



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



Fayların tektonik aktivitesinin mineral alterasyonları ile değerlendirilmesi: Doğu Anadolu Fayı-Palu segmenti örneği, Türkiye

Evaluation of the tectonic activity of faults with mineral alterations: a case of the East Anatolian Fault-Palu segment, Türkiye

Firdevs GÜZEL^a ve Gülcan SARP^{a*}

^a Süleyman Demirel Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Isparta, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Aktif Tektonik,
Alterasyon Mineralleri,
Getis-Ord Gi* İstatistiği,
ASTER.

ÖZ

Palu segmenti, Türkiye'deki en önemli aktif sol yanal doğrultu atımlı fay sistemi olan Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) bir parçasıdır ve bu zonda farklı mineral alterasyonları bulunmaktadır. Çalışma, Palu segmenti ve çevresinde tektonik aktivite ve mineral alterasyonları arasındaki mekânsal ilişkiyi Getis-Ord Gi* istatistiği ile test etmiştir. Piksel düzeyinde mineral değişimleri ASTER görüntülerinden Bant Oranlama, Bağlı Bant Derinliği (RBD), Mineral İndeksleri, CROSTA, Kısıtlı Enerji Minimasyonu (CEM), Karışık Ayarlanmış Eşleştirilmiş Filtre (MTMF) yöntemleri ile belirlenmiştir. Sonuçlara göre, alterasyon minerallerinin mekânsal dağılımı, tektonik olarak aktif fay hatlarına paralel olarak uzanmakta ve/veya bölgedeki faylar tarafından kısmen sınırlandırılmaktadır. Çalışmada uygulanan RBD, Mineral İndeksleri, CROSTA, CEM ve MTMF görüntü işleme algoritmaları, çalışma alanındaki mineral alterasyonlarının mekânsal olarak belirlenmesi ve haritalanmasında tutarlı sonuçlar vermiştir. %99 ve %95 güven aralıklarında, istatistiksel olarak anlamlı soğuk nokta kümelenmeleri, mineral alterasyonlarının fay hatları etrafında yoğunlaştığını göstermektedir. Bu kümelenme, fayların yakınında yüksek alterasyon oranlarına sahip bölgeleri ve bu hatlar boyunca tektonik olarak aktif alanları işaret etmektedir.

Geliş Tarihi: 09.05.2024
Kabul Tarihi: 18.07.2024

Keywords:

Active Tectonics,
Alteration Minerals,
Getis-Ord Gi* Statistic,
ASTER.

ABSTRACT

Palu segment is a part of the East Anatolian Fault Zone (EAFZ), the most important active left-lateral strike-slip fault system in Turkey, and there are different mineral alterations in this zone. The study tested the spatial relationship between tectonic activity and mineral alterations with the Getis-Ord Gi* statistic in and around the Palu segment. Mineral alterations at the pixel level were determined from ASTER images by Ratio, Relative Band Depth (RBD), Mineral Indices, CROSTA, Constrained Energy Minimization (CEM), Mixed Tuned Matched Filter (MTMF) methods. According to the results, the spatial distribution of alteration minerals extending parallel to tectonically active fault lines and/or partially bounded by faults in the area. RBD, Mineral Indices, CROSTA, CEM, and MTMF image processing algorithms applied in the study gave consistent results in the spatial determination and mapping of mineral alterations in the study area. At 99% and 95% confidence intervals, statistically significant cold spot clusters indicate the proximity of alterations to faults concentrated around fault lines. This degree of clustering of mineral alterations indicates regions with high alteration rates close to fault lines and areas with tectonic activity along fault lines.

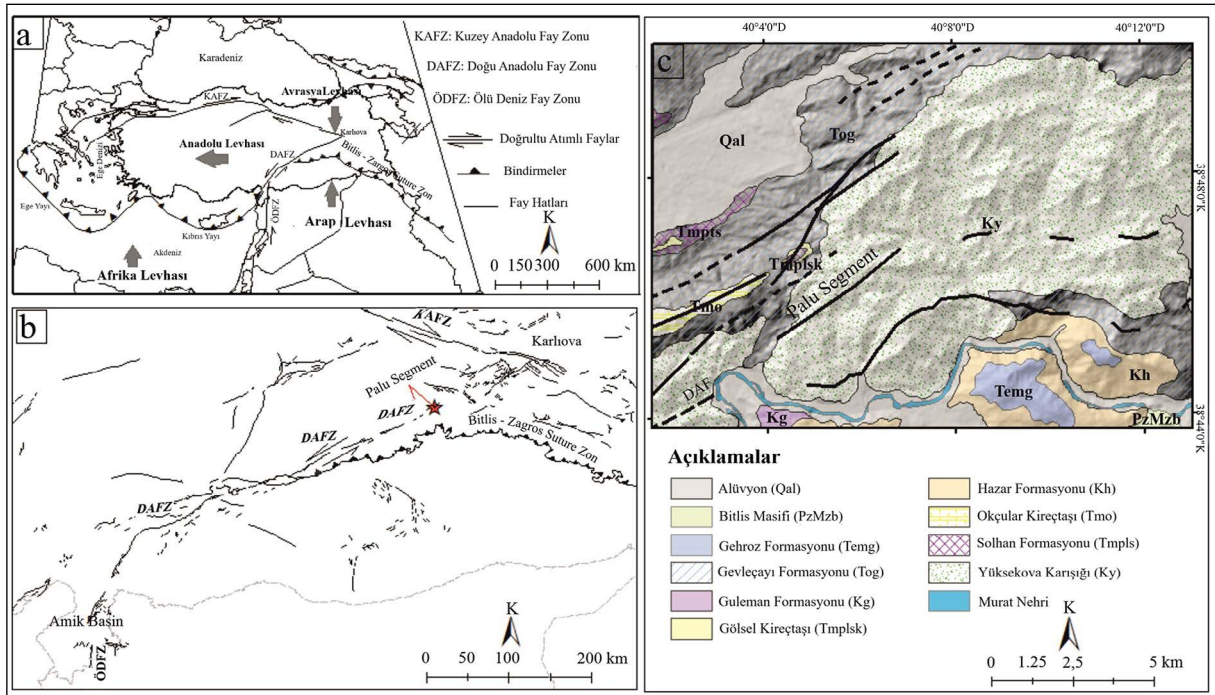
*Başvurulacak yazar: Gülcan SARP, gulcansarp@sdu.edu.tr

1. Giriş

Türkiye'nin doğusunda yer alan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), doğrultu atım ile karakterize edilen tektonik olarak aktif bir fay sistemidir. Arap ve Anadolu levhaları transform tipi bir levha sınırı boyunca ayrılmıştır (Arpat ve Şaroğlu 1972; Hempton, 1981). Fay sistemi, Karlıova'daki üçlü kesişim noktasından başlayarak güneybatıya doğru ilerler ve Antakya yakınlarındaki Amik Ovası'ndaki ikinci bir üçlü kesişim noktasına ulaşır (Over vd., 2004, Şekil 1a). Fay sisteminin yaşı hakkında farklı görüşler vardır. Bazı araştırmacılara göre fayın yaşı Geç Miyosen ve Erken Pliyosen (Arpat, 1972; Şengör vd., 1985; Dewey vd., 1986; Hempton, 1987; Perinçek ve Çemen, 1990; Lyberis vd., 1992), bazılarına göre ise Geç Pliyosen'dir (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Şaroğlu vd., 1987, 1992a, b; Emre ve Duman, 2007). Jeolojik verilere ve GPS kayıtlarına dayanarak, DAFZ'nin mevcut kayma hızı sırasıyla 6-10 mm yıl⁻¹ ve 11 ± 2 mm yıl⁻¹ arasında değişmektedir (Reilinger vd., 1997; McClusky vd., 2000). Öte yandan, Taymaz vd. (1991) fay zonu için 25-35 mm yıl⁻¹ kayma hızları tahmin etmiştir. DAFZ'nin sol yönlü doğrultu atımlı fay karakteri, jeolojik ve jeodezik çalışmalar (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Şaroğlu vd., 1992a, b; Reilinger vd.,

1997; Herece, 2008; Duman vd., 2012; Duman ve Emre, 2013) ile sismolojik gözlemlerle (McKenzie, 1972; Taymaz vd., 1991; Örgülü vd., 2003; Gülerce vd., 2017; Güvercin vd., 2022) doğrulanmıştır.

Saha çalışmaları ve tarihsel depremlere dayanarak, Doğu Anadolu Fay (DAF) sistemi çeşitli araştırmacılar tarafından sistematik olarak farklı segmentlere ayrılmıştır. Hempton (1981), fay zonu boyunca gözlemlenen jeolojik özellikler, deprensellik örüntüleri ve yapısal karakteristiklerle karakterize edilen beş segment tanımlamıştır. Barka ve Kadinsky-Code (1988) ayrıntılı jeolojik ve jeofiziksel çalışmalarla bu segmentasyonu on dört segmente genişletmiştir. Şaroğlu vd. (1992a, b) jeolojik ve tektonik analizlerine dayanarak altı segment önerirken, Herece (2008) jeolojik ve jeofizik verileri kullanarak on bir segment tanımlamıştır. Ayrıca, Duman ve Emre (2013) kendi özel jeolojik ve jeofizik bulgularına dayanarak yedi segment tanımlamıştır. Daha yakın zamanda, Bayrak vd. (2015) kapsamlı jeolojik ve jeofizik çalışmalar yürütmüş ve sonuçta beş farklı segment belirlemiştir. Bu çalışmada bahsedilen ve en dikkat çekici fay segmentlerinden biri olan Palu segmenti, bu çalışma için uygulama alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1b). Çetin vd. (2003) göre, Palu



Şekil 1- a) Türkiye'nin basitleştirilmiş aktif tektonik şeması (Şaroğlu vd., 1992a; Emre vd., 2013'ten değiştirilerek); b) DAFZ'nin ana kolları (Şaroğlu vd., 1992b; Herece, 2008'den değiştirilerek); c) DAFZ'nin Palu Segmentinin jeolojisi (Sümengen, 2011'den değiştirilerek).

segmenti 54 km uzunluğunda ve 5 km genişliğinde bir zon içerisinde ana faya paralel uzanan küçük faylardan oluşmaktadır. Buna karşın, Duman ve Emre (2013) bu fay segmentini 77 km uzunluğunda ve üç alt bölüme ayrılmış olarak tanımlamaktadır. Önceki çalışmalar bölgedeki fayların jeolojisi, aktivitesi ve özelliklerini kapsamlı bir şekilde ele almış olsa da bölgedeki mineral alterasyonlarının faylarla ilişkisi hakkında nispeten sınırlı araştırmalar yapılmıştır. Son yıllarda, multispektral uydu görüntülerine erişimin artması, mineral alterasyonlarının piksel düzeyinde ve yüksek mekânsal doğrulukta kesin olarak tanımlanmasını sağlamıştır. Bu yetenek, mineral alterasyonların fay sistemleriyle ilişkilendirilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada önerilen yaklaşımın, DAFZ gibi büyük fay sistemlerinin segmentlere ayrılması ve mineral alterasyonlarının fayların tektonik aktivitesiyle ilişkilendirilmesi konusunda yeni bir bakış açısı sunması beklenmektedir.

Özellikle, 1999 yılında NASA tarafından fırlatılan ve EOS/Terra platformunda bulunan bir sensör olan Gelişmiş Uzay Kaynağı Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi (ASTER), mineral değişimlerinin haritalanması için önemli bir kaynak olmuştur. Elektromanyetik Spektrumun (EMS) görünür ve yakın kızılötesi (VNIR), kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve termal kızılötesi (TIR) bölgelerinde minerallerin daha tanısal soğurma özellikleri nedeniyle ASTER verileri litolojik haritalama ve maden aramalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Spektrumun VNIR bileşeni, demir oksitlerin ve hidroksitlerin incelenmesi için çok önemlidir çünkü bunlar genellikle yakın kızılötesi (NIR) dalga boyu aralığında görünür bölge dalga boyu aralığına göre daha yüksek yansıma yapar (Hunt ve Salisbury, 1974; Hunt, 1977; Yamaguchi ve Naito, 2003). SWIR bölgesindeki daha fazla bant sayısı nedeni ile ASTER, OH içeren mineralleri ayırt edebilen ilk multispektral uzay kaynaklı sensördür (Abrams ve Hook, 1995). Spektral imzalarına dayanarak, çoğunlukla elektromanyetik spektrumun SWIR bölgesinde, killer, filosilikatlar, sülfatlar ve karbonatlar dahil olmak üzere hidrotermal minerallerin çeşitli tanısal grupları tanımlanabilir (Hunt, 1977; Clark vd., 1990; Yamaguchi ve Naito, 2003).

Geçmişten günümüze uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak Çoklu Spektral Tarayıcı (MSS) görüntülerinden mineral değişimlerinin piksel bazında tespiti için farklı yöntemler literatüre kazandırılmıştır. Bunlar arasında en yaygın kullanılanları Bant Oranı, Bağlı Bant Derinliği (RBD), Mineral İndeksleri, CROSTA, Kısıtlı Enerji Minimizasyonu (CEM), Karışık Ayarlanmış Eşleştirilmiş Filtre (MTMF) yöntemleridir (Holben ve Justice 1981; Crowley vd., 1989; Loughlin, 1991; Crowley, 1993; Harsanyi, 1993; Boardman vd., 1995; Farrand ve Harsanyi, 1997; Sabins, 1999; Tangestani ve Moore, 2002; Zhang vd., 2007; Kayadibi, 2008; Gabr vd., 2010; Wang ve Zhang, 2011; Guha vd., 2014; Li vd., 2014; Pour vd., 2017, 2019; Tözün, 2021; Güzel, 2023).

Bu çalışmada, mineral alterasyonları ve aktif faylar arasındaki ilişki iki farklı aşamada değerlendirilmiştir. İlk olarak, alterasyon mineralleri, Bant Oranı, RBD, Mineral İndisleri, CROSTA, CEM ve MTMF gibi yöntemlerin bir kombinasyonu kullanılarak ASTER görüntülerinden tanımlanmış ve çıkarılmıştır. Daha sonra, mineral değişimleri ve fay hatları arasında mesafeye dayalı mekânsal ilişki Getis-Ord Gi* istatistiği kullanılarak değerlendirilmiştir (Getis ve Ord, 1992). Bu yöntem, mineral alterasyonlarının kümelenmesini ve fay hatlarına yakınlığını değerlendirmeye yardımcı olarak jeolojik süreçler ile mineralojik değişimler arasındaki mekânsal ilişkiyi aydınlatmaktadır.

Bu çalışmanın bulguları, hem %99 hem de %95 güven aralıklarında istatistiksel olarak anlamlı soğuk nokta değerleri ortaya koymuş ve fay hatlarının yakınında belirgin bir mineral alterasyonu konsantrasyonunu vurgulamıştır. Ayrıca, belirlenen bu alterasyon minerallerinin mekânsal dağılım analizi, fay atımıyla ilişkili bir yer değiştirme olduğunu göstermiştir. Bu gözlemler, alterasyon mineralleri ile aktif faylar arasındaki mekânsal ilişkiyi vurgulamakta ve fay yapılarının çalışma alanındaki alterasyon minerallerinin dağılımı ve yoğunluğu üzerinde doğrudan bir etkisi olduğunu göstermektedir.

2. Çalışma Alanının Jeolojisi

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından üretilen 1/100.000 ölçekli jeoloji

haritalarına göre, çalışma alanındaki en yaşlı birim Paleozoik, en genç birim ise Kuvaterner'dir (Şekil 1c). Çalışma alanındaki en yaşlı jeolojik birim Murat Nehri'nin güneyinde küçük bir alanda (~0,5 km²) yayılım gösteren Bitlis metamorfikleridir (PzMzb) (Çizelge 1, Şekil 1c). Masifin tabanının gnays, metatüf-metavolkanik ve amfibolitlerden, üst kısımlarının ise mika-şist, mermer, mermer-şist ardalanmalarından oluştuğu belirtilmiştir (Erdoğan ve Dora, 1983; Helvacı, 1983). Göncüoğlu ve Turhan (1985) ise Bitlis metamorfiklerinin sade gnays, granat gnays, biyotit gnays, amfibolit, kuvarsit, şist, mermer, metatüf, kalkışit vb. birimlerden oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu birim alanda ~%0,29'lük bir yayılıma sahiptir (Çizelge 1, Şekil 1c).

Guleman ofiyoliti (Kg), sınırlı alanlarda görülmekte olup, yaklaşık %0,39'lük bir yayılım göstermektedir ve dunit, harzburgit, lertzolit, gabro, yastık lav ve diyabaz gibi bazik ve ultrabazik kayalardan oluşmaktadır. Çeşitli araştırmacılara göre birimin yaşı Geç Kretase (Soytürk ve Baştuğ, 1973), Jura (Açıkbaş ve Baştuğ, 1975) ve Kretase (Özkaya, 1978), Üst Toroniyen-Kampaniyen'dir (Herece, 2008).

Çalışma alanının ~%49,48'ini kaplayan Yüksekova kompleksi (Ky) volkano-sedimanter kayalar içerir (Çizelge 1, Şekil 1c). Bu birim Perinçek (1979) tarafından adlandırılmış ve yaşı Kampaniyen-Erken Maastrihtiyen olarak kabul edilmiştir. Bu birim konglomera, kırmızı renkli kireçtaşı, çamurtaşı, kumtaşı, şeyl volkanik kumtaşı, tuf, aglomera, bazalt, split, yastık lav, diyabaz ve

pelajik kireçtaşları (volkano-sedimanter birim) ile serpantin, granit, granodiyorit, gabro gibi bazik ve ultrabazik kayalardan oluşmaktadır (Sümengen, 2011).

Çalışma alanının yaklaşık %6,10'unu oluşturan Hazar formasyonu (Kh), gri şeyl, marn, kumtaşı, miltaşı, konglomera ve killi kireçtaşı ardalanmalarını içerir (Çizelge 1, Şekil 1c). Birim, altta serpantin ve ultrabazik çakıllı, tane destekli, ayrışmamış konglomera ile başlar ve üste doğru konglomera-kumtaşı ve rudistli istiftaşına geçer. Birimin üst seviyeleri gri, kahverengimsi şeyl, kırmızı ince taneli kumtaşı, silttaşı ve bol taneli kabuk, gri, killi kireçtaşı ve şeyl ardalanmasından oluşur. Birim içerisinde ince bazalt seviyeleri de mevcuttur. Hazar formasyonu Bitlis metamorfikleri, Guleman ofiyolitleri ve Yüksekova kompleksi üzerine aşıl uyumsuzlukla gelmektedir (Sümengen, 2011). Fosillere göre formasyonun yaşı Geç Kretase'dir (Ayhan, 1970).

Gehroz formasyonu (Temg) alanın ~%2'sini kaplamaktadır (Çizelge 1, Şekil 1c). Bu formasyon altta kırmızı kumtaşı ve marn ile başlayıp üste doğru masif, bej, gri, fosilli mikritik ve biyomikritik kireçtaşlarına geçiş gösterir ve fosil içeriğine göre Erken-Orta Eosen yaşındadır (Özkaya, 1978).

Gevleçayı formasyonu (Tog), çalışma alanının ~%24,98'ini oluşturmaktadır (Çizelge 1, Şekil 1c). Konglomera, kumtaşı, kilttaşı, kumlu kireçtaşı ve algli killi kireçtaşından oluşmaktadır (Metin, 1972; Sirel vd., 1975). Birim sığ denizel bir ortamda çökelmiştir. Birim üzerinde alınan kesit, tabanda metamorfik, diyorit, serpantin, gabro ve kuvarsit çakıllarından oluşan kötü boylanmalı bir konglomera seviyesi ile başlar. Üste doğru kumtaşı-marn ardalanmasına geçer. Formasyonun üst seviyelerinde marnlı tabakalar, bunların arasında ise algli ve killi kireçtaşı tabakaları yer alır. Birimin yaşının Oligosen olduğu düşünülmektedir (Sümengen, 2011).

Okçular kireçtaşı (Tmo), çalışma alanının batısında yer alır ve alanın ~%1'ini oluşturur (Çizelge 1, Şekil 1c). İnce tuf ara katkılı, orta-kalın yataklı, beyaz, gri renkli algli, makro ve mikrofosilce zengin killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu birimler Metin (1972) tarafından adlandırılmıştır. Fosillere

Çizelge 1- Çalışma alanındaki birimlerin alansal ve yüzdesel dağılımı.

Birim	Sembol	Alan (Km ²)	%
Bitlis Masifi	PzMzb	0.56	0.29
Guleman Formasyonu	Kg	0.75	0.39
Yüksekova Karışığı	Ky	96.06	4.48
Hazar Formasyonu	Kh	11.84	6.10
Gehroz Formasyonu	Temg	4.11	2.12
Gevleçayı Formasyonu	Tog	48.50	24.98
Okçular Kireçtaşı	Tmo	1.91	0.98
Solhan Formasyonu	Tmpls	1.84	0.95
Gölsel Kireçtaşı	Tmplsk	0.45	0.23
Alüvyon	Qal	28.13	14.49

göre formasyonun yaşı Erken Miyosen'dir (Metin, 1972; Sirel vd., 1975).

Solhan formasyonu (Tmpls), çalışma alanında sınırlı alanlarda bulunmakta ve alanın ~%0,95'ini kaplamaktadır (Çizelge 1, Şekil 1c). Tüfit, bazaltik andezit, piroklastik arakatlı göl çökelleri, tüfit-kiltaşı arakatlı, aglomera, konglomera, lamelli brimler ve gastropodlu göl çökellerinden oluşur. Bu tortul birimler formasyonda yanal devamlılığı olmayan merccekler halinde bulunur. Lavlar bazalt, bazaltik andezit ve andezitik bazalttan oluşmaktadır. Bu birimin kalınlığı bölgede 20-30 metre arasında değişmektedir (Sümengen, 2011). Sirel vd. (1975) bölgedeki volkanik birimi Karadağ bazaltları olarak tanımlamıştır. Bu birimin hem altında hem de üstünde gölsel kireçtaşları (Tmplsk) yer almakta ve birimin yaşı Geç Miyosen-Pliyosen olarak kabul edilmektedir (Sümengen, 2011). Araştırma alanının yaklaşık %14,49'unu oluşturan alüvyal (Qal) birimler alanın en genç birimlerini oluşturmaktadır (Çizelge 1, Şekil 1c).

3. Veri ve Veri Ön İşleme

3.1. ASTER Verileri

Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu'nun (USGS) spektral kütüphane verileri, ASTER görüntüleri, jeoloji ve fay haritaları, mineral alterasyonu ve tektonik aktivite arasındaki ilişkiyi analiz etmek için kullanılan temel veri setleridir. ASTER'in 29.08.2004 tarihli görüntüsü USGS web sitesinden (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) hiyerarşik veri formatında (HDF) indirilmiştir. ASTER bantlarının spektral aralıkları ve yersel çözünürlükleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Uydu görüntüleri 1984 Dünya Jeodezik Sistemi (WGS 84)- Evrensel Transversal Mercator (UTM) 37. bölgede yer almaktadır. Çalışmada, görüntünün sensör kalibrasyonu, Abrams ve Hook (1998) tarafından önerilen metodoloji izlenerek, Dijital Sayıların (Digital Numbers-DN) Atmosfer Üstü (Top of Atmosphere-TOA) yansıma değerlerine dönüştürülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada dönüşüm için Denklem 1 kullanılmıştır.

$$\text{Radiance}=(\text{DN}-1) *ucc \quad (1)$$

Burada DN dijital sayı ve ucc dönüştürme katsayısı birimlidir.

Çizelge 2- ASTER verilerinin tanımı.

Bantlar	Spektral Aralık (µm)	Yersel Çözünürlük (m)
VNIR	Bant-1	0.52-0.60
	Bant-2	0.63-0.69
	Bant-3N	0.78-0.86
	Bant-3B	0.78-0.86
SWIR	Bant-4	1.60-1.70
	Bant-5	2.145-2.185
	Bant-6	2.185-2.225
	Bant-7	2.235-2.285
	Bant-8	2.295-2.365
	Bant-9	2.360-2.430
TIR	Bant-10	8.125-8.475
	Bant-11	8.475-8.825
	Bant-12	8.925-9.275
	Bant-13	10.25-10.95
	Bant-14	10.95-11.65

Her ASTER bandı için farklı bir birim dönüştürme katsayısı geçerlidir. Bu sayılar ASTER kullanım kılavuzu Versiyon 1'den alınmıştır (Abrams ve Hook, 1998). Daha sonra, eşit hücre boyutuna sahip VNIR-SWIR aralığında elde etmek için ASTER VNIR bantları 30 m. hücre boyutuna yeniden örneklenmiş ve ENVI 5.1 yazılım ortamında SWIR bantları ile istiflenmiştir. Sonrasında atmosferik düzeltme algoritması Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) uygulanmıştır. Bu algoritma, VNIR ile NIR ve SWIR bölgelerini 3 µm'ye kadar düzelten birinci sınıf bir atmosferik düzeltme aracı olarak kabul edilir (ENVI, 2009).

ASTER görüntüsü ön işlemden geçirildikten sonra, su kütlesi ve bitki örtülü alanlar görüntüden maskelenmiştir. Bu süreçte ASTER görüntülerinden su kütleleri Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index-NDWI) (Denklem 2) (Gao, 1996) ile bitki örtülü alanlar ise Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) (Denklem 3) kullanılarak çıkarılmıştır (Kriegler vd., 1969).

$$\text{NDWI} = (\text{NIR}-\text{SWIR})/(\text{NIR}+\text{SWIR}) \quad (2)$$

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R}) \quad (3)$$

3.2. Spektral Kütüphane Verileri

Spektral kütüphane, radyometreler kullanılarak hem saha hem de laboratuvar ortamlarında kaydedilen hedef nesnelere yansımalarını içerir. Spektral kütüphanelerde mineral spektrumları önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, USGS spektral kütüphanesinden (http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib04/spectral_lib.html) elde edilen minerallerin spektral yansımaları kullanılmıştır. Kullanılan mineraller; götit, hematit, jarosit, limonit, alunit, epidot, İlit, kaolinit, montmorillonit ve muskovittir (Çizelge 3). Bu mineraller USGS kütüphane dosyasından çıkarılmış ve ASTER görüntüsünün bantlarının spektral aralığına uyacak şekilde yeniden örneklenmiştir.

Çizelge 3- USGS spektral kütüphanesinde kullanılan mineraller ve kodları (http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib04/spectral_lib.html).

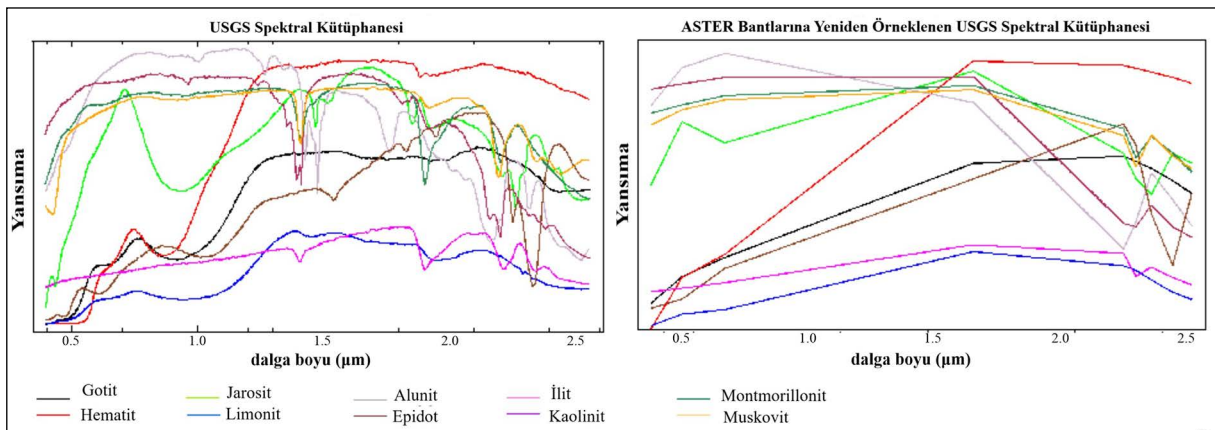
Mineraller	Kodları
goethit1.spc	Goethite WS222
hematit2.spc	Hematite GDS27
jarosit1.spc	Jarosite GDS99 K-y 200C
limonite.spc	Limonite HS41.3
alunit1.spc	Alunit GDS84 Na03
epidote1.spc	Epidote GDS26.a 75-200um
illite1.spc	Illite GDS4 (Marblehead)
kaolini1.spc	Kaolinite CM9
montmor1.spc	Montmorillonite SWy-1
Muscovi2.spc	Muscovite GDS108}

Kayaçlar ve mineraller SWIR bölgesinde VNIR bölgesine göre daha yüksek yansımaya değerine

sahiptir, bu nedenle ASTER uydusunun 1.60 ila 2.430 (μm) dalga boyu aralığında olan 6 bantlı hidrotermal alterasyon minerallerini tanımlamak için uygundur. Jarosit, limonit, hematit ve götit gibi demir minerallerinin soğurma özellikleri özellikle Fe_3^+ ve Fe_2^+ ile ilgilidir. Fe_3^+ 'ün soğurma özellikleri yaklaşık 0,49, 0,70 ve 0,87 μm iken Fe_2^+ 'nin soğurma özelliği yaklaşık 0,51, 0,55 ve 1,20 μm 'dir. Fe_3^+ 'ün soğurma özellikleri yaklaşık 0,49, 0,70 ve 0,87 μm iken Fe_2^+ 'nin soğurma özellikleri yaklaşık 0,51, 0,55 ve 1,20 μm 'dir (Şekil 2). Yani, görünür ve orta kızılötesi dalga boyu aralıklarında, bu mineraller güçlü spektral yansımabsorpsiyon özellikleri gösterme eğilimindedir (Hunt ve Salisbury, 1974; Hunt, 1977; Hunt ve Ashley, 1979; Cloutis, 1996; Rowan vd., 2006; Mars ve Rowan, 2011; Fatima vd., 2017). Montmorillonit, kaolinit, muskovit, İlit, klorit ve talk gibi Al-Si-(OH) ve mg-Si-(OH) içeren mineraller ile sorosilikat grubu, epidot grubu ve alunit filozilikatlar gibi Ca-Al-Si-(OH) içeren mineraller, OH içeren sülfatlar ve karbonatlar kısa dalga kızılötesi bölgelerdeki spektral yansım özellikleriyle tanınabilir (Hunt, 1977; Hunt ve Ashley, 1979; Amin ve Mazlan, 2011; El Janati, 2019). Alunit, kaolinit ve montmorillonit gibi kil mineralleri 1,6 μm 'de yüksek yansımaya gösterir. Bununla birlikte, 2,1-2,4 μm dalga boyu aralığında yoğun emilim gösterirler (Hunt ve Ashley, 1979; Şekil 2).

3.3. Faylar ve Jeoloji Haritaları

Çalışma alanındaki faylar MTA tarafından sağlanan farklı ölçeklerdeki haritalardan derlenmiştir. 1:250.000 ölçekli sayısal fay haritası pdf formatında MTA web sitesinden (www.mta.gov.tr) indirilerek



Şekil 2- USGS kütüphanesinden mineral spektrumları ve bu yansımaların ASTER uydu bantlarına yeniden örneklenmesi.

bölgenin tektonik özelliklerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması sağlanmıştır. Çalışma alanının 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji K44 paftası gerekli yazışmalarla birlikte Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Ayrıca çalışmada 1/100.000 ölçekli Doğu Anadolu Fay Atlası (Herece, 2008) kullanılmıştır.

4. Yöntem

4.1. Bant Oranlama, Bağlı Bant Derinliği (Relative Band Depth (RBD) ve Mineral İndisleri

Bant Oranlama tekniği, EMS'nin belirli bir dalga boyu aralığında yüksek yansımaya sahip bir nesnenin başka bir dalga boyu aralığında düşük yansıma vermesi prensibine dayanarak geliştirilmiştir. Bu yöntem, yüksek yansımının olduğu dalga boyu aralığını düşük yansımının olduğu dalga boyu aralığına bölerek değişiklikleri tespit eder. Böylece, bant oranlaması sonucunda malzemeler arasındaki spektral farklılıklar vurgulanarak tek bir bantta ayırt edilemeyen özellikler öne çıkarılır. Ayrıca bu yöntem, güneş ışığı ve

topoğrafyadan kaynaklanan gölge etkisini azaltarak görüntüdeki hedef materyalin vurgulanmasına da katkı sağlamaktadır (Holben ve Justice 1981; Sabins, 1999; Kayadibi, 2008). Çalışmada ferrik oksit, gossan, alunit, demir oksit, amfibol, kaolinit, kalsit ve kaolinit-montmorillonit minerallerinin alterasyonlarını belirlemek için literatürde yaygın olarak kabul gören bant oranı değerleri dikkate alınmıştır (Çizelge 4).

Bağlı Bant Derinliği (RBD) Crowley vd. (1989) tarafından tanısal mineral soğurma özelliklerini tespit etmek için önerilmiştir. Bu yöntem bant oranlama prensibine dayanır ve topoğrafyadaki eğim ve albedo farklılıklarına bağlı yansıma değişimlerini en aza indirir. Bir soğurma bandının yakınındaki birçok veri kanalının toplamı, bir RBD görüntüsü üretmek için minimum bandın yakınındaki çok sayıda kanalın toplamına bölünür. RBD görüntüleri, son derece spesifik olmasının yanı sıra belirli mineral soğurma özelliklerinin varlığına karşı çok hassastır. Ayrıca, diğer veri normelleştirme teknikleri kullanıldığında ortaya çıkan spektral özellikler bu metodoloji ile ne

Çizelge 4- Alterasyon minerallerinin tanımlanmasında kullanılan ASTER Bant Oranı, Bağlı Bant Derinliği (RBD) ve Mineral İndisleri.

Yöntemler	Mineraller	Bant Oranları	Kaynak
Bant Oranlama	Ferrik Oksit	(Bant 4 / Bant 3)	Hewson vd., 2001
	Gossan	(Bant 4 / Bant 2)	Volesky vd., 2003
	Alunit	(Bant 4 / Bant 5)	Rouskov vd., 2005
	Demir Oksit	(Bant 2 / Bant 1)	Hewson vd., 2001
	Amfibolit	(Bant 6 / Bant 8)	Hewson vd., 2005
	Kaolinit	(Bant 7 / Bant 5)	Hewson vd., 2005
	Kaolinit	(Bant 7 / Bant 6)	Van der Meer vd., 2014
	Kalsit	(Bant 4 / Bant 7)	Rouskov vd., 2005
	Kaolinit-Montmorillonit	(Bant 4 / Bant 6)	Rouskov vd., 2005
RDB	Amfibolites	(Bant 6+Bant9) / (Bant 8)	Hewson vd., 2005
	Dolomit	(Bant 6+Bant8) / (Bant 7)	Rowan ve Mars, 2003
	Karbonat-Klorit-Epidot	(Bant 7+Bant9) / (Bant 8)	Rowan ve Mars, 2003
	Alunit- Pirofilit	(Bant 6+Bant7) / (Bant 5)	--
	Alunit- Pirofilit -Kaolinit	(Bant 4+Bant6) / (Bant 5)	Rowan ve Mars, 2003
	Kaolinit-Montmorillonit	(Bant 4+Bant7) / (Bant 6)	Fatima vd., 2017
	İlit-Smektit-Muskovit	(Bant 5+Bant7) / (Bant 6)	Rowan ve Mars, 2003
Mineral İndisleri	OH	(Bant 7/ Bant 6) * (Bant 4/ Bant 6)	Ninomiya, 2004
	Kaolinit	(Bant 4/b 5) * (Bant 8/Bant 6)	Ninomiya, 2004
	Alunit	(Bant 7/b 5) * (Bant 7/Bant 8)	Ninomiya, 2004
	Kalsit	(Bant 6/ Bant 8) * (Bant 9/Bant 8)	Ninomiya, 2004
	Demir	(Bant 2/Bant 1) * (Bant 3/Bant 2)	Gopinathan vd., 2020
	Demir Oksit	(Bant 1+ Bant 4) / (Bant 2/Bant 3)	Rockwell, 2013

değiştirilir ne de bastırılır. RBD tekniği, topraklar tarafından üretilen zayıf NIR spektral özelliklerini tespit etmek için özellikle uygundur ve yarı kurak arazilerde ince litolojik ve yapısal ayrıntıların daha iyi haritalanmasına olanak tanır (Crowley vd., 1989). Çalışmada amfibolit, dolomit, karbonat-klorit-epidot, alunit-pirofilit, alunit-pirofilit-kaolinit, kaolinit-montmorillonit, İlit-smektit-muskovit minerallerinin alterasyonlarını belirlemek için literatürde yaygın olarak kabul gören RBD oranları kullanılmıştır (Çizelge 4).

Bant oranları ile karşılaştırıldığında mineral indisleri, soğurma ve yansıtma bantları arasındaki elektromanyetik enerji farkından yararlanarak malzemeler arasında bir kontrast farkı sağlar. Bant indisleri ve bant oranları arasındaki fark, iki farklı bant oranının çarpılması veya toplanmasıyla ifade edilir. İki farklı bant oranının birleştirilmesinin ardındaki mantık, benzer spektral yansıtma özellikleri sergileyen malzemeler arasındaki farklılaşmayı artırmaktır. Mineral İndisi, bir absorpsiyon bandı ve iki yansıma bandı seçilerek formüle edilir. Bu çalışmada, Çizelge 4'te OH, kaolinit, alunit, kalsit, demir ve demir oksit mineralleri ile ilişkili alterasyonları tanımlamak için literatürde tanınan bant indisleri listelenmiştir.

4.2. CROSTA

Crosta ve Moore (1989) çalışmalarında Temel Bileşen Analizine (PCA) özellik odaklı temel bileşen seçimi (Feature-Orientated Principal Component Selection-FPCS) olarak tanımladıkları farklı bir yaklaşım uygulamışlardır. Bu yaklaşım daha sonra Loughlin (1991) tarafından CROSTA tekniği olarak literatüre kazandırılmış ve devam eden araştırmalarda hidrotermal alterasyon minerallerini tespit etmek için çeşitli uydu görüntülerine uygulanmıştır (Loughlin, 1991; Tangestani ve Moore, 2002).

Bu stratejiyi kullanan kullanıcı, nesnelere spektral yansımalarına göre 4 veya 6 spektral bant seçer. Bant seçiminde hedef mineralin en yüksek yansımaya ve en düşük yansımaya sahip bant aralığı seçilir ve seçilen bu bantlara PCA uygulanır. Bu nedenle CROSTA analizi yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta doğru bant seçimidir. Elde edilen PC'ler incelendiğinde, mineralin absorpsiyon bantlarının pozitif değerlerle daha parlak bir görüntü verdiği, desorpsiyon bantlarının ise negatif değerlerle daha karanlık bir görüntü sağladığı görülmektedir.

4.3. Kısıtlı Enerji Minimizasyonu (Constrained Energy Minimization-CEM)

Kısıtlı Enerji Minimizasyonu (Constrained Energy Minimization-CEM) tekniği Harsanyi (1993) tarafından geliştirilmiştir. Bu teknik, verilerdeki istenmeyen nesnelere etkilerini, yani spektral yansımalarını azaltırken istenen nesnenin yansımalarını artırmanın hızlı ve etkili bir yoludur. Bu teknik için gerekli olan tek şey, bu çalışma için minerallerin spektrumları olan istenen hedefin spektrumlarıdır. CEM, multispektral görüntü dizisindeki her pikselin istenmeyen ve bilinmeyen arka plan imzalarını en aza indirirken ilgilenilen imzayı vurgulamamızı sağlar. Bir Sonlu Darbe Tepkisi (Finite Pulse Response-FIR) filtresi kullanan CEM yöntemi, hedeflenen bir nesneyi doğrusal olarak sınırlarken, diğer tanımlanamayan sinyal kaynaklarından gelen paraziti en aza indirir. CEM tekniğinin çeşitli spektral arka planları yönetme ve arka plan öğelerinin doğrusal olmayan karışımlarını kabul etme kapasitesi avantajları arasındadır (Farrand ve Harsanyi, 1997). Araştırmacılar, bu yöntemin uydu görüntülerinden hedef imzayı etkili bir şekilde izole ettiğini göstermiştir (Zhang vd., 2007; Gabr vd., 2010; Guha vd., 2014; Li vd., 2014; Pour vd., 2017, 2019).

4.4. Karma Ayarlı Eşleştirilmiş Filtreleme (Mixed Tuned Matched Filter-MTMF)

Karma Ayarlı Eşleştirilmiş Filtreleme (Mixed Tuned Matched Filter-MTMF) tekniği, Doğrusal Spektral Karma ve İstatistiksel Eşleştirilmiş Filtreleme (Matched Filtering-MF) tekniklerinin birleşiminden oluşan bir alt piksel haritalama yöntemidir (Boardman vd., 1995). Bununla birlikte, bir fizibilite endeksine ek olarak, her bir uç üyenin çıktısına daha fazla ağırlık verir ve küçük spektrum değişikliklerini tespit edebilen ve en uygun konumları işaret edebilen gelişmiş bir teknikte sonuçlanır. MTMF iki aşamadan oluşur: bolluğu tahmin etmek için bir MF hesaplaması ve yanlış pozitifleri tanımlamak ve reddetmek için bir karışım ayarlama hesaplaması. MTMF'nin sonuçları, her hedef için MF görüntü skoru ve fizibilite görüntüsünü içeren iki gri görüntü seti verir. MF görüntüsü, 0 ile 1.0 arasında değişen değerlerle, referans spektruma benzerlik derecesini ve yaklaşık alt piksel bolluğunu değerlendirmek için bir yol sunar. MF tekniğinde, fizibilite perspektifi zaman zaman

karişım teorisinin fiziksel kısıtlamalarını eşleştirilmiş filtrelemenin avantajlarıyla bütünleştirerek yanlış pozitifleri azaltmak için kullanılır. Karişım ayarlı teknik, karişık sonuçların fizibilitesini kısıtlamak ve böylece yanlış sinyallerin oluşumunu azaltmak için doğrusal karişık spektrum teorisini kullanır (Wang ve Zhang, 2011).

4.5. Getis-Ord G_i^* istatistiği

Getis-Ord G_i^* istatistiği yerel bir mekânsal otokorelasyon indeksidir (Getis ve Ord, 1992; Ord ve Getis, 1995). Bu istatistik, tüm çalışma bölgesinde belirli bir mesafe içinde meydana gelen ve yüksek veya düşük konsantrasyona sahip bir grup özelliği tanımlamak için uygundur. G_i^* istatistiği, veri kümesindeki her özellik için bir z-skoru ve p-değerleri vererek yüksek veya düşük öznitelik değerlerinin mekânsal kümelerini gösterir. Yüksek öznitelik değerlerinin kümelenmesi (sıcak nokta) istatistiksel olarak anlamlı pozitif z-skorumları ile gösterilir. Bununla birlikte, düşük nitelik değerlerinin kümelenmesi istatistiksel olarak anlamlı negatif z-skorumları (soğuk nokta) ile gösterilir. G_i^* , bir I olayının n olay üzerinden mekânsal otokorelasyon istatistiğidir ve Denklem (4) kullanılarak belirlenir:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij}x_j}{\sum_{j=1}^n x_j} \quad (4)$$

Burada x_j j özelliğinin öznitelik değerini, W_{ij} i ve j özelliği arasındaki uzamsal ağırlığı ve G_i^* n olay üzerinden I olayının uzamsal otokorelasyon istatistiğini ifade etmektedir.

5. Tartışmalar

Aktif tektonik, hidrotermal süreçler ve deformasyon için uygun koşullar oluşturarak mineral alterasyonlarını önemli ölçüde etkileyebilir. Faylanma, kıvrımlanma ve yükselme gibi tektonik faaliyetler, yerkabuğuna akışkanlar sokarak metasomatizma ve hidrotermal yer değiştirme gibi süreçler aracılığıyla minerallerin alterasyonlarını kolaylaştırabilir. Fay zonları, özellikle sıvı göçü için yollar işlevi görerek yeni minerallerin oluşumuna veya mevcut minerallerin alterasyonuna yol açan kimyasal reaksiyonları tetikleyebilir. Ayrıca, aktif tektonikle ilişkili sismik aktivitenin yoğunluğu ve sıklığı, kayaçların çatlaması ve kırılmasına katkıda bulunarak mineral alterasyonunu daha da teşvik edebilir. Bu ilişki, mineral alterasyonunu ve jeolojik bağlamlardaki mekânsal dağılımlarını incelerken tektonik ortamlar ve ilişkili jeolojik yapıları göz önünde bulundurmanın önemini vurgular.

Çalışmada, aktif tektonik ve mineral alterasyonları arasındaki ilişkiyi belirlemek için ASTER verilerine Bant Oranlama, RBD, Mineral İndisleri, CROSTA, CEM ve MTMF algoritmaları uygulanarak alterasyon mineralleri piksel seviyesinde haritalanmıştır. Bant Oranlama analizi, kaolinit (%28,23) ve ferrik oksit (%17,50) bölgedeki en yüksek mineral yüzdelerini oluşturduğunu, gossan (%1,46) ve alunitin (%4,03) ise en düşük yüzdeleri temsil ettiğini belirlemiştir. (Çizelge 5). Rockwell (2013), otomatik ASTER veri işleme tekniklerinin, oran tabanlı spektral analiz

Çizelge 5- Bant Oranlama, Bağlı Bant Derinliği (RBD) ve Mineral İndisleri analizlerinden elde edilen mineral değişimleri ve bunların yüzde dağılımları.

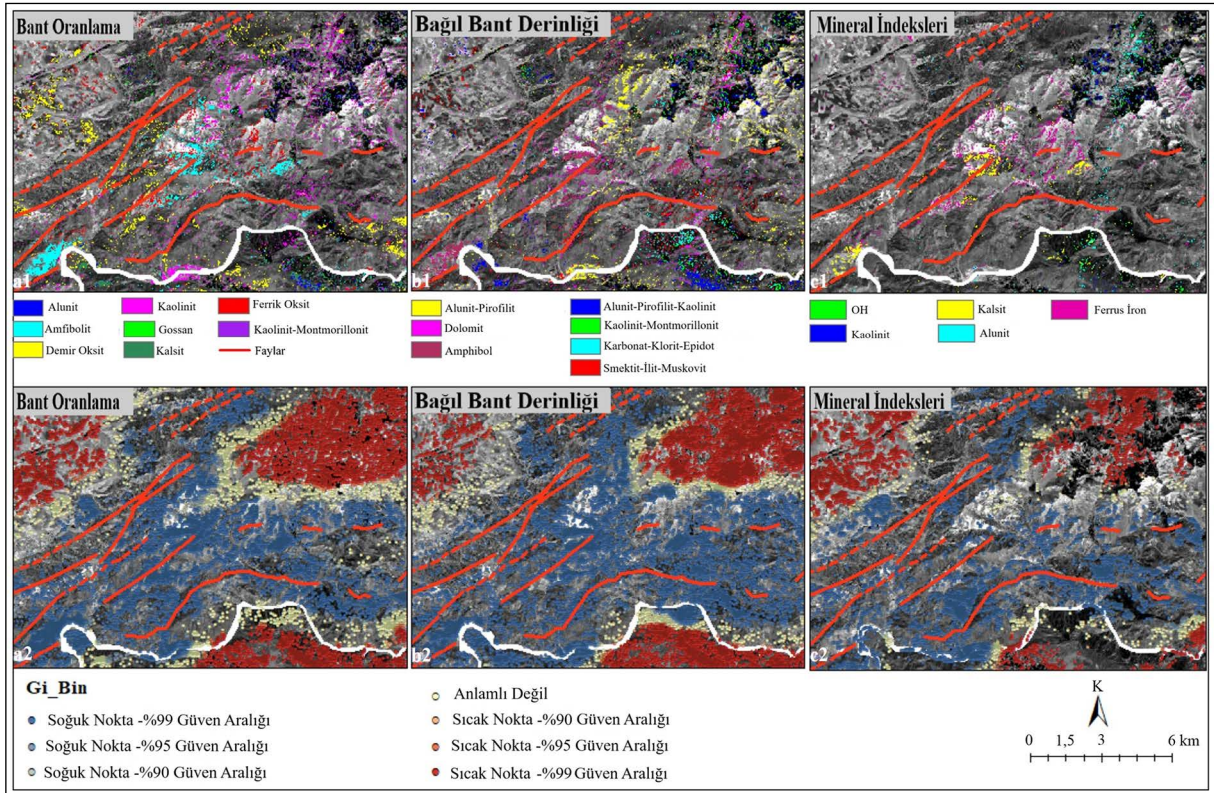
Yöntem	Mineraller	%	Mineraller	%
Bant Oranlama	Ferrik oksit	17.50	Amfibolit	17.37
	Gossan	1.46	Kaolinit	28.23
	Alunit	3.03	Kalsit	8.60
	Demir oksit	20.78	Kaolinit-Montmorillonit	3.03
RDB	İlit-Smektit-Muskovit	13.14	Karbonat- Klorit-epidot	6.29
	Kaolinit-montmorillonit	6.84	Dolomit	19.70
	Alunit- Pirofilit -Kaolinit	12.76	Amfibolit	18.84
	Alunit- Pirofilit	22.41		
Mineral İndisleri	OH	6.52	Alunit	14,75
	Kaolinit	9.99	Demir Oksit	47.26
	Kalsit	21.48		

programları kullanarak bireysel malzeme endeksleri için sonuçlar sağladığını belirtmektedir. Bir indisin en yüksek değerleri, sahnede vurgulanması amaçlanan türde hiçbir mineral olmasa bile bir tespit sonucu olarak görüntülenecektir. Sonuç olarak, oran tabanlı analiz algoritmaları tarafından üretilen haritalar, belirli bir öğeyi içermeye olasılığı yüksek olan haritalardır. Bu çalışmada bant oranı ile belirlenen mineral grupları çalışma alanında oldukça yaygın olduğundan, bu çalışma için yapılan testlerde algoritmanın kendisiyle ilgili önemli bir hatalı mineral grubu tespiti gözlenmemiştir. Sonuçlara göre, kaolinit alterasyonları Yüksekova kompleksinde (Ky), özellikle kompleksin kuzeydoğu kesiminde ve Murat Nehri çevresinde geniş bir dağılım göstermektedir. Öte yandan, yoğun amfibolit alterasyonları Palu fay segmentinin kuzeydoğu ve güneybatı uçlarındaki fay hatları ile sınırlıdır. Ferrik oksit ve demir oksit alterasyonları fay hattı boyunca ve yakın çevresinde dağılmıştır (Şekil 3a1). Getis-Ord Gi* istatistiğinin %99 ve %95 güven aralıklarındaki bulgularına göre, faylara yakınlığı gösteren soğuk noktaların kümelenmesi, fay

hatları etrafında ve fay hatlarına paralel olarak daha yoğun bir şekilde kümelenmiştir. Öte yandan, aynı güven aralıklarında, istatistiksel olarak anlamlı sıcak nokta (pozitif z-skorumları) değerleri fay hatlarından bağımsız olarak kümelenmiştir (Şekil 3a2).

RDB analizinin bulgularına dayanarak, alan en yüksek alunit-pirofilit (%22,41), dolomit (%19,70) ve amfibolit (%18,84) yüzdelerini sergilerken, kaolinit-montmorillonit (%6,84) ve karbonat-klorit-epidot (%6,29) mineralleri en düşük yüzdeleri göstermektedir. Dolomit alterasyonları alan boyunca yaygındır, amfibol alterasyonları aralıklı olarak gözlenir, özellikle fay hatları etrafında yoğunlaşır ve fay uzanımlarına paralel olarak hizalanır (Şekil 3b1). Getis-Ord Gi* istatistiklerinin %99 ve %95 güven aralıklarındaki sonuçlarına göre, bulgular bant oranı analizlerinden elde edilen sonuçlarla tutarlıdır (Şekil 3b2).

Mineral İndislerinin bulguları, demir (%47,26) ve kalsit (%21,48) değişimlerinin bölgede en yaygın olduğunu göstermektedir (Çizelge 5).



Şekil 3- Bant Oranı (a1), Bağlı Bant Derinliği (RBD) (b1) ve Mineral İndisleri (c1) ile belirlenen alterasyon mineralleri ve bu alterasyonların fay hatlarına göre Getis-Ord Gi* istatistiklerinin sonuçları (sırasıyla a2; b2; c2).

Mineral değişimlerinin mekânsal örüntüsüne göre, kalsit değişimleri ağırlıklı olarak Palu fay segmentinin kuzeydoğu ve güneybatı kısmında kümelenmektedir. Ferrus demir alterasyonları fay hatlarının proksimalinde gözlenmekte ve fay hatlarının uzantısına paralel olarak sıralanmaktadır (Şekil 3c1). Getis-Ord Gi* istatistiklerinin %99 ve %95 güven aralıklarındaki sonuçları, Bant Oranı ve RBD analizlerinden elde edilen bulgularla tutarlı olarak, soğuk nokta kümelerinin ağırlıklı olarak fay hatları boyunca ve yakın çevresinde yer aldığını göstermektedir (Şekil 3c2).

Çalışma alanında, alunit, kaolinit, muskovit-serisit ve ferrik oksit alterasyonları CROSTA yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu analizde, her bir mineral alterasyonunu belirlemek için seçilen ASTER bantları (Crosta vd., 2003; Boloki ve Poormirzaee, 2010) Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6- CROSTA yönteminde alterasyon minerallerini tespit etmek için seçilen ASTER bantları.

CROSTA Bant	Mineraller	Kaynak
B1-B3-B5-B7	Alunit	Crosta vd., 2003
B1-B4-B6-B7	Kaolinit	Crosta vd., 2003
B1-B3-B5-B6	Muskovit ve Serisit	Crosta vd., 2003
B1-B2-B3-B4	Ferrik oksit	Boloki ve Poormirzaee, 2010

Her bir alterasyon için gerekli 4 bant seçildikten sonra, bu bantlar üzerinde PCA analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizden elde edilen her bir PC'nin özvektör değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelgede verilen özdeğerler, alunit, kaolinit, muskovit-serisit ve ferrik oksit gibi minerallerin tanımlanması için gerekli olan PCA için çok önemlidir. Özvektör değerlerine göre, PC 4'ün alunit, kaolinit, muskovit-serisit ve ferrik oksitleri tanımlamak için en uygun bileşen olduğu düşünülmektedir. Bu bileşende, mineral türlerinin tanımlanması çeşitli bantlarda farklı spektral imzalar ortaya çıkarmaktadır. Spesifik olarak, alunit mineralleri için spektral yansıma, Bant 5'te (-0,638) gözlemlenen minimum değerden Bant 7'de (0,729) maksimum değere kadar değişmektedir. Kaolinit mineralleri için spektral yansıma, Bant 6'daki en düşük değerden (-0,695) Bant 7'deki en yüksek değere (0,718) kadar değişmektedir. Muskovit-serisit

mineralleri, Bant 3'te minimumdan (-0,023) Bant 7'de maksimuma (-0,698) kadar değişen spektral yansıma değerleri sergilemektedir. Son olarak, ferrik oksitler için spektral yansıma, Bant 3'te (-0,682) gözlemlenen minimumdan Bant 1'de (0,719) maksimuma kadar değişmektedir.

Çizelge 7- Seçili ASTER bantları için alunit, kaolinit, muskovit ve serisit ve ferrik oksitlerin özvektörleri (PCA için 4 bant).

Özvektör- Alunit	B1	B3	B5	B7
PC 1	-0.485	-0.562	-0.469	-0.475
PC 2	-0.399	0.823	-0.300	-0.268
PC 3	0.777	0.070	-0.470	-0.411
PC 4	-0.025	-0.024	-0.683	0.729
Özvektör- Kaolinit	B1	B4	B6	B7
PC 1	-0.447	-0.595	-0.486	-0.455
PC 2	-0.832	0.549	0.063	0.030
PC 3	0.326	0.584	-0.524	-0.525
PC 4	-0.009	0.026	-0.695	0.718
Özvektör- Muskovit ve Serisit	B1	B3	B5	B6
PC 1	-0.479	-0.544	-0.468	-0.504
PC 2	-0.377	0.835	-0.289	-0.273
PC 3	0.791	0.068	-0.430	-0.427
PC 4	-0.009	-0.023	0.715	-0.698
Özvektör- Ferrik oksit	B1	B3	B5	B6
PC 1	0.414	0.545	0.475	0.551
PC 2	0.448	0.440	-0.770	-0.106
PC 3	-0.330	-0.206	-0.423	0.817
PC 4	0.719	-0.682	0.011	0.123

Alunit, kaolinit, demir oksit, muskovit ve serisit alterasyon minerallerini belirlemek için gerekli PC'ler seçildikten sonra kural tabanlı sınıflandırma yöntemleri modifikasyonları haritalamak için kullanılmıştır (sırasıyla Şekil 4a1, b1, c1, d1). CROSTA yönteminde, her bir mineral için en yüksek ve en düşük spektral yansıma sahip bantlar seçilerek ve bant sayısı azaltılarak, Loughlin'de (1991) belirtildiği gibi, belirli bir mineral sınıfı için benzersiz bir PC tanımlama şansı artırılmıştır. CROSTA analizinin bulgularına göre, alunit, kaolinit, demir oksit ve muskovit-serisit alterasyonlarının oluşumları ağırlıklı olarak çalışma alanının kuzeydoğu, güney ve orta kısımlarında kaydedilmiştir. Getis-Ord Gi* istatistiklerinin % 99 ve %95 güven aralıklarındaki sonuçları göz önüne alındığında, soğuk nokta değerlerinin çoğunlukla

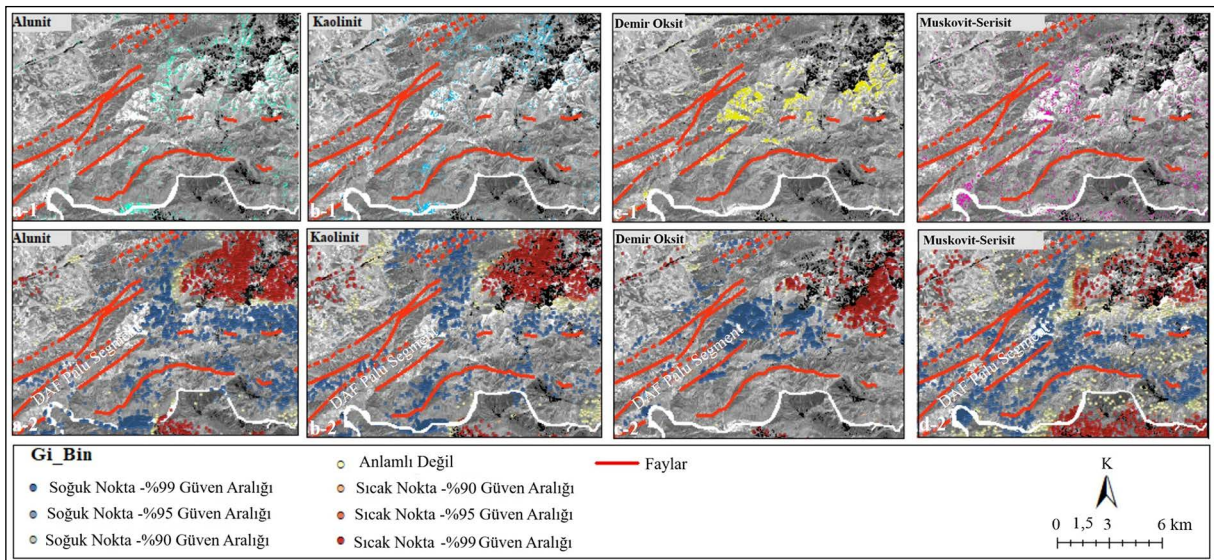
fay hatları boyunca dağıldığı ve fay hatları ile sınırlı olduğu görülmektedir. Öte yandan, özellikle alunit ve kaolinit sıcak nokta değerleri alanın kuzeydoğu kesiminde kümelenmiştir. Özellikle, alunit ve kaolinit sıcak nokta değerleri, demir oksit ve muskovit serisit sıcak nokta değerlerine göre alanın kuzeydoğu kesiminde daha yoğun bir şekilde kümelenmiştir (Şekil 4a2, b2, c2, d2).

CEM yöntemi ASTER verilerinin VNIR ve SWIR bölgelerine uygulanmıştır. Bu yöntem ile VNIR bölgesinde hematit, götit, jarosit ve limonit mineralleri belirlenmiştir (Şekil 5a1, 5a2). Diğer yandan SWIR bölgesinde alunit, kaolinit, montmorillonit, ilit, muskovit ve epidot mineralleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre alanın kuzeybatı kesimlerinde tespit edilen limonit ve ilit alterasyonları yer yer fay hatları ile sınırlandırılmıştır. Epidot alterasyonları ise çalışma alanının kuzeydoğusu boyunca uzanan fay çevresi üzerinde yoğun olarak bulunmakta ve faylarla sınırlanmaktadır. Getis-Ord Gi* istatistiği sonuçları %99 ve %95 güven aralıklarında değerlendirildiğinde soğuk nokta değerlerinin ağırlıklı olarak fay hatları boyunca dağıldığı ve fay hatları tarafından sınırlandırıldığı görülmektedir (Şekil 5a3).

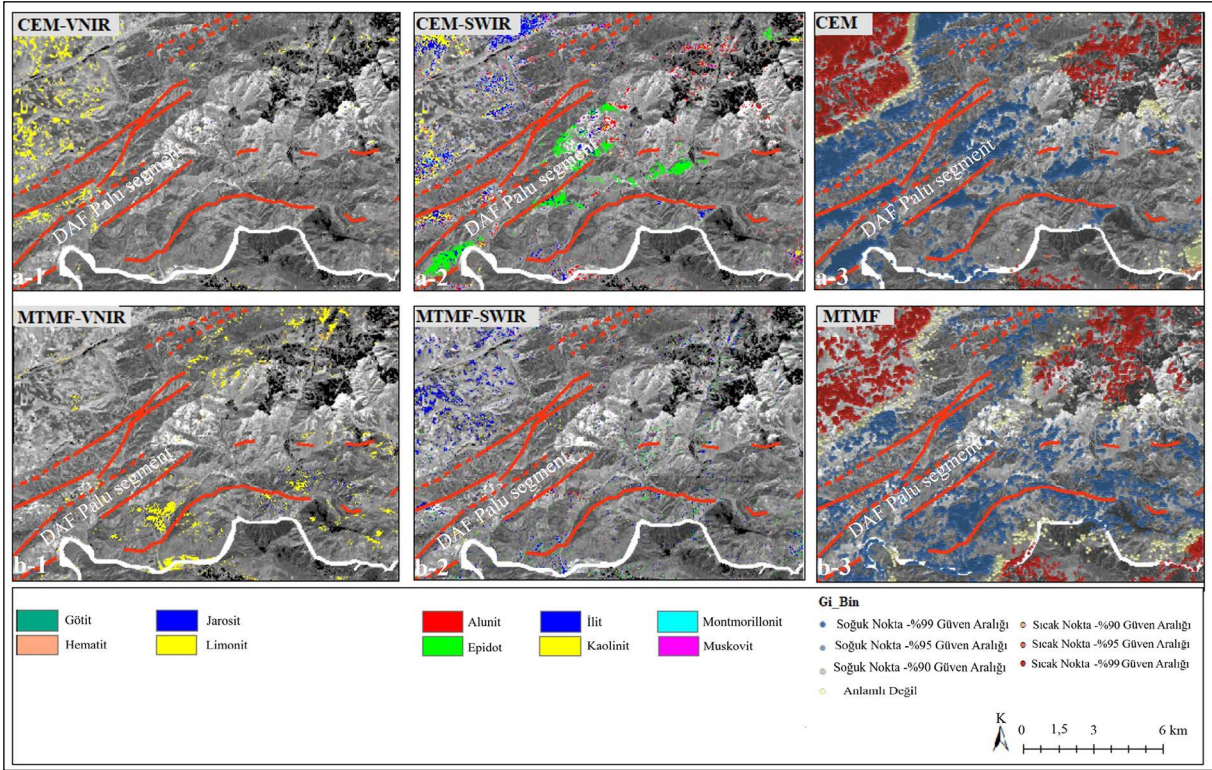
MTMF tekniği, spektral kütüphaneden seçilen ilgili minerallerin yansıma spektrumuna göre ASTER'in VNIR ve SWIR bantlarına uygulanmıştır. MTMF'nin

VNIR dalga boyu aralığı sonuçlarına göre, çalışma alanının güney kesimindeki fay hattı üzerinde ve yakın çevresinde bazı alanlarda kümelenmiş limonit alterasyonu tespit edilmiştir. Öte yandan, SWIR bölgesinde, CEM sonuçlarına benzer şekilde alanın kuzeybatı kesiminde ilit alterasyonları gözlenmiştir (Şekil 5b1, 5b2). Bu mineral değişimlerinin %99 ve %95 güven aralıklarındaki Getis-Ord Gi* istatistikleri incelendiğinde, soğuk nokta kümelerinin dağılımının ağırlıklı olarak fay hatlarının uzantısına paralel ve fay hatları ile sınırlı olarak yerleştiği görülmüştür (Şekil 5b3).

Piksel düzeyinde belirlenen mineral alterasyonlarının görsel ve mekânsal karşılaştırmalarına göre, ASTER verilerinden belirlenen alterasyon minerallerinin dağılımlarının çoğunlukla tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç bir bakıma uygulanan yöntemlerin analiz sonuçlarının doğruluğuna işaret etmektedir. Fay hatları yakınında alterasyon mineralleri sonuçlarının birbirleriyle iyi korelasyon göstermesi de uygulanan bu yöntemlerin tutarlılığını kanıtlamıştır. Ayrıca fay hatları boyunca tespit edilen mineral alterasyonlarında, fay sisteminin genel karakteri ile uyumlu olarak yer yer sol yanal atımlar gözlenmiştir. Aktif fay hatları üzerinde yoğunlaşan mineral alterasyonlarının, arazi çalışmaları ile çözümlenemeyen fay hatlarının belirlenmesine de katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 4- CROSTA analizi ile belirlenen alterasyon mineralleri (a1, b1, c1, d1) ve bu alterasyonların fay hatlarına göre Getis-Ord Gi* istatistiklerinin sonuçları (a2, b2, c2, d2).



Şekil 5- Sırasıyla ASTER'in VNIR (a1, b1) ve SWIR (a2, b2) bantlarına uygulanan CEM ve MTMF analizleri ile belirlenen alterasyon mineralleri. CEM (a3) ve MTMF (b3) ile sonuçlanan bu alterasyonların Getis-Ord Gi* istatistikleri.

6. Sonuç

Tektonik olarak aktif fay hatlarına paralel bir şekilde uzanan ve alan içindeki fay sınırlarından etkilenen alterasyon minerallerinin mekânsal dağılımı, tektonik aktivite ile mineral alterasyon süreçleri arasındaki mekânsal etkileşim hakkında değerli bilgiler sağlar. Bant Oranlama, RBD, Mineral İndisleri, CROSTA, CEM ve MTMF görüntü işleme algoritmalarının kullanıldığı çalışma, tüm çalışma alanı boyunca mineral değişimlerinin doğru mekânsal tanımlanmasını ve haritalanmasını tutarlı bir şekilde sağlamıştır. Getis-Ord Gi* istatistikleri aracılığıyla yapılan istatistiksel doğrulama, bu mekânsal modellerin güvenilirliğini ve tutarlılığını daha da desteklemektedir.

Özellikle aktif tektonik bölgelerde fay hatları boyunca gözlenen yer değiştirmeler, mineral değişim süreçlerinin hızını önemli ölçüde artırmaktadır. Belirli alanlardaki alterasyon mineral dağılımlarının aktif fay hatlarının yönelimine paralel olarak hizalanması, fayların görünürde belirgin olmadığı bölgelerde bile

altta yatan fay özelliklerinin varlığına işaret etmektedir. Bu mekânsal ilişki, saha araştırmaları yapmadan önce yerbilimcilere temel bilgiler sağlayarak çalışmanın önemini altını çizmektedir. Ayrıca, bu bulgular fay sistemlerinin yerinde tanımlanması ve haritalanması için kritik mekânsal göstergeler olarak hizmet etmekte ve böylece mineral değişim süreçlerini etkileyen jeolojik dinamiklerin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır.

Değinen Belgeler

- Abrams, M., Hook, S. J. 1995. Simulated ASTER data for geologic studies. IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing, 33 (3), 692-699.
- Abrams, M., Hook, S. 1998. ASTER user handbook, version 1, NASA/Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.
- Açıkbaş, D., Baştuğ, C. 1975. V. Bölge Cacas-Hani yöresi kuzey sahalarının jeoloji raporu ve petrol olanakları. TPAO, Rapor No: 917, 45.
- Amin, B., Mazlan, H. 2011. The Earth Observing-1 (EO-1) Satellite Data For Geological Mapping, Southeastern Segment of The Central Iranian Volcanic Belt, Iran. International Journal of Physical Sciences, 6 (33): 7638-7650.

- Arpat, E. 1972. The East Anatolian fault system: Thoughts on its development. *MTA Bull.*, 78, 33-39.
- Arpat, E., Şaroğlu, F. 1972. Doğu Anadolu Fayı İle İlgili Bazı Gözlem ve Düşünceler. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 73, 1-9.
- Ayhan, A. 1970. Elazığ K44-d2 Paftasının Jeolojisi. Elazığ Bingöl Diyarbakır İlleri Arasında Yer Alan Akdağların Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama, Rapor No: 93 Ankara (yayımlanmamış)*.
- Barka, A. A., Kadinsky-Cade, K. 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7 (3), 663-684.
- Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Softa, M., Türker, T., Bayrak, Y. 2015. Earthquake hazard analysis for East Anatolian fault zone, Turkey. *Natural Hazards*, 76, 1063-1077.
- Boardman, J. W., Kruse, F. A., Green, R. O. 1995. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. In *Summaries of the fifth annual JPL airborne earth science workshop, Volume 1: AVIRIS workshop*.
- Boloki, M., Poormirzaee, M. 2010. Using ASTER image processing for hydrothermal alteration and key alteration minerals mapping. *Journal of Latest Trends on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology*, 1, 77-82.
- Çetin, H., Güneyli, H., Mayer, L. 2003. Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian fault zone, Turkey. *Tectonophysics*, 374 (3-4), 163-197.
- Clark, R. N., King, T. V., Klejwa, M., Swayze, G. A., Vergo, N. 1990. High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 95 (B8), 12653-12680.
- Cloutis, E. A. 1996. Review article hyperspectral geological remote sensing: Evaluation of analytical techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 17 (12), 2215-2242.
- Crosta, A. P., Moore, J. M. 1989. Geological mapping using Landsat thematic mapper imagery in Almeria Province, South-east Spain. *International Journal of Remote Sensing*, 10 (3), 505-514.
- 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.
- Crowley, J. K. 1993. Mapping playa evaporite minerals with AVIRIS data: A first report from Death Valley, California. *Remote Sensing of Environment*, 44 (2-3), 337-356.
- Crowley, J. K., Brickey, D. W., Rowan, L. C. 1989. Airborne imaging spectrometer data of the Ruby Mountains, Montana: Mineral discrimination using relative absorption band-depth images. *Remote Sensing of Environment*, 29 (2), 121-134.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F., Şengör, A. M. C. 1986. Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of Eastern Anatolia—a young collision zone. *Geological Society, London, Special Publications*, 19 (1), 1-36.
- Duman, T. Y., Emre, Ö., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. 2012. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Elazığ (NJ 37-7) Paftası, Seri No:45, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara –Türkiye*.
- Duman, T. Y., Emre, Ö. 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society, London, Special Publications*, 372 (1), 495-529.
- El Janati, M. 2019. Application of remotely sensed ASTER data in detecting alteration hosting Cu, Ag and Au bearing mineralized zones in Taghdout area, Central Anti-Atlas of Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 151, 95-106.
- Emre, Ö., Duman, T. Y. 2007. The East Anatolian Fault: Structural pattern and relationship with the Dead Sea Transform. In *AGU Fall Meeting Abstracts, Vol. 2007, T42B-01*.
- Emre, Ö., Duman T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. Active fault map of Turkey with an explanatory text 1: 1,250,000 scale. *General Directorate of Mineral Research and Exploration, special publication series*, 30:89.
- ENVI. ENVI EX User's Guide. 2009. http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/enviex/ENVI_EX_User_Guide.pdf.
- Erdoğan, B., Dora O. Ö. 1983. Bitlis masifi apatitli demir yataklarının jeolojisi ve oluşumu. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*. 26:133-44.
- Farrand, W. H., Harsanyi, J. C. 1997. Mapping the distribution of mine tailings in the Coeur d'Alene River Valley, Idaho, through the use of a constrained energy minimization technique. *Remote Sensing of Environment*, 59 (1), 64-76.
- Fatima, K., Khan Khattak, M. U., Kausar, A. B., Toqeer, M., Haider, N., Rehman, A. U. 2017. Minerals identification and mapping using ASTER satellite image. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11 (4), 046006-046006.
- Gabr, S., Ghulam, A., Kusky, T. 2010. Detecting areas of high-potential gold mineralization using ASTER data. *Ore Geology Reviews*, 38 (1-2), 59-69.

- Gao, B. C. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
- Getis, A., Ord, J. K. 1992. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical analysis*, 24 (3), 189-206.
- Göncüoğlu, M. C., Turhan, N. 1985. Bitlis metamorfik kuşağının orta bölümünün temel jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7707, Ankara (yayımlanmamış).
- Gopinathan, P., Parthiban, S., Magendran, T., Al-Quraishi, A. M. F., Singh, A. K., Singh, P. K. 2020. Mapping of ferric (Fe³⁺) and ferrous (Fe²⁺) iron oxides distribution using band ratio techniques with ASTER data and geochemistry of Kanjamalai and Godumalai, Tamil Nadu, south India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100306.
- Guha, A., Kumar, K. V., Rao, E. D., Parveen, R. 2014. An image processing approach for converging ASTER-derived spectral maps for mapping Kolhan limestone, Jharkhand, India. *Current Science*, 40-49.
- Gülerce, Z., Tanvir Shah, S., Menekşe, A., Arda Özacar, A., Kaymakci, N., Önder Çetin, K. 2017. Probabilistic seismic-hazard assessment for East Anatolian fault zone using planar fault source models. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107 (5), 2353-2366.
- Güvercin, S. E., Karabulut, H., Konca, A. Ö., Doğan, U., Ergintav, S. 2022. Active seismotectonics of the East Anatolian fault. *Geophysical Journal International*, 230 (1), 50-69.
- Güzel, F. 2023. Uzaktan Algılama Teknolojileri Kullanarak Aktif Tektonik İle Mineral Alterasyonu Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi. The Graduate School of Social Sciences of Süleyman Demirel University (In Turkish).
- Harsanyi, J. C. 1993. Detection and classification of subpixel spectral signatures in hyperspectral image sequences. University of Maryland, Baltimore County.
- Helvacı, C. 1983. Bitlis Masifi Avnik (Bingöl) bölgesi metamorfik kayalarının petro-jenezi. *Turk. J. Earth Sci*, 26, 117-132.
- Hempton, M. R. 1981. The East Anatolian transform fault: Along strike variations in geometry and behavior. *EOS Trans.*, 62, 393.
- Hempton, M. R. 1987. Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea. *Tectonics*, 6 (6), 687-705.
- Herece, E. 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. Özel Yayın Serisi.-13. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hewson, R. D., Cudahy, T. J., Huntington, J. F. 2001. Geologic and alteration mapping at Mt Fitton, South Australia, using ASTER satellite-borne data. In IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Cat. No. 01CH37217, Vol. 2, 724-726, IEEE.
- Hewson, R. D., Cudahy, T. J., Mizuhiko, S., Ueda, K., Mauger, A. J. 2005. Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia. *Remote Sensing of Environment*, 99 (1-2), 159-172.
- Holben, B., Justice, C. 1981. An examination of spectral band rationing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. *International journal of remote sensing*, 2 (2), 115-133.
- Hunt, G. R. 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, 42 (3), 501-513.
- Hunt, G. R., Salisbury, J. W. 1974. Mid-infrared spectral behavior of igneous rocks (Vol. 74, No. 625). Air Force Cambridge Research Laboratories, Air Force Systems Command, United States Air Force.
- Hunt, G. R., Ashley, R. P. 1979. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, 74 (7), 1613-1629.
- Kayadibi, Ö. 2008. Mineral Haritalamada Bant Oranlama ve Crosta Metotları ile Elde Edilen Sonuçların Jeostatistiksel Olarak Karşılaştırılması. 2. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 13-15 Ekim, Kayseri.
- Kriegler, F. J. 1969. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. In Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, 97-131.
- Li, Q., Zhang, B., Lu, L., Lin, Q. 2014. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in Baogutu porphyry deposit, China. In IOP conference series: Earth and environmental science, Vol. 17, No. 1, 012174, IOP Publishing.
- Loughlin, W. P. 1991. Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57 (9), 1163-1169.
- Lyberis, N., Yurur, T., Chorowicz, J., Kasapoglu, E., Gundogdu, N. 1992. The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt. *Tectonophysics*, 204 (1-2), 1-15.

- Mars, J. C., Rowan, L. C. 2011. ASTER spectral analysis and lithologic mapping of the Khanneshin carbonatite volcano, Afghanistan. *Geosphere*, 7 (1), 276-289.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105 (B3), 5695-5719.
- McKenzie, D. 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30 (2), 109-185.
- Metin, S. 1972. Elazığ K44-a3 ve a4 paftalarının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 16, Ankara (yayımlanmamış).
- Ninomiya, Y. 2004. Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and SWIR data. In *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites VII*. Vol. 5234, 180-190, SPIE.
- Ord, J. K., Getis, A. 1995. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis*, 27 (4), 286-306.
- Over, S., Kavak, K. Ş., Bellier, O., Özden, S. 2004. Is the Amik Basin (SE Turkey) a triple-junction area? Analyses of SPOT XS imagery and seismicity. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (19), 3857-3872.
- Örgülü, G., Aktar, M., Türkelli, N., Sandvol, E., Barazangi, M. 2003. Contribution to the seismotectonics of Eastern Turkey from moderate and small size events. *Geophysical Research Letters*, 30 (24).
- Özkaya, İ. 1978. Ergani-Maden yöresi stratigrafisi. *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, August 21, 129-39.
- Perinçek, D. 1979. Interrelations of the Arabian and Anatolian plates. In *Guide Book Excursion B, First Geological Congress of the Middle East*. Geological Society of Turkey, Ankara.
- Perinçek, D., Çemen, I. 1990. The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey. *Tectonophysics*, 172 (3-4), 331-340.
- Pour, A. B., Hashim, M., Park, Y. 2017. Alteration mineral mapping in inaccessible regions using target detection algorithms to ASTER data. In *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 852, No. 1, 012022, IOP Publishing.
- Pour, A. B., Park, Y., Park, T. Y. S., Hong, J. K., Hashim, M., Woo, J., Ayoobi, I. 2019. Evaluation of ICA and CEM algorithms with Landsat-8/ASTER data for geological mapping in inaccessible regions. *Geocarto International*, 34 (7), 785-816.
- Reilinger, R. E., McClusky, S. C., Oral, M. B., King, R. W., Toksoz, M. N., Barka, A. A., Kinik, I., Lenk, O., Sanli, I. 1997. Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102 (B5), 9983-9999.
- Rockwell, B.W. 2013. Automated mapping of mineral groups and green vegetation from Landsat Thematic Mapper imagery with an example from the San Juan Mountains, Colorado (No. 3252). US Geological Survey.
- Rouskov, K., Popov, K., Stoykov, S., Yamaguchi, Y. 2005. Some applications of the remote sensing in geology by using of ASTER images. In *Scientific Conf. "SPACE, ECOLOGY, SAFETY"* with Int. Participation, 167-173.
- Rowan, L. C., Mars, J. C. 2003. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. *Remote sensing of Environment*, 84(3), pp.350-366.
- Rowan, L. C., Schmidt, R. G., Mars, J. C. 2006. Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data. *Remote sensing of Environment*, 104 (1), 74-87.
- Sabins, F. F. 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore geology reviews*, 14 (3-4), 157-183.
- Sirel, E., Metin, S., Sözeri, B. 1975. Palu (KD Elazığ) denizel Oligosen'in stratigrafisi ve mikropaleontolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*. 18 (2), 175-180.
- Soytürk, N., Baştuğ, C. 1973. Kozluk-Baykan yöresi jeoloji raporu: TPAO; Rap. no. 795 (yayımlanmamış).
- Sümengen, M. 2011. 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Elazığ K-44 Paftası, 1-14. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A. 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 8174, Ankara (yayımlanmamış).
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. 1992a. Türkiye Diri Fay Haritası. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. 1992b. The East Anatolian Fault zone of Turkey. *Ann Tecton*, 6, 99-125.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study.
- Tangestani, M. H., Moore, F. 2002. Porphyry copper alteration mapping at the Meiduk area, Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (22), 4815-4825.

- Taymaz, T., Eyidođan, H., Jackson, J. 1991. Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International*, 106 (3), 537-550.
- Tözün, K. A. 2021. Kayseri çevresindeki olası metalik cevherleşmelerin uzaktan algılama ve jeokimyasal yöntemler kullanılarak incelenmesi. PhD Thesis. Kocaeli University, Institute of Science and Technology, 2021 (Türkçe).
- USGS, 2004. <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- USGS, 2004. http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib04/spectral_lib.html.
- Van der Meer, F. D., Van der Werff, H. M. A., Van Ruitenbeek, F. J. A. 2014. Potential of ESA's Sentinel-2 for geological applications. *Remote sensing of environment*, 1, 124-133.
- Volesky, J. C., Stern, R. J., Johnson, P. R. 2003. Geological control of massive sulfide mineralization in the Neoproterozoic Wadi Bidah shear zone, southwestern Saudi Arabia, inferences from orbital remote sensing and field studies. *Precambrian Research*, 123 (2-4), 235-247.
- Wang, J., Zhang, J. 2011. Study on clay alteration information extraction in vegetation coverage based on MTMF. In 2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, 8526-8529, IEEE.
- Yamaguchi, Y., Naito, C. 2003. Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands. *International Journal of Remote Sensing*, 24 (22), 4311-4323.
- Zhang, X., Pazner, M., Duke, N. 2007. Lithologic and mineral information extraction for gold exploration using ASTER data in the south Chocolate Mountains (California). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62 (4), 271-282.

