Planets* 111, 1–38. <https://doi.org/10.1029/2005JE002444>.
- Bell, J. F. III, Malin, M. C., Caplinger, M. A., Ravine, M. A., Godber, A. S., Jungers, M. C., Rice, M. S., ve Anderson, R. B., 2012. Mastcam multispectral imaging on the Mars Science Laboratory rover: Wavelength coverage and imaging strategies at the Gale Crater field site. The 43rd Lunar and Planetary Science Conference, LPI Contribution No. 1659, 2541.
- Bell, J. F., III ve ark., 2017. The Mars Science Laboratory Curiosity Rover Mastcam instruments: Preflight and in-flight calibration, validation, and data archiving, *Earth and Space Science*, 4, 396–452, <http://doi.org/10.1002/2016EA000219>.
- Bennett, K. A., Rivera-Hernández, F., Tinker, C., Horgan, B., Fey, D. M., Edwards, C., et al. 2021. Diagenesis revealed by fine-scale features at Vera Rubin ridge, Gale crater, Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126, e2019JE006311. <https://doi.org/10.1029/2019JE006311>.
- Buz, J., Ehlmann, B. L., Pan, L., and Grotzinger, J. P., 2017. Mineralogy and stratigraphy of the Gale crater rim, wall, and floor units, *J. Geophys. Res. Planets*, 122, 1090–1118, <https://doi:10.1002/2016JE005163>.
- Cattermole, P., 1992. Mars in the Solar System. In: Mars, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2306-8_1.

- Chicarro, A., et al., 2004. The Mars Express Mission: An Overview, in Mars Express: The Scientific Payload, A. Wilson Ed., ESA SP-1240, European Space Agency Publications Division, Noordwijk, Netherlands, ISBN 92-9092-556-6, pp. 3-16.
- Christensen, P.R., Gorelick, N.S., Mehall, G.L., Murray, K.C. 2022. THEMIS Public Data Releases, Planetary Data System node, Arizona State University, (<http://themis-data.asu.edu>).
- Clark, R. N., Roush, T. L., 1984. Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications, J. Geophys. Res., 89(B7), 6329, <https://doi.org/10.1029/JB089iB07p06329>.
- CNSA, 2022a. <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465719/c6813041/content.html> , Erişim Tarihi:27.07.2022.
- CNSA, 2022b. <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812390/content.html>, Erişim Tarihi:27.07.2022.
- CNSA, 2022c. <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812028/content.html>, Erişim Tarihi:27.07.2022.
- Collins, S. A., 1971. Mariner 6 and 7 pictures of Mars, NASA, SP-263, Wash., D.C.
- Cook, R. A., 2005. The Mars exploration rover project, Acta Astronaut., 57, No. 2-8, 116-120.
- Crisp, J. A., et al., 2003. Mars Exploration Rover mission, J. Geophys. Res., 108, No. E12, 8061, <https://doi.org/10.1029/2002JE002038>.
- CU Boulder, 2022. University of Colorado Boulder, Laboratory for Atmospheric and Space Physics (LASP), <https://lasp.colorado.edu/home/maven/observed-average-solar-wind-flow/>, Erişim Tarihi: 28.07.2022.
- Daswani, Mohit Melwani, 2011. Mineral Spectra Extraction and Analysis of the Surface Mineralogy of Mars with Hyperspectral Remote Sensing, University of Twente, Faculty of Geo-information Science and Earth Observation. <http://essay.utwente.nl/84889/>.

- Edgar, L. A., Fedo, C. M., Gupta, S., Banham, S. G., Fraeman, A. A., Grotzinger, J. P., et al., 2020. A lacustrine paleoenvironment recorded at Vera Rubin ridge, Gale crater: Overview of the sedimentology and stratigraphy observed by the Mars Science Laboratory Curiosity rover. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 125, e2019JE006307. <https://doi.org/10.1029/2019JE006307>.
- ESA, 2022a. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/09/New_topographic_map_of_Jezero_Crater_Mars_2020_s_future_home, Erişim Tarihi: 12.05.2022.
- ESA, 2022b. https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/ExoMars/Schiaparelli_landing_investigation_completed, Erişim Tarihi: 12.05.2022.
- ESA, 2022c. https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express/Beagle-2_lander_found_on_Mars, Erişim Tarihi: 12.05.2022.
- Farley, K. A., et al., 2020. Mars 2020 mission overview, *Space Sci. Rev.*, 216, No. 8, Article 142, <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00762-y>.
- Farrand, W. H., Bell III, J. F., Johnson, J. R., Arvidson, R. E., Crumpler, L. S., Hurowitz, J. A., Schroder, C., 2008. Rock spectral classes observed by the Spirit Rover's Pancam on the Gusev Crater Plains and in the Columbia Hills. *J. Geophys. Res.*, 113, E12S38, <https://doi.org/10.1029/2008JE003237>.
- Flammarion, C., 1884. Les terres du ciel; voyage astronomique sur les autres mondes et description des conditions actuelles de la vie sur les diverses planètes du système solaire. <https://doi.org/10.5479/sil.101129.39088015922164>.
- Fraeman, A., 2020. Datasets for “Synergistic ground and orbital observations of iron oxides on Mt. Sharp and Vera Rubin ridge” [data set]. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3908551>
- Fraeman, A. A., Johnson, J. R., Arvidson, R. E., Rice, M. S., Wellington, D. F., & Morris, R. V., et al., 2020a. Synergistic ground and orbital observations of

- iron oxides on Mt. Sharp and Vera Rubin ridge. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 125, e2019JE006294. <https://doi.org/10.1029/2019JE006294>.
- Fraeman, A. A., Edgar, L. A., Rampe, E. B., Thompson, L. M., Frydenvang, J., Fedo, C. M., et al., 2020b. Evidence for a diagenetic origin of Vera Rubin ridge, Gale crater, Mars: Summary and synthesis of Curiosity's exploration campaign. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 125, e2020JE006527. <https://doi.org/10.1029/2020JE006527>.
- Goetz, W., et al. (2008), Search for magnetic minerals in Martian rocks: Overview of the Rock Abrasion Tool (RAT) magnet investigation on Spirit and Opportunity, *J. Geophys. Res.*, 113, E05S90, <https://doi.org/10.1029/2006JE002819>.
- Golombek, M. P., 1977. The Mars Pathfinder mission, *J. Geophys. Res.*, 102, No. E2, 3953-3965, <https://doi.org/10.1029/96JE02805>.
- Golombek, M. P., et al., 1999. Overview of the Mars Pathfinder Mission: Launch through landing, surface operations, data sets, and science results, *J. Geophys. Res.*, 104, No. E4, 8523-8553, <https://doi.org/10.1029/98JE02554>.
- Golombek, M., Grant, J., Vasavada, A. R., et al., 2011. Final four landing sites for the Mars Science Laboratory. Presented at the 42nd Lunar and Planetary Science Conference, The Woodlands, Texas, 7–11 March 2011. Abstract no. 1520.
- Golombek, M., et al., 2017. Selection of the InSight Landing Site, *Space Sci. Rev.*, 211, 5-95, <https://doi.org/10.1007/s11214-016-0321-9>.
- Govorchin, G.G., 1965. Soviets in space - an historical survey, *Spaceflight*, 7, p.74-82.
- Graf, J. E., et al., 2005. The Mars Reconnaissance Orbiter Mission, *Acta Astronaut.*, 57, No. 2-8, 566-578.

- Guinn, J. R., et al., 2008. Mission design of the Phoenix Mars Scout mission, *J. Geophys. Res.*, 113, E00A26, <https://doi.org/10.1029/2007JE003038>.
- Gupta, H. V., Sorooshian, S., Yapo, P. O. 1999. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *J. Hydrologic Eng.* 4(2): 135-143.
- Gurunadham, R., Kumar, S., 2014. Extraction of aqueous minerals on Mars using CRISM based Targeted Reduced Data Records, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-8, 431–436, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-8-431-2014>.
- Hall, A., 1877. The Discovery of the Satellites of Mars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 38, p.205-209.
- Hartmann, W. K., ve O. Raper, 1974. The new Mars: The discoveries of Mariner 9, NASA SP-337, Wash., D.C.
- Harvey, B., 1996. The new Russian space programme from competition to collaboration, John Wiley and Sons, Chichester, England.
- Herschel W., 1781. Astronomical Observations on the Rotation of the Planets around their Axes made with a View to determine whether the Earth's diurnal Motion is perfectly equable. In a letter from Mr. William Herschel of Bath to William Watson, M. D. F. R. *SPhil. Trans. R. Soc.* 71 115–138, <http://doi.org/10.1098/rstl.1781.0032>.
- Horgan, B. H. N., Johnson, J. R., Fraeman, A. A., Rice, M. S., Seeger, C., Bell, J. F., et al. 2020. Diagenesis of Vera Rubin ridge, Gale crater, Mars, from Mastcam multispectral images. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 125, e2019JE006322. <https://doi.org/10.1029/2019JE006322>.
- Hotakainen, M., 2008. God of War, Heavenly Body. In: Mars. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-76508-2_2.

- Istomin, V. G., Grechnev, K. V., 1976. Argon in the Martian atmosphere: Evidence from the Mars 6 descent module, *Icarus*, 28, No. 2, 155-158, [https://doi.org/10.1016/0019-1035\(76\)90028-2](https://doi.org/10.1016/0019-1035(76)90028-2).
- Jakosky, B. M., Lin, R. P., Grebowsky, J.M. et al. 2015. The Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN) Mission. *Space Sci Rev* 195, 3–48 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11214-015-0139-x>.
- JHUAPL, 2022. <http://crism-map.jhuapl.edu/#>, Erişim Tarihi: 28.07.2022.
- Johnson, N. L., 1979. Handbook of soviet lunar and planetary exploration - volume 47 science and technology series, Amer. Astronau. Soc. Publ.
- Kumar A. S., Chauhan P., 2014. Scientific exploration of Mars by first Indian interplanetary space probe: Mars Orbiter Mission, *Current Science*, 107, 1096 (2014).
- Lakdawalla, E., 2018. The Design and Engineering of Curiosity. How the Mars Rover Performs Its Job. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68146-7>.
- Madsen, M. B., et al. 2003, Magnetic Properties Experiments on the Mars Exploration Rover mission, *J. Geophys. Res.*, 108, 8069, <https://doi.org/10.1029/2002JE002029>.
- Marspedia, 2022. https://marspedia.org/Cost_of_transportation, Erişim Tarihi: 21.10.2022.
- Masursky, H., Crabill, N. L., 1976. Viking landing sites: Selection and certification, *Science*, 193, 809-812.
- Moeller, R. C., et al., 2021. The Sampling and Caching Subsystem (SCS) for the Scientific Exploration of Jezero Crater by the Mars 2020 Perseverance Rover, *Space Sci. Rev.*, 217, No. 1, Article 5, <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00783-7>.

- Morgan, M. F., Seelos, F. P., Murchie, S. L., 2017. The CRISM Analysis Toolkit (CAT): Overview and Recent Updates. 3rd Planetary Data Workshop 2017 (LPI Contrib. No. 1986).
- Moroz, V. I., 1975. Preliminary results of studies conducted on the Soviet automatic stations Mars 4, Mars 5, Mars 6, and Mars 7, Cosmic Res., 13, No. 1, 1-6, July 1975.
- Murchie, S., et al., 2007. Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM) on Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), J. Geophys. Res., 112, E05S03, <https://doi.org/10.1029/2006JE002682>.
- Murchie, S., Edward, G., Slavney, S., 2016. Mars Reconnaissance Orbiter CRISM Data Product Software Interface Specification, version 1.3.7.4.
- Nachon, M. et al., 2014. Calcium sulfate veins characterized by ChemCam/Curiosity at Gale crater, Mars, J. Geophys. Res. Planets, 119, 1991–2016, <https://doi:10.1002/2013JE004588>.
- NASA, 1997. Postcards from Mars, Lunar and Planetary Institute, NASA.
- NASA, 2005. Mars Reconnaissance Orbiter Launch, Press Kit August 2005, https://www.nasa.gov/pdf/124378main_mro-launch-Aug051.pdf.
- NASA, 2022a. <https://www.nasa.gov>, Erişim Tarihi: 27.07.2022.
- NASA, 2022b. Catalog of Spaceborne Imaging, NASA Space Science Data Coordinated Archive (NSSDC), NASA Goddard Space Flight Center (GSFC), <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/>, Erişim Tarihi: 27.07.2022.
- NASA, 2022c. <https://www.jpl.nasa.gov/>, Erişim Tarihi: 10.02.2022.
- NASA, 2022d. <https://mars.nasa.gov/> Erişim Tarihi: 10.02.2022.
- NASA, 2022e. <https://mars.nasa.gov/mro/mission/instruments/>, Erişim Tarihi: 10.02.2022.
- NASA, 2022f. <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/instruments/summary/>, Erişim Tarihi: 22.02.2022.

- NASA, 2022g. <https://marsoweb.nas.nasa.gov/landingsites/>, Erişim Tarihi: 22.02.2022.
- Nash J. E., Sutcliffe J. V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3):282–290.
- Nicks, O. W., 1967. Review of the Mariner 4 results, *Moon and Planets*, 150-185.
- Pelkey, S. M., ve ark., 2007. CRISM multispectral summary products: Parameterizing mineral diversity on Mars from reflectance, *J. Geophys. Res.*, 112, E08S14, <https://doi.org/10.1029/2006JE002831>.
- Perminov, V. G., 1999. The difficult road to Mars - A brief history of Mars exploration in the Soviet Union, NASA, No. 15, Wash, DC.
- Proctor, R.A., 1869. *Half-hours with the Telescope*, London.
- Rocketbuilder, 2022. <https://www.rocketbuilder.com/>, Erişim Tarihi:11.02.2022.
- Rivera-Valentin, Edgard et al., 2021. The importance of ground-based radar observations for planetary exploration. *Bulletin of the AAS*. Vol. 53. <https://doi.org/10.3847/25c2cfcb.70729c26>.
- Sagdeev, R. Z., et al., 1988. The Phobos project: Scientific objectives and experimental methods, *Sov. Sci. Rev. E. Astrophys. Space Phys.*, 6, Pt. 1, 1-60, Aug. 1988.
- Santhi, C., Arnold, J.G., Williams, J.R., Dugas, W.A., Srinivasan, R. and Hauck, L. M. 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37: 1169-1188. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03630.x>.
- Saunders, R. S., et al., 2004. 2001 Mars Odyssey Mission summary, *Space Sci. Rev.*, 110, No. 1-2, 1-36.
- Schiaparelli, G.V., 1888. Osservazioni sulle stelle doppie. *Del Reale Osservatorio di Brera in Milano. Serie Prima. N.XXXIII*, Milano. Ulrico Hoepli.

- Schmidt, R., 2001. Mars Express - ESA's first mission to planet Mars, *Space Technol.*, 20, No. 5-6, 219-224.
- Seeger, C., 2020. Using Multispectral Imagery to Interrogate Deposition, Alteration, and Weathering Across Curiosity Rover's Traverse in Gale Crater, Mars. WWU Graduate School Collection. 974. <https://cedar.wvu.edu/wwuet/974>.
- Seelos F., and CRISM Team. 2009. CRISM Data Users' Workshop Nili Fossae Data Processing Walkthrough. 40th Lunar and Planetary Science Conference (LPSC) in Houston, Texas, USA.
- Sheehan W., 1996. The planet mars: a history of observation & discovery. University of Arizona Press.
- Sheehan, W., 2015. First Period, 1636–1830. In: Sheehan, W. (eds) Camille Flammarion's The Planet Mars. Astrophysics and Space Science Library, vol 409. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09641-4_1.
- Shelton, W., 1969. Soviet space exploration - the first decade, Arthur Barker Ltd., Unnumbered, London, England.
- Sloan, R. K., 1968. Mariner Mars 1964 project report, scientific experiments, JPL, Calif. Inst. Technol., TR 32-883, Pasadena, CA, July 1968.
- Smith, P. H., et al., 2008. Introduction to special section on the Phoenix Mission: Landing Site Characterization Experiments, Mission Overviews, and Expected Science, *J. Geophys. Res.*, 113, E00A18, <https://doi.org/10.1029/2008JE003083>.
- Smithsonian Institution, 2022a. The Smithsonian's National Air and Space Museum , <https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/web11953-2011hjpg>, Erişim Tarihi: 28.07.2022.
- Smithsonian Institution, 2022b. The Smithsonian's National Air and Space Museum <https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/web11954-2011hjpg>, Erişim Tarihi: 28.07.2022.

- Snyder, C. W., 1977. The missions of the Viking Orbiters, *J. Geophys. Res.*, 82, No. 28, 3971-3983, <https://doi.org/10.1029/JS082i028p03971>.
- Soffen, G. A., 1976. Scientific results of the Viking mission, *Science*, 194, No. 4271, 1274-1276, Dec. 1976.
- Soffen, G. A., Snyder, C. W., 1976. The First Viking mission to Mars, *Science*, 193, 759-766.
- Soffen, G. A., 1977. The Viking project, *J. Geophys. Res.*, 82, No. 28, 3959-3970, <https://doi.org/10.1029/JS082i028p03959>.
- Steinbacher, R. H., et al., 1972. Mariner 9 science experiments - preliminary results, *Science*, 175, No. 4019, 293, <https://doi.org/10.1126/science.175.4019.293>.
- Steinbacher, R. H., Haynes N. R., 1973. Mariner 9 mission profile and project history, *Icarus*, 18, No. 1, 64-74, [https://doi.org/10.1016/0019-1035\(73\)90173-5](https://doi.org/10.1016/0019-1035(73)90173-5).
- Squyres, S. W., et al., 2004. The Spirit Rover's Athena science investigation at Gusev crater, Mars, *Science*, 305, No. 5685, 794-799.
- Squyres, S. W., et al., 2006. Overview of the Opportunity Mars Exploration Rover Mission to Meridiani Planum: Eagle Crater to Purgatory Ripple, *J. Geophys. Res.*, 111, E12S12, <https://doi.org/10.1029/2006JE002771>.
- Tanaka, K. L., Skinner, J. A. Jr., Dohm, J. M., Irwin, R. P. III, Kolb, E. J., Fortezzo, C. M., Platz, T., Michael, G. G., and Hare, T. M., 2014. Geologic Map of Mars: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3292, scale 1:20,000,000, pamphlet 43 p., <https://dx.doi.org/10.3133/sim3292>.
- Taylor, J., et al., 2014a. Chapter 6: Mars Reconnaissance Orbiter, in *Deep Space Communications*, J. Taylor Ed., Vol. 13, pp. 201-262.
- Taylor, J., et al., 2014b. Chapter 7: Mars Exploration Rover Telecommunications, in *Deep Space Communications*, J. Taylor Ed., Vol. 13, pp. 263-375.

- The MICA Files, 2019. Minerals Identified through CRISM Analysis, Assembled by the CRISM Science Operations Center, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Version 1 – Released 3/2019.
- Liew, M., Veith, T. L., Bosch, D. D., & Arnold, J. G., 2007. Suitability of SWAT for the Conservation Effects Assessment Project: Comparison on USDA Agricultural Research Service Watersheds. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12, 173-189.
- Viviano-Beck, C. E., Seelos, F. P., ve ark., 2014. Revised CRISM spectral parameters and summary products based on the currently detected mineral diversity on Mars, *J. Geophys. Res. Planets*, 119, 1403–1431, <https://doi.org/10.1002/2014JE004627>.
- Wellington, D. F., Bell, J., Johnson, J. R., Kinch, K. M., Rice, M. S., Godber, A., Ehlmann, B. L., Fraeman, A. A., ve Hardgrove, C., 2017. Visible to near-infrared MSL/Mastcam multispectral imaging: Initial results from select high-interest science targets within Gale Crater, Mars. *American Mineralogist*, 102(6), 1202-1217. <https://doi.org/10.2138/am-2017-5760CCBY>.
- Wellington, D. F., 2018. Mars in the visible to near infrared: Two views of the Red Planet. (Doctoral dissertation) Arizona State University. <https://keep.lib.asu.edu/items/156750>.
- Wolfe, J. D., Black, S. R., 2018. *Hyperspectral Analytics in ENVI: Target Detection and Spectral Mapping Methods*. Harris Corporation, September 19, 2018 Edition.
- Wright, I. P., et al., 2003. Scientific objectives of the Beagle 2 lander, *Acta Astronaut.*, 52, No. 2-6, 219-225.
- WUSTL, 2022. NASA's PDS Geosciences Node at Washington University in St. Louis, <https://an.rsl.wustl.edu/msl/mslbrowser/an3.aspx>, Erişim Tarihi: 22.04.2022.

- Xue, Y., Jin S., 2014. Martian Minerals and Rock Components from MRO CRISM Hyperspectral Images. Planetary Geodesy and Remote Sensing. CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL, USA.
- Zurek, R. W., Smrekar, S. E., 2007. An overview of the Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) science mission, J. Geophys. Res., 112, E05S01, <https://doi.org/10.1029/2006JE002701>.





ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 1997 yılında başladığı Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nden 2001 yılında bölüm birincisi olarak mezun oldu. Yüksek Lisansını ise Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalında 2015 yılında tamamladı. 2005-2007 yılları arasında TEİAŞ 18. Bölge Müdürlüğünde, 2007 yılından itibaren DSİ 6. Bölge Müdürlüğünde Harita mühendisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve üç kız çocuğu babasıdır.

Yazarın Yayınları (2015 - 2022)

1. Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler (SCI, SSCI, Arts and Humanities)

Darama, Y., Selek, Z., Selek, B., **Akgül, M. A.**, Dagdeviren, M. Determination of sediment deposition of Hasanlar Dam using bathymetric and remote sensing studies. Nat Hazards 97, 211–227 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03635-y>.

Aksu, H., **Akgül, M. A.** Performance evaluation of CHIRPS satellite precipitation estimates over Turkey. Theor Appl Climatol 142, 71–84 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03301-5>.

Güvel, Ş. P., **Akgül, M. A.** & Yurtal, R. Investigation of sediment accumulation in Berdan Dam Reservoir using bathymetric measurements and Sentinel-2 Data. Arabian Journal of Geosciences 14, 2723 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09089-6>.

Aksu, H., Cavus, Y., Aksoy, H., **Akgül, M. A.**, Turker, S., Eris E. Spatiotemporal analysis of drought by CHIRPS precipitation estimates. Theor Appl Climatol (2022). <https://doi.org/10.1007/s00704-022-03960-6>.

Güvel, Ş. P., **Akgül, M. A.**, Aksu, H. Flood inundation maps using Sentinel-2: a case study in Berdan Plain. Water Supply 2022; ws2022039. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.039>.

2. Uluslararası diğer hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

Akgül, M. A., Aksu, H. Areal Precipitation Estimation Using Satellite Derived Rainfall Data over an Irrigation Area. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 9(2): 386-394, 2021. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i2.386-394.4061>.

Güvel, Ş.P. , **Akgül, M. A.** & Aksu, H. (2021). Sediment Yield Analysis in Tahtaköprü Dam Basin . European Journal of Science and Technology (EJOSAT), (27) , 995-1002. <https://doi.org/10.31590/ejosat.987725>.

3. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

Mehmet Ali AKGÜL, Suha BERBEROĞLU, Mahmut CETİN, Hayriye İBRİKÇİ, Takanori NAGANO, Jumpei KUBOTA, Manfred FINK: *Modelling the Water and Nitrate Budget Using SWAT*. The 9th World Congress of the European Water Resources Association (EWRA2015), Water Resources management in a changing world: Challenges and opportunities, Istanbul, Turkey; 06/2015

Mehmet Ali AKGÜL, Mahmut ÇETİN, Süha BERBEROĞLU, Hayriye İBRİKÇİ: *Determination of soil series effects on actual evapotranspiration by nonparametric statistical techniques*. Eurosoil2016, Istanbul, Turkey; 10/2016.

Matjaž GLAVAN, Ebru KARNEZ, Hande SAGIR, Muhammed Said GOLPINAR, Mahmut CETİN, **Mehmet Ali AKGÜL** and Hayriye IBRIKCI, Marina PINTAR, “*Understanding of water and nitrogen cycle in an irrigated Mediterranean area in southern Turkey*”, International Soil and Water

Assessment Tool Conference (SWAT 2017), Varşova, Polonya, 28 - 30 Haziran 2017, cilt.1, no.1, ss.78. **POSTER**

Mahmut CETIN, Hakan AKSU, Omar ALSENJAR, Muhammet Said GOLPINAR, **Mehmet Ali AKGÜL** “Crop Water Stress Index Estimation by Remote Sensing in The Mediterrenean Region of Turkey”. International Symposium on Remote Sensing in Meteorology, METEO IRS 2021, December 1-3, 2021. <https://meteouzal.itu.edu.tr/#/en/home>.

Mahmut CETIN, Omar ALSENJAR, Hakan AKSU, **Mehmet Ali AKGÜL**, Muhammet Said GOLPINAR, Muaz ZAIM, “Crop pattern classification by remote sensing images in the Eastern Mediterranean region of Turkey”. ICASI 2021, 2nd International and 15th National Congress on Agricultural Structures and Irrigation, 12-15 May 2022, Diyarbakir, Turkey.

Yakup DARAMA, **Mehmet Ali AKGÜL**, Sedimentation of Hasanlar Dam Reservoir Using Bathymetric Field Studies And GIS, 14th International Conference On Hydrosience & Engineering May 26-27, 2022 İzmir-Turkey.

Emre TOPÇU, **Mehmet Ali AKGÜL**, Şerife Pınar GÜVEL, Flood Monitoring of April 2022 Kars Flood Event Using Satellite-Based Remote Sensing, 2nd Global Conference on Engineering Research (GLOBECER'22), 7-10 September 2022.

4. Yazılan Uluslararası kitaplar veya kitaplarda bölümler

Ebru KARNEZ, Hande SAGİR, Matjaž GAVAN, Muhammed Said GOLPINAR, Mahmut CETİN, **Mehmet Ali AKGÜL**, Hayriye İBRİKCİ, Marina PİNTAR: Modeling Agricultural Land Management to Improve Understanding of Nitrogen Leaching in an Irrigated Mediterranean Area in Southern Turkey. Water Quality, 01/2017: chapter 7; InTech., <https://doi.org/10.5772/65809>.

5. Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

AKGÜL, M. (2018). Sentetik Açıklıklı Radar verilerinin Taşkın Çalışmalarında Kullanılması: Berdan Ovası Taşkını (Use of Synthetic Aperture Radar Data in Flood Studies: Berdan Plain Flood). Geomatik, 3 (2), 154-162. <https://doi.org/10.29128/geomatik.378123>.

Mehmet Ali AKGÜL, Mahmut ÇETİN: Baraj gölleri su kotlarının Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak tahmin edilmesi (Estimation of reservoir water elevations in man-made lakes by using Landsat 8 image data). IX. Ulusal Hidroloji Kongresi 04-06 Ekim 2017, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır; DÜMF Mühendislik Dergisi, 9 (1), 493-502. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumf/issue/36316/413050>.

AKGÜL, M. A., DAĞDEVİREN, M., BİROĞLU, İ. (2018). Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri Kullanılarak Uydu-Kaynaklı Batimetri (Satellite-Derived Bathymetry Using Multi-Temporal Satellite Images). DSİ Teknik Bülten, Sayı:127, Sayfa: 14-27. <https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetGaleriFile/425/DosyaGaleri/600/tb127.pdf>.

Akgül, M. A. , Ural, S. (2022). Mars'ta Hiperspektral CRISM Verileri Yardımıyla Mineralojik Haritalama. Geosound 55 (2022): 1-19. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/geosound/issue/69846/1081800>.

Güvel, Ş. P., **Akgül, M. A.**, Yurtal, R. (2023). Tarihi uydu görüntüleri ile 1980 Aşağı Seyhan Ovası taşkın olayının yeniden değerlendirilmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (1) , 1-1. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1171552>.

6. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

Mehmet Ali AKGÜL, Mahmut ÇETİN, Süha BERBEROĞLU, Jumpei KUBOTA, Hayriye İBRİKÇİ: SWAT Model Sonuçlarının Seçilen Evapotranspirasyon

Yöntemi ile Değişiminin Parametrik Olmayan İstatistiksel Yöntemlerle Analizi (Non-parametric statistical method of analysis of the changes to the selected method of SWAT evapotranspiration model results). 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi, Akdeniz Üniv. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya; 04/2016.

Mehmet Ali AKGÜL, Mahmut ÇETİN: Tarımsal Drenaj Havzalarında Taşkın Debilerinin SWAT Modeli ile Tahmini. 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 23-25 Kasım 2016, Rize, Rize, Türkiye; 11/2016.

İrfan HAZIR, **Mehmet Ali AKGÜL**, Mustafa ALKAYA, Murat DAĞDEVİREN: 27 Ocak - 14 Mart 2012 Tarihleri Arasında HATAY İli AMİK Ovasında Meydana Gelen Taşkınların Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi. 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 23-25 Kasım 2016, Rize, Türkiye; 11/2016.

Mehmet Ali AKGÜL, Mahmut ÇETİN: Tarımsal Drenaj Alanlarında Meydana Gelen Taşkınlar Ve Etki Alanlarının Uzaktan Algılama İle Belirlenmesi: Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzasında Örnek Bir Çalışma (Flood Events In The Agricultural Drainage Catchments And Determination Of Its Spatial Extent With Remotely Sensed Data: A Case Study In The Sub-Catchment Of The Lower Seyhan Plain). 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, 9-12 Ekim 2019, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla / TÜRKİYE, Volume 2, P. 847-856.

Mehmet Ali AKGÜL, Murat DAĞDEVİREN, Fatih EKMEKÇİ, Nazmi KAĞNICIOĞLU: Köyceğiz Gölü Su Kalitesi Parametrelerinin Uzaktan Algılama İle Tahmin Edilmesi (Estimation Of Water Quality Parameters In Lake Köyceğiz Using Remote Sensing). 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, 9-12 Ekim 2019, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla / TÜRKİYE, Volume 2, P. 805-814.

Şerife Pınar GÜVEL, **Mehmet Ali AKGÜL**, Recep YURTAL. 1980 Yılı Amik Ovası Taşkınının Tarihi Uydu Görüntüleri İle İncelenmesi. 11. Ulusal Hidroloji Kongresi, 13-15 Ekim 2022, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep/TÜRKİYE.

Omar ALSENJAR, Mahmut CETİN, Hakan AKSU, **Mehmet Ali AKGÜL**, Muhammet Said GOLPINAR. Uzaktan Algılama Ve Yer Gözlemleri Kullanılarak Akdeniz Bölgesinde Sulanan Bitkilerin Su Stres İndeksinin Tahmini. 11. Ulusal Hidroloji Kongresi, 13-15 Ekim 2022, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep/TÜRKİYE.

Projeler

Uydu Görüntüleri Kullanılarak Evapotranspirasyonun Belirlenmesi ve Kullanılan Sulama Suyu Miktarlarıyla Kıyaslanması: Aşağı Seyhan Ovası (ASO) Örneği, (TUJJB-TUMEHAP-2020-01).



EKLER



Ek-1 Mastcam

Tablo 1. Çalışmada kullanılan verilerin zaman tablosu (WUSTL, 2022)

Sol	Hibrit Yerel Güneş Saati	UTC	Güneş boylamı (derece)	Güneş azimutu (derece)	Güneş yüksekliği (derece)	Güneş mesafesi (AU)
1807	1807:12:00:26	2017-09-05 18:24:38	57.04	25.57	64.43	1.6610
1812	1812:11:59:03	2017-09-10 21:41:09	59.29	26.11	63.89	1.6625
1819	1819:11:57:12	2017-09-18 02:16:21	62.44	26.82	63.18	1.6641
1821	1821:11:56:41	2017-09-20 03:35:00	63.34	27.00	63.00	1.6645
1822	1822:11:56:26	2017-09-21 04:14:20	63.79	27.10	62.90	1.6647
1827	1827:11:55:13	2017-09-26 07:31:01	66.03	27.54	62.46	1.6654
1843	1843:11:51:38	2017-10-12 18:00:44	73.21	28.69	61.31	1.6660
1850	1850:11:50:14	2017-10-19 22:36:24	76.35	29.08	60.92	1.6654
1866	1866:11:47:21	2017-11-05 09:06:50	83.54	29.67	60.33	1.6621
1871	1871:11:46:32	2017-11-10 12:23:56	85.79	29.77	60.23	1.6605
1876	1876:11:45:44	2017-11-15 15:41:03	88.05	29.82	60.18	1.6587
1877	1877:11:45:35	2017-11-16 16:20:29	88.50	29.83	60.17	1.6583
1879	1879:11:45:17	2017-11-18 17:39:21	89.41	29.84	60.16	1.6574
1885	1885:11:44:24	2017-11-24 21:35:58	92.13	29.82	60.18	1.6547
1893	1893:11:43:16	2017-12-03 02:51:30	95.78	29.70	60.30	1.6505
1899	1899:11:42:26	2017-12-09 06:48:10	98.53	29.54	60.46	1.6470
1905	1905:11:41:38	2017-12-15 10:44:52	101.28	29.32	60.68	1.6431
1906	1906:11:41:30	2017-12-16 11:24:19	101.75	29.28	60.72	1.6424
1936	1936:11:37:31	2018-01-16 07:07:51	115.78	27.18	62.82	1.6179
1939	1939:11:37:07	2018-01-19 09:06:12	117.21	26.89	63.11	1.6150

Sol	Hibrit Yerel Güneş Saati	UTC	Güneş boylamı (derece)	Güneş azimutu (derece)	Güneş yüksekliği (derece)	Güneş mesafesi (AU)
1950	1950:11:35:34	2018-01-30 16:20:04	122.50	25.68	64.32	1.6039
1959	1959:11:34:15	2018-02-08 22:15:00	126.88	24.55	65.45	1.5942
1964	1964:11:33:30	2018-02-14 01:32:10	129.34	23.87	66.13	1.5886
1967	1967:11:33:03	2018-02-17 03:30:28	130.82	23.44	66.56	1.5851
1970	1970:11:32:35	2018-02-20 05:28:45	132.31	22.99	67.01	1.5816
1978	1978:11:31:19	2018-02-28 10:44:09	136.31	21.74	68.26	1.5720
1980	1980:11:31:00	2018-03-02 12:03:00	137.32	21.42	68.58	1.5696
1984	1984:11:30:22	2018-03-06 14:40:42	139.35	20.74	69.26	1.5646
1986	1986:11:30:02	2018-03-08 15:59:32	140.37	20.40	69.60	1.5621
1996	1996:11:28:26	2018-03-18 22:33:46	145.51	18.59	71.41	1.5493
2000	2000:11:27:47	2018-03-23 01:11:27	147.59	17.83	72.17	1.5442
2002	2002:11:27:28	2018-03-25 02:30:18	148.63	17.45	72.55	1.5415
2005	2005:11:26:59	2018-03-28 04:28:34	150.21	16.85	73.15	1.5376
2006	2006:11:26:50	2018-03-29 05:08:00	150.74	16.65	73.35	1.5363
2007	2007:11:26:40	2018-03-30 05:47:25	151.26	16.45	73.55	1.5349
2009	2009:11:26:21	2018-04-01 07:06:16	152.32	16.05	73.95	1.5323
2014	2014:11:25:35	2018-04-06 10:23:25	154.98	15.01	74.99	1.5256
2016	2016:11:25:16	2018-04-08 11:42:16	156.05	14.59	75.41	1.5230
2029	2029:11:23:24	2018-04-21 20:14:59	163.11	11.75	78.25	1.5055
2034	2034:11:22:45	2018-04-26 23:32:15	165.87	10.61	79.39	1.4988
2036	2036:11:22:30	2018-04-29 00:51:10	166.98	10.15	79.85	1.4962
2041	2041:11:21:55	2018-05-04 04:08:30	169.77	8.98	81.02	1.4895
2043	2043:11:21:41	2018-05-06 05:27:26	170.89	8.51	81.49	1.4869

Sol	Hibrit Yerel Güneş Saati	UTC	Güneş boylamı (derece)	Güneş azimutu (derece)	Güneş yüksekliği (derece)	Güneş mesafesi (AU)
2046	2046:11:21:23	2018-05-09 07:25:53	172.59	7.79	82.21	1.4829
2050	2050:11:21:01	2018-05-13 10:03:52	174.86	6.83	83.17	1.4777
2056	2056:11:20:32	2018-05-19 14:00:53	178.30	5.37	84.63	1.4699
2059	2059:11:20:21	2018-05-22 15:59:28	180.03	4.63	85.37	1.4661
2081	2081:11:20:06	2018-06-14 06:30:07	193.01	0.85	89.15	1.4394
2091	2091:11:20:47	2018-06-24 13:06:42	199.06	3.35	86.65	1.4284
2101	2101:11:22:04	2018-07-04 19:43:53	205.21	5.80	84.20	1.4183
2110	2110:11:23:48	2018-07-14 01:41:57	210.81	7.95	82.05	1.4101
2113	2113:11:24:31	2018-07-17 03:41:27	212.69	8.65	81.35	1.4075
2120	2120:11:26:26	2018-07-24 08:20:32	217.11	10.24	79.76	1.4020
2122	2122:11:27:03	2018-07-26 09:40:21	218.38	10.68	79.32	1.4005
2123	2123:11:27:22	2018-07-27 10:20:15	219.01	10.90	79.10	1.3998
2124	2124:11:27:42	2018-07-28 11:00:11	219.65	11.12	78.88	1.3990
2132	2132:11:30:36	2018-08-05 16:19:52	224.75	12.80	77.20	1.3939
2135	2135:11:31:49	2018-08-08 18:19:53	226.68	13.40	76.60	1.3921
2138	2138:11:33:06	2018-08-11 20:19:57	228.61	13.98	76.02	1.3905
2147	2147:11:37:23	2018-08-21 02:20:39	234.42	15.61	74.39	1.3865
2153	2153:11:40:33	2018-08-27 06:21:26	238.31	16.59	73.41	1.3844
2160	2160:11:44:34	2018-09-03 11:02:41	242.87	17.62	72.38	1.3827
2165	2165:11:47:38	2018-09-08 14:23:46	246.13	18.27	71.73	1.3819
2169	2169:11:50:11	2018-09-12 17:04:44	248.73	18.73	71.27	1.3815
2171	2171:11:51:29	2018-09-14 18:25:15	250.04	18.94	71.06	1.3815
2225	2225:12:28:20	2018-11-09 06:40:49	284.94	19.64	70.36	1.4016

Sol	Hibrit Yerel Güneş Saati	UTC	Güneş boylamı (derece)	Güneş azimutu (derece)	Güneş yüksekliği (derece)	Güneş mesafesi (AU)
2229	2229:12:30:43	2018-11-13 09:21:37	287.47	19.31	70.69	1.4047
2231	2231:12:31:51	2018-11-15 10:41:58	288.73	19.13	70.87	1.4063
2235	2235:12:34:04	2018-11-19 13:22:35	291.24	18.73	71.27	1.4097
2246	2246:12:39:29	2018-11-30 20:43:37	298.09	17.42	72.58	1.4199
2247	2247:12:39:56	2018-12-01 21:23:40	298.70	17.28	72.72	1.4209
2257	2257:12:43:54	2018-12-12 04:03:37	304.83	15.81	74.19	1.4312
2259	2259:12:44:35	2018-12-14 05:23:29	306.04	15.49	74.51	1.4334
2262	2262:12:45:32	2018-12-17 07:23:14	307.85	15.00	75.00	1.4367
2289	2289:12:50:37	2019-01-14 01:17:18	323.78	9.92	80.08	1.4694
2296	2296:12:50:56	2019-01-21 05:54:45	327.79	8.47	81.53	1.4785
2299	2299:12:50:58	2019-01-24 07:53:32	329.50	7.84	82.16	1.4824
2300	2300:12:50:57	2019-01-25 08:33:07	330.06	7.62	82.38	1.4837