

Landsat ETM+ Uydu Görüntüleri ile Metal Kaynaklı Bitki Stresinin Araştırılması

Investigating Metal-Induced Vegetation Stress with Landsat ETM+ Satellite Images

Feride Seçil Yıldırım^{1*}, Esra Tunç Görmüş¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61100, Trabzon/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Feride Seçil Yıldırım
scllydr01@gmail.com

doi: 10.48123/rsgis.1126649

Yayın süreci

Geliş tarihi: 17.06.2022

Kabul tarihi: 01.09.2022

Basım tarihi: 18.09.2022

Özet

Uzaktan algılama teknolojisi günümüzde birçok alanda kullanılmakta, zor şartlar altındaki konumsal analiz işlemlerini kolaylaştırmaktadır. Bu teknoloji; hastalıklı bitkilerin tespiti, arazi sınıflandırması, değişim analizi, afet ve orman yönetimi ve maden tespiti gibi birçok alanda analiz imkânı sunmaktadır. Özellikle maden tespiti, ülkelerin ekonomisi için büyük önem arz etmektedir. Yersel ölçüm teknikleriyle bitki kaplı arazilerde, maden tespiti yapmak uğraştırıcı bir durumken, uydu görüntüleriyle daha kısa sürede maden sahaları tespit edilebilmektedir. Bitkiler ağır metallerle maruz kaldıklarında klorofil miktarlarında, dolayısıyla yansıma değerlerinde anomaliler açığa çıkmaktadır. Diğer bir deyişle, toprak altındaki madenler bitkilerde strese neden olup, bitki anomalilerine yol açmaktadır. Bitki stresi tespitinde anomali miktarlarındaki değişimler baz alınmıştır. Bitkilerin maruz kaldığı stres ile anomali miktarı doğru orantılıdır. Bu çalışmada, Çukuralan (İzmir) ve Kışladağ (Uşak) bölgelerinde toprak altında altın madeni bulunan alanlara ait Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) uydu görüntülerini kullanarak, bitki örtüsünün maruz kaldığı stres VIGS indeksiyle bulunmaya çalışılmıştır. İlave olarak test alanı için bitki örtüsüyle kaplı iki bölgenin madenli ve madensiz olmak üzere toplamda dört farklı arazi türünde literatürde mevcut diğer bitki indeksleriyle (NDVI, GNDVI, BNDVI) karşılaştırması yapılmıştır. Değerlendirme sonuçlarına göre, madenli alanlardaki VIGS ve NDVI indekslerinin, madensiz alanlara ait değerleri arasındaki farkın yüksek olduğu görülmüş, bundan dolayı ağaçlık alanlara ait anomali miktarı tespitinde kullanılabilirliği önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: VIGS indeksi, Maden tespiti, Bitki anomalileri, Bitki stresi

Abstract

Remote sensing technology is used in many areas today, facilitating spatial analysis operations under difficult conditions. This technology offers solutions in different fields such as forest degradation, land classification, change analysis and mine detection. In particular, mine detection is of great importance for the economies of countries. Detecting mines with terrestrial measurement techniques in vegetated areas is a challenging situation, but mine sites can be easily detected, by using satellite images in a shorter time. When plants are exposed to heavy metals, anomalies occur and they cause reduction in the amount of chlorophyll. This can be observed as decrease in the reflectance values. In this study, it is aimed to detect the stress of the plants due to heavy metal by measuring the amount of the change in the reflectance values of plants in mining area and non-mining area. In this context, VIGS index is exploited on Landsat ETM+ satellite images belong to Çukuralan/Izmir and Kışladağ/Usak regions for both gold mine and non-gold mine areas. Other vegetation indices (NDVI, GNDVI, BNDVI) were also computed on these sites when they were covered with vegetation. According to the evaluation results, it was seen that the difference between the values of the VIGS and NDVI indexes in the mine and not mine areas were higher, and therefore it was suggested that they could be used to determine the amount of anomaly in the wooded areas.

Keywords: VIGS index, Mineral detection, Plant anomalies, Plant stress

1. Giriş

Madencilik, tarih boyunca medeniyetleri şekillendiren ve ülkelerin jeopolitik konumlarını etkileyen en temel sektörlerden biri olmuştur. Günümüzde madencilik faaliyetleri önemini giderek arttırmakta ve devletlerin sahip oldukları maden potansiyeli, politikalarının şekillenmesinde kritik rol oynamaktadır. Madencilğin günümüzdeki stratejik öneminin yanı sıra yaşanabilir ve sürdürülebilir bir dünya için çevre etkisi de göz ardı edilmemelidir. Maden kaynaklarını kullanmayan bir ülkenin kalkınması mümkün değildir. Yeryüzündeki mevcut maden sahalarının ağaçlık bölgelerde bulunmasından dolayı maden tespiti yapmak zaman alıcı ve maliyet gerektiren bir iştir. Maden arama işlerini kolaylaştırmak için arazi çalışmasından önce uydu görüntülerinden ön bilgi almak mümkündür. Ağaçlık bölgelerde indekslerin kullanımıyla birçok alanda kolaylık ve profesyonellik sağlandığı gibi, maden tespitinde de bitki indeksleri kullanılabilir (Jackson ve Huete, 1991; Bannari vd., 1995). Yersel ölçüm teknikleri ile bitki kaplı arazilerde, maden tespiti yapmak zahmetli bir durum iken; uydu görüntüleri ile birlikte daha kısa sürede maden sahaları tespit edilebilmektedir (Baran, 2021). Uydu görüntülerinden maden sahalarının araştırılması ve tespiti çevre dostu bir yöntem olmasıyla birlikte geliştirilmeye açık bir yöntemdir.

Hede vd. (2017) zengin mineralli ve kalın bitki örtüsüyle kaplı Kuzey Japonya'nın Hokuroku ilçesinde bitkilerin stres anomalilerindeki değişimi tespit etmek amacıyla VIGS indeksi kullanılmıştır. Hede vd. (2015) başka bir çalışmada ise Sumatra tropikal yağmur ormanlarında VIGS ve NDVI indekslerini kullanılmıştır. Bu çalışmalardan esinlenerek VIGS indeksi Türkiye'de altın madeninin olduğu alanlardaki bitki stres anomalilerindeki değişimleri incelenmiş ve diğer bitki indeksleri ile karşılaştırılmıştır.

İlave olarak literatürde Zhang vd. (2019) tarafından yapılan mısır bitkileri üzerindeki ağır metal stresinin tespiti için yeni bir bitki örtüsü indeksi olan Vegetation Heavy Metal Pollution Index (VHMPI) uygulaması ve Fu vd. (2020) tarafından yapılan mısır bitkisi üzerinde hangi metalin strese sebep olduğunu anlamak için kullanılan ve spektrumların karakteristik aralıklarını elde etmek konusunda yararlanılan Ratio Difference of Autocorrelation (RDA) yöntemi ile sinyallerin güç spektral yoğunluğu (PSD) bilgilerini içeren özellik çıkarma yönteminin yanında ham verilere ampirik mod ayrıştırması Empirical Mode Decomposition-Power Apectral Density (EMD) uygulanarak farklı frekans seviyelerindeki sinyallerin elde edildiği yöntemler de mevcuttur.

Bir başka çalışmada ise Carranza ve Hale (2001) tarafından yapılan çalışmada, Güneydoğu Asya'daki Catanduanes adasında belirlenen test bölgesinde NDVI indeksi kullanılarak metal kaynaklı bitki stresi incelenmiştir. Bitki örtüsünün NDVI değerleri; altın (Au), arsenik (As), bakır (Cu), demir (Fe), kükürt (S) ve çinko (Zn) mineral değerleriyle ters orantılıdır. Analiz sonuçları, bitki örtüsündeki jeokimyasal stresin Landsat TM gibi geniş bant spektral tarayıcı ile tespit edilebileceğini göstermiştir.

VIGS indeks bitkilerin anomali miktarlarının tespiti üzerine çalışan bir indekstir. Bitkiler ağır metallerle maruz kaldıklarında klorofil miktarlarında azalma ve dolayısıyla anomali miktarlarında artma meydana gelmektedir. Anomali miktarlarına göre yer altında maden olup olmadığı tespit edilebilmektedir. Metal kaynaklı bitki anomalisi NIR ve SWIR bantlarında yansıma değişikliğine sebep olmaktadır.

Bu çalışmada metal kaynaklı bitki anomalisine duyarlı indeksleri kullanarak madenli ve madensiz alanlarda bulunan ağaçlık bölgelerin seçilen indekslere verdikleri tepkilerin araştırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca kullanılan indekslerin maden tespitinde güvenilirlik seviyelerini araştırmak amacıyla indeks sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

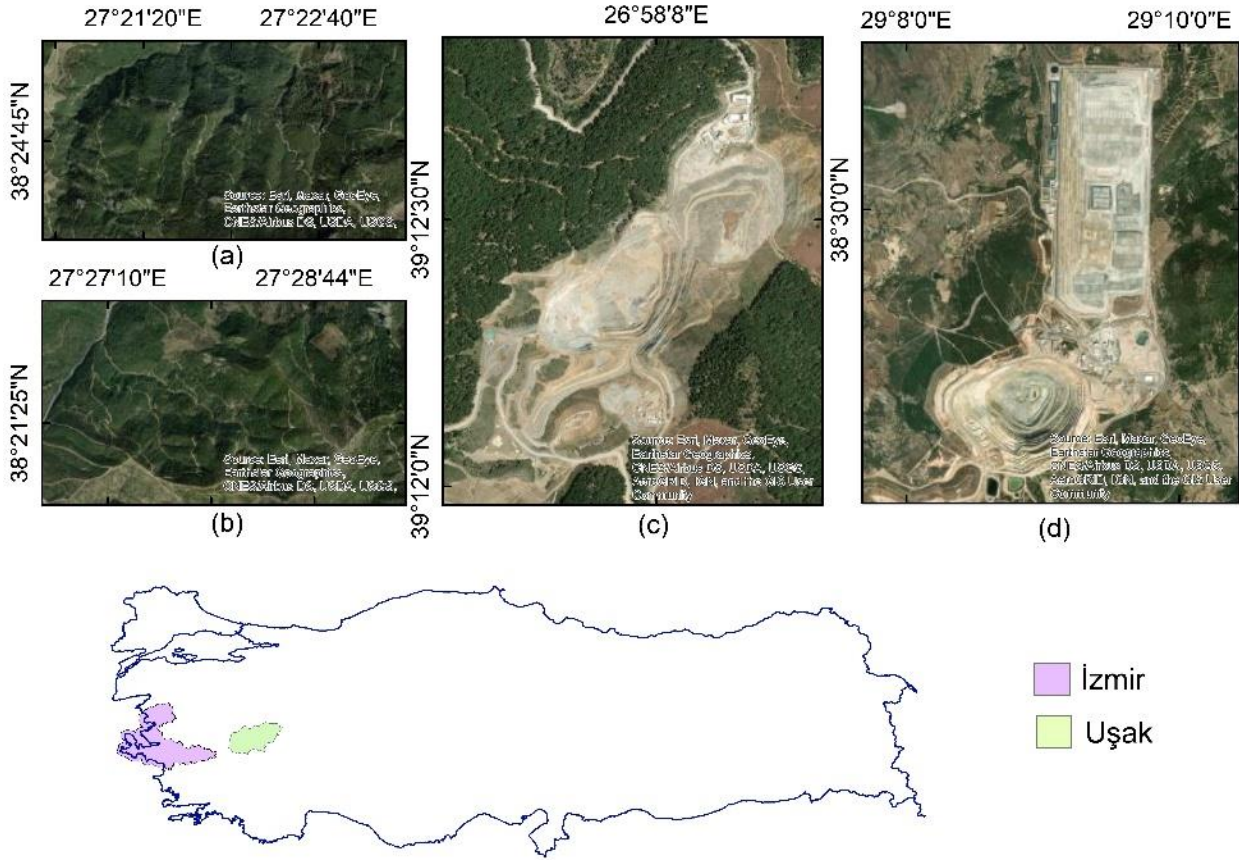
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Madenli ve madensiz alanlarda bulunan bitkilerin indeksler yardımıyla spektral yansımalarını karşılaştırmak için çalışma alanı olarak Şekil 1'de gösterilen İzmir Çukuralan Altın Madeni (c) ve Uşak Kışladağ Altın Madeni (d) seçilmiştir. Uşak Kışladağ Altın Madeninde maden kazıları 2006 senesinde başlamış olup, 13 ton altın çıkarılmıştır (TÜPRAG, 2022). İzmir Çukuralan Altın Madeninde ise kazı çalışmaları 2009 senesinde başlamış olup, maden alanında 31 ton (1 milyon ons) altın rezervi bulunmaktadır (AMD, 2022).

VIGS indeks ve diğer bitki indekslerinin uygulanabilmesi açısından Çukuralan ve Kışladağ altın madenlerinde henüz kazıların başlamadığı, maden sahasının bitkilerle kaplı olduğu tarihlere ait görüntüler seçilmiştir. Madensiz alanlar ise maden sahalarıyla aynı bitki örtüsüne sahip yine Şekil 1 (a) ve (b)'deki gibi rastgele 2 alan olarak seçilmiştir. İzmir Çukuralan Altın Madeni ve Uşak Kışladağ Altın Madeninin çalışma alanı olarak seçilmesindeki temel neden henüz maden kazılarına başlamadan önceki dönemlerde bu alanların bitki indekslerinin uygulanabileceği şekilde kalın bitki örtüsüyle kaplı alanlar olmasıdır.

İlave olarak anomali miktarlarındaki değişimi en doğru şekilde yorumlamak için sonbahar ve yaz aylarına ait görüntüler tercih edilmiştir. İndeks uygulamasında yer doğruluğunun sağlanması açısından maden sahalarında henüz maden kazılarının başlamadığı, yeşilliklerle kaplı olduğu tarihlerdeki uydu görüntüleri kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı (a) ve (b) İzmir ilinde rastgele seçilen madensiz yeşil alanlar, (c) İzmir Çukuralan altın madeni sahasının maden kazılarının başladıktan sonraki görüntüsü ve (d) Uşak Kışladağ altın madeni sahasının maden kazılarının başladıktan sonraki görüntüsü.

2.2. Veri Seti

Veri alınabilecek tarihleri seçmek için İzmir Çukuralan altın madeni kuruluş tarihi (2009) ve Uşak Kışladağ altın madeni kuruluş tarihi (2006) bilgileri kullanılmıştır. Google Earth Pro zaman gezgininden ilgili bölgelerde henüz kazı çalışmalarının başlamadığı ve bitki örtüsüyle kaplı olduğu tarihler tespit edilmiştir. Bu çalışma için en uygun mevsimler anomali miktarlarındaki değişimi yorumlamak açısından sonbahar ve yaz mevsimleridir. Dolayısı ile İzmir Çukuralan altın madenine ait Kasım 2001, Eylül 2003, Temmuz 2002, Ağustos 2003 ve Uşak Kışladağ altın madenine ait, Kasım 1999, Eylül 2000, Ağustos 1999, Temmuz 2000 tarihlerine ait Landsat ETM+ uydu verileri USGS sitesi üzerinden indirilmiştir (USGS, 2022).

2.3. Metodoloji

Bu çalışmada Landsat ETM+ görüntülerinde bitki örtüsü ile kaplı alanlarda metal kaynaklı bitki stresini bulabilmek için farklı bitki indeksleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda yeşillik ve kısa dalga kızılötesi bölgelerini değerlendiren (VIGS) indeksi, Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Yeşil Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (GNDVI) ve Mavi Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (BNDVI) kullanılmıştır.

USGS sitesinden indirilen maden sahalarına ve madensiz alanlara ait Landsat ETM+ görüntülerine QGIS uygulaması üzerinden radyometrik ve atmosferik düzeltmeler uygulanmıştır. Ardından QGIS uygulamasında uydu görüntülerinden çalışma alanları (ROI) kesilerek çıkarılmıştır. Kırpılmış ve reflektans değerlerine sahip görüntülerin yakın kızılötesi (NIR), kısa dalga kızıl ötesi (SWIR1-SWIR2), görünür yeşil ve görünür kırmızı bantları MATLAB yazılımında açılıp VIGS indeksi uygulanmıştır.

VIGS değerleri, Tablo 1’de gösterilen bant 2, 3, 4, 5 ve 7’deki yansımaların bir kombinasyonu ve $w_1=1$, $w_2=0.5$, $w_3=1.5$, $w_4=1.5$ ağırlıklandırma katsayıları ile oluşturulan denklem (1) kullanılarak her görüntü için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ağırlıklandırma katsayıları, ağır metallerle maruz kalmış, stres altındaki bitkilerin hangi dalga boylarında en fazla yansıma veya soğurma yaptıkları ile ilgilidir. Ağır metal stresi bitkilerde fotosentetik hız ve yaprakların stoma iletkenliği gibi bir dizi fizyolojik işlevi etkileyebilir (Jin vd., 2017). Ağır metaller kloroplastın merkez atomu olarak magnezyumun yerini alır ve klorofildeki enzimlerin aktivitesini etkiler, bu da bitkilerin fotosentezini zayıflatarak bitki stresine sebep olur (Ren vd., 2008). Metal kaynaklı bitki anomalisi NIR ve SWIR bantlarında yansıma değişikliğine sebep olmaktadır. Bu nedenle VIGS denkleminde SWIR ve NIR bantlarından oluşan ifadenin ağırlıklandırma katsayıları büyük değer almıştır (Hede vd., 2017).

Tablo 1. Landsat ETM+ görüntüsünde indeksler için kullanılan bantlar.

Bant-1	Mavi(B)
Bant-2	Yeşil (G)
Bant-3	Kırmızı (R)
Bant-4	Yakın kızıl ötesi (NIR)
Bant-5	Kısa dalga kızıl ötesi (SWIR1)
Bant-7	Kısa dalga kızıl ötesi (SWIR2)

$$VIGS = w_1 * \left(\frac{G-R}{G+R} \right) + w_2 * \left(\frac{NIR-R}{NIR+R} \right) + w_3 * \left(\frac{NIR-SWIR1}{NIR+SWIR1} \right) + w_4 * \left(\frac{NIR-SWIR2}{NIR+SWIR2} \right) \quad (1)$$

Metal kaynaklı bitki stresi NIR ve SWIR yansımalarında ortaya çıkmıştır. Stresin neden olduğu bir yansıma değişikliğini vurgulamak ve anomalilerin modelini netleştirmek için, VIGS veri setinden piksel başına hesaplanan ortalamanın (m) standart sapmaya (σ) oranı kullanılmıştır. Stresli bitkilerin yansımalarındaki mevsimsel (sonbahar ve yaz) değişimin küçük olması ve büyük oranda ürün vermesi beklenmiştir.

İlave olarak Şekil 2’de gösterilen iş akış şemasındaki sıraya uygun olarak çalışmada kullanılan diğer bitki indeksleri (NDVI, GNDVI, BNDVI) denklem (2), denklem (3) ve denklem (4) ile hesaplandıktan sonra ortalama/standart sapma oranları Şekil 2’de gösterilen iş akış şemasını takiben hesaplanmıştır.

NDVI: Yeşil yapraklı bitkiler, fotosentez yaparken enerji kaynağı olarak kullandıkları solar radyasyon dediğimiz güneş ışıklarını emerler. Bu nedenle, canlı bitkiler, yakın kızılötesi kameralarda daha parlak görünür. Bitki yapraklarında bulunan klorofil, fotosentezde kullanılmak üzere görünebilir ışığı ($0,4-0,7 \mu m$) güçlü bir şekilde emer. Yaprakların özel hücre yapısı ise yakın kızılötesi ($0,7$ ila $1,1 \mu m$) ışığı güçlü bir şekilde yansıtır. Sonuç olarak bir bitki ne kadar sağlıklıysa, ışık dalga boyları o kadar fazla etkilenir (Lee vd., 2021; Jiang vd., 2022).

GNDVI: Yeşil normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi NDVI’ya benzer, ancak kırmızı yerine yeşil spektrumu kullanır (Buschmann ve Nagel, 1993).

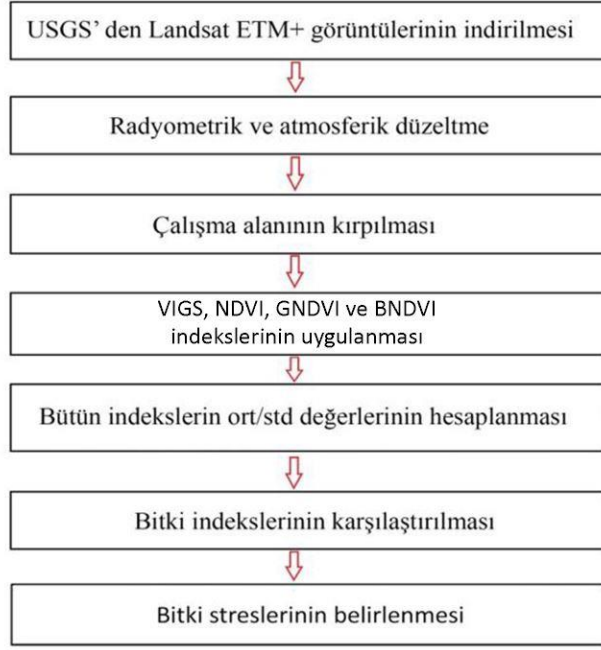
BNDVI: Mavi normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi NDVI’ya benzer, ancak kırmızı yerine mavi spektrumu kullanır (Yang vd., 2004).

$$NDVI = \left(\frac{NIR-R}{NIR+R} \right) \quad (2)$$

$$GNDVI = \left(\frac{NIR-G}{NIR+G} \right) \quad (3)$$

$$BNDVI = \left(\frac{NIR-B}{NIR+B} \right) \quad (4)$$

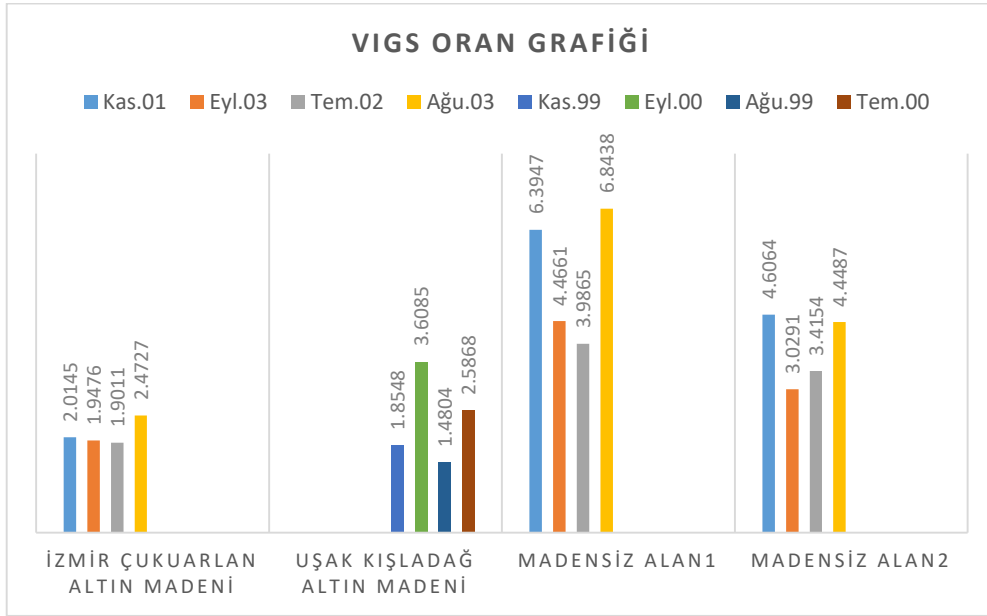
Hesaplamaların ardından elde edilen VIGS değerleri ile NDVI, GNDVI, BNDVI değerleri arasında anlamsal bir ilişki olup olmadığını anlamak adına VIGS-NDVI, VIGS-GNDVI, VIGS-BNDVI ikililerine MATLAB yazılımında lineer regresyon işlemi uygulanmıştır.



Şekil 2. İş akış şeması

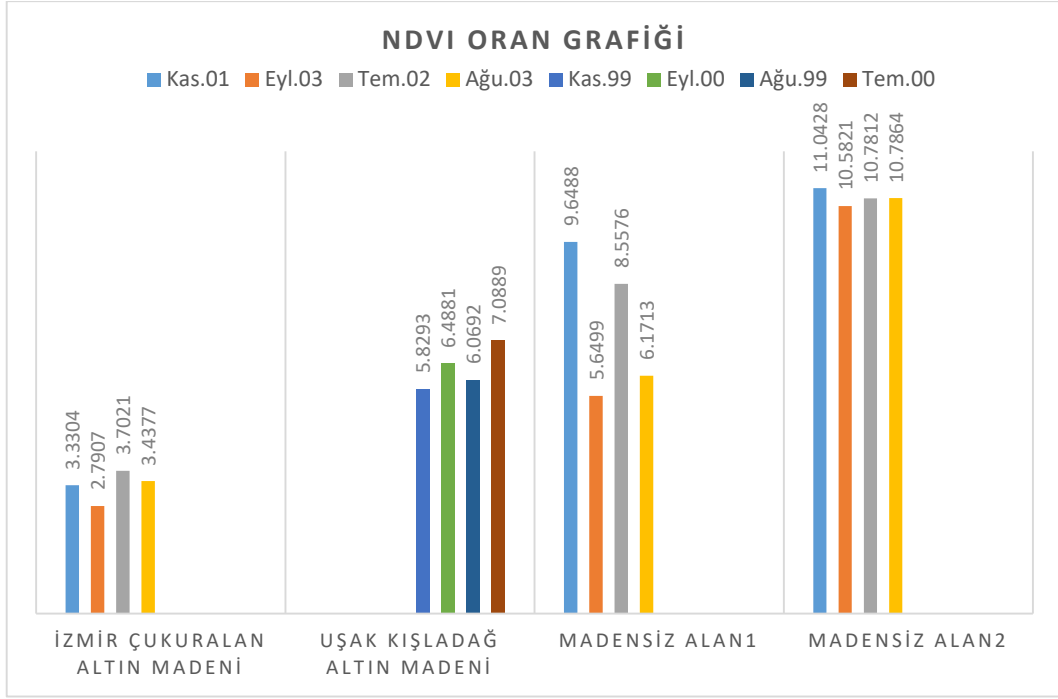
3. Bulgular

Sırasıyla İzmir Çukuralan altın madenine ait Kasım 2001, Eylül 2003, Temmuz 2002, Ağustos 2003 ve Uşak Kışladağ altın madenine ait Kasım 1999, Eylül 2000, Ağustos 1999, Temmuz 2000 tarihlerine ait ve bu tarihlere ait 2 adet madensiz ve bitki örtüsüyle kaplı alanların tüm VIGS değerlerine ait ortalama/standart sapma değerlerine bakılarak çıkarımlar yapılmış ve Şekil 3'te gösterilmiştir.

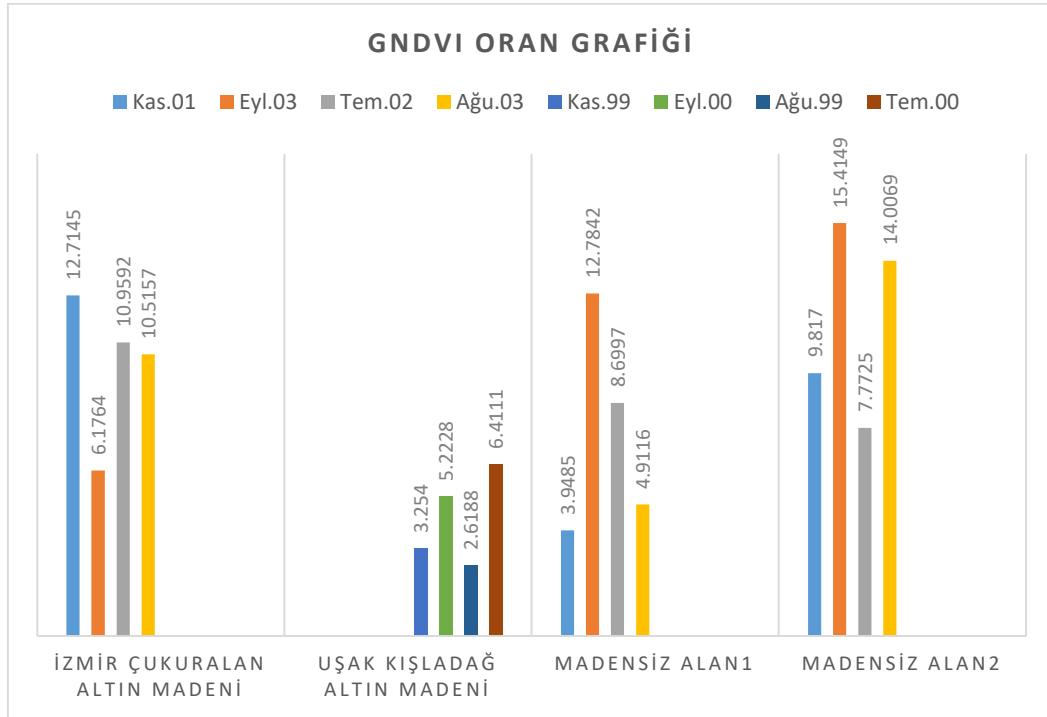


Şekil 3. VIGS (ortalama/standart sapma) oran grafiği

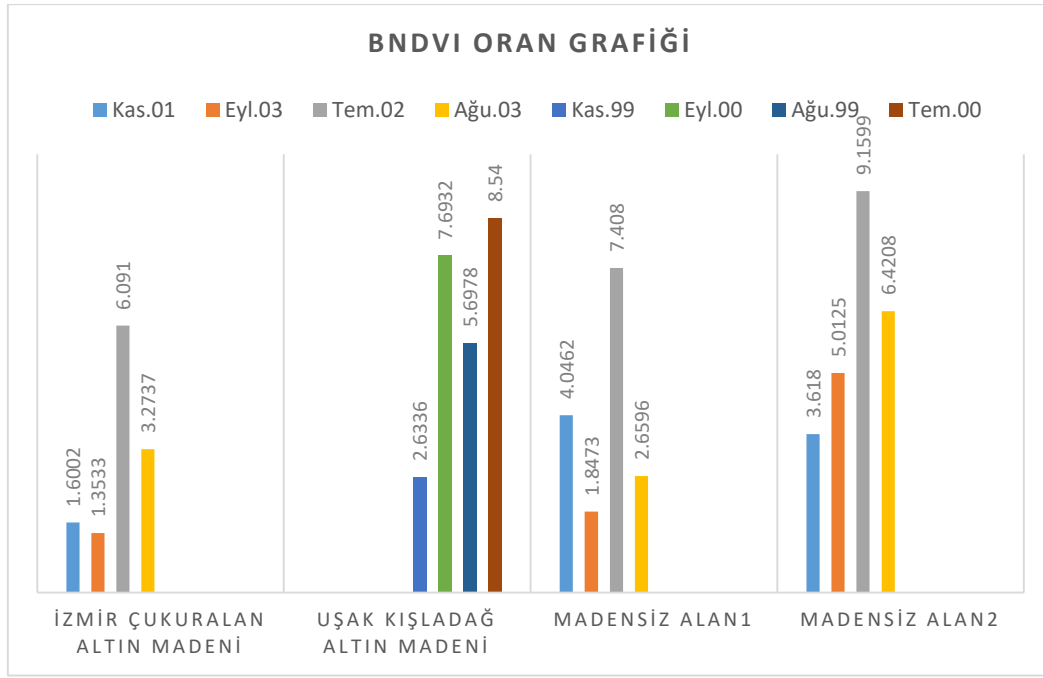
Sonuç olarak VIGS indeks ortalama/standart sapma oran değerlerinde de açıkça görüldüğü gibi altında maden bulunan ağaçlık alanların sonbahar-yaz mevsim geçişlerinde yansımaları arasındaki değişimler küçük değerler almaktadır. Altında maden olmayan ağaçlık alanlarda ise sonbahar-yaz mevsim geçişlerinde yansımaları arasındaki değişimler büyük değerler almaktadır. Maden yatağı bulunan alanlarda beklenildiği gibi sonuçlar elde edilmiştir. Yansımaları arasındaki geçişler küçük değerler almıştır ve büyük oranda maden ürünü elde edilmiştir.



Şekil 4. NDVI (ortalama/standart sapma) oran grafiği



Şekil 5. GNDVI (ortalama/standart sapma) oran grafiği



Şekil 6. BNDVI (ortalama/standart sapma) oran grafiği

Yukarıda bulunan Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilen sonuçlarda da görüldüğü üzere NDVI, GNDVI, BNDVI bitki indeksleri için hesaplanan ortalama/standart sapma oranlarından NDVI dışında maden tespiti için gözle görülür bir sonuç elde edilememiştir. Diğerlerine nazaran NDVI, VIGS kadar başarılı olmamakla birlikte bitki stresiyle ilgili daha güvenilir sonuçlar vermiştir. Bu nedenle Landsat ETM+ verileriyle maden tespiti çalışmaları bu indeksler (GNDVI, BNDVI) ile desteklenemez.

VIGS ve diğer bitki indeksleri arasında anlamsal bir ilişki olup olmadığını anlayabilmek amacıyla elde edilen indeks sonuçlarından yararlanılarak VIGS-NDVI, VIGS-GNDVI ve VIGS-BNDVI olmak üzere ikili gruplara lineer regresyon işlemi uygulanmıştır (Chatterjee ve Hadi, 1986). Tablo 2'de gösterildiği gibi VIGS-NDVI ikilisi için p değeri 0.0497 olarak elde edilmiş olup, değer 0.05'den küçük olduğu için VIGS ve NDVI sonuçları arasında anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. VIGS-GNDVI ve VIGS-BNDVI ikilileri için ise elde edilen p değerleri sırasıyla 0.8632 ve 0.8769 olarak elde edilmiş olup, bu değerler 0.05 değerinden büyük oldukları için VIGS ile GNDVI ve BNDVI indeksleri arasında anlamsal bir ilişki bulunamamıştır (Sun vd., 2019).

Tablo 2. VIGS ile diğer indeksler arasındaki lineer regresyon sonuçları

Lineer regresyon uygulanan indeksler	P-değeri
VIGS-NDVI	0.0497
VIGS-GNDVI	0.8631
VIGS-BNDVI	0.8769

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Çukuralan (İzmir) ve Kışladağ (Uşak) bölgelerine ait hem toprak altında altın madeni bulunan hem de bulunmayan ağaçlık alanlar için belirlenen tarihlerdeki Landsat ETM+ uydu görüntülerine, VIGS, NDVI, GNDVI, BNDVI indeksleri MATLAB yazılımında uygulanarak madenli ve madensiz alanlarda indeks sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca kullanılan indekslerin maden tespitinde güvenilirlik seviyelerini araştırmak amacıyla indeks sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Metal kaynaklı bitki stresi arttıkça anomali miktarı artmaktadır. Bunun sonucunda ise sonbahar ve yaz aylarına ait görüntülere uygulanan VIGS ve NDVI indeks sonuçlarından elde edilen değerlerin, ortalama/standart sapma oranları arasındaki farklar küçük değerler almıştır. Hesaplama işleminin ardından Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilen değerler elde edilmiştir.

Regresyon işlemi sonuçları da dikkate alınarak elde edilen sonuçlar; VIGS indeks ve daha düşük güvenilirlikle NDVI bitki indeksinin sık ağaçların bulunduğu alanlarda henüz keşfedilmemiş maden yataklarının tespit edilmesinde kullanılabileceği görülmüştür. Fakat orta çözünürlüklü Landsat ETM+ uydu görüntülerinden maden tespiti için GNDVI ve BNDVI bitki indeksleri güvenilir sonuçlar vermemiş olup diğer indekslere göre çok zayıf kalmıştır. Daha yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin veya hava fotoğraflarının kullanılması ve yanlış sonuçlara yol açacak gölgelerin yok edilmesi (Sun vd. 2019) ağır metallere maruz kalan bitkilerin yansıma değerlerindeki değişim miktarının dolayısı ile anomalilerin tespitini daha iyileştireceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

- AMD. (2022, Ağustos 8). Türkiye'deki altın madenleri. Altın Madencileri Derneği (AMD). Retrieved from <https://altinmadencileri.org.tr/aktif-olan-altin-madenleri/>
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13(1-2), 95-120.
- Baran, H. A. (2021). Hakkâri ili baz metal yataklarının uzaktan algılama ile belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 339-347.
- Buschmann, C., & Nagel, E. (1993). In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, 14(4), 711-722.
- Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2001, July). Remote detection of vegetation stress for mineral exploration. In *IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat. No. 01CH37217)* (Vol. 3, pp. 1324-1326). IEEE.
- Chatterjee, S., & Hadi, A. S. (1986). Influential observations, high leverage points, and outliers in linear regression. *Statistical Science*, 1(3), 379-393.
- Fu, P., Zhang, W., Yang, K., & Meng, F. (2020). A novel spectral analysis method for distinguishing heavy metal stress of maize due to copper and lead: RDA and EMD-PSD. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206, 111211. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111211.
- Hede, A. N. H., Kashiwaya, K., Koike, K., & Sakurai, S. (2015). A new vegetation index for detecting vegetation anomalies due to mineral deposits with application to a tropical forest area. *Remote Sensing of Environment*, 171, 83-97.
- Hede, A. N. H., Koike, K., Kashiwaya, K., Sakurai, S., Yamada, R., & Singer, D. A. (2017). How can satellite imagery be used for mineral exploration in thick vegetation areas?. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18(2), 584-596.
- Jackson, R. D., & Huete, A. R. (1991). Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, 11(3-4), 185-200.
- Jiang, H., Yao, M., Guo, J., Zhang, Z., Wu, W., & Mao, Z. (2022). Vegetation Monitoring of Protected Areas in Rugged Mountains Using an Improved Shadow-Eliminated Vegetation Index (SEVI). *Remote Sensing*, 14(4), 882-899.
- Jin, M., Liu, X., & Zhang, B. (2017). Evaluating heavy-metal stress levels in rice using a theoretical model of canopy-air temperature and leaf area index based on remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(7), 3232-3242.
- Lee, G., Hwang, J., & Cho, S. (2021). A novel index to detect vegetation in urban areas using UAV-based multispectral images. *Applied Sciences*, 11(8), 3472-3490.
- Ren, H. Y., Zhuang, D. F., Pan, J. J., Shi, X. Z., & Wang, H. J. (2008). Hyper-spectral remote sensing to monitor vegetation stress. *Journal of Soils and Sediments*, 8(5), 323-326.
- Sun, G., Huang, H., Weng, Q., Zhang, A., Jia, X., Ren, J., ... & Chen, X. (2019). Combinational shadow index for building shadow extraction in urban areas from Sentinel-2A MSI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 78, 53-65.
- TÜPRAG. (2022, Ağustos 8). Kışladağ altın madeni - Uşak. Retrieved from <https://web.archive.org/web/20200211071400/http://www.tuprag.com.tr/tr/projelerimiz/kisladag-altin-madeni/7/projenin-tanitimi-ve-amaci/24>
- USGS. (2022, Ağustos 8). USGS Earth Explorer. Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Yang, C., Everitt, J. H., Bradford, J. M., & Murden, D. (2004). Airborne hyperspectral imagery and yield monitor data for mapping cotton yield variability. *Precision Agriculture*, 5(5), 445-461.
- Zhang, C., Yang, K., Wang, M., Gao, P., Cheng, F., Li, Y., & Xia, T. (2019). A new vegetation heavy metal pollution index for detecting the pollution degree of different varieties of maize under copper stress. *Remote Sensing Letters*, 10(5), 469-477.