

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**MARS GEZEGENİ JEZERO KRATERİNİN MULTİSPEKTRAL VE
HİPERSPEKTRAL VERİLERİ KULLANILARAK MİNERALojİK
HARİTALANMASI**

Çilem ÇELİK

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**MARS GEZEGENİ JEZERO KRATERİNİN MULTİSPEKTRAL VE
HİPERSPEKTRAL VERİLERİ KULLANILARAK MİNERALojİK
HARİTALANMASI**

Çilem ÇELİK

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARS GEZEGENİ JEZERO KRATERİNİN MULTİSPEKTRAL VE
HİPERSPEKTRAL VERİLERİ KULLANILARAK MİNERALojİK
HARİTALANMASI**

Çilem ÇELİK
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARS GEZEĞENİ JEZERO KRATERİNİN MULTİSPEKTRAL VE
HİPERSPEKTRAL VERİLERİ KULLANILARAK MİNERALojİK
HARİTALANMASI**

Çilem ÇELİK
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 07 /07 /2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bekir Taner San (Danışman)

Prof. Dr. Hakan Ahmet Nefeslioğlu

Doç. Dr. Yasemin Leventeli

ÖZET

MARS GEZEĞENİ JEZERO KRATERİNİN MULTİSPEKTRAL VE HİPERSPEKTRAL VERİLERİ KULLANILARAK MİNERALOJİK HARİTALANMASI

Çilem ÇELİK

Yüksek Lisans Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Temmuz 2023 ; 46

Bu çalışmada, Mars gezegeni Isidis Planitia bölgesinde bulunan Jezero Kraterinin Mars yörüngesinde bulunan Mars Keşif Yörüngesi (MRO) üzerindeki Kompakt Keşif Görüntüleme Spektrometresi (CRİSM) enstrümanından elde edilen uzaktan algılama verileri ile mineralojik haritalaması yapılmıştır. Crism görünür – kısa dalga kızıl ötesi dalga boyu aralıklarını kapsayan hiperspektral bir uzaktan algılama algılayıcısıdır.

Bu tez çalışması kapsamında Jezero Kraterinin uzaktan algılama yöntemleri (bant oranlama, dekorelasyon germesi, temel bileşen analizi ile Crosta teknikleri) kullanılarak mineral haritalaması yapılması amaçlanmıştır. Çalışma alanında Ferrik oksit, magnetit, dolomit, hornblend, kuvars, piroksen olivin, magnezyum sülfat, götit, diaspor mineralleri haritalanmıştır. Çalışmada, mineral haritalama için atmosferik ve topografik koşulların etkisinin en aza indirgenmesi için bant oranlama tekniği seçilmiştir. Ayrıca Crosta tekniği ile aynı mineraller için haritalama yapılarak, iki teknik sonucu karşılaştırılmıştır. Bu analizlere ek olarak çeşitli bant kombinasyonlarına ilişkin dekorelasyon germesi işlemleri de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; görünür-kısa dalga kızılötesi dalga boyu aralığında multispektral ve hiperspektral veri setleri ile karasal gezegenler için mineral haritalama yapmanın mümkün olduğu anlaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Crism, Hiperspektral, Jezero Krateri, Mars Gezegeni,

JÜRİ: Prof. Dr. Bekir Taner San (Danışman)

Prof. Dr. Hakan Ahmet Nefeslioğlu

Doç. Dr. Yasemin Leventeli

ABSTRACT

MINERALOGICAL MAPPING OF THE MARS PLANET JEZERO CRATER USING MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL DATA

MSc Thesis in Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bekir Taner San

Temmuz, 2023; 46

In this study, mineralogical mapping of the crater of Jezero Crater located in the Isidis Planitia region of the planet Mars was performed with the remote sensing data obtained from the Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer (CRISM) instrument on the Mars Reconnaissance Orbiter (MRO). Crism is the hyperspectral remote sensing sensor covering the visible to short wave infrared wavelength ranges.

In this study, it is aimed to make mineral mapping of Jezero Crater using remote sensing methods (band proportioning, decorrelation stretching, principal component analysis and Crosta techniques). Ferric oxide, magnetite, dolomite, hornblende, quartz, pyroxene olivine, magnesium sulfate, goethite, diaspore minerals were mapped in the study area. In the study, band proportioning technique was chosen to minimize the effect of atmospheric and topographic conditions for mineral mapping. Furthermore, Crosta technique were utilized to detect the same minerals, then the results of two techniques were compared. In addition to these analyses, decoration stretching processes for various band combinations were also performed. The obtained results show that it is possible to make mineral mapping for terrestrial planets with multispectral and hyperspectral data sets in the visible-short wave infrared wavelength range.

KEYWORDS: Crism, Hiperspektral, Jezero Crater, Mars Planet,

COMMITTEE: Prof. Dr. Bekir Taner San (Danışman)

Prof. Dr. Hakan Ahmet Nefeslioğlu

Doç. Dr. Yasemin Leventeli

ÖNSÖZ

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında ‘Mars Gezegeni Jezero Kraterinin Multispektral ve Hiperspektral Veriler Kullanılarak Mineralojik Haritalanması’ başlığı ile yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

İnsanoğlunun yüz yıllardır büyük ilgi ve merakla: Dünya’ya benzer bir gezegenin varlığı hakkında arayışı, Dünya dışı yaşamın varlığının olup olmadığına dair sorguları ve bu araştırmaların tamamının bağlı olduğu jeoloji bilimi çok büyük önem arz etmektedir.

Çalışmanın konusu; Mars gezegeninde Jezero Krateri hakkında yapılan çalışmalar doğrultusunda bir yaşamın var olup olmadığını geçmiş yıllarda nasıl bir gezegen olduğu şuan ki haline geldiğinde hangi süreçlerden geçerek geldiğini, aynı zamanda gelecekte Mars gezegeninde insanoğlu için bir yaşam modelinin sağlanıp sağlanamayacağı, Mars gezegeninden yer alan mineral maden vb. gibi maddelerin varlığı ile katkı ile fayda sağlayabilmesi en önemlisi ülkemizin Dünya dışı yaşam ve tedarikler konuları hakkında ve çeşitli çalışmalarında da fayda sağlaması amacı yer almaktadır.

Bu çalışmada Mars gezegeninin hiperspektral veri setleri kullanılarak uzaktan algılama yöntem ve teknikleri ile litolojik haritalaması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda Jezero kraterinin bir bölümünü içine alan saha NASA’nın Orbital Data Crisim veri setleri kullanılmıştır. Mars gezegeninin ekvatorunun kuzeyinde yer alan Isidis Planitia adlı düz bir ovanın batı kenarında yaklaşık 45 km genişliğinde yer alan Jezero Kraterinin NASA Mars Orbital Data Crisim verilerine ait multispektral ve hiperspektral verileri kullanılarak mineralojik haritalanmasıdır.

Yüksek lisans eğitimine başladıktan sonra çalışmalarım için çeşitli metotlar yöntemler ve analizler ile uzaktan algılama alanında kendime ait verileri, analizleri, istatistikleri, bulguları üretebilmeyi öğreten, bilgi birikimleri ile ufkumu açan, yön veren, olumlu tavırları ile beni cesaretlendirip çalışmalarım farklı açılardan bakmamı sağlayan beraber çalışmaktan ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Bekir Taner San’a sonsuz teşekkür- lerimi sunuyorum.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini asla esirgemeyen, sürekli teşvik edip her koşulda yanımda olup beni bu yolda motive eden anneannem Emine Selvi, dedem Remzi Selvi ve her koşulda sabırla yanımda olan kıymetli annem Sayın Mali Müşavir Semra Selvi’ye, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKLİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
AKADEMİK BEYAN	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Çalışma Alanının Kapsamı	3
1.2.1. Mars Gezegeni	3
1.2.2. Jezero Krateri	7
2. KAYNAK TARAMASI	9
3. MATERYAL VE METOT	12
3.1. Materyal	12
3.2 Metot	13
3.2.1. Bant Oranlama	16
3.2.2. Dekorelasyon Germesi	21
3.2.3. Temel Bileşen Analizi.....	21
4. BULGULAR.....	22
5. TARTIŞMA	40
6. SONUÇLAR	42
7. KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Mars Gezegeni Jezero Kraterinin Multispektral ve Hiperspektral Verileri Kullanılarak Mineralojik Haritalanması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

07 /07/2023

Çilem ÇELİK



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

% : Yüzde

km : Kilometre

km² : Kilometrekare

m : Metre

μ : Mikron

μm: Mikrometre

Kısaltmalar

ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CRISM: Kompakt Keşif Görüntüleme Spektrometresi

ESA : Avrupa Uzay Ajansı

MRO : Mars Keşif Yörüngesi

NASA: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi

ODE: Mars Yörünge Veri Gezgini

RGB : Kırmızı, yeşil, mavi

SAM : Spektral Açık Haritalayıcı (Spectral Angle Mapper

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yaşadığımız solar sistemde Mars gezegeni ve Dünyamızın konumlarının gösterildiği resim (NASA SOLAR SYSTEM, 2023).	3
Şekil 1.2. Mars gezegenin genelleştirilmiş jeolojik haritası 1:140.000.000 (P. Zasada, 2013; Celik, 2020 tarafından Türkçe çevirisi yapılmıştır).	6
Şekil 1.3. Mars Global Surveyor'ın Mars Orbiter Lazer Altimetresinden (MOLA) topografik ve altimetrik verileri kullanılarak hazırlanmış topografik harita üzerinde Isidis Platia'nın kuzey batısında yıldız işareti ile gösterilmiş olan çalışma alanı Jezero Krateri yer almaktadır (L. Mandon vd. 2020; https://sciesa.int/web/mars-express/-/the-topography-of-nili-fossae).....	7
Şekil 1.4. Jezero Kraterinin topografik haritası (ESA,2021).....	8
Şekil 2.1. NASA Mars 2020 görevinin iniş alanındaki Jezero Kraterinin bu görüntüsündeki mineralleri vurgulamak için renklendirilmiştir. Yeşil renk, özellikle dünyadaki fosilleşmiş yaşamı korumada iyi olan karbonat minerallerini temsil etmektedir (Hogar, 2020).	11
Şekil 3.1. Crism Enstrümanı(http://crism.jhuapl.edu/instrument/design/overview.php)	13
Şekil 3.2. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen akış şeması.	14
Şekil 3.3. HRL000040FF_07_IF183L_TRR3 verisinin görüntüsü.	15
Şekil 3.4. Crism spektral kütüphanesinden alınan piroksen mineralinin spektral yansıma grafiği.	16
Şekil 3.5. Crism spektral kütüphanesinden alınan olivin mineralinin spektral yansıma grafiği.	16
Şekil 3.6. Crism spektral kütüphanesinden alınan diaspor mineralinin spektral yansıma grafiği.	17
Şekil 3.7. Crism spektral kütüphanesinden alınan klinopiroksen mineralinin spektral yansıma grafiği.....	17
Şekil 3.8. Crism spektral kütüphanesinden alınan götit mineralinin spektral yansıma grafiği.	18
Şekil 3.9. Crism spektral kütüphanesinden alınan ferrikoksit mineralinin spektral yansıma grafiği.....	18
Şekil 3.11. Crism spektral kütüphanesinden alınan hornblend mineralinin spektral yansıma grafiği.....	19
Şekil 3.12. Crism spektral kütüphanesinden alınan kuvars mineralinin spektral yansıma grafiği.	19

Şekil 4.1. Piroksen mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış piroksen mineral haritası(b).....	22
Şekil 4.3. Diaspor mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış diaspor mineral haritası(b).....	24
Şekil 4.4. Klinopiroksen mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış klinopiroksen mineral haritası(b).....	25
Şekil 4.5. Götit mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisine uygulanması bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış götit mineral haritası(b).	26
Şekil 4.6. Ferrikoksit mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış ferrikoksit mineral haritası(b).....	27
Şekil 4.7. Hornblend mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış hornblend mineral haritası(b).	28
Şekil 4.8. Dolomit mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış dolomit mineral haritası(b).	29
Şekil 4.9. Kuvars mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış kuvars mineral haritası(b).	30
Şekil 4.10 Magnetit mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış magnetit mineral haritası(b).....	31
Şekil 4.11. Demir oksit mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış demir oksit mineral haritası(b).	32
Şekil 4.12. "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisi kil mineralinin haritası. Siyah beyaz renkli görüntüde açık renkli parlak gözüken yerler ve renklendirilmiş pembe renkli görüntüde yine kil mineralleri gösterilmiştir.....	33
Şekil 4.13. "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisinde dekorelasyon gemesi yöntemi ile mineralojik haritalanması.....	34
Şekil 4.14. Crisim Spektral kütüphanesinden olivin mineralinin spektral yansıma grafiği.	35

Şekil 4.15. “HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3” verisi açık gri beyazımsı renkle parlak gözüken alanalar olivin mineralini göstermektedir..... 36

Şekil 4.16. Crisim Spektral kütüphanesinden magnezyum sülfat mineralinin spektral yansıma grafiği..... 37

Şekil 4.17.“HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3” verisi açık gri beyazımsı renkle parlak gözüken alanalar magnezyum sülfat mineralini göstermektedir..... 38

Şekil 4.18. Crosta tekniği kullanılarak üretilmiş 1,13 um, 2,99 um, 2,12 um, 1,83 um dalga boylarına ait sPCA görüntüsü (RGB: PC2, PC3, PC4)(I), bant oranlama sonucunda elde edilmiş veriler (II); magnetit (a), ferrikoksit (b), hornblend (c) ve kuvars (d). 39



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Mars'ın büyük dönemlerinde oluşan jeolojik özelliklerini, süreçlerini kronolojik olarak gösteren kolon kesiti (Scott ve Tanaka 1986; Head, 2001; Celik, 2020).....	5
Çizelge 3.1. MRO Crism Gözlem Modları (MRO Crism, 2022).....	12
Çizelge 3.2. Bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanarak mineralojik haritalar elde dirmiştir. Değerler μm 'dir.....	20



1. GİRİŞ

Gezegen jeolojisi çalışmalarının temel prensibi uzaktan algılama yöntemidir. İnsanoğlunun yüzyıllardır uzayın herhangi bir yerinde kendisinden başka bir canlının ya da başka bir dünyanın varlığı konusunda merakı ve araştırma duygusu uzaktan algılama yönteminde ve farklı gezegenlerde yeni keşiflere sebep olmuştur. Yaşadığımız gezegende foto jeoloji ile başlayan ilk jeolojik uzaktan algılama çalışmalarının ardından gelişen teknoloji ile astrojeoloji, gezegen jeolojisi gibi alanlara dağılarak ilerlemeye devam etmektedir. 1953'te Ay için geliştirilen sonda ile birçok çalışma Dünyamızın Ayı için başlamış ve günümüzde hala devam etmektedir. Ay çalışmalarıyla beraber Dünya'ya ve Güneşe yakınlığı açısından Mars gezegeni dikkat çekmiş ve Dünya'ya benzerliği ile Mars gezegenine çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Kızıl gezegenin yapısı ve geçmişi incelendikçe dünyamızın geçmişine dair soru işaretlerinin çözümüne katkı sağlamıştır. Sadece geçmişi değil, aynı zamanda dünyaya alternatif bir yaşam alanı olabilme potansiyeli nedeniyle de tüm insanların ilgisini çekmiştir.

3,9 milyar yıl önce olduğu gibi eski Mars'ı gözlemliyor olabilseydik yüzeyinde Dünya'ya benzer göllerin, nehirlerin, deltaların hatta okyanusların varlığından haberdar olunabileceğinden birçok araştırmada bahsedilmektedir.

Mars gezegenin geçmiş zamanalar da Dünya'ya benzer atmosferik ve iklimsel koşullar ile yaşamın ve canlı varlıkların olduğu hakkında teoriler ve bilimsel veriler yer almaktadır. Gezegenin zamanla atmosferini ve suyunun çoğunu kaybederek bugün bulunduğu kuru, soğuk ve yaşanmaz yer haline geldiği söylenmektedir

Gezegen jeolojisi araştırmalarında, Dünya dışında farklı gezegenlerde yaşam, ham madde, kaynak ve gelişim arayışlarında uzaktan algılama yöntemi temel prensip haline gelmiştir. Uzaktan algılama yöntemi ile yapılan bu çalışma Mars gezegenin yüzeyinden hiçbir temas gerektirmeksizin gezegenin yörüngesine yerleştirilen uydunun üzerinde bulunan enstrümanlar aracılığıyla çeşitli veriler toplanarak incelenmesi ve işlenmesiyle elde edilmiştir. Dünya dışında yaşam arayışı ile günümüz teknolojisinin de hızlı ilerlemesi uzaktan algılama alanında çalışmaların dünyamızda yapılan uzaktan algılama çalışmalarının ötesinde çok ileri seviyelere gitmiştir. Gezegenlerin yörüngelerine çeşitli uydular, sondalar ya da gezegenlerin yer yüzeyine çeşitli gezici araçlar bırakılarak bu araçların üzerindeki enstrümanların kaydettiği verilerin içerikleri ve genişliği oldukça ileri seviyelere gelmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa, Çin, Hindistan gibi birçok ülke ve kurumların tek başına veya ortak çalışmaları ile başka gezegenlerde canlı yaşam formları, geçmiş zamanlarda var olmuş ve olma ihtimali olan yaşam belirtileri dâhil, su kaynakları, madenler veya mineraller gibi çeşitli kaynaklar için çalışmalarını devam ettirmektedirler.

Bu tez çalışmasında; Mars gezegeninde bulunan Jezero Kraterinin uydu görüntüleri ile mineralojik haritalamasının yapılması düşünülmektedir. İleri bölümde detayları verilecek çalışma bölümden oluşmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı: Mars gezegeni Jezero Kraterinde bulunan minerallerin tespiti ve haritalanması yapılarak, gezegenin ve kraterin jeolojik geçmişi hakkında fikir sahibi olabilmektir.

Mars güneş sistemimizde güneşe ve dünyaya yakınlığı ile en çok keşfedilmeye çalışılmış gezegendir. Özellikle dünyaya yakın olan konumu ile eski çağlardan bu zamana insanoğlunun en çok dikkatini çeken gezegendir.

Marsın incelenmesi ve bilgi elde edilmesinde en etkin yol uzaktan algılama yöntemleri olmuştur. Elde edilen veriler ışığında kızıl gezegenin incelenmesinde en önemli bölgenin ise Jezero krateri civarı olduğu ortaya çıkmıştır.

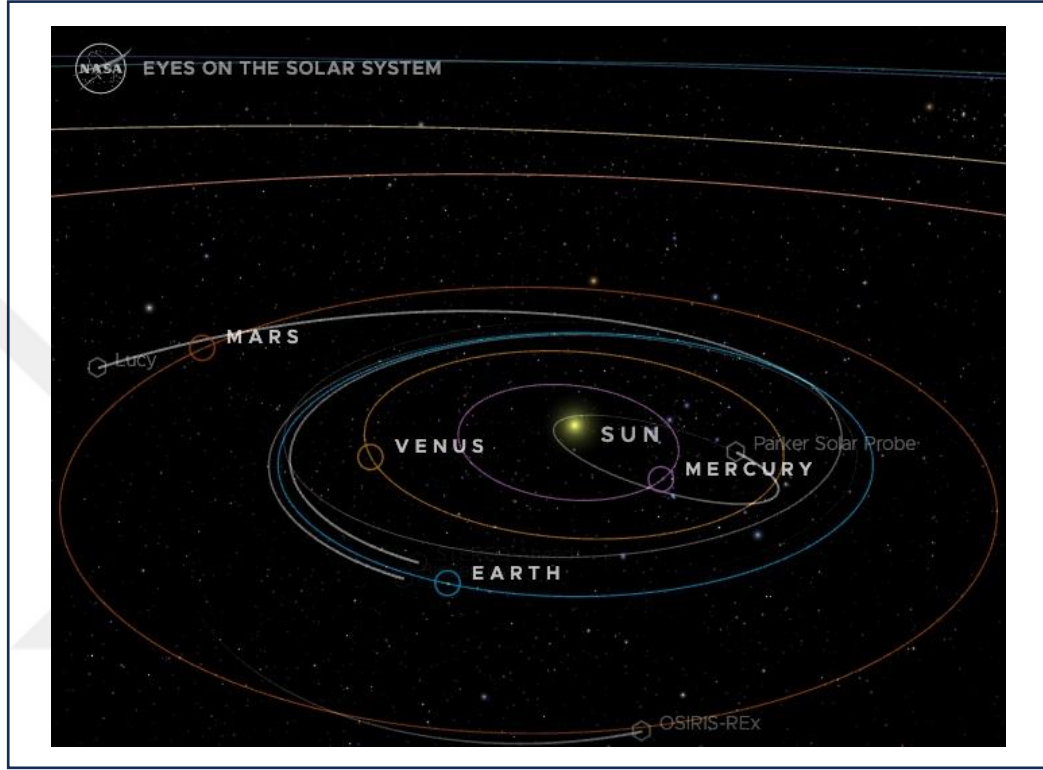
Nasa tarafından 2006 yılında göreve başlamış ve hala çalışmaları devam eden Mars Reconnaissance Orbiter yani Mars Keşif Yörüngesi aracı kullanılmıştır. 17 yıl boyunca görev yapan ve Mars gezegeninin mineral haritalarının çıkarılması için kullanılan Crism enstrümanının kaydettiği veriler kullanılmıştır. Bu verilerin elde edilmesi ve elde edilen verilerin işlenmesiyle bu çalışma yürütülmüştür.

Çalışma kapsamında multispektral ve hiperspektral veriler elde edilmiş daha sonra bu veriler çeşitli uzaktan algılama teknikleri ile işlenmiş ve yorumlanmıştır. Bu çalışmada; bant oranlama, dekorelasyon girmesi, temel bileşenler analizi, kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma, spektral açı haritalanması teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen veriler bu teknikler yardımıyla işlenerek Jezero Kraterinin mineral haritası çıkarılmıştır. Elde edildikten sonra işlenen veriler ışığında, Jezero Kraterinin su ve mineral açısından en önemli yeri olarak bahsedilen geçmişten günümüze gelişen mineralojisi hakkında incelemeler yapılmış ve yorumlanmıştır.

1.2. Çalışma Alanın Kapsamı

1.2.1. Mars Gezegeni

Mars gezeni içerisinde bulunduğumuz solar sisteminin güneşine en yakın 4. Gezegen olarak yer almaktadır. Mars gezegenin solar sistemde konumu Şekil 1.1. (NASA SOLAR SYSTEM, 2023)



Şekil 1.1. Yaşadığımız solar sistemde Mars gezegeni ve Dünyamızın konumlarının gösterildiği resim (NASA SOLAR SYSTEM, 2023).

3390 kilometre yarıçapıyla Mars, Dünya'nın yaklaşık yarısı kadardır. Yaklaşık 228 milyon kilometre mesafeden Mars, Güneş'ten 1,5 astronomik birim uzaklıktadır. Bir astronomik birim AU olarak kısaltılır, Güneş'ten Dünya'ya olan mesafedir.

Mars gezegeninin çoğunlukla karbondioksit, azot ve argon gazlarından oluşan ince bir atmosfere sahip olduğu NASA tarafından keşfedilmiştir. Gözlemlerine göre, Mars gezegenin atmosferinin göktaşları, asteroidler ve kuyruklu yıldızlar gibi nesnelerden fazla koruyamayacak kadar ince olduğundan bahsedilmiştir.

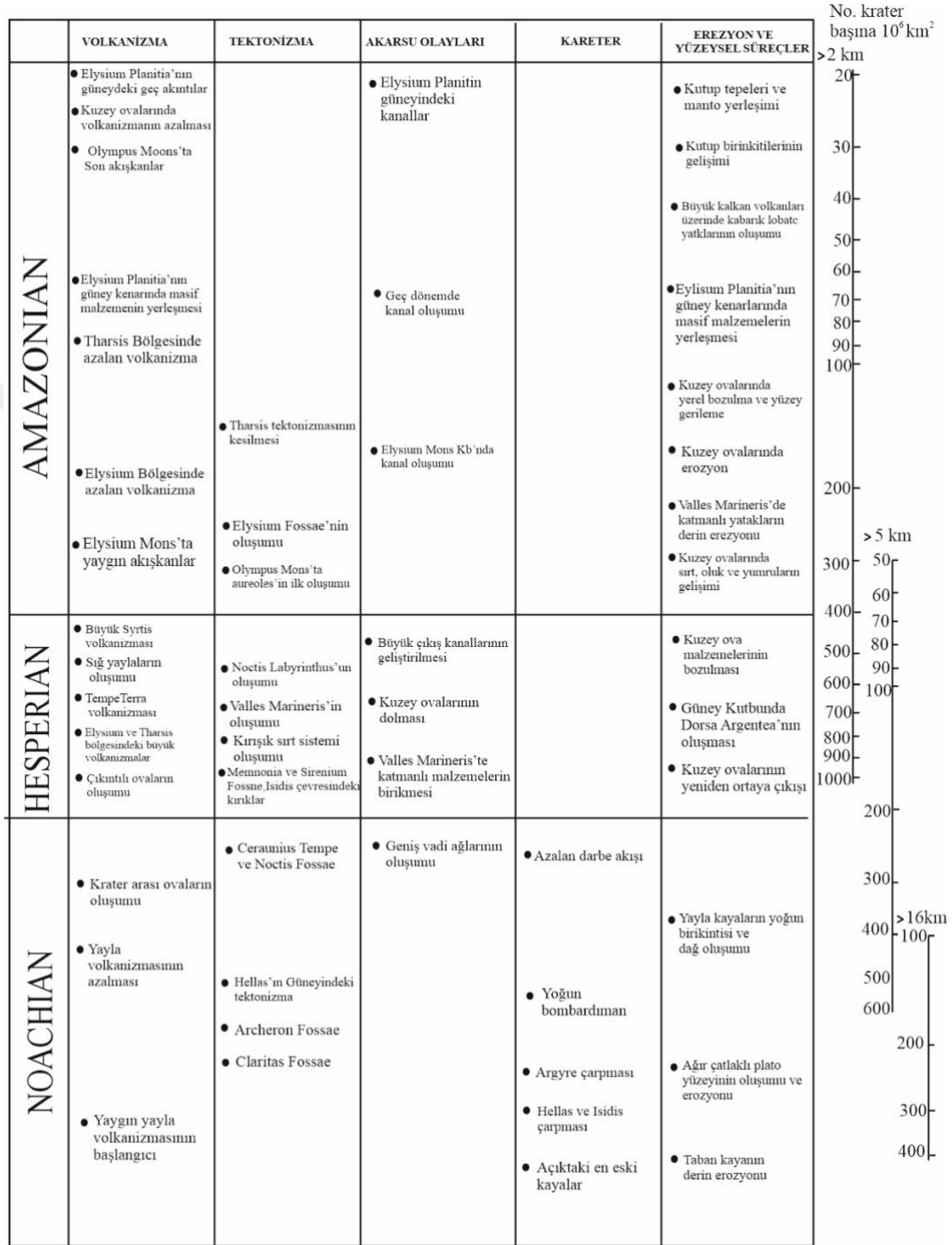
NASA'nın bu zamana kadar yaptığı çalışmalar sonucunda; Mars gezegeninin eski nehir vadisi ağları, yüzeyde yalnızca sıvı suda oluşabilecek kayalar ve minerallerle gezegenin sulu bir geçmişe sahip olduğu aynı zamanda deltalar ve göl yataklarının bulunduğu bahsedilmektedir. Bugün Mars'taki su, kutup bölgelerinde yüzeyin hemen altında su buzı şeklinde ve mevsimsel olarak bazı yamaçlardan ve krater duvarlarından aşağı akan tuzlu suda bulunmuştur.

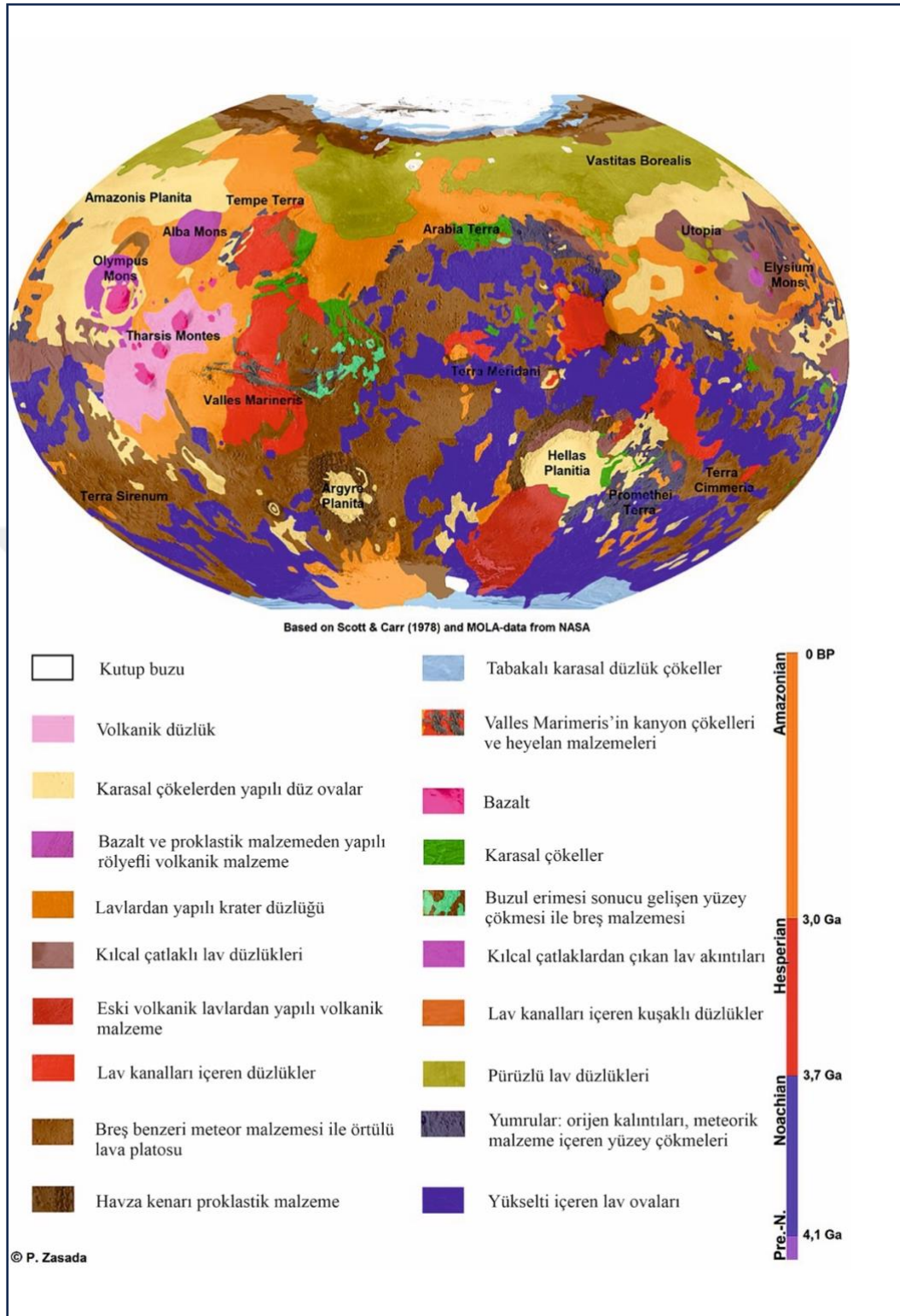
Mars gezegenin içyapısı hakkında; çekirdeğin kısmen veya tamamen sıvı olduğunun ve çekirdek ile manto arasında konvektif hareket olduğundan bahsedilmektedir. Günümüzde gezegene bakıldığından konvektif akımın olmadığı ve manyetik alanın kaybettiği gözlemlenmektedir.

Mars gezegenin içyapısı hakkında geçmişe dayalı üç farklı teori ortaya atılmıştır. Bunlardan ilki kükürt bakımından zengin bir çekirdek yapısı ile Mars gezegenin konvektif hareketi oluşturan tamamen sıvı bir çekirdek modeli olarak bahsedilmektedir. Bu teoride gezegenin kabuğundaki levhaların herhangi bir harekete sahip olmadığı ve bu sebeple plaka tektoniği olmadığından bahsedilmektedir. İkinci teoride ise kükürtçe fakir bir çekirdeğe sahip, kabuk olarak tek bir plakadan oluşan ve konvektif hareketi olan bir mantodan bahsedilmektedir. Üçüncü modelde ise; yaşadığımız Dünya'ya benzeyen bir içyapıya ve mantoya sahip olduğu, hareketli bir plakaya sahip olduğundan bahsedilmektedir (SEIS INSIGHT, 2017).

Geçmişte yapılmış çalışmalara bakıldığında; Mars gezegenin jeolojik olarak yaşlandırması üst-üstelik prensibi kullanılarak gezegenin yüzeyinden başlayarak çarpışma kraterlerinin tabanına doğru inceleme yapılarak verilerek göreceli yaşlandırma yapılmıştır (Şekil 1.2). Mars gezegenin göreceli jeolojik yaşlandırılmasına göre bu birimlere verilen adlar; Noachian, Hesperian ve Amazonian olarak söylenmiştir. Tayin edilen yaşlandırma yöntemi ile bu birimlere karşılık gelen sistemleri, sistemlere karşılık olarak alt gruplara ayrılacak şekilde belirlenmiştir. Göreceli yaşlandırmada kullanılan üst üstelik jeolojik temel ilkesiyle bu çarpışma kraterlerinin birbiri arasında kalibre edilerek yapılmaktadır. Bu yaş tayinlerinin hesaplaması şu şekilde gerçekleştirilmiştir. Amazon-Hesperian sınırını 1,8–3,5 milyar yıl arasında ve Hesperian-Noachian sınırını 3,5- 3,8 milyar yıl arasında yerleştirilmiştir (Tanaka ve diğerleri, 1992; Neukum ve Wise, 1976; Hartman, 1978; Hartman ve diğerleri, 1981 Neukum ve Hiller, 1981). Çalışmalar ile şu şekilde bir tartışma ortaya atılmıştır; Hartman ve Neukum, 2001'e göre ana dönemler ve bu dönemler arasındaki bölünmeleri genellikle önceki literatürün önerdiği aralıklar içine yerleştirilerek yapılmaktadır, ancak yaş kısıtlamalarını sıkılaştırılarak bu sorunu yeniden gözden geçirmişlerdir (Head, 2001). Noachian dönemi (Noachis Terra'dan sonra adlandırılmaktadır): Mars'ın en eski yüzeylerinin oluşumu, 4,5 ila 3,5 milyar yıl öncedir. Noachian yaşlı yüzeylerin birçok büyük darbe kraterleri tarafından yer almaktadır. Tharsis bölgesi çıkıntı şeklinde, geç, dönemde su ile veya sel suları ile bu dönemde oluştuğu düşünülmektedir. Hesperian dönemi (Hesperia Planum adını almış olan): 3.5 ila 3,3 milyar yıl önce olarak yaşlandırılmıştır. Hesperian dönemi ise geniş lav ovalarının ile Amazon döneminde (Amazonis Planitia adı ile yer almaktadır): 3,3 ve 2,9 milyar yıl önceden bahsedilmektedir. Amazon bölgeleri bir kaç, göktaş etkisi ile kraterlerin oluşumu var olmakla beraber çok çeşitli olduğu söylenmektedir. Olympus Mons ise bu dönemde, Mars'ın başka bir yerinde lav akımları ile oluşmuştur (Çizelge 1.1; Scott ve Tanaka 1986; Head, 2001; Celik, 2020 tarafından Türkçeye çevrilmiştir).

Çizelge 1.1. Mars'ın büyük dönemlerinde oluşan jeolojik özelliklerini, süreçlerini kronolojik olarak gösteren kolon kesiti (Scott ve Tanaka 1986; Head, 2001; Celik, 2020 tarafından Türkçeye çevrilmiştir).

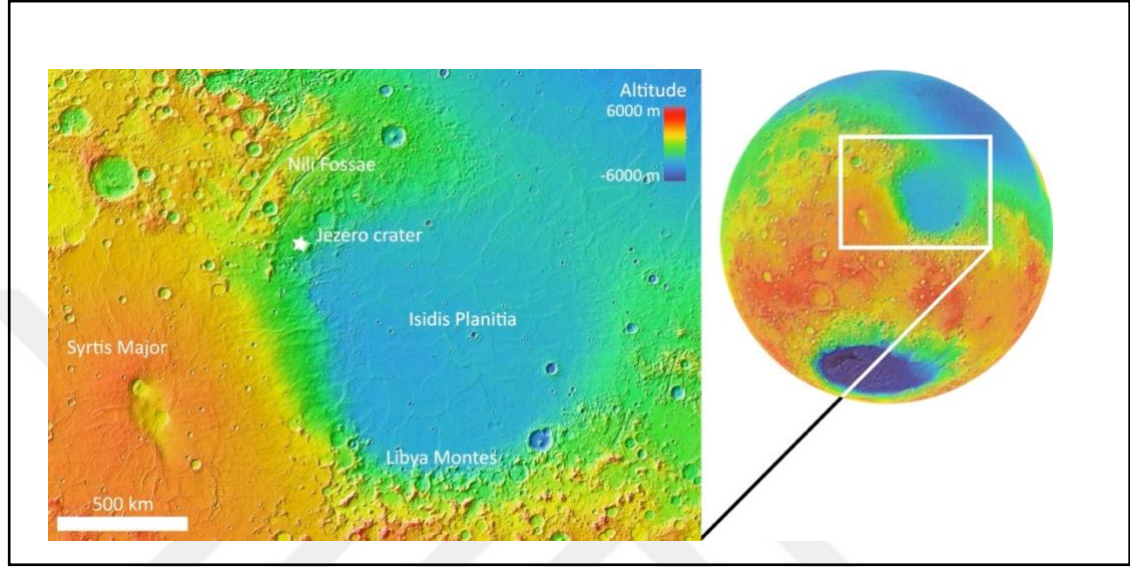




Şekil 1.2. Mars gezegenin genelleştirilmiş jeolojik haritası 1:140.000.000 (P. Zasada, 2013; Celik, 2020 tarafından Türkçe çevirisi yapılmıştır).

1.2.1. Jezero Krateri

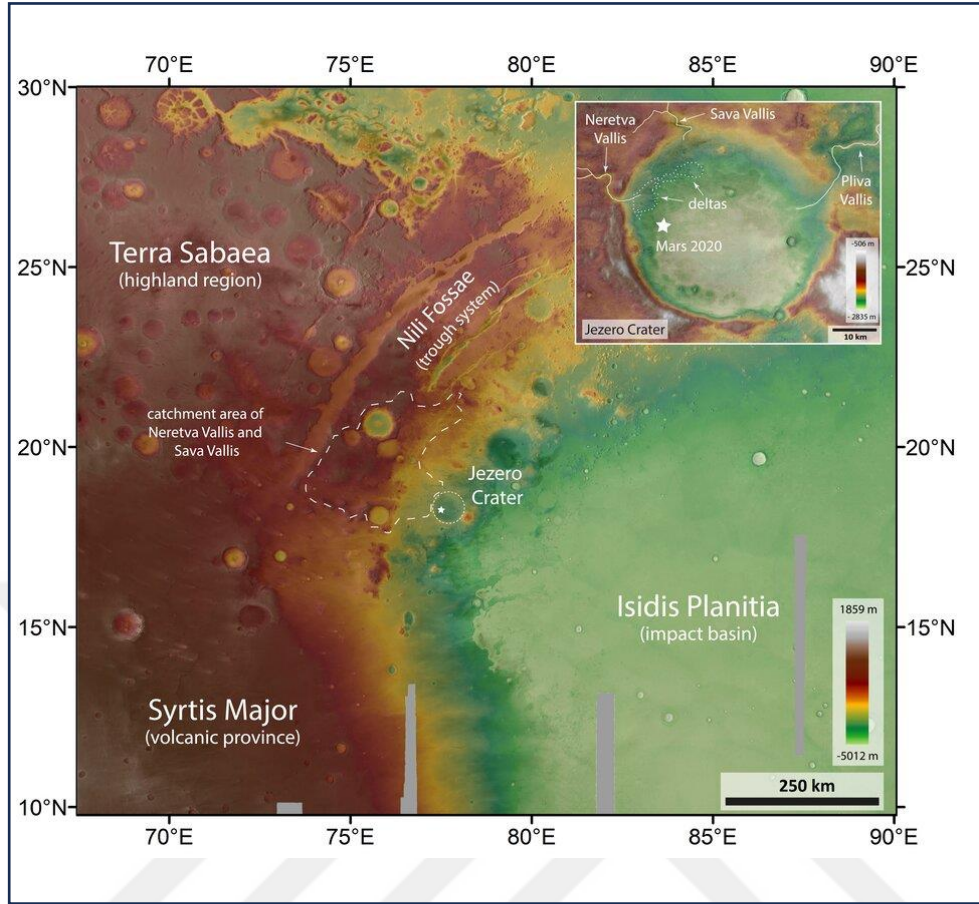
Mars gezegeninin en ilgi çekici alanı olan Jezero krateridir (Şekil 1.3). Jezero Krateri yaklaşık 1000km çapında olup, Mars yüzeyine göre 6 km derinliğe kadar uzanmaktadır. Jezero Krateri 45 kilometre genişliğinde olduğu gözlemlenmiştir. Mars gezegenin Kuzeyinde yer almaktadır. Isidis Planitia isimine sahip düz bir ovanın batı kenarında yer almaktadır.



Şekil 1.3. Mars Global Surveyor'ın Mars Orbiter Lazer Altimetresinden (MOLA) topografik ve altimetrik verileri kullanılarak hazırlanmış topografik harita üzerinde Isidis Platia'nın kuzey batısında yıldız işareti ile gösterilmiş olan çalışma alanı Jezero Krateri yer almaktadır (Mandon vd. 2020; <https://sci.esa.int/web/mars-express/-/the-topography-of-nili-fossae>)

Jezero krateri, Mars'ın Isidis Planitia bölgesinde, eski bir göktaşı etkisinde yaklaşık 1200 kilometre çapında büyük bir kraterin arkasında kaldığı bölgede yer almaktadır. Bölgeye göktaşının çarpa etkisi ile kraterin tabanındaki kayayı tamamen değiştirdiğini ve bu çarpmaya ise Isidis etkisi olarak bahsedilmektedir. Havza içerisinde tekrar başka bir göktaşının çarpası ile Jezero kraterinin oluştuğu söylenmektedir. Çarpışma etkisi ile Jezero kraterin birçok yaşama neden olabilecek jeolojik etkilere sahip olabildiği hakkın da çeşitli teoriler ortaya atılmıştır.

Göktaşının Mars'a çarparak Jezero Kraterini oluşturduktan sonra kraterin suyla bir şekilde dolduğu birçok uzaktan algılama yöntemi ile ispatlanmış ve konu hakkında birçok yayında yer almıştır. Günümüz de baktığımızda ise kraterin üzerinde su olmadığı ancak yüzeyinde bulunan izlerin ise bir zamanlar neler olduğunu anlatmaya yardımcı yer şekillerinden ve çalışılan birçok çeşitli metotlar ile teoriler yer almaktadır.



Şekil 1.4. Jezero Kraterinin topografik haritası (ESA,2021)

Jezero krateri, yaklaşık 4,1–3,7 milyar yıl öncesine ait kayaların hala bulunabildiği antik yayla bölgesi Terra Sabaea ile 3,9 milyar yıllık Isidis çarpma havzası arasındaki sınırda yer almaktadır. Isidis havzasının kenarının kavisli şeklini kabaca izleyen Nili Fossae graben sistemi, tektonik kırıkların bir sonucu olarak çarpma olayıyla oluşmuştur. Isidis Planitia (ovalar) çok daha genç tortulardan oluşur ve yaklaşık 3,7-3 milyar yıl önce Marslı ‘Orta Çağ’da oluşmuş ve günümüze kadar değiştirilmiştir. Jezero Kraterinin güneybatısında, lavın yaklaşık 3,7-3 milyar yıl önce aktığı Syrtis Majörün volkanik bölgesi yer almaktadır(Şekil 1.4.).

Volkanik mineraller, karbonatlar ve kil mineralleri hem deltada hem de kraterin başka yerlerinde gözlenmektedir. Bazı karbonatların (kireçtaşlarının) doğrudan gölde oluştuğu düşünülmektedir. Bu tür göl karbonatları ve özellikle kil mineralleri tatlı su koşullarını gösterir ve yaşam izlerini koruma potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, demir oksit, amorf silikon oksitler ve hidroksitler içeren sülfatlar gibi başka mineral türleri de gözlenmiştir; Bunlar yavaş yavaş kuruyan asitli sularda oluşma eğiliminde olan minerallerdir. Bu mineraller; Jezero Kraterindeki çevresel koşulların etkisi ile daha kuru ve yaşama daha az elverişli hale geldiğini göstermektedir.

2. KAYNAK TARAMASI

Nesneleri uzaktan gözlemlemek amacı yeni icat edilen fotoğraf makineleri ile 1840'lı yıllarda başlamış ve günümüze geldiğimizde Dünya dışı yaşam ve alanları keşfetmek bulmak amacına kadar uzanmaktadır. Bulunduğumuz yer küre dışından çeşitli alanlarda ileri seviyede gelişen uzaktan algılama yöntemleri birçok devlet kurumları, uzay ajansları, uluslararası birleştirilmiş ekiplere kadar dayanmaktadır.

Jeolojik uzaktan algılama için literatürde çeşitli yöntemler yer almaktadır. Bu yöntemler: Bant oranlama yöntemi yani bant kombinasyonu; birden fazla bantları birbirine oranlayarak elde edilen veri analizleridir.

1959 yılında Arthur Samuel tarafından icat edilen Makine öğrenme hakkında 'bilgisayarlara açık programlamada öğrenme yeteneği verdik' şeklinde söylemiştir. Uzaktan algılama çalışmalarında özellikle son 10 yılda hızla bir gelişme yaşanan birçok teknikte yer almaktadır. Bu tekniklerde jeolojik uzaktan algılamada SVM olarak adlandırılan destek vektör makinası, ML maksimum olasılık gibi uygulamalar ile yer almaktadır.

Dekorelasyon gemesi algoritmik yöntemde seçilen verilerin kırmızı, mavi, yeşil bileşenli kanallara atanması yardımıyla en kısa dalga boyundan en uzun dalga boyuna kadar görünür bit spektrum aralığında işlenmesidir (Alley, 1996).

Temel bileşen analizi (PCA) olarak adlandırılan çalışmalarda oldukça etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu görüntü işleme tekniğinde asıl olan verinin herhangi bir ön analizlere gerek duyulmadan direk PCA yapılarak elde edilebilmesidir.

PCA yani temel bileşen analizi yönteminin tamamen değiştirilmiş tekniği ise MNF yani minimum gürültü fraksiyonu olarak adlandırılmıştır. MNF tekniği minimum kovaryans matrisinin türetilip onun ardından tüm grupların yansıma verilerinin birim varyansının gürültüyü yeniden ölçeklendirilmesiyle yapılmaktadır (San,2008).

Aster verilerini kullanarak Othman ve Gloaguen (2017) Kuzeydoğu Irak bölgesinde bulunan Zagros Sülfür zonun litolojik haritalanmasını bant oranlama, PCA temel bileşen analizi, ML makine öğrenme SVM tekniklerinden faydalanarak çalışmasını yürütmüştür. Bu çalışmanın sonucunda; yeşil şist, sepantininit, kireçtaşı, bazik lavlar katkılı tüfitler, metamorfizmaya maruz kalmış kireçtaşı gibi birimleri haritalamıştır.

Dünya'ya olan konumu ve benzerliği ile Mars gezegeninde karbonatların keşfi ile uzaktan algılama çalışmaları hızlanmıştır. Mars gezegeninin araştırmaları için 1960 yılından itibaren günümüze kadar birçok uzay araçları tasarlanmış ve gönderilmiştir. Mars gezegenin en önemli bölgelerinden bir olan Jezero Kraterindeki önceki çalışmalar:

Fasset ve Head (2005, 2008) tarafından kraterin hem içinden hem de dışından çıkan birçok vadinin olduğu; paleolake için kanıt olan açık bir havzanın varlığından bahsedilmiştir. Ayrıca bir akarsunun varlığından bunların ise jeolojik yaş olarak Noachian ve Hesperian dönemlerinden bahsedip bu dönemlerin sınırları içerisinde bu akarsu aktivesinin durduğu belirtilmiştir.

Schon vd., (2012)'de Jezero kraterinin batısında bulunan deltaya 'batı deltası' olarak adlandırıldığını bununla beraber yörünge şeklinde jeomorfolojik analizin epsilon çapraz tabakalanmayla ilgili olup deltanın başlangıcının varlığından söz edilmiştir.

Goudge vd., (2015); görüldüğü gibi açık renkli olan bölgelerin diğer birimlere göre bir alt birim olduğunu ve bununla beraber arazilerin bölgesel karbonat taşınmasıyla birlikte oluştuğundan söz edilmiştir.

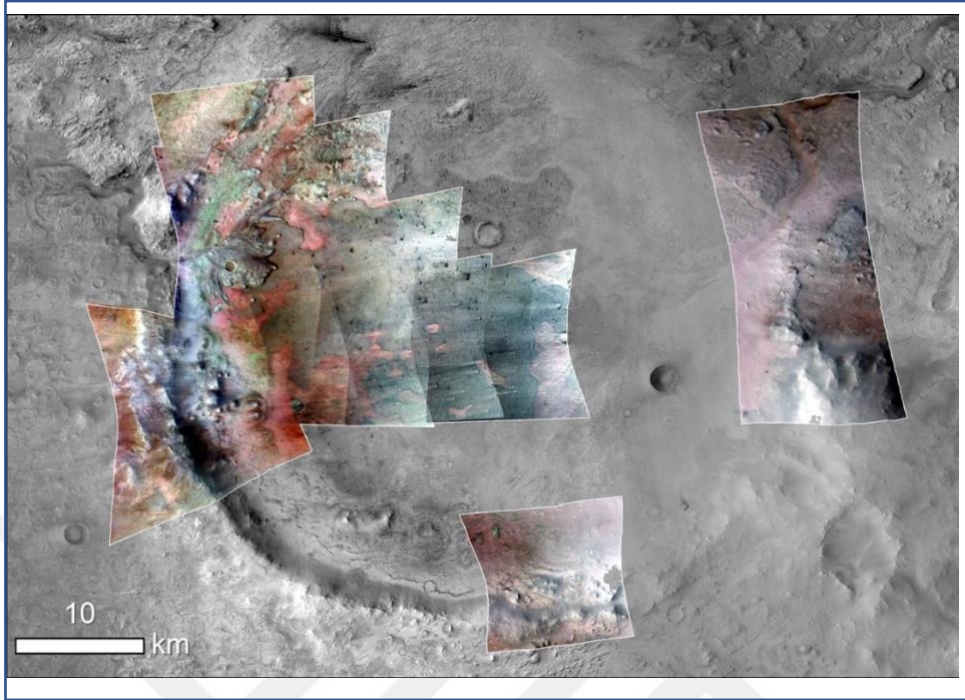
Brown vd., (2016, 2017) tarafından Jezero kraterinin bir göl deltası olduğu ve tortul yapıların yer aldığı bahsedilmektedir.

Horgan vd., (2020)'de Jezero Krateri için geçmişten günümüze yapılmış birçok çalışmayı referans almış olarak iki birim arasındaki ilişkiden bahsetmiştir(Şekil 2.1). Bahsi geçen güçlü karbonat izlerinin varlığı ile marjinal karbonat betimlemesi yapılarak anlatılmıştır. Kraterin karmaşık akarsu-göl tarihinin spektral çeşitliliğin olmasının sonucu ömrü uzun olmuş bir göl sisteminin tutarlı olabileceği söylenmiştir. Bahsedilen marjinal karbonatların sebebinin ise eğer bu kraterin bir göl olması durumunda, buradaki kayaçlarda mikrobiyolojik izlerin var olması bu izlerin ise stromatolitlerin olabileceğinden bahsedilmiştir. Bu izlerin ise kısmen korunmuş olma ihtimali ile 2020 de gönderilen Perseverance gezgin aracın bu izlere rastlayabileceğinden söz edilmiştir.

Çalışma alanı olan Jezero krateri hakkında Nasa Mars gezgini 2020 iniş alanı duyurusunda; Antik Mars'ta, su kanalları oyulmuş ve göl havzaları içinde fanlar ve deltalar oluşturmak için tortuları taşımış olduğu; bu çökelti ise su tarafından kimyasal değişim gösteren mineralleri gösterdiği söylenmiştir. Haritaya alınan spektral verilerin incelenmesi sonucunda Jezero krater deltasında, tortular killer ve karbonatlar içermekte olduğu belirtilmiştir(NASA Mars Rover, 2023)

Mars gezegenin çeşitli alanları incelenmiş ve bu çalışmanın da konusu olan Jezero kraterinin uzak geçmişte yaşanabilir olması muhtemel olduğu araştırmalar sonucunda tespit edilmiştir. NASA Mars Keşif Yörüngesinin CRISM aracı, kraterinde su varlığına oluşabilen killeri içerdiğini ortaya çıkarmıştır. Dünya'da bilim adamları, kayanın içine gömülü mikrobiyolojik yaşamın bulunduğu Mississippi nehri deltasında bu tür killeri bulmuştur. Ülkemizin Denizli ilinde bulunan Salda Gölünün jeolojik evrimi Jezero Krateri ile olan benzerliklerini ortaya koyan birçok karşılaştırma yapılarak çalışmalar yapılmış aynı zamanda Mars gezegeninde bulunan Jezero Krateri anlaşılmasına çalışılmıştır.

Mars Express sayesinde gezegenin üzerine indirilen rover gibi yürüyen ve numune toplayan araçların aksaklık olmadan çalışmaya devam edebilmesi ve verileri toplayabilmesi açısından da ayrıca öneme sahiptir. Bunlar araştırmacılara arazinin modellenmesi ve yükseklik verileri hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Nasa 2020 yılından Perseverance görevi ile Jezero Kraterine rover başarılı bir şekilde indirilmiş ve rover üzerinde bulunan çeşitli enstrümanlar ve numune toplayıcı özellikleri ile çalışmaları devam etmektedir.



Şekil 2.1. NASA Mars 2020 görevinin iniş alanındaki Jezero Kraterinin bu görüntüsündeki mineralleri vurgulamak için renklendirilmiştir. Yeşil renk, özellikle dünyadaki fosilleşmiş yaşamı korumada iyi olan karbonat minerallerini temsil etmektedir (Horgan, 2020).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

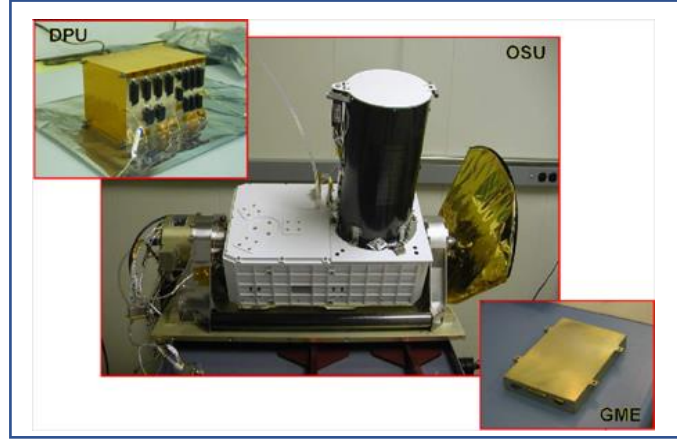
Çalışma alanın ait veriler Nasa Mars Yörünge Veri Gezini sitesinden elde edilmiştir. (ODE). Kullanılan veri kümeleri arama ve görüntüleme sistemleri Mars Keşif Yörüngesi (MRO) aittir. MRO üzerinde Crism enstrümanı bulunmaktadır. Nasa Mars Kompakt Keşif Görüntüleme Spektrometresi olan CRISM çok seçeneklere ve bantlara sahip karmaşık bir araç enstrümandır. Crism verileri kullanımı için NASA'dan alınan Crism ara birim yazılımı kullanılarak Envi programı içerisine gömülmüştür. Envi ve Crism ara birimi sayesinde Nasa MRO CRISM'e ait verileri Envi programında işlenmiş ve kullanılmıştır. CRISM, çeşitli gözlem modlarında çalışmaktadır. Çalışma alanında kullanılmak üzere bu gözlem modlarından birisi olan TRD alt kümesine ait HRL veri modları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu modları ait Crism gözlem modları aşağıdaki tabloda gösterildiği gibidir(Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. MRO Crism Gözlem Modları (MRO Crism, 2022).

Gözlem sınıfı	Kare hızı, Hz	Aktivite	Piksel bağlama	#	Dalga uzunlukları	Çerçeveler (tipik)
Tam çözünürlük hedefli (FRT)	3.75	merkezi tarama	1	1	545	390
		EPF taramaları	10	10		15
		karanlık setler	1	4		12
Yarım çözünürlük kısa hedefli (SAAT)	3.75	merkezi tarama	2	1	545	243
		EPF taramaları	10	10		15
		karanlık setler	2	4		12
Yarım çözünürlük uzun hedefli (HRL)	3.75	merkezi tarama	2	1	545	487
		EPF taramaları	10	10		15
		karanlık setler	2	4		12

Crism şerit genişliği yaklaşık 9,4 ile 11,9 km, mekânsal örnekleme 300 km yükseklikte 18,4 metre/piksel, odak uzaklığı 441 milimetredir. CRISM, 6.55 nanometre/kanalda 0.362 ila 3.92 mikron (362 ila 3920 nanometre) dalga boylarını kapsayabilen taranabilir bir görüş alanına sahip bir görüntüleme spektrometresidir. Bu, crism'in hem görünür aralığında (0,38 – 0,70 mikron) hem de kızılötesi dalga boyu aralığının da daha kısa dalga boylarında gözlemleyebileceği anlamına gelmektedir (tam kızılötesi dalga boyu aralığında 0,7- 1000 mikrondur). Bu dalga boyu aralıklarındaki ışığı tespit edebilmek, CRISM ekibinin Mars yüzeyindeki çok çeşitli mineralleri tanımlamasını sağlamaktadır. Görünür dalga boylarında ışığın yansıtılma şekli minerallerdeki demirden güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Örneklenecek olursa eğer pas veya demir oksit kırmızı görünmektedir. Kızılötesi dalga boylarında CRISM mineral kristallere dahil edilen sülfat, karbonat, hidroksil ve suya bağlı özellikleri görebilmekte-

dir. Ayrıca demir içeren mineral türlerine karşı daha fazla hassasiyete sahiptir (CRISM, 2023)



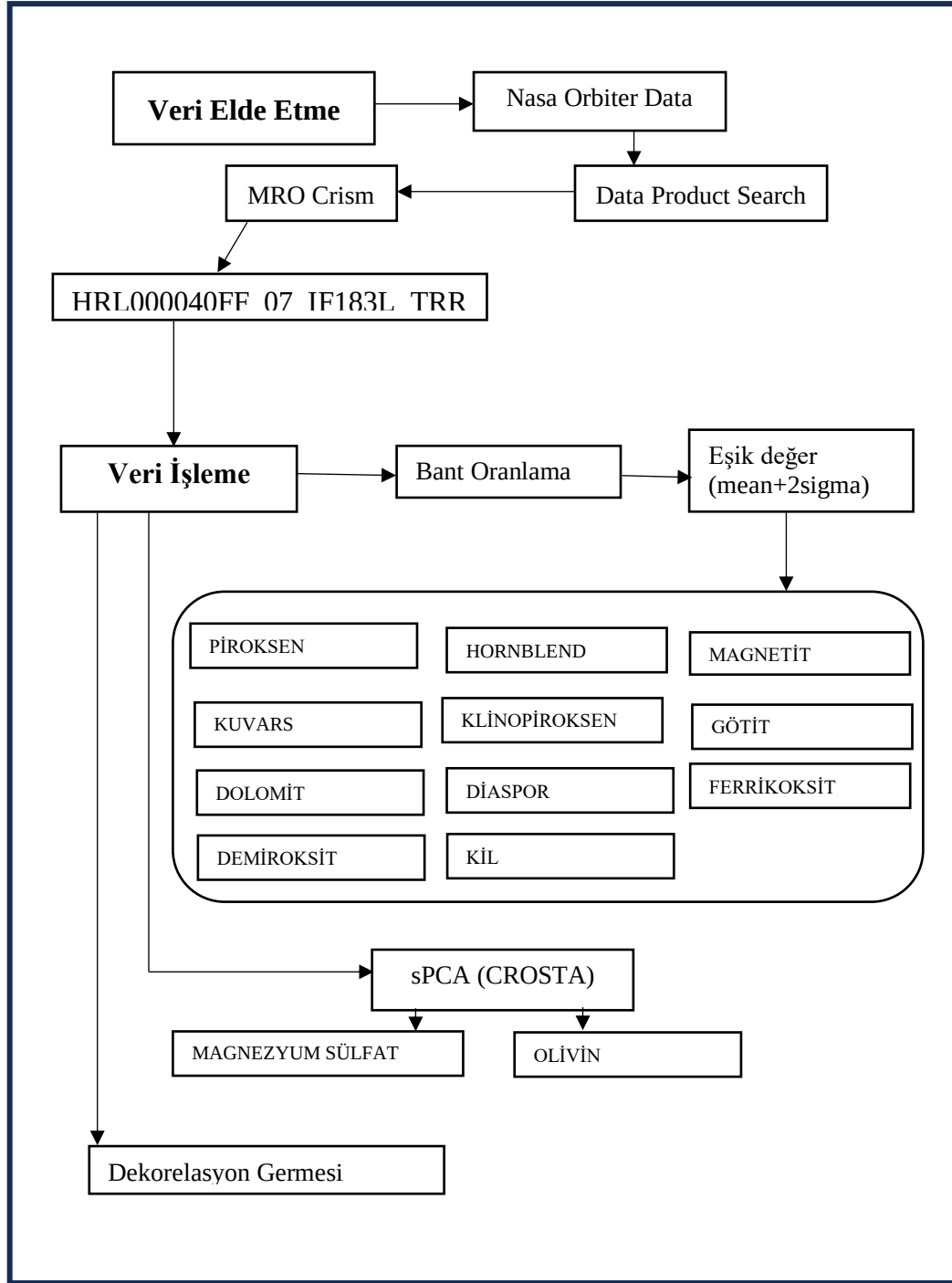
Şekil 3.1. Crism Enstrümanı(<http://crism.jhuapl.edu/instrument/design/overview.php>)

Crism'in araştırmaları, Mars yüzeyinden yansıyan güneş ışığı ile 544 rengi ölçtüğü bir spektruma ayırmaktadır. Geniş renk yelpazesi, yüzeydeki minerallerin algılamasını sağlamaktadır. Crism detektörleri; ışığı algılayan bir dijital kameradaki cihaza benzer şekilde görünür ışık ve kızıl ötesi dahil renge dayalı mineral ayrımını yapmaktadır(Şekil 3.1).

3.2 Metot

Bu çalışmada uygulanan yöntem üç ana bölümde değerlendirilebilir: 1. Veri elde etme. 2. Veri işleme ve analiz. 3. Veri çıktıları. (Şekil 3.2.) Çalışma alanının bulunduğu verileri elde etmek için Nasa Mars Orbital Data Explorer üzerinden Jezero Kraterine ait verilerinin tamamının tespiti için sistem üzerinden tarama yapılmıştır. Data Product Search bölümünden tamamı taranan veriler sonucunda, bu çalışma için en uygun veriler tespit edilmiştir. Bu veriler; Mars Reconnaissance Orbital üzerinde bulunan (CRISM) Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer'in görüntülediği kaynaklardır. Crism (HRL) yarım çözünürlük uzun hedefli olan verileridir. Hedef için sınırlanmamış uzamsal pikseller hedef için 2x kutulanmış 300 km'de 36 m/piksel, EPF için 10x sınırlanmış verilerdir (CRISM, 2023).

Çalışma alanı için kullanılan veri; Jezero Kraterinin Kuzeyinde bulunan Delta Kenarının görüntüsüdür. Bu veri "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" görüntüsü 438 bant ve 1.00-3.93 mikrometre dalga boyları arasında oluşan görüntüdür. Bu çalışma bahsedilen veri setinin analizleri ve çıktıları ile elde edilmiş ve yorumlanmıştır.



Şekil 3.2. Mineralojik haritalama kapsamında çalışmanın akış şeması.

Elde edilen verinin (Şekil 3.3) sonucunda verileri "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" görüntü işleme tekniklerinden olan; bant oranlama ve eşik değeri (mean+2 sigma), dekorelasyon gemesi, temel bileşen analizi ile Crosta tekniği metotları kullanılarak Jezero Kraterine ait çeşitli mineraloji haritaları yapılmıştır.

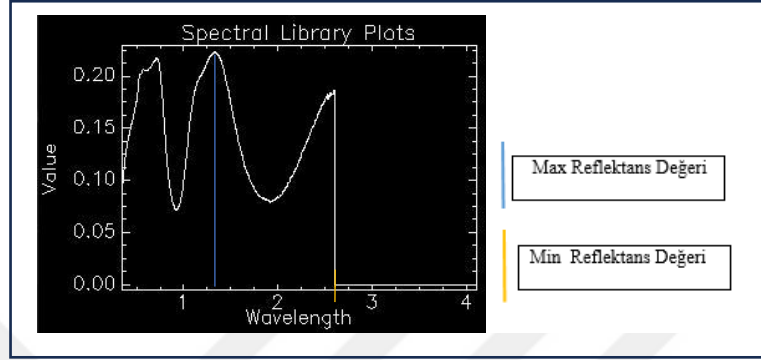
Bant oranlama ile görüntü işleme tekniği için Crism spektral kütüphaneden elde edilen minerallerin en yüksek ve en düşük reflektans değerleri kullanılmıştır. Ayrıca; Landsat uydu verileri kullanılarak Dünya üzerindeki yapılmış olan önceki çalışmalar da referans alınmıştır. Dünya ve Mars gezegenleri üzerinde yapılmış birçok çalışma incelenerek bir bütün halde değerlendirilmiş, elde edilen verilerde de bu teknikler kullanılmıştır. Bant oranlama üzerinden eşik değeri (mean+2sigma) uygulanmıştır.



Şekil 3.3. HRL000040FF_07_IF183L_TRR3 verisinin görüntüsü.

3.2.1. Bant Oranlama

Piroksen grubu minerallerin belirlenmesi için Crism HRL yarım çözünürlüklü uzun hedef verisi "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" kullanılmıştır. Piroksen mineralinin spektral yansıma eğrisi Crism spektral kütüphanesinden alınmıştır (Şekil 3.4). En yüksek reflektans değeri 2,6 mikrometre (μm) ve en düşük reflektans değeri ise 1,33 mikrometredir (μm).

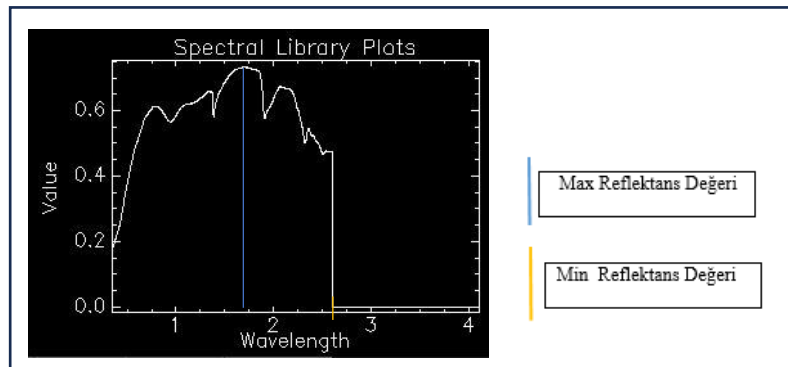


Şekil 3.4. Crism spektral kütüphanesinden alınan piroksen mineralinin spektral yansıma grafiği.

$$\text{Formül: BR}_{\text{piroksen}} = \text{BANT } 387 / \text{BANT } 193 \quad (1)$$

Bu teknikte piroksen grubu mineralinin haritası elde edilmesi için en yüksek reflektans değeri olan 2.6 μm ve en düşük reflektans değeri olan 1.33 μm birbirine oranlanarak yapılmıştır.

Olivin grubu minerallerin görüntülenmesi için Crism HRL yarım çözünürlüklü uzun hedef verisi "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" kullanılmıştır. Olivin mineralinin en yüksek ve en düşük reflektans değerleri Crism spektral kütüphanesinden alınmıştır (Şekil 3.5). En yüksek reflektans değeri 2,62 μm ve en düşük reflektans değeri ise 1,71 μm 'dir.

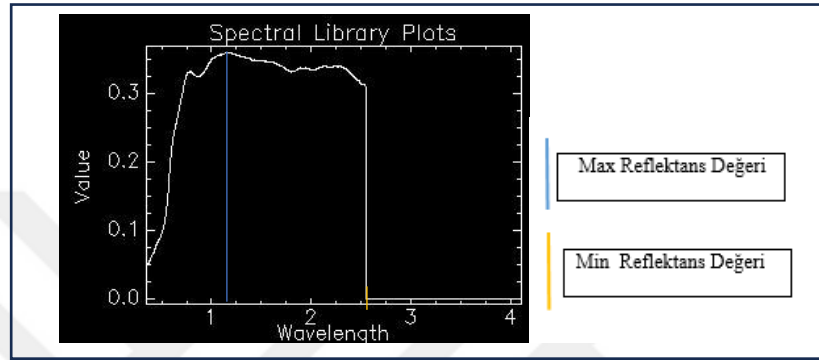


Şekil 3.5. Crism spektral kütüphanesinden alınan olivin mineralinin spektral yansıma grafiği.

$$\text{Formül: BR}_{\text{olivin}} = \text{BANT } 330 / \text{BANT } 192 \quad (2)$$

Bu teknikte olivin grubu mineralinin haritası elde edilmesi için en yüksek reflektans değeri olan 2.62 μm ve en düşük reflektans değeri olan 1.71 μm birbirine oranlanarak yapılmıştır.

Diaspor grubu minerallerin görüntülenmesi için Crism HRL yarım çözünürlüklü uzun hedef verisi "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" kullanılmıştır. Diaspor mineralinin en yüksek ve en düşük reflektans değerleri Crism spektral kütüphanesinden alınmıştır (Şekil 3.6). en yüksek reflektans değeri 2,5 μm ve en düşük reflektans değeri ise 1.77 μm 'dir.

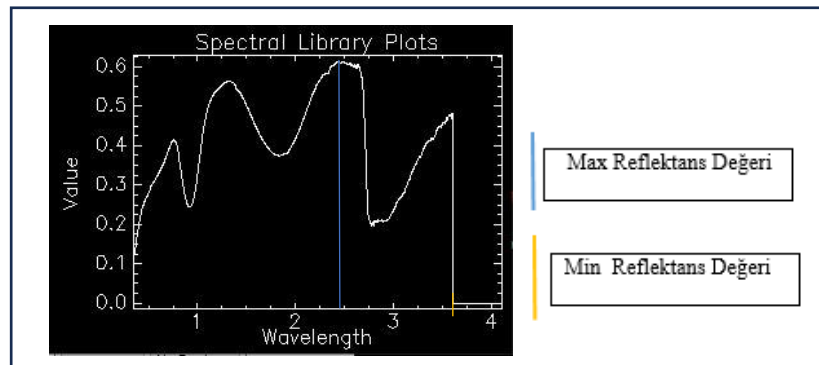


Şekil 3.6. Crism spektral kütüphanesinden alınan diaspor mineralinin spektral yansıma grafiği.

$$\text{Formül: } BR_{\text{diaspor}} = \text{BANT } 343 / \text{BANT } 125 \quad (3)$$

Bu teknikte diaspor grubu mineralinin haritası elde edilmesi için en yüksek reflektans değeri olan 2.5 μm ve en düşük reflektans değeri olan 1.77 μm birbirine oranlanarak yapılmıştır.

Klinoprosken minerallerin görüntülenmesi için Crism HRL yarım çözünürlüklü uzun hedef verisi "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" kullanılmıştır. Klinoprosken mineralinin en yüksek ve en düşük reflektans değerleri Crism spektral kütüphanesinden alınmıştır (Şekil 3.7). En yüksek reflektans değeri 3,6 μm ve en düşük reflektans değeri ise 2.4 μm 'dir.

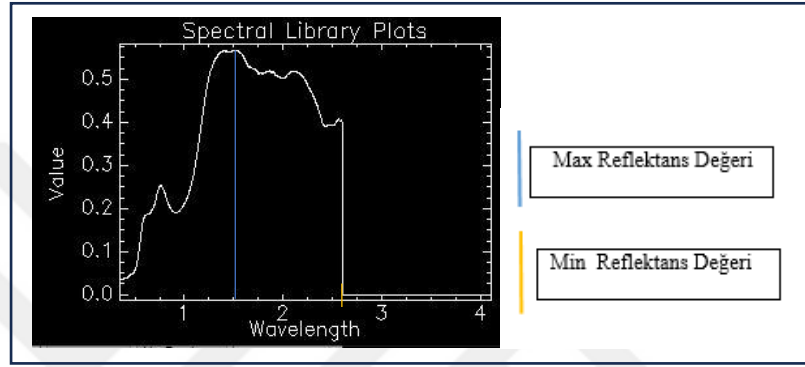


Şekil 3.7. Crism spektral kütüphanesinden alınan klinopiroksen mineralinin spektral yansıma grafiği.

$$\text{Formül: BRklinoproksen} = \text{BANT 216} / \text{BANT 52} \quad (4)$$

Bu teknikte klinopiroksen grubu mineralinin haritası elde edilmesi için en yüksek reflektans değeri olan 3.6 μm ve en düşük reflektans değeri olan 2.4 μm birbirine oranlanarak yapılmıştır.

Götit minerallerin görüntülenmesi için Crism HRL yarım çözünürlüklü uzun hedef verisi "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" kullanılmıştır. Götit mineralinin en yüksek ve en düşük reflektans değerleri Crism spektral kütüphanesinden alınmıştır (Şekil 3.8). Maximum reflektans değeri 2.61 μm ve minimum reflektans değeri ise 1,52 μm ' dir.

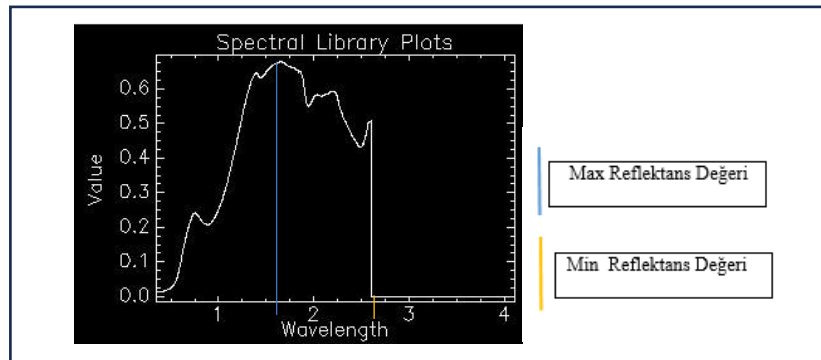


Şekil 3.8. Crism spektral kütüphanesinden alınan götit mineralinin spektral yansıma grafiği.

$$\text{Formül: BRgötit} = \text{BANT 358} / \text{BANT 193} \quad (5)$$

Bu teknikte götit grubu mineralinin haritası elde edilmesi için en yüksek reflektans değeri olan 2.61 μm ve en düşük reflektans değeri olan 1.52 μm birbirine oranlanarak yapılmıştır.

Ferrikoksit minerallerin görüntülenmesi için Crism HRL yarım çözünürlüklü uzun hedef verisi "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" kullanılmıştır. Ferrikoksit mineralinin en yüksek ve en düşük reflektans değerleri Crism spektral kütüphanesinden alınmıştır (Şekil 3.9). En yüksek reflektans değeri 2,61 μm ve en düşük reflektans değeri ise 1.64 μm 'dir

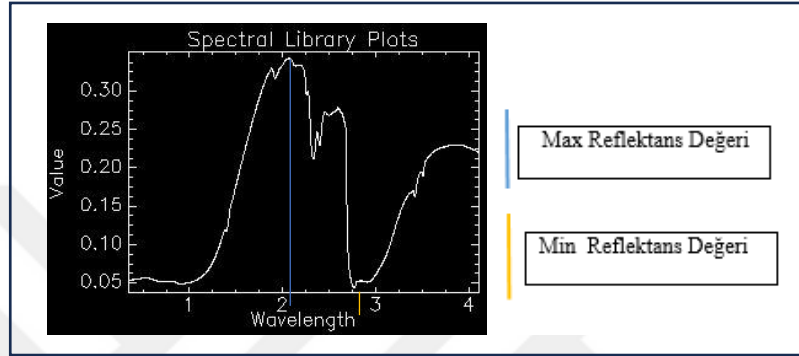


Şekil 3.9. Crism spektral kütüphanesinden alınan ferrikoksit mineralinin spektral yansıma grafiği.

$$\text{Formül: BRferrikoksit} = \text{BANT 304} / \text{BANT 193} \quad (6)$$

Bu teknikte ferrikoksit grubu mineralinin haritası elde edilmesi için yüksek reflektans değerini olan 2.61 μm ve en düşük reflektans değeri olan 1.64 μm birbirine oranlanarak yapılmıştır.

Hornblend minerallerin görüntülenmesi için Crism HRL yarım çözünürlüklü uzun hedef verisi "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" kullanılmıştır. Sülfat mineralinin en yüksek ve en düşük reflektans değerleri Crism spektral kütüphanesinden alınmıştır (Şekil 3.10). En yüksek reflektans değeri 2.3 μm ve en düşük reflektans değeri ise 1.05 μm 'dir.

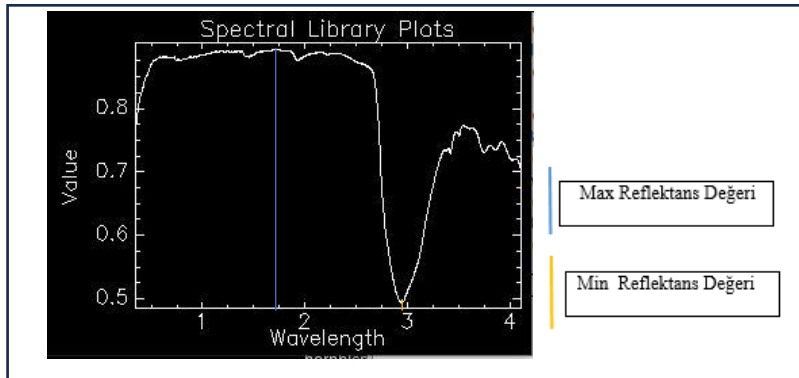


Şekil 3.10. Crism spektral kütüphanesinden alınan hornblend mineralinin spektral yansıma grafiği.

$$\text{Formül: BRhornblend} = \text{BANT145} / \text{BANT96} \quad (7)$$

Bu teknikte kalsit grubu mineralinin haritası elde edilmesi için en yüksek reflektans değeri olan 2.3 μm ve en düşük reflektans değeri olan 1,05 μm birbirine oranlanarak yapılmıştır.

Kuvars minerallerin görüntülenmesi için Crism HRL yarım çözünürlüklü uzun hedef verisi "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" kullanılmıştır. Sülfat mineralinin en yüksek ve en düşük reflektans değerleri Crism spektral kütüphanesinden alınmıştır (Şekil 3.11). En yüksek reflektans değeri 1,69 μm ve en düşük reflektans değeri ise 2,93 μm 'dir.



Şekil 3.11. Crism spektral kütüphanesinden alınan kuvars mineralinin spektral yansıma grafiği.

$$\text{Formül: BRkuvars} = \text{BANT145} / \text{BANT153} \quad (8)$$

Bu teknikte kuvars grubu mineralinin haritası elde edilmesi için yüksek reflektans değerini olan 1,69 μm ve en düşük reflektans değeri olan 2,93 μm 'nin birbirine oranlanarak yapılmıştır.

Kil minerallerin görüntülenmesi için Crism HRL yarım çözünürlüklü uzun hedef verisi "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" kullanılmıştır. Kil mineralinin en yüksek ve en düşük reflektans değerleri Landsat uydusunun bant 5/ bant 7 bant oranlaması kil minerallerini vermektedir. 5 numaralı bat 1,55-1,75 μm dalga boyları arasında, 7 numaralı bant ise 2,08-2,35 μm dalga boyları arasındadır. Bu veriler dikkate alınarak en yüksek reflektans değeri 1,60 μm ve en düşük reflektans değeri ise 2,10 μm alınmıştır.

$$\text{Formül: BRkuvars} = \text{BANT145} / \text{BANT153} \quad (9)$$

Çizelge 3.2. Bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanarak mineralojik haritalar elde edilmiştir. Değerler μm 'dir.

mean	std	m+std	m+2std	Mineral
1,1508930	0,060496000	1,2113890	1,1545528	Olivin
1,113996	0,055248	1,1692440	1,1170483	Ferrikoksit
1,078321	0,055075	1,1333960	1,0813543	Gotit
1,105315	0,047289	1,1526040	1,1075512	Diaspor
1,10992	0,055603	1,1655230	1,1130117	Dolomit
1,018389	0,054161	1,0725500	1,0213224	Magnetit
1,895877	0,237531	2,1334080	1,9522980	Demiroksit
3,384176	0,748764	4,1329400	3,9448235	Kuvars
1,116834	0,064249	1,1810830	1,1209619	Hornblend
1,029343	0,054429	1,0837720	1,0323055	Piroksen
0,88897	0,070544	0,9595140	0,8939465	Klinopiroksen

3.2.2. Dekorelasyon Germesi

Dekorelasyon germesi tekniği; bir görüntü işleme tekniği olarak, standart veri ürünü görsel yorumlanabilirliğini arttırmak amacı kullanılmaktadır. Dekorelasyon germesi yöntemi multispektral görüntülerde yer alan yüksek korelasyonu kaldırarak renkli bileşik görüntüler elde etmek amacı ile kullanılmaktadır. Daha renkli bileşik görüntü oluşturmak amacı ile multispektral veri kümelerinde yüksek korelasyonu kaldırarak dekorelasyon germesi kullanılmıştır. Veri kümelerinde yüksek oran genellikle yumuşak görüntüler elde edilmeye çalışılmıştır. Dekorelasyon germesi algoritması üç kanal üzerinden konumlandırılarak gerilmiş bir bayt verisi olarak elde edilmiştir.

3.2.3. Temel Bileşen Analizi

Temel bileşen analizi: Çok bantlı veri kümelerinde ana bileşen analizi olarak bahsedilen bu yöntem; çok bantlı bir görüntünün varyansını yeni bir görüntü bantları kümesine çevirip dönüştürmektedir. Temel bileşen analizindeki dönüşüm veri kökenlerinde yeni dik bir eksen kümeyi bulup onları döndürerek yeni veri varyanslarını üst düzeye çıkarmaktadır (NV5, 2023). Uluslararası literatürde principle component analysis (PCA) şeklinde geçen bu yöntemde spektral bantların birbiri arasında bir korelasyon matrisi oluşturularak yapılmaktadır. Bu matrisin karakteristik ana değerlerine bölünüp o ana vektörlerin standart matris ayırma rutinlerinde kullanılmaktadır.

Richards (1999) ile aynı yaklaşımı kullanılmaktadır. Envi programında kullanılan ortalama düzeltilmiş görüntü verilerini öz vektör matrisinin denklemi gibi kullanarak veri aktarımına yansıtması ise şu şekildedir.

$$y = G \# (x - \text{ortalama})$$

Nerede:

y = Dönüştürülmüş (veya döndürülmüş) veriler

G = Dönüşüm matrisi

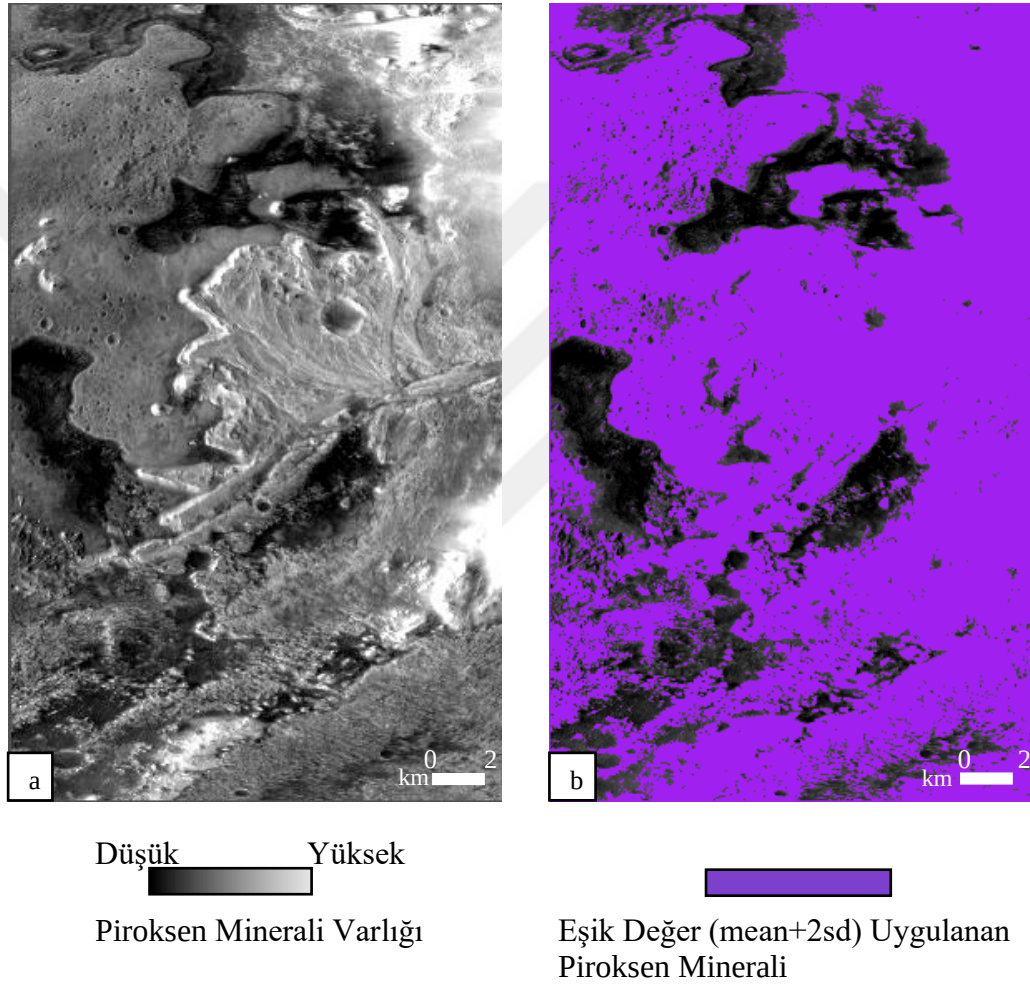
x = Giriş verileri

Matris çarpımını gösterir

Temel Bileşen Analizi (PCA), istatiksel bir teknik olan bu yöntemde veri kümelerini analiz ederken çok değişkenli bir istatiksel yöntem kullanılmaktadır. Bu istatiksel yöntemde değişkenler kümesi tamamen birbiriyle ilişkisiz değişkenlerden oluşan; kümeleri ve ilişkileri tanımlayan önemli değişkenleri olan matematiksel bir yöntemdir (Crosta ve Moore, 1989). Azaltılmış olan boyutluluk; litolojik birimleri tanımlamada, mineralleri ayırtlamada ve jeolojik özelliklerin tanımlanmasına kolaylık sağlamaktadır.

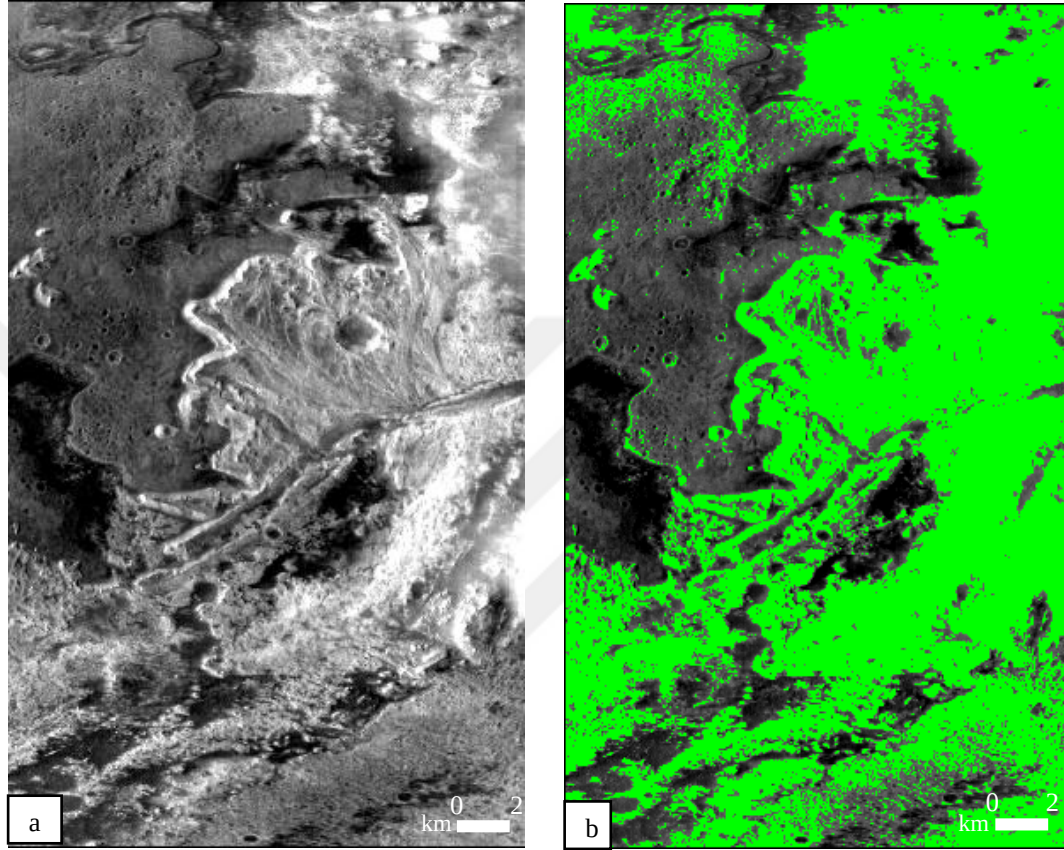
4. BULGULAR

"HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş piroksen mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır. Yüksek derecede beyaz parlak gözüken yerlerde piroksen mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır (Şekil 4.1.(a)). Bant oranlama verisine eşik değer ($\text{mean}+2\text{Sigma}$) uygulanmış ve piroksen mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.1.(b)).



Şekil 4.1. Piroksen mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer ($\text{mean}+2\text{Sigma}$) uygulanmış piroksen mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş olivin mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır (Şekil 4.2.(a)). Yüksek derecede parlak gözüken yerlerde olivin mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır. Bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış ve olivin mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.2.(b)).

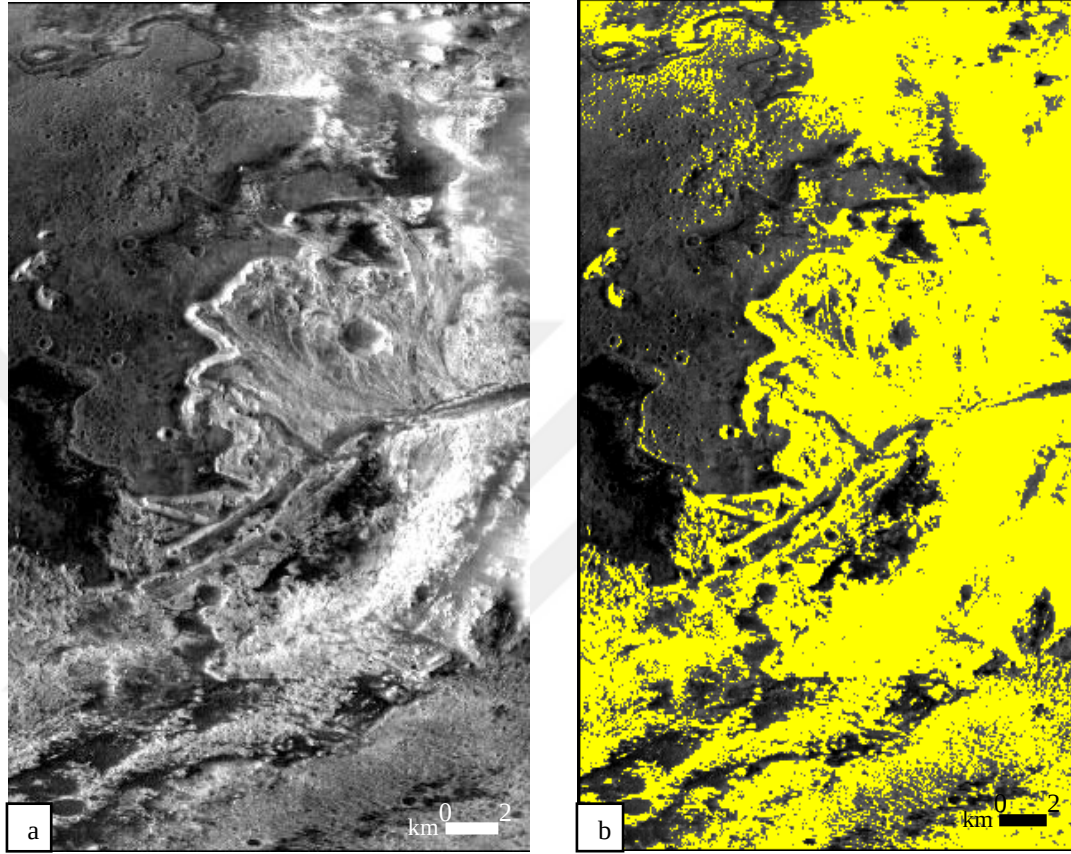


Düşük Yüksek
Olivin Minerali Varlığı

Eşik Değer (mean+2sd) Uygulanan
Olivin Minerali

Şekil 4.2 Olivin mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış olivin mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş diaspor mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır (Şekil 4.3.(a)). Yüksek derecede parlak gözüken yerlerde diaspor mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır. Bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış ve diaspor mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.3.(b)).



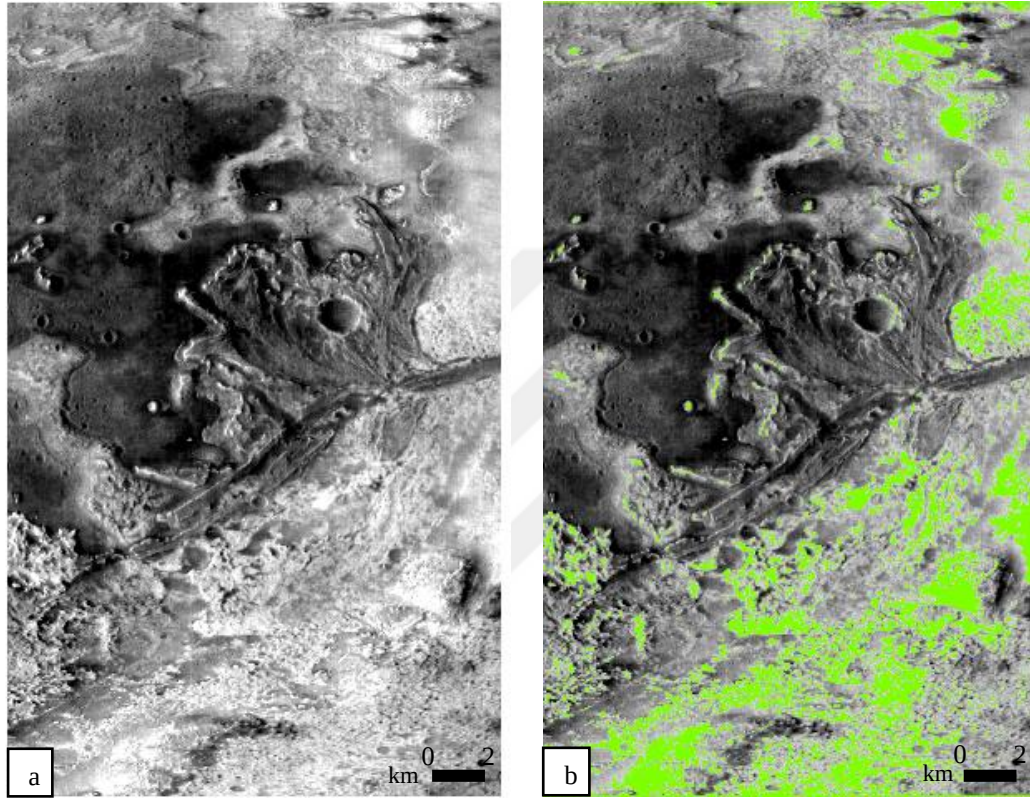
Düşük  Yüksek

Diaspor Minerali Varlığı

 Eşik Değer (mean+2sd) Uygulanan Diaspor Minerali

Şekil 4.3. Diaspor mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış diaspor mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş klinopiroksen mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır (Şekil 4.4.(a)). Yüksek derecede parlak gözükten yerlerde klinopiroksen mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır. Bant oranlama verisine eşik değer ($\text{mean}+2\text{Sigma}$) uygulanmış ve klinopiroksen mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.4.(b)).

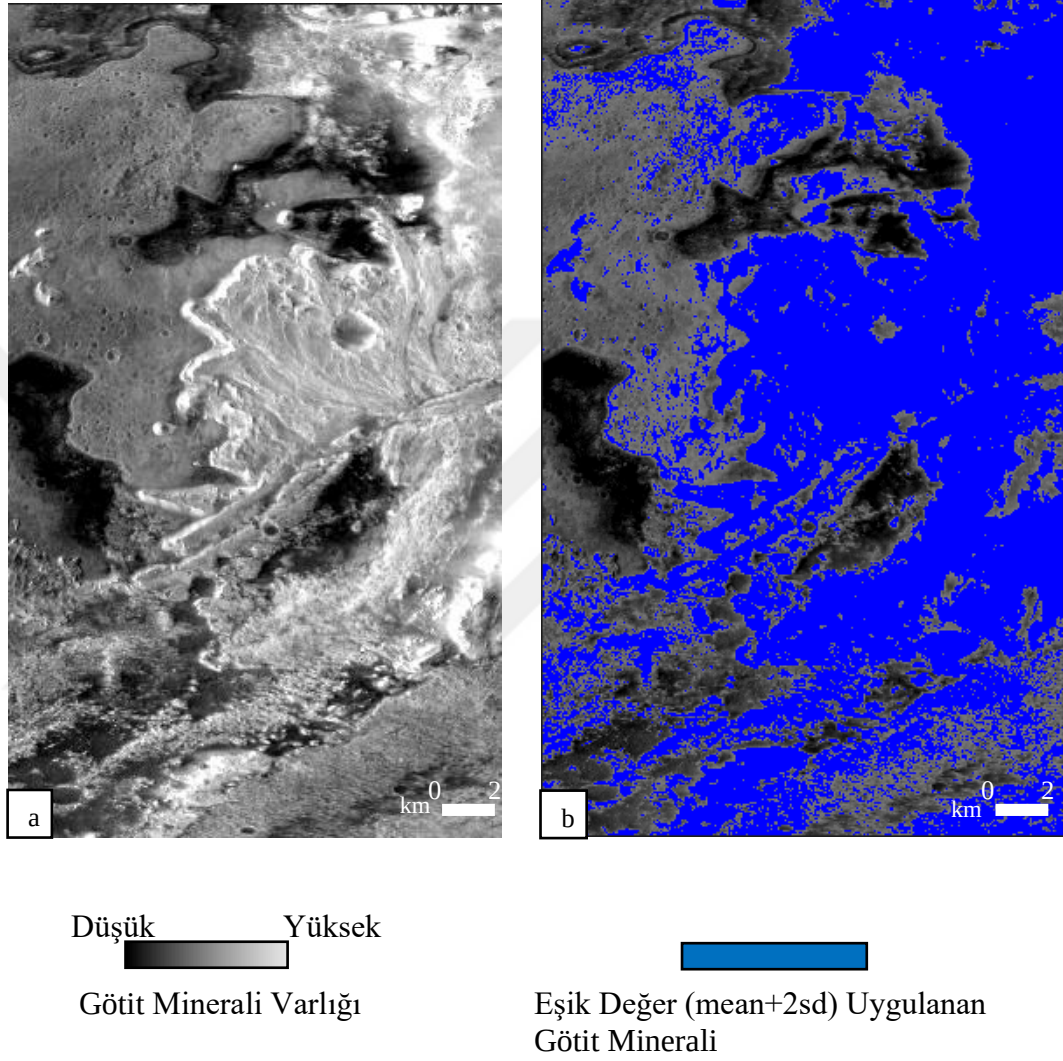


Düşük Yüksek
Klinopiroksen Minerali Varlığı

Eşik Değer ($\text{mean}+2\text{sd}$) Uygulanan
Klinopiroksen Minerali

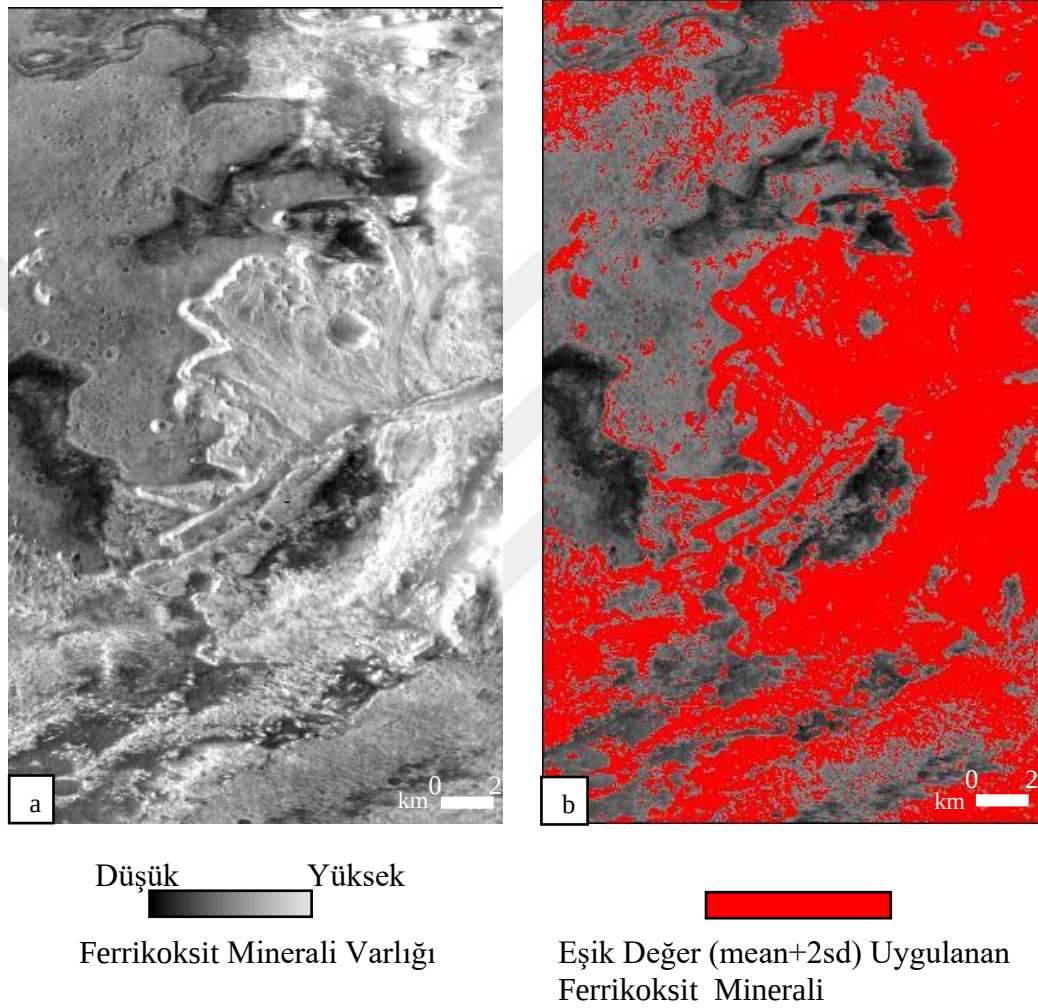
Şekil 4.4. Klinopiroksen mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer ($\text{mean}+2\text{Sigma}$) uygulanmış klinopiroksen mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş götit mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır (Şekil 4.5.(a)). Yüksek derecede parlak gözüken yerlerde götit mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır. Bant oranlama verisine eşik değer ($\text{mean}+2\text{Sigma}$) uygulanmış ve götit mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.5.(b)).



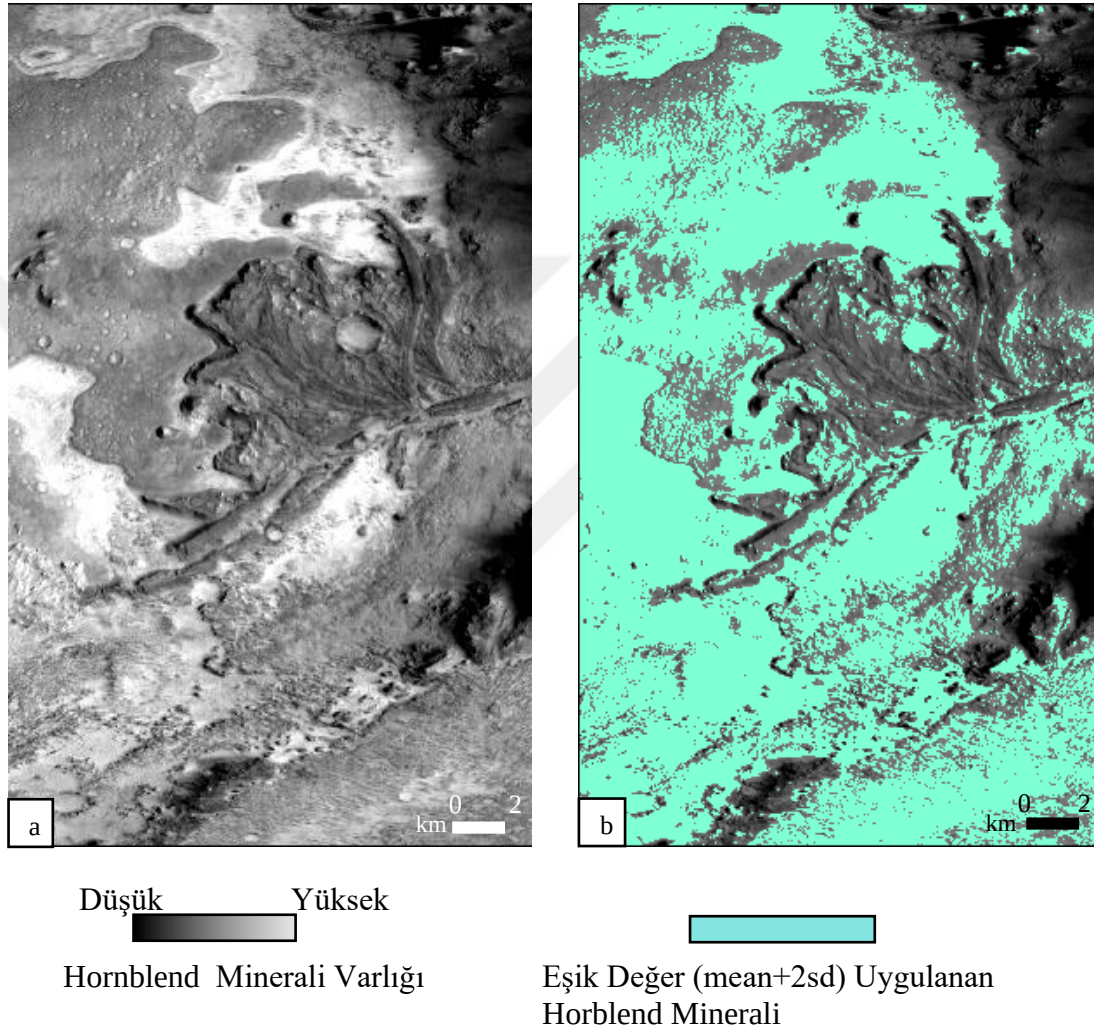
Şekil 4.5. Götit mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanması bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer ($\text{mean}+2\text{Sigma}$) uygulanmış götit mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş ferrikoksit mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır (Şekil 4.6.(a)). Yüksek derecede parlak gözüken yerlerde ferrikoksit mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır. Bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış ve ferrikoksit mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.6.(b)).



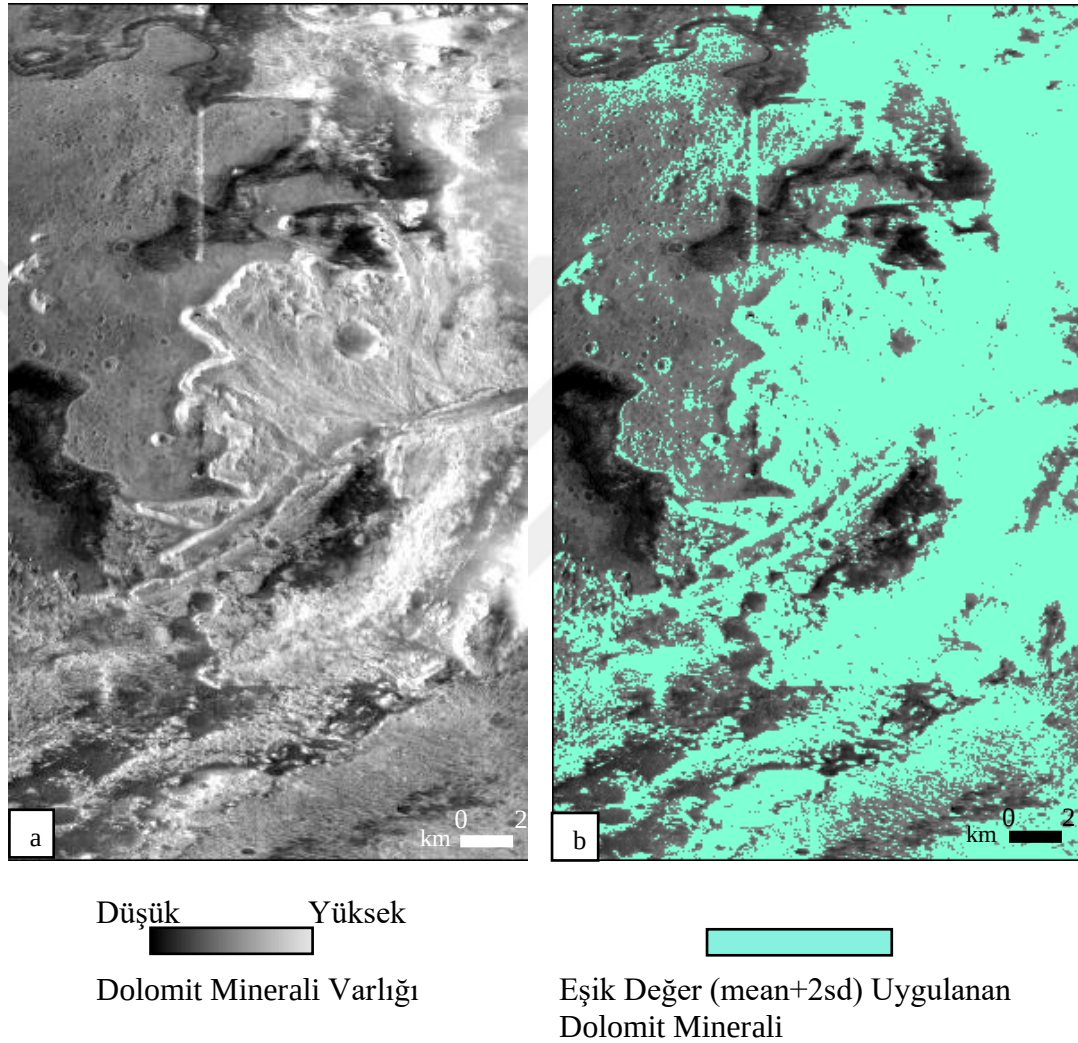
Şekil 4.6. Ferrikoksit mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış ferrikoksit mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş hornblend mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır (Şekil 4.7.(a)). Yüksek derecede parlak gözüken yerlerde hornblend mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır. Bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış ve hornblend mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.7.(b)).



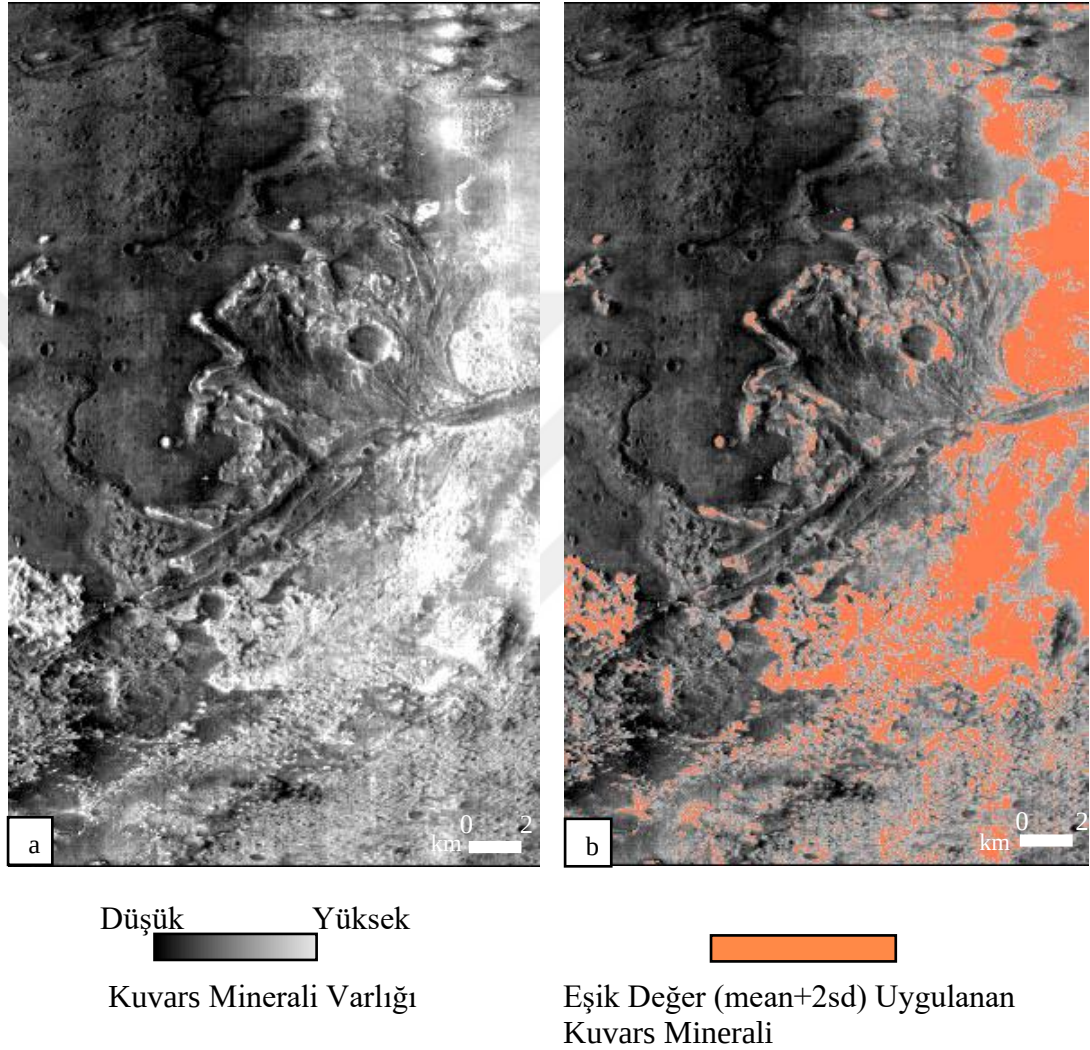
Şekil 4.7. Hornblend mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış hornblend mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş dolomit mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır (Şekil 4.8.(a)). Yüksek derecede parlak gözüken yerlerde dolomit mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır. Bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış ve dolomit mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.8.(b)).



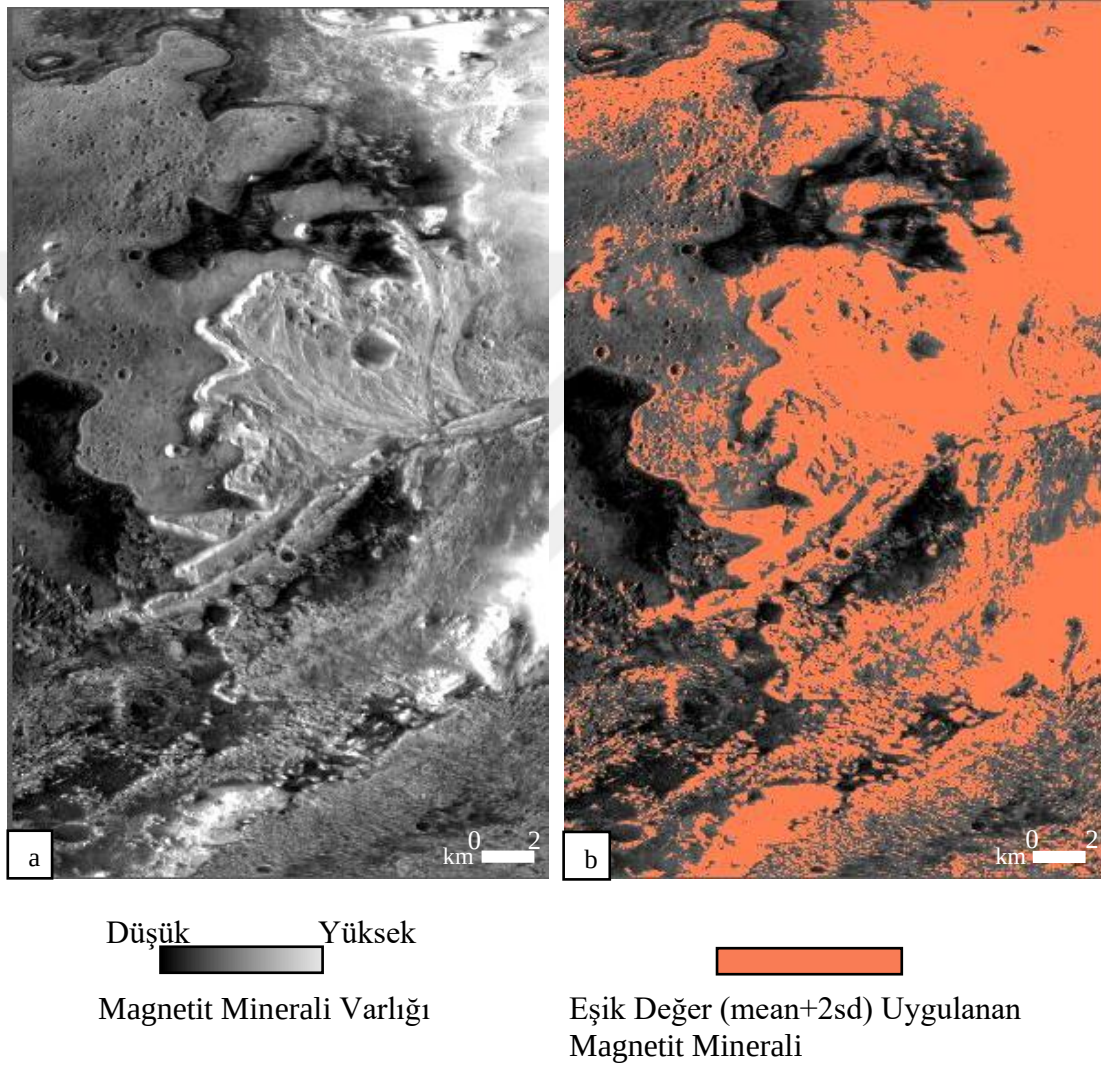
Şekil 4.8. Dolomit mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış dolomit mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş kuvars mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır (Şekil 4.9.(a)). Yüksek derecede parlak beyaz gözüken yerlerde kuvars mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır. Bant oranlama verisine eşik değer ($\text{mean}+2\text{Sigma}$) uygulanmış ve kuvars mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.9.(b)).



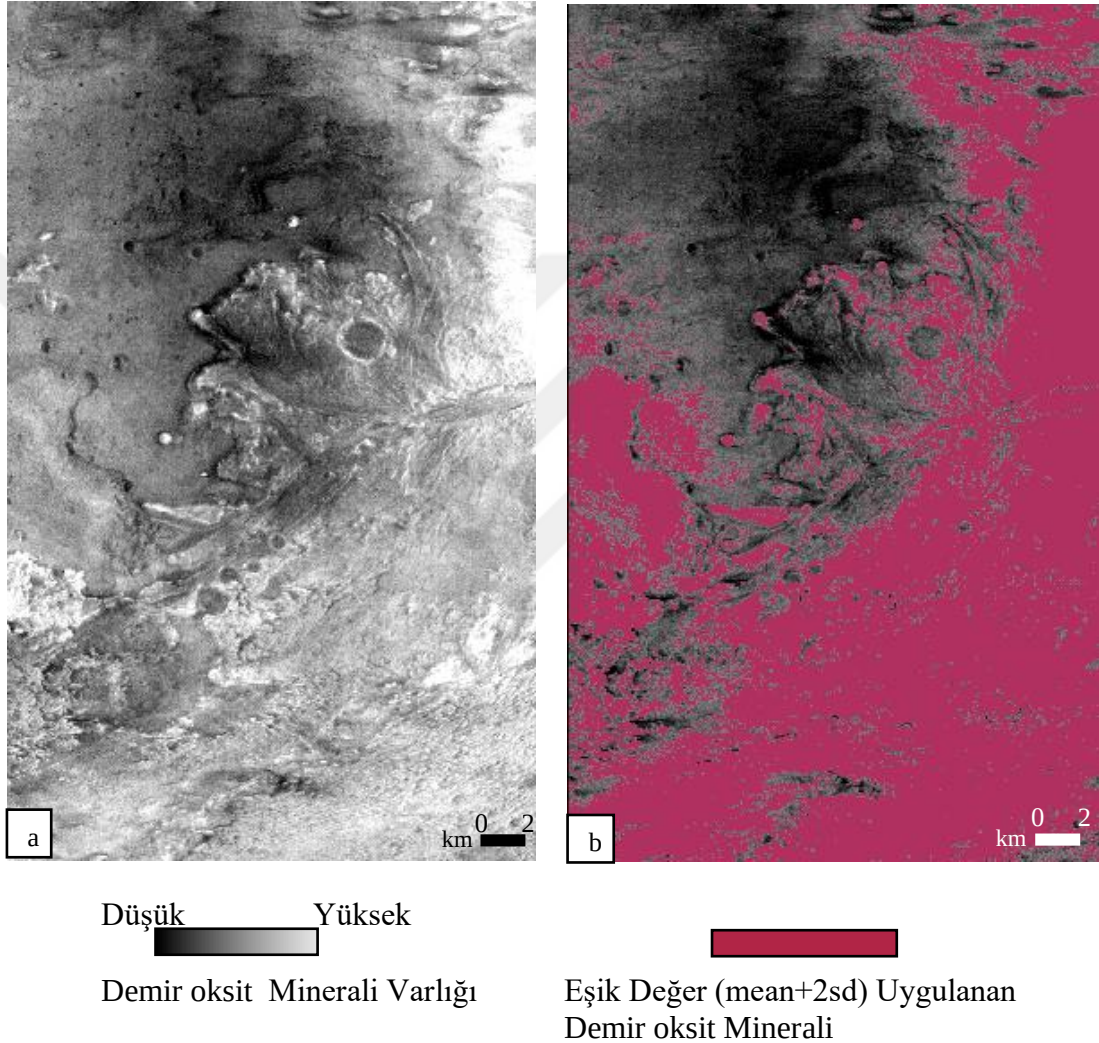
Şekil 4.9. Kuvars mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer ($\text{mean}+2\text{Sigma}$) uygulanmış kuvars mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş magnetit mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır (Şekil 4.10.(a)). Yüksek derecede parlak gözüken yerlerde magnetit mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır. Bant oranlama verisine eşik değer ($\text{mean}+2\text{Sigma}$) uygulanmış ve magnetit mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.10(b)).



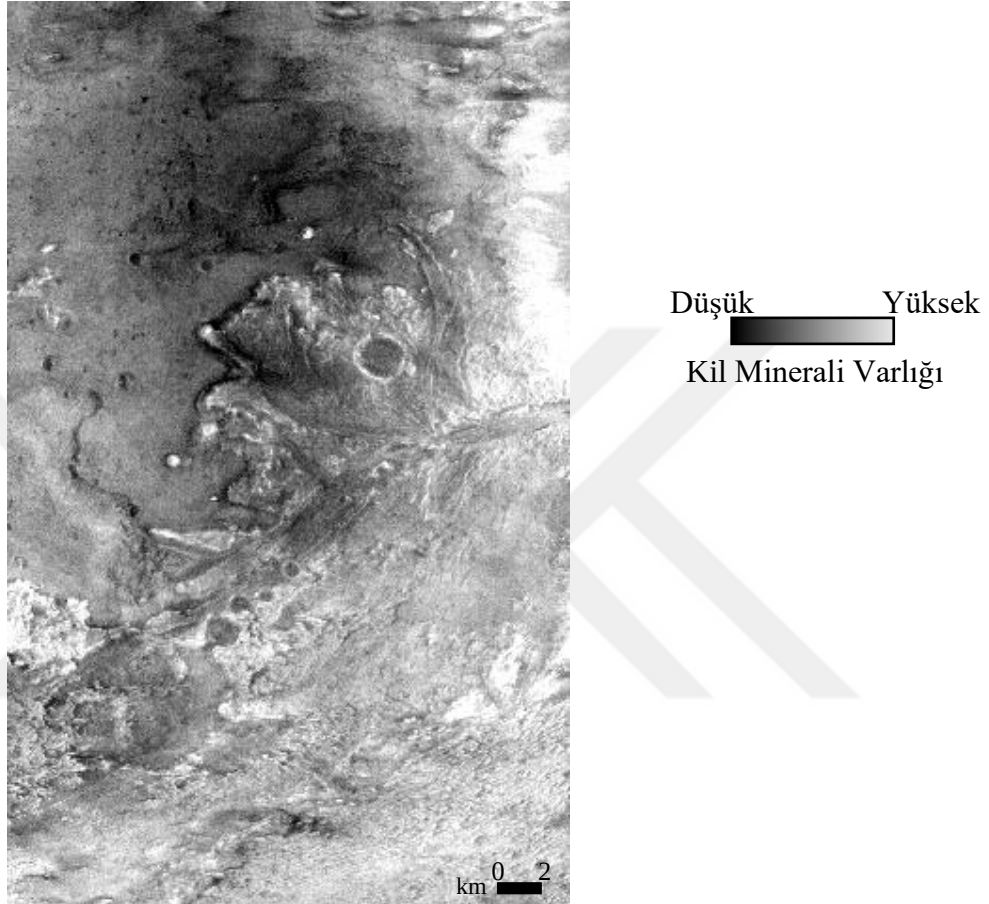
Şekil 4.10 Magnetit mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer ($\text{mean}+2\text{Sigma}$) uygulanmış magnetit mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183S_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş demir oksit mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır(Şekil 4.11.(a)). Yüksek derecede parlak gözüken yerlerde demir oksit mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır. Bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış ve demir oksit mineralinin haritası elde edilmiştir (Şekil 4.11.(b)).



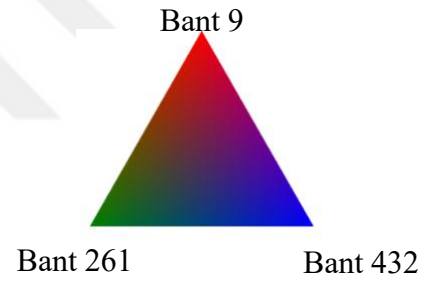
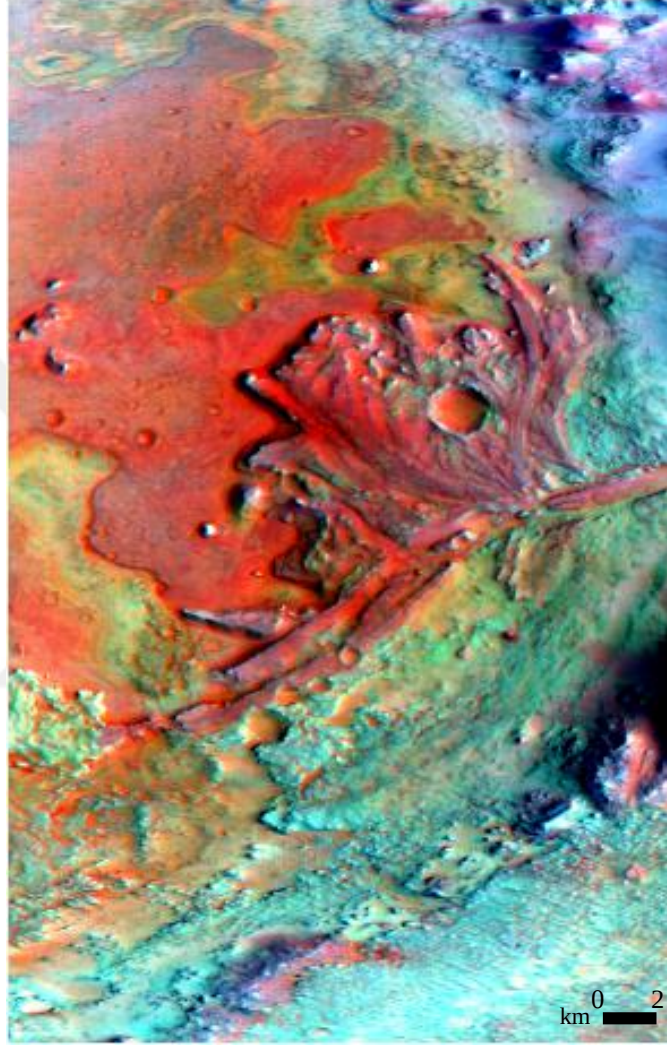
Şekil 4.11. Demir oksit mineral haritalaması için "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisine uygulanmış bant oranlama sonucu (a), bant oranlama verisine eşik değer (mean+2Sigma) uygulanmış demir oksit mineral haritası(b).

"HRL000040FF_07_ IF183S_ TRR3" verisinin bant oranlama tekniği kullanılarak elde edilmiş kil mineralleri açık beyazımsı gri renkli alanlarda belirgin halde bulunmaktadır. Yüksek derecede parlak gözüken yerlerde kil mineralinin en yoğun olduğu kısımlardır (Şekil 4.12).



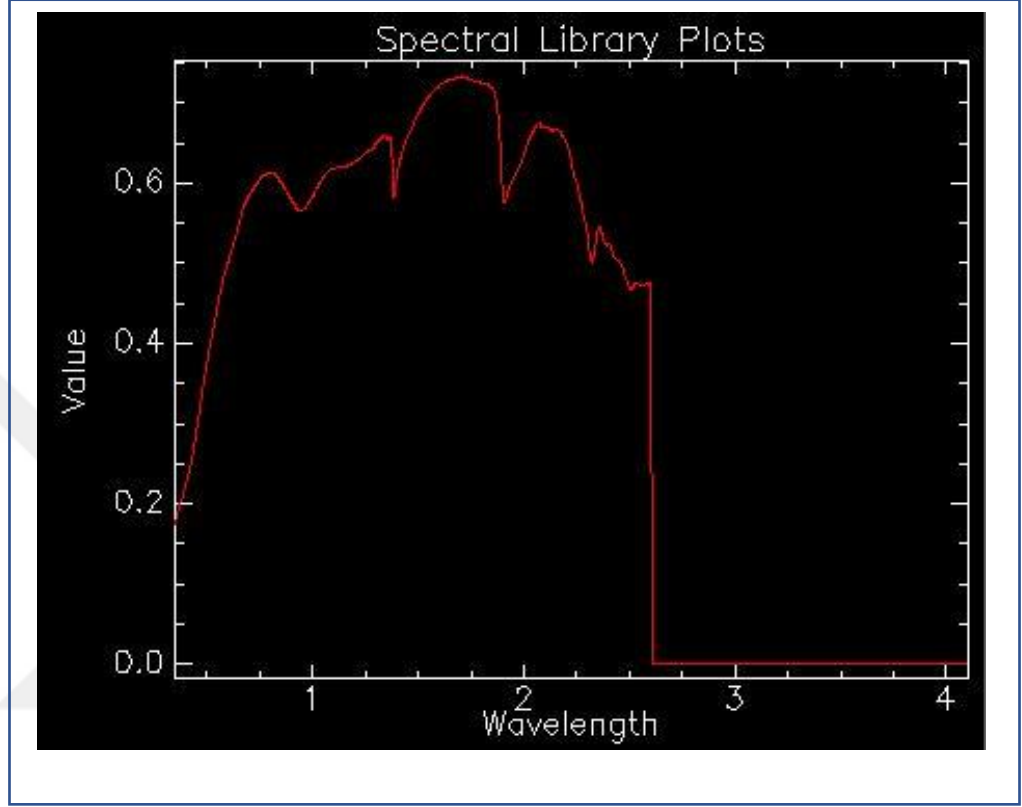
Şekil 4.12. "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisi kil mineralinin haritası. Siyah beyaz renkli görüntüde açık renkli parlak gözüken yerler ve renklendirilmiş pembe renkli görüntüde yine kil mineralleri gösterilmiştir.

"HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisinde dekorelasyon gemesi ile kırmızı renk 9 numaralı bant ve 3,89 μm dalga boyu, yeşil renk 261 numaralı bant ve 2,16 μm dalga boyu, mavi renk 432 numaralı bant ve 1,0407 μm dalga boyundadır. Kırmızı renk dağılımı demir içerikli mineralleri, mavi renk dağılımı olivin mineralini, yeşil renk karbonat minerallerini temsil etmektedir (Şekil 4.13).



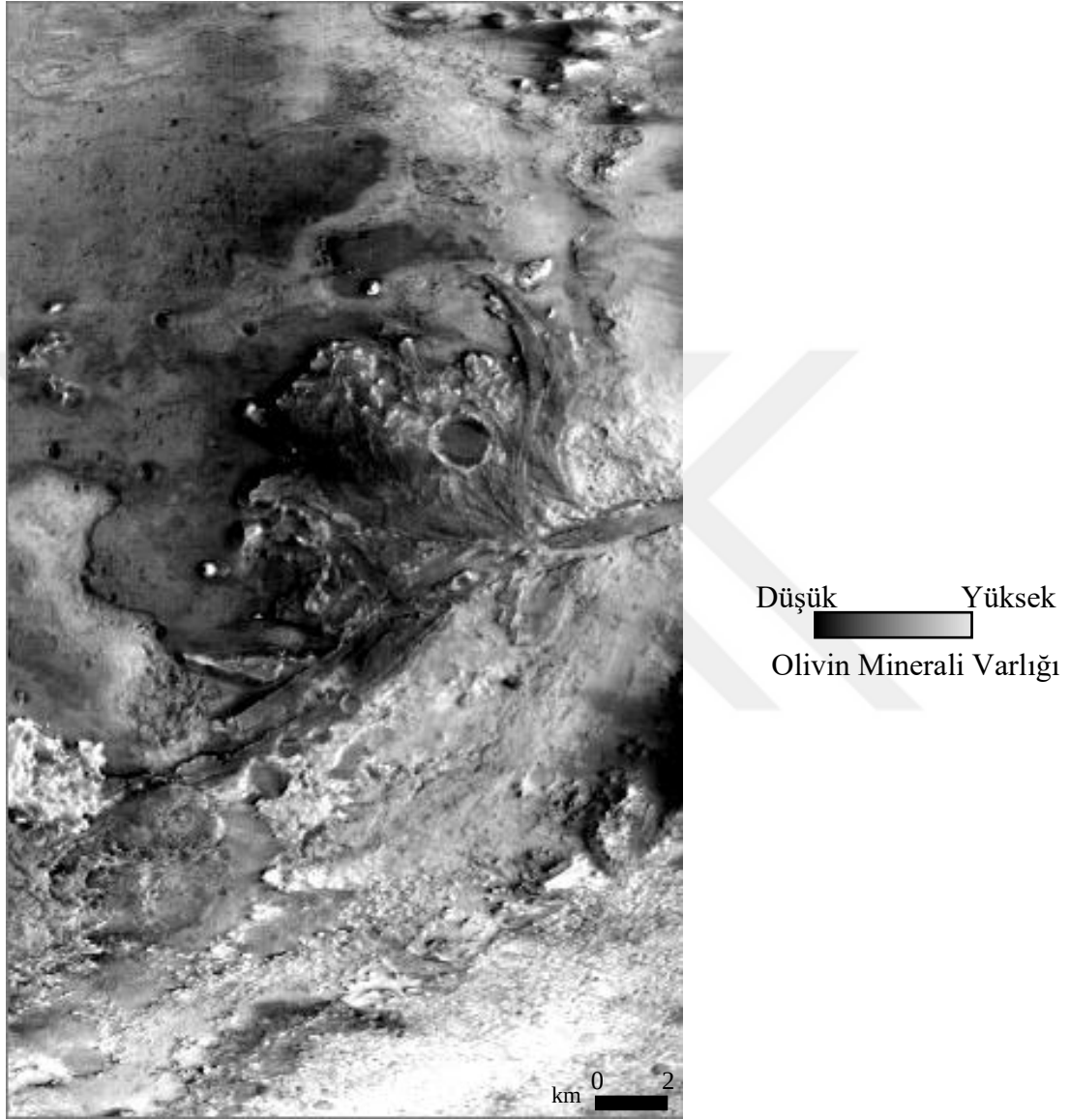
Şekil 4.13. "HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisinde dekorelasyon gemesi yöntemi ile mineralojik haritalaması.

Crisim Spektral kütüphanesinden olivin mineraline ait yüksek, en yüksek, düşük ve en düşük reflektans değerlerinin tespit edilmiştir (Şekil 4.14). "HRL000040FF_07_IF183L_ TRR3" verisinde ve bu değerler temel bileşen analizi (sPCA) crosta tekniği ile olivin mineralinin haritalaması yapılmıştır.



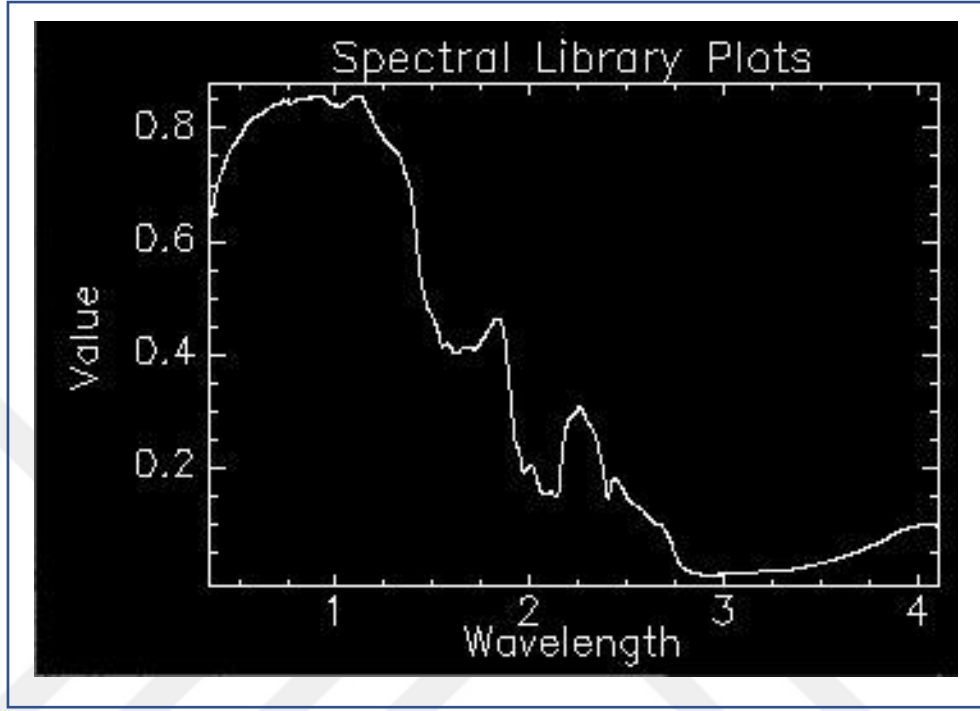
Şekil 4.14. Crisim Spektral kütüphanesinden olivin mineralinin spektral yansıma grafiği.

Olivin mineralinin haritalanması için en yüksek reflektans değeri $2,06 \mu\text{m}$, yüksek reflektans değeri $1,69 \mu\text{m}$, en düşük reflektans değeri $2,61 \mu\text{m}$, düşük reflektans değeri $2,5 \mu\text{m}$ e kullanılmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. “HRL000040FF_07_IF183L_TRR3” verisi açık gri beyazımsı renkle parlak gözüken alanlar olivin mineralini göstermektedir.

Crisim Spektral kütüphanesinden magnezyum sülfat mineraline ait yüksek, en yüksek, düşük ve en düşük reflektans değerlerinin tespit edilmiştir (Şekil 4.16). "HRL000040FF_07_ IF183L_ TRR3" verisinde ve bu değerler temel bileşen analizi (SPCA), crsota tekniği ile magnezyum sülfat mineralinin haritalaması yapılmıştır.



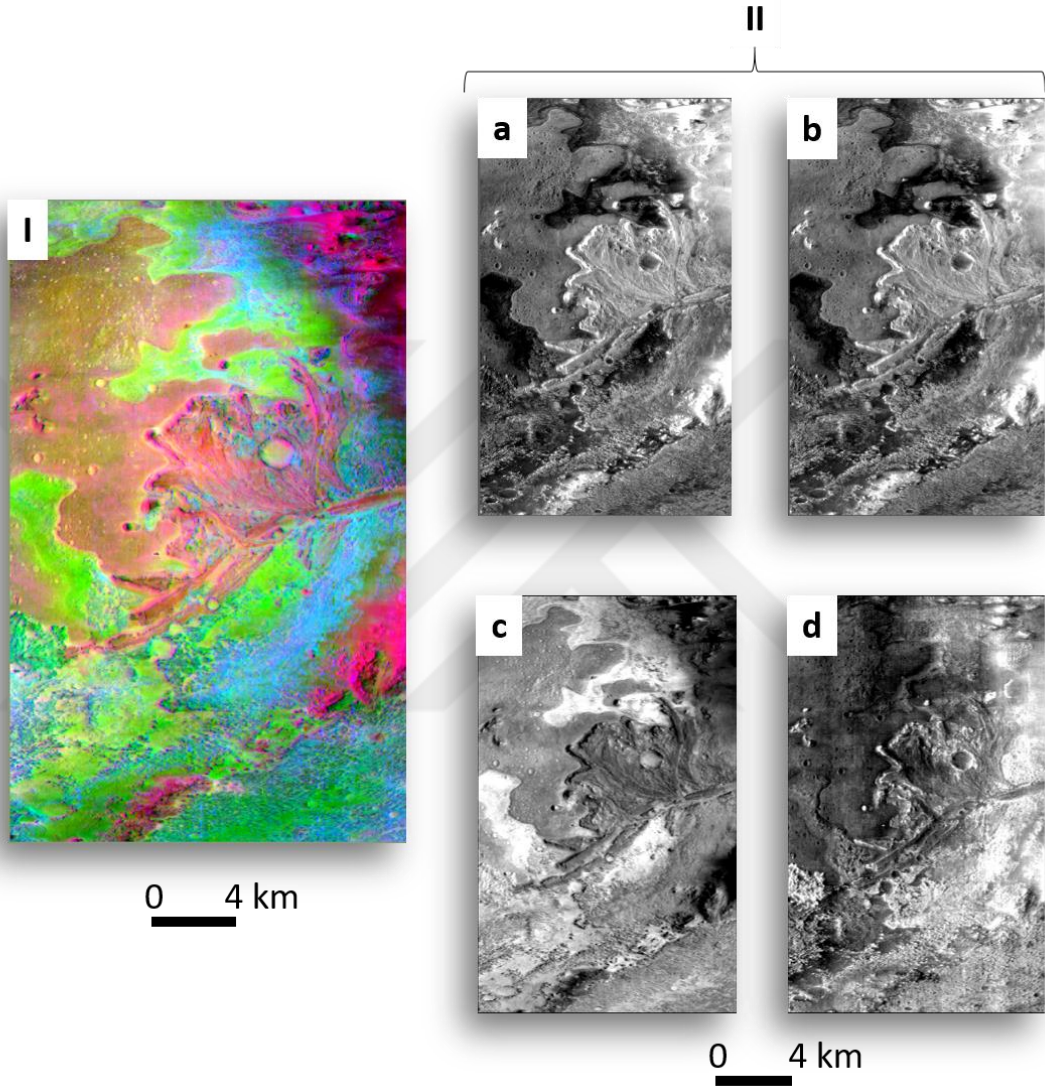
Şekil 4.16. Crisim Spektral kütüphanesinden magnezyum sülfat mineralinin spektral yansıma grafiği.

Magnezyum Sülfatın haritalanması için en yüksek reflektans değeri 1,13 μm , yüksek reflektans değeri 1,83 μm en düşük reflektans değeri 2,99 μm ,düşük reflektans değeri 2,12 μm kullanılmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17."HRL000040FF_07_IF183L_TRR3" verisi açık gri beyazımsı renkle parlak gözüken alanlar magnezyum sülfat mineralini göstermektedir.

Crosta (sPCA) analizinde 1,13 μm , 2,99 μm , 2,12 μm , 1,83 μm dalga boylarına ait bantlar kullanılarak oluşturulmuş sPCA görüntüsü (RGB: PC2, PC3, PC4) Şekil 4.18.(I)'de verilmiştir. Şekilde parlak yeşil gözüken alanlar hornblend, açık mavi alanlar kuvars, pembemsi alanlar magnetit + piroksen grubu mineralleri temsil ettiği ilgili minerallere ait bant oranlamalar ile teyit edilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Crosta tekniği kullanılarak üretilmiş 1,13 μm , 2,99 μm , 2,12 μm , 1,83 μm dalga boylarına ait sPCA görüntüsü (RGB: PC2, PC3, PC4)(I), bant oranlama sonucunda elde edilmiş veriler (II); magnetit (a), ferrikoksit (b), hornblend (c) ve kuvars (d).

5. TARTIŞMA

Çalışma alanının Mars gezegeni olması sebebi ile Dünya için kullanılan uzaktan algılama yöntemleri ile benzerlik gösterse de atmosferik koşulların farklılığı ve içeriği nedeniyle bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle, atmosferik etkiyi; görüntü kalitesini bozan etkileri ortadan kaldırmak için kullanılan yöntemler Mars gezegeni için aynı olmamaktadır. Dünya atmosferinde yer alan gazların, arayosoların Mars atmosferinde daha farklı olması nedeni ile Dünya yüzeyi için kullanılan atmosferik düzeltme teknikleri kullanılamamaktadır. Bu çalışmada atmosferik etkileri en aza indirecek mineral haritalama yöntemlerinden olan bant oranlama yöntemi kullanılmıştır.

Bant oranlamalar ile istenilen hedef mineraller doğrudan tespit edilebilmektedir. Bu verilere uygulanan eşik değeri ile kesin mekânsal dağılımları belirlenebilmektedir. Bant oranlama tekniklerinin bir diğer avantajı da atmosferik ve topografik düzeltmeye gerek duymaksızın doğru sonuç verebilmesidir. PCA analizleri kullanılarak oluşturulan mineral haritaları ise farklı RGB renk tonlarının farklı mineral gruplarını ve karışımlarını göstermesine rağmen minerallerin tanımına ilişkin doğrudan bir bilgi vermemektedir. Bu nedenle sPCA (crosta) tekniği ile hedef mineraller bant oranlamada olduğu tespit edilebilmektedir. Özellikle arazi doğrulamasının yapılamadığı gezegen jeolojisi çalışmalarında bant oranlama ve sPCA teknikleri kullanılması uygun bulunmuştur.

Bu çalışmada Mars yüzeyinde olması beklenen ferrik oksit, magnetit, dolomit, hornblend, kuvars, piroksen olivin, magnezyum sülfat, götit, diaspor, kil mineralleri için bant oranlama analizleri gerçekleştirilmiştir. Ancak elde edilen sonuçların yersel doğruluklarının yapılması şu an için mümkün değildir. NASA'nın çalışmasını yürüttüğü Perseverance gezgin robotunun elde ettiği kayaç numunelerinin Dünya'ya döndükten sonra laboratuvarlarda analiz yapılmasının ardından, bu çalışmaya ilişkin sonuçlar karşılaştırılabilir olacaktır.

Çalışma alanı olarak seçilen Jezero kraterinin üzerinde yer alan delta yapısı bize bölgede; flüvyal akıntı olduğunu bununda içeriğinde manyetit ağırlıklı minerallerin olduğu ve ayrıca suyun varlığına işaret ettiği kuvvetle muhtemeldir. Yaklaşık 45 km çapa sahip Jezero kraterine bir göktaşının çarptığı, sonrasında bölgede oluşan kraterin çevresine göre daha düşük yüksekliğe sahip olması nedeni ile akıntının buraya doğru yönlendiği görülmüştür. Akıntı beraberinde kratere magnetit, kuvars, hornblend, diaspor, magnezyum sülfat, ferrik oksit mineral içerikli sediman yığılmasına yol açtığı ve bununda delta yapısı şeklinde görülebildiği tespit edilmiştir. Delta oluşumundan sonra delta üzerine daha küçük çaplı bir göktaşının (yaklaşık 2km çapında) yeni bir krater oluşturduğu anlaşılmıştır.

Dünyada yapılan çalışmalarda Landsat uydu (30 m) verilerine hemen hemen eş bir çözünürlük olan MRO Crism enstrümanının sahip olduğu piksel boyutu 36 m olarak kullanılan veri seti orta çözünürlükte olup bazı detayların görülememesine neden olmaktadır. Bunlar özellikle yapısal unsurların görülmesini zorlaştırmaktadır.

Spektral olarak 438 banttan ve 1.00-3.93 um dalga boyu aralığına sahip olduğu için bu aralıkta spektral farklılık gösteren belirli mineral grupları tespit edebilmiştir. Çalışmada termal çok bantlı verilerin kullanılması ile farklı mineral gruplarının (Jips ve

Kuvars gibi) daha doğru bir şekilde tespit edilmesi mümkün olabilir. Çünkü bu mineral gruplarının en belirgin ayırt edici özellikleri termal dalga boyu aralığı olmaktadır.

Bir başka önemli hususta zamansal çözünürlük değeri artması olarak düşünülebilir. Kullanılan veri setlerinin çekim sıklığı arttığında Mars gezegenin yapısal değişimlerinin tespitinin ve gözlemlenmesinin yapılması mümkün olacaktır.

Bu çalışmada yer yüzeyinde uygulanan jeolojik uzaktan algılama çalışmalarından farklı olarak sınıflandırma analizleri özellikle yapılmamıştır. Bunun nedeni yersel doğruluk verilerinin elde edilememesidir.



6. SONUÇLAR

Bu çalışmada Mars gezegeninin uzaktan algılama teknikleri kullanılarak mineral haritalaması yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda özellikle su varlığına işaret eden Jezero krateri ve çevresi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu alan içerisindeki minerallerin haritalaması çalışmada gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Mars gezegenin yörüngesinde bulunan NASA'ya ait Mars Keşif Görüntüleme Spektrometresi (MRO) Crism enstrümanının elde ettiği multispektral ve hiperspektral verilerin uzaktan algılama teknikleri (bant oranlama, dekorelasyon gemesi, temel bileşen analizi ile crosta tekniği) kullanılarak işlenmiştir. Bant oranlama ve dekorelasyon gemesi ile temel bileşen analizi teknikleri sonucunda veri çıktılarının benzerlikleri kontrol edilmiş ve sağlanması yapılmıştır.

Çalışma sonucunda uzaktan algılama verileri ile Jezero Kraterinin mineralojik haritası çıkarıldığında; Ferrik oksit, magnetit, dolomit, hornblend, kuvars, piroksen olivin, magnezyum sülfat, götit, diaspor gibi minerallere ilişkin mekânsal dağılım haritaları üretilmiştir.

Çalışma alanı Jeomorfolojik olarak incelendiğinde Jezero kraterinin bir çarpışma metamorfizması ile aynı zamanda flüvyal geçmişi olan deltaya sahip krater olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, jeolojik uzaktan algılama yöntemleri ile dünya dışındaki karasal gezegenlerde görünür ve kısa dalga boyu, kızılötesi dalga boyu, spektral dalga boyu aralığını içeren multispektral ve hiperspektral görüntülerinin mineral haritalamasında kullanılabilecek oldukça güçlü enstrümanlar olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada aynı alan içerisinde farklı görüntü işleme teknikleri ile mineral haritalaması yapılarak bir anlamda sağlanması da yapılmıştır.

İleriki çalışmalarda teknolojinin elverdiği şartlar oluştuğunda bölgenin yüksek mekânsal ve spektral çözünürlüklü görüntüleri ile yersel doğrulama verilerinin birlikte kullanılabilirliğinin artması çalışmaların gidişatını olumlu yönde geliştirecektir.

7. KAYNAKLAR

- Alley, R. E (1996), Alley R (1999) Algorithm theoretical basis document for decorrelation stretch. Pasadena, CA 9110.
- Brown, A. J., C. E. Viviano-Beck, J. L. Bishop, N. A. Cabrol, D. Andersen, P. Sobron, J. Moersch, A. S. Templeton, and M. J. Russell (2016), A Serpentinization Origin for Jezero Crater Carbonates, 47th Lunar and Planetary Science Conference, #2165.
- Brown, A. J., C. E. Viviano-Beck, T. A. Goudge, and K. D. Putirka (2017), Carbonate Mineralogy of the Jezero Crater Watershed, 48th Lunar and Planetary Science Conference, #2346.
- Briony H.N. Horgan a , Ryan B. Anderson , Gilles Dromart, Elena S. Amador, Melissa S. Rice, ‘‘The mineral diversity of Jezero crater: Evidence for possible lacustrine carbonates on Mars’’
- Celik, C. 2020, Tharsis Mars Bölgesi ile Batı Anadolu’nun Jeolojik ve Jeomorfolojik Veriler Açısından Karşılaştırması, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 92 s.
- Crosta, A. and Moore, J. McM., 1989, Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference: Remote sensing for exploration geology, 1173-1187
- CRISM 2023, NASA CRISM web sitesi, (https://ode.rsl.wustl.edu/mars/pa gehelp/Content/Missions_Instruments/Mars%20Reconnaissance%20Orbiter/CRISM/C_RISM%20Product%20Primer /CRISM%20TRDR.htm#observingmode) erişim tarihi: 13/02/2022
- CRISM 2023, NASA CRISM web sitesi, (<http://crism.jhuapl.edu>) erişim tarihi: 10/02/2023
- Ehlmann, B. L. et al. (2009), Identification of hydrated silicate minerals on Mars using MROCRISM: Geologic context near Nili Fossae and implications for aqueous alteration, Journal of Geophysical Research, 114(5), doi:10.1029/2009JE003339.
- ESA 2021, web sitesi (https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express/Jezero_crater_through_the_eyes_of_Mars_Express) erişim tarihi: 05/01/2023
- ESA 2021, web sitesi (https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express/Jezero_crater_through_the_eyes_of_Mars_Express) erişim tarihi: 06/01/2023
- Fassett, C. I., and J. W. Head III (2005), Fluvial sedimentary deposits on Mars: Ancient deltas in a crater lake in the Nili Fossae region, Geophys. Res. Lett., 32(14), n/a–n/a, doi:10.1029/2005GL023456.

- Fassett, C. I., and J. W. Head Iii (2008), Valley network-fed, open-basin lakes on Mars: Distribution and implications for Noachian surface and subsurface hydrology, *Icarus*, 198(1), 37–56, doi:10.1016/j.icarus.2008.06.016
- Goudge, T. A., J. F. Mustard, J. W. Head, C. I. Fassett, and S. M. Wiseman (2015), Assessing the mineralogy of the watershed and fan deposits of the Jezero crater paleolake system, Mars, *Journal of Geophysical Research Planets*, 120(4), 775–808, doi:10.1002/2014JE004782.
- Hartmann, W.K., and Neukum, G., 2001, Cratering chronology and evolution of Mars: *Space Science Reviews*, v. 96, p. 165–194, doi:10.1023/A:1011945222010.
- Head, J. W., and L. Wilson, Mars: General environments and geological settings of magma/H₂O interactions, *Volcano-Ice Interaction on Earth and Mars*, *Geol. Soc. Spec. Publ.*, in press, 2002. Head, J. W., L. Wilson, and C. M. Weitz, Dark ring in southwestern lunar Orientale basin: Origin as a single pyroclastic eruption, *J. q evidence for massive melting and retreat, and lateral flow and ponding of meltwater. J. Geophys. Res.* 106, 12275–12299
- Horgan, B., Anderson, R. B., Dromart, G., Amador, E. S., Rice, M. S., The mineral diversity of Jezero crater: Evidence for possible lacustrine carbonates on Mars E.A., Mann, P., Bell, J.F., 2020. Volume 339, 15 March 2020, 113526 *Icarus*
- Kronyak, Rachel E; Stack Morgan, K.M.; Sun, V.Z.; Noblet, A., 2020, "Geomorphology and relative ages of inverted channel deposits in Jezero crater's western delta", <https://hdl.handle.net/2014/53730>, Root, V1Luo, Guangchun et al. "Minimum Noise Fraction versus Principal Component Analysis as a Preprocessing Step for Hyperspectral Imagery Denoising." *Canadian Journal of Remote Sensing* 42 (2016): 106 - 116.
- Kruse, F. A., A. B. Lefkoff, J. B. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon ve A. F. H. Goetz. "Spektral Görüntü işleme Sistemi (SIPS) - Görüntüleme spektrometresi Verilerinin Etkileşimli Görselleştirilmesi ve Analizi." *Çevrenin Uzaktan Algılanması* 44 (1993): 145-163.
- Mandon L. vd. 2020 websitesi, (<https://sci.esa.int/web/mars-express/-/the-topography-of-nili-fossae>) erişim tarihi: 03/02/2023
- MRO CRISM 2023, websitesi, (https://ode.rsl.wustl.edu/moon/pagehelp/Content/Missions_Instruments/Mars%20Reconnaissance%20Orbiter/CRISM/CRISM%20Products%20Primer/CRISM%20MTRDR.htm) erişim tarihi: 05/03/2023
- NASA Mars Rover, 2023, websitesi, (<https://mars.nasa.gov/news/8387/nasa-announces-landing-site-for-mars-2020-rover/>) erişim tarihi: 25/01/2023
- NASA Perseverance, 2023, web sitesi, (<https://mars.nasa.gov/msr/multimedia/videos/?v=544>) erişim tarihi: 15/04/2023
- NASA Perseverance dönüş, 2023, web sitesi, (<https://mars.nasa.gov/news/9286/nasa-and-esa-agree-on-next-steps-to-return-mars-samples-to-earth/>) erişim tarihi: 03/05/2023

- NASA SOLAR SYSTEM, 2023 websitesi, (<https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/our-solar-system/overview/>) erişim tarihi:25/05/2023
- Neukum, G., Wise, D.U., 1976. Mars—standard crater curve and possible new time scale. *Science* 194, 1381–1387
- Neukum, G., K. Hiller, Martian ages, *J. Geophys. Res.*, 86, 3097– 3121, 1981.
- NV5, 2023 websitesi,(<https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/principalcomponentanalysis.html>) erişim tarihi: 10/02/2023
- Othman, A.A., Gloaguen, R., 2017. Integration of spectral, spatial and morphometric data into lithological mapping: A comparison of different Machine Learning Algorithms in the Kurdistan Region, NE Iraq. *J. Asian Earth Sci.* 146, 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.05.005>
- Richards, J. A. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, Springer-Verlag, 1999.
- Samuel, A. L. (1959). Some studies in machine learning using the game of checkers. *IBM Journal of research and development*, 3(3), 210-229.
- San, B.T. 2008, Hyperspectral image processing of EO-1 hyperion data for lithological and mineralogical mapping, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 162 s.
- San, B.T., 2014. An evaluation of SVM using polygon-based random sampling in landslide susceptibility mapping: The Candir catchment area(western Antalya, Turkey). *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.09.010>
- SEIS INSIGHT 2017, web sitesi (<https://www.seis-insight.eu/en/public-2/martian-science/the-interior-of-rocky-planets>) erişim tarihi 07/05/2023
- Schon, S. C., J. W. Head, and C. I. Fassett (2012), An overfilled lacustrine system and progradational delta in Jezero crater, Mars: Implications for Noachian climate, *Planetary and Space Science*, 67(1), 28–45, doi:10.1016/j.pss.2012.02.003.
- Scott, D.H., and Tanaka, K.L., 1986, Geological Map of the Western Equatorial Region of Mars: U.S. Geological Society Miscellaneous Investigation Series Map I-1802A, scale 1:15,000,000.
- Science Arena Publications Specialty Journal of Mining and Geological Engineering Available online at www.sciarena.com 2018, Vol 1 (1): 11-22 Using Spectral Angle Method to Detect Alterations in Sheets of Mokhtaran and Sarchahshur Z. Khajehmiri1*, M. R. Shayestehfar2, H. Moeinzadeh3
- Stack Morgan, Katie, 2019, "Geology of Jezero Crater, the Mars 2020 Landing Site", <https://hdl.handle.net/2014/52216>, Root, V1

- Sun, Vivian Z.; Stack, Kathryn M., 2019, "Geologic Mapping of the Jezero and Northeast Syrtis Regions of Mars", <https://hdl.handle.net/2014/50994>, Root, V1
- Tanaka, K. L. and Scott, D. H., 1987. Geologic Map of the Polar Regions of Mars. U.S. Geological Survey
- Tarnas, Jesse; Stack, Katie; Parente, Mario; Mustard, Jack; Koeppel, Ari; Moore, Kelsey; Seelos, Frank; Cloutis, Ed; Kelemen, Peter; Flannery, David; Brown, Adrian; Frizzell, Katelyn, 2021, "Origins of Carbonate-Bearing Rocks in Jezero Crater", <https://hdl.handle.net/2014/54600>, Root, V1
- Yin, A., 2012, Structural analysis of the Valles Marineris fault zone: Possible evidence for large-scale strike-slip faulting and a primitive form of plate tectonics on Mars:Lithosphere, v. 4, p. 286–330, doi:10.1130/L192.1.

ÖZGEÇMİŞ

ÇİLEM ÇELİK

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2020-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2011-2020	Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, İzmir

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Firma Sahibi 2021- 2023	Crystalclem
----------------------------	-------------

ESERLER

Ulusal ve uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1. Celik C., Sözbilir H., Oğuş O., Bodur Ö., Kıray N., (2019) 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı; Tharsis Rise Mars ve Batı Anadolu Türkiye Jeolojik ve Jeomorfolojik Verilere Göre Karşılaştırılması, Uluslararası Katılımlı 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 28 Ocak–01 Şubat 2019, Ankara, Türkiye.