



Yeşilova Ofiyolitik Kayaçlarının (Batı Toroslar, Güneybatı Türkiye)

ASTER multispektral verileriyle Haritalanması

*Mapping of the Yeşilova Ophiolitic Rocks with ASTER Multispectral Data in the
Western Taurides, Southwest Türkiye*

ALPER ŞEN¹ Orcid: 0000-0002-8047-0330

MUTLU ÖZKAN² Orcid: 0000-0002-9948-488X

ÖMER FARUK ÇELİK³ Orcid: 0000-0003-2369-4810

RAHMİ MELİH ÇÖRTÜK⁴ Orcid: 0000-0001-8709-5943

¹Kocaeli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Kocaeli, Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, 41285, Kocaeli, Türkiye

³Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 41001 İzmit-Kocaeli, Türkiye

⁴Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, Ne10 Şehir Araştırmaları ve Teknoloji Geliştirme Merkezi Balıkesir/Türkiye

Geliş (received): 7/11/2023

Kabul (Accepted): 24/11/2023

ÖZ

Multispektral ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) uydu verileri, litolojik ve mineralojik haritaların oluşturulmasında yaygın olarak kullanılan uzaktan algılama veri kaynaklarından. Bu çalışmada, multispektral ASTER L1T uydu verileriyle Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına (Batı Toroslar) ait litolojik birimlerinin tanımlanması ve haritalanması hedeflenmiştir. Yeşilova ofiyolitine ait litolojik birimlerin belirlenmesi için ASTER veri setinin görünür-yakın kızılötesi (VNIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bölümlerindeki spektral bantlarına, bant oranlama ve Temel Bileşen Analizi (PCA) yöntemleri uygulanmıştır. VNIR-SWIR spektral bantlarında uygulanan bant oranları (B1/B2, B3/B4, B4/B5, B4/B8, B5/B3 ve (B6+B9)/(B7+B8)), çalışma alanındaki ana litolojik birimlerin oluşumunu göstermiş ve ofiyolitik kayaçların haritasını üretmek için kullanılmıştır. Benzer şekilde, PCA yönteminin seçili temel bileşenleri ve bu temel bileşenlerinin (PC3, PC2, PC1, ve PC5, PC4, PC2) aldatici renkli kompozit görüntüleri ofiyolitik kayaçların tanımlanmasında etkili sonuçlar sağlamıştır. ASTER'in kızılötesi termal (TIR) bantlarına

uygulanan mafik kayaç indeksi, kalsit indeksi ve kuvars indeksi gibi indekslerinin, Yeşilova ofiyolitine ait mafik-ultramafik litolojilerinin bölgesel ölçekte belirlenmesinde başarılı sonuçlar sunduğu görülmüştür. Sonuç görüntülerinin doğrulanması saha çalışmalarıyla gerçekleştirilmiş olup sonuçların saha verileriyle tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, burada sunulan uzaktan algılama tekniklerinin çalışma alanındaki ofiyolit ve ofiyolitik melanjlara ait litolojik birimlerin haritalanmasında etkili ve yararlı bir yaklaşım olduğuna dair kanıtlar sunulmaktadır. Sonuç olarak ASTER veri setinin, Toroslar gibi karmaşık bir jeolojik yapıya sahip bölgelerde, litolojik haritalama çalışmaları için etkili araçlardan biri olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ASTER, ofiyolit, Likya napları, melanj, uzaktan algılama

Mutlu Özkan mutluozkanjeo@gmail.com

²Kocaeli Üniversitesi, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, 41285, Kocaeli, Türkiye

ABSTRACT

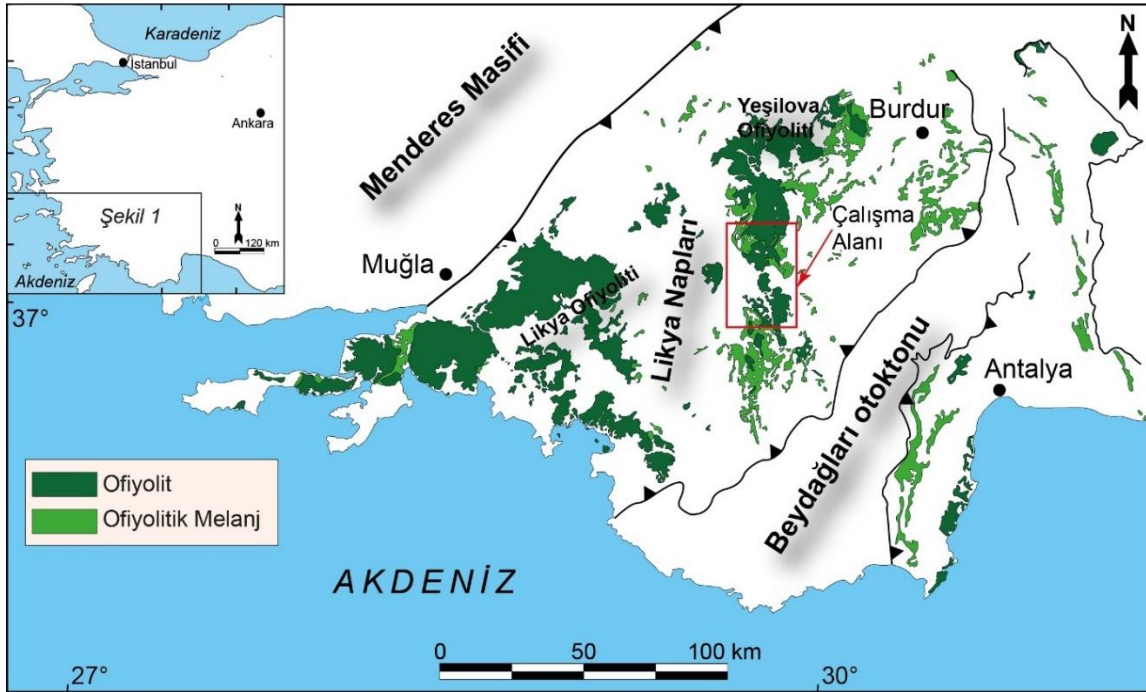
The multispectral ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) satellite data is a widely used remote sensing data source for lithological and mineralogical mapping. In this study, we aimed to identify and map the lithological units of the Yeşilova ophiolite and ophiolitic mélangé (Western Taurides) with the multispectral ASTER LIT satellite data. For the identification of lithological units of the Yeşilova ophiolite, band rationing and Principal Component Analysis (PCA) methods were applied to the spectral bands in the visible to near-infrared (VNIR) and shortwave infrared (SWIR) regions of the ASTER dataset. The band ratios of VNIR-SWIR spectral bands ($B1/B2$, $B3/B4$, $B4/B5$, $B4/B8$, $B5/B3$, and $(B6+B9)/(B7+B8)$) indicate the formation of the main lithological units in the study area and were used for the mapping of the ophiolitic rocks. Similarly, the selected principal components of the PCA method and false-colour composite images derived from the principal components (PC3, PC2, PC1, and PC5, PC4, PC2) yielded effective results in the identification of ophiolitic rocks. The application of mafic rock, calcite, and quartz indices to the thermal infrared (TIR) bands of ASTER has yielded successful results in the regional-scale identification of mafic-ultramafic lithologies of the Yeşilova ophiolite. The validation of the resultant images was carried out through fieldwork, and the results were highly consistent with the field data. In this context, the presented remote sensing techniques here provide evidence that they are an effective and useful approach in mapping lithological units of ophiolites and ophiolitic mélangés in the study area. As a result, it shows that the ASTER dataset is one of the effective tools for lithological mapping studies in geologically complex regions such as the Taurides.

Keywords: ASTER, ophiolite, Lycian nappes, mélangé, remote sensing

1. GİRİŞ

Günümüzde, hiperspektral/multispektral verilerinin kullanıldığı uzaktan algılama tekniklerinin uygulama alanları (ör. maden arama, mineralojik haritalama, yapısal analiz ve jeotermal arama) giderek yaygınlaşmakla birlikte, veri kaynaklarının çeşitlenmesinde ve görüntü işleme yöntemlerinde (ör. makine öğrenmesi) önemli gelişmeler yaşanmaktadır (ör. van der Meer vd., 2012, 2018; Langford, 2015; Bachri vd., 2019; Gürbüz ve Gürbüz, 2022; Manap ve San, 2022; Turan ve Diker, 2022). Bu yönüyle, uzaktan algılama yöntemlerinin gelişimi ve uzaktan algılama verilerinin işlenmesindeki gelişmeler, gerek potansiyel maden sahalarının yerinin belirlenmesi ve arama sahalarının sınırlandırılması gerekse de bölgesel jeolojik haritalama çalışmaları için kullanımı, rutin saha çalışmalarına göre önemli zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır (ör. Kavak vd., 2009; Özkan vd., 2018; Çörtük vd., 2020; Tözün ve Özyavaş, 2020; Khalifa vd., 2021; Traore vd., 2022; Canbaz, 2023a). Ücretsiz olarak temin edilebilen Sentinel, Landsat ve ASTER gibi multispektral uydu verileri, bölgesel ölçekte maden sahalarının tespiti ve jeoloji haritalarının oluşturulmasında etkili sonuçlar sunmakta ve hatta bazı durumlarda hiperspektral kaynaklarına iyi bir alternatif oluşturabilmektedir (ör. Cloutis, 1996; Sabins, 1999; Mars ve Rowan, 2010; van der Meer vd., 2012; Adiri vd., 2020; Traore vd., 2020a; Qasim vd., 2022; Yang vd., 2023). Bunlardan, NASA'nın Dünya Gözlem Sistemi (EOS) Terra platformunun bir parçası olarak 1999 yılında fırlatılan ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) sensörü, yerbilimleri alanında kullanılan en popüler uydu verilerinden biri olup mineral / litoloji haritalamalarında ve mevcut jeoloji haritalarının iyileştirilmesinde başarıyla kullanılmaktadır (ör. Yamaguchi ve Naito, 2003; Ninomiya vd., 2005; Mars ve Rowan, 2011; Pour ve Hashim, 2011; Rajendran ve Nasir, 2013; Özyavaş, 2016; Gürbüz, 2019; Çörtük vd., 2020). ASTER multispektral sensörleri, yansıyan radyasyonu 0.52 ile 2.43 μm arasındaki 9 bantta 15 m ila 30 m mekânsal çözünürlükle ölçmektedir (Fujisada, 1995; Abrams, 2000). Bunun yanında, 5 farklı banttan oluşan termal bant verileri, jeolojik uygulamalarda önemli bir avantaj sağlamaktadır (ör. Ninomiya, 2002; Ninomiya vd., 2005; Ding vd., 2014; Guha ve Kumar, 2016). Bu elektromanyetik aralıklar, çeşitli maden yataklarının ve litolojilerinin araştırılması için kullanılacak spektral emilim ve yansıma özelliklerini kapsamaktadır (ör. Crósta vd., 2003; Pour ve Hashim, 2012; Abrams ve Yamaguchi, 2019; Özyavaş, 2020).

ASTER multispektral verileriyle, ofiyolitlerle ilişkili alanlarında haritalanması ve potansiyel maden yataklarını belirlenmesi üzerine birçok başarılı çalışma gerçekleştirilmiş olup yeni yaklaşımlar geliştirilmeye de devam edilmektedir (ör. Khan vd., 2007; Rajendran ve Nasir, 2015; Özkan vd., 2018; Zhang ve Zeng, 2018; Gürsoy, 2019; Çörtük vd., 2020; Traore vd., 2020a; Manap and San, 2022; Ekici, 2023). Bu çalışmada, Batı Toroslar'da (Güneybatı Türkiye) yer alan Yeşilova ofiyolitinin ve ofiyolitik melanjının (Şekil 1) ASTER multispektral verileri kullanarak yeni geliştirilen ve literatürde önerilen yöntemlerle litolojik haritasının üretilmesine ve mevcut haritaların güncellenmesine odaklanılmıştır. Burada sunulan uzaktan algılama ve görüntü işleme yöntemleri, Toros kuşağı gibi karmaşık bir jeolojik yapıya ve engebeli bir morfolojiye sahip alanlardaki ofiyolit ve ofiyolitik melanjlara ait ayrıntılı jeoloji haritalarının hazırlanmasına ve jeolojik oluşum süreçlerinin aydınlatılmasında katkı sağlayabileceğini göstermektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (Harita, Konak (2002)'den sadeleştirilerek alınmıştır).

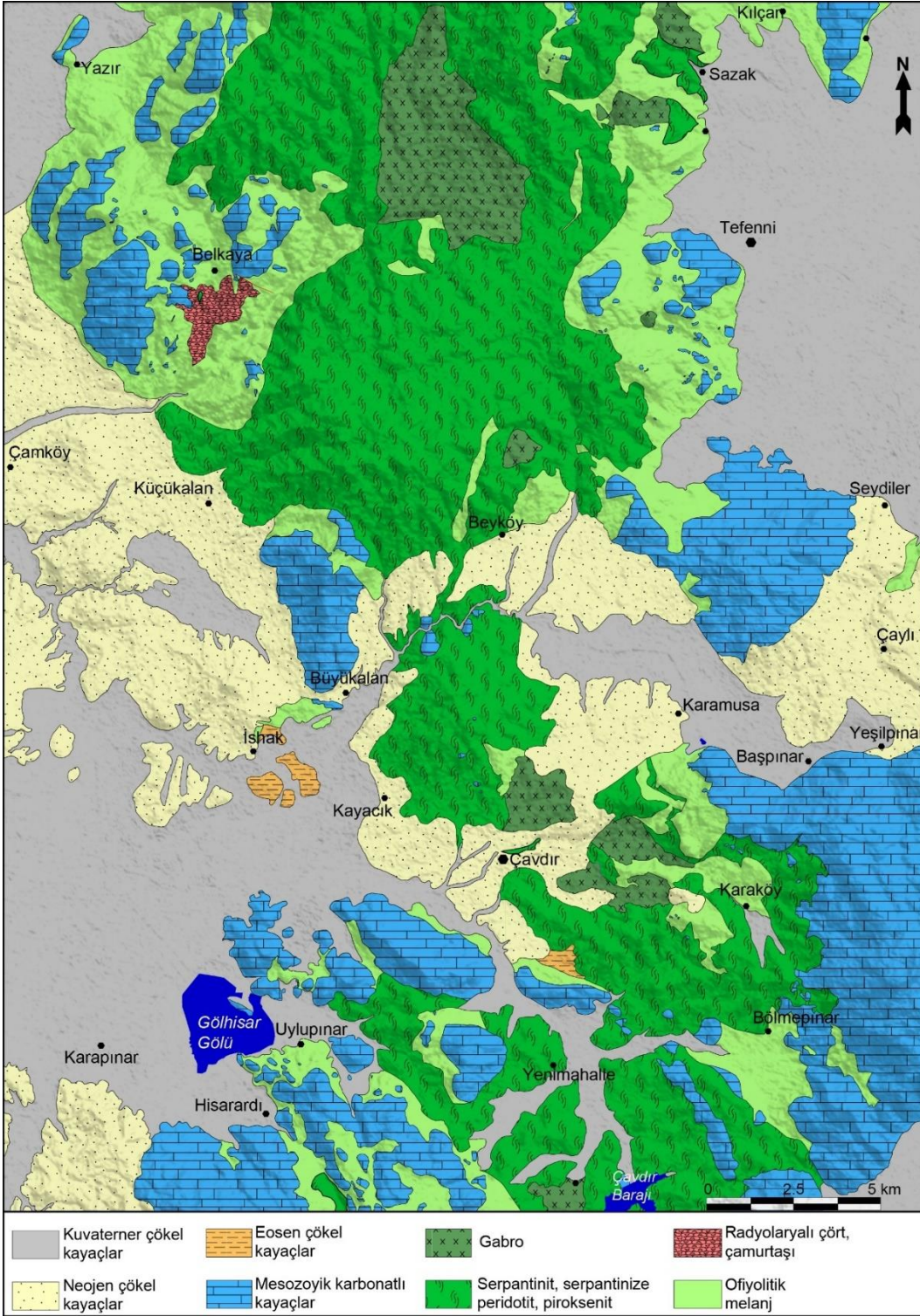
Figure 1. Location map of the study area (Simplified from Konak (2002)).

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı güneybatı Türkiye’de, Toros kuşağının batısında yer almaktadır (Şekil 1). Batı Toroslar, Likya napları olarak tanımlanan (ör. Domuzdağ napı, Gülbahar napı ve Marmaris ofiyolit napı) ve yaygın nap sistemlerinin gelişmiş olduğu karmaşık bir jeolojik yapıya sahiptir (ör. Özgül, 1976; Collins ve Robertson, 1999; Şenel, 2004). Menderes Masifi ile Bey Dağları otoktonu arasında kalan bölgede, ağırlıklı olarak Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayaç istifleriyle birlikte Toros kuşağı ofiyolitlerinin bir parçasını oluşturan Üst Kretase yaşlı ofiyolit ve ofiyolitik melanjlar geniş alanlar kaplamaktadır (ör. Sarp, 1976; Monod, 1977; Juteau, 1980; Collins ve Robertson, 1999; Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik vd., 2006; Çelik ve Chiaradia, 2008; Uysal vd., 2012; Şekil 1). Bu alandaki ofiyolitler genellikle “Marmaris Ofiyoliti Napı” (Şenel, 1997), “Likya Ofiyoliti” (Şenel, 2004) ve bu çalışmanın da konusunu oluşturan Yeşilova Ofiyoliti (Sarp, 1976) olarak tanımlanmıştır. Yitim zonu üstü ortam koşullarında oluşmuş olan bu ofiyolitik kayaçlar baskın olarak serpantinize peridotitlerden ve daha az oranda piroksenit, podiform kromit, gabro ve bu kayaçları kesen dolerit dayklarından oluşmaktadır (ör. Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve Chiaradia, 2008; Aldanmaz vd., 2012; Uysal vd., 2012). Ofiyolitik kayaçlar tektonik olarak ofiyolit tabanı metamorfikleri ve ofiyolitik melanj üzerinde yer almaktadır (ör. Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve Chiaradia, 2008). Likya ofiyolitlerindeki, ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarından $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ tarihlendirme yöntemiyle 90-94 My başkalaşım yaşları elde edilmiştir (Çelik vd., 2006).

Yeşilova ofiyolitinin alansal olarak büyük bir bölümünü ultramafik kayaçlar oluşturmakta olup çoğunlukla manto tektonitlerine karşılık gelen peridotitlerden oluşmaktadır (Şekil 2). Manto tektonitleri ağırlıklı olarak harzburjit ve dünit bileşimindeki serpantinize peridotitlerle temsil edilmektedir (Sarp, 1976; Döyen, 1995; Koralay, 2000). İnceleme alanında yapılan saha çalışmalarında, ultramafik kayaçlar farklı oranlarda serpantinitleşme derecelerine sahip olan peridotitlerden oluşmaktadır (Şekil 3a, b). Ultramafik kayaçlar genellikle masif yapılı ve kızıl renkli saha görüntüleriyle karakteristiktir (Şekil 3a, b). İnceleme alanının kuzey bölümündeki daha sınırlı alanlarda ultramafik kümülatlara ait piroksenit oluşumları da bölgede rapor edilmiştir (Döyen, 1995; Koralay, 2000; Döyen vd., 2014). Ayrıca, ultramafik kayaçların içerisinde kromit cevherleşmeleri çalışma sahasının birçok kesiminde görülebilmektedir (ör. Çiftçi vd., 2019). Genellikle ultramafik kayaçlarla tektonik dokanaklı olarak gözlenen

gabroyik kayaçlar (Şekil 3c) çoğunlukla koyu renkli ve magmatik katmanlı yapılar göstermekte olup saha çalışmalarına göre kümülat gabro niteliğinde oldukları değerlendirilmiştir. Kümülat gabroları kesen ve haritalanabilir boyutlarda plajiyogranit sokulumları çalışma alanının kuzeyinde gözlenmiştir (Koralay, 2000; Döyen vd., 2014). Ayrıca, çalışma alanının orta ve güney kesimlerinde Beyköy ve Çavdır köyleri civarında (Şekil 2) masif yapılı ve ince taneli gabroyik kayaçlarda yaygın kahverengi alterasyon gelişimleri tespit edilmiştir (Şekil 3d). Bu gibi altere gabroların olduğu alanlarda bakır cevherleşmelerinin varlığı rapor edilmiştir (Cansu ve Emre, 2014). Dolerit daykları, çalışma alanının orta ve kuzey bölümlerinde özellikle ultramafik kayaçlar içerisinde oldukça yaygın şekilde gözlenmektedir. Ofiyolitik melanj olarak haritalanan alanlar çoğunlukla serpantin, çamurtaşı, radyolaryalı çörtlerden oluşan bir hamur içerisinde başlıca gabro, bazalt, amfibolit ve kireçtaşı bloklarından meydana gelmektedir. Kireçtaşı blokları ofiyolitik melanj içerisindeki en yaygın gözlenen blok türünü oluşturmakta olup boyutları birkaç on santimetreden birkaç kilometre çapına ulaşmaktadır (Şekil 2 ve 3e). Burada sunulan çalışma konusunun kapsamı gereği, Şekil 2'deki jeoloji haritasında Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayaçların (ör. Şenel, 1997; Koralay, 2000, Şenel, 2004) tümü tek bir simge ile gösterilmiştir. Ayrıca, çalışma alanının kuzeybatı bölümündeki Belkaya köyü civarındaki ofiyolitik melanj içerisinde yer alan çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler haritalanabilecek büyüklüklerde yüzlekler sunmaktadır (Şekil 2). Bu alandaki radyolaryalı çörtlerin bir bölümünde manganlı radyolaryalı çörtler tespit edilmiştir (Şekil 3f). Ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarına ait olan metamorfik kayaçlar baskın olarak amfibolitlerden, daha az oranda ise mermer ve kalkışistlerden oluşmaktadır. Amfibolitik kayaçlar daha çok Belkaya Köyü civarında gözlenmekte olup, ofiyolitik melanjın farklı kesimlerinde de amfibolitik kayaç bloklarına rastlanılmıştır. Benzer şekilde, Toros kuşağındaki ofiyolitik melanjlar içerisinde amfibolitik kayaçların varlığı rapor edilmiştir (ör. Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve Chiaradia, 2008; Çörtük vd., 2022). Yukarıda bahsi geçen temel birimlerinin üzerinde ise Eosen ve Neojen yaşlı çökeller çalışma alanındaki örtü birimlerini temsil etmektedir (Şenel, 1997; Şenel 2004).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası.

Figure 2. Geological map of the study area.



Şekil 3. Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait birimlerin saha görüntüleri. a) Serpantinize peridotitlerin genel genel görüntüsü. b) Masif yapılı ve kızılımsı ayrışma yüzeylerine sahip serpantinize peridotitlerin görünümü. c) Serpantinize peridotitlerle tektonik dokanıklı olarak gözlenen gabroyik kayaların görünümü. d) kahverengi renkli altere gabroyik kayaların görünümü. e) Ofiyolitik melanj içerisindeki serpantin ve radyolaryalı çörtlerden oluşan hamur içerisindeki kireç taşı bloğunun genel görünümü. f) Manganlı radyolaryalı çörtlerin yakın görüntüsü.

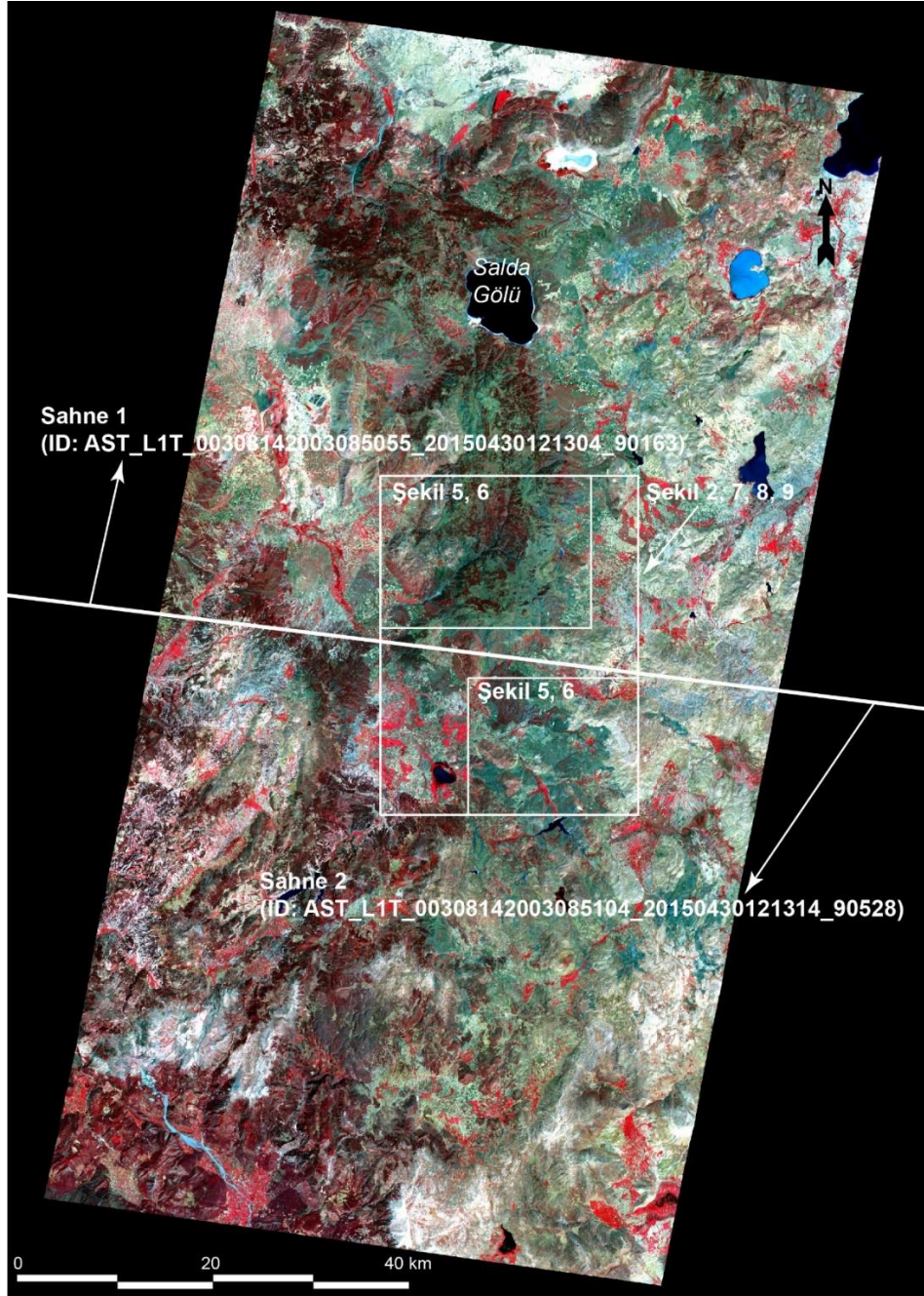
Figure 3. Field photos of the Yeşilova ophiolite and ophiolitic mélangé units. a) General view of serpentinized peridotites. b) The view of massive and reddish weathered surfaces of serpentinized peridotites. c) The view of gabbroic rocks observed in tectonic contact with

serpentinized peridotites. d) The view of brown-colored altered gabbroic rocks. e) General view of a limestone block within the matrix of serpentinite and radiolarian chert from the ophiolitic mélangé. f) Close-up view of manganese-rich radiolarian cherts.

3. ASTER VERİ İŞLEME

Sunulan bu çalışmada, Terra ASTER L1T multispektral verileri çalışmanın materyali olarak kullanılmıştır. ASTER L1T verileri 14 banttan oluşmakta olup bunlardan ilk üç bant 15 m mekânsal çözünürlüğe sahip görünür-yakın kızılötesi (VNIR), sonraki altı bant 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve son beş bant ise 90 m mekânsal çözünürlüğe sahip termal kızılötesi (TIR) bantlarıyla temsil edilmektedir (Fujisada, 1995). Her bir ASTER sahnesi 60 x 60 km²'lik bir alan kaplamaktadır. ASTER L1T verileri, NASA web sitesindeki Land Processes Distributed Active Archive Center'dan (LPDAAC; <https://earthexplorer.usgs.gov/>) ücretsiz olarak erişilebilmektedir. Buradan ulaşılan ASTER L1T verilerinin halihazırda yüzey yansıtma ve crosstalk düzeltmeleri yapılmıştır. Yeşilova ofiyolitinin çalışma alanındaki kısmını kapsayan ve bulutluluk oranı düşük olan 14 Ağustos 2003 tarihli iki ASTER sahnesi seçilmiştir (Şekil 4). Bu çalışmada, ENVI ve Global Mapper yazılımları uydu görüntülerini işleme, analiz etme ve sonuç görüntülerini hazırlama için kullanılmıştır.

Radyometrik düzeltme (sensör kalibrasyonu dijital numaraların radyansa dönüştürülmesi) işlemi sonrasında, ASTER L1T verilerinin 30 metre çözünürlüklü SWIR bantları, VNIR bantlarının mekânsal çözünürlüğü ile tutarlı olan en yakın komşu yeniden örnekleme yöntemi kullanılarak 15 m'ye yeniden örneklenmiştir. ASTER multispektral verilerin atmosferik düzeltmesi ise ENVI yazılımındaki FLAASH (Fast Line-of-sight Atmosphere Analysis of Spectral Hypercubes) modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Cooley vd., 2002; Gad ve Kusky, 2007). ASTER L1T veri setinin TIR bantlarına (8.125-11.65 µm) ise radyometrik ve atmosferik düzeltmeler uygulandıktan sonra, TIR sensörleri ile ölçülen parlaklık verilerindeki emisivite (yayınım) ve sıcaklık bilgilerini ayırmak için Gillespie vd. (1998) tarafından geliştirilen sıcaklık-yayınım ayrımı (TES) algoritması kullanılarak, bant verileri yayınım değerlerine karşılık gelecek şekilde kalibre edilmiştir.



Şekil 4. Bu çalışmada kullanılan ASTER sahnelerinin ve çalışma alanının konumu gösteren aldattıcı renkli kompozit görüntü (Kırmızı, B3; Yeşil, B2 ve Mavi, B1).

Figure 4. False color composite image (Red, B3; Green, B2; and Blue, B1) showing the location of the ASTER scenes used in this study and the study area.

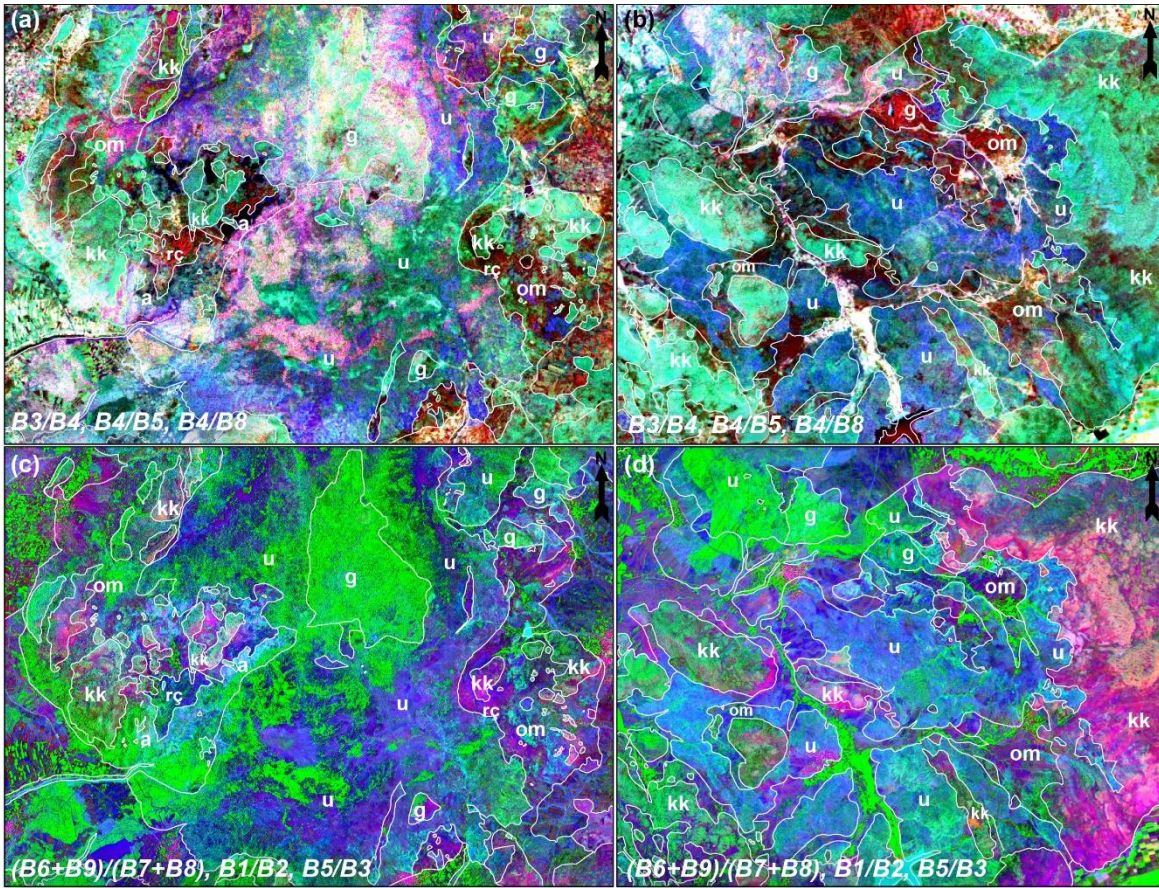
ASTER L1T multispektral görüntülerin ön işlemden geçirilmesinden sonra, görüntü işleme sürecine bant oranlama ve Temel Bileşen Analizi (PCA) teknikleri kullanılarak devam edilmiştir. Son olarak, elde edilen sonuç görüntülerine doygunluk germe yöntemi uygulanmıştır. ASTER veri setine ait bant isimleri yazı içerisinde B1 (Bant 1), B2 (Bant 2) ve B10 (Bant 10) şeklinde kısaltmalar kullanılarak gösterilmiştir.

3.1. ASTER VNIR ve SWIR bantları

ASTER VNIR-SWIR verilerine ilk adım olarak diğer görüntü işleme tekniklerine göre daha basit olmasına karşın hedef litolojilerin belirlenmesinde etkili sonuçlar sağlayan bant oranlama tekniği kullanılmıştır. Bant oranlama, en basit tanımıyla mineral gruplarının ve litolojilerin spektral özelliklerini vurgulamak için bir banttaki piksel değerinin diğerine bölüdüğü bir dönüşüm tekniğidir (ör. Sabins, 1999; Rowan ve Mars 2003). Bu basit ancak etkili teknik, bantlar arasındaki spektral farklılıkları arttırmak ve topoğrafyanın neden olduğu etkileri (ör. gölge, eğim, aydınlatma açısı) azaltmak için kullanılan geleneksel yöntemlerden biri olup ham bant verilerinde görülemeyen kayaç ve minerallerin ayırt edilmesi amacıyla jeolojik çalışmalarda yaygın olarak uygulanan yöntemlerden biridir (ör. van der Meer vd., 2012; Gürsoy ve Kaya, 2017; Traore vd., 2020b; Canbaz ve Çakır, 2021). Bununla birlikte, bant oranlama tekniği ofiyolitik litolojileri haritalamak için de sıklıkla tercih edilmektedir (ör. Xiong vd., 2011; Emam vd., 2016; Özkan ve diğ., 2018; Çörtük vd., 2020; Turan ve Diker, 2022; Canbaz, 2023b). Bu çalışmada, ayırtlanması hedeflenen kayaçlardaki minerallerin spektral profilleri dikkate alınarak ve literatürde de farklı araştırmacılar tarafından kullanılan çeşitli bant oranları seçilerek test edilmiştir. Son olarak, kayaç birimlerinin ayırt edilmesi için, KYM aldatici renkli kompozit görüntüler üretmek üzere bant oranlarının bir kombinasyonu uygulanmıştır (Şekil 5a-d).

Temel Bileşen Analizi (PCA) yöntemi, litolojik ve yapısal unsurların haritalanmasında uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan basit ve hızlı görüntü işleme tekniklerinden bir diğeridir (ör. Crósta vd., 2003; Gürsoy, 2019; Khalifa vd., 2021; Topak vd., 2022; Traore vd., 2022). Multispektral uzaktan algılama verileri her bant arasında yüksek korelasyona sahiptir ve bu da önemli veri fazlalığına yol açmaktadır. Bu bağlamda, PCA uzaktan algılama verilerinde veri

boyutluluğunun azaltılması ve daha küçük varyansa sahip bileşenlerin oluşturulması için uygulanan çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir (ör. Green vd., 1998; Kavak, 2005; Pour ve Hashim 2011). Bu yöntem, esas olarak çok sayıdaki ilişkili değişkeni temel bileşenler (PC'ler) olarak adlandırılan yeni ilişkisiz değişkenlere dönüştürmektedir (ör. Singh ve Harrison, 1985; Eklundh ve Singh, 1993; Crósta vd., 2003; Özyavaş, 2016). Bu temel bileşenler, varyanslarına göre azalan bir sırada düzenlenmiş olup ilk sıradaki PC1 en yüksek varyansa sahiptir ve ardından daha düşük varyansa sahip diğer PC'ler gelir. Dolayısıyla, sona doğru olan PCA (ör. PC8 ve PC9) bantları genellikle orijinal spektral verilerdeki gürültü nedeniyle daha az varyans yüzdesine sahip olup daha çok gürültülü görünmektedir (ör. Pour ve Hashim, 2011).

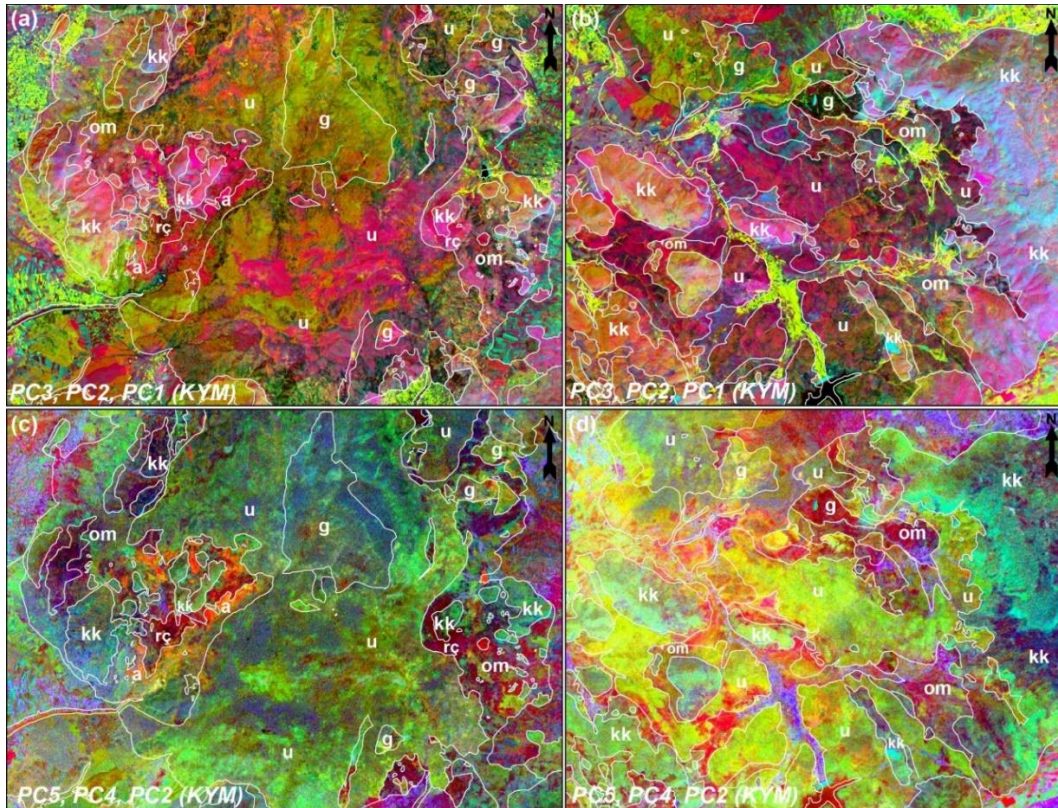


Şekil 5. a-d) ASTER veri setinin VNIR ve SWIR bantlarına uygulanan bant oranlarının kombinasyonundan oluşan KYM aldatici renkli kompozit görüntüler. Şekildeki beyaz çizgiler,

Şekil 2'teki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayalar; om, ofiyolitik melanj; rc, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayalar.

Figure 5. a-d) False color composite images (RGB) generated from the band ratios applied to the VNIR and SWIR bands of the ASTER dataset. The white lines in the figure correspond to the lithology boundaries in Figure 2. Abbreviations: a, amphibolite; g, gabbro; kk, carbonate rocks; om, ophiolitic mélangé; rç, radiolarian chert and mudstones; u, ultramafic rocks.

Bu çalışmada, PCA yöntemi çalışma alanındaki mafik, ultramafik, kırıntılı ve karbonatlı çökel kayaçları tanımlamak için ASTER VNIR-SWIR bantları kullanılarak uygulanmıştır. Toplam 9 banttan oluşan ASTER VNIR ve SWIR görüntülerinden giriş spektral bant sayısı ile uyumlu olarak aynı sayıda PC görüntüleri elde edilmiştir. PC1 görüntüsü, genellikle sahnenin toplam albedosu olan en yüksek değerleri içermekte olup PC1 görüntü değerleri %85.12'dir ve diğer PC bantlarına doğru bu yüzde azalarak devam etmektedir (ör. PC2 için %8.45, PC3 için %4.30'tur). Çalışma alanındaki ofiyolitik litolojiler ve çevre litolojiler arasında daha iyi ayırım yapabilmek için 9 PCA bandından 5 temel bileşen bandı (PC1, PC2, PC3, PC4 ve PC5) seçilmiş ve bu temel bileşen bantlarından oluşan aldatıcı renkli KYM kompozit görüntüleri oluşturulmuştur (Şekil 6a-d).



Şekil 6. a-d) ASTER veri setinin VNIR ve SWIR bantlarına uygulanan PCA bantlarının kombinasyonundan oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüler. Şekildeki beyaz çizgiler, Şekil 2'teki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayalar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayalar. *Figure 6. a-d) False color composite images (RGB) from the combinations of the PCA bands applied to the VNIR and SWIR bands of the ASTER dataset. The white lines in the figure correspond to the lithology boundaries in Figure 2. Abbreviations: a, amphibolite; g, gabbro; kk, carbonate rocks; om, ophiolitic mélange; rç, radiolarian chert and mudstones; u, ultramafic rocks.*

3.2. ASTER TIR Bantları

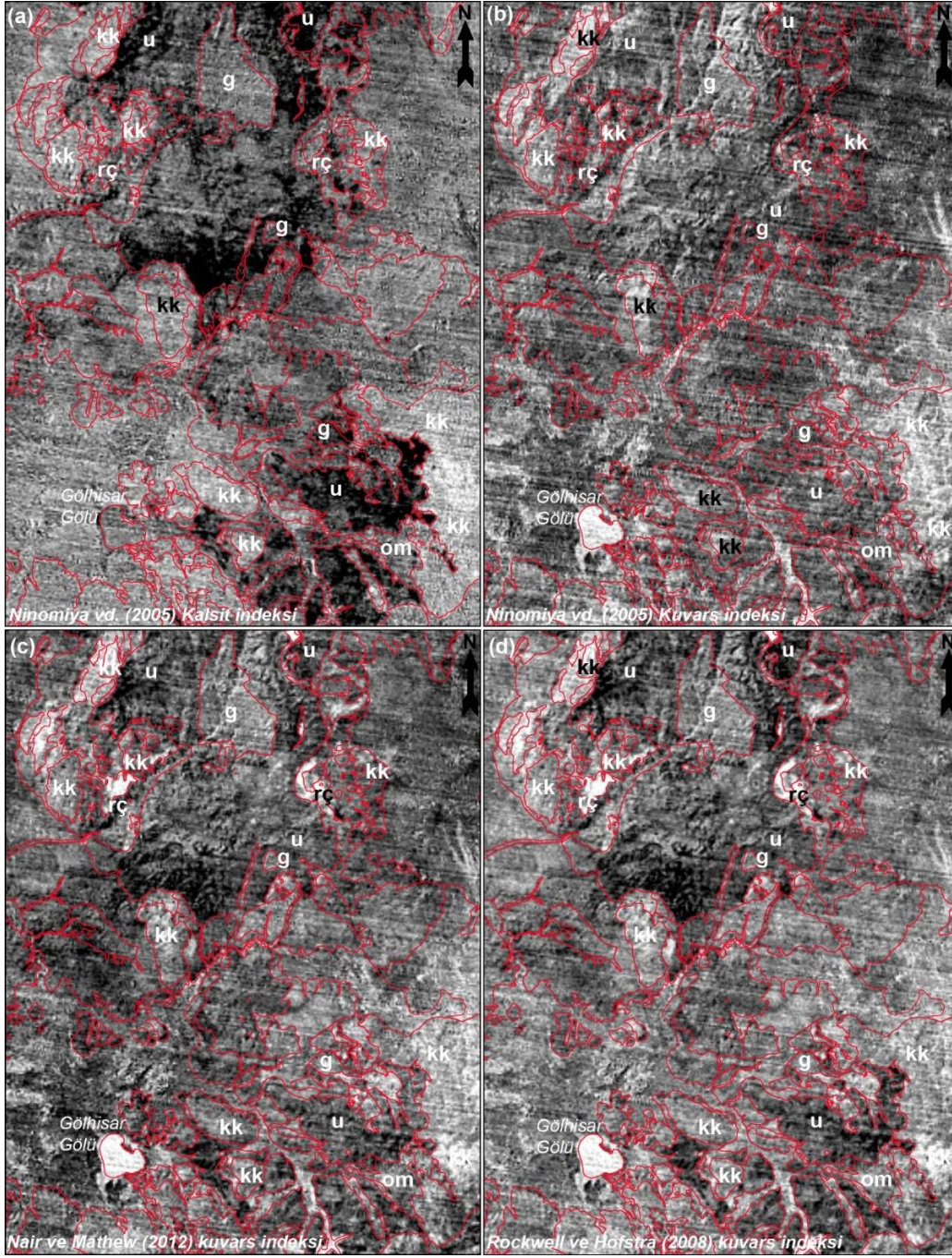
Silikatlar ve karbonatlar gibi kayaç oluşturuucu minerallerin önemli bir bölümü, elektromanyetik spektrumun termal kızılötesi bölgesinde (8 – 14 µm) spektral absorpsiyon özellikleri sergilemekte ve bu açıdan farklı kayaç türlerinin haritalandırılmasına olanak sağlamaktadır (ör. Ninomiya, 2002; Rowan ve Mars, 2003; Rowan vd., 2005; Öztan ve Süzen, 2011; Ninomiya ve Fu, 2016; Ninomiya ve Fu, 2019). Örneğin, ultramafik kayalar ASTER'in 14. bandında minimum yayılım sergilerken, 13. bandında yüksek yayıma sahiptirler (ör. Rani vd., 2018). Kuvars mineralleri ise ASTER'in 10. ve 12. bantlarında karakteristik olarak yayılım özelliği sergilemektedir (ör. Rowan vd., 2015; Rockwell ve Hofstra, 2008). Öte yandan, karbonat minerallerindeki CO₃²⁻ anyonlarının soğrulması nedeniyle, karbonatlı kayalar ASTER'in 13. ve 14. spektral bantlarına karşılık gelen 11.35 ile 11.40 µm arasındaki TIR bölgesinde karakteristik özelliklere sahiptir (ör. Rockwell ve Hofstra, 2008; Rajendran ve Nasir, 2014). Benzer şekilde, ofiyolitik kayalar da termal kızılötesi bölgesindeki profillerinde karakteristik spektral imzalara sahip olduğu için ASTER TIR verileri, bu kayaların ayırında ve haritalamasında oldukça başarılı sonuçlar sunmaktadır (ör. Ninomiya, 2002; Rockwell ve Hofstra, 2008; Özkan vd., 2018; Çörtük vd., 2020). Ancak, ASTER termal kızılötesi bant görüntülerinin ham halleriyle oluşturulan tek renk gri görüntülerinde veya KYM aldatıcı renkli kompozit görüntülerinde litolojik ayırım konusunda iyi sonuçlar vermemektedir. Buna karşın, bant oranlama ve matematiği teknikleri ile elde edilen görüntüler özellikle silikat ve karbonat kayalarının haritalanmasında etkili bir şekilde kullanılabilir (ör. Ding vd., 2015;

Ninomiya vd., 2005; Hewson vd., 2005; Rockwell ve Hofstra, 2008; Zhang ve Zeng, 2018). Ayrıca, termal bant verilerinin yayılım kalibrasyonu yapıldıktan sonra oluşturulan tek renkli ve KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüleri litolojik ayırım konusunda olumlu sonuçlar sağlayabilmektedir (ör. Yajima ve Yamaguchi, 2013; Rani vd., 2018). Bu bağlamda, önceki çalışmalarda araştırmacılar ilgili kayaç türlerinin ayırında farklı bant oranları ve bant matematiği denklemleri kullanılarak mineral ve kayaç indeksleri önermişlerdir (Çizelge 1). Örneğin, Ninomiya vd. (2005) tarafından ASTER'in TIR bantlarını uygulanan karbonat indeksi, mafik indeksi, kuvars indeksi literatürde kullanımı yaygın olarak tercih edilen spektral indekslerdir. Karbonat indeksi karbonat minerallerince zengin kayaç türlerinin diğer kayaç türlerinden ayırında başarılı sonuçlar sunmakta iken kuvars indeksi ise kuvars minerallerince zengin veya bir başka deyişle silis içeriği yüksek olan kayaç türlerinin ayırında başarılı sonuçlar sağlamaktadır. Mafik indeksi ise, düşük silika içeriğine sahip mafik-ultramafik kayaç türlerinin ayırında kullanılmaktadır. Dolayısıyla, Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait litolojilerin bölgesel ölçekte ayırdı ve haritalanması için ASTER veri setinin TIR bantlarına mineral ve kayaç indeksleri uygulanarak test edilmiş ve sonuç görüntülerinin (Şekil 7, 8 ve 9) yorumları aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 1. ASTER termal kızılötesi veri setine uygulanan mineral ve kayaç indeksleri

Table. Mineral and rock indices applied to the ASTER thermal infrared dataset

	Mafik indeksi (MI)	Kalsit / Karbonat indeksi (CI)	Kuvars /silis indeksi (QI)	Feldspat indeksi
Ninomiya (2002), Ninomiya vd. (2005)	B_{12}/B_{13}	B_{13}/B_{14}	$(B_{11} * B_{11}) / (B_{10} * B_{12})$	-
Ninomiya ve Fu (2010)	$(B_{12} * B_{14}^3) / B_{13}^4$	B_{13}/B_{14}	$(B_{11} * B_{11}) / (B_{10} * B_{12})$	-
Rockwall ve Hofstra (2008)	-	B_{13}/B_{14}	$(B_{11} / (B_{10} + B_{12})) * (B_{13} / B_{12})$	-
Nair ve Mathew (2012)	$(B_{12} + B_{14}) / B_{13}$	-	$(B_{11} + B_{13}) / B_{12}$	-
Ding vd. (2014)	M1: $(B_{13} - 0.9147) * (B_{10} - 1.4366)$ M2: $(B_{13} - 0.8945) * (B_{11} - 1.2404)$	-	Q1: $(B_{13} - 0.9261) * (B_{12} - 1.4623)$ Q2: $(B_{14} - 0.8440) * (B_{12} - 1.8971)$	-
Ding vd. (2015)	$(0.915 * B_{10}) - (B_{13} + 1.437)$	-	$(B_{14} - 0.844) * (B_{12} - 1.897)$	-
Guha ve Kumar (2016)	$(B_{12}/B_{13}) * (B_{13}/B_{14})$	-	$(B_{10}/B_{12}) * (B_{13}/B_{12})$	B_{10}/B_{11}
Rowan vd. (2005)	$(B_{12} + B_{14}) / (B_{13} * 2)$	-	B_{13}/B_{12}	-



Şekil 7. ASTER veri setinin TIR bantlarına uygulanan mineral ve kayaç indekslerinin sonuç görüntüleri. a) Ninomiya vd. (2005)'in kalsit indeksi. b) Ninomiya vd. (2005)'in kuvars indeksi. c) Nair ve Mathew (2012)'in kuvars indeksi. d) Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksi. Şekildeki kırmızı çizgiler, Şekil 2'teki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar.

Figure 7. Resultant images of the mineral and rock indices were applied to the TIR bands of the ASTER dataset. a) Calcite index from Ninomiya et al. (2005). b) Quartz index from Ninomiya et al. (2005). c) Quartz index from Nair and Mathew (2012). d) Quartz index from Rockwell and Hofstra's (2008). The red lines in the figure correspond to the lithology boundaries in Figure 2. Abbreviations: a, amphibolite; g, gabbro; kk, carbonate rocks; om, ophiolitic mélangé; rç, radiolarian chert and mudstones; u, ultramafic rocks.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Literatürde, farklı bölgelerdeki kayaç gruplarının ve minerallerinin haritalanmasında kullanılmak üzere birçok alternatif bant oranı (ör. B4/B7, B4/B6, B4/B1, B2/B3, B4/B2, B4/B3, vb.) sunulmuştur (ör. Gad ve Kusky, 2006; Mars ve Rowan, 2010; van der Meer vd., 2012; Özkan vd., 2018; Rajendran ve Nasir, 2019; Sevimli vd., 2021; Tözün ve Özyavaş, 2020; Canbaz, 2023; Ekici, 2023). Ancak, farklı bant oranları kullanılarak oluşturulan sonuç görüntülerinin, ilgili bölgelerdeki kayaç ve minerallerinin tür, bolluk ve bir arada bulunduğu diğer kayaç ve mineral topluluklarının türlerine bağlı olarak etkileri değişebilmektedir. Bu durumda, Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjını oluşturan litolojilerin başarılı bir şekilde ayırt edilebilmesi için hem bu çalışmada test edilen hem de farklı araştırmacılar tarafından da önerilen bant oranları arasından en uygun olanları tercih edilmiştir. Bant oranlama tekniğinde öncelikli olarak, çalışma alanındaki baskın kayaç gruplarının çeşitliliği ve bu kayaçları oluşturan mineral birliktelikleri dikkate alınmıştır. Buna göre, çalışma alanındaki baskın litolojiyi oluşturan mafik-ultramafik ve karbonatlı kayaçların ayırdına yönelik bant oranları seçilmiştir. Çalışma alanındaki baskın kayaç grubunu oluşturan Fe-Mg'ca zengin mafik-ultramafik kayaçların varlığı dikkate alındığında, demirli mineral oluşumlarına duyarlı olan bant oranları kullanılmıştır. Örneğin, B1/B2, B3/B4, B4/B5 ve B5/B3 oranları ASTER VNIR-SWIR bölgesinde demir oksitçe zengin mineralleri ve ofiyolitik kayaçları tanımlamak için kullanılan en yaygın bant oranlarıdır (ör. Sabins, 1999; Rowan ve Mars, 2003; Khan et al., 2007; Xiong vd., 2011; Eslami vd., 2015; Özkan vd., 2018; Zhang ve Zeng, 2018; Çörtük vd., 2020). Çalışma alanındaki gabroyik ve amfibolitik kayaçların olağan minerallerinden olan epidot, klorit ve amfibol gibi minerallerin vurgulanması için $(B6+B9)/(B7+B8)$ oranı kullanılmıştır (van der Meer vd. 2012). B4/B8 oranı (ör. Fu vd., 2007; Emam vd., 2016;

Ahmadi ve Kalkan, 2021) ise çalışma alanındaki bir diğer yaygın kayaç türü olan karbonatlı kayaçların ayırdı için tercih edilmiştir. Bu çalışmada, ofiyolitik kayaçların ve ilişkili çevre kayaçlarının ayırımının daha fazla belirginleştirmesi için bahsi geçen bant oranları kullanılarak iki farklı KYM aldatıcı renkli kompozit sonuç görüntüsü (K: B3/B4; Y: B4/B5; M: B4/B8 ve K: (B6+B9) / (B7+B8); Y: B1/B2; M: B5/B3) oluşturulmuştur (Şekil 5a-d). Şekil 5a ve 5b'de B3/B4, B4/B5, B4/B8'den oluşan aldatıcı renkli kompozit sonuç görüntüsü sunulmuştur. Bu sonuç görüntüsünde, ultramafik kayaçlar mavimsi renkleriyle, karbonatlı kayaçlar camgöbeği rengiyle, amfibolitik kayaçlar koyu lacivert renkleriyle, gabroyik kayaçlar ve pelajik çökeller (çamurtaş ve radyolaryalı çörtler) kızılımsı renkleriyle ayırt edilebilmektedir (Şekil 5a, b). (B6+B9) / (B7+B8), B1/B2 ve B5/B3 oranlarından oluşan KYM aldatıcı renkli sonuç görüntüsünde ise genel olarak ofiyolitik ve karbonatlı kayaçlar belirgin bir şekilde ayırt edilebilmektedir (Şekil 5c, d). Aynı görüntüde, amfibolit kayaçlar turkuaz rengiyle diğer litolojilerden ayırt edilebilmekte iken, bazı alanlarda pelajik çökellerin ve karbonatlı kayaç bloklarının olduğu alanlarda açık bir ayırım yapılamamaktadır (Şekil 5c, d). Sonuç olarak, bant oranların bir kombinasyondan oluşan iki yeni KYM aldatıcı renkli sonuç görüntülerimiz önemli ölçüde ayırtlanması hedeflenen Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait litolojik birimler arasında iyi bir farklılaşma sunmakta ve litolojik haritalama çalışmaları için etkili sonuçlar sağlamaktadır.

PCA bantlarından genellikle ilk üç yüksek dereceli temel bileşen (PC1, PC2 ve PC3) bandının daha yüksek spektral bilgiye (>%98) sahip olması nedeniyle bu temel bileşen bantlarının kombinasyonundan oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüleri jeolojik çalışmalar için daha çok tercih edilmektedir (ör. Eslami vd., 2015; Khalifa vd., 2021; Turan ve Diker, 2022). Nitekim, ilk olarak PCA bantlarının ilk üç bandı kullanılarak KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüsü (K, PC3; Y, PC2; M, PC1) oluşturulmuştur (Şekil 6a). Oluşturulan bu PCA görüntüsünün jeolojik yorumları, serpantinitletlerin soluk mavi renklerle, gabroların kırmızı renklerle, bazaltların yeşil renklerle ve pembe granitin sarımsı yeşil renklerle tanımlandığını göstermektedir (Şekil 6a). Bununla birlikte, birçok durumda ilk üç PCA bandından farklı olarak daha az spektral bilgi (<%2) ve düşük sinyal-gürültü oranları içeren sonraki düşük dereceli temel bileşenlerden (PC4, PC5, PC6, vb.) elde edilen görüntülerde de hedeflenen mineral ve kayaç türleri daha açık bir şekilde görülebilmektedir (ör. Rajendran ve Nasir, 2014;

Özyavaş, 2016; Özkan vd., 2018; Gürbüz, 2019; Rajendran ve Nasir, 2019; Topak vd., 2022). Bu bakımdan, PC4 ve PC5 bantları mafik-ultramafik kayalarla birlikte amfibolit, pelajik çökeller (çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler) ve kireçtaşlarının açık bir şekilde ayrıldını sağlayabilmektedir. Dolayısıyla, PC5 – PC4 – PC2 temel bileşen bantlarından oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüsünde (K, PC5; Y, PC4; M, PC2) ofiyolitik kayalar sarı ve fıstık yeşili renklerle, gabroyik kayalar ve ofiyolitik melanj içerisindeki pelajik çökeller (çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler) koyu kıvımsı ve mor renklerle, amfibolitik kayalar turuncu renklerle ve karbonatlı kayalar koyu ve yeşilimsi renkleriyle diğer litolojilerden belirgin bir şekilde farklılık göstermektedir (Şekil 6c, d). Sonuç olarak, KYM kombinasyonunda PC5, PC4, PC2'nin mafik-ultramafik kayalarla birlikte radyolaryalı çörtler ve amfibolitik kayaları ayırmak için PC3, PC2 ve PC1 kompozit sonuç görüntüsünden daha iyi bir ayırım göstermektedir.

Şekil 7 ve 8'de farklı araştırmacılar tarafından ilgili mineral ve kayaların spektral yayını özelliklerine dayalı önerilen mineral ve kayaç indekslerinden kullanılarak seçilen sonuç görüntüleri sunulmuştur. Bunlardan ilki, Ninomiya vd. (2005) tarafından ASTER TIR bantlarının harmanlanmış oranlarını kullanarak geliştirilen karbonat (CI) (Şekil 7a), kuvars (QI) (Şekil 7b) ve mafik (MI) (Şekil 8a) indekslerdir ve şu şekilde formüle edilmiştir:

$$CI = B13/B14$$

$$QI = (B11*B11) / (B10*B12)$$

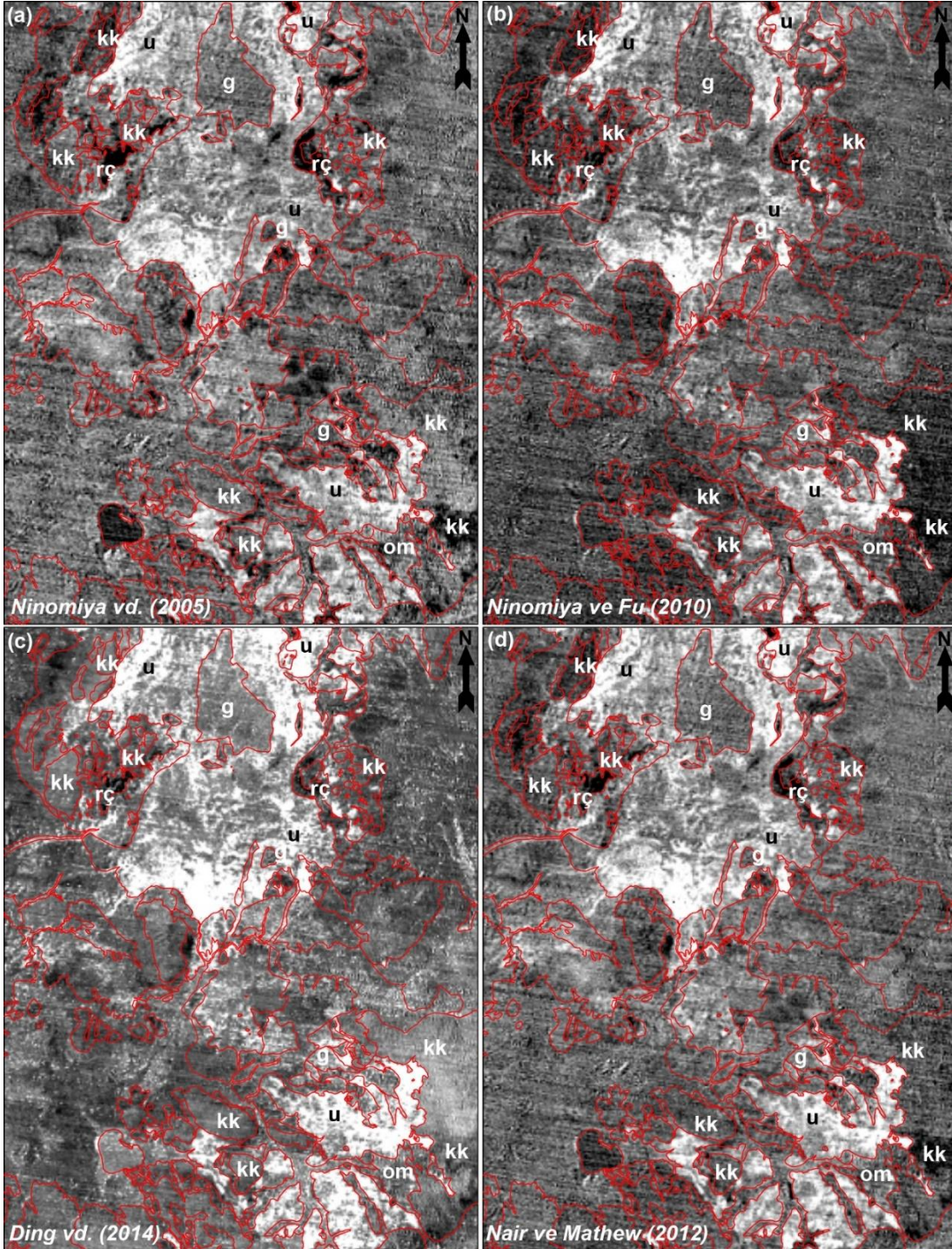
$$MI = B12/B13$$

Burada, Ninomiya vd. (2005) tarafından önerilen mafik indeksi, Ninomiya ve Fu (2010) tarafından karbonatlı kayaların etkisini azaltmak için “ $(B12*B14^3) / B13^4$ ” şeklinde revize edilmiştir (Şekil 8b).

Ding vd. (2014) tarafından mafik kayaların diğer çevre kayalarından daha iyi ayırt edilebilmesi için M1 ve M2 şeklinde tanımladıkları indeksleri ise aşağıda sunulan denklemler şeklinde formüle edilmiştir. Bunlardan M1 ve M2 olarak tanımlanan mafik indeksler yaklaşık benzer sonuçlar sunduğu için Şekil 8c'de yalnızca M2 mafik indeksine ait sonuç görüntüsü sunulmuştur.

$$M1 = (B13 - 0.9147) * (B10 - 1.4366)$$

$$M2 = (B13 - 0.8945) * (B11 - 1.2404)$$



Şekil 8. ASTER veri setinin TIR bantlarına uygulanan mafik indekslerinin sonuç görüntüleri.

a) Ninomiya vd. (2005)'in mafik indeksi. b) Ninomiya ve Fu (2010)'nun mafik indeksi. c) Ding vd. (2014)'ün mafik indeksi. d) Nair ve Mathew (2012)'in mafik indeksi. Şekildeki kırmızı ASTER veri setinin TIR bantlarına uygulanan mafik indekslerinin sonuç görüntüleri.

Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar.

Figure 8. Resultant images of the mafic rock indices were applied to the TIR bands of the ASTER dataset. a) Mafic index from Ninomiya et al. (2005). b) Mafic index from Ninomiya and Fu (2010). c) Mafic index from Ding et al. (2014). d) Mafic index from Nair and Mathew (2012). The red lines in the figure correspond to the lithology boundaries in Figure 2.

Abbreviations: a, amphibolite; g, gabbro; kk, carbonate rocks; om, ophiolitic mélange; rç, radiolarian chert and mudstones; u, ultramafic rocks.

Nair ve Mathew (2012) tarafından bant oranlama yöntemiyle elde edilen görüntülerin kalitesindeki iyileşmeyi artırmak için göreceli bant derinliği (RBD) yöntemi kullanılmıştır. Araştırmacıların RBD12 ve RBD13 olarak tanımladıkları bu iki yeni indeksten, RBD13 (Şekil 8d) bazaltları ve diğer mafik litolojileri tanımlamak için, RBD12 (Şekil 7c) ise yüksek silika içeriğine sahip kayaçları tanımlamak için önerilmiştir.

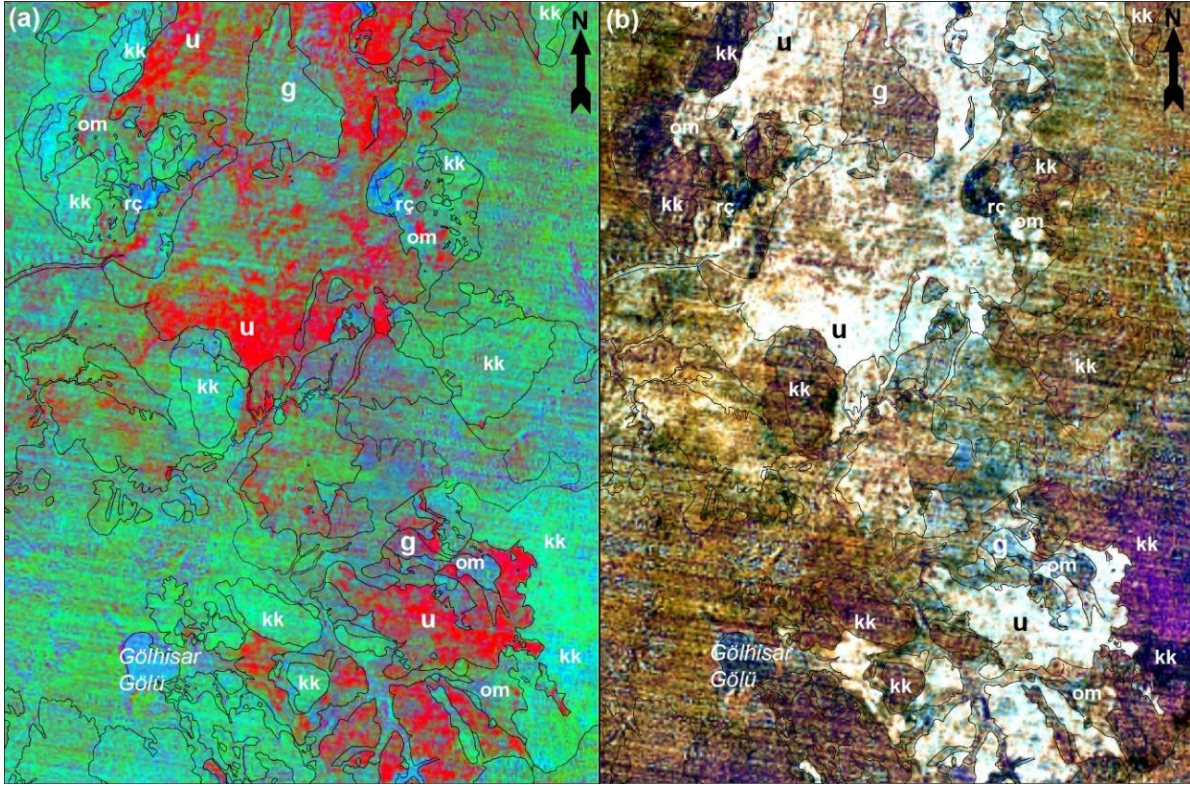
$$\text{RBD12: } (B11 + B13) / B12$$

$$\text{RBD13: } (B12 + B14) / B13$$

Rockwell ve Hofstra (2008) ise ASTER'in 10. 11. 12. ve 13. bantlarını kullanarak kuvars indeksini “ $(B11 / (B10 + B12)) * (B13/B12)$ ” şeklinde formüleştirmiştir (Şekil 7d). Aynı araştırmacılar, Ninomiya vd. (2005) tarafından önerildiği şekliyle karbonat indeksini ASTER'in 13. bandının 14. bandına oranı şeklinde tanımlamışlardır.

Yukarıda önerilen MI indeksler kullanılarak oluşturulan sonuç görüntülerinde (Şekil 8a-d) mafik-ultramafik kayaçlar daha parlak piksellerle temsil edilmekte iken silis açısından oldukça zengin olan radyolaryalı çört alanları koyu renkli piksellerle temsil edilmektedir. Burada uygulanan her bir mafik indeks yöntemi sonuçları kabaca benzerlik sunmasına karşın, Ninomiya ve Fu (2010) ve Nair ve Mathew (2012) tarafından önerilen mafik indeksler,

Yeşilova ofiyolitine ait mafik-ultramafik kayalar çevredeki diğer kayaç kütlelerinden ayırt etmek için en etkili tekniklerden biri olarak görülmektedir (Şekil 8b, d). Ding vd. (2014)'ün mafik indeks sonuç görüntüsünde ultramafik kayalar yüksek parlaklıktaki piksellerle çevre kayalardan açık bir şekilde ayrılmasını sağlamakla birlikte, özellikle kırıntılı malzemeleri ofiyolitik kayalardan türemiş dere ve akarsu yataklarındaki alanlar diğer mafik indekslerden farklı olarak parlak pikseli noktalar görünmektedir (Şekil 8c). Ninomiya ve Fu (2010)'nun mafik indeksi (Şekil 8b), Ninomiya vd. (2005)'in mafik indeksine (Şekil 8a) göre mafik-ultramafik kayalarla ile diğer çevre kayaları arasında daha belirgin kontrast oluşturan sonuç görüntüsü sağlamaktadır.



Şekil 9. a) Ninomiya ve Fu (2010)'un mafik indeksi, Ninomiya vd. (2005)'in kalsit indeksi ve Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksinden oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntü. b) Nair ve Mathew (2012), Ninomiya ve Fu (2010) ve Ding vd. (2014)'ün mafik indekslerinden oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntü. Şekildeki siyah çizgiler, Şekil 2'teki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayalar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayalar.

Figure 9. a) False color composite image (RGB) composed of mafic index (Ninomiya and Fu, 2010), calcite index (Ninomiya et al., 2005), and quartz index (Rockwell and Hofstra, 2008). b) False color composite image (RGB) composed of mafic indices from Nair and Mathew (2012), Ninomiya and Fu (2010), and Ding et al. (2014). The black lines in the figure correspond to the lithology boundaries in Figure 2. Abbreviations: a, amphibolite; g, gabbro; kk, carbonate rocks; om, ophiolitic mélangé; rç, radiolarian chert and mudstones; u, ultramafic rocks.

B13/B14 oranı kullanılarak oluşturulan kalsit indeksine (Ninomiya vd. 2005; Rockwell ve Hofstra, 2008) ait sonuç görüntüsünde (Şekil 7a) mafik ve ultramafik kayalar koyu renkli piksellerle temsil edilmekte iken karbonatlı kayalar göreceli olarak daha parlak piksellerin olduğu alanlara karşılık gelmektedir. Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksiyle oluşturulan sonuç görüntüsünde ofiyolitik melanj içerisindeki radyolaryalı çörtlerin gözlemlendiği alanların en parlak piksellerle temsil edildiği dikkati çekmekte olup ultramafik kayalar koyu piksellerle, mafik kayalar ise göreceli daha açık renkli piksellerle temsil edilmektedir (Şekil 7d). Ancak, bu özellikler Ninomiya vd. (2005)'in kuvars indeksine göre hazırlanan sonuç görüntüsünde belirgin olarak görülememektedir (Şekil 7b). Nair ve Mathew (2012)'nin RBD12 olarak tanımladıkları kuvars indeksi sonuç görüntüsünde ise beyaz renkli piksellerle görülen radyolaryalı çörtlerin yüzlek verdiği alanlar dikkati çekmektedir (Şekil 7c). Mafik ve kuvars indeksi sonuç görüntülerinde görüldüğü üzere mafik-ultramafik kayalar ile silice zengin kayalar arasında negatif bir korelasyon sunmakta olup, bu durumda büyük oranda ayırdı hedeflenen litolojilerin toplam kayac bileşimindeki SiO₂ içeriği ile yakından ilişkilidir (ör. Ninomiya, 2002; Ninomiya vd., 2005).

Son olarak, mafik, kalsit ve kuvars indekslerinden ve farklı araştırmacıların mafik indekslerinin bir kombinasyonunda oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüleri oluşturulmuştur (Şekil 9a, b). İlk olarak, kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarına sırasıyla, Ninomiya ve Fu (2010)'nun mafik ve kalsit indeksleri ve Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksi atanmıştır (Şekil 9a). Bu KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüde, ultramafik kayalar kırmızı renkli alanlara karşılık gelmekte olup diğer kayalardan net bir şekilde ayrılmaktadır. Görüntüdeki turkuaz renkli alanlar radyolaryalı çörtlerin yüzlek verdiği alanları

temsil etmekte iken, koyu renkli mavi renkli alanlar ise genellikle ofiyolitik melanjin ve gabroyik kayaçların yüzlek verdiği alanlarla temsil edilmektedir. Bir diğer, KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüde ise mafik-ultramafik kayaçların olduğu alanları vurgulamak için kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarına sırasıyla Nair ve Mathew (2012), Ninomiya ve Fu (2010) ve Ding vd. (2014)'ün mafik indekslerinin atanmasıyla oluşturulmuştur (Şekil 9b). Oluşturulan bu KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüde, beyaz renkli parlak piksellerle temsil edilen ultramafik kayaçların, saha çalışmalarıyla da oldukça uyumlu olarak, açık bir şekilde ayırt edilebildiği görülmektedir. Aynı görüntüde, radyolaryalı çörtler lacivert renklerle, gabroyik kayaçlar açık mavi renklerle ve karbonatlı kayaçlar ise genellikle mor ve kahverengimsi renklere karşılık gelen alanlarda yüzlek vermektedir (Şekil 9b).

Bu çalışmada sunulan ASTER VNIR ve SWIR bantlarına ait bant oranları ((B1/B2, B3/B4, B4/B5, B4/B8, B5/B3 ve (B6+B9) / (B7+B8)) ve PCA görüntüleri (PC3, PC2, PC1 ve PC5, PC4, PC2), Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait çeşitli litolojileri ayırt edilebilmiştir. Bununla birlikte, ASTER TIR bantlarına uygulanan mafik, kalsit ve kuvars indeks uygulamalarının ve bunların KYM aldatıcı renkli kompozit görüntülerinin bölgesel ölçekte ofiyolitik kayaçların haritalanmasında faydalı sonuçlar sunduğu görülmüştür. Burada uygulanan yöntemlerden elde edilen sonuç görüntüleri ile saha çalışmaları karşılaştırıldığında, uygulanan yöntemlerin Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjinin litolojik haritalamasında başarılı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, burada sunulan uzaktan algılama yöntemlerinin, Toros kuşağı gibi nispeten bitki örtüsü açısından yoksun olan alanların, haritalanmasında ve jeolojik olarak yorumlanmasında faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

KATKI BELİRTME

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan sayın Ulvi Can Ünlügenç ve Ahmet Can Akıncı'ya ve hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Abrams, M. 2000. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *international Journal of Remote sensing*, 21(5), 847-859.
- Abrams, M., Yamaguchi, Y., 2019. Twenty years of ASTER contributions to lithologic mapping and mineral exploration. *Remote Sensing*, 11(11), 1394.
- Adiri, Z., Lhissou, R., El Harti, A., Jellouli, A., Chakouri, M., 2020. Recent advances in the use of public domain satellite imagery for mineral exploration: A review of Landsat-8 and Sentinel-2 applications. *Ore Geology Reviews*, 117, 103332.
- Ahmadi, H., Kalkan, K., 2021. Mapping of ophiolitic complex in logar and surrounding areas (SE Afghanistan) with ASTER data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(6), 1271-1284.
- Aldanmaz, E., Meisel, T., Çelik, Ö. F., Henjes-Kunst, F., 2012. Osmium isotope systematics and highly siderophile element fractionation in spinel-peridotites from the Tethyan ophiolites in SW Turkey: implications for multi-stage evolution of oceanic upper mantle. *Chemical geology*, 294, 152-164.
- Bachri, I., Hakdaoui, M., Raji, M., Teodoro, A. C., Benbouziane, A., 2019. Machine learning algorithms for automatic lithological mapping using remote sensing data: A case study from Souk Arbaa Sahel, Sidi Ifni Inlier, Western Anti-Atlas, Morocco. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6), 248.
- Blaschke, T., Hay, G. J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., ... & Tiede, D., 2014. Geographic object-based image analysis—towards a new paradigm. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 87, 180-191.
- Canbaz, O., 2023a. Application of Spectral Analysis and Image Processing Methods to Discriminate Hydrothermal Alteration Minerals Around the Tutakdağı (Şebinkarahisar-Giresun) Lead–Zinc Deposits, Northeastern Turkey. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1-21.

- Canbaz, O., 2023b. The Performance of Hyperspectral Measurements Integrated into Multispectral Data on the Detection of the Alpine Chromite Deposits in the Ophiolite Complexes. *Geology of Ore Deposits*, 65(4), 381-394.
- Canbaz, O., Çakır, E.Ü., 2022. Şaphane (Çorum) Damar Tipi Altın Cevherleşmesinde Multispektral Uydu Görüntüleri Kullanılarak Hidrotermal Alterasyon Mineral Haritalaması ve Çizgisellik Analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 313-328.
- Cloutis, E.A., 1996. Review article hyperspectral geological remote sensing: evaluation of analytical techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 17(12), 2215-2242.
- Collins, A.S., Robertson, A.H., 1999. Evolution of the Lycian Allochthon, western Turkey, as a north-facing Late Palaeozoic to Mesozoic rift and passive continental margin. *Geological Journal*, 34(1-2), 107-138.
- Cooley, T., Anderson, G. P., Felde, G. W., Hoke, M. L., Ratkowski, A. J., Chetwynd, J. H., ... & Lewis, P., 2002. FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation. In *IEEE international geoscience and remote sensing symposium* (Vol. 3, pp. 1414-1418). IEEE.
- 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.
- Çelik, Ö.F., Delaloye, M.F., 2003. Origin of metamorphic soles and their post-kinematic mafic dyke swarms in the Antalya and Lycian ophiolites, SW Turkey. *Geological Journal*, 38(3-4), 235-256.
- Çelik, Ö.F., Chiaradia, M., 2008. Geochemical and petrological aspects of dike intrusions in the Lycian ophiolites (SW Turkey): a case study for the dike emplacement along the Tauride Belt Ophiolites. *International Journal of Earth Sciences*, 97, 1151-1164.

- Çelik, Ö.F., Delaloye, M., Feraud, G., 2006. Precise ^{40}Ar – ^{39}Ar ages from the metamorphic sole rocks of the Tauride Belt Ophiolites, southern Turkey: implications for the rapid cooling history. *Geological Magazine*, 143(2), 213-227.
- Çiftçi, Y., Dönmez, C., Parlak, O., Günay, K., 2019. Chromitite deposits of Turkey in Tethyan ophiolites. *Mineral Resources of Turkey*, 73-157.
- Çörtük, R.M., Çelik, Ö.F., Alkan, A., Özkan, M., Özyavaş, A., 2020. Distribution of rocks in Pınarbaşı Ophiolite from central Anatolia (Turkey) based on analysis of ASTER and Landsat-8 data. *Geological Journal*, 55(10), 6810-6822.
- Çörtük, R.M., Çelik, Ö.F., Özkan, M., Marzoli, A., Alkan, A., 2023. The origin and PT conditions of the metamorphic sole rocks beneath the Late Cretaceous Pınarbaşı Ophiolite, Eastern-Central Anatolia. *International Geology Review*, 65(2), 296-316.
- Ding, C., Liu, X., Liu, W., Liu, M., Li, Y., 2014. Mafic–ultramafic and quartz-rich rock indices deduced from ASTER thermal infrared data using a linear approximation to the Planck function. *Ore Geology Reviews*, 60, 161-173.
- Ding, C., Li, X., Liu, X., Zhao, L., 2015. Quartzose–mafic spectral feature space model: a methodology for extracting felsic rocks with ASTER thermal infrared radiance data. *Ore Geology Reviews*, 66, 283-292.
- Döyen, A., 1995. Yeşilova (Burdur) civarı kromit yataklarının mineralojik, petrografik ve jeokimyasal incelemesi. Doktora Tezi, SU Institute of Science, (in Turkish, unpublished)
- Döyen, A., Çömlekçiler F., Koçak K., 2014. Stratigraphic Features of the Yesilova Ophiolite, Burdur, South-Western Turkey. In: Rocha R, Pais J, Kullberg J.C. and Finney S. (Eds.), *Strati 2013*, Springer, 493-498.
- Emam, A., Zoheir, B., Johnson, P., 2016. ASTER-based mapping of ophiolitic rocks: examples from the Allaqi–Heiani suture, SE Egypt. *International Geology Review*, 58(5), 525-539.

- Eslami, A., Ghaderi, M., Rajendran, S., Pour, A.B., Hashim, M., 2015. Integration of ASTER and landsat TM remote sensing data for chromite prospecting and lithological mapping in Neyriz ophiolite zone, south Iran. *Resource Geology*, 65(4), 375-388.
- Ekici, T., 2023. Lithological mapping of ophiolitic rocks from southern part of the Sivas Basin (Turkey) using ASTER imagery. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(2), 200-213.
- Fu, B., Zheng, G., Ninomiya, Y., Wang, C., Sun, G., 2007. Mapping hydrocarbon-induced mineralogical alteration in the northern Tian Shan using ASTER multispectral data. *Terra Nova*, 19(4), 225-231.
- Fujisada, H., 1995. Design and performance of ASTER instrument, in Breckinridge, J.B., ed., *Proceedings of international society of optical engineering: Bellingham, WA, SPIE publication (AIP Online Journal Publishing Service and American Institute of Physics)*, v. 2583, p. 16–25.
- Gad, S., Kusky, T., 2007. ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian–Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt. *Gondwana research*, 11(3), 326-335.
- Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J. S., Hook, S., Kahle, A.B., 1998. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 36(4), 1113-1126.
- Green, A.A., Berman, M., Switzer, P., Craig, M.D., 1988. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 26(1), 65-74.
- Guha, A., Kumar, V., 2016. New ASTER derived thermal indices to delineate mineralogy of different granitoids of an Archaean Craton and analysis of their potentials with reference to Ninomiya's indices for delineating quartz and mafic minerals of granitoids—An analysis in Dharwar Craton, India. *Ore Geology Reviews*, 74, 76-87.

- Gürbüz, E., 2019. Multispectral mapping of evaporite minerals using ASTER data: A methodological comparison from central Turkey. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100240.
- Gürbüz, A., Gürbüz, E., 2022. Remote sensing approaches for mapping Quaternary deposits: A synthesis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 126, 103128.
- Gürsoy, Ö., 2019. Hybrid band combination for discriminating lithology of dunite in ultramafic rocks. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(6), 1041-1049.
- Gürsoy, Ö., Kaya, Ş., 2017. Detecting of lithological units by using terrestrial spectral data and remote sensing image. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45, 259-269.
- 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.
- Juteau, T., 1980. Ophiolites of Turkey. In: Rocci, G. (Ed.), *Ophioliti, Special Issue Tethyan Ophiolites: 2. Eastern Area*, pp. 199 – 237.
- Khalifa, A., Bashir, B., Çakir, Z., Kaya, Ş., Alsalman, A., Henaish, A., 2021. Paradigm of geological mapping of the adıyaman fault zone of eastern turkey using landsat 8 remotely sensed data coupled with pca, ica, and mnfa techniques. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(6), 368.
- Kavak, K.S., 2005. Determination of palaeotectonic and neotectonic features around the Menderes Massif and the Gediz Graben (western Turkey) using Landsat TM image. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 59-78.
- Kavak, K.S., Tatar, O., Piper, J., Kocbulut, F., Levent Mesci, B., 2009. Determination of neotectonic features of the Karasu Basin (SE Turkey) and their relationship with Quaternary volcanic activity using Landsat ETM+ imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30(17), 4507-4524.

- Khan, S.D., Mahmood, K., Casey, J.F. 2007. Mapping of Muslim Bagh ophiolite complex (Pakistan) using new remote sensing, and field data. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(2), 333-343.
- Koralay, T., 2000. Niyazlar köyü (Yeşilova-Burdur) ile tefenni yaylası (Tefenni-Burdur) ofiyolitlerinin jeolojik, petrografik ve petrokimyasal incelemesi (Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi).
- Konak, N., 2002. 1:500,000 Scale Geological Map of Turkey İzmir Quadrangle. 1:500,000 Scale Geological Maps of Turkey, M. Şenel (Ed.), Serial Number: 7, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Langford, R.L., 2015. Temporal merging of remote sensing data to enhance spectral regolith, lithological and alteration patterns for regional mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 68, 14-29.
- Manap, H.S., San, B.T., 2022. Data Integration for Lithological Mapping Using Machine Learning Algorithms. *Earth Science Informatics*, 15(3), 1841-1859.
- Mars, J.C., Rowan, L.C., 2010. Spectral assessment of new ASTER SWIR surface reflectance data products for spectroscopic mapping of rocks and minerals. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 2011-2025.
- Mars, J.C., Rowan, L.C., 2011. ASTER spectral analysis and lithologic mapping of the Khanneshin carbonatite volcano, Afghanistan. *Geosphere*, 7(1), 276-289.
- Monod, O., 1977. Re'cherches ge'ologique dans les Taurus occidental au sud de Beys,ehir (Turquie). PhD thesis, Universite' de Paris-Sud, Orsay
- Nair, A., Mathew, G., 2012. Lithological discrimination of the phenaimata felsic-mafic complex, Gujarat, India, using the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). *International Journal of Remote Sensing*, 33(1), 198-219.

- Ninomiya, Y., 2002. Mapping quartz, carbonate minerals, and mafic-ultramafic rocks using remotely sensed multispectral thermal infrared ASTER data. In *Thermosense XXIV* (Vol. 4710, pp. 191-202). SPIE.
- Ninomiya, Y., Fu, B., Cudahy, T.J., 2005. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data. *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 127-139.
- Ninomiya, Y., Fu, B., 2010. Regional scale lithologic mapping in western Tibet using ASTER thermal infrared multispectral data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38, 454-458.
- Ninomiya, Y., Fu, B., 2016. Regional lithological mapping using ASTER-TIR data: Case study for the Tibetan Plateau and the surrounding area. *Geosciences*, 6(3), 39.
- Ninomiya, Y., Fu, B., 2019. Thermal infrared multispectral remote sensing of lithology and mineralogy based on spectral properties of materials. *Ore Geology Reviews*, 108, 54-72.
- Özgül, N., 1976. Toroslar'm bazı temel jeoloji özellikleri. *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 19, 65-78.
- Özkan, M., Çelik, Ö.F., Özyavaş, A., 2018. Lithological discrimination of accretionary complex (Sivas, northern Turkey) using novel hybrid color composites and field data. *Journal of African Earth Sciences*, 138, 75-85.
- Öztan, S.N., Lütfi Süzen, M., 2011. Mapping evaporate minerals by ASTER. *International Journal of Remote Sensing*, 32(6), 1651-1673.
- Özyavaş, A., 2016. Assessment of image processing techniques and ASTER SWIR data for the delineation of evaporates and carbonate outcrops along the Salt Lake Fault, Turkey. *International Journal of Remote sensing*, 37(4), 770-781.
- Özyavaş, A., 2020. Susuzdağ ve Tekkedağ (Kapadokya-Türkiye) Çevresindeki Volkanik Kayaçların ASTER Görüntüsü Kullanılarak Haritalanması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63(2), 225-240.

- Pour, A.B., Hashim, M., 2011. Identification of hydrothermal alteration minerals for exploring of porphyry copper deposit using ASTER data, SE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6), 1309-1323.
- Pour, A.B., Hashim, M., 2012. The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits. *Ore geology reviews*, 44, 1-9.
- Qasim, M., Khan, S.D., Haider, R., Rasheed, M.U., 2022. Integration of multispectral and hyperspectral remote sensing data for lithological mapping in Zhob Ophiolite, Western Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(7), 599.
- Rajendran, S., Nasir, S., 2014. ASTER spectral sensitivity of carbonate rocks—Study in Sultanate of Oman. *Advances in Space Research*, 53(4), 656-673.
- Rajendran, S., Nasir, S., 2015. Mapping of Moho and Moho Transition Zone (MTZ) in Samail ophiolites of Sultanate of Oman using remote sensing technique. *Tectonophysics*, 657, 63-80.
- Rajendran, S., Nasir, S., 2019. ASTER capability in mapping of mineral resources of arid region: A review on mapping of mineral resources of the Sultanate of Oman. *Ore Geology Reviews*, 108, 33-53.
- Rani, K., Guha, A., Pal, S. K., Vinod Kumar, K., 2018. Comparative analysis of potentials of ASTER thermal infrared band derived emissivity composite, radiance composite and emissivity–temperature composite in geological mapping of proterozoic rocks in parts of Banswara, Rajasthan. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46, 771-782.
- Rockwell, B.W., Hofstra, A.H., 2008. Identification of quartz and carbonate minerals across northern Nevada using ASTER thermal infrared emissivity data—Implications for geologic mapping and mineral resource investigations in well-studied and frontier areas. *Geosphere*, 4(1), 218-246.
- 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), 350-366.

- Rowan, L.C., Mars, J.C., Simpson, C.J., 2005. Lithologic mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *Remote sensing of Environment*, 99(1-2), 105-126.
- Sabins, F.F., 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore geology reviews*, 14(3-4), 157-183.
- Sarp H., 1976. Etude geologique et petrographique du cortege ophiolitique de la region situee au nord-ouest de Yeşilova (Burdur-Turquie). These, Univ Geneve, 377p
- Sevimli, U.İ., Traore, M., Topak, Y., Tekin, S., 2021. Mineral Propecting and Lithological Mapping Using Remote Sensing Approaches in Between Yazihan-Hekimhan (Malatya) Turkey.
- Singh, A., Harrison, A., 1985. Standardized principal components. *International journal of remote sensing*, 6(6), 883-896.
- Şenel, M., 1997. 1:250.0000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 3 Antalya Paftası. (in Turkish with English abstract)
- Şenel, M., 2004 Stratigraphic and structural features of Yeşilyaprak Nappe in Western Taurus Range and its comparision with the similar units in SE Anatolia and Northern Cyprus. *Bull Min Res Explor* 128:1–26
- Uysal, İ., Ersoy, E. Y., Karşlı, O., Dilek, Y., Sadıklar, M. B., Ottley, C. J., ... & Meisel, T., 2012. Coexistence of abyssal and ultra-depleted SSZ type mantle peridotites in a Neo-Tethyan Ophiolite in SW Turkey: Constraints from mineral composition, whole-rock geochemistry (major–trace–REE–PGE), and Re–Os isotope systematics. *Lithos*, 132, 50-69.
- Topak, Y., Traore, M., Sevimli, U.İ., Tekin, S., 2022. Mineral Exploration and Lithological Mapping Using Remote Sensing Approaches In Between Yazihan-Hekimhan (Malatya) Turkey. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 6(1), 52-61.

- Tözün, K.A., Özyavaş, A., 2020. New logical operator algorithms for mapping of hydrothermally altered rocks using ASTER data: A case study from central Turkey. *Ore Geology Reviews*, 122, 103533.
- Traore, M., Wambo, J.D.T., Ndepete, C.P., Tekin, S., Pour, A.B., Muslim, A.M., 2020a. Lithological and alteration mineral mapping for alluvial gold exploration in the south east of Birao area, Central African Republic using Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) data. *Journal of African Earth Sciences*, 170, 103933.
- Traore, M., Çan, T., Tekin, S., 2020b. Discrimination of iron deposits using feature oriented principal component selection and band ratio methods: Eastern Taurus/TURKEY. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(2), 147-156.
- Traore, M., Çan, T., Tekin, S., 2022. Mapping carbonate-hosted Pb-Zn mineralization zones in Yahyali Province (Eastern Taurus-Turkey) using ASTER data. *Advances in Space Research*, 69(1), 266-281.
- Turan, T.İ., Diker, C., 2022. Remote sensing of Listvenite rock for Kaymaz Gold Deposit, Eskişehir-Türkiye. *Journal of Geochemical Exploration*, 243, 107110.
- Xiong, Y., Khan, S. D., Mahmood, K., Sisson, V.B., 2011. Lithological mapping of Bela ophiolite with remote-sensing data. *International journal of remote sensing*, 32(16), 4641-4658.
- Van der Meer, F.D., Van der Werff, H. M., Van Ruitenbeek, F. J., Hecker, C.A., Bakker, W. H., Noomen, M.F., van der Meijde, M., Carranza, E.J.M., de Smeth, J.B., 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., Kopačková, V., Koucká, L., van der Werff, H. M., van Ruitenbeek, F. J., Bakker, W.H., 2018. Wavelength feature mapping as a proxy to mineral chemistry for investigating geologic systems: An example from the Rodalquilar epithermal system. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 64, 237-248.
- Yajima, T., Yamaguchi, Y., 2013. Geological mapping of the Francistown area in northeastern Botswana by surface temperature and spectral emissivity information derived from

Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared data. *Ore Geology Reviews*, 53, 134-144.

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.

Yang, W., Zheng, Y., Chen, S., Duan, X., Zhou, Y., Xu, X., 2023. Chromite-Bearing Peridotite Identification, Based on Spectral Analysis and Machine Learning: A Case Study of the Luobusa Area, Tibet, China. *Applied Sciences*, 13(16), 9325.

Zhang, R., Zeng, M., 2018. Mapping lithologic components of ophiolitic mélanges based on ASTER spectral analysis: A case study from the Bangong-Nujiang Suture Zone (Tibet, China). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(1), 34.