

AY'IN UZAKTAN ALGILANMASI

Kaan KALKAN¹

¹ Dr., TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, 06800, Çankaya, Ankara, kaan.kalkan@tubitak.gov.tr

ÖZET

Ay yüzeyine temas etmek ve Ay ile ilgili bilgiler toplamak uzay yarışının başladığı ilk günlerden bu yana birçok ülkenin bu yarışta kalmak üzere önem verdiği bir konu olmuştur. Bu çalışmada, dünyanın tek doğal uydusu ve güneş sisteminin 5. Büyük uydusu olan ay yüzeyi hakkında uzaktan algılama uygulamalarının nasıl geliştirileceği ve daha önce ay yüzeyinden yapılan uzaktan algılama çalışmaları hakkında bilgiler verilecektir.

Anahtar Sözcükler: ay, uydu, uzaktan algılama

ABSTRACT

REMOTE SENSING OF MOON

Contacting the lunar surface and collecting information about the Moon has been an important issue for many countries to stay in this race since the first days of the space race. In this study, information will be given about how to develop remote sensing applications for the lunar surface, which is the only natural satellite of the world and the 5th largest satellite of the solar system, and about the remote sensing studies carried out on the lunar surface before.

Keywords: moon, satellite, remote sensing

1. GİRİŞ

Ay, Dünya'nın en büyük doğal uydusu ve Dünya'ya en yakın ana astronomik nesnedir. Ay, çıplak gözden büyük teleskoplara kadar çeşitli optik aletler kullanılarak gözlemlenebilir. Ay'ın keşfi çalışmalarındaki motivasyon, “suyu bul, hayatı bul” şeklinde başlayarak, ay yüzeyindeki mineralojik özelliklerin araştırılması ile Ay'da bulunan doğal kaynakların tespiti üzerine yoğunlaşarak devam etmiştir. Ay, çoğu insanın çıplak gözle yüzey özelliklerinin ayırt edilebildiği tek gök cisimidir. Ay yüzeyini çıplak gözle incelediğimizde, göreceli daha parlak yükseltiler ve karanlık düzlükler gözlemlenebiliriz. 17.yy'ın ortalarından bu yana Galileo ve diğer astronomlar teleskop gözlemleri yaparak ay yüzeyi ile ilgili bilgileri dünyamızdan toplamışlardır. Fakat uydu görevleri ile bu bilgiler ay yüzeyine yaklaşarak uzaktan algılama yöntemleri ile yapılmaya başlanmıştır. Uzay keşfi için yakın bir istasyon olarak değerlendirilen ay yüzeyi, derin uzay görevlerini için bir geliştirme ve test alanı olarak değerlendirilmektedir. Ay'ın jeolojik yapısı, su varlığı, kraterlerin incelenmesi ve sayısal yükseklik modeli üretilmesi gibi çalışmalar ay yüzeyinden yapılan temel uzaktan algılama analizleri arasında gösterilebilir.

Ay'ın çok ince bir atmosfere sahip olması, uzaktan algılama yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Dünyadan çekilen uzaktan algılama görüntülerinde atmosferik etkilerin giderilmesi daha zorlu süreçler gerektirmektedir. Ay'ın üzerinde bulunan ince tabaka “Ekzosfer” olarak bilinmektedir. Bu tabakada bulunan gaz molekülleri birbirlerinden uzakta bulunduğundan toplu halde hareket etmezler. Bunun yanında, Ay'ın atmosferinde Dünya'nın atmosferinde bulunmayan sodyum ve potasyum gibi gazlar tespit edilmiştir.

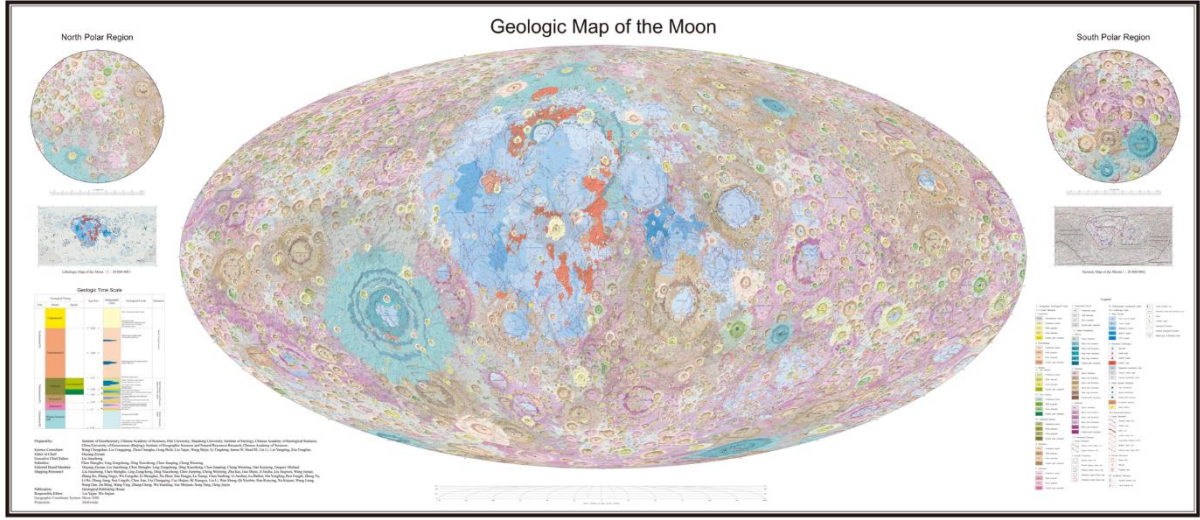
2. AY YÜZEYİ

2.1. Ay'ın Jeolojisi

Ay'ın jeolojisi Dünya'ninkinden oldukça farklıdır. Ay, gerçek bir atmosferden yoksundur. Plaka tektoniğinin bilinen herhangi bir şekli yoktur, daha düşük yerçekimi vardır ve küçük boyutu nedeniyle daha hızlı soğur. Ay yüzeyinin karmaşık jeomorfolojisi, özellikle çarpma kraterleri ve volkanizma olmak üzere, bu süreçlerin bir kombinasyonu ile oluşturulmuştur.

Ay'ın jeolojik çalışmaları, Dünyadan yapılan teleskop gözlemlerinin, yörüngedeki uzay aracından alınan görüntüler ve ölçümlerin, ay örneklerinin ve jeofizik verilerin bir kombinasyonuna dayanmaktadır. 1969'dan 1972'ye kadar mürettebatlı Apollo programı inişleri sırasında doğrudan altı yer örneklendi ve bu, 380.96 kilogram Ay kayasını ve Ay toprağını Dünya'ya geri getirdi. 1970'den 1976'ya kadar Sovyetlerin Luna uzay aracı, yaklaşık 326 gram örneği dünyaya getirdi ve Çin robotu Chang'e 5, 2020'de 1.731 g numune geri getirdi. Bu noktada; Ay, jeolojik bağlamı

bilinen örneklerine sahip olduğumuz tek dünya dışı cisimdir. Çin Bilimler Akademisi tarafından hazırlanan Ay'ın Jeolojik Haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çin Bilimler Akademisi tarafından 1-2.5M ölçekli Ay'ın jeolojik haritası (CAS, 2022)

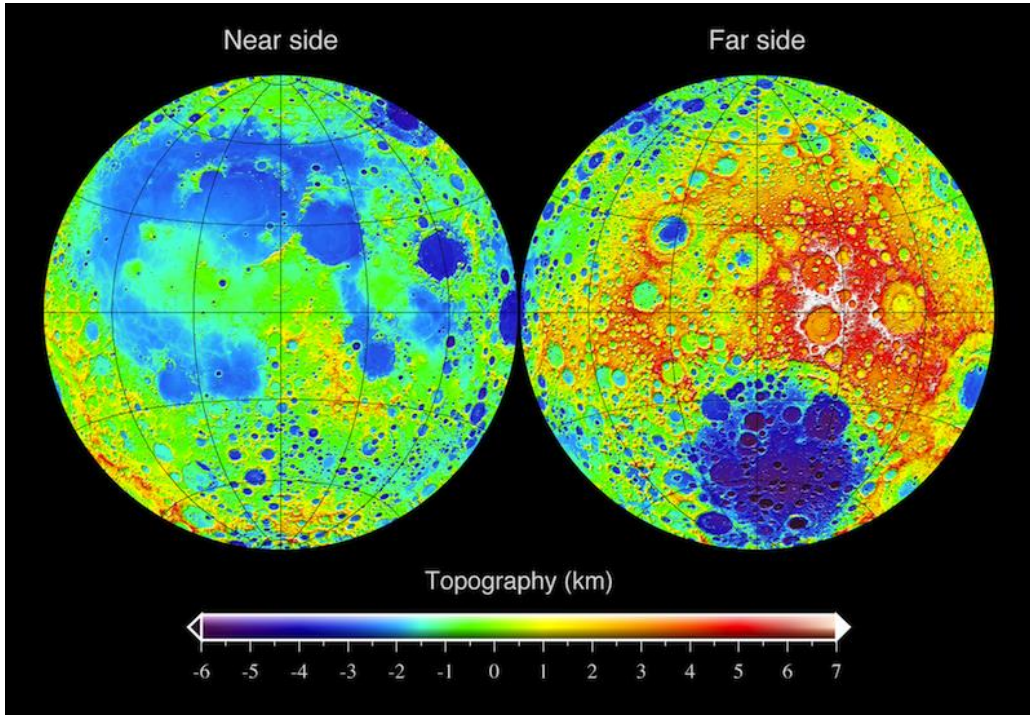
Ay yüzeyinde bulunduğu bilinen elementler arasında oksijen (O), silikon (Si), demir (Fe), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), alüminyum (Al), manganez (Mn) ve titanyum bulunur (Ti) (Çizelge 1).

Çizelge 1. Ay yüzeyinin kimyasal bileşimi (Taylor, 1975)

İçerik	Formül	Oranı	
		Denizler (Maria)	Yaylalar (Highlands)
Silisyum Dioksit	SiO ₂	45.4%	45.5%
Alüminyum Oksit	Al ₂ O ₃	14.9%	24.0%
Kalsiyum Oksit	CaO	11.8%	15.9%
Demir (II) Oksit	FeO	14.1%	5.9%
Magnezyum	MgO	9.2%	7.5%
Titanyum Oksit	TiO ₂	3.9%	0.6%
Sodyum Oksit	Na ₂ O	0.6%	0.6%
		99.9%	100.0%

2.2. Ay'ın Topoğrafyası

Ay'ın topoğrafyası lazer altimetri ve stereo görüntü analizi ile ölçülmüştür. En kapsamlı topoğrafik özelliği, yaklaşık 2.240 km (1.390 mil) çapında, Ay'daki en büyük krater ve Güneş Sistemi'ndeki onaylanmış en büyük ikinci çarpma krateri olan uzak taraftaki dev Güney Kutbu-Aitken havzasıdır (Spudis, 1994). 13 km (8,1 mil) derinlikte, tabanı Ay'ın yüzeyindeki en alçak noktadır. Ay yüzeyinin en yüksek kotları, doğrudan kuzeydoğuda yer almaktadır (Schultz, 1997). LRO görevinde bulunan bilimsel yüklerden olan, LOLA (Lunar Orbiter Laser Altimeter) ekipmanından alınan veriler ile oluşturulan Ay'ın topoğrafik haritası Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Ay'ın topoğrafik haritası (Wieczorek, 2022)

2.3. Ay'ın Karanlık Yüzü

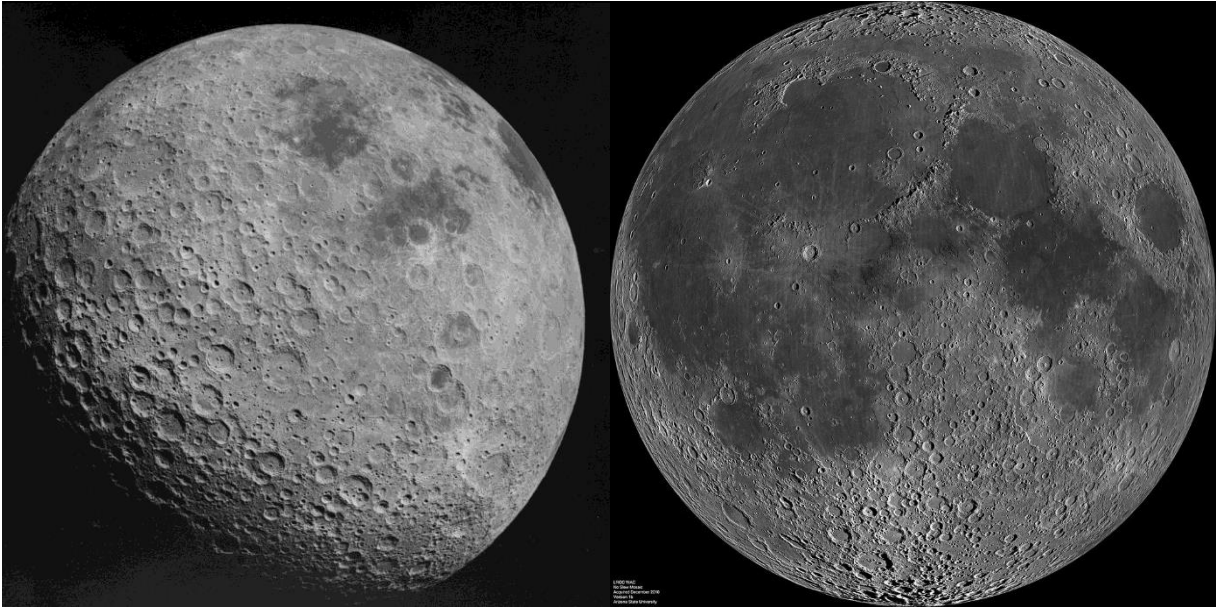
Ay'ın uzak tarafı, Ay'ın yörüngesindeki senkron dönüş nedeniyle daima Dünya'dan terse bakan, yakın tarafa zıt olan ay yarımküresidir. Yakın tarafla karşılaştırıldığında, uzak tarafın arazisi engebelidir, çok sayıda çarpma krateri ve nispeten az sayıda düz ve karanlık ay denizi ("maria") ile güneş sistemindeki Merkür ve gibi diğer çorak yerlere daha yakın bir görünüm verir. Güneş Sistemi'ndeki en büyük kraterlerden biri olan Güney Kutbu-Aitken havzasına sahiptir. Yarım küreye bazen "Ay'ın karanlık yüzü" denir; burada "karanlık", "güneş ışığından yoksun" yerine "bilinmeyen" anlamına gelir (O'Conner vd, 2011) (Şekil 3a).

Karanlık yüzün yaklaşık yüzde 18'i, zaman zaman Dünya'dan görülebilir. Kalan yüzde 82, 1959'da Sovyet Luna 3 uzay sondası tarafından fotoğraflanana kadar gözlemlenememiştir. Sovyet Bilimler Akademisi, 1960'da uzak tarafın ilk atlasını yayınlamıştır. Apollo 8 astronotları, 1968'de Ay'ın yörüngesinde döndüklerinde uzağı bizzat gören ilk insanlardı. Çin'in Chang'e 4 uzay aracı Ay'ın karanlık yüzüne ilk inişini 3 Ocak 2019'da yapmıştır (AP News, 2019).

2.4. Ay'ın Aydınlık Yüzü

Ay'ın yakın tarafı, her zaman Dünya'ya bakan, uzak tarafının karşısındaki ay yarımküresidir. Ay'ın sadece bir tarafı Dünya'dan görülebilir, çünkü Ay kendi eksenini etrafında Ay'ın Dünya yörüngesindeki dönüşüyle aynı hızda döner.

Ay, doğrudan Güneş tarafından aydınlatılır ve döngüsel olarak değişen görüş koşulları, Ay evrelerine neden olur. Bazen Ay'ın karanlık kısmı, Dünya yüzeyinden ve Ay'a yansıyan dolaylı güneş ışığı olan dünya ışığı nedeniyle hafifçe görülebilir (Şekil 3b).



Şekil 3a) Ay'ın Karanlık Yüzü (uzak tarafı) (Apollo 16, 1972) **b)** Ay'ın Aydınlatılmış Yüzü (yakın tarafı) (LRO, 2010)

3. AY GÖREVLERİ

Uzay yarışının başlaması ile birçok ülke Ay'ın yörüngesine ve yüzeyine araç göndermiştir. Bu kapsamda ilk görev Sovyetler Birliği tarafından 1059 yılında fırlatılan Luna-2 aracı olmuştur. Bunu sırasıyla 1969 yılında Ay'ın yüzeyine insanlı iniş yaparak büyük ses getiren Apollo 11 takip etmiştir. 1990 yılında Japonya Ay'a ulaşan 3. Ülke olurken, Çin 2019 yılında Chang-3 aracı ile 4. Ülke olmuştur. Hindistan iniş denemesi yapmasına rağmen bunu gerçekleştirememiştir. Ay'ın uzaktan algılamasında temel olarak Chandrayaan-1,2 ve LRO uydu görevleri öne çıkmaktadır (ISRO, 2008-2019, LRO, 2009).

Neil Armstrong ve Buzz Aldrin, Apollo Lunar Module Eagle ile ay yüzeyine indiğinde, yaklaşık 2 saat geçirerek, 21 kg ağırlığında toprak ve kaya örneği getirmişlerdir. Bu örnekler mineroloji ve su varlığının tespiti için testler yapılmasında öncü olmuştur. Sonrasındaki görevler ile birlikte yaklaşık 12 Amerikalı Astronot ay yüzeyine ulaşmıştır.

4. AY'IN UZAKTAN ALGILAMASI

İnsan gözü elektromanyetik spektrumun sadece küçük bir kısmını görebilir. Görünür ışık adı verilen gördüğümüz ışığın dalga boyları 400 ila 700 nanometredir. Ultraviyole ışığın dalga boyları daha kısadır ve kızılötesi ışığın daha uzun dalga boyları vardır. Spektrometreler, tüm bu dalga boylarında yansıyan enerjiyi ölçebilen cihazlardır. Bu cihazlar uzay aracına (uydu ve roverler) yerleştirildiğinde, bir gezegen yüzeyinin veya atmosferinin mineral (ve bazen kimyasal) bileşimlerini çıkarmak için kullanılabilir (Şekil 4).

Ay yüzeyinden yansıyan ışık, Ay yüzeyinde açığa çıkan minerallerin karakteristiği olan özelliklere sahip bir spektrum üretir. Ay yüzeyindeki dört yaygın mineral, her biri farklı bir spektrum oluşturan olivin, plajiyoklaz, piroksen ve ilmenittir. Bu mineralleri tanımlamak için kullanılan spektral özellikler, spektrumun görünür kısmının ötesindeki dalga boylarında meydana gelir, bu nedenle yörüngedeki uzay aracındaki spektrometrelerle gözlemlenirler. Ay'ın farklı bölgelerinden spektral imza toplayarak, bu (ve diğer) minerallerin dağılımı haritalanabilir (Şekil 4).

Ay'a baktığımızda gözlerimiz sadece 400 ila 700 nanometre dalga boyuna sahip görünür ışığı görürken, spektrometreler daha geniş bir dalga boyu aralığını görebilir. Suyun göstergesi olan 3.000 nanometre (veya 3 mikron) civarında önemli bir spektral özellik vardır. Yörüngedeki Chandrayaan-1 uzay aracındaki Moon Mineralogy Mapper cihazı, 400 ila 3.000 nanometre spektrumları toplayabilir, bu nedenle ay yüzeyinin mineralojisini haritalama ve ay yüzeyinin üst birkaç angstromunda suyu tespit etme yeteneğine sahiptir.



Şekil 4. Ay yüzeyinde bulunan minerallere ait spektral imzalar (The Lunar and Planetary Institute, 2022)

Ay'ın uzaktan algılaması ile ilgili detaylı bilgiler vermek için, bu kapsamda gönderilen uydular incelenecektir. Bu uyduların sahip olduğu görev yükleri (payload) yapılan ve yapılabilecek çalışmalara ışık tutmaktadır. Bu çalışmada; Chandrayaan-1,2 ve LRO görevleri incelenecektir.

4.1. Chandrayaan-1 Bilimsel Yükleri

Chandrayaan-1 uydusunun taşıdığı bilimsel görev yükleri aşağıda listelenmiştir (ISSDC, 2022).

Hindistan tarafından yapılmış yükler.

Terrain Mapping Camera (TMC): 5 metre çözünürlük ve 20 km yer genişliğine sahip pankromatik yüksek çözünürlüklü görüntü çeken kamera. Topoğrafik haritalama için gönderilmiştir.

Hyper Spectral Imager (HySI): 80 metre çözünürlük ve 15nm spektral aralığa sahip 400-950 nm arasında çekim yapan hiperspektral kamera. Minerolojik haritalama için gönderilmiştir.

Lunar Laser Ranging Instrument (LLRI): 5 metre yükseklik çözünürlüğüne sahip Laser mesafeleme ekipmanı. Topoğrafik haritalama için gönderilmiştir.

High Energy X-raySpectrometer (HEX): 33km mekânsal çözünürlüğe sahip Cadmium-Zinc-Telluride algılayıcı. Ay'ın radyasyon çevresini incelemek için gönderilmiştir.

Diğer Ülkeler tarafından yapılmış yükler.

Chandrayaan-1 X-raySpectrometer (CIXS): Radyasyon araştırmaları için ESA tarafından geliştirilmiştir.

Near Infrared Spectrometer (SIR – 2): Max Plank Enstitüsü tarafından, minerolojik haritalama için gönderilmiştir.

Sub keV Atom Reflecting Analyzer (SARA): Swedish Institute of Space Physics, Sweden and Space Physics Laboratory, Vikram Sarabhai Space Centre ve ISRO tarafından, su ve buzul arama faaliyetleri için eklenmiştir.

Miniature Synthetic Aperature Radar (MINI SAR): Johns Hopkins Üniversitesi ve Naval Air Warfare Merkezi tarafından, su ve buzul arama faaliyetleri için eklenmiştir.

Moon Mineralogy Mapper (M3): Brown Üniversitesi ve JPL tarafından minerolojik haritalama için gönderilmiştir.

Radiation Dose Monitor (RADOM): Radyasyon araştırmaları için Bulgar Bilimler Akademisi tarafından eklenmiştir.

4.2. Chandrayaan-2 Bilimsel Yükleri

Chandrayaan-2 uydusunun taşıdığı bilimsel görev yükleri aşağıda listelenmiştir (ISSDC, 2022).

Terrain Mapping Camera: Ay'ın Sayısal Yükseklik Modelinin (SYM) çıkarılmasında kullanılacak kameradır. Ay'ın SYM'sinin detaylı olarak haritalanması, iniş görevleri için ve kraterlerin incelenmesi için önem taşımaktadır.

Chandrayaan-2 Large Area Soft X-ray Spectrometer: Ay yüzeyindeki elementlerin kompozisyonunu belirlemek için kullanılacaktır.

Imaging IR Spectrometer: Ay'ın mineraloji haritasının çıkarılmasında ve su araştırmalarında kullanılacaktır. Kızılötesi spektrometre cihazı temel uzaktan algılama faaliyetlerini gerçekleştireceği ekipmandır.

Syntetic Aperture Radar (L&S Bands): Polar bölgenin haritalanmasında ve su varlığının araştırılmasında kullanılacak Radar algılayıcıdır.

Orbiter High Resolution Camera: Ay'ın yüksek çözünürlüklü görüntülerinin çekilmesinde kullanılacaktır. Bu görüntüler ile iniş planlamaları ve detaylı görsel analizler gerçekleştirilebilir.

4.3. LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) Bilimsel Yükleri

LRO Uydusunun taşıdığı bilimsel görev yükleri aşağıda listelenmiştir (NASA, 2022).

Cosmic Ray Telescope for the Effects of Radiation (CRaTER): Radyasyonun Etkileri için Kozmik Işın Teleskobu (CRaTER), ay radyasyon ortamını karakterize eder ve potansiyel biyolojik etkilerini belirler.

The Diviner Lunar Radiometer (DLRE): Termal haritalama ölçümleri sağlayarak yüzey ve yüzey altı sıcaklıkları (soğuk tuzakları ve potansiyel buz birikintilerini tanımlar) ve ayrıca engebeli arazi veya kayalar gibi iniş tehlikeleri hakkında ayrıntılı bilgi verir.

Lyman Alpha Mapping Project (LAMP): Tüm ay yüzeyini ultraviyole olarak haritalar. LAMP ayrıca kutup bölgelerinde yüzey buzunu ve donu arar ve yalnızca yıldız ışığıyla aydınlatılan kalıcı gölgeli bölgelerin görüntülerini sağlar.

The Lunar Exploration Neutron Detector (LEND): Yüksek çözünürlüklü hidrojen dağılım haritaları oluşturur ve ay radyasyon ortamı hakkında bilgi sağlar. LEND, Ay yüzeyinde su buzunu kanıtı aramak için kullanılır ve gelecekteki insan keşifleri için yararlı olan uzay radyasyonu ortam ölçümleri sağlar.

The Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA): İniş alanı eğimlerini, ay yüzeyinin pürüzlülüğünü ölçer ve Ay'ın yüksek çözünürlüklü 3B haritasını oluşturur. LOLA, Ay'ın yüzey yüksekliklerini analiz ederek Ay'ın kalıcı olarak aydınlatılan ve kalıcı olarak gölgelenen alanlarını da tanımlar.

The Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC): Ay yüzeyinin yüksek çözünürlüklü siyah beyaz görüntülerini alır, ay kutuplarının görüntülerini 1m'ye kadar çözünürlükte yakalar ve ay yüzeyini renkli ve morötesi olarak görüntüler. Bu görüntüler kutupsal aydınlatma koşulları hakkında bilgi sağlar, potansiyel kaynakları ve tehlikeleri tanımlar ve güvenli iniş yeri seçimini sağlar.

Mini-RF Technology Demonstration: Mini-RF teknolojisi gösteriminin birincil amacı, yeraltı su buzunu birikintilerini aramaktır. Ayrıca Mini-RF, kalıcı olarak gölgelenen bölgelerin yüksek çözünürlüklü görüntülerini alacaktır.

5. MİLLÎ UZAY PROGRAMI VE AY GÖREVİ

Milli Uzay Programı'nda yer alan ana hedeflerden biri 'Ay Görevi'dir (TUA, 2021) . Söz konusu görev kapsamında, Ay Araştırma Programı oluşturulmuştur. Ay yüzeyine sert iniş ile ilk teması gerçekleştirmek (AYAP-1) ve ikinci aşamada ise 2028 yılında yumuşak iniş ile Ay yüzeyine ulaşmak şeklinde tanımlanmıştır. İlk aşamada Ay'a ulaşarak sert iniş gerçekleştirmek, ikinci aşamada ise aracımızı yakın yörüngeye fırlatması kendi milli roketlerimiz ile yapılarak Ay'a yumuşak iniş gerçekleştirilmesi planlanmaktadır (Baygeldi, 2021).

AYAP-1 projesi kapsamında Ay etrafında hedeflenen yörüngeye (100 km irtifada dairesel uzay aracı yerleştirildikten sonra burada bir süre görev yükleri vasıtasıyla Ay yüzeyinden ve uzay ortamından veriler toplanacak ve analiz edilecektir. Görev yükü kapsamında birer adet yüksek çözünürlüklü ve video kamera ile radyasyon ve uzay ortamının

anlaşılmasına yönelik veri toplayacak algılayıcılar bulundurulması planlanmaktadır. Alınacak ve işlenecek görüntüler üzerinden sonraki görevler için analizler gerçekleştirilecektir (Yağlıoğlu, 2021).

6. TARTIŞMA

Bu çalışmada, Ay'ın Uzaktan Algılanması ile ilgili temel bilgiler verilerek, araştırma konuları ve geçmiş uydu projeleri hakkında bilgiler aktarılmıştır. Milli Uzay Programı kapsamında gerçekleştirilecek olan AYAP-1 projesi kapsamında elde edilecek kazanım ile Türkiye'de Ay ile ilgili araştırmalar ve uzaktan algılama çalışmaları yapabilir hale gelecektir. Dileğimiz ve motivasyonumuz bir sonraki UZAL-CBS konferansında kendi uydumuz ile çektiğimiz görüntülerin incelemelerini ve yayınlarını yapmak yönündedir.

KAYNAKLAR

AP News, 2019. "Chinese spacecraft makes first landing on moon's far side".

Baygeldi, A., 2021, Ay Araştırma Programı, Anahtar Dergisi, Sayı: Aralık 2021

Indian Space Science Data Centre, 2022. Science Payloads Onboard Chandrayaan-1 Mission https://www.issdc.gov.in/docs/ch1/chandrayaan1_payload.pdf

Indian Space Science Data Centre, 2022. Handbook of Chandrayaan-2, Payloads Data & Science. https://www.issdc.gov.in/docs/ch2/hand_book_-_payloads_data_and_science.pdf

ISRO, 2008. Chandrayaan-1, <https://www.isro.gov.in/Spacecraft/chandrayaan-1>

ISRO, 2019. Chandrayaan-1, <https://www.isro.gov.in/chandrayaan2-home-0>

Ji, J., Guo, D., Liu, J., Chen, S., Ling, Z., Ding, X., ... & Ouyang, Z., 2022. The 1: 2,500,000-scale geologic map of the global moon. Science Bulletin.

LRO, 2009, Lunar Reconnaissance Orbiter, <https://lunar.gsfc.nasa.gov/>

NASA, 1972. The far side of the Moon, photographed by Apollo 16 in 1972. <http://www.lpi.usra.edu/resources/apollo/frame/?AS16-M-3021>

NASA, 2010. Near side of the Moon, Detailed view by NASA's LRO. <http://apod.nasa.gov/apod/ap110303.html>

NASA, 2022. The LRO Instruments, <https://lunar.gsfc.nasa.gov/instruments.html>

O'Conner, P. T., Kellerman, S., 2011. The dark side of the moon. <https://www.grammarphobia.com/blog/2011/09/dark-side-of-the-moon.html>

Schultz, P. H., 1997. Forming the south-pole Aitken basin-The extreme games. In Lunar and Planetary Science Conference (Vol. 28, p. 259).

Spudis, P. D., Gillis, J. J., Reisse, R. A., 1994. Ancient multiring basins on the Moon revealed by Clementine laser altimetry. Science, 266(5192), 1848-1851.

Taylor, S. R., 2016. Lunar science: A post-Apollo view: Scientific results and insights from the lunar samples. Elsevier.

The Lunar and Planetary Institute, 2022. <https://www.lpi.usra.edu/exploration/training/illustrations/LunarRemoteSensing/>

TUA, 2021, Milli Uzay Programı. <https://tua.gov.tr/tr/milli-uzay-programi> Yağlıoğlu, B., 2021, Türkiye'nin Ay Görevi ve Hedefleri, Anahtar Dergisi, Sayı: Aralık 2021

Wieczorek, M. A., 2022, Moon. <https://en.wikipedia.org/wiki/Moon>

Yağlıoğlu, B., 2021, Türkiye'nin Ay Görevi ve Hedefleri, Anahtar Dergisi, Sayı: Aralık 2021