

AY'IN UZAKTAN ALGILANMIŞ GÖRÜNTÜLERİNİN İNCELENMESİ

Yazgi Nur SAYIN¹, Kaan KALKAN¹

¹TÜBİTAK, Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye, yazgi.sayin@tubitak.gov.tr, kaan.kalkan@tubitak.gov.tr

ÖZET

Koordinatlar, bir noktanın konumunu ifade ederler. Koordinat sistemleri uzaydaki noktaların konum ve hareket bilgilerini belirtirler. Bu sistemler konumsal analizler yapmak ve haritalar oluşturmak gibi çeşitli işlemlerde kullanılır. Bütün konumsal bilgiler bir koordinat sisteminde oluşturulur. Bir koordinat referans sistemi (CRS), iki boyutlu haritanın gerçek yerlerle nasıl ilişkili olduğunu tanımlar. Hangi harita projeksiyonunun ve CRS'nin kullanılacağına karar vermek, çalışmak istediğiniz alanın bölgesel kapsamına, yapmak istediğiniz analize ve genellikle verilerin kullanılabilirliğine bağlıdır. Bu çalışmada, Ay yüzeyinin uzaktan algılanmış görüntülerinde kullanılan koordinat sistemleri ve bu görüntülerin temel özellikleri incelenmiştir. Ay görevlerinde kullanılan uydulardan çekilen görüntüler ve bu görüntülerde kullanılan koordinat sistemleri açıklanmıştır. Harici yazılımların desteklediği koordinat sistemlerine örnekler verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Ay, koordinat sistemleri

ABSTRACT

EXAMINATION OF REMOTE SENSING IMAGES FROM THE MOON

Coordinates identify the location of a point. Coordinate systems specify the position and motion information of points in space. These systems are used in various operations such as performing spatial analysis and creating maps. All spatial information is generated in a coordinate system. A coordinate reference system (CRS) defines how the two-dimensional map relates to real places. Deciding which map projection and CRS to use depends on the regional scope of the area you want to study, the analysis you want to do, and generally the availability of data. In this study, the coordinate systems and general image characteristics used in remote sensing images of the lunar surface were examined. The images taken from the satellites used in lunar missions and the coordinate systems used in these images are explained. Examples of coordinate systems supported by external softwares are given.

Keywords: Moon, coordinate systems

1. GİRİŞ

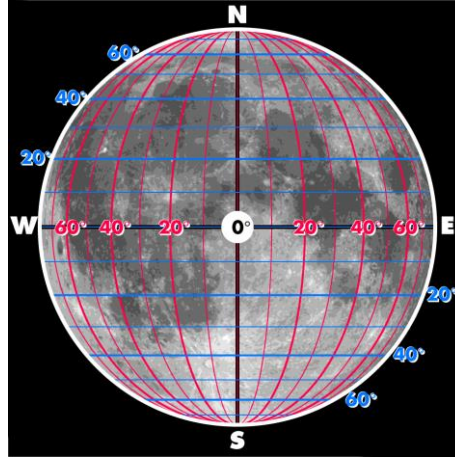
Ay için tanımlanan koordinat sistemleri ve referans sistemleri mevcuttur. Bu yayın, Ay koordinatlarını tanımlamak için Ay koordinat sistemlerini özetlemektedir. Amaca göre özel uygulamalar için veya kartografik ürünler için bu sistemler kullanılır ve bu sistemler arasında dönüşümler yapılır. Uydu görüntüleri için kullanılan çoğu yazılımda da Ay koordinat sistemi tanımlanmıştır. Bu konuda daha önceden yapılmış A new lunar Digital elevation model from the Lunar Orbiter Laser Altimeter and SELENE Terrain Camera (Barker vd., 2016), Mineralogy of Mare Serenitatis on the near side of the Moon based on Chandrayaan-1 Moon Mineralogy Mapper (M3) observations (Kaur vd., 2013), Extracting accurate and precise topography from LROC narrow angle camera stereo observations (Henriksen vd., 2017), Cartography of the Lunokhod-1 landing site and traverse from LRO image and stereo-topographic data (Karachevtseva, I., 2013) yayınlarında incelemeler yapılmıştır.

2. AY'IN KOORDİNAT SİSTEMLERİ

Ay için kullanılan koordinat sistemleri planetografik (Ay için selenografik), planetosentrik (Ay için selenosentrik) ve planetodetik (Ay için selenodetik) koordinat sistemidir.

2.1 Selenografik Koordinat Sistemi

Enlem kuzeye doğru pozitif olarak artar (-90'dan +90'a). Ay'ın kuzey kutbu'ndan 0° ile 90° ve güney kutbu'ndan 0° ile -90° arasında ölçülür (Şekil 1). Bir planetografik sistemde, boylam aralığı 0° ile 360° arasındadır. (NASA NAIF, 2022)

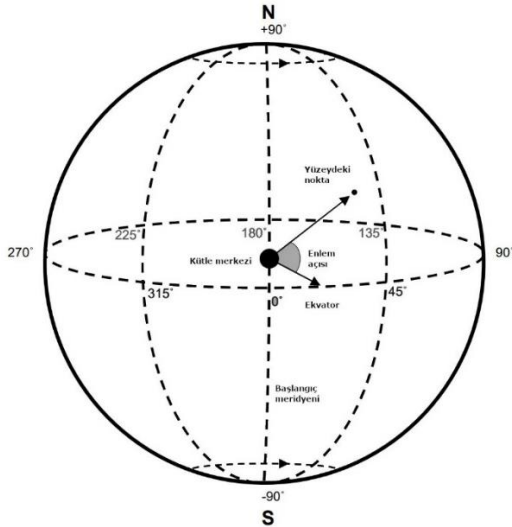


Şekil 1. Selenografik Koordinatların Gösterimi (Vikipedi, 2022)

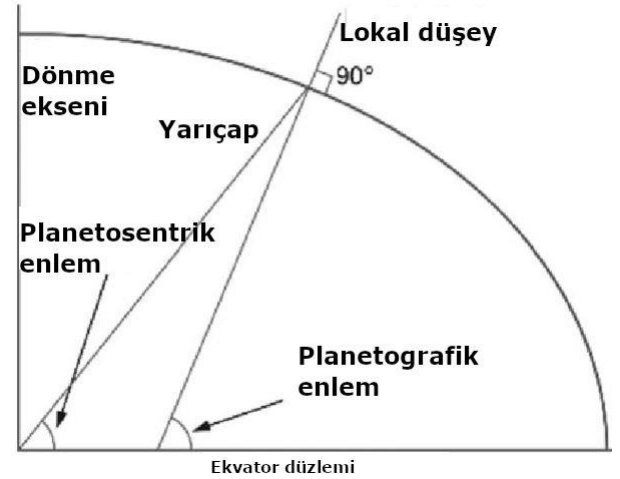
2.2 Selenosentrik Koordinat Sistemi

Selenosentrik koordinatlar kütle merkezli orijin ve koordinatlar ile ifade edilir. Z eksenini ortalama dönme eksenini, x eksenini ekvator ve başlangıç meridyeninin kesişimini temsil eder. Enlem, orijinden ekvatora uzanan bir çizgi ile orijinden ilgili noktaya uzanan bir vektör arasındaki açıdır. Boylam, bu vektör ile doğu yönünde ölçülen başlangıç meridyeni düzlemi arasındaki açıdır (Şekil 3). Yarıçap, Ay'ın kütle merkezinden ilgili noktaya olan mesafedir.

Gezegen merkezli boylam doğuya doğru pozitif olarak artar (-180'den +180'e). Gezegen merkezli enlem kuzeye doğru pozitif olarak artar (-90'dan +90'a) (LRO, 2008). Şekil 4'te planetosentrik enlem ile planetografik enlem arasındaki fark gösterilmiştir. (Hargitai vd., 2019)



Şekil 3. Planetosentrik Koordinatların Gösterimi



Şekil 4. Planetosentrik ve Planetografik Enlem arasındaki geometrik ayırım

2.3 Selenodetik Koordinat Sistemi

Boylam doğuya doğru pozitif olarak artar (-180'den +180'e). Enlem bir referans elipsoidi üzerindeki P noktası için, X-Y düzleminde ilgilenilen noktada yüzey normaline ölçülen açıdır. Pozitif olarak kuzeye doğru artar (-90'dan +90'a) Elipsoit üzerinde olmayan noktalar için, referans elipsoit üzerindeki en yakın noktada enleme eşittir (NASA NAIF, 2022).

3. AY'IN REFERANS SİSTEMLERİ

Ay gövdesine sabit koordinat sistemini tanımlamak için yaygın olarak iki farklı referans sistemi kullanılır; Mean Earth/Polar Axis (ME) referans sistemi ve Principal Axis (PA) referans sistemi.

3.1 Mean Earth/Polar Axis (ME) Referans Sistemi

ME referans sistemi, z eksenini ortalama dönüş kutbu (mean rotational pole) olarak tanımlar. Başlangıç Meridyeni (0° Boylam), ortalama Dünya yönü (mean Earth direction) ile tanımlanır. Ay ekvatoru ve başlangıç meridyeninin kesişimi, Ay'ın "ortalama Dünya-altı noktası" (mean sub-Earth point) olarak adlandırılacak noktada gerçekleşir. Ay'ın "Dünya altı noktası" kavramı, Ay'ın dönüşünün gelgit olarak Dünya'ya kilitlenmesi gerçeğinden kaynaklanmaktadır. Ay'daki gerçek Dünya altı noktası, yörünge eksantrikliği, eğim ve diğer faktörlerden dolayı biraz değişir. Bu nedenle, Ay yüzeyinde Boylamın 0°'ye eşit olduğu noktayı tanımlamak için bir "ortalama Dünya altı noktası" kullanılır. Bu nokta, herhangi bir belirgin krater veya diğer ay yüzeyi özelliği ile örtüşmemektedir.

Genel olarak ME sistemi kullanılır. Çünkü geçmişte ve şu an kullanılan çoğu kartografik üründe bu sistem kullanılmıştır. Koordinat sistemi olarak da planetosentrik koordinatlar kullanılır.

Planetosentrik (Gezegen-merkezli) Boylam, Başlangıç Meridyeni'nden (0° Boylam) Doğu'ya (sağa doğru) doğru, dönüş yönünde ölçülür ve Boylam değerleri 0°'den 360°'ye doğru artar. +180° Doğu / -180° Batı konvansiyonu ile gezegen merkezli ME sistemini kullanan ay haritası ve görüntü ürünlerine dönüşüm kolayca gerçekleştirilir.

Planetosentrik (Gezegen merkezli) Enlem, ekvator düzlemi ile kütle merkezinden yüzeydeki noktaya giden bir vektörün arasındaki açıdır. Gezegen merkezli Enlem, Ekvator'da 0°'den her iki kutupta da 90°'ye kadar ölçülür ve kuzey yarımkürede pozitif ve güney yarımkürede negatif olarak tanımlanır (Lunar Reconnaissance Orbiter Data Working Group ve Lunar Geodesy and Cartography Working Group, 2008).

3.2 Principal Axis (PA) Referans Sistemi

PA referans sistemi, eksenleri Ay'ın ana eksenleri tarafından tanımlanan, ay gövdesine sabit dönen bir koordinat sistemidir. Ay'ın gerçekten eşzamanlı olarak dönen üç eksenli bir elipsoid olmaması nedeniyle, PA ve ME dönüş eksenleri çakışmaz. PA referans sistemi, özellikle yerçekimi alanı belirleme ve ay lazer aralığı (LLR) gibi alanlardaki dinamik çalışmalar için kullanışlıdır (LRO, 2008).

3.3 Referans Sistemleri Arasındaki Dönüşüm

PA ve ME sistemleri arasında, Ay yüzeyindeki bir noktanın koordinatlarındaki fark yaklaşık 860 m'dir. yüksek çözünürlüklü haritalama ve yerçekimi alanı belirlemeyi içeren yüksek hassasiyetli işler için bir Ay efemerisi kullanılması tavsiye edilir. Spesifik olarak, NASA/JPL gezegen ve ay efemeris DE 421 şu anda mevcut olan en iyi Ay efemerisi olarak kabul edilir. Efemeris dosyasındaki serbest bırakma açısı (libration angles):

- a) ϕ , ICRF (International Celestial Reference System) ekvatoru boyunca, ICRF X ekseninden Ay ekvatorunun yükselen düğümüne (ascending node) kadar olan açı;
- b) θ , Ay ekvatorunun ICRF ekvatoruna eğimi (inclination);
- c) ψ , Sy ekvatoru boyunca düğümünden ay başlangıç meridyenine olan açı.

ME sistemindeki (vektör M) koordinatlar veya Euler açıları, aşağıdaki ifade kullanılarak PA sistemine (vektör P) döndürülebilir:

$$P = R_z(67''.92) * R_y(78''.56) * R_x(0''.30) * M \quad (2)$$

Tersine, PA sistemindeki koordinatlar veya Euler açıları, ME sistemine şu şekilde döndürülebilir:

$$M = R_x(-0''.30) * R_y(-78''.56) * R_z(-67''.92) * P \quad (3)$$

Burada R_x , R_y ve R_z , sırasıyla X, Y ve Z eksenleri etrafındaki sağ el dönüşümler için standart dönüşüm matrisleridir.

Bu nedenle, belirli bir dönem için, kullanıcı efemeris dosyasından ϕ , θ ve ψ 'yi almalı ve bunları P vektörü olarak saklamalıdır.

$$a_0 = \phi - 90^\circ \quad (4a)$$

$$\delta_0 = 90^\circ - \theta^\circ \quad (4b)$$

$$W = \psi^\circ \quad (4c)$$

Alternatif olarak, kullanıcının ME koordinatlarına dönüştürmek istediği ICRF koordinatlarında (vektör I) bir nokta için koordinatları varsa, belirli bir dönem için kullanıcı efemeris dosyasından ϕ , θ ve ψ 'yi almalı ve sonra dönüştürmeyi yapmalıdır (Archinal vd, 2011), (LRO, 2008):

$$M = R_x(-0''.30) * R_y(-78''.56) * R_z(-67''.92) * R_z(\psi) * R_x(\theta) * R_z(\phi) * I \quad (5)$$

4. HARİTA PROJEKSİYONLARI

Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO), şu anda Ay'ın yörüngesinde eksantrik bir kutup haritalama yörüngesinde dönen bir NASA robot uzay aracıdır.

Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) dijital harita ürünleri, Equirectangular ve Polar Stereografik harita projeksiyonlarını kullanır. Kutup bölgelerini kapsayan haritalar için ideal olan Polar Stereografik projeksiyon, yüksek enlemlerde ölçek ve şekil bozulmasını en aza indirir. Equirectangular projeksiyon genellikle orta ve alt enlemlerde kullanılır. Bu izdüşüm ile tüm enlem çizgileri paraleldir ve eşit aralıklarla yerleştirilmiştir; aynısı boylam çizgileri için de geçerlidir (LRO, 2020).

Ortografik izdüşüm, perspektif projeksiyondur ve bir kürenin tek bir yarım küresini tasvir eder. Öncelikle görselleştirmelerde kullanım için dahil edilmiştir. LROC dijital altlık haritalarının ve diğer geniş alan ürünlerinin çoğu, her dörtgen ay küresinin bir alt alanını kaplayan harita dörtgenleri (quadrangle) halinde düzenlenmiştir. Harita dörtgenleri daha sonra, görüntü dizisinin sütun ve satır koordinatlarının bir harita dönüşüm denklemi aracılığıyla bir coğrafi enlem ve boylam koordinatına çevrilebildiği görüntü dosyaları olarak saklanır. Harita dörtgenlerinin boyutları ve alan uzantıları, yönetilebilir görüntü dosyası boyutlarına sahipken makul bir kapsama alanını barındıracak şekilde seçilir.

Equirectangular Projeksiyon:

Equirectangular projeksiyon, bir küre formülüne dayanmaktadır. Equirectangular projeksiyon enlem ve boylamın coğrafi koordinatları ile haritanın kartezyen uzayı arasında doğrusal bir ilişki sağlayan basit bir projeksiyondur.

Ay için yarıçapın 1734.4 km olduğu varsayılır.

Polar Stereografik Projeksiyon:

Daha yüksek enlemlerde elde edilen gözlemler için kullanılan polar stereografik projeksiyon, şekil ve ölçek bozulması en aza indirildiğinden kutuplara yakın gözlemler için idealdir. Polar stereografik projeksiyonda LROC'den türetilen ürünler, denklemlerin elipsoid biçimini kullanır.

Ortografik Projeksiyon:

Ortografik projeksiyon, bir küre formülüne dayanır. Ortografik izdüşüm bir perspektif azimut izdüşümüdür. Hem alan hem de şekilde kenarlara yakın ciddi bozulma olan ölçümler için çok kullanışlı değildir, ancak genellikle resimli temsiller için kullanılır (Bowman-Cisneros vd., 2020).

5. UZAKTAN ALGILANMIŞ GÖRÜNTÜLERİN İNCELENMESİ

Ay yüzeyinden çekilmiş görüntüler inceleneceğinde koordinat sistemleriyle ilgili temel hususlar bu bölümde değerlendirilecektir. Ay'ın genel şekli, yerel topoğrafya varyasyonları hariç, neredeyse mükemmel bir küredir. O yüzden semimajor, semiminor eksenleri ve yarıçapı 1737.4 km olarak alınır (JPL, 2005).

Harici yazılımlarda bulunan selenosentrik ayrıntılar;

GEOGCS["GCS_Moon_2000",DATUM["D_Moon_2000",SPHEROID["Moon_2000_IAU_IAG",1737400.0,0.0]],PRIMEM["Reference_Meridian",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]] (Kettle, S. 2017) şeklinde gösterilir. Tanımlanmış coğrafi koordinat sistemi GCS_Moon_2000, Datum D_Moon_2000, Elipsoid Moon_2000_IAU_IAG, Semimajor Axis (yarı asal eksen uzunluğu) 1737400.0 m, Inverse Flattening 0.0, Prime Meridian (Başlangıç Meridyeni) Reference Meridian olarak tanımlanmıştır.

Bu bölümde LRO ve Chandrayaan-1 uydusundan çekilen görüntülerle ilgili temel bilgiler verilecektir. Bu kapsamda ilk görüntü; LRO LOLA (The Lunar Orbiter Laser Altimeter) tarafından çekilmiş görüntülerden üretilen sayısal yükseklik modelidir.

LRO misyonunun LOLA görev yükünden alınmış yaklaşık 1 metre düşey doğrulukla üretilen Ay'ın sayısal yükseklik modeli Şekil 5'te verilmiştir. SLDEM2015 high resolution lunar topography dataseti NASA'nın Planetary Geology, Geophysics and Geochemistry Laboratuvarı tarafından üretilmiştir (Barker vd., 2016). Mekansal çözünürlüğü derece cinsinden 0.003906'dır. Radyometrik çözünürlüğü 16 bittir. Tanımlanmış coğrafi koordinat sistemi GCS_Moon_2000, datumu D_Moon_2000 olarak geçmektedir. Görüntü boyutu 30720x15360x1 ve formatı BSQ'dur.



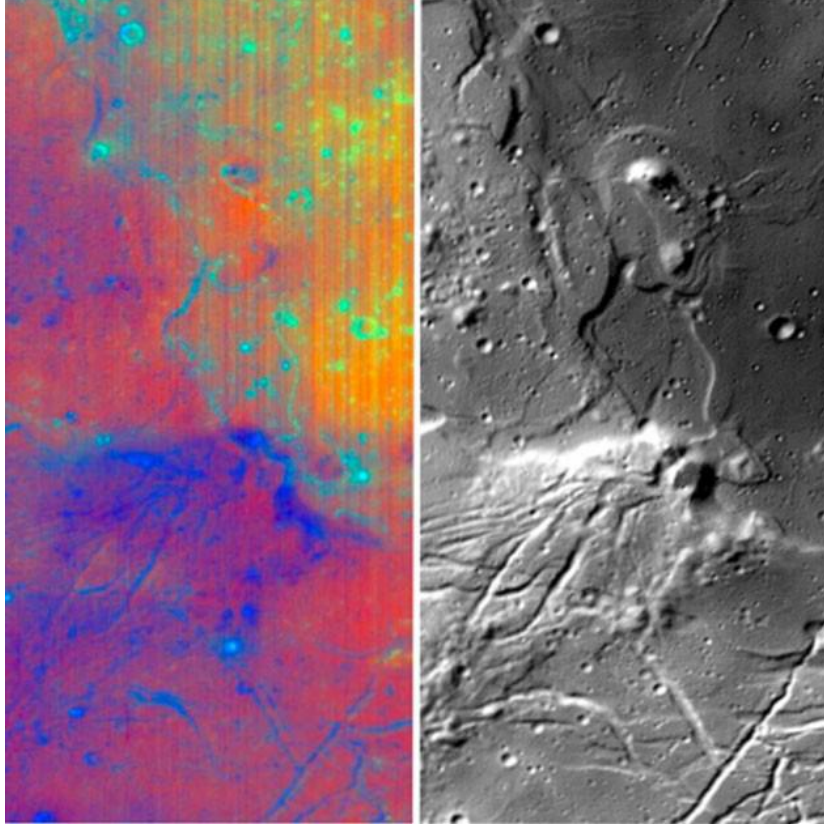
Şekil 5. LRO LOLA tarafından çekilmiş SLDEM2015_256_0N_60N_120_240 görüntüsü



İkinci görüntü LRO NACL(Narrow Angle Camera(Left)) tarafından çekilmiştir (Şekil 6). 50 cm pankromatik çözünürlüğüne sahip olan bu görüntü 5 km şerit genişliğine sahiptir. Kameranın dalgaboyu 600 nm'dir. Radyometrik Çözünürlüğü 8 bittir. Tanımlanmış coğrafi koordinat sistemi GCS_Moon_2000, datumu D_Moon 2000 olarak geçmektedir (USGS, PDS, nd)

Şekil 6. LRO NACL Görüntüsü

Üçüncü görüntü Chandrayaan-1 NASA Moon Mineralogy Mapper(M3) tarafından çekilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Moon Mineralogy Mapper Görüntüsü

Farklı dalga boyları, Hindistan Uzay Araştırmaları Örgütü'nün Chandrayaan-1 uzay aracında konuk enstrümanı olan NASA'nın Moon Mineralogy Mapper'ı tarafından çekilen kompozit bir görüntüde, ayın Orientale Havzası bölgesi hakkında yeni bilgiler sağlar. Moon Mineralogy Mapper sayesinde ay mineralojisini yüksek uzaysal ve spektral çözünürlükte incelenebilir.

Birleşik görüntü, Orientale bölgesi için Moon Mineralogy Mapper verilerinin bir alt kümesinden oluşur. Soldaki görüntü şeridi, aydan yansıyan 28 ayrı dalga boyundaki verilerin renkli bir bileşimidir. Maviden kırmızıya tonlar, kaya ve mineral bileşimindeki değişiklikleri gösterir ve yeşil renk, piroksen gibi demir içeren minerallerin bolluğunun bir göstergesidir. Sağdaki görüntü şeridi, termal emisyon içeren tek bir dalga boyundadır ve bölge yüzeyinin şekli ve yapısı hakkında yeni bir ayrıntı düzeyi sağlar (LRO, 2020).

Dördüncü görüntü Chandrayaan-1 M3 Kalibre Edilmiş Görüntü Sürüm 3 (CALIV3)'tür (Şekil 8).



Şekil 8. Chandrayaan-1 M3 Kalibre Edilmiş Görüntü Sürüm 3 (CALIV3)

Bu görüntü Chandrayaan-1 misyonunun M3 görev yükünden alınmış örnek bir görüntüdür (NASA, PDS nd.). M3 görev yükü 430 ve 3000 nm arasında 10 nm'de bir örnekleme yapan bir algılayıcıya sahiptir. Algılayıcının radyometrik çözünürlüğü 12 bittir. 256 banda sahip olan bu görüntü kırmızı, yeşil, mavi bantları sırasıyla Band 23-665.6 nm, Band 12-555.81 nm, Band 6-495.93 nm olacak şekilde RGB olarak görselleştirilmiştir. Piksel boyutu 70 metredir (PDS, nd), (Lundeen vd., 2010).

6. SONUÇLAR

Ay yüzeyinin uzaktan algılanmış görüntülerinde kullanılan koordinat sistemi ve bu koordinat sistemlerinin datum, elipsoid, başlangıç meridyeni gibi parametreleri açıklanmıştır. Bu çalışmada açıklanan koordinat sistemleri ay misyonlarında çekilmiş görüntüler için harici yazılımlarda tanımlanmıştır ve kullanılmaktadır. Çalışmada daha önceki ay misyonlarında çekilmiş görüntülerden örnekler verilmiştir ve bu örneklerin Türkiye'nin ay misyonu için faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Andreev, A. O., Nefedev, Y. A., Demina, N. Y., Nefediev, L. A., Petrova, N. K., Zagidullin, A. A., 2020, Development of methods for navigational referencing of circumlunar spacecrafts to the selenocentric dynamic coordinate system. Astronomy Reports, 64(9), 795-803.

Archinal, B. A., 2006, Lunar Coordinate Systems, Frames and Geodetic Products.

Archinal, B. A., A'Hearn, M. F., Bowell, E., Conrad, A., Consolmagno, G. J., Courtin, R., ... Williams, I. P., 2011, Report of the IAU working group on cartographic coordinates and rotational elements: 2009. Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, 109(2), 101-135.

Barker, M. K., Mazarico, E., Neumann, G. A., Zuber, M. T., Haruyama, J., Smith, D. E., 2016, A new lunar digital elevation model from the Lunar Orbiter Laser Altimeter and SELENE Terrain Camera. Icarus, 273, 346-355.

Bowman-Cisneros E., Eliason E., Henriksen M., 2020, LROC Reduced Data Record Products Software Interface Specification, Arizona State University School of Earth and Space Exploration

Enderson Jr, L. W. ,1965, A study of lunar landing sites and associated stay times (No. NASA-TN-D-2795).

Hargitai, H., Willner, K., Hare, T., 2019, Fundamental frameworks in planetary mapping: A review. Planetary Cartography and GIS, 75-101.

Henriksen, M. R., Manheim, M. R., Burns, K. N., Seymour, P., Speyerer, E. J., Deran, A., ... & Robinson, M. S., 2017, Extracting accurate and precise topography from LROC narrow angle camera stereo observations. Icarus, 283, 122-137.

Karachevtseva, I., Oberst, J., Scholten, F., Konopikhin, A., Shingareva, K., Cherepanova, E., ... & Robinson, M., 2013, Cartography of the Lunokhod-1 landing site and traverse from LRO image and stereo-topographic data. Planetary and Space Science, 85, 175-187.

Kaur, P., Bhattacharya, S., Chauhan, P., Kumar, A. K., 2013 , Mineralogy of Mare Serenitatis on the near side of the Moon based on Chandrayaan-1 Moon Mineralogy Mapper (M3) observations. Icarus, 222(1), 137-148.

Kettle, S. 2017. Planetary Coordinate Systems: The Moon, <https://community.esri.com/t5/coordinate-reference-systems-blog/planetary-coordinate-systems-the-moon/ba-p/902066>, [Eriřim tarihi: 07.05.2022]

Lunar Reconnaissance Orbiter Data Working Group and Lunar Geodesy and Cartography Working Group ,2008, A standardized lunar coordinate system for the Lunar Reconnaissance Orbiter and lunar datasets, *LRO Project and LGCWG White Paper*, sf:4-9

Lunar Reconnaissance Orbiter, 2020, LROC Reduced Data Record Products Software Interface Specification <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA11727>

Lundeen, S., McLaughlin S., Alanis R., 2010, Moon Mineralogy Mapper, Data Product Software Interface Specification, Version 9.6

NASA Planetary Data System (PDS), PDS Geosciences Node Lunar Orbital Data Explorer (ODE), <https://ode.rsl.wustl.edu/moon> , [Eriřim tarihi: 26.08.2022]

NASA Navigation and Ancillary Information Facility, 2022, An Overview of Reference Frames and Coordinates Systems in the SPICE Context

PDS Geosciences Node Orbital Data Explorer Help, Chandrayaan-1 M3 Calibrated Image Version 3 (CALIV3), https://ode.rsl.wustl.edu/mars/pagehelp/Content/Missions_Instruments/ISRO_Chandrayaan-1/M3/CALIV3.htm, [Eriřim tarihi: 27.08.2022]

Roncoli, R. B., 2005, Lunar constants and models document, JPL D-32296. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology

United States Geological Survey, NASA PDS Cartography and Imaging Science Node, Planetary Image Locator Tool (PILOT), <https://pilot.wr.usgs.gov>, [Eriřim tarihi: 26.08.2022]

Wikipedi, 2022, Selenografik Koordinatlar, https://tr.wikipedia.org/wiki/Selenografik_koordinatlar ,Eriřim tarihi: 30.05.2022]