



Mars'ta Hiperspektral CRISM Verileri Yardımıyla Mineralojik Haritalama *Mineralogical Mapping on Mars Using Hyperspectral CRISM Data*

MEHMET ALİ AKGÜL^{1*} ORCID 0000-0002-5517-9576

SUPHİ URAL¹ ORCID 0000-0003-4865-011X

¹*Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye*

Geliş (received): 02/03/2022

Kabul (Accepted): 13/04/2022

ÖZ

Dünyaya en yakın gezegen olması ve benzer büyüklüğü ile insanoğlunun yüzyıllardır dikkatini çeken Mars, astronomik gözlemlerde en önemli gök cisimlerinden biri olmuştur. 17.yy da teleskobun icadı ile gözlemler bir başka boyuta geçmiş, gezegen yüzeyinde kanal olduğu tahmin edilen oluşumların, yüksek bir medeniyete ait olduğu düşünülmüştür. 20.yy'ın ikinci yarısından sonra ise Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (SSCB) arasında başlayan uzay yarışından nasibini alan Mars, 1971 yılında ABD'nin Mariner misyonu ve aynı yıl SSCB'nin Mars misyonu ile yörüngesinden izlenmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, ABD tarafından 2006 yılında Mars yörüngesine yerleşen Mars Keşif uydusu (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) üzerinde bulunan, 0.36 ile 3.92 µm arasındaki 545 bant da hiperspektral algılama da yapabilen Mars Kompakt Keşif Görüntüleme Spektrometresi (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars, CRISM) verisi kullanılarak, Gale kraterinin Kuzey-Batısında yer alan Gediz vadisi olarak isimlendirilen bölgede mineral araştırması yapılmıştır. Bu bölge aynı zamanda Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (National Aeronautics and Space Administration, NASA) Mars Uzay Laboratuvarı (Mars Science Laboratory, MSL) görevinin bir parçası olan Curiosity aracının 2012 yılında iniş yaptığı bölgedir. 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 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

üretilebilen, gelecekte kurulması düşünülen bir Mars yerleşiminin yer seçiminde ve imarında ki en önemli minerallerin başında gelecek olan hematit minerali tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Astrojeoloji, Gezegen Madenciliği, Hiperspektral Uzaktan Algılama

Yazar adı-soyadı 2019913046@ogr.cu.edu.tr

^{1*}Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

ABSTRACT

Mars, which has attracted the attention of mankind for centuries with its being the closest planet to Earth and its similar size, has been one of the most important celestial bodies in astronomical observations. With the invention of the telescope in the 17th century, observations moved to another dimension, and the formations that were thought to be channels on the planet's surface were thought to belong to a high civilization. After the second half of the 20th century, Mars, which had its share of the space race that started between the USA and the USSR, began to be monitored from its orbit with the Mariner mission of the USA in 1971 and the Mars mission of the USSR in the same year. In this study, using Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM) data, which is capable of hyperspectral sensing in 545 bands between 0.36 and 3.92 μm , on the Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) satellite placed in Mars orbit by the USA in 2006, mineral exploration was carried out in the area called the Gediz Valley, located to the north-west of the Gale crater. This region is also the region where the Curiosity vehicle, which is part of National Aeronautics and Space Administration's (NASA) Mars Science Laboratory (MSL) mission, landed in 2012. Photometric, atmospheric and geometric corrections, and data filtering/line corrections required for the preprocessing of the satellite data were made using the CAT (CRISM Analysis Toolkit) module running on the IDL/ENVI program. The most widely used Band Depth (BD) method for parameterizing spectral data was applied to the corrected satellite data, and the results were compared with the minerals in the Minerals Identified through CRISM Analysis (MICA) library. As a result of the study, hematite mineral, which will be one of the most important minerals in the selection and construction of a Mars settlement, which can be produced by processing and which is planned to be established in the future, has been determined.

Keywords: Astrogeology, Planetary Mining, Hyperspectral Remote Sensing

GİRİŞ

İnsanoğlu için ikinci bir yerleşim olması amacıyla yola çıkılmış olan Mars için yapılan gözlemler insanlık tarihi kadar eskidir. Bu gözlemler teleskopun icadı ile bir eşik atlamış,

çıplak gözle yapılan gözlemler yerine daha ayrıntılı gözlemler yapılabilmektedir. Uzay çağına başlaması ile Mars yörüngesine gözlem uyduları gönderilmiş, Mars'ın ayrıntılı topoğrafik ve jeolojik haritaları üretilmiştir. Mars yüzeyindeki minerallerin tespiti için 25.12.2003 tarihinde Mineraloji, Su, Buz ve Aktivite Gözlem uydusu (Observatoire pour la Minéralogie, L'Eau, les Glaces et l'Activité, OMEGA) ve 10.03.2006 tarihinde Mars Keşif uydusu (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) Mars yörüngesine girmiş olup günümüzde Mars'ı gözlemlemeye devam etmektedirler.

Pelkey vd. (2007) tarafından Mars'ta, uzaktan algılama ile mineral tespit edilmesine ilişkin en geniş çaplı çalışmalardan biri yapılmış, bu çalışmaları sonucunda CRISM verilerini kullanarak hem yüzey mineralojisi hem de atmosferik gazlar ve aerosollerle ilgili spektral özellikleri yakalamak için 44 adet indis hesaplamışlardır. Bu indislerin doğruluğunu, CRISM ile benzer uzamsal ve spektral kapsama alanına sahip görünür ve kızılötesine yakın bir görüntüleme spektrometresi olan OMEGA uydusundan alınan verileri kullanarak kontrol etmişlerdir. Çalışma sonucunda, buldukları indislerin Mars yüzeyinin bilinen çeşitliliğini ve Mars atmosferinin değişkenliğini yakalamayı başardığını ve güçlü spektral imzalara sahip noktaları başarılı bir şekilde vurguladığını tespit etmişlerdir.

Viviano-Beck vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada CRISM verisi kullanarak Mars yüzey mineralojisini tespit edebilmek için 60 adet indis üretmişlerdir. Çalışmalarının neticesinde, daha önce Pelkey vd. (2007) tarafından hesaplanan orijinal CRISM indislerinin, OMEGA uydusu verilerinden yüzey bileşimlerinin beklentilerine dayanarak üretilen haritaları baz alındığından, yüzeydeki karmaşık mineral çeşitliliğini yansıtmak için yeni indislere ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Genişletilmiş indisler hazırlanırken, CRISM verisinin hiperspektral özelliklerinden yararlanıldığından daha sağlam ve kapsamlı bir indis seti üretmişlerdir. Güncellenen bu indisler hâlihazırda bilinen mineral grubuna göre uyarlandığından, yüzey çeşitliliğini orijinal setten daha fazla temsil ettiğini hesaplamışlardır. Bu ürünlerin, yerinde incelemeler için gelecekteki aday iniş alanlarının bilimsel yorumu ve değerlendirmesinin geliştirilmesi için yararlı bir araç olacağını belirtmişlerdir.

Dünyada 2020 yılında yaklaşık 2.4 milyar ton üretilen demir cevherinin (USGS, 2021), ilk kullanımı MÖ 4000 yıllara dayanmaktadır. Yer kabuğunda en çok bulunan, tüm metaller içinde en çok kullanılan metal olan demirin işlenmesi ile elde edilen ürünler ise günlük hayatımızın vazgeçilmez unsurları olmuşlardır. Doğada serbest olarak nadir bulunan demir en

çok limonit, manyetik demir oksit, siderit, pirit ve hematit bileşikleri olarak bulunmaktadır (MTA, 2017). 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 biriside 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.

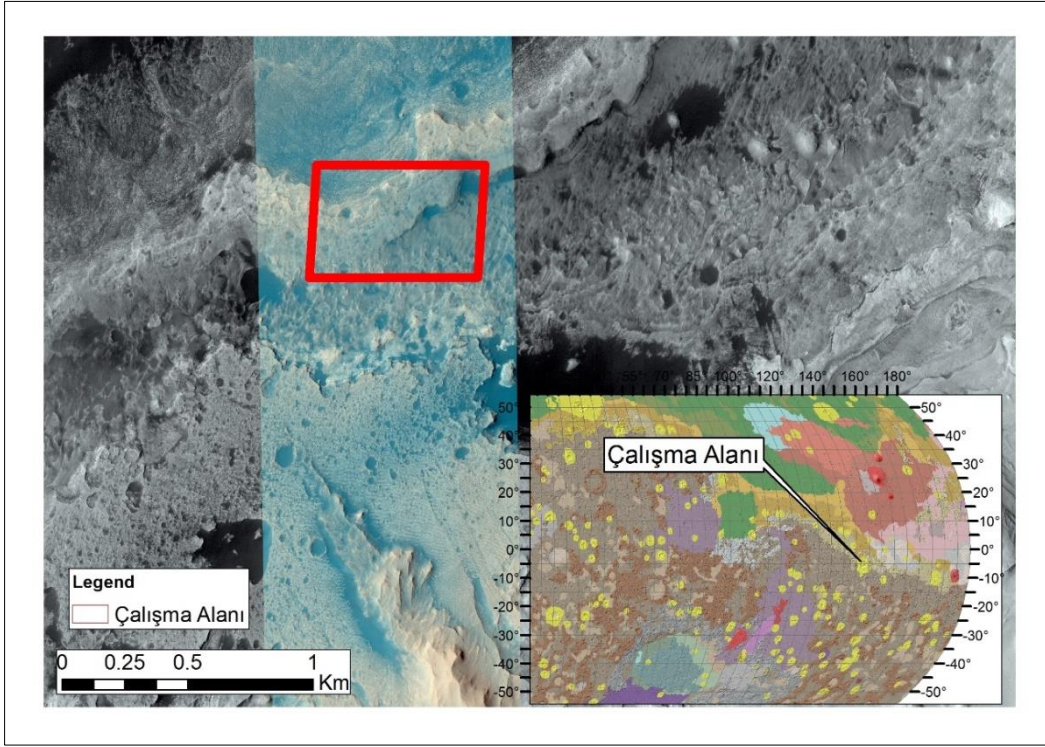
MATERYAL VE METOD

Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Mars koordinat sistemine göre (Equirectangular_MARS) 4.5895°S, 137.4417°E koordinatlarında yer alan MSL Curiosity aracının iniş yaptığı yaklaşık 152 km çapında olan Gale kraterinin yukarı Gediz vadisi olarak isimlendirilen bölgesidir (Şekil 1). Kraterin merkezinde, tabanından yaklaşık 5.5 km yükseklikte olan Aeolis Mons dağı mevcuttur.

Mars jeolojik tarihi, Mars yüzeyindeki çarpma krater yoğunlukları çalışmaları yoluyla antik çağlardan günümüze Noakyan, Hisperyan ve Amazonyan olarak üç döneme ayrılmıştır (Tanaka vd., 2014). Gale kraterinin jeolojik yapısı ise **AHi** birimi olarak adlandırılan Noakyan-Hisperyan döneminin sınırından Amazonyan dönemine kadar olan dönemi kapsar (Şekil 2).

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).

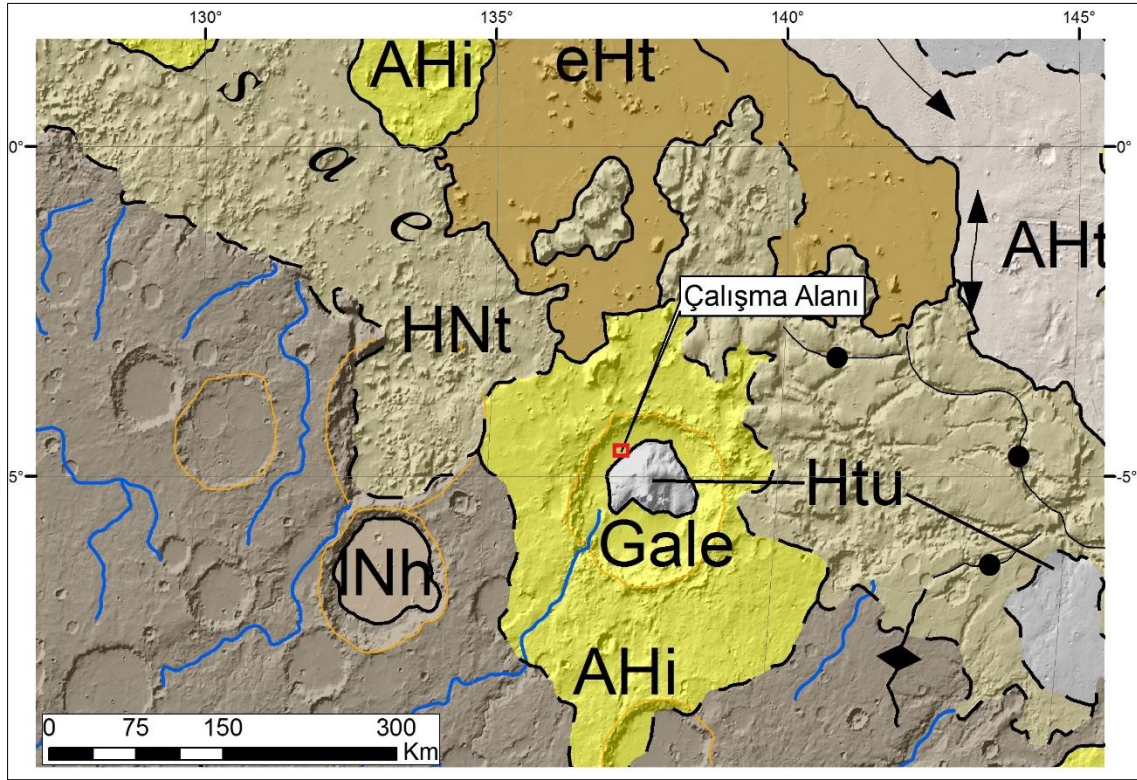


Şekil 1. İnceleme alanı

Figure 1. Study area

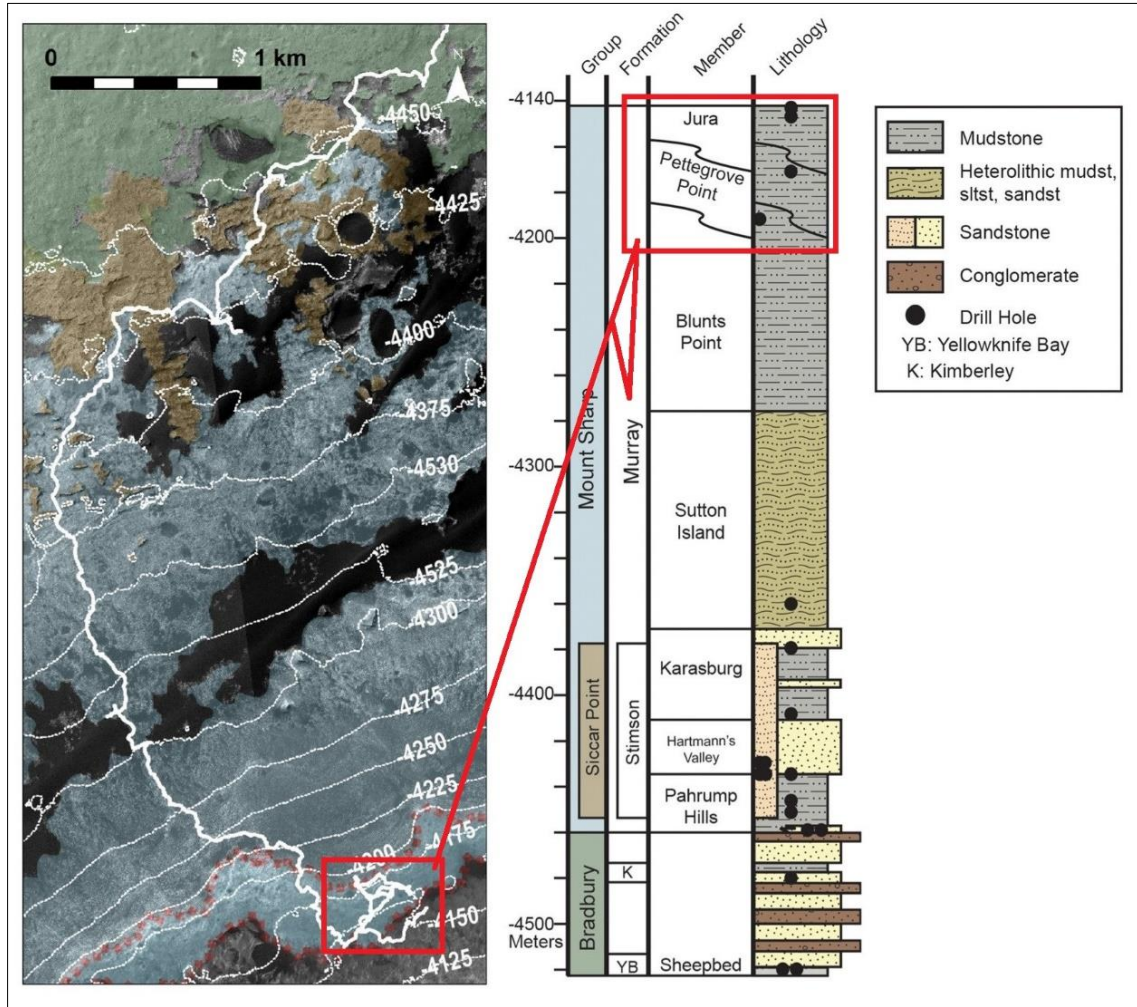
Edgar vd., (2020), yapmış oldukları çalışmada, inceleme alanında ince taneli, paralel tabakalı çamurtaşının bol olduğunu ve stratigrafik sütununda görüldüğü üzere çamurtaşının kalınlığının en az 300 metre olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 3).

Aeolis Mons Dağı'nın tabanında Vera Rubin sırtını (VRR) belirleyen Gale kraterinin idealleştirilmiş kesiti ve tortuların diyajenezine katkıda bulunmuş olabilecek olası ana su yolları Şekil 4'de gösterilmektedir. Birinci güzergah, Gediz Vadisi'nden aşağı doğru VRR'nin mevcut konumuna doğru yönlendirilmiş olabilecek Aeolis Mons Dağı'ndan nispeten sığ yeraltı akışlarını takip eder. İkinci güzergah, 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 vd., 2020).

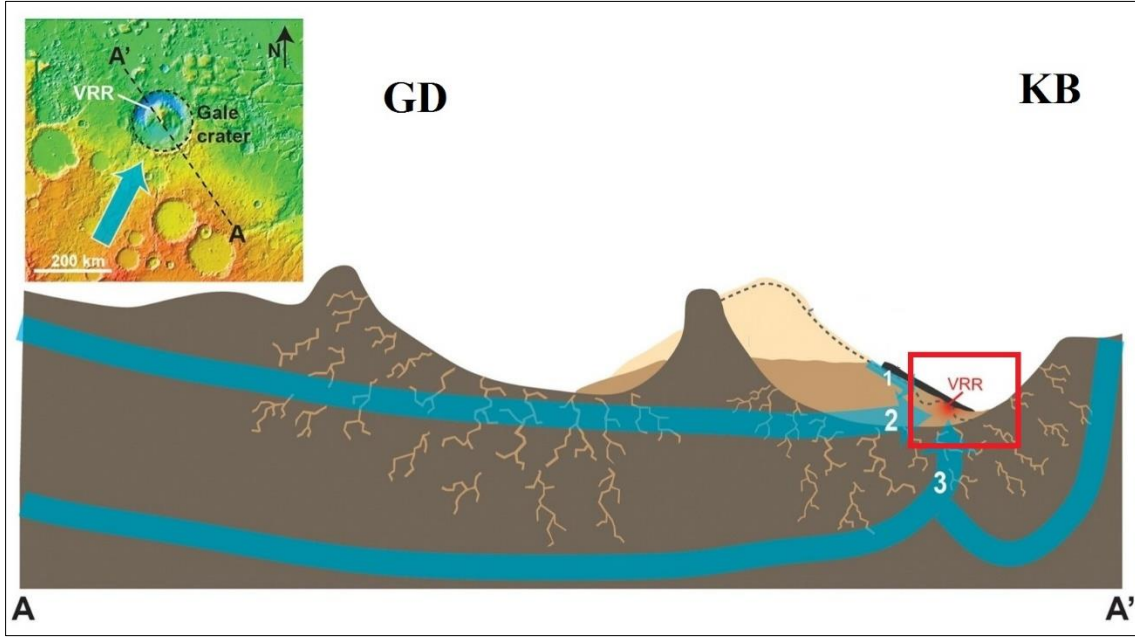


Şekil 2. İnceleme alanı jeolojik haritası (Tanaka vd., 2014)

Figure 2. Geological map of the study area (Tanaka et al., 2014)



Şekil 3. İnceleme alanının stratigrafik sütunu (Fraeman vd., 2020; Edgar vd., 2020)
Figure 3. Stratigraphic column of the study area (Fraeman et al., 2020; Edgar et al., 2020)



Şekil 4. Diyajenezine katkıda bulunmuş olası ana su yolları (Fraeman vd., 2020)

Figure 4. Possible major waterways that contributed to its diagenesis (Fraeman et al., 2020)

Materyal

Uzaktan algılama verisi olarak kullanılan CRISM algılayıcısı MRO uydusu üzerinde yer almaktadır (Murchie vd., 2007). Bu uydü 12.08.2005 tarihinde Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Cape Canaveral üssünden fırlatılmış olup 10.03.2006 tarihinde Mars yörüngesine girmiştir. Bu uydü üzerinde ayrıca 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 özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. MRO uydusunun algılayıcıları (NASA, 2022)

Table 1. The sensors of the MRO satellite (NASA, 2022)

Algılayıcılar	Özellikleri
CRISM	Bu algılayıcı, görüntülerin görünür ve yakın kızıl ötesi ışığını, Mars'ta bir futbol sahasından çok daha büyük olmayan yüzey alanlarında, özellikle su varlığında oluşmuş olmaları 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 nesnelere ve kanyonların, kraterlerin ve katmanlı tortuların 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 dikey sıcaklık, toz ve su buharı konsantrasyon değişikliklerini tespit eder.

Hem multispektral hem de hiperspektral olarak algılama yapan CRISM verisinin farklı yersel çözünürlüğe ve banda sahip farklı görüntüleme özellikleri mevcuttur (Çizelge 2).

Çalışmada seçilen FRT görüntüleme tipindeki CRISM verisi 0.36 ile 3.92 μm arasında 545 banda sahip olup hiperspektral görüntüleme yapmaktadır. Görünür yakın kızılötesinde (VNIR) 0.36 ile 1.02 μm arasında 107 bantta algılama yaparken kızılötesinde (IR) 1.02 ile 3.92 μm arasında 438 bantta algılama yapmaktadır (Murchie vd., 2016). Çalışma alanındaki CRISM verisine ait “**frt0000b6f1_07_if165s_trr3**” görüntüsü Planetary Data System’e (PDS) ait siteden temin edilmiştir.

Çizelge 2. CRISM verisinin algılama modları (Morgan vd., 2017)

Table 2. Detection modes of CRISM data (Morgan et al., 2017)

Görüntüleme Tipi	Yersel Çözünürlük (m/piksel)	VNIR Band Sayısı	IR Band Sayısı
MSP	~200	19	55
MSW	~100	19	55
HSP	~200	107	154
HSV	~200	107	N/A
MSV	~100	90	N/A
FRT	~20	107	438
HRL	~40	107	438
HRS	~40	107	438
ATO	~20x10	107	438
FRS	~20	107	438
ATU	~20x40	107	438

Yöntem

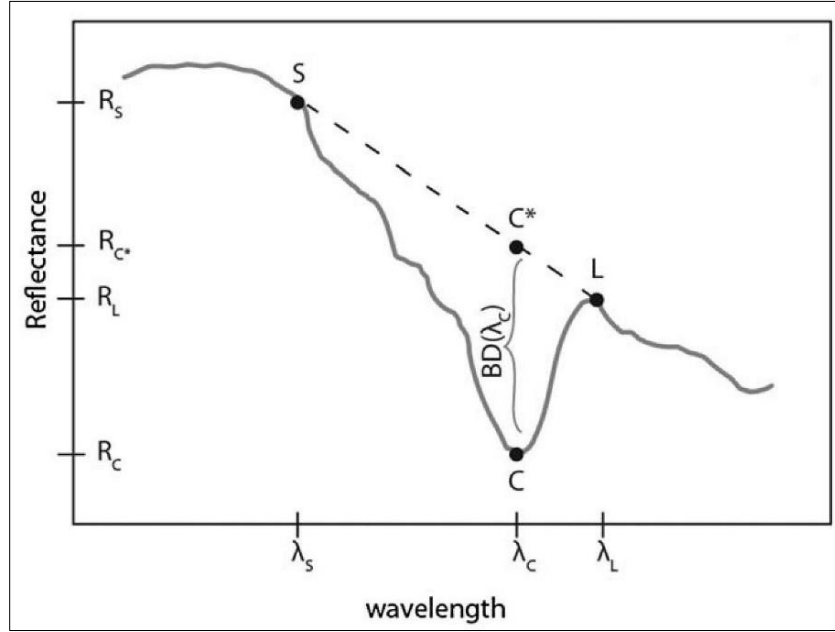
CRISM Analiz Yazılımı (CRISM Analysis Toolkit,CAT), CRISM algılayıcısından gelen verileri analiz etmek ve görüntülemek için IDL/ENVI programı üzerinde çalışan bir yazılım sistemidir. CAT, bir ENVI programı eklentisi olarak çalışır, bu nedenle ENVI' nin yerleşik görüntüleme ve spektral analiz araçları,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

kullanılabilir. (Morgan vd., 2017). CRISM verisi, CAT yazılımı kullanılarak aşağıdaki sıra ile analiz edilmiştir (Seelos vd., 2009).

- a) Fotometrik düzeltme
- b) Atmosferik düzeltme
- c) CRISM veri filtreleme / Çizgi düzeltme
- d) Geometrik düzeltme
- e) İndislerin hesaplanması

Fotometrik düzeltme, CRISM görüntüsünün, güneş geliş açısının kosinüsüne bölünmesi ile yapılır iken Atmosferik düzeltme, 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 dolayısıyla Mars'ın en yüksek dağının zirvesinden ve tabanından ölçülen spektrum farkı kullanılarak yapılır. Veri filtreleme ile görüntü üzerinde oluşan gürültü düzeltilirken, eksik piksellerin çevresindeki piksellerin ortalaması ile yeniden oluşturulması ise Çizgi düzeltme ile yapılmaktadır. Fotometrik, Atmosferik ve veri filtreleme/çizgi düzeltmesi yapılmış görüntülerin koordinatlı bir şekilde kullanılabilmesi için bir projeksiyon sistemine tanımlanması gerekmektedir. Bu düzeltme ise Geometrik düzeltme ile yapılmaktadır (Gurunadham vd., 2014; Arvidson, 2017).

Gerekli düzeltmeleri yapılmış CRISM verisi kullanılarak, düzeltmelerinde yapıldığı CAT yazılımı ile indisler hesaplanmıştır. Bu indislerin çoğunluğu Band Derinliğini (BD) hesaplayan indislerdir (Şekil 5, Çizelge 3). BD spektral verilerin parametrelendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (Clark ve Roush, 1984).



Şekil 5. Band derinliği (Viviano-Beck vd., 2014)

Figure 5. Band depth (Viviano-Beck et al., 2014)

Bant derinliği, Viviano-Beck vd.,'de (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 dalgoboyunun yansımaya değerini, R_S : λ_S dalgoboyunun yansımaya değerini ve R_L : λ_L dalgoboyunun yansımaya değerinin göstermektedir.

Çizelge 3. İndislere ait formüller ve açıklamaları (Viviano-Beck vd., 2014)
 Table 3. Formulas and explanations of indices (Viviano-Beck et al., 2014)

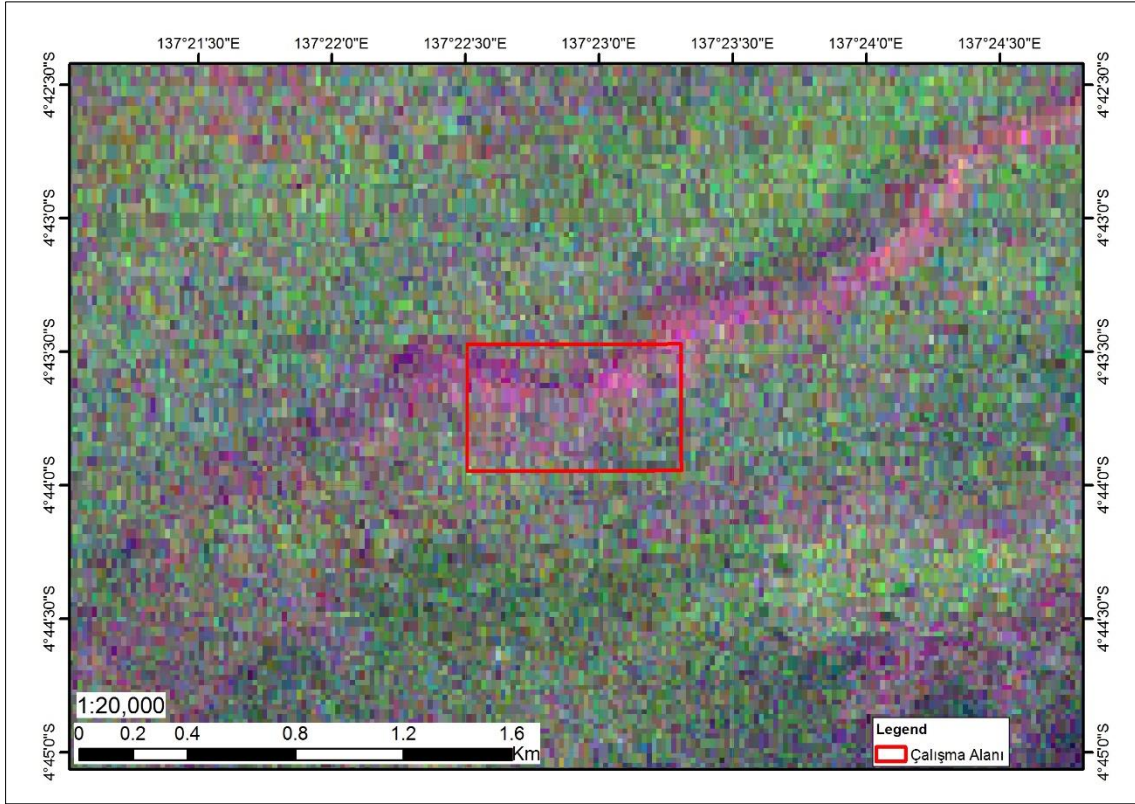
İndis	Formül	Açıklaması
BD530_2	$1-(R_{530}/(a * R_{614} + b * R_{440}))$	Daha yüksek değer daha ince taneli kristal hematit
BD640_2	$1-(R_{624}/(a * R_{600} + b * R_{760}))$	Demir mineralleri (özellikle maghemit)
BD860_2	$1-(R_{860}/(a * R_{755} + b * R_{977}))$	Kristalli demir mineralleri (özellikle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

BULGULAR

Çizelge 3’de verilen indislerden üretilmiş görüntü Şekil 6’da verilmektedir. Bu görüntü, demir mineralleri ile ilgili bilgileri gösterir ve demir ile ilgili görünür ve yakın kızılötesi dalga boylarındaki eğriliği temsil eder. Bu haritadaki eflatun/mor alanlar kristal formunda ferrik mineraller olarak tanımlanmaktadır.

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 6’da ferrik minerallerin en yoğun olduğu pikselin dalga boyu çıkarılarak “Continuum Removed” olarak gösterilmiştir (Şekil 7).

Bu yöntem dalgaboyunu, onu bir süreklilik eğrisi ile karşılaştırarak normalleştirir, böylece absorpsiyon özelliği 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).

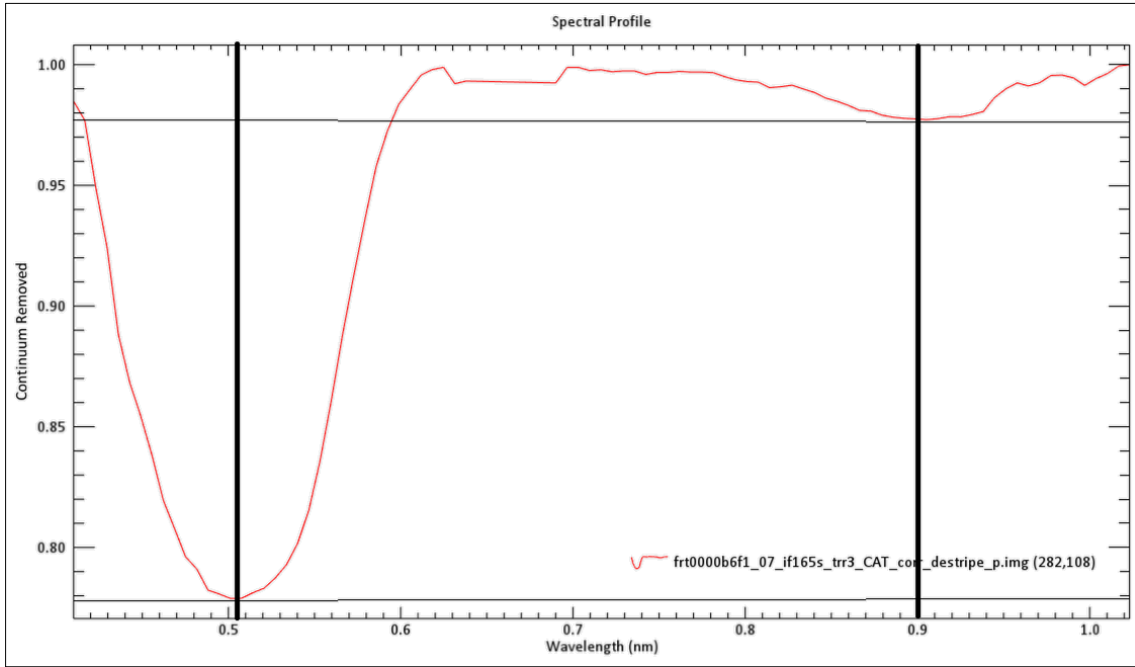


Şekil 6. Mineral indisleri uygulanmış harita (RGB: BD860_2, BD640_2, BD920_2)

Figure 6. Map with mineral indices applied (RGB: BD860_2, BD640_2, BD920_2)

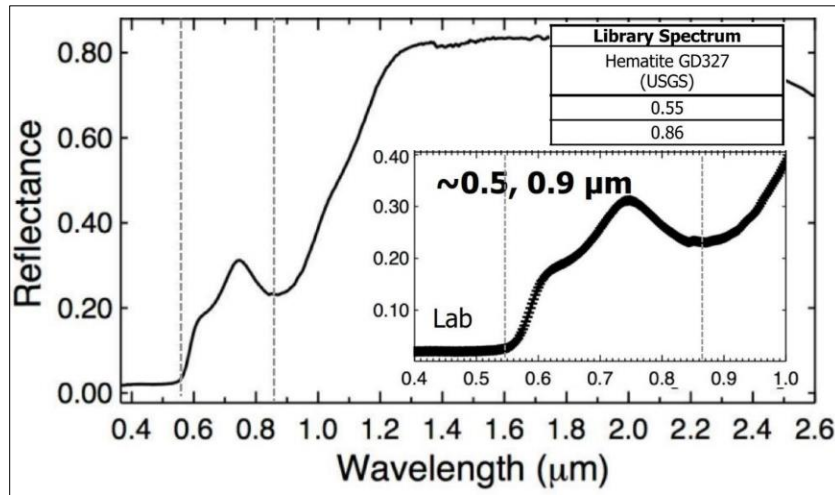
Şekil 7’de verilen dalgaboyu grafiğinde absorbe olduğu değere göre MICA arşivindeki mineraller ile karşılaştırmış ve bu mineralin hematit olduğu tespit edilmiştir. MICA arşivinde bulunan hematit mineraline ait dalgaboyu grafiği ve absorbe değerleri Şekil 8’de verilmektedir.

Mars'taki hematit, kristallerin yalnızca nanometre boyutunda olduğu, nanofaz biçimindeki tozlarda yaygın olarak bulunmaktadır. İnce taneli (kırmızı) ve iri taneli (gri) hematitte daha güçlü absorpsiyonlar meydana gelir ve demir nedeniyle yük transferinden ve kristal alan geçişlerinden 0,5 ve 0,9 µm civarında absorpsiyon özellikleri sergiler (The MICA Files, 2019).



Şekil 7. Piksel spektral grafiği (Continuum Removed)

Figure 7. Pixel spectral graph (Continuum Removed)

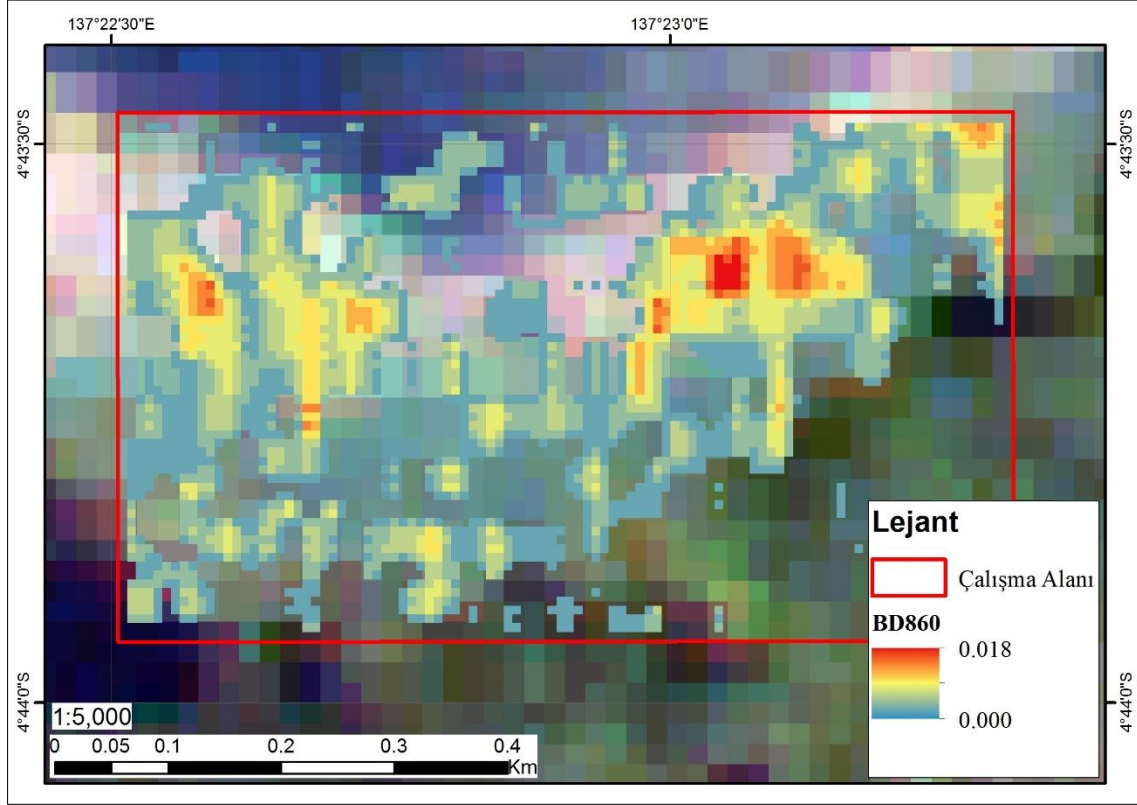


Şekil 8. Hematit minerali dalgaboyu (The MICA Files, 2019)

Figure 8. Hematite mineral wavelength (The MICA Files, 2019)

Özellikle hematit mineralinin yüksek absorbe olduğu 0.860 μm dalgaboyundaki bant derinliğini hesaplayan BD860 indisi Çizelge 3'de verilen formül yardımıyla, yaklaşık 20 m

yersel çözünürlüğe sahip olan CRISM verisinin her pikseli için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda çalışma alanında BD860 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 BD860 bant derinliği haritası Şekil 9'da verilmektedir.



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 vd., 2007). Şekil 9'da verilen BD860 hematit minerali dağılım haritası incelendiğinde özellikle çalışma alanının kuzey-batı ve kuzey-doğu bölgelerindeki hematitin diğer bölgelere göre daha bol olduğu görülmüştür.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Mars'ta kolonileşme çalışmalarına yön verebilecek en önemli ölçütlerden birisi de hammadde kaynaklarına olan mesafeleridir. 2012 yılında Mars yüzeyine indirilen, 899 kg ağırlığa sahip Curiosity aracını Mars'a taşıyan Atlas V 541 roketinin taban maliyeti 145 milyon \$'dır (Wikipedia, 2022). Bu da Mars'a 1 kg'lık bir maddenin taşıma maliyetinin yaklaşık 161000 \$ olduğunu göstermektedir. Bu maliyetin yüksekliği, barınma amaçlı yerleşim yerlerinin üretileceği hammaddeden günlük hayatta kullanılacak alet ve donanımların üretileceği hammaddeye kadar tüm bunların Mars'tan karşılanmasını zorunlu kılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada Gale krateri ve civarında 0.860 µm dalgaboyunda yüksek derecede absorbe olmasından kaynaklı olarak BD860 indisi yardımı ile hematit mineralizasyonu tespit edilmiş ve haritalanmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Mehmet Ali AKGÜL tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalında yürütülmekte olan "Astrojeoloji ve Gezegen Madenciliğinde Yersel Veriler Kullanılarak Uydu Verilerinin Hassasiyetinin Arttırılması" başlıklı Doktora Tezinden hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Arvidson, R., Morgan, F., Seelos, F., Seelos, K. 2017. Crism demonstration: Data access, processing, and analysis. Flagstaff, Arizona, ABD. 3rd Planetary Data Workshop.
- Clark, R. N., Roush, T. L., 1984. Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications, J. Geophys. Res., 89(B7), 6329, <https://doi:10.1029/JB089iB07p06329>.
- 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>.

- Fraeman, A. A., Edgar, L. A., Rampe, E. B., Thompson, L. M., Frydenvang, J., Fedo, C. M., et al., 2020. 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>.
- 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>.
- MTA, 2017. Dünyada ve Türkiye’de Demir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Eylül 2017.
- Murchie, S., ve ark., 2007. Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM) on Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), *J. Geophys. Res.*, 112, E05S03, <https://doi:10.1029/2006JE002682>.
- Murchie, S., Edward, G., ve Slavney, S., 2016. Mars Reconnaissance Orbiter CRISM Data Product Software Interface Specification, version 1.3.7.4.
- 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).
- NASA, 2022. <https://mars.nasa.gov/mro/mission/instruments/>, Erişim Tarihi:10.02.2022.
- Pelkey, S. M., ve ark., 2007. CRISM multispectral summary products: Parameterizing mineral diversity on Mars from reflectance, *J. Geophys. Res.*, 112, E08S14, <https://doi:10.1029/2006JE002831>.
- 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.
- 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>.
- 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.

- USGS, 2021, Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2021>.
- 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:10.1002/2014JE004627>.
- Wikipedia, 2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Atlas_V#Cost, Erişim Tarihi:11.02.2022.
- Wolfe, J. D., Black, S. R., 2018. Hyperspectral Analytics in ENVI: Target Detection and Spectral Mapping Methods. Harris Corporation, September 19, 2018 Edition.
- 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.