



Akdağmadeni (Yozgat) kurşun-çinko yataklarının otomatik çizgisellik analizi ile değerlendirilmesi

Evaluation of Akdağmadeni (Yozgat) lead-zinc deposits with automatic lineament analysis

Oktaý Canbaz^{1,*} 

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

Öz

Bu çalışma, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak metalik madenler açısından zengin olan Akdağmadeni (Yozgat) bölgesinin yapısal özelliklerini ortaya çıkarmayı ve bu tekniklerin maden arama çalışmalarındaki önemini konu almıştır. Bölgedeki Pb-Zn cevherleşmeleri, granit-mermer dokanaklarında ve metamorfikler içerisinde yer almaktadırlar. Bu cevherleşmeler, K70°-80°D doğrultulu faylar boyunca hareket eden hidrotermal çözümlerle oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki bu doğrultuya sahip çizgiselliklerin ortaya çıkarılması bölgedeki madencilik faaliyetleri için oldukça önemlidir. Arazi çalışmalarını zorlaştıran bitki örtüsü ve sarp topografya nedeniyle bu çizgisellikler uzaktan algılama teknikleri kullanılarak çıkarılmaya çalışılmıştır. Çalışmada, ASTER LIT ve ASTER GDEM verilerine uygulanan farklı aydınlatma ve yönlü Kernel filtresi sonucunda elde edilen harita ve görüntülerden yararlanılmıştır. Bu görüntülere otomatik çizgisellik analizleri uygulanarak bölgenin çizgisellikleri ortaya çıkarılmıştır. Yoğun tektonizma izlerinin hâkim olduğu bölgede hedefe yönelik sonuçlar elde etmek için, 135°'lik aydınlatma açısı ile hazırlanan DEM verisi ile 90°'li doğrusal filtreleme uygulanan PC1 görüntüsüne uygulanan çizgisellik analizlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Yoğun bitki örtüsü nedeniyle GDEM verilerinden elde edilen sonuçlar uydu görüntüsüne göre daha iyi performans sergilemiştir. Çizgisellik haritalarındaki sonuçların bölgedeki mevcut cevherleşmeler ile uyumlu sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle, granitik ve metamorfik kayaların dokanaklarında her iki birimi kesen çizgisellikler Pb-Zn cevherleşmesi için yeni hedef sahaları oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: ASTER, Çizgisellik analizi, Kurşun-çinko, Hidrotermal, Metalik maden

1 Giriş

Yapısal unsurlardan fay, kıvrım, çatlak gibi çizgiselliklerin belirlenmesi metalik ve/veya metalik olmayan madenler ile petrol aralamalarında oldukça önemlidir. Bu özelliklerin belirlenmesinde yüksek maliyetli yoğun arazi çalışmalarına gereksinim duyulur. Bu çalışmalarda, sarp topografya, ulaşılamayan noktalar ve yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanlarda yeterli gözlem ve arazi

Abstract

This study focuses on the extraction of the structural features of the Akdağmadeni (Yozgat) region, which is rich in metallic minerals, by using remote sensing techniques, and its importance of these techniques in mineral exploration studies. Pb-Zn mineralizations in the region are located in granite-marble contacts and within metamorphics. These mineralizations were formed by hydrothermal fluids moving along faults in N70°-80°E directions. Extracting the lineaments in this direction is very important for mining activities in the region. Due to the vegetation and steep topography that complicates the field studies, these lineaments were tried to be detected by using remote sensing techniques. In the study, maps and images obtained as a result of different lighting and directional Kernel filter applied to ASTER LIT and ASTER GDEM data were used. The lineaments of the region were extracted by applying automatic lineament analysis to these images. In order to obtain targeted results in the region dominated by intense tectonism trends, the results of the lineament analyze applied to the GDEM data prepared with a lighting angle of 135° and the PC1 image applied to the 90° directional filtering were evaluated. Due to the intense vegetation, the results obtained from the GDEM data showed better performance than the satellite image. It was determined that the results in the lineament maps showed consistent results with the existing mineralizations in the region. In particular, the lineaments that cut both units at the contacts of granite and metamorphics show new target areas for Pb-Zn mineralizations.

Keywords: ASTER, Lineament analysis, Lead-zinc, Hydrothermal, Metallic deposits

çalışması yapılamadığı için tespit edilen yapısal özelliklerde eksiklikler olabilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu çalışmalar, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleriyle desteklenerek yararlı sonuçlar ortaya konmaya başlamıştır [1]. Özellikle yüksek çözünürlüklü multispektral uydu verileri ve dijital görüntü işleme teknikleri, uzaktan algılama ile jeolojik çizgisellikleri yüksek doğrulukta çıkarma potansiyelini arttırmıştır [2]. Jeolojik

çizgisellik çıkarımlarına ait çalışmalar manuel çıkarım [3], yarı-otomatik çıkarım [4] ve otomatik çıkarım [5], [6] olarak gruplandırılmaktadır [7]. Uzaktan algılama çalışmaları ile yapısal özelliklerin ortaya çıkarılmasına yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [8–23].

İnceleme alanı, farklı araştırmacılar tarafından Akdağmadeni Litodemi, Akdağmadeni Masifi, Kırşehir Masifi ve Orta Anadolu Kristalin Masifi şeklinde tanımlanan, magmatik ve metamorfik kayalardan oluşan bir temel üzerinde yer almaktadır [24]. Tektonik olarak, kuzeyde İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu, batıda Tuzgölü Fayı, doğuda ise Ecemiş Fay Zonu ile sınırlanmaktadır (Şekil 1). Bölgenin kayaç çeşitliliğinde ve günümüzdeki jeomorfolojik yapısını kazanmasında, Tetis okyanusunun güney ve kuzey kolları arasında kalan bölgede yer alması önemli bir rol oynamaktadır [25]. Akdağmadeni (Yozgat) bölgesi tektonizma ile ilişkili metalik cevherleşmeler açısından zengin bir bölgedir [26]. Bu cevherleşmeler, özellikle yoğun bitki örtüsüyle kaplı ve yüksek engebeli topografyaya sahip alanlarda konumlanmaktadır (Şekil 2). Bu nedenle, bölgede tektonizma ile ilişkili çizgiselliklerin arazi çalışmaları ile ortaya çıkarılması oldukça zor ve yüksek maliyetler gerektirmektedir.

Akdağmadeni (Yozgat) bölgesinde otomatik çizgisellik analizleri ile bölgenin yapısal özelliklerinin ortaya çıkarılması ve yeni hedef sahaların tespiti bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Çalışmada Gelişmiş Uydu-Bazlı Isıl Yayım ve Yansıtım Radyometresi (ASTER) ve ASTER Küresel Dijital Yükseklik Haritası (GDEM) verilerinden yararlanılmıştır. Bu verilerin, yoğun bitki örtüsüne sahip alanlardaki performansı değerlendirilmiştir.

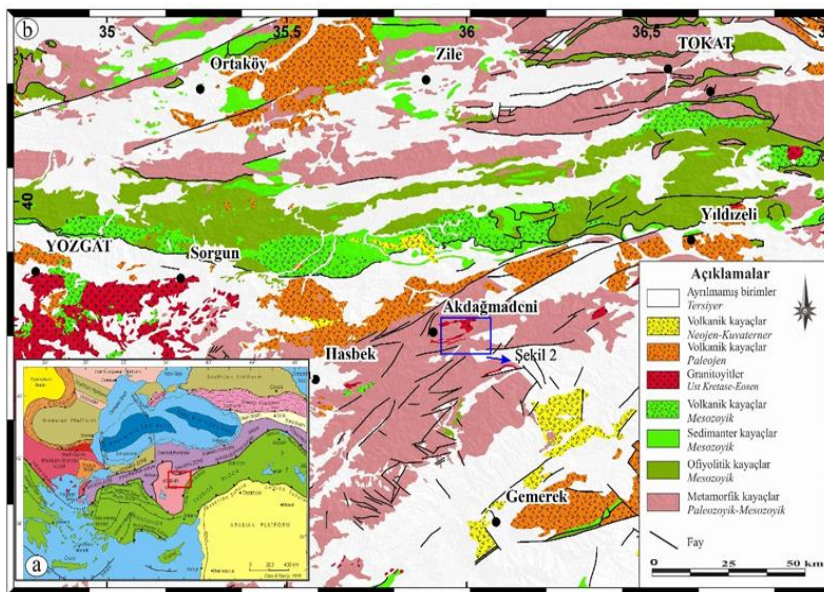
2 Jeoloji ve cevherleşme özellikleri

Çalışma alanının en yaşlı temel kayalarını oluşturan Akdağmadeni metamorfikleri, gnays, şist, mermer, amfibolit ve felsler (skarn) ile bu birimlerin farklı bileşimlerde

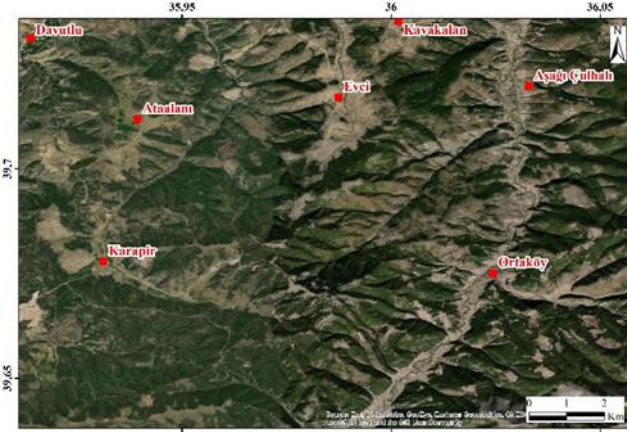
metamorfik türevlerinden oluşmaktadır [29–39]. Bu birimleri keser konumda yüzeyleyen granitoidler modal minerolojik bileşimlerine göre kuvars monzonit [32], jeokimyasal olarak ise kuvars monzonit ve granit [24] bileşimine sahiptirler. Ayrıca, mermerler ile granitlerin dokunaklarında gelişen felsler [40] ve/veya skarn [24] türü kayalar da bulunmaktadır. Bu birimler Eosen ve Kuvaterner aralığında farklı yaşlarda sedimanter kayalar tarafından örtülmektedir (Şekil 3).

Cevherleşmeler, metamorfik kayaları keserek bölgeye yerleşen granitik bileşimli kayalarla ilişkilidirler. Bunlar özellikle granitik bileşimli kayalar ile birimi çevreleyen metamorfik kayaların dokanağında skarn şeklindedir. Ayrıca, metamorfik kayalar içerisinde faylar, çatlaklar ve zayıf tabaka düzlemleri boyunca da gözlenirler [33]. Bölgede gözlenen Pb-Zn cevherleşmelerini masif, saçınımlı ve boşluk dolgusu şeklinde üç farklı tipe tanımlanmıştır [33]. Kalınlıkları yaklaşık 40 metreye ulaşan masif yapıda cevherleşmeler skarn zonlarında gelişmiştir [33]. İkinci önemli masif cevherleşme fay zonlarında gözlenmektedir. KD doğrultulu faylanmalar içerisinde Pb-Zn cevherleşmesinin yanı sıra eski dönemlerde işletilmiş manyetit damarları da bulunmaktadır [33]. Sağiroğlu [33] bölgede farklı lokasyonlarda cevherleşmelerin gözlemlendiği fay zonlarının doğrultularının yaklaşık K70-80°D olduğunu araştırmalarında vurgulamaktadır.

Bölgedeki yoğun tektonizma cevherleşmelere neden olan hidrotermal çözeltilerin metamorfik kayaların içerisindeki hareketini kolaylaştırmıştır. Vache [29], bölgede ana fay doğrultularının metamorfiklerde K20°B ile K60°D arasında, granitik kayalarda ise K10°B ile K70°D arasında değiştiğini saptamıştır. Ayrıca, Sağiroğlu [33] ise, özellikle K70-80°D doğrultulu fayların metamorfik kayalardan itibaren granitik kayaların içine kadar devam etmesi nedeniyle bu doğrultulardaki fayların cevherleşmede önemli rol oynadıklarını belirtmişlerdir.



Şekil 1. (a) Türkiye tektonik haritası [27] (b) bölgesel jeoloji haritası ([28]'den değiştirilmiştir)



Şekil 2. Çalışma alanı Google Earth görüntüsü

3 Materyal ve yöntem

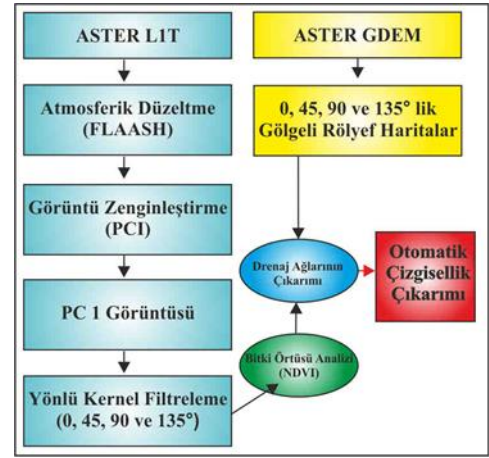
3.1 Materyal

Çalışmada, jeolojik çizgisellikleri ortaya çıkarmak için ASTER LIT ve ASTER GDEM 30 m mekânsal çözünürlüklü verilerinden yararlanılmıştır. 23 Eylül 2002 tarihli ve %10'dan az bulut içeren ASTER uydu verisi Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmaları Kurumu internet sitesinden (<http://earthexplorer.usgs.gov>) ücretsiz olarak temin edilmiştir. 1999 Aralık ayında uzaya konumlandırılan bu uydu, 60 m şerit genişliğine sahip olup, 15 m mekânsal çözünürlüğe sahip 3 adet görünür-yakın kızılötesi (VNIR), 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip 6 adet kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve 90 m mekânsal çözünürlüğe

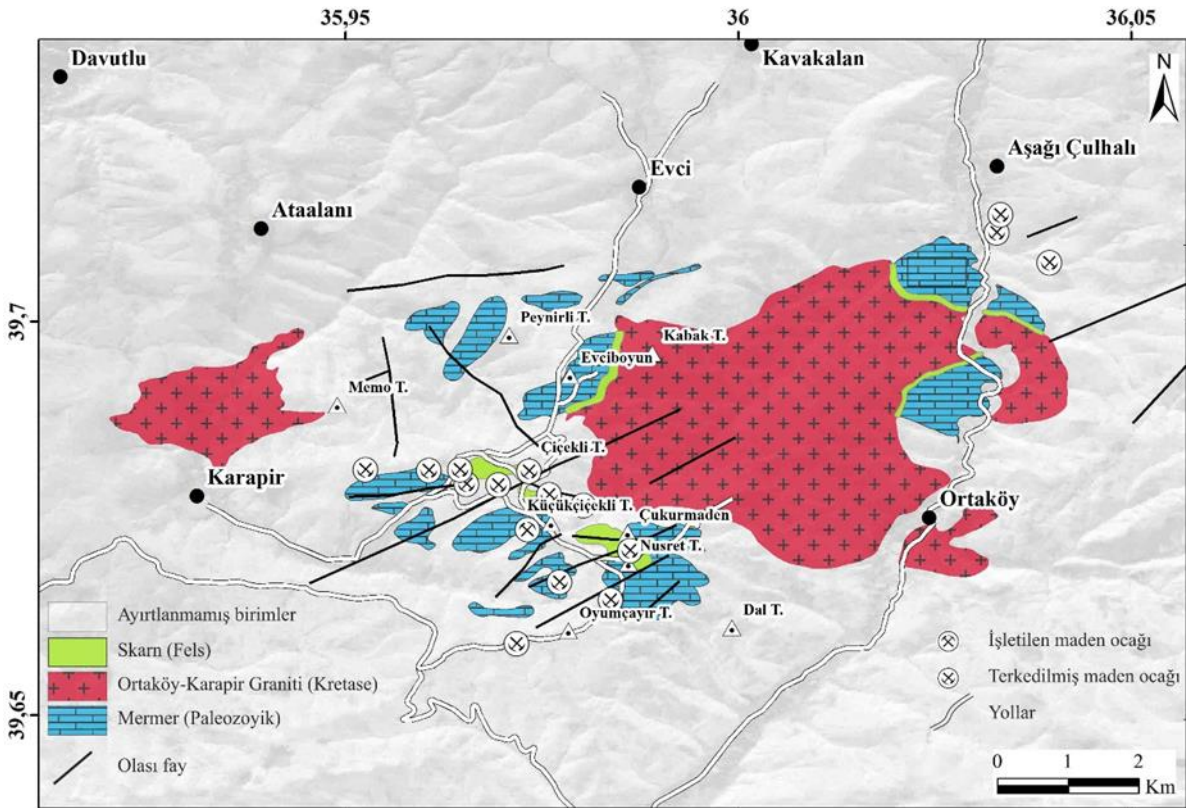
sahip 5 adet termal (TIR) olmak üzere toplam 14 spektral banttan oluşmaktadır [41].

3.2 Yöntem

Çalışmada uygulanan yöntemler Şekil 4'te verilmiştir. Uydu verilerinde buğu, su buharı gibi atmosferik etkileri ortadan kaldırmak ve radyans-yansıma değerlerini kalibre etmek için düzeltme uygulanması gerekmektedir. Bu işlem için ENVI yazılımının Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) aracı kullanılmıştır. Çizgisellik analizi için kullanılan bantlar farklı mekânsal çözünürlüğe sahip oldukları için çalışmada kullanılacak kompozit görüntü 30m' ye yeniden örneklendirilmiştir.

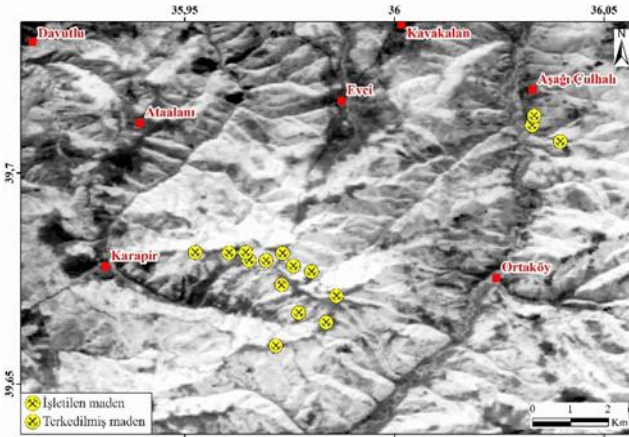


Şekil 4. Çalışmada uygulanan yöntemlere ait akış şeması



Şekil 3. Çalışma alanı basitleştirilmiş yerel jeoloji haritası ([24], [40]'dan değiştirilmiştir.)

Atmosferik düzeltmesi yapılan ASTER uydu görüntüsüne yapısal unsurları daha belirgin hale getirmek amacıyla görüntü zenginleştirme yöntemlerinden ana bileşenler dönüşümü (PCA) uygulanmıştır. PCA, görüntüdeki orjinal verileri, yeni ana bileşen eksenine dönüştürerek görüntüdeki benzerlikleri azaltır ve farklılıkların açığa çıkmasını dolayısıyla görsel yorumlanabilirliğin artmasını sağlar [42–47]. Bu dönüşümün amacı n sayıda giriş kanalının n'den daha az sayıda bileşen oluşturmasıdır [47,48]. Analize istenilen sayıda bant girilmesine karşılık, analiz sonucunda çıkan verinin birinci bileşeni en yüksek (%95) varyansı içerir. İkinci bileşen ise birinci bileşende tanımlanmamış verileri tanımlar. Son bantlar ise minimum varyans maksimum korelasyon içerdiğinden görüntü yorumlamada tercih edilmez [49]. ASTER VNIR ve tüm SWIR bantlar olmak üzere elde edilen kovaryans değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir. PC1 görüntüsü, jeolojik birimlerin, yapısal unsurların ve görüntüde var ise yol, elektrik iletim hatları gibi insansı yapıların kenar sınırlarını keskin ve çok belirgin ortaya çıkarabildiği için analizlerde kullanılmak üzere tercih edilmiştir (Şekil 5)



Şekil 5. Ana bileşenler dönüşümü PC1 sonuç görüntüsü.

PC1 sonuç görüntüsüne çizgisel yapıları ortaya çıkarmak amacıyla yüksek geçirgen konvolüsyon yönlü Kernel boyutu (5x5) piksel boyutlu filtreleme uygulanmıştır. Yönlü filtreler uygulamanın ana amacı, görüntünün bulanıklığını azaltarak ve keskinleştirerek herhangi bir doğrusal şekli (kırıklar ve kusurlar) tespit etmektir [50]. Çalışmada, yüksek engebeli topografyaya sahip bu bölgenin farklı doğrultulara sahip çizgiselliklerini ortaya çıkarmak için filtreleme 0°, 45°, 90° ve 135° olmak üzere dört farklı yönde uygulanmıştır (Şekil 6).

Uydu görüntülerinde görüntü zenginleştirme ve çizgisellik çıkarımlarında bitki örtüsü etkisini değerlendirmek gerekmektedir. Normalleştirilmiş Farklılık Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), uydu görüntülerinde bitki örtüsünü ortaya çıkarmada kullanılmakta olup bitki örtüsü yoğunluğunu anlamada ve bitki sağlığındaki değişiklikleri değerlendirmede yararlıdır [51]. NDVI, geleneksel biçimde kırmızı (R) ve yakın kızılötesi (NIR) değerleri arasındaki bir oran olarak hesaplanmaktadır [51].

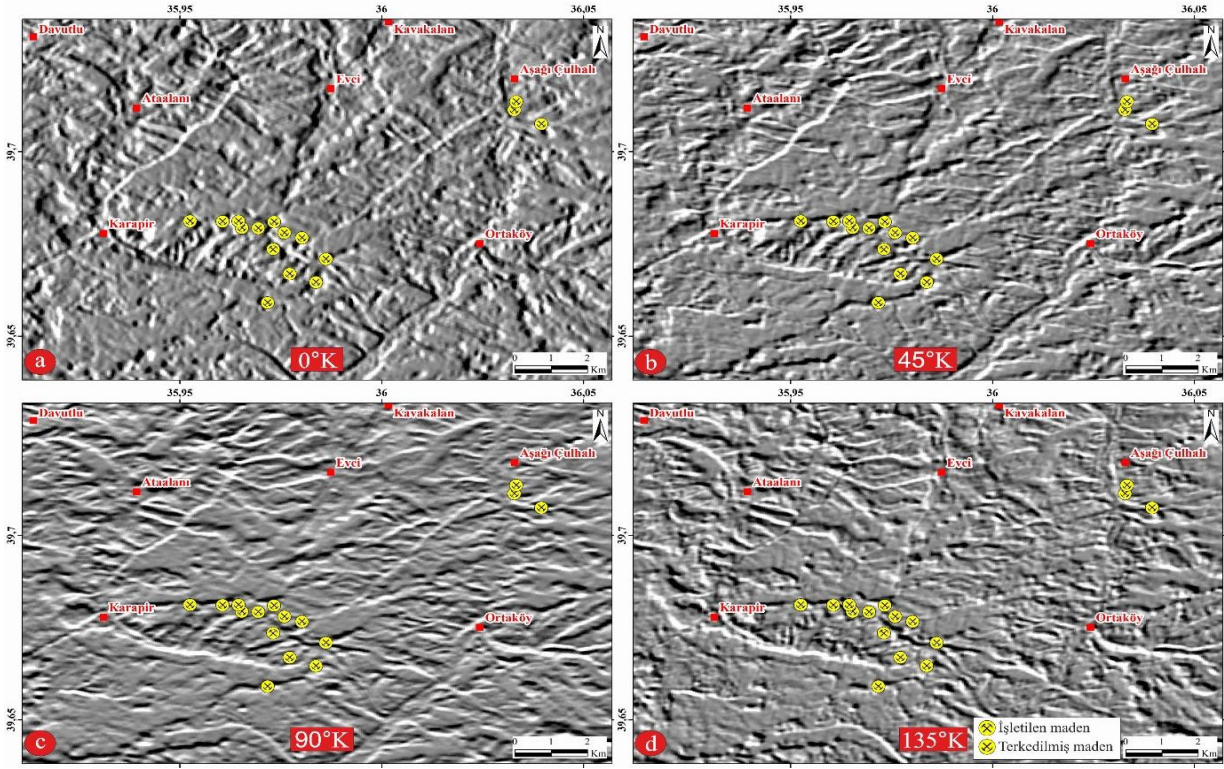
Çalışma alanının yoğun bitki örtüsüyle kaplı olması nedeniyle, atmosferik olarak düzeltilmiş ASTER uydu görüntüsünün 2 ve 3N bantları kullanılarak NDVI hesaplaması yapılmıştır. Bu işlemde kullanılan hesaplama Denklem (1)'de gösterilmektedir. NDVI'nin değeri -1 ile +1 arasında değişir ve 1 maksimum yeşillik seviyesini gösterir [52]. Bant 3, NIR'nin spektral yansımasıdır ve Bant 2 ise kırmızı bantın spektralini temsil eder (Şekil 7).

$$NDVI = (\rho_{bant3} - \rho_{bant2} / \rho_{bant3} + \rho_{bant2}) \quad (1)$$

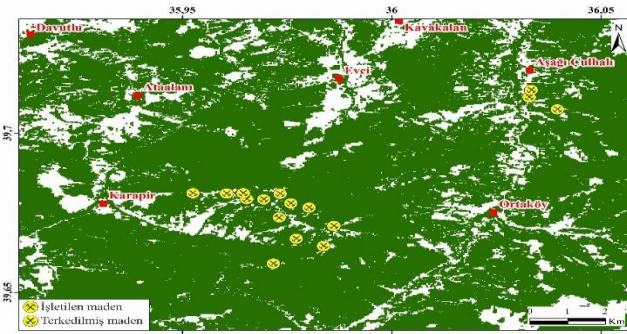
ASTER GDEM verileri, bir bölgenin topoğrafik yapısını ortaya çıkarmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle faylar, kıvrımlar ve akarsu drenaj ağları gibi çizgisel yapıların belirgin hale getirilmesinde oldukça sık tercih edilmektedir [53–55].

Tablo 1. ASTER uydu görüntüsünün 9 bandına uygulanan ana bileşenler dönüşüm analizi kovaryans değerleri

	Bant 1	Bant 2	Bant 3	Bant 4	Bant 5	Bant 6	Bant 7	Bant 8	Bant 9	Eigen değeri (%)
PC1	0.0011	0.0014	0.0010	0.0019	0.0014	0.0015	0.0015	0.0014	0.0012	94.998
PC2	0.0014	0.0019	0.0013	0.0025	0.0019	0.0020	0.0021	0.0019	0.0017	2.894
PC3	0.0010	0.0013	0.0015	0.0020	0.0014	0.0015	0.0015	0.0013	0.0012	1.381
PC4	0.0019	0.0025	0.0020	0.0038	0.0028	0.0030	0.0030	0.0027	0.0024	0.258
PC5	0.0014	0.0019	0.0014	0.0028	0.0021	0.0023	0.0023	0.0021	0.0018	0.153
PC6	0.0015	0.0020	0.0015	0.0030	0.0023	0.0024	0.0024	0.0022	0.0019	0.121
PC7	0.0015	0.0021	0.0015	0.0030	0.0023	0.0024	0.0025	0.0023	0.0020	0.074
PC8	0.0014	0.0019	0.0013	0.0027	0.0021	0.0022	0.0023	0.0020	0.0018	0.063
PC9	0.0012	0.0017	0.0012	0.0024	0.0018	0.0019	0.0020	0.0018	0.0016	0.058



Şekil 6. PC1 görüntüsünden üretilen dört yönlü filtrelenmiş görüntüler



Şekil 7. NDVI analizi sonuç görüntüsü (Yeşil pikseller bitki örtüsünü temsil etmektedir)

Günümüzde GDEM verilerini kullanarak gölgeli rölyef haritalar oluşturabilen birçok yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımlarda, bölgenin yükseklik modeli çıkarılırken farklı aydınlatma açıları seçilebilir. Bu çalışmada, ArcGIS yazılımı kullanılarak bölgeye ait 0°, 45°, 90° ve 135°'lik açılarda olmak üzere 4 farklı gölgeli rölyef haritası oluşturulmuştur (Şekil 8).

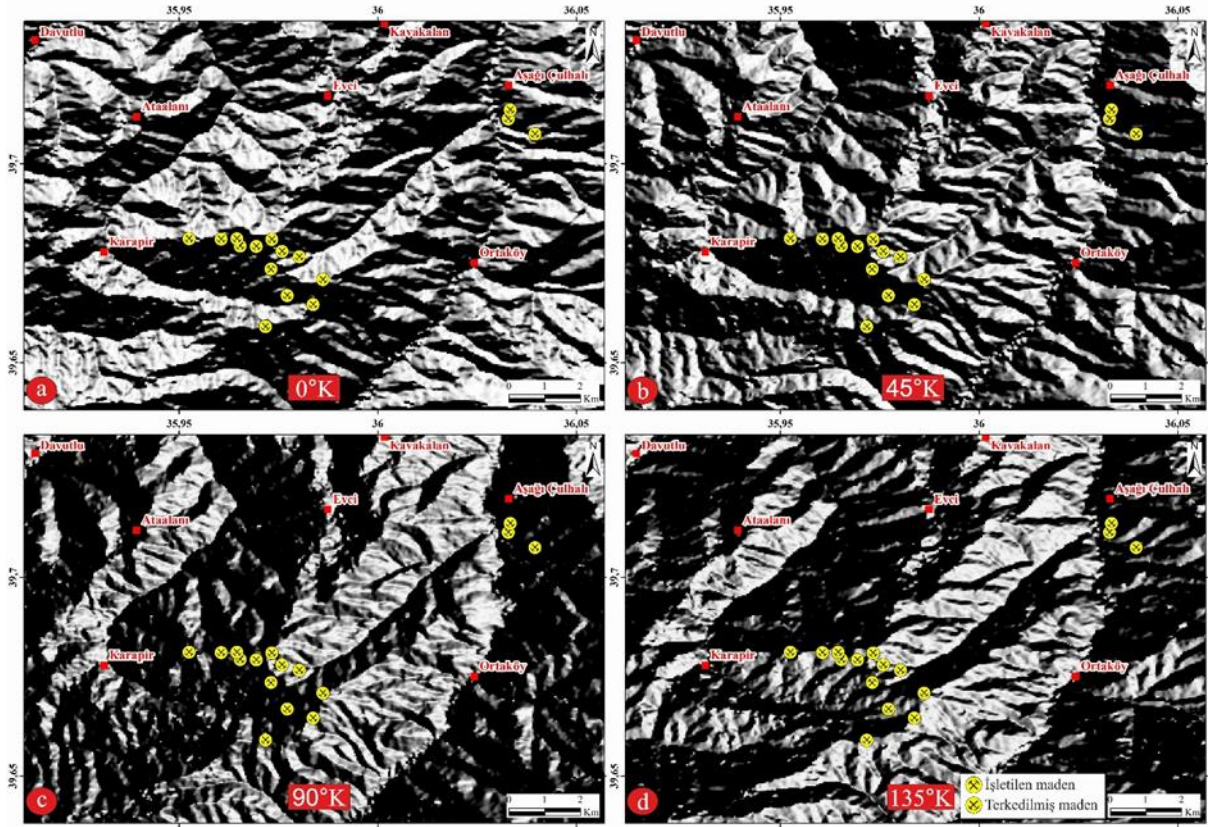
Jeolojik çizgiselliklerin çıkarılmasında arazi çalışmalarının yanı sıra bilgisayar temelli yazılımlar da kullanılmaktadır. Bu yazılımlarda ilgili veri seti üzerinden manuel, yarı otomatik ve otomatik olarak çizgisellik çıkarımı gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemlerden otomatik çizgisellik çıkarım analizleri basit, hızlı ve kullanışlı veriler sunabilmektedir. Bu çalışmada, çizgisellikleri otomatik olarak çıkarmak amacıyla PCI Geomatica 2015 yazılımının LINE modülünden yararlanılmıştır. Analizlerde, farklı açılarda üretilen gölgeli

rölyef haritalar ile yönlü filtrelenmiş PC1 görüntüler kullanılmıştır. Kullanılan algoritmada uygulanan parametre değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. LINE algoritmasında bu çalışmada kullanılan parametre değerleri

RADI	GTHR	LTHR	FTHR	ATHR	DTHR
10	100	30	3	30	20

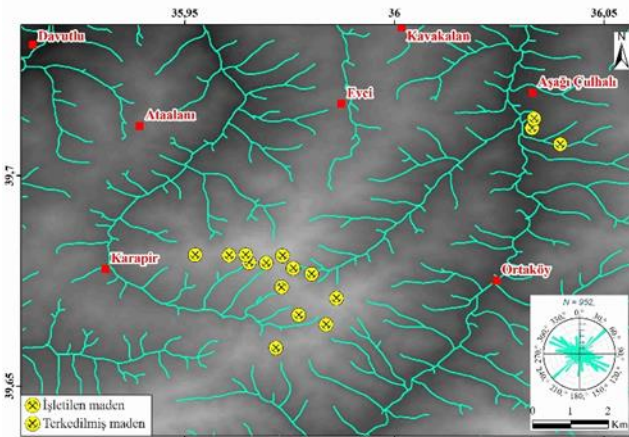
Algoritmanın ilk parametresi olan RADI (Radius of filter pixels), Gauss fonksiyonu ile görüntüde filtreleme yapar. RADI değeri bu fonksiyonun çapını belirlemek için kullanılan bir parametredir. Bu filtre, yerel görüntü varyasyonlarını geliştirmek için keskin olmayan maskeleyi kullanır. Yüksek frekans bileşenlerini geliştirmek için görüntünün düşük geçiş (Gauss Düşük Geçiş) versiyonunu çıkararak çalışır [56]. Değer ne kadar küçük olursa daha fazla detay tespit edilebilir. İkinci aşamada olan GTHR (Threshold for Edge Gradient), kenar yakalama işleminden elde edilen raster verisinin ikili görüntüye dönüştürülmesinde kullanılan eşik değeridir. Algoritmanın son basamağında ise ikili görüntüye eğri yakalama işlemi uygulanır. Eğri yakalama işlemi dört alt aşamadan oluşur. Öncelikle, istenilen çizgisellikleri belirlemek için LTHR (Threshold for Curve Length) parametresi kullanılır. Uyumlu çizgisellik vektörleri FTTH (Line Fitting Threshold) parametresi ile belirlendikten sonra tanımlanan açısal eşik değerlerine (ATHR: Threshold for Angular) ve aralık eşik değerinden (DTHR: Threshold for Linking Distance) küçük olanlara göre birleştirilerek vektörel olarak çıktı alınır [57,58].



Şekil 8. GDEM verilerinden dört farklı açıda üretilen gölgeli rölyef haritalar

Yazılımdan elde edilen sonuçlar ArcGIS programında kullanılmak üzere '.shp' uzantılı vektör dosya formatına çevrilmiştir.

Çizgisellik çıkarımlarında, faylanmalarla akarsu drenaj ağlarının ilişkisine bakmak gerekmektedir. Bu nedenle, GDEM verisinden Global Mapper yazılımı kullanarak bölgenin drenaj ağ haritası çıkarılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Çalışma alanına ait akarsu drenaj ağ haritası

4 Bulgular ve tartışma

Bölgede tespit edilmiş, günümüzde işletilen ve/veya terk edilmiş cevherleşmelere ait yapısal özelliklerin ve yataklanma şekillerinin belirlenmesi bu çalışmanın önemli

adımlarından bir tanesini oluşturmaktadır. Literatür çalışmalarından elde edilen verilere göre bölgede tespit edilen kurşun-çinko cevherleşmeleri granitik bileşimli kayalar ile metamorfik kayaların (mermer) dokanağında skarn tipi, metamorfikler içerisinde ise damar tipi cevherleşmeler şeklinde gözlenmektedir. Bu cevherleşmelere neden olan hidrotermal çözeltilerin ise granitik kayaları keser konumunda bulunan faylar boyunca hareket ettiği ve ürünlerini bu zonlar boyunca bıraktıkları öngörülmektedir [33]. Bu nedenle, çalışmada çizgiselliklerin uzaktan algılama yöntemleri ile ortaya çıkarılmasının bölgedeki madencilik faaliyetlerine büyük katkılar sunacağı düşünülmektedir.

Bununla birlikte Akdağmadeni bölgesinde olduğu gibi yoğun bitki örtüsü, sarp topografya ve yüksek kotlara sahip alanlar arazi çalışmalarını zorlaştırmakta ve maliyetleri artırmaktadır. Bu nedenle, bu tür sahalarda daha az maliyetli ve hızlı sonuçlar ortaya çıkarabilen uydu görüntüleri ve DEM verilerinden yararlanmak fayda sağlamaktadır [50, 59]. Bu çalışmada, ASTER verilerinden yararlanılmış olup bölgedeki çizgisellikleri ortaya çıkarmak amacıyla PCA uygulanmış ASTER LIT görüntüsünden filtrelenmiş görüntüler ve ASTER GDEM dört farklı aydınlatma açısı (0°, 45°, 90° ve 135°) ile gölgeli rölyef üretilmiştir.

Otomatik çizgisellik analizleri ilk olarak, ASTER uydu görüntüsünden üretilen PC 1 sonuç görüntüsüne farklı yönlerde doğrusal Kernel filtrelemesi uygulanarak elde edilmiş görüntülere uygulanmıştır. 4 farklı görüntüden elde

edilen çizgisellikler tek bir görüntü üzerinde birleştirilmiş ve tüm görüntülerdeki çizgiselliklerin gül diyagramları ayrı ayrı hazırlanmıştır. Buna göre, elde edilen çizgiselliklerin ana doğrultuları 0° filtre açısına sahip görüntüde K60°B ile K10-50°D, 45° açısına sahip görüntüde K40-70°D, 90° açısına sahip görüntüde K70°D, D-B ve K80°B ve 135° açısına sahip görüntüde ise K40-80°B olarak belirlenmiştir (Şekil 10a).

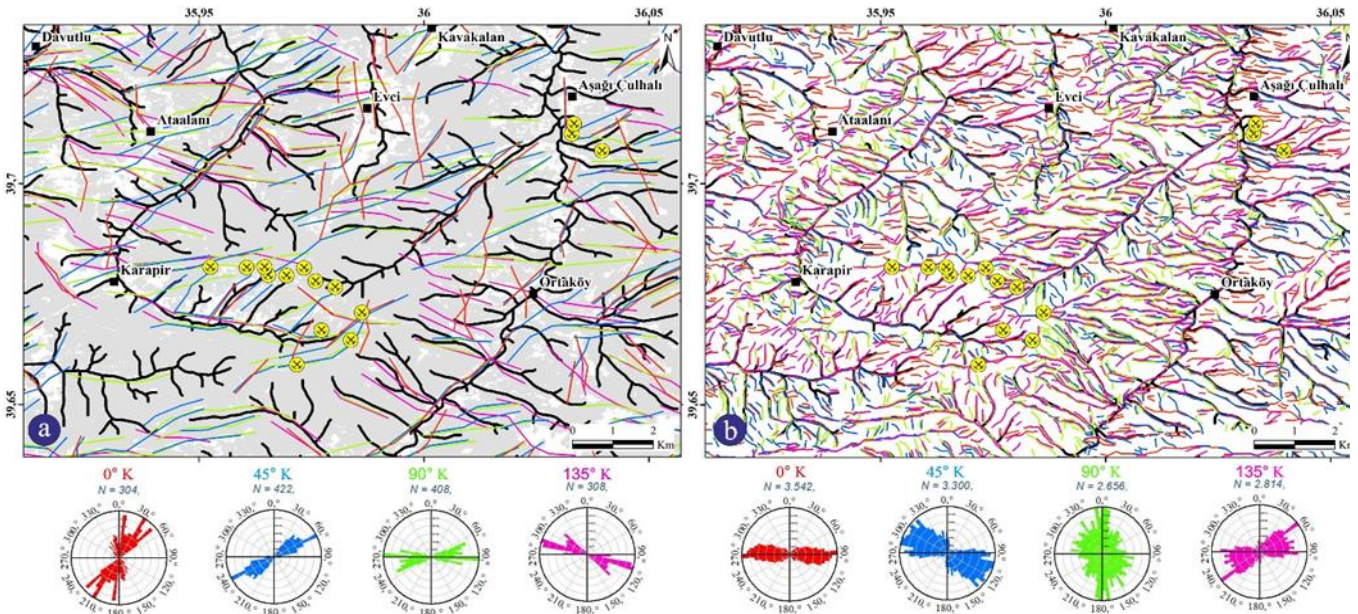
İkinci olarak, GDEM verisinden elde edilen farklı aydınlatma açılarına sahip gölgeli rölyef haritalarına çizgisellik analizi uygulanmıştır. Farklı aydınlatma açıları ile oluşturulmuş tüm haritalardaki çizgisellikler tek bir haritada gösterilmiş ve her haritada belirlenen çizgisellikler ayrı ayrı gül diyagramları hazırlanarak değerlendirilmiştir (Şekil 10b). Çizgiselliklerin genel doğrultusu, 0° aydınlatma açısına sahip gölgeli rölyef haritasında, K80°D ile D-B, 45° aydınlatma açısına sahip rölyef haritada K40-80°B ve D-B olarak belirlenmiştir. 90° açısına sahip rölyef haritada çizgisellikler çok yönlü bir dağılım gösterse de ana doğrultu K-G'dir. 135° aydınlatma açısına sahip rölyef haritada ise ana doğrultular K60°D ile D-B olarak belirlenmiştir.

Uygulanan çok yönlü aydınlatma açısı ve filtreleme işlemlerinde birçok çizgisellik çakışmasına rağmen, birbirini tamamlayan çizgisellikler de tespit edilebilmiştir. İki veriye ait sonuçlar karşılaştırıldığında GDEM verilerinden elde edilen çizgiselliklerin PC1 uydu görüntüsüne göre daha yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 10b). Bununla birlikte her iki görüntüden elde edilen çizgisellikler benzer doğrultulara sahiptir. Otomatik çizgisellik çıkarımlarında faylar, kıvrımlar gibi yapısal unsurlar dışında akarsu drenaj ağları, yol, yerleşim yeri, yüksek gerilim hatları, bitki örtüsü ve tarımsal alanlardan kaynaklı farklı çizgisellikler de üretilir [60]. Analizlerde tespit edilebilen bu tür çizgisellikler de yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden belirlenebilmektedir [59]. Çalışma alanı içerisinde yoğun bitki örtüsü ve sarp topoğrafya nedeniyle ulaşım amaçlı

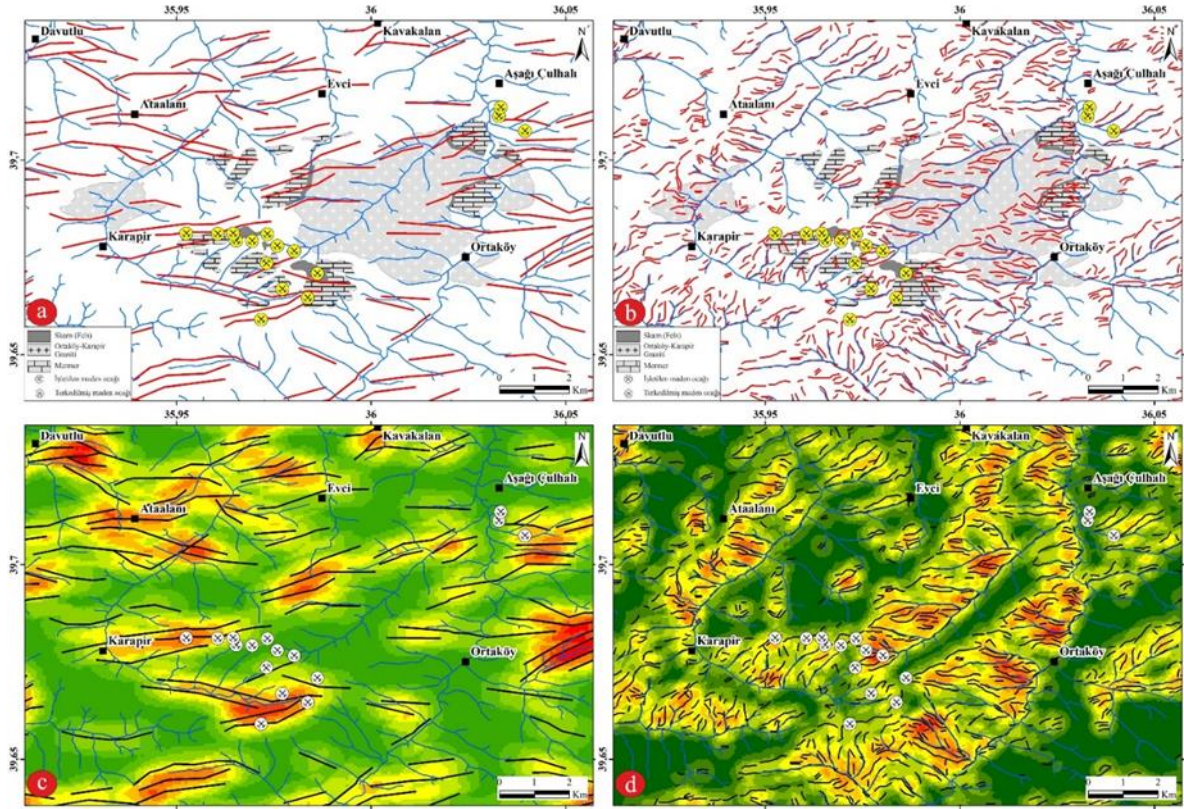
yollar, tarımsal alanlar gibi insan kaynaklı yapılar yok denecek kadar az olup, uydu görüntüleri ile tespit edilenler sonuç çizgisellik haritalarından çıkarılmıştır. ASTER L1T uydu görüntüsüne uygulanan NDVI analizi sonucuna göre, çalışma alanının neredeyse tamamının bitki örtüsü ile kaplı olduğu görülmektedir (Şekil 10a). Çizgisellikler genellikle bitki örtüsünün olmadığı ve seyrekleştiği alanlarda daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Bunun en büyük nedenlerinden bir tanesi akarsu yataklarıdır. GDEM verilerinde doğrudan topoğrafya bilgisi bulunması GDEM verilerinden üretilmiş haritalarda drenaj ağının da belirgin bir şekilde ortaya çıkmasına, bitki örtüsü yoğunluğu ise PC1 görüntülerinde daha az çizgiselliğin tespit edilmesine sebep olmuştur. Her iki sonuç görüntüsüne ait çizgiselliklerin değerlendirilmesinde drenaj ağlarının dikkate alınması gerekmektedir. Her iki sonuç görüntülerine ait çizgiselliklerin değerlendirilmesinde akarsu drenaj ağları dikkate alınması gerekmektedir. PC 1 görüntüsünde bitki örtüsü akarsu yataklarının görünürliğini azalttığı için bitki örtüsünün olmadığı ve/veya seyrekleştiği alanlarda ki çizgiselliklerin bazılarının drenaj ağları ile çakıştığı belirlenmiştir (Şekil 10a). GDEM verilerinde ise akarsu yataklarının neredeyse tamamı üretilen çizgisellikler ile örtüşmektedir (Şekil 10b).

Literatüre göre çalışma alanında granitik ve metamorfik kayalarda KB ve KD doğrultu fayların etkili olduğu belirtilmektedir [33]. Akarsu drenaj ağı haritasından hazırlanan gül diyagramında da KB ve KD ana doğrultuları oluşturmaktadır (Şekil 8). Ayrıca, çalışma alanında yüzeyleyen granitik ve metamorfik kayalar (foliasyon düzlemleri hariç) gibi sert ve masif kayalarda akarsu yataklarının faylar tarafından oluşturabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, akarsu yatakları ile çakışan çizgiselliklerin arazi çalışmaları ile kontrol edilmesi gerekmektedir.



Şekil 10. Dört farklı ışıklandırma ve filtreleme açılarına sahip gölgeli rölyef harita ve görüntülerden elde edilen çizgisellikler. (a) PC1 görüntüsünden (Gri pikseller bitki örtüsünü göstermektedir), (b) GDEM verisinden. (Renkler aydınlatma ve filtreleme açılarını, siyah renkli çizgisellikler drenaj ağını göstermektedir)



Şekil 11. PC1 görüntüsünde ise 90°'lik yönlü filtreleme uygulanan görüntü ile GDEM verisinde 135°'lik ışıklandırma açısı oluşturulan gölgeli rölyef haritasından elde edilen çizgisellik analizi sonuçları (a) PC 1, (b) GDEM, (c) PC1 görüntüsünde çizgisellik yoğunluğu, (d) GDEM sonuçlarında çizgisellik yoğunluğu. Mavi renkli çizgisellikler drenaj ağını göstermektedir

Çizgisellik analizlerinde elde edilen farklı doğrultulara sahip çizgisellikler yorumlama açısından karmaşıklığa sebebiyet verebilmektedir. Çalışma alanında, kurşun-çinko cevherleşmelerinin K70-80°D doğrultulu faylar ile ilişkili olduğu bilinmekte olup, analizlerde elde edilen ve bu doğrultu aralığındaki çizgiselliklerin daha gerçekçi yorumlanabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, K70-80°D doğrultu aralıklarına sahip çizgisellikleri ortaya çıkaran PC1'den 90° yönlü filtreleme ile edilen görüntü ve GDEM verisinden 135° aydınlatma açısı ile elde edilen rölyef haritası çizgisellik sonuçları kullanılmıştır (Şekil 11). Granit, mermer ve skarn (fels) dokanak sınırları bu birimleri kesen çizgisellikleri değerlendirmek amacıyla bu haritada verilmiştir. Her iki veriye ait çizgisellik sonuçları karşılaştırıldığında, PC1 görüntüsünden elde edilen çizgiselliklerden sadece bir kısmının mevcut cevherleşme lokasyonları ile örtüştüğü görülmüştür (Şekil 11a ve Şekil 11c). GDEM verisinden elde edilen ve akarsu yatakları dışındaki çizgiselliklerin ise neredeyse tamamının mevcut cevherleşmeler ile örtüştüğü belirlenmiştir (Şekil 11b ve Şekil 11d). Bu durum, yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanlarda SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) verilerinin uydu görüntülerinden daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.

Otomatik çizgisellik analizleri ile sarp topoğrafyaya sahip alanların çizgisellikleri kısa süre de ortaya çıkarılsa da halen belirli alanlarda saha doğrulama çalışmalarına ihtiyaç

duymaktadır [50]. Bu nedenle, çalışma alanı için, sonuçlarda elde edilen yaklaşık K70-80°D doğrultulu her çizgisellik cevherleşmeler için hedef sahalar olarak düşünülmemelidir. Bölgede bilinen fayların doğrultusu ile uyumlu, granitik ve metamorfik kayalar kesen çizgiselliklerin öncelikli olarak dikkate alınması gerekmektedir. Kurşun-çinko cevherleşmeleri için potansiyel hedef sahaları oluşturmakta olan bu unsurların arazi çalışmaları ile kontrollerinin gerçekleştirilmesi şarttır.

5 Sonuçlar

Bu çalışma, yoğun bitki örtüsüne sahip sarp topoğrafyalı ve ulaşılması güç kesimleri olan Akdağmadeni (Yozgat) bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Bölgede mevcut kurşun-çinko cevherleşmelerin oluşmasında önemli rol oynayan granitik ve metamorfik kayaları kesen K70-80°D doğrultulu çizgiselliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada, 30 m çözünürlüklü ASTER L1T verisine uygulanan temel bileşen analizinden elde edilen uydu görüntüsü (PC1) ve ASTER GDEM verilerine sırasıyla çok yönlü filtreleme ve aydınlatma açıları uygulanarak bölgedeki çizgisellikler ortaya çıkarılmıştır. Bölge yoğun tektonizma izleri taşımasından dolayı, otomatik çizgisellik analizinde yoğun bir veri seti elde edilmiştir. Çizgisellik sonuç haritalarının daha doğru yorumlanabilmesi amacıyla cevherleşmelerle ilişkili olan K70-80°D doğrultulu çizgisellikleri diğerlerinden ayırt etmek için GDEM verisinde 135°'lik ışıklandırma açısı ile oluşturulmuş harita

ve 90°'li doğrusal filtreleme uygulanan PC1 görüntüsüne ait sonuçların öncelikli olarak değerlendirilmesi tercih edilmiştir. Elde edilen çizgisellik haritalarında, bölgenin yoğun bitki örtüsüyle kaplı olması nedeniyle GDEM verileri ASTER görüntüsüne göre daha detaylı çizgisellikleri ortaya çıkarmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma litolojinin gözlenmesine engel olacak kadar yoğun bitki örtüsüyle kaplı ve ulaşılması güç noktalara sahip arazilerde maden arama faaliyetleri öncesinde hedef sahalar için GDEM verilerinden elde edilecek çizgisellik verilerinin öncel arazi çalışmaları için yararlı bilgiler sunabileceğini göstermiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %12

Kaynaklar

- [1] Y. Tatar and O. Tatar, Jeolojide Uzaktan Algılama. Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, 2013.
- [2] D. I. J. Mallick, A Review of Image Interpretation in Geology”, by S. A. Drury, (London: Allen & Unwin, 1987.), International Journal of Remote Sensing, 1987. <https://doi.org/10.1080/01431169508954438>
- [3] G. Jordan and B. Schott, Application of wavelet analysis to the study of spatial pattern of morphotectonic lineaments in digital terrain models: A case study. Remote Sensing of Environment, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.08.013>
- [4] J. P. Jourda, E.V.Djagoua, K. Kouame, M.B. Saley, C.C. Gronayes, J.J. Achy, and J. Biemi, Identification et cartographie des unités lithologiques et des accidents structuraux majeurs du département de korgho (nord de la côte d’ivoire): Apport de l’imagerie ETM+ de landsat. Rev. Télédétection, 6(2), 123–142, 2006.
- [5] A. Abdullah, S. Nassr, and A. Ghaleeb, Landsat ETM-7 for lineament mapping using automatic extraction technique in the SW part of Taiz area, Yemen. Global Journal of Human-Social Science Research, 2013.
- [6] R. G. Thannoun, Automatic extraction and geospatial analysis of lineaments and their tectonic significance in some areas of northern Iraq using remote sensing techniques and GIS. International Journal of Enhanced Research In Science Technology & Engineering, 2013.
- [7] S. Sedrette and N. Rebaï, Automatic extraction of lineaments from Landsat ETM+ images and their structural interpretation: Case study in Nefza region (North West of Tunisia). Journal of Research in Environmental and Earth Sciences, 2016.
- [8] M. Köküm, Landsat TM görüntüleri üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi’nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) arasındaki bölümünün çizgisellik analizi. Gümüşhane Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9 (1), 119–127, 2019. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.419865>
- [9] S. Cambazoğlu, M. K. Koçkar, and H. Akgün, ASTER uydu görüntülerinden çizgisellik analizi yapılarak ve literatür kullanılarak doğu marmara bölgesi için sismik kaynak modeli oluşturulması. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, Ekim 2017.
- [10] T. Öztürk and H. Uygucgil, Hidrokarbon aramacılığında çizgiselliğin bulunması için bir yöntem. VII. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu, Eskişehir, Eylül 2018.
- [11] Z. Adiri, A. El Harti, A. Jellouli, L. Maacha, M. Azmi, M.Zouhair and E.M.Bachouai, Comparison of Landsat-8, ASTER and Sentinel 1 satellite remote sensing data in automatic lineaments extraction: A case study of Sidi Flah-Bouskour inlier, Moroccan Anti Atlas. Advances in Space Research, 60 (11), 2355-2367, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.09.006>
- [12] S. N. Goward, J. G. Masek, D. L. Williams, J. R. Irons, and R. J. Thompson, The Landsat 7 mission: Terrestrial research and applications for the 21st century. Remote Sensing of Environment, 78(1-2), 3-12, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00262-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00262-0)
- [13] M. Hashim, S. Ahmad, M. A. M. Johari, and A. B. Pour, Automatic lineament extraction in a heavily vegetated region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) imagery. Advances in Space Research, 51(5), 874-890, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.10.004>
- [14] M. M. Maina and Y. Tudunwada, Lineament mapping for groundwater exploration in Kano state, Nigeria. Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engineering. 2017.
- [15] S. A. Meshkani, B. Mehrabi, A. Yaghubpur, and M. Sadeghi, Recognition of the regional lineaments of Iran: Using geospatial data and their implications for exploration of metallic ore deposits. Ore Geology Reviewers, 55, 48-63, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.04.007>
- [16] M. L. Suzen and V. Toprak, Filtering of satellite images in geological lineament analyses: An application to a fault zone in Central Turkey. International Journal of Remote Sensing, 19(6), 1101-1114, 1998. <https://doi.org/10.1080/014311698215621>
- [17] K. S. Kavak, 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, 2005. <https://doi.org/10.1080/01431160410001709994>
- [18] M. Karaman, Comparison of thresholding methods for shoreline extraction from Sentinel-2 and Landsat-8 imagery: Extreme Lake Salda, track of Mars on Earth. Journal of Environmental Management, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113481>
- [19] Ö. Gürsoy, Ş. Kaya, Z. Çakir, O. Tatar, and O. Canbaz, Determining lateral offsets of rocks along the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) using spectral classification of satellite images and field measurements. Geomatics, Natural Hazards Risk, 8(2), 1276–1288, 2017. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1318794>
- [20] K. A. Tözün and A. Özyavaş, Automatic detection of geological lineaments in central Turkey based on test

- image analysis using satellite data. *Advance Space in Research*, 69(9), 3283-3300, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.02.026>
- [21] A. Khalifa, Z. Çakır, Ş. Kaya, and S. Gabr, ASTER spectral band ratios for lithological mapping: A case study for measuring geological offset along the Erkenek Segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Arabian Journal Geoscience*, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05849-y>
- [22] Y. Öztürk, M. Çetin, and O. Turgay, Akarsuların yatak yeri seçiminde fay belirleyiciliğinin uzaktan algılama tabanlı analizi: Aras vadisi örneği (Karakurt - Kağızman Arası). *Jeomorfol. Araştırmalar Derg.*, 6, 81–97, 2021.
- [23] E. Gündoğdu, S. Özden, and Ö. Karaca, Simav Fayı ve yakın civarının saha verileri ile alos-palsar ve Landsat görüntülerinin karşılaştırmalı yapısal analizi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.*, 32 (1), 60–71, 2016.
- [24] O. Başdelioğlu, Karapir-Ortaköy (Akdağmadeni-Yozgat) granitoyitinde alterasyon ve eser element jeokimyası incelemeleri. Yüksek Lisans Tezi, Türkiye, 2017.
- [25] A. M. C. Sengör and Y. Yılmaz, Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 1981. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- [26] İ. Kuşcu, Skarns and Skarn Deposits of Turkey, in *Modern Approaches in Solid Earth Sciences*, 2019.
- [27] A. I. Okay and O. Tüysüz, Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society London Special Publications*, 156(1), 475–515, 1999. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>
- [28] MTA, 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası, Sivas paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 2002.
- [29] K. Vache, Akdağmadeni kontakt yatakları ve bunların Orta Anadolu kristalinine karşı olan jeolojik çerçevesi. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 60, 22–36, 1963.
- [30] Y. Erkan, Orta Anadolu masifinin kuzeydoğusunda (Akdağmadeni-Yozgat) etkili olan bölgesel metamorfizmanın incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 23, 213-218, 1980.
- [31] A. Özcan, A. Erkan, E. Keskin, A. Oral, M. Sümengen, and O. Tekeli, Kuzey Anadolu fayı-Kırşehir masifi arasının temel jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Rapor No: 1604, Ankara (yayımlanmamış)*, 1980.
- [32] E. Tülümen, Akdağmadeni (Yozgat) yöresinde petrografik ve metalojenik incelemeleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi, Trabzon, Türkiye, 1980.
- [33] A. Sağiroğlu, Akdağmadeni (Yozgat) kurşun-çinko yatakların cevherleşme. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 27, 15-29, 1984.
- [34] A. R. Çolakoğlu and Y. Genç, Akdağmadeni (Yozgat) kurşun-çinko yatağının makro-mikro dokusal özellikleri ve kökensel yorumu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 44(1), 45-66, 2001.
- [35] M. Alpaslan, Yıldızeli yöresinin petrografik incelenmesi. Doktora Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 1993.
- [36] A. Yılmaz, Ş. Uysal, Y. Bedi ve H. Yusufoglu, Akdağ Masifi ve dolayının jeolojisi', *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 117, 125–138, 1995.
- [37] M. Yıldız, Akdağmadeni (Yozgat) doğusunda yer alan metamorfik birimlerin jeolojik petrografik incelenmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, 1998.
- [38] A. Sasmaz and F. Yavuz, REE geochemistry and fluid-inclusion studies of fluorite deposits from the Yaylagözü area (Yıldızeli-Sivas) in Central Turkey. *Neues Jahrb. fur Mineral. Abhandlungen*, 2007. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2007/0077>
- [39] M. B. Şahin and Y. Erkan, Akdağmadeni Masifi Metamorfikleri, Yukarıçalhalı-Başçatak kesiminin petrolojik özellikleri, *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 116, 21–28, 1994.
- [40] E. Coşkun, Akdağmadeni (Yozgat) Pb-Zn yataklarında metamorfizma etkisinin araştırılması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye 2010.
- [41] 'ASTER Overview, <https://lpdaac.usgs.gov/data/get-started-ata/collection-overview/missions/aster-overview/>, Accessed: 09-Jun-2022.
- [42] M. Wolff and J. Pelissier-Combesure, Faciolog - automatic electrofacies determination. In *transactions of the SPWLA Annual Logging Symposium (Society of Professional Well Log Analysts)*, 1982.
- [43] A. Singh and A. Harrison, Standardized principal components. *International Journal of Remote Sensing*, 1985. <https://doi.org/10.1080/01431168508948511>
- [44] M. Abrams, E. Abbott, and A. Kahle, Combined use of visible, reflected infrared, and thermal infrared images for mapping Hawaiian lava flows. *Journal of Geophysical Research*, 1991. <https://doi.org/10.1029/90JB01392>
- [45] S. A. Bennett, W. W. Atkinson, and F. A. Kruse, Use of thematic mapper imagery to identify mineralization in the Santa Teresa District, Sonora, Mexico. *International Geology Review*, 1993. <https://doi.org/10.1080/00206819309465572>
- [46] M. H. Tangestani and F. Moore, Comparison of three principal component analysis techniques to porphyry copper alteration mapping: A case study, Meiduk area, Kerman, Iran). *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2001. <https://doi.org/10.1080/07038992.2001.10854931>
- [47] Ş. Kaya, Uydu görüntüleri ve sayısal arazi modeli kullanılarak kuzey anadolu fayı gelibolu-ışıklar dağı kesiminin jeomorfolojik - jeolojik özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri, Türkiye 1999.
- [48] A. P. Crósta, C. R. De Souza Filho, F. Azevedo, and C. Brodie, Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 2003. <https://doi.org/10.1080/0143116031000152291>

- [49] P. K. Das and M. V. R. Seshasai, Multispectral sensor spectral resolution simulations for generation of hyperspectral vegetation indices from Hyperion data. Geocarto International, 2015. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.973065>
- [50] F. Abdelouhed, A. Ahmed, A. Abdellah, I. Mohammed, and O. Zouhair, Extraction and analysis of geological lineaments by combining ASTER-GDEM and Landsat 8 image data in the central high atlas of Morocco. Natural Hazards, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05122-9>
- [51] USGS, NDVI, <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index>. Accessed: 30-Jun-2022.
- [52] C. J. Tucker, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 1979. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- [53] R. Salehi, N. M. Saadi, A. Khalil, and K. Watanabe, Integrating remote sensing and magnetic data for structural geology investigation in pegmatite areas in eastern Afghanistan. Journal of Applied Remote Sensing, 2015. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.9.096097>
- [54] C. de Oliveira Andrades Filho and D. de Fáltima Rossetti, Effectiveness of SRTM and ALOS-PALSAR data for identifying morphostructural lineaments in northeastern Brazil. International Journal of Remote Sensing, 2012. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.549852>
- [55] N. Yusof, M. F. Ramli, S. Pirasteh, and H. Z. M. Shafri, Landslides and lineament mapping along the Simpang Pulai to Kg Raja highway, Malaysia. International Journal of Remote Sensing, 2011. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.484434>
- [56] High Pass Filter Task. <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/envihighpassfiltertask.html>. Accessed: 09-Jun-2022.
- [57] F. Olcay, Uydu görüntülerinden elde edilen çizgisellikler ve fluvial yapılar ile neotektoniğin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- [58] P. Geomatica, PCI Geomatica User's Guide. Richmond Hill, Ontario, A.B.D. 2015.
- [59] F. Abdelouhed, A. Ahmed, A. Abdellah, and I. Mohammed, Lineament mapping in the Ikniouen area (Eastern Anti-Atlas, Morocco) using Landsat-8 Oli and SRTM data. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100606>
- [60] B. B. S. Singhal and R. P. Gupta, Applied Hydrogeology of Fractured Rocks. Springer Science & Business Media, 2010.

