

## **Nemrut Kalderası' nın Kuzey Krater Çeperinde (Tatvan, Bitlis) Landsat-8 Görüntüleri Üzerinden Tespit Edilen Kil ve Demirli Mineral Anomalilerinin Saha Araştırmaları**

Coşkun GÜNEŞ, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye, coskungunes226@gmail.com, ORCID: 0000 0001 7138 3908

### **Öz**

*Türkiye' nin en büyük krater gölü olan Nemrut Kalderası, Van Gölü' nün batı kıyısında Tatvan-Ahlat-Güroymak (Bitlis) arasında konumlanmaktadır. Kuaterner volkanizmasının ürünü olan jeolojik ve morfolojik yapılar krater gölünün yapısını şekillendirmiştir. Volkanik süreçler boyunca gelişmiş olması muhtemel alterasyon ürünü kayaları ve mostraları Uzaktan Algılama ortamında keşfetmeye çalışmak bu çalışmanın çatısını oluşturmaktadır. Yüzey araştırmalarında, literatürde yaygın bir kullanıma sahip Landsat-8 uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. Görüntü ön-işlemeleri yapılan 21.07.2021 tarihli görüntüden hidrotermal alterasyonla ilişkili olması muhtemel kil ve demirli minerallere ait anomali değerleri çıkartılmıştır. Krater gölünün kuzey, kuzeydoğu çeperlerinde yoğunluk kazanan anomali değerlerinin bulunduğu alanda jeolojik gözlem ve kaya örnekleme çalışmaları yürütülmüştür. Krater çeperinin yüksek eğimli morfolojisi, çalışmanın ana hedefi ve Nemrut Kalderası' nın bir tabiat parkı potansiyelinde olması göz önünde bulundurularak; kaya örnekleme çalışmaları çeperden geldiği belirgin olarak gözlenen döküntü bloklardan alınan el büyüklüğünde 3 adet numuneye sınırlandırılmıştır. Sahadan alınan numuneler Eskişehir Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Laboratuvarında, XRD analizine tabi tutularak sonuçları yorumlanmıştır. Analiz sonuçlarında gözlenen albit ve ferrosilit mineralleri Uzaktan Algılama tabanında belirlenen anomali alanlarının jeolojik ve jeokimyasal çalışmalarla da desteklendiğini göstermektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Anomali Tespiti, Nemrut Kalderası, Uzaktan Algılama, XRD Analizi

## **Field Investigations of Clay and Iron-Bearing Mineral Anomalies Detected from Landsat-8 Imagery along the Northern Crater Rim of the Nemrut Caldera (Tatvan, Bitlis)**

### **Abstract**

*The Nemrut Caldera, Türkiye's largest crater lake, lies between Tatvan, Ahlat, and Güroymak (Bitlis) on the western margin of Lake Van. Geological and morphological features formed by Quaternary volcanism define the structure of the caldera. This study investigates hydrothermal alteration signatures by identifying alteration-related rocks and exposures through Remote Sensing analyses. Landsat-8 imagery dated 21 July 2021 was pre-processed to extract anomaly values associated with clay and iron-bearing minerals. Field observations and limited sampling were conducted in anomaly-dense zones along the northern and northeastern crater rim. Due to the steep morphology of the rim and the caldera's status as a nature park, sampling was restricted to three hand-sized specimens collected from identifiable debris blocks. X-ray Diffraction (XRD) analyses performed at the Eskişehir Technical University Materials Science and Engineering Laboratory revealed the presence of albite and ferrosilite. These results corroborate the Remote Sensing-based anomaly detections with geological and geochemical evidence.*

**Keywords:** Anomaly Detection, Nemrut Caldera, Remote Sensing, XRD Analysis.

## 1. Giriş

Uzaktan Algılama (UA) uygulamaları günümüzde jeotermal alan araştırmaları, hidrotermal alterasyon bölgelerinin araştırılması, su kütlelerindeki değişimlerin incelenmesi, kentleşme, tarım, iklim değişikliği gibi alanlarda oldukça geniş kullanım alanlarına sahiptir (van der Meer vd., 2014; Calvin vd., 2015; Frutuoso vd.; 2021; Gong vd., 2010; Yang vd., 2013; Wu vd., 2017).

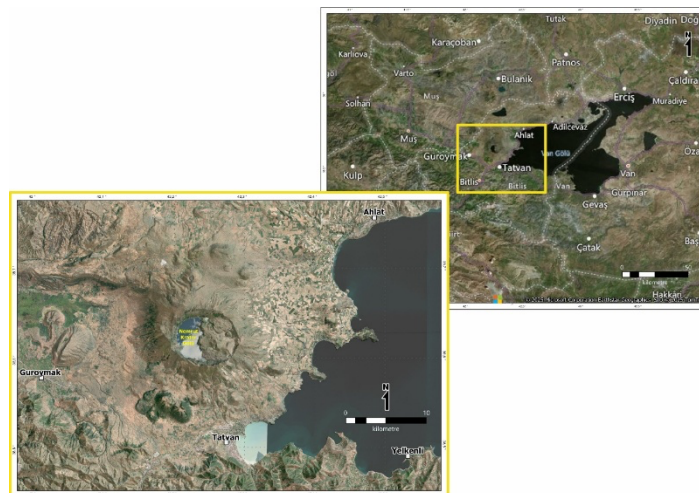
Yergözlem uyduları, içerdiği bantlar sayesinde görünür ışık ve kızılötesi aralığındaki radyasyonu kaydetip görüntülemeye olanak sağlamaktadır. Yer materyalleri fiziksel özellikleri gereği elektromanyetik radyasyona karşı kendilerine özgü davranışlar sergiler. Örneğin su, kızılötesi aralığındaki elektromanyetik dalgaları, yüksek oranda soğurmakta iken aynı aralıkta karbonatlı kayaların spektral özellikleri (Imanian vd., 2019), yüksek yansıtma değerlerine sahiptir.

11 Şubat 2013 tarihinde fırlatılan bir Amerikan dünya gözlem uydusu olan Landsat programındaki sekizinci uydu Landsat 8; görünür ışık ve yakın kızılötesi aralığında 30 m konumsal çözünürlükte 8 bant, uzundalga kızılötesi aralığında 100 m konumsal çözünürlükte 2 termal bant ve 15 m konumsal çözünürlükte 1 pankromatik bant olmak üzere toplamda 11 banta sahiptir. Görünür ışık ve yakın kızılötesi aralığındaki bantlar hidrotermal alterasyon alanlarının belirlenmesinde kullanılırken (Han & Nelson; 2014; Pour & Hashim, 2015; Amara vd., 2019; Frutuoso vd., 2021) termal bantlar yer yüzeyi sıcaklık haritalarının elde edilmesinde kullanılmaktadır (Jiménez-Muñoz vd., 2014; Avdan & Jovanovska, 2016).

Bu çalışma kapsamında tanımlanan ana hedef; Kayaçların jeokimyasal ve spektral özelliklerinden faydalanılarak Landsat-8 görüntüleri üzerinden elde edilen piksel tabanlı anomalilerin sahadaki doğruluklarını XRD analizleriyle test ederek, arama jeolojisinde uzaktan algılama kullanımını tartışmaktır.

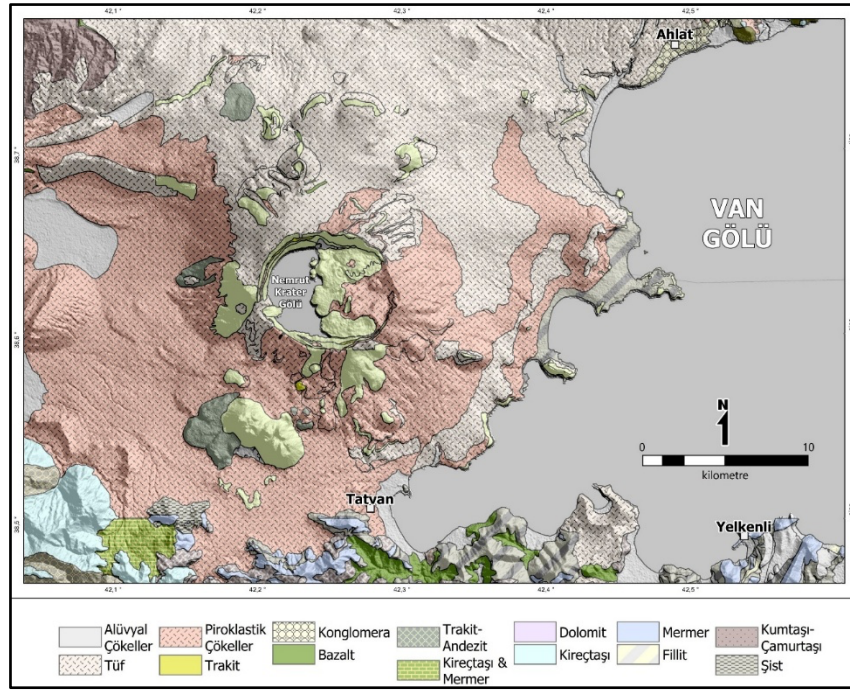
## 2. Çalışma Alanı ve Jeolojisi

Nemrut Kalderası, Ahlat-Tatvan-Güroymak (Bitlis) arasında uzanım sunmakta olup Kuvaterner volkanizmasıyla şekillenmiş Türkiye' nin en büyük krater gölüne ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 1). Van Gölü batısında, Tatvan kuzeyinde karakteristik morfolojisiyle yüzeylenen kaldera alanında volkanik etkinlik ürünü olan piroklastik, bazaltik, andezitik, tüf ve obsidyen tipindeki kayaçlar oldukça belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Kuzeydoğuda Ahlat, güneybatıda Güroymak ilçeleriyle sınırlanan ve yaklaşık olarak 1500 km<sup>2</sup> alan kaplayan bölgede UA tabanlı ve jeolojik çalışmalar bütünleşik olarak yürütülmüştür.



Şekil 1. Çalışma Alanı Yer Bulduru Haritası

Bitlis ve çevresindeki temel kayalar Prekambriyen granitlerin sokulduğu, almandin-amfibolit fasiyesinde metamorfizmaya uğramış bir çekirdekten meydana gelmekte bu temel yeşilüst fasiyesinde metamorfizmaya uğramış Paleozoyik-Mezozoyik kayaları tarafından örtülmektedir (Çağlayan & Şengün, 2002). Temel kayalar ve Paleozoyik-Mezozoyik istifse Paleojen-Neojen yaşlı kırıntılı ve volkanit ardalanmasından oluşan metamorfik olmayan bir istif tarafından örtülür. Amfibolit, amfibol gnays, biyotit gnays, mikaşist ve bunları kesen granit kökenli gözlü gnays, kuvarso-feldispatik gnays ve pegmatoidler çekirdekdeki kayaları oluşturmaktadır. Çekirdekdeki kayalar kuvarsit, kuvarşist, bantlı gnays/şist, kuvarslı mermer, kloritşist, klorit fillit, kloritoid mikaşist ile Devoniyen-Kretase aralığında çökelmiş, genellikle karbonat kayalarıyla temsil edilen istif tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Triyas alacalı şeyl-kireçtaşı ardalanması, Jura-Alt Kretase dolomit, rekritalize kireçtaşı ve kireçtaşı, Üst Kretase volkanit kireçtaşı ardalanması ve mikritler Mezozoyik birimleri oluşturmaktadır. Bölgede Paleosen-Eosen türbiditik kumtaşları ve bunlarla ardalanmalı volkanitlerden oluşurken Miyosen kayalar kumtaşı-kiltaşı ardalanmalı kırıntılılarla kireçtaşından meydana gelmektedir. Çalışma alanında en geniş mostraları oluşturan tuf, piroklastik çökeller ve bazalt tipindeki volkanik kayaçlarsa Kuvaterner volkanizmasının ürünü olarak kabul edilmektedir (Çubukçu vd., 2011) (Şekil 2).

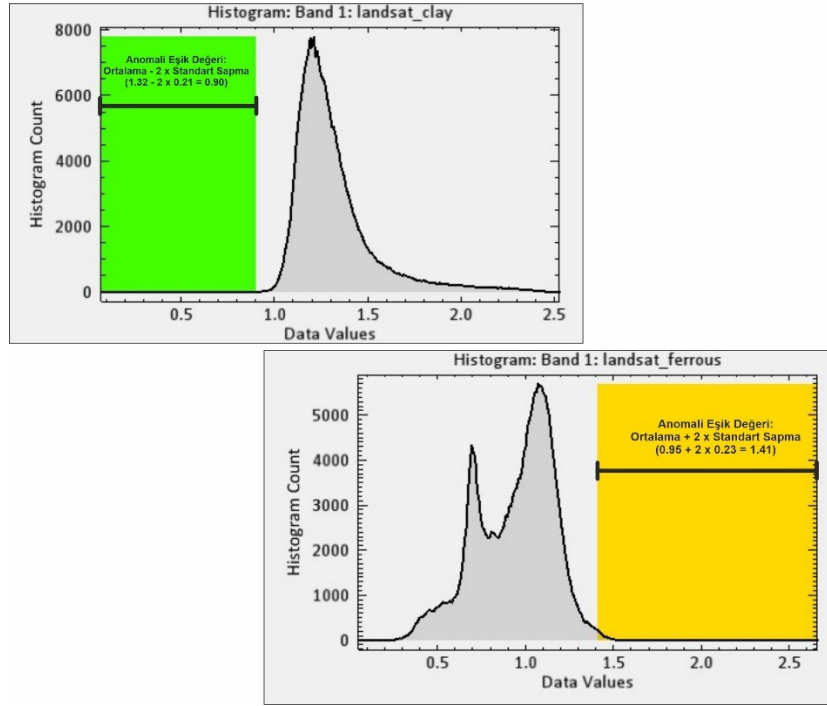


Şekil 2. Çalışma Alanı Jeoloji Haritası (Çubukçu vd., 2011; MTA verilerinden derlenerek oluşturulmuştur)

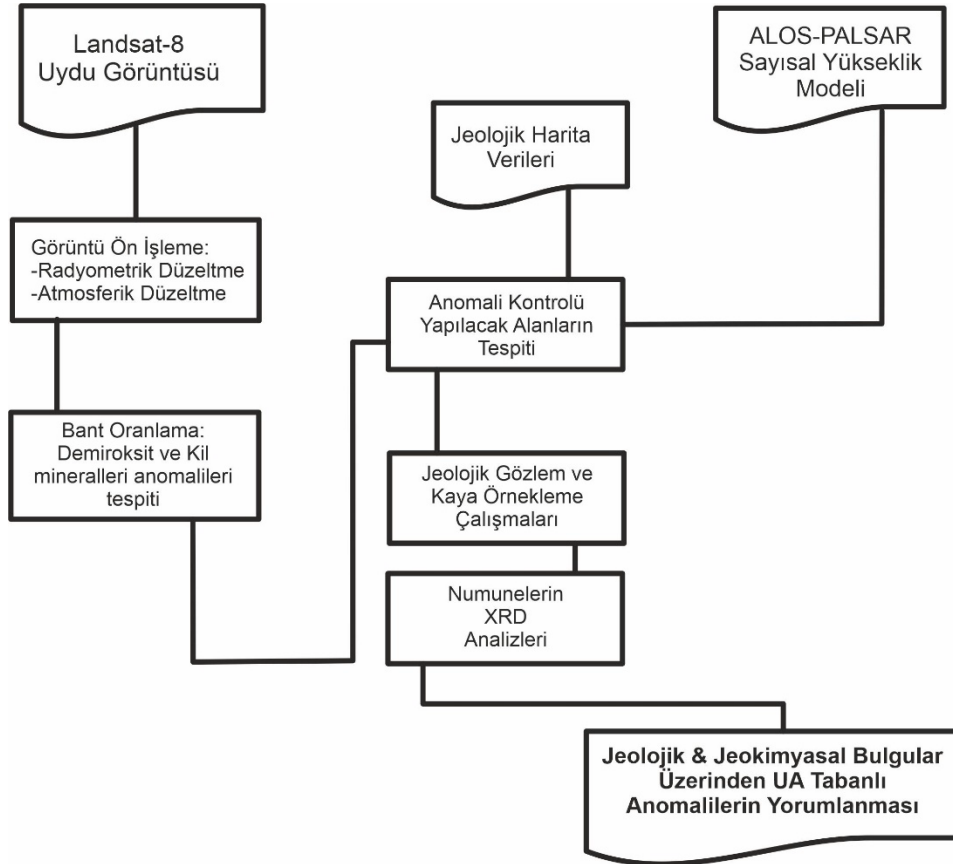
### 3. Materyal ve Yöntem

Uydu görüntülerinin jeolojik çalışmalarda veri olarak kullanımı uydu bantlarına uygulanan sayısal işlemler sonucu mümkün olmaktadır (Crosta vd., 1998; Crosta vd., 2003; Van der Meer vd., 2012; Pour vd., 2018; Niu vd., 2020). 21.07.2021 tarihli Landsat-8 uydu görüntüsünün ana girdiyi oluşturduğu bu çalışmada Drury & Hunt (1989)' da önerilen (B6/B7) oranı kıl mineralleri, (B4/B3) oranı demirli mineral anomalilerinin tespitinde kullanılmıştır. Uzaktan Algılama tabanında elde edilen görüntülerdeki piksel değerlerinde ortalama+2xStandartsapma değeri görüntü bazlı anomali eşik değerini (Şekil 3) oluşturmuş olup bu aralıkta elde edilen bütün piksel değerleri vektör formatına aktarılmıştır. Alos-Palsar uydusundan elde edilen sayısal yükseklik modeli ve jeoloji haritasında yer alan litoloji bilgileri diğer girdi

verilerini oluşturmuştur. UA tabanlı anomali değerleri, jeolojik ve topoğrafik veriler bir arada değerlendirilerek jeolojik gözlem ve kaya örnekleme çalışması yapılacak alan belirlenmiştir (Şekil 4).



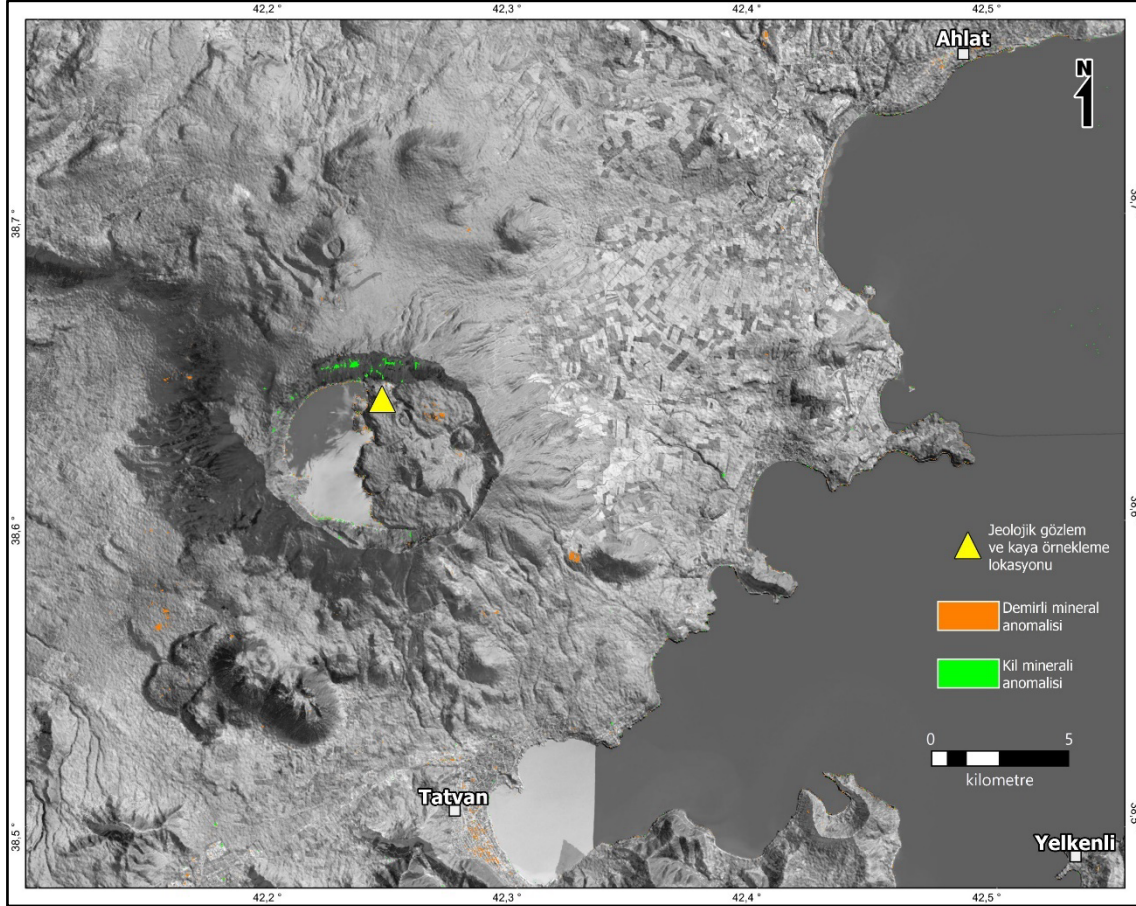
Şekil 3. Kil ve Demirli Minerallerin Anomali Eşik Değerlerinin Grafikselleştirilmesi



Şekil 4. Çalışma Yöntemi Şematik Gösterimi

#### 4.Uzaktan Algılama Ortamında Tespit Edilen Anomalilerin Saha Kontrolü

Bitlis kuzeyi, Ahlat güneybatısı ve Güroymak doğusunda yürütülen UA tabanlı çalışmalar sonucunda kil ve demirli mineraller indislerinden elde edilen anomali değerleri vektör veriye dönüştürülerek Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamına aktarılmıştır (Şekil 5). Nemrut Kalderası' nın kuzey çeperi boyunca doğu-batı doğrultulu uzanımda anomali değerlerinin yoğunluk kazandığı gözlenmektedir (Şekil 5). Çalışmanın ana hedefi doğrultusunda krater gölünün kuzey-kuzeydoğu kıyılarında jeolojik gözlem ve jeokimyasal örnekleme çalışmaları planlanmıştır.



**Şekil 5.** Nemrut Kalderası Kuzey Krater Çeperi Boyunca Yoğunluk Kazanan UA Tabanlı Anomaliler

Uzaktan Algılama ortamında elde edilen anomalilerin yüzey izlerini jeolojik gözlem ve jeokimyasal örnekleme çalışmalarıyla araştırmayı hedef alan çalışma gereğince saha çalışmaları; i) Anomalilerin uzanımsal ve yoğunluk olarak anlamlı bir zonlanma gösterdiği, ii) Mostraların belirgin olarak gözlenebileceği, jeolojik gözlem için uygun bölgeler, iii) Anomali kontrolünün herkesçe yapılabileceği ulaşılabilir olanak tanıyan bölgeler parametreleri gözetilerek krater gölünün kuzey-kuzeydoğu kıyıları jeolojik gözlem için en uygun lokasyon olarak belirlenmiştir. Bölgenin tabiat parkı potansiyeli taşıması ve çeper boyunca mostraların belirgin olarak gözlenmesinden dolayı kaya örnekleme çalışmaları; kökeni sahada da belirgin olarak gözlenen (Şekil 6), alkali volkanizma izleri gösteren, oksidasyon ve zayıf killeşme alterasyonu gözlenen 3 adet döküntü bloktan alınan el büyüklüğünde kaya örneğiyle sınırlandırılmıştır. NK-1, NK-2 ve NK-3 olarak adlandırılan numuneler XRD yöntemiyle jeokimyasal analizleri yapılmak üzere Eskişehir Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Seramik Araştırma Laboratuvarına teslim edilmiştir.



Şekil 6. Jeolojik Gözlem ve Kaya Örnekleme Çalışmaları

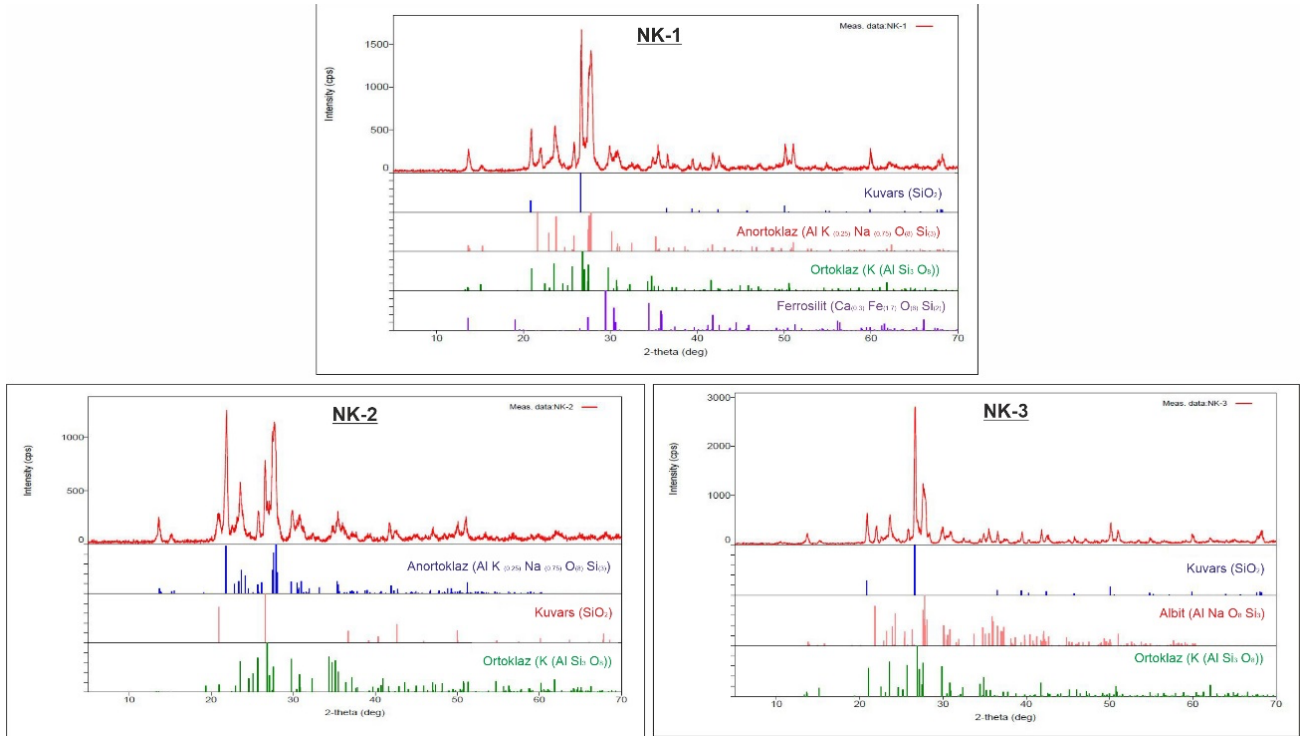
### 5.XRD Analizleri Üzerinden; Tartışmalar ve Öneriler

NK-1, NK-2 ve NK-3 numuneleri genel haliyle; alkali volkanizma izleri taşıyan, killeşme ve oksidasyon izleri görülen kuvars, ortoklaz , feldspat ve obsidyen mineralleri içeren el örneklerinden oluşmaktadır (Şekil 7). Sahada krater çeperinden geldikleri belirgin olarak gözlenen numuneler, anomali kaynağının aydınlatılmasında anahtar rolü oynamaktadır. Bu nedenle numunelerin jeokimyasal özelliklerini detaylandırmak adına XRD analizlerinin yapılması uygun görülmüştür.



Şekil 7. XRD Analizine Gönderilen Kaya Örnekleri

XRD analizi sonuçlarında NK-1 numunesinde; Kuvars, anortoklaz, ortoklaz ve ferrosilit, NK-2 numunesinde; Kuvars, anortoklaz ve ortoklaz, NK-3 numunesindeyse; Kuvars, albit ve ortoklaz mineralleri saptanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Jeokimyasal Analize Gönderilen Numunelere Ait XRD Grafikleri

Analiz sonuçlarında Kuvars, ortoklaz, anortoklaz, albit ve ferrosilit mineralleri grafikler üzerinden tespit edilmiştir. Kuvars, ortoklaz ve anortoklaz mineralleri alkali volkanizmayla ilişkili kayalarda yaygın olarak gözlenen minerallerdir.

Albit minerali, plutonik kayalarda yaygın görülmesine rağmen Kuvaterner volkanizmasıyla şekillendiği bilinen alanda gözlenmesi, mineralin oluşumunda Armbruster vd., (1990)' da tanımlanan "hidrotermal damarlar boyunca gelişen mineral" niteliğinde yorumlanmıştır.

Analiz sonuçlarında saptanan bir diğer mineral olan ferrosilit, adını demirli silikat olma özelliğinden almakta olup (Deer vd., 1978) çalışmada uygulanan kil ve demirli mineral indisleriyle büyük ölçüde uyumlu bir bulgu oluşturmuştur.

Uzaktan Algılama tabanlı anomalilerin saha doğruluklarını araştırmayı hedefleyen bu çalışmada; Landsat-8 uydu görüntüsüne uygulanan işlemler sonucunda Nemrut Kalderası kuzey krater çeperinde doğu-batı doğrultusunda uzanım sunan kil anomalileri ve krater gölünün kuzey-kuzeydoğu kıyılarında yoğunluk kazanan demirli mineral anomalileri tespit edilmiştir. Saha çalışmaları sürecinde, tanımlanan lokasyonda killeşmenin ve oksidasyonun belirgin olarak gözlemlendiği volkanik kayaç mostraları gözlenmiştir. Lokasyondan alınan el örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarında saptanan albit minerali, kil anomalileriyle bağdaştırılırken ferrosilit minerali adını aldığı demirli silikat mineralleriyle ilişkilendirilmiştir. Uzaktan Algılama tabanlı anomalilerinin jeolojik gözlem ve jeokimyasal analizlerle desteklendiği bu çalışma, Uzaktan Algılama' nın keşif jeolojisi çalışmalarına etkili bulgular sağladığını göstermektedir.

### **Teşekkür ve Beyan**

Jeolojik gözlem ve kaya örnekleme çalışmalarında desteğini esirgemeyip çalışmaya katkı sağlayan Jeoloji Mühendisi Ramazan Çınar' a ve numunelerin kabulünden raporlamasına kadar son derece nazik, düzenli ve titiz çalışma gösteren Seramik Araştırma Laboratuvarı, (Eskişehir Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği) çalışanlarına gönülden teşekkür ederim.

### **Kaynaklar**

- Amara, B. N., Aissa, D. E., Maouche, S., Braham, M., Machane, D., & Guessoum, N. (2019). Hydrothermal Alteration Mapping and Structural Features in The Guelma Basin (Northeastern Algeria): Contribution of Landsat-8 Data. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3), 94-94.
- Armbruster, T., H.B. BuÄrgi, M. Kunz, E. Gnos, S. BrÄonnimann, and C. Lienert (1990).Variation of Displacement Parameters in Structure Re-Nements of Low Albite. *Amer. Mineral.*, 75, 135{140.
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm For Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 2016.
- Calvin, W. M., Littlefield, E. F., & Kratt, C. (2015). Remote Sensing Of Geothermal-Related Minerals For Resource Exploration in Nevada. *Geothermics*, 53, 517-526.
- Crosta, A. P., Sabine, C., & Taranik, J. V. (1998). Hydrothermal Alteration Mapping at Bodie, California, Using AVIRIS Hyperspectral Data. *Remote Sensing of Environment*, 65(3), 309-319.
- Crosta, A. P., De Souza Filho, C. R., Azevedo, F., & Brodie, C. (2003). Targeting Key Alteration Minerals in Epithermal Deposits in Patagonia, Argentina, Using ASTER Imagery and Principal Component Analysis. *International journal of Remote sensing*, 24(21), 4233-4240.
- Drury, S. A., & Hunt, G. A. (1989). Geological Uses of Remotely-Sensed Reflected and Emitted Data Of Lateritized Archaean Terrain in Western Australia. *International Journal of Remote Sensing*, 10(3), 475-497.
- Çağlayan, M. A., & Şengün, M. (2002). 1/100.000 Ölçekli, Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 66. Van-L48 Paftası, Jeoloji Etütleri Dairesi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Çubukçu, H. E., Ulusoy, İ., Aydar, E., Ersoy, O., Şen, E., Gourgaud, A., & Guillou, H. (2012). Mt. Nemrut Volcano (Eastern Turkey): Temporal Petrological Evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal*

*Research*, 209, 33-60.

- Deer, W.A., R.A. Howie, & J. Zussman (1978). *Rock-Forming Minerals*, (2nd edition), v. 2A, single-chain silicates, 20{161.
- Frutuoso, R., Lima, A., & Teodoro, A. C. (2021). Application of Remote Sensing Data in Gold Exploration: Targeting Hydrothermal Alteration Using Landsat 8 Imagery In Northern Portugal. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(6), 1-18.
- Gong, P., Niu, Z., Cheng, X., Zhao, K., Zhou, D., Guo, J., ... & Yan, J. (2010). China's Wetland Change (1990–2000) Determined By Remote Sensing. *Science China Earth Sciences*, 53(7), 1036-1042.
- Imanian, A., Tangestani, M. H., & Asadi, A. (2019). Investigation of Spectral Characteristics of Carbonate Rocks–A Case Study on Posht Moleh Mount in Iran.
- Han, T., & Nelson, J. (2014). Mapping Hydrothermally Altered Rocks With Landsat 8 imagery: A Case Study in The KSM And Snowfield Zones, Northwestern British Columbia. *Geological Fieldwork*, 103-112.
- Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., & Cristóbal, J. (2014). Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840-1843.
- Niu, X., & Li, Y. (2020). Remote Sensing Evaluation of Ecological Environment of Anqing City Based on Remote Sensing Ecological Index. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 733-737.
- Pour, A. B., & Hashim, M. (2015). Hydrothermal Alteration Mapping From Landsat-8 Data, Sar Cheshmeh Copper Mining District, South-Eastern Islamic Republic Of Iran. *Journal of Taibah University for Science*, 9(2), 155-166.
- Pour, A. B., Hashim, M., Park, Y., & Hong, J. K. (2018). Mapping Alteration Mineral Zones And Lithological Units in Antarctic Regions Using Spectral Bands of ASTER Remote Sensing Data. *Geocarto International*, 33(12), 1281-1306.
- Wu, W. T., Zhou, Y. X., & Tian, B. (2017). Coastal Wetlands Facing Climate Change and Anthropogenic Activities: A Remote Sensing Analysis And Modelling Application. *Ocean & Coastal Management*, 138, 1-10.
- van der Meer, F. D., Van der Werff, H. M., Van Ruitenbeek, F. J., Hecker, C. A., Bakker, W. H., Noomen, M. F., ... & Woldai, T. (2012). Multi-and Hyperspectral Geologic Remote Sensing: A Review. *International journal of applied Earth observation and geoinformation*, 14(1), 112-128.
- van der Meer, F., Hecker, C., van Ruitenbeek, F., van der Werff, H., de Wijkerslooth, C., & Wechsler, C. (2014). Geologic Remote Sensing For Geothermal Exploration: A Review. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 33, 255-269.
- Yang, J., Gong, P., Fu, R., Zhang, M., Chen, J., Liang, S., ... & Dickinson, R. (2013). The Role of Satellite Remote Sensing in Climate Change Studies. *Nature climate change*, 3(10), 875-883.