



T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

UYUZ GÖLÜ VE ÇEVRESİ TUZLU YÜZEY TOPRAKLARININ
TUZ İÇERİĞİNİN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE SENTİNEL 2
UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK UZAKTAN ALGILAMA
İLE TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bekir IRMAK

Danışman: Doç. Dr. Orhan Mete KILIÇ

TOKAT- 2025

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Orhan Mete Kılıç danışmanlığında hazırlamış olduğum " Uyuz Gölü Ve Çevresi Tuzlu Yüzey Topraklarının Tuz İçeriğinin İnsansız Hava Araçları Ve Sentinel 2 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Uzaktan Algılama İle Tahmini. “adlı Yüksek Lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../...

Bekir IRMAK

JÜRİ KABUL VE ONAY

Bekir Irmak tarafından hazırlanan “**Uyuz Gölü Ve Çevresi Tuzlu Yüzey Topraklarının Tuz İçeriğinin İnsansız Hava Araçları Ve Sentinel 2 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Uzaktan Algılama İle Tahmini.**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 26/11/2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvan, Ad Soyadı)**İmza**

Üye (Danışman): Doç. Dr. Orhan Mete KILIÇ

.....

Üye (Başkan): Dr. Öğr. Üyesi Kemal ERSAYIN

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Emre DUMAN

.....

ONAY

....../....../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans eğitimim boyunca beni her zaman yönlendiren, araştırmaya ve akademik hayata dair bakış açımı genişleten, her aşamada bana desteğini esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Orhan Mete Kılıç'a şükranlarımı sunuyorum. Onun değerli bilgisi, özenli yaklaşımı ve sabrı, bu çalışmanın şekillenmesinde büyük rol oynamıştır.

Ayrıca, Arazi çalışmalarımızda yardımlarını esirgemeyen Ali Can Balıkcı ve Oktay Kodalak arkadaşlarıma ve eğitim hayatım boyunca bana kıymetli katkılar sunan Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Coğrafya Bölümünün kıymetli Öğretim Üyesi hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmamın ve eğitim hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, aileme teşekkürü borç bilirim.

Bekir Irmak

ÖZET

UYUZ GÖLÜ VE ÇEVRESİ TUZLU YÜZEY TOPRAKLARININ TUZ İÇERİĞİNİN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE SENTİNEL 2 UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK UZAKTAN ALGILAMA İLE TAHMİNİ

Irmak, Bekir

Yüksek Lisans, Coğrafya Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Orhan Mete KILIÇ

Kasım 2025, xii+53 sayfa

Toprak tuzluluğu arazi bozulum süreçlerinin en önemlilerden olup, toprakların üretim kapasitelerinin azalmasına hatta çoraklaşmasına yol açarak toprakların elden çıkmasına kadar varabilen bir problemdir. Bu bakımdan bu problemin erkenden tespit edilmesi ve gerekli iyileştirilmelerin yapılabilmesi için hızlı, ucuz, iş gücünden tasarruf eden yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada da Tokat Sulusaray ilçesinde bulunan Uyuz Gölü ve çevresi toprakların tuzluluk durumlarının mekânsal olarak tespit edilebilmesi için uzaktan algılama sistemlerinden olan İnsansız Hava Araçları (İHA) ve Sentinel-2B uydu görüntüleri ile modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti, Uyuz Gölü ve çevresinden 2024 yılı içerisinde alınan 39 toprak örneğine ait elektriksel iletkenlik (EC) ölçümlerine dayanmaktadır. Arazi çalışmaları kapsamında, multispektral kamera ile donatılmış İHA uçuşları gerçekleştirilmiş ve red, green, blue, near-infrared (NIR) ve red-edge bantlarını içeren görüntüler elde edilmiştir. Ayrıca, aynı dönemlere denk gelen Sentinel-2B uydu verileri (10–20 m çözünürlük) temin edilerek atmosfere ve geometrik hatalara karşı düzeltmeleri yapılmıştır. Elde edilen görüntülerden NDVI, NDSI, VSSI, SI gibi çeşitli spektral indeksler türetilmiş ve bu indeksler ile EC değerleri arasındaki ilişkiler korelasyon ve regresyon analizleri ile değerlendirilmiştir. Ardından, doğrusal regresyon uygulanarak EC dağılımının tahmin haritaları üretilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Sentinel-2B yeşil bandı ($r = 0.786$, $p < 0.01$) logEC ile en yüksek ilişkiyi göstermiştir. İHA verilerinde ise en güçlü ilişki red-edge bandında ($r = 0.618$) elde edilmiştir. Korelasyon sonuçlarına dayanarak geliştirilen doğrusal regresyon modellerinde, Sentinel-2B yeşil bandı için $R^2 = 0.62$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, yeşil bandın toprak tuzluluğunu istatistiksel olarak anlamlı biçimde temsil ettiğini göstermektedir. Mekânsal analizler sonucunda, Uyuz Gölü

evresinde yüksek EC değerlerinin ($\geq 4 \text{ dS m}^{-1}$) zellikle gl çanağı içerisinde ve kıyı zonlarında yoğunlaştığı; batı ve kuzey kesimlerde ise düşük tuzluluk değerlerinin baskın olduğu belirlenmiştir. Bu durum, buharlaşma oranı, yeraltı suyu seviyesinin yüzeye yakınlığı ve kapalı havza koşulları ile açıklanmıştır. Elde edilen bulgular, İHA ve Sentinel-2B verilerinin birlikte kullanımının, küçük ölçekli gl havzalarında tuzluluk dinamiklerinin izlenmesi ve modelleme doğruluğunun artırılmasında güçlü bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Uyuz Gl, Toprak Tuzluluğu, Sentinel-2B, İHA Multispektral Grntleme, Regresyon Analizi, Uzaktan Algılama.

ABSTRACT**REMOTE SENSING-BASED ESTIMATION OF SURFACE SOIL SALINITY
AROUND UYUZ LAKE USING UAV AND SENTINEL-2 DATA**

Irmak, Bekir

Master's Thesis, Department of Geography

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Orhan Mete KILIÇ

November 2025, xii+53 pages

Soil salinity is one of the most critical land degradation processes, leading to reduced soil productivity and, in severe cases, complete land abandonment due to salinization. Therefore, early detection and accurate assessment of soil salinity are essential to enable timely remediation using fast, cost-effective, and labor-efficient approaches. In this study, soil salinity in and around Uyuz Lake, located in the Sulusaray district of Tokat Province (Türkiye), was spatially modeled using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) multispectral imagery and Sentinel-2B satellite data, both of which are widely used remote sensing systems. The dataset used in this study was based on electrical conductivity (EC) measurements obtained from 39 soil samples collected around Uyuz Lake in 2024. UAV flights equipped with a multispectral camera were conducted to acquire imagery in red, green, blue, near-infrared (NIR), and red-edge bands. In addition, Sentinel-2B imagery with a spatial resolution of 10–20 m, acquired in the same period, was atmospherically and geometrically corrected prior to analysis. Various spectral indices, including NDVI, NDSI, VSSI, and SI, were derived from both datasets and statistically evaluated against EC values using correlation and regression analyses. Subsequently, linear regression models were developed to predict the spatial distribution of EC. According to the analysis results, the Sentinel-2B green band showed the highest correlation with logEC ($r = 0.786$, $p < 0.01$), while the UAV red-edge band exhibited the strongest correlation ($r = 0.618$) among UAV bands. The linear regression model based on the Sentinel-2B green band yielded an R^2 value of 0.62, indicating that the green band can significantly represent soil salinity variations. Spatial analysis revealed that high EC values (≥ 4 dS m⁻¹) were concentrated mainly within the lake basin and along the shoreline, whereas low EC values dominated the western and northern parts of the study area. This spatial pattern is attributed to high evaporation

rates, shallow groundwater levels, and the closed-basin morphology of Uyuz Lake. Overall, the findings demonstrate that integrating UAV and Sentinel-2B data provides an effective approach for monitoring soil salinity dynamics and improving modeling accuracy in small-scale lake basins.

Keywords: Soil Salinity, Uyuz Lake, Sentinel-2B, UAV Multispectral Imagery, Regression Analysis, Remote Sensing.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Etik Sözleşme.....	i
Jüri Kabul Ve Onay.....	ii
Teşekkür.....	iii
Özet.....	iv
Abstract.....	vi
İçindekiler.....	viii
Tablolar Listesi	x
Şekiller Listesi	xi
Kısaltmalar.....	xii
1.BÖLÜM: GİRİŞ.....	1
2.BÖLÜM: LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1 Benzer Çalışmaların İncelenmesi.....	5
2.2 Uzaktan Algılama Teknikleri Ve Uygulama Alanları	8
2.3 Yersel Ölçümler Ve Tuzluluk Belirleme Yöntemleri	9
2.4 Toprak Tuzluluğu Ve Çevresel Etkileri	10
3.BÖLÜM: MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1 Materyal	13
3.1.1 Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler.....	13
3.1.2 İklim	15
3.1.3 Bölgenin Jeolojisi Ve Toprak Yapısı	15
3.2.Yöntem.....	16
3.2.1. Toprak Örneklerinin Toplanması	16
3.2.2. Laboratuvar Analizi.....	16
3.3.3. İha Ve Sentinel-2 Uydu Görüntülerinden Uzaktan Algılama Veri Setinin Hazırlanması	17
3.3.4. İstatiksel Analizler Ve Modelleme	21
4.BÖLÜM: BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Toprak Elektriksel İletkenliği (Ec) Değerlerinin Tanımlayıcı İstatistikleri Ve Yorumlanması.....	29

4.2. Toprak Tuzluluğu İle İha Spektral Bantları Ve İndeksler Arasındaki İlişkiler.....	31
4.3. Toprak Tuzluluğu İle Sentinel-2b Spektral Bantları Ve İndeksler Arasındaki İlişkiler	34
4.4. İha Ve Sentinel-2b Veri Setlerinin Karşılaştırılması	37
4.5. Toprak Tuzluluğunun Modellenmesi.....	38
4.6. Model Haritasının Oluşturulması.....	40
5.BÖLÜM: SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKÇA.....	45
ÖZGEÇMİŞ..	53

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo No	Sayfa
Tablo 2.1 : EC Değerler Tablosu.....	10
Tablo 3.1 : İha Genel Özellikleri	18
Tablo 3. 2 : Sentinel 2b Uydu Görüntüsü Band Özellikleri.....	19
Tablo 3.3 : Toprak Tuzluluğunun Belirlenmesinde Kullanılan Tuzluluk Ve Bitki Örtüsü Spektral İndeksleri Ve Formülleri	20
Tablo 4.1 : Toprak Örneklerine Ait Tanımlayıcı İstatistik Tablosu	29
Tablo 4.2 : Logec İle Sentinel 2b Yeşil Bandı Arasındaki Model Uyum Düzeyi	39
Tablo 4.3 : Model ANOVA Tablosu	39
Tablo 4.4 : Doğrusal Regresyon Modeli Katsayıları	40
Tablo 4.5 : Uyuz Gölü Ve Çevresi Toprak Tuzluluk Sınıflarının Alansal Dağılımı.....	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 3.1 : Çalışma Alanı Olan Uyuz Gölünün Lokasyon Haritası	14
Şekil 3.2 : Çalışma Alanının Yıllık Yağış Ve Sıcaklık Grafiği	15
Şekil 3.3 : Araştırmada Kullanılan İnsansız Hava Aracı	18
Şekil 3.4 : İha Çoklu Spektral Bandları	22
Şekil 3.5 : İha İle Çekilen Görüntülerden Hesaplanan İndeksler	23
Şekil 3.6 : İha İle Çekilen Görüntülerden Hesaplanan İndeksler	24
Şekil 3.7: İha İle Çekilen Görüntülerden Hesaplanan İndeksler	25
Şekil 3.8 : Sentinel 2b Görüntüsünün Bandları	26
Şekil 3.9 : Sentinel 2b Görüntüsünden Hesaplanan İndeksler.....	27
Şekil 3.10 : Sentinel 2b Görüntüsünden Hesaplanan İndeksler.....	28
Şekil 4.1 : Ec Veri Seti İçin Boxplot Grafiği.....	29
Şekil 4.2 : Bağımlı Değişken (Logec) Ve İha Veri Seti Arasındaki Pearson Korelasyon Tablosu.....	33
Şekil 4.3 : Bağımlı Değişken (Logec) Ve Sentinel-2b Veri Seti Arasındaki Pearson Korelasyon Tablosu	36
Şekil 4.4 : Regresyon Artık Değerleri Histogram Grafiği	39
Şekil 4.5 : Uyuz Gölü Ve Çevresi Topraklarının Ec Model Haritası Ve Sınıflandırılmış Ec Haritası.....	41

KISALTMALAR

BSI	Bare Soil Index
BTG	Büyük Toprak Grupları
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DSM	Dijital Toprak Haritalama
EC	Elektriksel iletkenlik
ESA	Avrupa Birliği Uzay Ajansı
GPS	Global Positioning System
İHA	İnsansız Hava Araçları
LogEC	Logaritmik Dönüşüm
MSI	Multispektral Görüntüleyici
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NDSI	Normalized Difference Salinity Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Yakın Kızılötesi
SAR	Sodyum Adsorpsiyon Oranı
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SWIR	Kısa Dalga Kızılötesi
UA	Uzaktan Algılama

1.BÖLÜM: GİRİŞ

Toprak tuzluluğu, küresel toprak bozulmasında önemli bir çevresel tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır (Wang vd., 2019;Ren vd., 2019). Bu durum, sulanan tarım arazileri ve tarımsal ekosistemlerin yaklaşık %20'sini etkileyerek ekosistem sağlığı, toprak kalitesi ve bitki yetiştirme süreçlerini olumsuz etkilemektedir (Gorji vd., 2017;Wicke vd., 2011). Toprak tuzluluğu, iklim, yeraltı suyu, topografî ve insan faaliyetleri gibi karmaşık faktörlerin etkileşimi sonucu ortaya çıkan bir sorundur (Ivushkin vd., 2019;Gorji vd., 2020). Özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde, tuz kaynaklı bozulma daha belirgin bir şekilde görülmektedir. İnsan faaliyetleri, özellikle düşük yağış, yüksek toprak buharlaşması ve yüksek yeraltı su seviyelerinin hâkim olduğu doğal ortamlarda yapılan toprak işleme gibi durumlar, ekili toprakları ciddi tuzluluk sorunlarına karşı daha savunmasız hale getirmektedir (Jiang vd., 2019;Ma vd., 2018). Artan nüfusun doğal kaynaklara ve gıdaya olan talebi, tarım için daha fazla arazi kullanımını gerektirmekte; bu da çöller ve tuzluluktan etkilenen araziler gibi zaten zor durumda olan alanları içermektedir (Shi vd., 2006; Peng vd., 2016). Bu bağlamda, toprak tuzluluğunun zamana ve mekâna bağlı değişimlerini belirlemek, izlemek ve anlamak, toprak yönetimi ve tuzlu toprakların rehabilite edilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Wu vd., 2019; Davis vd., 2019).

Toprak tuzluluğu, karmaşık insan faaliyetleri ve jeolojik döngülerin etkisi altında yüksek mekânsal ve zamansal değişkenlik gösterir (Ren vd., 2019). Bu değişkenliğin izlenmesi, toprak yönetimi için bilgi sağlayabilir (Davis vd., 2019). Geleneksel yöntemlerle toprak tuzluluğunu tespit etmek ve değerlendirmek, yoğun ve düzenli alan çalışmalarını ve laboratuvar analizlerini gerektirir ki bu da zaman alıcı ve maliyetlidir (Wang vd., 2018). Büyük bir alanı örneklemek, sık deneme yapmak neredeyse pratik değildir (Vermeulen ve Van Niekerk, 2017; Dakak vd., 2017). Bu sorunu çözmek için, yerinde ölçümler için yakın algılama elektromanyetik (EM) indüksiyon cihazları kullanılarak toprak görünür elektrik iletkenliği (EC) tahmin edilmiş ve alan örnekleme çalışmaları basitleştirilmiştir (Hu vd., 2019). Ancak, bu yaklaşım genellikle büyük mekânsal ölçeklerde değil, bireysel noktalarda veya tarla ölçeğinde toprak tuzluluğu ölçümlerine sınırlama getirmektedir (Davis vd., 2019; Wang vd., 2018;

Mulder vd., 2011). Ayrıca tahmin doğruluğu artmış olsa da, bu yaklaşım hala büyük miktarda işgücü gerektirmektedir.

Alternatif olarak, dijital toprak haritalama (DSM), uzaktan algılama ve ilave verilerden türetilen sınırlı toprak örnekleri ve çevresel değişkenlerle toprak özelliklerini tahmin etmek için kullanılabilir. DSM, seyrek veya ayırık örneklerden büyük ölçekte toprak tuzluluğunun mekânsal dağılımını tahmin etmeye yardımcı olur (McBratney vd., 2003; Jeny, 1941). Uydu uzaktan algılama teknolojisi, geniş mekânsal kapsama ve geleneksel alan araştırmaları veya hatta yakın algılama ile yapılan araştırmalara göre periyodik ölçümlerin önemli avantajını sunabilir (Davis vd., 2019; Bai vd., 2018). Topraktaki tuz, elektromanyetik spektrum aralığı içinde toprak yüzeyinin belirli emilim özelliklerini sergilerken, tuzsuz topraklar görünür ve yakın kızılötesi dalga boylarında daha yüksek yansıma gösterir. Bu olgu, çok spektralli sensörler ve hiper spektral verileri kullanarak toprak tuzluluğunu tahmin etmek için teorik bir destek sağlamaktadır (Sultanov vd., 2019; Hoa vd., 2019). Dünya genelinde, orta çözünürlüklü görüntüleme spektrometresi (MODIS), Landsat serisi, IKONOS, HuanJing serisi ve GaoFen serisi gibi çeşitli multispektral sensörlerden elde edilen veriler, tuzluluk bilgilerini çıkarmak için kullanılmıştır (Wang vd., 2019). Fakat, yaygın olarak erişilebilen uydu görüntüleri, tarımsal uygulamalar için önemli olan yüksek mekânsal çözünürlüğü ve veri ediniminde zamansal esnekliği sağlayamamaktadır. Bu durum, tarımsal faaliyetlerde hassas yönetim ve toprak tuzluluğunun doğru bir şekilde izlenmesi açısından sınırlayıcı olabilmektedir. Tarım uygulamaları, genellikle daha ayrıntılı ve sık aralıklarla elde edilen verilere ihtiyaç duyar; ancak mevcut uydu görüntüleri bu gereksinimleri karşılamakta yetersiz kalabilmektedir (Ivushkin vd., 2019).

Çözünürlük ve zamansal esneklik sorunlarını aşmak için çözüm yollarından biri, insansız hava araçlarının (İHA) sensör platformu olarak kullanılmasıdır. İHA tabanlı uzaktan algılama, günümüzde tarım ve toprak bilimi alanında geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Bu uygulamalar arasında toprak erozyonunun izlenmesi (Oleire-Oltmanns vd., 2012), hassas tarım için ürün ve toprak haritalaması (Honkavaara vd., 2013; Sona vd., 2016), alanda bitki-toprak etkileşimlerinin nicel olarak değerlendirilmesi (van der Meij vd., 2017) ve bitkilerin fizyolojik göstergelerinin ölçülmesi (Domingues Franceschini vd., 2017; Roosjen vd., 2018) yer almaktadır.

Tarım sektöründe İHA hizmet sağlayıcılarının sayısı giderek artmakta olup, birçok çiftçi kendi İHA filolarını kurmaya başlamıştır. Bu durum, İHA'ları yaygın olarak erişilebilir uzaktan algılama platformlarına dönüştürerek, özellikle toprak tuzluluğunun izlenmesi de dâhil olmak üzere geniş bir potansiyel uygulama alanı sunmaktadır (Ivushkin vd., 2019).

Uzaktan algılamada, toprak tuzluluğunu belirlemek için spektral indeksler önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Spektral indeksler, bitki örtüsü, toprak nemi ve tuzluluk gibi çevresel özelliklerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan matematiksel formüllerdir. Toprak tuzluluğu, özellikle tuzun toprak yüzeyindeki yansıma özellikleri sayesinde farklı dalga boylarında belirli desenler oluşturur. Örneğin, Normalized Difference Salinity Index (NDSI), tuzlu toprakları belirlemek için kullanılan popüler bir spektral indekstir. Bunun yanı sıra, Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) ve Bare Soil Index (BSI) gibi indeksler de tuzlu toprakların haritalanmasında kullanılır, çünkü bu indeksler çıplak toprakların spektral özelliklerini ve tuzun yansıma kapasitesini yakalar (Kılıç vd., 2022).

Özellikle multispektral ve hiperspektral uydu görüntüleri, topraktaki tuz miktarını değerlendirmek için farklı spektral bantlardaki yansıma değerlerini analiz etme olanağı sağlar. Bu yöntemler, geniş alanların kısa sürede taranmasını sağlayarak geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında önemli avantajlar sunar. Landsat, MODIS, Sentinel-2 gibi uydulardan elde edilen görüntüler, geniş çaplı veri sağlarken, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) gibi bitki örtüsüyle ilişkili indeksler, bitki sağlığının değerlendirilmesi yoluyla tuzluluk sorunlarının dolaylı bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olur. Spektral indekslerin sağladığı geniş veri yelpazesi, toprak tuzluluğunun mekânsal dağılımının daha hassas bir şekilde haritalanmasına olanak tanır. Bu yöntemler, geleneksel saha çalışmalarına göre daha hızlı, maliyet etkin ve zamansal olarak daha esnek çözümler sunarak tarımsal yönetimde kritik rol oynamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Uyuz Gölü ve çevresindeki toprakların tuzluluk seviyelerini Sentinel-2 uydu görüntüleri ve insansız hava araçları (İHA) kullanarak hassas bir şekilde tespit etmek, mekânsal dağılımını haritalamak ve her iki platformun sağladığı verilerin karşılaştırmalı analizini yapmaktır. Sentinel-2 multispektral verileri

aracılığıyla geniş alanların gözlemlenmesi ve spektral indeksler yardımıyla tuzluluk belirlenmesi hedeflenirken, İHA'lar ile yüksek çözünürlüklü görüntüleme yapılacak ve daha küçük ölçekli alanlarda detaylı veri toplanacaktır. Bu çalışma, uydu ve İHA verilerinin toprak tuzluluğunun tespitinde ne derece etkili olduğunu ortaya koymayı, ayrıca bu yöntemlerin tarım alanlarının yönetiminde sağladığı potansiyel katkıları incelemeyi amaçlamaktadır.



2.BÖLÜM: LİTERATÜR TARAMASI

2.1 BENZER ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

Bu çalışmada uzaktan algılama yöntemi ile toprak tuzluluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Dünyanın farklı yerlerinde yapılan bu çalışmalar ise toprak tuzluluğunun küresel bir sorun olduğunu göstermektedir.

Gorji,T. (2021). Yapmış olduğu bu çalışmada infrared (NIR) bantlardan yeni bir toprak tuzluluk indeksi geliştirerek yaygın kullanılan indekslerle karşılaştırma yapmış. İran'da bulunan Urmiye Gölü ile Tuz Gölü çalışma alanıdır. Altı kademede toprak tuzluluğunu haritalamışlardır. Az tuzludan çok tuzluya doğru kademeli olarak sıralamışlardır. Tuzluluk indeksine göre hazırlanmış haritalar, diğer indekslerin ortaya koyduğu R2 değerlerine benzer ve kabul edilebilir R2 değerleri ortaya koymuştur.

Gorji, T. (2016). Tuz Gölü Bölgesi'nde 1990 ile 2015 yılları arasındaki 25 yıllık dönemi kapsayan 25 adet Landsat-5 TM ve Landsat-8 görüntülerini incelemişler. Mayıs-Temmuz 2002 döneminde Tuz Gölü Bölgesi'nde 322 toprak örneğinin analizi ederek elektriksel iletkenlik (EC) sonuçları da değerlendirilmiş. Sonuç olarak 5 farklı tuzluluk sınıflandırması (tuzsuz, az tuzlu, orta tuzlu, tuzlu ve çok tuzlu) kullanılarak farklı zamanlara ait çeşitli indislere dayanarak 30 tane tuzluluk haritası hazırlanmışlar.

Azabdaftarı, A.(2015) Bu çalışmada iki yöntem, uzaktan algılama verisi ve tuzluluk verisi arasındaki ilişkiyi incelemek amaçlanmıştır. Çalışma alanı Adana bölgesi, Seyhan ovasında yapılmıştır. İlk olarak, Landsat 7 ETM+ görüntüsünün projeksiyonu arazi ölçümüne uygun olacak şekilde ayarlanarak çalışma yapılmış. Sonra, toprak tuzluluğunu tahmin etmek için EC ölçümleri ve uzaktan algılama verisinin korelasyonu incelenmiş. Bir sonraki adımda, uydu bantları ve değişik bitki örtüleri ve tuzluluk indeksleri kombinasyonu bağımsız değişkenler olarak kullanılmış. Yapılan analizde 21 Mart 2010 tarihli uydu görüntüsünün tüm bantları ile EC değerini korelasyonu hesaplanarak elde edilen sonuçlara göre en yüksek korelasyonun görüntüsü toprak tuzluluk haritasını üretmek için kullanılmıştır.

Taghadosi vd., (2019) Bu makale de, çalışma alanı İran'ın Kum Eyaleti, Kum ilçesinin Merkez Bölgesindeki Kumrud Kırsal Bölgesinde bir köydür. Sentinel-2A uydusundan alınan multispektral uydu görüntülerini kullanarak toprak tuzluluğunun haritalanması ve izlenmesini ele almışlardır. Toprak örnekleri çalışma alanı genelinde rastgele toplanmış ve toprağın EC'si ölçülmüştür. Aynı zamanda ilgili uydu verileri elde edilerek tuzluluk tespitinde kullanılmak üzere uydu görüntülerinden çeşitli tuz özellikleri çıkarılmıştır. Saha örneklerinin EC değerlerini uydudan türetilmiş tuz özellikleriyle ilişkilendirmek için farklı regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Sonuçlar, farklı regresyon yöntemleri arasında, RBF çekirdeğine sahip SVR tekniğinin, $R^2 = \%87,42$ ve $RMSE = 5,1962$ ile toprak tuzluluğunu modellemede en fazla doğruluğu gösterdiği görülmüş. Sentinel-2 uydu verilerinin potansiyeli ve uzaktan algılamayı doğrulayan SVR tekniği kullanılarak toprak tuzluluğunun her 10 m x 10 m alan için yaklaşık 5 gün gibi çok kısa aralıklarla haritalanmasının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çini H,K. (2014) Yapmış olduğu çalışmada, spektrometre cihazı ve yapay sinir ağları tekniklerini kullanarak toprak tuzluluğu tahminleri yapmaya çalışmıştır. Çalışma alanı Harran ovasında tuzluluk sorunlarının görüldüğü alanlarda yürütülmüştür. Yapılan çalışmada 0-30 cm'den 90 adet toprak örneği alınmıştır. Bu örnekler toprak tuzluluk parametreleri laboratuvar analizleri ile değerleri tespit edilmiş. Toprak örneklerinin (90 adet) yapılan analiz sonuçlarına göre pH değerleri 7.05 ile 8.62 aralığında, EC değerleri 0.6 dSm-1 ile 66.2 dSm-1 aralığında; ESP değerleri 1.8 ile 197 aralığında olduğu tespit edilmiş.

Wang vd., (2021) Çalışma alanı Çin'in Sincan Uygur Özerk Bölgesi, Tarım Havzası'nın kuzey kenarında, yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı, Sentinel-2 Multispektral Görüntüleyici (MSI) verilerini ve MSI'dan türetilen ortak değişkenleri ölçülen toprak tuzluluğu verileriyle birleştirmek ve çalışma örnek alanındaki toprak tuzluluğunu tahmin etmek ve haritalamak için modellemede üç makine öğrenme algoritmasını uygulanmıştır. Çalışma alanından 160 adet karışık toprak numunesi toplanmıştır. Örnek sınıflandırma için Kennard-Stone (K-S) algoritması, modelleme için %70 ve doğrulama için %30 kullanılmış. Makine öğrenimi algoritması Destek Vektör Makinelerini (SVM), Yapay Sinir Ağı'nı (ANN) ve Rastgele Ormanı (RF)

kullanılmıştır. Çalışma alanındaki toprak tuzluluğunu haritalamak için SVM toprak EC tahmin modelini uygulanmıştır.

Gojiya vd., (2023) Bu Makale, toprak tuzluluğunun mekânsal ve zamansal haritalanması için uydu tabanlı teknolojilerin önemini üzerinde durulmuştur. Bu makale, tuzluluk indeksleri, bitki örtüsü indeksleri, regresyon yöntemleri, sinir ağı yöntemleri artı, algılama yaklaşımları ve toprak tuzluluğu haritalamasında kullanılan uydu verilerini içeren uzaktan algılama ve CBS tabanlı toprak tuzluluğu tahmin yöntemlerinin kapsamlı bir incelemesini yapılmıştır. Bu inceleme, uzaktan algılamanın toprak tuzluluğunun yarattığı zorlukların çözümündeki kritik rolünün altını çiziyor ve bu zorunlu küresel endişenin izlenmesi ve yönetilmesi için çabalamıştır.

Thiam vd.,(2021) Senegal'in kıyı şeridinin 1984, 1994, 2007 ve 2017 yıllarını kapsayan Landsat görüntüleri ile 2017 yılında bölgeden toplanan 300 adet toprak örneği kullanılarak toprak tuzluluğunun arazideki dağılışını incelemişlerdir. Landsat görüntülerinden elde edilen ıslaklık indisi (TWI), normalize edilmiş fark bitki indisi (NDVI), tuzluluk indisi (NIR) ve ayarlanmış toprak bitki indisine ek olarak kıyıya olan uzaklık ve yükseklik gibi parametrelerde çoklu lineer regresyon modeline girdi olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak en yüksek R^2 değeri 0.73 bulunmuş, RMSE değeri ise 0.68 olarak hesaplanmıştır.

Racetin vd., (2020) Hırvatistan'da bulunan Neretva nehri deltasında 2009 yılında toplanmış toprak tuzluluğu verilerini ve Landsat 5 görüntülerini kullanarak çoklu lineer regresyon yöntemini kullanarak, toprak tuzluluğunu tahmin eden bir model üretmişlerdir. Landsat 5 görüntülerinde 27 tane farklı indis üretilmiş ve bu indisler ile tuzluluk değerleri arasında korelasyonlar bulunmuştur. 2 yıl süresince de toprak tuzluluğu Landsat 5 görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. En yüksek korelasyon tuzluluk indisi 8 $((NIR-SWIR1) / (NIR+SWIR1))$ ile 0,93 değeri elde etmiştir.

Çullu vd., (1995), Konya'da bulunan Malya Tarım İşletmesi'nin tuzlu ve alkali alanlarını uydu verileri ile haritalamışlardır. Çalışmanın temeli olarak kullanılan uydu verileri dijital platformda sınıflandırılmış ve sınıflandırılan verilerden toprakların tuzluluk ve alkalilik durumları haritalanmıştır. Çoraklaşmadan nasiplenilen bu yerler,

1960 yılındaki çorak alanlarla kıyaslanarak tuzluluk değişimlerine bakılmıştır. Yaklaşık 30 senede çiftlik arazilerindeki çoraklaşmanın %20'den %33'e varan oranda yükseldiği ortaya konmuştur.

2.2 UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ VE UYGULAMA ALANLARI

Uzaktan algılama, yeryüzündeki nesne ve olayları doğrudan fiziksel temas olmaksızın, genellikle uydular veya hava araçları aracılığıyla algılama ve analiz etme tekniğidir (Wu vd., 2019; Davis vd., 2019). Bu teknoloji, elektromanyetik spektrumun çeşitli bantlarında yansıyan ya da yayılan enerjiyi ölçerek çalışır. Uzaktan algılama teknikleri genel olarak pasif ve aktif uzaktan algılama olarak iki temel gruba ayrılır. Pasif uzaktan algılama, doğal kaynaklı (Güneş) elektromanyetik enerjiyi algılayan sistemleri ifade eder ve en yaygın kullanılan tekniktir. Optik, kızılötesi ve termal görüntüleme pasif uzaktan algılamaya örnek verilebilir. Aktif uzaktan algılamada ise sensör kendi enerjisini gönderir ve yüzeyden yansıyan sinyalleri algılar. Bu sistemler gündüz-gece ve bulutlu hava koşullarında da çalışabildiği için avantaj sağlar. Radar (SAR) ve Lidar aktif uzaktan algılamanın en bilinen örnekleridir. Radar (Radio Detection and Ranging) mikrodalga bandında çalışan bir sistemdir ve arazi yükseklik profili ile yapı tespiti için oldukça uygundur. Lidar (Light Detection and Ranging) ise lazer ışığı kullanarak mesafe ve yükseklik ölçümü yapar; üç boyutlu haritalama ve orman yapısı analizinde etkili biçimde kullanılmaktadır.

Uzaktan algılamada kullanılan bir diğer yöntem hiperspektral ve multispektral görüntüleme teknikleridir. Multispektral görüntüleme belirli sayıda spektral bandı kullanırken, hiperspektral görüntüleme yüzlerce dar spektral band kullanarak çok daha detaylı analiz imkânı sunar.

Uzaktan algılamanın uygulama alanları oldukça geniştir. Coğrafya ve haritalamada arazi örtüsü, arazi kullanımı ve şehirleşme gibi değişimlerin izlenmesinde önemli bir rol oynar. Tarım ve orman yönetiminde bitki sağlığının belirlenmesi, verim tahminleri yapılması, sulama planlarının oluşturulması ve orman yangınlarının veya ormansızlaşma süreçlerinin takip edilmesi için kullanılır. Su kaynakları ve hidroloji

alanında göl, nehir ve barajlardaki su seviyeleri izlenebilir, taşkın riskleri analiz edilebilir ve su kirliliği tespit edilebilir.

Afet yönetiminde deprem, sel, heyelan ve volkanik patlamalar gibi afetlerin öncesi ve sonrası durumlarının değerlendirilmesi için uzaktan algılama önemli bilgiler sağlar (Arca, 2012). İklim değişikliği ve meteoroloji alanında sıcaklık, yağış, bulut örtüsü gibi atmosferik parametrelerin analizi yapılabilir, ayrıca buzulların erimesi ve deniz seviyesindeki değişimler izlenebilir. Jeoloji ve maden arama çalışmalarında maden yataklarının belirlenmesi, fay hatlarının tespiti ve erozyon süreçlerinin incelenmesi mümkündür (Kavak, 1998). Savunma ve güvenlik alanında sınır gözetleme, istihbarat ve stratejik görüntüleme gibi amaçlarla kullanılır. Kısacası uzaktan algılama, pek çok alanda karar verme süreçlerini destekleyen kritik bir bilgi kaynağıdır

2.3 YERSEL ÖLÇÜMLER VE TUZLULUK BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Toprak tuzluluğunun belirlenmesi, tarımsal üretim açısından son derece önemlidir çünkü aşırı tuz, bitki gelişimini olumsuz etkiler (Gorji, 2017). Bu amaçla yapılan yersel (arazi) çalışmalar ve ölçümler, tuzluluğun şiddetini, dağılımını ve zaman içindeki değişimini belirlemeye yöneliktir. Tuzluluk Belirleme Yöntemleri (Toprak ve Su İçin) toprak ve sulardaki çözünmüş tuz miktarını ifade eder. Tarımsal üretim ve çevresel sağlık açısından kritik bir parametredir (Kılıç vd., 2022).

Toprak tuzluluğunun belirlenmesi için yersel çalışmalar ve ölçümleri öncelikle problemli alanların belirlenmesi için topografya, drenaj durumu, bitki örtüsü, arazi kullanımı ve sulama durumu gözlemlenir. Tuzluluğun belirtisi ise tuz kristallerinin yüzeyde birikmesi, bitki örtüsünün seyrekleşmesi, toprakta sertlik veya kabuklanma gibi fiziksel belirtilerle kendini gösterir. Bu tip araziye çukur açılarak tabakaların özellikleri incelenir. Tuzlu topraklar genellikle beyazımsı-tuzlu bir tabakaya sahiptir. Toprak örnekleri toplanırken genellikle 0–30 cm, 30–60 cm ve 60–90 cm gibi farklı derinliklerden örnekler alınır. Sistematik grid veya tesadüfi örnekleme yapılır (Gorji vd., 2020). Arazinin büyüklüğüne göre örnekleme yoğunluğu ayarlanır ve araziden alınan toprak numuneleri etiketlenerek analiz için laboratuvara taşınır. Laboratuvara

taşınan toprak örneklerine daha detaylı analiz yapılır. Elektriksel iletkenlik (EC) ile tuz yoğunluğu belirlenir, pH ölçümü ile alkali tuzluluk varsa tespit edilir, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ile sodyum fazlalığını ölçer ve katyon konsantrasyonları (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) ve anyonlar (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) belirlenir.

Ayrıca arazide yerinde ölçümlerin yapılması da mümkündür. Yerinde ölçüm toprak elektrik iletkenliği (EC) olarak yapılır. Portatif EC metreler ile doğrudan toprakta ölçüm yapılabilir. EC değeri topraktaki tuzluluğun seviyesini gösterir (Tablo 2.1)

Tablo 2.1. EC Değerler Tablosu

* < 2 dS/m → Tuzsuz
* 2–4 dS/m → Hafif tuzlu
* 4–8 dS/m → Orta tuzlu
* 8 dS/m → Şiddetli tuzlu

Yersel çalışmalara ek olarak Uzaktan Algılama teknikleri ile de toprak tuzluluğunun tespitinin yapılması mümkündür. Uzaktan algılama tekniğinde; Elektromanyetik indüksiyon cihazları ile toprak tuzluluğu haritalanabilir. GPS ile yer tespiti ile her örnekleme noktası konumlandırılır. İnsansız Hava Aracı (İHA) ve uydu görüntüleriyle bitki örtüsündeki değişimler ile araziden yansıyan spektral veriler üzerinden tuzluluk tahmini yapılabilir. Tüm bunların sonunda arazi ölçümleri ile de veri doğrulanır.

Özetle toprak tuzluluğunu belirlemek için arazi gözlemleri yapılır, toprak örnekleri alınır, EC ve diğer kimyasal analizler yapılır, uzaktan algılama teknikleri kullanılır.

2.4 TOPRAK TUZLULUĞU VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Toprak tuzluluğu, toprakta suda çözünebilen tuzların (özellikle sodyum, klorür, sülfat ve karbonat tuzları) aşırı miktarda birikmesi durumudur. Bu durum hem doğal

yollarla hem de insan faaliyetleri sonucunda oluşabilir. Tarımsal üretimi olumsuz etkileyen en önemli toprak bozulumu türlerinden biridir (Çullu vd.,1995)

Tuzluluğun başlıca iki nedeni vardır. Bunlar doğal ve insan kaynaklı nedenlerdir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde az yağış ve yüksek buharlaşma nedeniyle tuzlar toprak yüzeyinde birikir (Taghadosi vd., 2019). Yeraltı suyunun yüzeye yakın olması ve tuz içeriğinin yüksek olması doğal nedenler arasındadır. İnsan kaynaklı nedenler arasında aşırı ve yanlış sulama, drenaj eksikliğiyle birleştiğinde yeraltı suyunun yükselmesine ve tuzların yüzeye çıkmasına neden olması, yetersiz drenaj sistemleri nedeniyle suyun toprağı yıkayamaması sonucu tuz birikmesi, su kaynaklarının kıt olduğu bölgelerde tuzlu suyla sulama yapılması ve toprağın aşırı işlenmesi ile anızın yakılması gibi yanlış tarım uygulamaları yer alır (Gorji vd., 2017).

Toprak tuzluluğu çevresel olarak birçok olumsuz etkiye yol açar. Tarım verimliliğinde azalmaya neden olur, bitki kökleri suya ulaşmakta zorlanır, tuz bitkilerin su alımını engeller ve birçok kültür bitkisi tuza hassas olduğu için gelişemez veya verim veremez (Taghadosi vd., 2019). Aynı zamanda biyoçeşitlilik kaybına yol açar; tuzluluğa dayanıklı olmayan yerli bitki ve canlı türleri yok olabilir, ekosistem dengesi bozulur ve tuzcul türler baskın hâle gelebilir. Toprak yapısı bozulur, tuz toprağın agregat yapısını bozarak geçirgenliği ve havalanmayı azaltır ve toprak erozyona açık hâle gelir (Kılıç vd., 2022).

Ayrıca su kalitesinin bozulmasına neden olur; yeraltı ve yüzey sularına karışan tuzlar içme ve sulama suyu kalitesini düşürür, göllerde ve akarsularda ekosistemlere zarar verebilir. İklim değişikliğine de etki eder. Tuzlu topraklar daha az bitki örtüsü barındırdığı için karbon tutulumunu azaltır ve kuraklıkla birlikte tuzluluk toprakta çölleşmeye yol açabilir (Gorji vd., 2020).

Toprak tuzluluğuyla mücadele kapsamında doğru sulama tekniklerinin kullanılması, özellikle damla sulama yöntemiyle tuz birikiminin azaltılması önemlidir. İyi drenaj sistemleri sayesinde fazla su ve tuz uzaklaştırılabilir. Tuz toleransı yüksek bitki türlerinin (örneğin halofitler) yetiştirilmesi, kompost ve gübre gibi organik madde uygulamalarıyla toprak yapısının iyileştirilmesi, kontrollü sulamayla toprağın yıkanarak

tuzun alt katmanlara taşınması ve alçı (jips) gibi toprak düzenleyicilerle sodyum etkisinin azaltılması toprak tuzluluğuyla mücadele yöntemleri arasındadır (Budak vd., 2020).

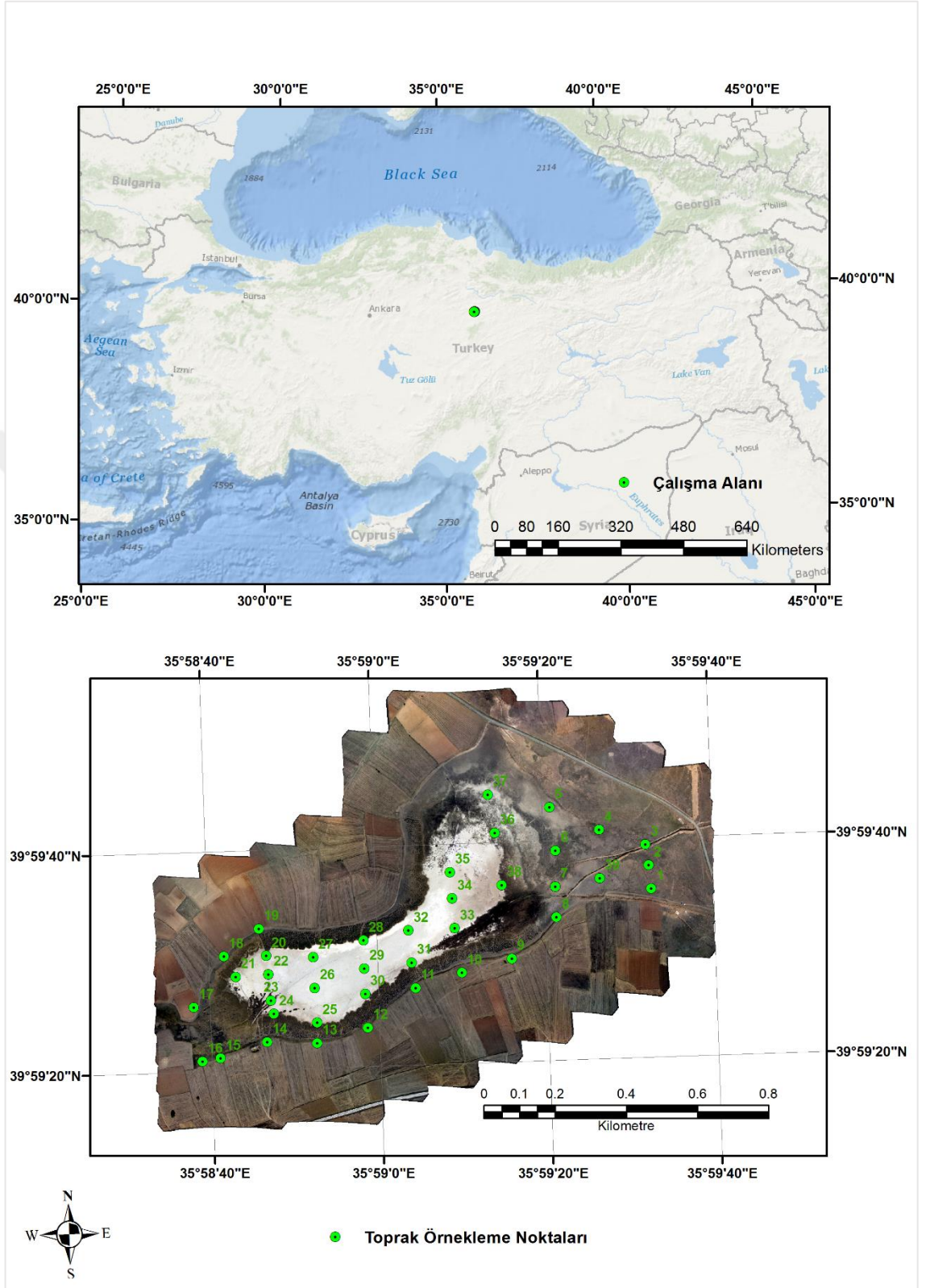


3.BÖLÜM: MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 MATERYAL

3.1.1 Çalışma Alanı Hakkında Genel bilgiler

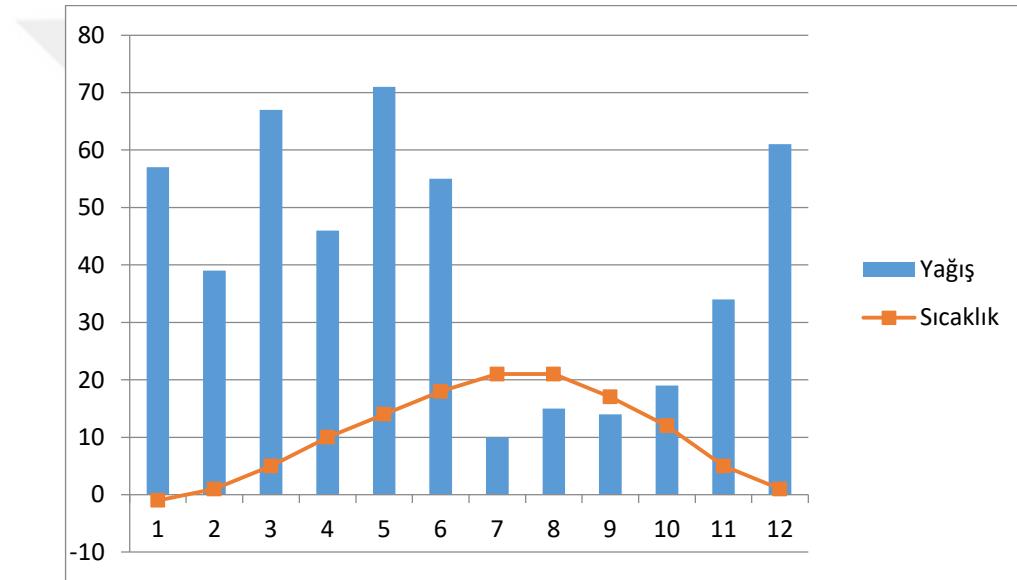
Çalışma alanı Karadeniz Bölgesinin Orta Karadeniz bölümünde, Tokat ili Sulusaray ilçesine bağlı Uylubağı köyü sınırları içerisinde bulunan Uyuz gölüdür (Şekil 3.1). Uyuz gölü Sulusaray ilçe merkezine 11 km Tokat il merkezine ise 76 km uzaklıktadır. Yozgat ilinin Kadışehri ilçesine ise 18 km mesafededir. Gölün alanı yaklaşık olarak 340.000 m² dir. Göl kuzeyinde Deveci dağlarının bulunmaktadır. Uyuz gölü Çekerek Çayı nın da içerisinden aktığı bir vadi de bulunmaktadır. Çekerek çayı gölün yaklaşık olarak 5 km güneyinden geçmektedir. Gölün deniz seviyesinden yüksekliği 1035 metredir. göl doğu-batı yönünde 1300 metre iken kuzey- güney yönünde 200 metre ile 500 metre arasında değişiklik göstermektedir. Kapalı bir havza durumunda olan göle çevredeki köy halkı tarafından yapay bir gideğen açılmıştır. Göle yapay giden açılmasının sebebi ise su seviyesinin yükseldiği dönemlerde etraftaki tarlalar ve meralık alan gölün tuzlu suyundan zarar görmekte olduğundan dolayı gideğen açılarak su seviyesi düşürülmesi amaçlanmıştır. Gölün adının ise kel hastalığı denilen bir hastalığa yakalanan koyunların göl suyunda yıkandırılarak tedavi edilmesinden dolayı uyuz gölü adını almıştır. (Aylar ve Zeybek, 2019) Gölde suyun olduğu dönemlerde çeşitli su kuşlarına ev sahipliği yapmaktadır. Gölün kıyısında sazlıklar görülmekte olup çevre kısımlarda ise doğal bitki örtüsü büyük oranda tahrip edilmiş olup, tarım arazisi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma Alanı Olan Uyuz Gölünün Lokasyon Haritası

3.1.2 İklim

Bölge orta Karadeniz in iç kısmında bulunmaktadır. Karadeniz ikliminden ziyade karasal iklim şartları hâkimdir. Erinç iklim sınıflandırmasına göre bölge yarı kurak iklime sahiptir. Köppen'in iklim sınıflandırmasına göre ise bölge kışı ılık, yazı sıcak ve kurak iklime sahiptir. Bölgede kış aylarında kar yağışı (20-25 gün) görülür hava sıcaklığı eksi derecelere kadar düşer. Yıllık ortalama yağış 430 mm civarındadır. (Şekil 3.2) En yağışlı mevsim ise ilkbahar aylarıdır. Yaz ayları ise kurak geçmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık ise 9,3 °C dir.



Şekil 3.2. Çalışma Alanının Yıllık Yağış ve Sıcaklık Grafiği

3.1.3 Bölgenin Jeolojisi ve Toprak Yapısı

Uyuz gölü nün yakın çevresini, 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritasının ilgili paftalarına bakıldığında çalışma alanı mezozoik döneme ait farklı yaş ve boyutlardaki kireçtaşı blokları oluşturmaktadır. Gölün güneyinde ve gölün kuzeyinden başlayarak doğuya doğru Ballıkaya, Dutluca, Arpacıkaraçay ile Alpudere köyleri çevresi ofiyolitler geniş yer kaplamaktadır. Bölgenin Kuvaterner yaşlı kısımları ise alüvyonlardan oluşmaktadır. Bölgenin akarsularının biriktirmesi ile meydana gelen alüvyonlar gölün içerisinde bulunduğu çanak boyunca devam etmektedir. Bölgenin verimli tarım alanları da bu alüvyon topraklı arazidir.

Uyuz Gölü'nün çevresinde genel olarak bulunan toprak tipi ise kahverengi orman topraklarıdır. Gölün özellikle güneyindeki tepelik arazide ise kahverengi toprakların yayılış gösterdiği alanları oluşturmaktadır. Kestane rengi topraklar ise gölün kuzey kesimlerinde bulunmaktadır. Sulusaray ilçesinin kuzeybatı bölümlerinde kestane rengi toprakların yaygın olarak görüldüğü alanlardır. Uyuz Gölü'nün güneydoğu kesimindeki dağlık alanda bulunan Ilıcak köyü ve Çekerek çayının güneyi kireçsiz kahverengi orman topraklarının bulunduğu görülmektedir.

3.2.YÖNTEM

Bu çalışmanın yöntem kısmı üç ana aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada araziden yüzey toprak örneklerinin alınması ve İHA ile görüntüleme, ikinci aşamada laboratuvar analizi yapılarak toprak örneklerinin elektriksel iletkenliğinin (EC) belirlenmesi, üçüncü aşama olarak insansız hava aracı (İHA) ve Sentinel-2B uydusu görüntülerinin işlenmesi ile band yansıma değerlerinin belirlenmesi ve spektral indekslerin hesaplanması ardından istatistiksel modelleme aşamasıdır. İlerleyen bölümlerde her aşama detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

3.2.1. Toprak Örneklerinin Toplanması

Çalışma alanında toprak örnekleri rastgele örnekleme yöntemi kullanılarak 0-30 cm üst topraktan kürek yardımı ile alınmıştır. Toplam 39 adet toprak örneği alınıp naylon poşetlere konulmuştur. Toplanan toprak örneklerin koordinatları kinematik hassas GNSS kullanılarak yüksek hassasiyette alınmıştır. Koordinat sistemi UTM Zone 36 datum WGS 1984 olarak kullanılmıştır. Toplanan toprak örnekleri hava kuru olması için kurutma odasında bekletilmiştir. Hava kuru hale getirilen topraklar 2 mm' lik elekten geçirilerek analizlere hazır hale getirilmiştir.

3.2.2. Laboratuvar Analizi

Koordinatlı şekilde toplanan toprak örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC) analizi Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Analiz yöntemi olarak Rhoades (1982)'nin yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz, toprak tuzluluğunu belirlemede kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu analizde genellikle toprak örneklerinin su ile karıştırılarak elde edilen sıvının

elektriksel iletkenliği ölçölmektedir. Yaygın olarak kullanılan bu yöntem, toprak-su karışımında elektriksel iletkenliği belirleyen 1:2.5 oranında toprak-su karışımıdır. Bu yöntemde, toprak örneği ve su belirli bir oranla karıştırılır ve elde edilen karışımın elektriksel iletkenliği ölçölür. Ölçümde toprak pH/EC ölçer ile ölçümler alınmıştır.

3.3.3. İHA ve Sentinel-2 Uydu Görüntülerinden Uzaktan Algılama Veri Setinin Hazırlanması

Toprak tuzluluğunun modellenmesi aşamasında iki ayrı uzaktan algılama veri seti kullanılmıştır ve bu setler arasında kıyaslama yapılmıştır. Bu iki uzaktan algılama veri seti İHA ve Sentinel-2B görüntüleridir. Her iki veri setinin genel özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’ de verilmiştir. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Coğrafya Bölümü envanterine kayıtlı olan DJI Phantom 4-RTK Multispectral insansız hava aracı (Şekil 3.3) ile çalışma sahası üzerinde 400 m irtifadan görüntüler toplanmıştır. Drone üzerinde gerçek zamanlı kinematik (RTK) GPS bulunması ve ayrıca GNSS istasyonu ile beraber koordinat toplamasından dolayı yer kontrol noktalarına ihtiyaç duyulmamıştır (Xu ve ark., 2021). İHA 400 m irtifadan uçuşunu gerçekleştirmiş ve 87 durak noktası belirleyerek F:%70, S:%60 bindirme olacak şekilde toplam 522 görüntü almıştır. Elde edilen görüntülerin mekânsal çözünürlüğü 21,2 cm dir. Toplanan görüntülerden Coğrafya bölümü CBS laboratuvarında bulunan Pix4D yazılımı kullanılarak görüntü işleme adımları ile görünür dalga boyları ve kızılötesi dalga boylarına ait yansıma haritaları hazırlanmıştır (Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7). Hazırlanan yansıma haritalarından Tablo 3’de verilen tuzluluk ve vejetasyon indeksleri ArcGIS 10.5 yazılımında hesaplanmıştır. Hazırlanan haritalardan koordinatlı toprak örnek noktaları vektör dosyası yardımıyla her bir örnekleme noktasının indeks ve spektral band yansıma değeri CBS ortamında çekilerek İHA uzaktan algılama veri seti hazır hale getirilmiştir.

Tablo 3.1. İHA Genel Özellikleri

Özellik	Açıklama
Model / Ad	DJI Phantom 4 Multispectral
Kalkış Ağırlığı	1.487 g
Diagonal Mesafe (Pervaneler Hariç)	350 mm
Maksimum Hizmet İrtifası	6.000 m
Maksimum Tırmanma Hızı	6 m/s
Maksimum İniş Hızı	3 m/s
Maksimum Uçuş Süresi	Yaklaşık 27 dakika
Çalışma Sıcaklık Aralığı	0°C – 40°C
İletim Frekansı / Menzil	2.4–2.483 GHz ve 5.725–5.850 GHz; CE $\approx$ 5 km, FCC $\approx$ 7 km
Kamera Sistemi	6 adet 1/2.9" CMOS sensör: 1 RGB + 5 tek renkli multispektral sensör
Multispektral Bantlar	Blue (450 $\pm$ 16 nm), Green (560 $\pm$ 16 nm), Red (650 $\pm$ 16 nm), Red Edge (730 $\pm$ 16 nm), NIR (840 $\pm$ 26 nm)
GSD (Yer Örnekleme Mesafesi)	180 m irtifada %80/%60 örtüşmeyle 9.52 cm/piksel ($\sim$ 0.63 km ² kapsama)
RTK / Konumlama Doğruluğu	TimeSync sistemiyle sensör, uçuş kontrolcüsü ve RTK modülü senkronize çalışır.
Dosya Formatları	Multispektral görüntüler: TIFF; RGB görüntüler: JPEG



Şekil 3.3. Araştırmada Kullanılan İnsansız Hava Aracı

Sentinel-2 görüntüsü ise Avrupa Birliği Uzay Ajansının (ESA) resmi internet sitesinden indirilip yansıma haritalarına Qgis yazılımıyla çevrilmiştir. Yine Tablo 3.3 'de verilen indeksler bu görüntülerden de hesaplanmıştır (Şekil 3.8, şekil 3.9. ve Şekil 3.10). Hesaplanan haritalardan yine toprak örnek noktaları vektör dosyası yardımıyla her bir örnekleme noktasının indeks ve band yansıma değerleri CBS ortamında çekilerek Sentinel 2B uzaktan algılama veri seti hazır hale getirilmiştir. Bu işlem, uzaktan algılama verilerinin saha ölçümleriyle doğru biçimde ilişkilendirilmesini sağlamıştır.

Tablo 3.2. Sentinel 2B Uydu Görüntüsü Band Özellikleri

Bant No / Adı	Spektral Bölge	Merkez Dalgaboyu (nm)	Bant Genişliği (nm)	Mekansal Çözünürlük (m)
B1 (Aerosol)	Kısa dalga mavi	443	20	60
B2 (Blue)	Mavi	490	65	10
B3 (Green)	Yeşil	560	35	10
B4 (Red)	Kırmızı	665	30	10
B5 (Red Edge 1)	Kırmızı kenar	705	15	20
B6 (Red Edge 2)	Kırmızı kenar	740	15	20
B7 (Red Edge 3)	Kırmızı kenar	783	20	20
B8 (NIR)	Yakın Kızılötesi	842	115	10
B8A (Narrow NIR)	Dar Bant NIR	865	20	20
B9 (Water Vapour)	Kızılötesi	945	20	60
B10 (Cirrus)	Kızılötesi	1375	30	60
B11 (SWIR 1)	Kısa Dalga Kızılötesi	1610	90	20
B12 (SWIR 2)	Kısa Dalga Kızılötesi	2190	180	20

Tablo 3.3. Toprak Tuzluluğunun Belirlenmesinde Kullanılan Tuzluluk Ve Bitki Örtüsü Spektral İndeksleri Ve Formülleri

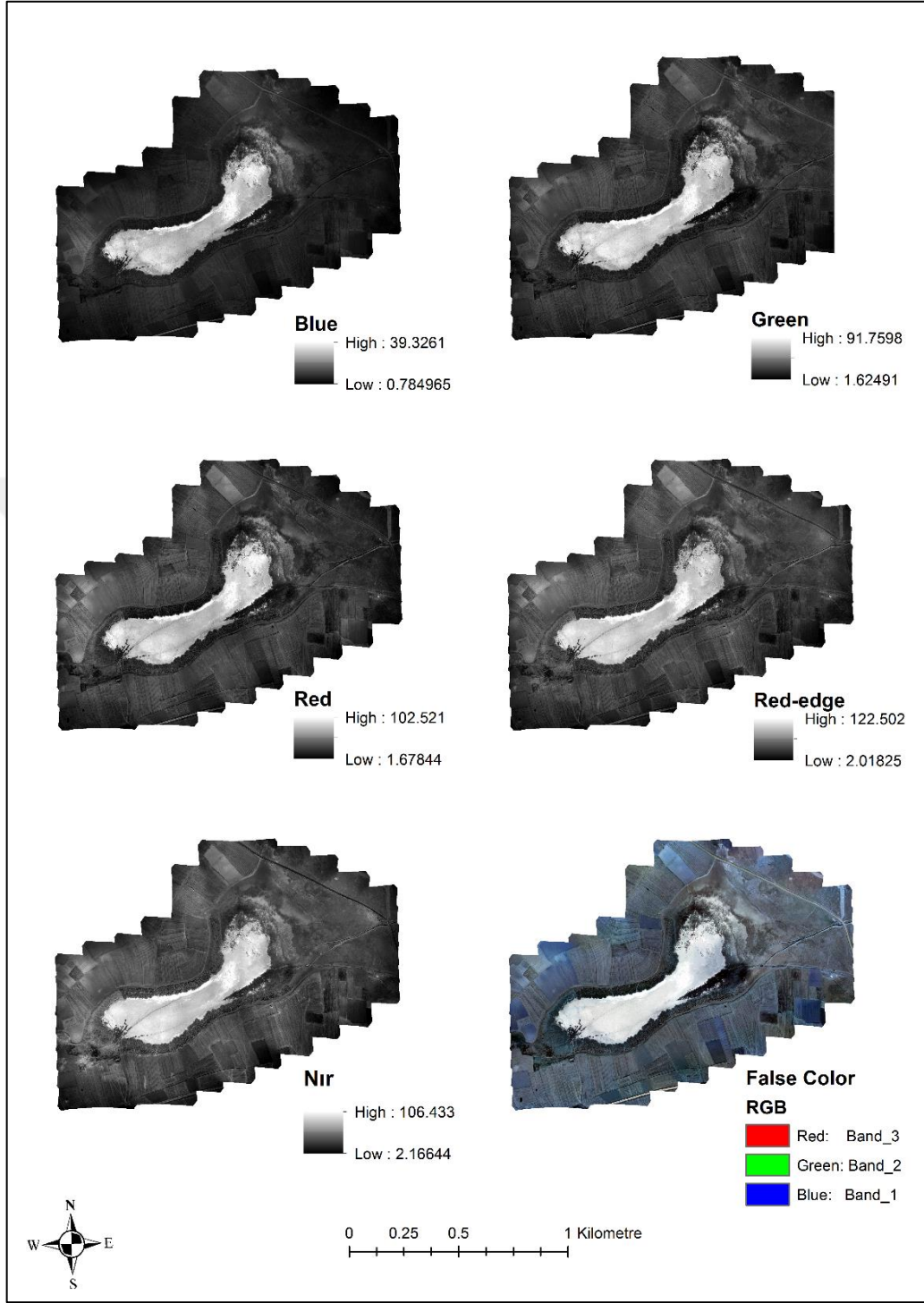
Tuzluluk indeksleri	Formüller
Normalleştirilmiş fark tuzluluk indeksi	$NDSI = \frac{(R-NIR)}{(R+NIR)}$
Bitki örtüsü toprak tuzluluk indeksi	$VSSI = 2 \times G - 5 \times (R + NIR)$
Parlaklık indeksi	$BI = \sqrt{R^2 + NIR^2}$
Tuzluluk indeksi-1	$SI = \sqrt{(B \times R)}$
Tuzluluk indeksi-2	$SI = \sqrt{(G \times R)}$
Tuzluluk indeksi-3	$SI = \sqrt{(G^2 + R^2 + NIR^2)}$
Tuzluluk indeksi-4	$SI = \sqrt{(G^2 + R^2)}$
Tuzluluk indeksi-5	$SI = \frac{B}{R}$
Tuzluluk indeksi-6	$SI = \frac{(B-R)}{(B+R)}$
Tuzluluk indeksi-7	$SI = \frac{(G \times R)}{B}$
Tuzluluk indeksi-8	$SI = \frac{(B \times R)}{G}$
Tuzluluk indeksi-9	$SI = \frac{(NIR \times R)}{G}$
Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi	$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)}$
Dönüştürülmüş Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi	$TNDVI = \sqrt{\frac{(NIR-R)}{(NIR+R)}} + 0,5$

(B mavi, G yeşil, R kırmızı, NIR yakın kızılötesi, SWIR kısa dalga kızılötesi)

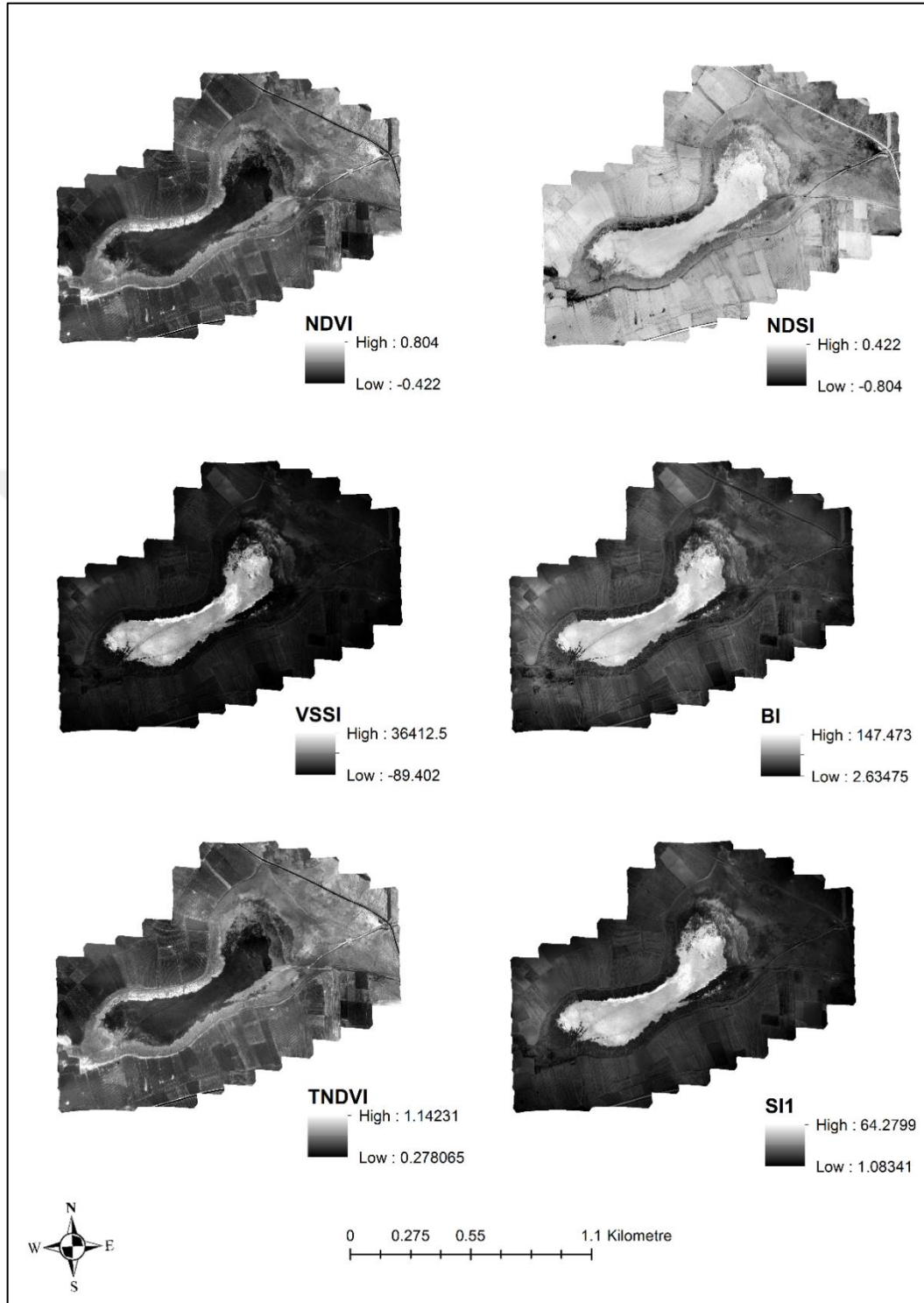
3.3.4. İstatiksel Analizler ve Modelleme

Tuz tahmin modelinin oluşturulmasından önce, bağımlı değişken olan toprak EC verilerinin normal dağılım varsayımını sağlayıp sağlamadığı örnekleme sayısı 50 den az olduğu için Shapiro–Wilk testi ile değerlendirilmiştir. Test sonucunda önem değeri 0.05 den büyük ise bağımlı değişkenin normal dağılım sergilediği kabul edilmiştir. Normalliği doğrulanan EC değerleri ile uzaktan algılama verileri arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizi kullanılarak belirlenmiştir. Analizler %95 ve %99 güven aralığında gerçekleştirilmiş ve korelasyon katsayısı (r) 0.70'tan büyük olan değişkenler güçlü ilişki olarak değerlendirilmiştir.

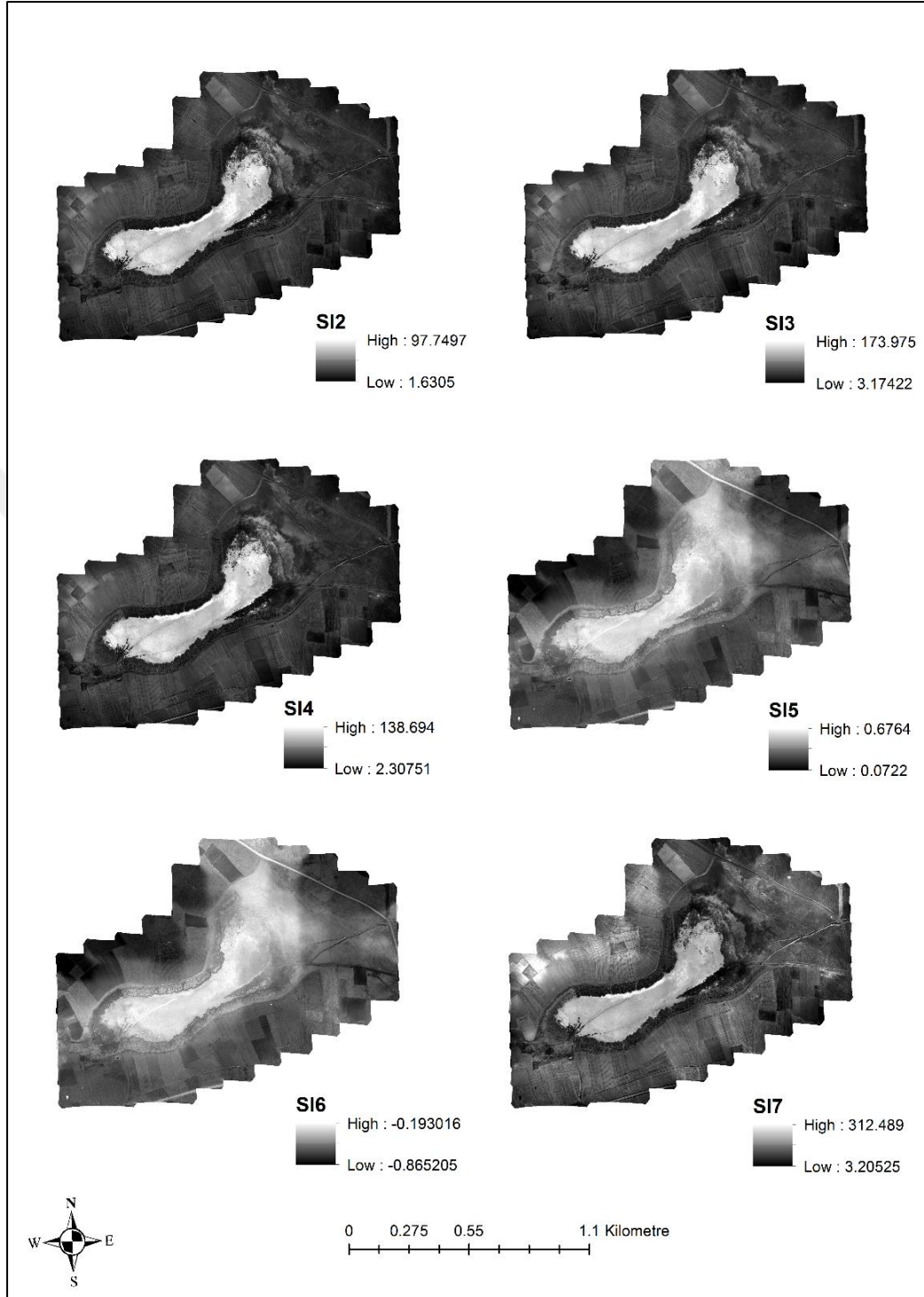
Korelasyon analizi sonucunda anlamlı ve yüksek ilişki katsayısına sahip değişkenler kullanılarak doğrusal regresyon modeli geliştirilmiştir. Regresyon analizinde, bağımlı değişken olan EC değerleri ile bağımsız değişkenler (spektral bandlar, tuz ve vejetasyon indeksleri) arasındaki ilişki matematiksel olarak ifade edilmiştir. Modelin performansı, ANOVA testi ile hesaplanan determinasyon katsayısı (R^2) ve kök ortalama kare hatası (RMSE) değerleri ile ve ayrıca regresyon ve artık sayıları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. R^2 değerinin 1 e yaklaştıkça modelin toplam varyasyonu doğru bir şekilde açıkladığı belirtilmektedir. 0.5 değerinden büyük R^2 değerleri orta düzeyden 1 e yaklaştıkça çok başarılı olacak şekilde sınıflandırılmaktadır (Kılıç vd., 2022).



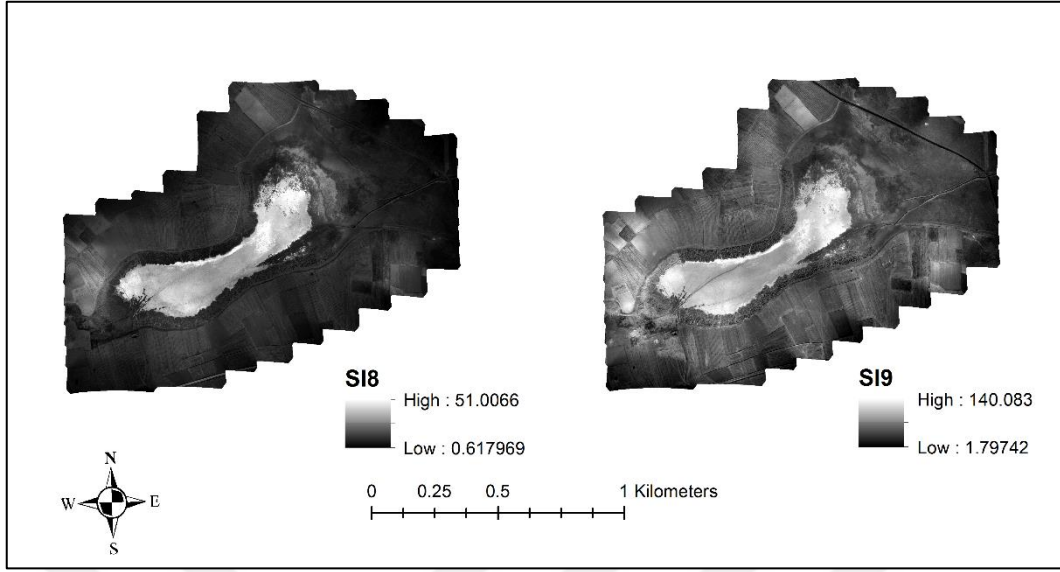
Şekil 3.4. İHA Çoklu Spektral Bandları



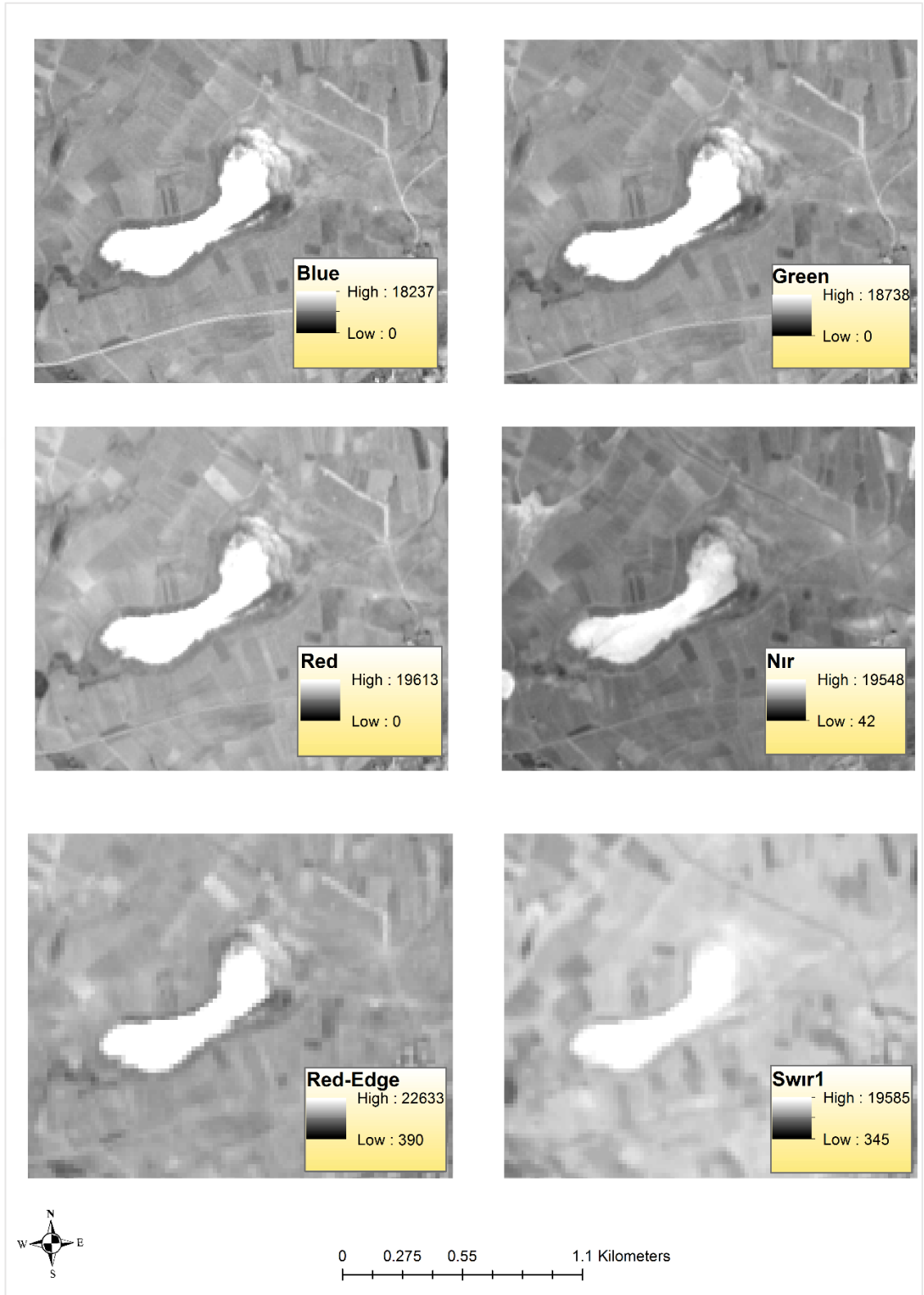
Şekil 3.5. İHA İle Çekilen Görüntülerden Hesaplanan İndeksler



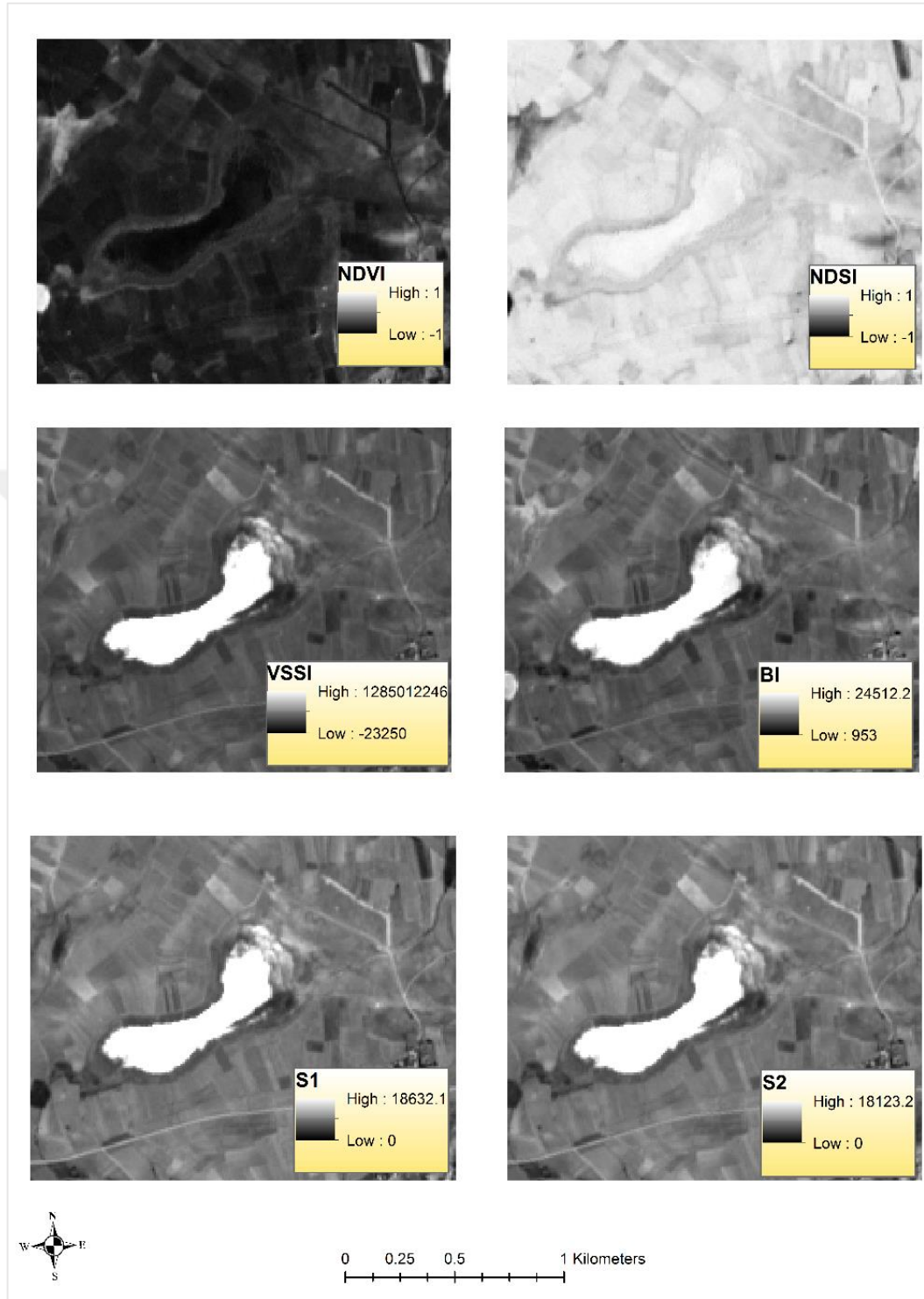
Şekil 3.6. İHA İle Çekilen Görüntülerden Hesaplanan İndeksler



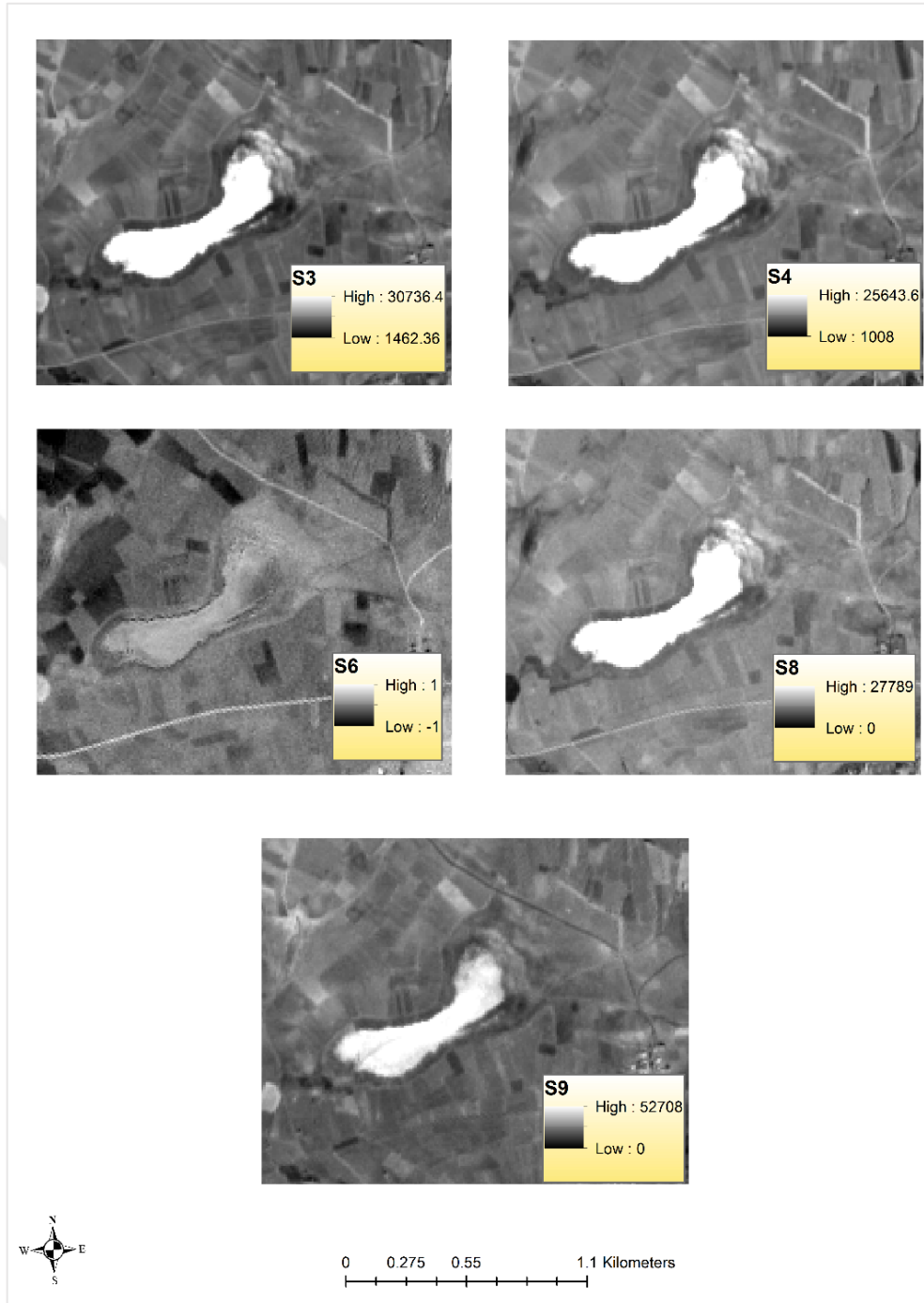
Şekil 3.7. İHA İle Çekilen Görüntülerden Hesaplanan İndeksler



Şekil 3.8. Sentinel 2B Görüntüsünün Bandları



Şekil 3.9. Sentinel 2B Görüntüsünden Hesaplanan İndeksler



Şekil 3.10. Sentinel 2B Görüntüsünden Hesaplanan İndeksler

4.BÖLÜM: BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. TOPRAK ELEKTRİKSEL İLETKENLİĞİ (EC) DEĞERLERİNİN TANIMLAYICI İSTATİSTİKLERİ VE YORUMLANMASI

Toprak EC'si, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tuzluluk değerlendirmelerinde önemli bir gösterge olup, tarımsal verimlilik, bitki gelişimi ve toprak sağlığı üzerinde belirleyici etkiler taşır (Rhoades et al., 1999; Sumner, 2000). Uyuz Gölü çevresinden toplanan 39 toprak örneğinin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri tanımlayıcı istatistik veri analizi ile değerlendirilmiştir (Tablo 4.1). Tanımlayıcı istatistik analizinden önce veri setinde uç değerlerin olup olmadığı boxplot ile kontrol edilmiş ve hiçbir uç değer olmadığından veri setinden hiçbir veri çıkarılmamıştır (Şekil 4.1).

Tablo 4.1 : Toprak Örneklerine Ait Tanımlayıcı İstatistik Tablosu

N	Min	Maks	Ortalama	S.Hata	Varyans	Çarpıklık	Basıklık
39	130	7880	3266	2827	7994534	0,153	-1,822



Şekil 4.1. EC Veri Seti İçin Boxplot Grafiği

Tanımsal istatistik analizinde EC değerlerinin minimum, maksimum, ortalama, standart hata, varyans, çarpıklık ve basıklık değerleri ve ayrıca boxpolt grafiği SPSS 19 yazılımı kullanılarak belirlenmiştir.

Elde edilen tanımlayıcı istatistik analizi sonuçlarına göre, elektriksel iletkenlik değerleri 130 $\mu\text{S/cm}$ ile 7880 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir. Ortalama (mean) EC değeri 3266.41 $\mu\text{S/cm}$ olarak belirlenmiş olup, bu durum örneklerin genel olarak orta düzeyden yüksek düzeye kadar değişen tuzluluk koşullarına sahip olduğunu göstermektedir. EC değerlerine ait standart sapma 2827.46 $\mu\text{S/cm}$, varyans ise 7,994 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek varyans ve standart sapma değerleri, örnekler arasında önemli düzeyde farklılıklar bulunduğuna işaret etmektedir.

Veri dağılımının simetrisi incelendiğinde, çarpıklık (skewness) değeri 0.153 olup bu değer pozitif ve sıfıra yakın olması, dağılımın oldukça simetrik olduğunu ve aşırı uç değerlerin veri setini önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir. Basıklık (kurtosis) değeri ise -1.822 olarak bulunmuş, bu da dağılımın normal dağılıma kıyasla daha basık olduğunu ve uç değerlerin görece az olduğunu göstermektedir.

Bu veriler ışığında, Uyuz Gölü çevresindeki topraklarda tuzluluk seviyelerinin heterojen bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Tanımlayıcı istatistik analiz sonuçlarına göre, Uyuz Gölü çevresindeki toprak örneklerinde ölçülen EC değerleri ortalamanın oldukça üzerinde olup, sahada yüksek tuzluluk seviyeleri tespit edilmiştir. Bu bulgu, gölün hidrolojik, morfometrik ve jeomorfolojik özellikleriyle yakından ilişkilidir (Aylar ve Zeybek, 2019).

Uyuz Gölü, Çekerek Çayı'nın iki yan kolu (Doğudaki Çığ deresi ve batıdaki Tekkesuyu deresi) arasında kalan sığ bir çöküntü alanında yer almakta olup, kapalı havza özelliği göstermektedir. Bu morfolojik yapı, göl suyunun dışa akışını engelleyerek, tuz ve çözünmüş iyonların sistem içinde birikmesine neden olmaktadır. Gölün dışa açılan doğal bir drenajının bulunmaması ve suların yalnızca buharlaşma yoluyla ortamdan uzaklaşması, tuz konsantrasyonunun zamanla artmasına yol açmaktadır. Bu tür kapalı göllerin tuzluluğu, özellikle yarı kurak iklim koşullarında buharlaşmanın yüksek, yağışın düşük olduğu dönemlerde belirgin şekilde yükselir

(Szabolcs, 1989; Richards, 1954; Doğan ve Koçyiğit, 2018; Allbed vd., 2013; Maki vd., 2022).

Uyuz Gölü, yıl içinde büyük ölçüde mevsimsel olarak beslenen bir sistemdir. Gölün esas beslenmesi yeraltı suları, kar erimeleri ve sınırlı miktarda yüzeysel akışla gerçekleşmektedir. Ancak gölü besleyen yüzeysel akarsu ya da kaynak bulunmamakta, bu durum gölün sürekli yenilenmesini sınırlandırmaktadır. Yeraltı suyu ile beslenme, çoğu zaman çözünmüş tuzların taşınmasını artırarak, su kütleindeki iyon değişiminin yükselmesine katkı sağlar. Gölün çevresinde yer alan geçirimsiz killi-siltli zeminler, hem tuzlu suyun yüzeyde birikmesine hem de drenaj yetersizliği nedeniyle tuzlu bataklıkların oluşmasına neden olmaktadır.

Göl çanağının sığ (en fazla 1.2–1.5 m derinlikte) ve küçük yüzölçümlü (yaklaşık 0.34 km²) olması, su hacminin mevsimsel olarak hızla değişmesine yol açmaktadır. Ağustos–Aralık döneminde gölün büyük ölçüde kuruması, göl tabanında tuz kristallerinin ve kabuklarının yüzeye çıkmasına neden olurken; yağışlı dönemde yeniden dolan göl, bu birikmiş tuzları çözerek suyun tuzluluğunu artırmaktadır. Bu döngü, gölün tekrarlayan bir tuz konsantrasyonu rejimine sahip olmasına yol açmaktadır (Yıldırım ve Atalay, 2016; Aylar ve Zeybek, 2019; Zhang vd., 2022).

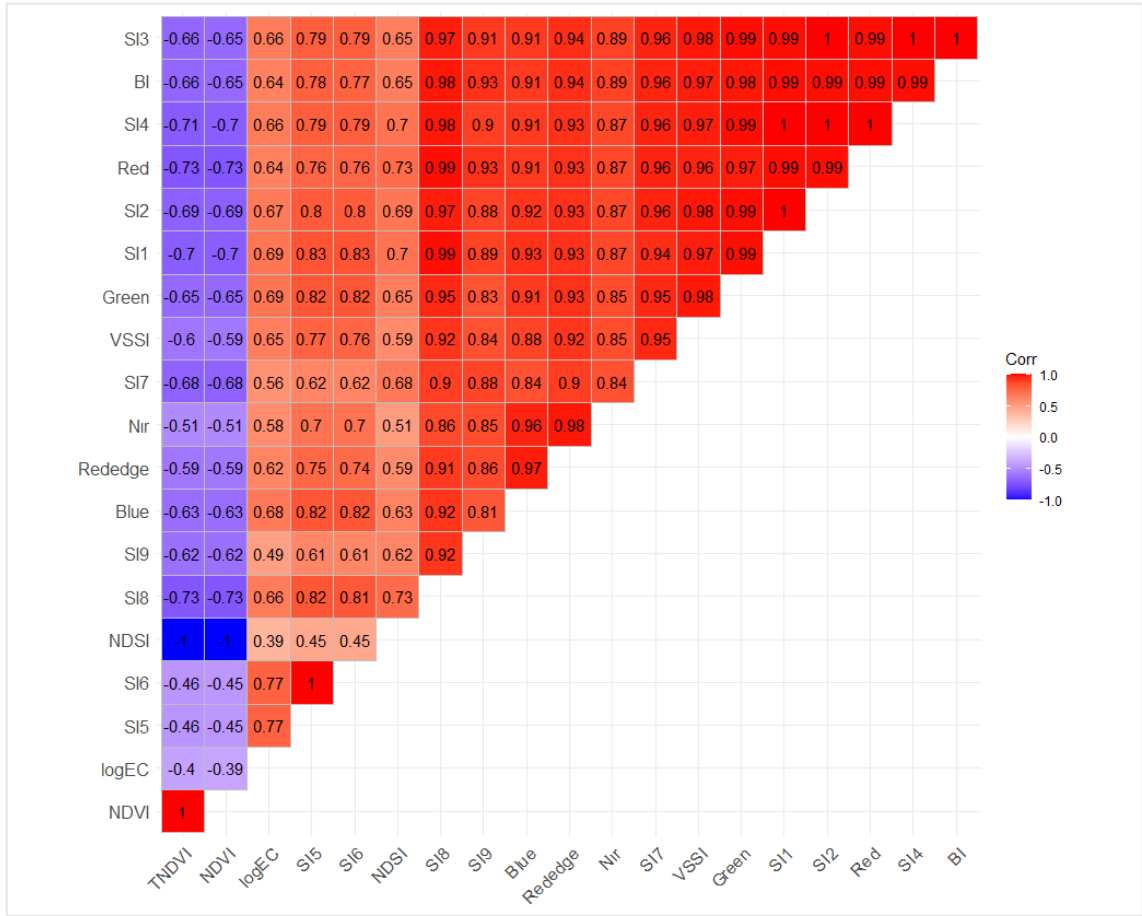
Ayrıca, gölün doğusunda 2008 yılında açılmış olan yapay tahliye kanalı, göl suyunun erken boşalmasına neden olmakta ve göl seviyesinin düşmesini hızlandırmaktadır. Bu durum, buharlaşma yüzeyini genişleterek çözünmüş tuzların daha hızlı çökmesine ve yüzey topraklarının tuzlanmasına zemin hazırlamaktadır. Böylece göl çevresindeki alanlar, özellikle yaz sonu ve sonbahar aylarında yüksek EC değerleri göstermektedir (Aylar ve Zeybek, 2019).

4.2. TOPRAK TUZLULUĞU İLE İHA SPEKTRAL BANTLARI VE İNDEKSLER ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Bu çalışmada, Uyuz Gölü çevresinden alınan 39 toprak örneğine ait elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin, İHA verilerinden elde edilen spektral bantlar ve çeşitli vejetasyon/tuzluluk indeksleriyle olan ilişkisi analiz edilmiştir. EC verileri, normal

dağılıma daha yakın bir yapı kazandırmak amacıyla logaritmik dönüşüme (logEC) tabi tutulmuştur. Korelasyon analizleri, Pearson korelasyon katsayısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2). Elde edilen sonuçlara göre, logEC ile en yüksek pozitif korelasyon gösteren değişkenler sırasıyla: SI5 ($r = 0.770$, $p < 0.01$), SI6 ($r = 0.767$, $p < 0.01$), SI8 ($r = 0.664$, $p < 0.01$), SI1 ($r = 0.687$, $p < 0.01$), SI2 ($r = 0.672$, $p < 0.01$) olmuştur. Bu indekslerin tamamı, İHA görüntülerinden türetilen tuzluluk ve yüzey parlaklığına duyarlı bileşik bant oranlamalarına dayanmaktadır. Bu durum, tuzlu yüzeylerin yüksek yansıtıcılık özellikleri nedeniyle bu indekslerin toprak tuzluluğunu belirlemede etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, klasik NDVI ($r = -0.394$, $p < 0.05$) ve TNDVI ($r = -0.402$, $p < 0.05$) gibi vejetasyon indeksleri logEC ile negatif yönlü ve anlamlı ilişki göstermiştir. Bu sonuç, yüksek tuzluluğun bitki örtüsünü baskılayarak vejetatif gelişimi azalttığını, dolayısıyla NDVI değerlerinin düştüğünü ortaya koymaktadır.



Şekil 4.2. Bağımlı Değişken (Logec) Ve İHA Veri Seti Arasındaki Pearson Korelasyon Tablosu

Benzer şekilde, VSSI indeksi logEC ile pozitif ve anlamlı düzeyde ilişkili bulunmuştur ($r \approx 0.65$, $p < 0.01$). Bu indeks yüzeydeki tuz birikimlerine karşı duyarlı olup, çıplak yüzeylerdeki spektral özellikleri yansıttıkları için bu bulgu beklentilerle uyumludur. Benzer şekilde Zhang vd. (2022) VSSI indeksinin toprak tuzluluğuyla anlamlı ilişkiler verdiğini belirtmiştir.

Öte yandan, blue, green, red ve NIR bantları ile logEC arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($p > 0.05$). Bu bantların her birinin doğrudan yansıma etkileri tuzluluk ile zayıf düzeyde ilişki göstermiştir; bu da bileşik indekslerin (örneğin SI serisi) spektral analizde daha güçlü belirteçler olduğunu göstermektedir.

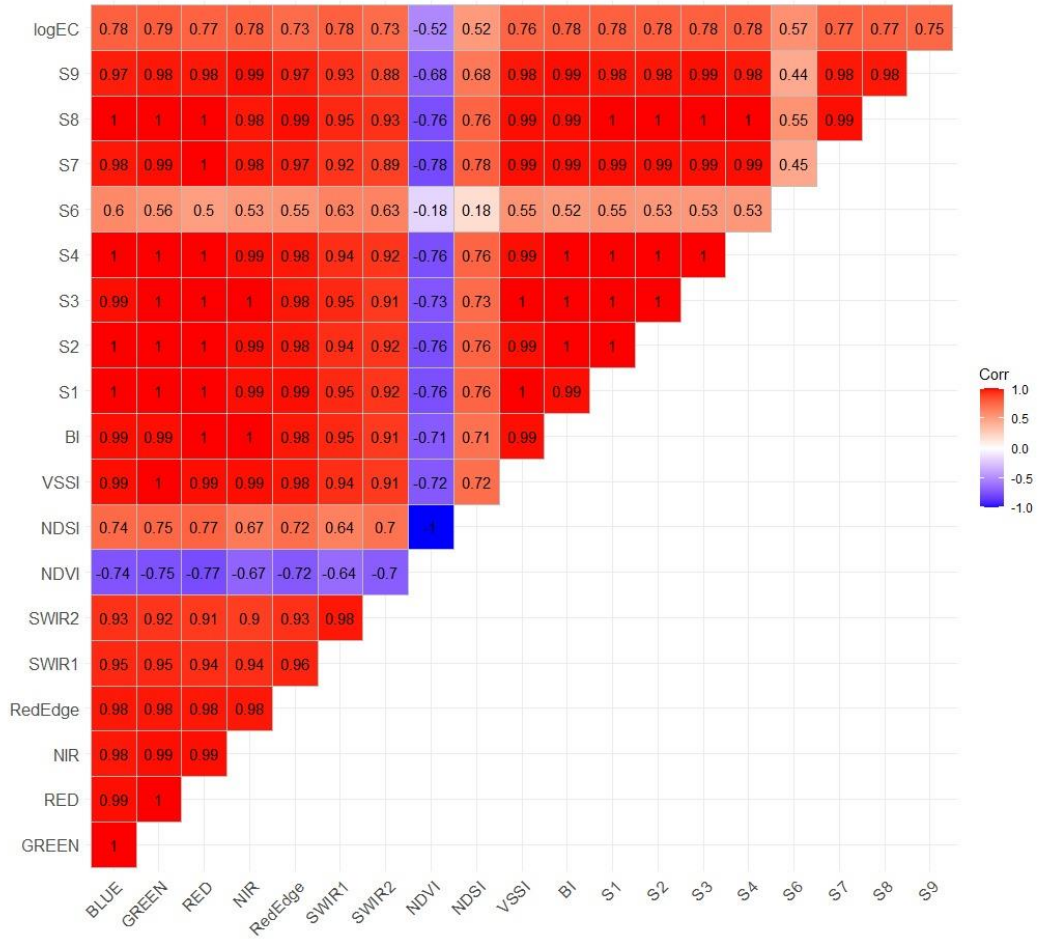
Genel olarak elde edilen bulgular, multispektral verilerden türetilen özellikle SI serisi indekslerin, Uyuz Gölü çevresindeki toprak tuzluluğunun mekânsal modellenmesinde yüksek potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bu sonuçlar, hem uzaktan algılama temelli tuzluluk analizlerinin gücünü hem de İHA verilerinin bu tür çalışmalarda uygulanabilirliğini göstermektedir.

4.3. TOPRAK TUZLULUĞU İLE SENTİNEL-2B SPEKTRAL BANTLARI VE İNDEKSLER ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Sentinel-2 uydu verilerinden oluşturulan spektral bandlar ve indeksler ile toprak örneklerinden belirlenen ve normal dağılıma getirilen logaritmik elektriksel iletkenlik (logEC) değerleri arasında yapılan Pearson korelasyon analizi sonuçları Şekil 4.3'te verilmiştir. Analiz sonucuna göre log EC ile bütün bandlar arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptanmıştır ($p < 0.01$). Özellikle mavi ($r = 0.78$), yeşil ($r = 0.79$), kırmızı ($r = 0.77$) ve NIR ($r = 0.78$) bantları log EC ile yüksek düzeyde ilişkilidir. Bu durum, tuzluluk düzeyi arttıkça yüzey yansıtım değerlerinin yükselmesiyle açıklanabilir. Benzer şekilde, Zhang ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda da tuzlu topraklarda özellikle görünür ve yakın kızılötesi bantlarda yansıtımın arttığı ve bu bantların tuzluluk modellemesinde yüksek doğruluk sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca red-edge bandı log EC ile $r = 0.73$ düzeyinde pozitif ve anlamlı korelasyon göstermiştir. Bu sonuç, red-edge bölgesinin (705–740 nm) bitki örtüsü stresine ve klorofil azalımına duyarlılığının yanı sıra, çıplak yüzeylerde mineral ve tuz birikimlerini de yansıtabildiğini göstermektedir. Li ve ark. (2023) ve Ge ve ark. (2022) red-edge bandının, bitki örtüsünün az olduğu alanlarda EC ile güçlü ilişki verdiğini ve özellikle yarı kurak koşullarda tuzluluğun iyi bir göstergesi olduğunu belirtmiştir. SWIR1 ve SWIR2 bandları da yüksek düzeyde ve anlamlı korelasyon göstermiştir (SWIR1 $r=0.74$, SWIR2 $r=0.73$). Bu bantlar, topraktaki su içeriği, kil mineralojisi ve çözünmüş tuzların spektral emilim özelliklerine duyarlıdır. SWIR bölgesinde tuzluluk, özellikle 1.6–2.2 μm dalga boylarında belirgin yansıtım artışıyla ifade edilir. Bu çalışmadaki SWIR korelasyon değerleri, Ge ve ark. (2024) tarafından bildirilen 0.70–0.80 aralığındaki değerlerle büyük ölçüde örtüşmektedir.

Spektral indeksler açısından bakıldığında, NDSI, VSSI ve BI log EC ile pozitif ve anlamlı ilişkiler göstermektedir ($r = 0.52-0.78$, $p < 0.01$). Bu indekslerin yüksek korelasyon değerleri, çıplak veya seyrek bitkili yüzeylerde tuz kabuğu ve kristallerinin spektral yansıtımı artırmasıyla açıklanabilir. Al-Khuzai (2022), Landsat 8 verileriyle yürüttükleri çalışmada benzer şekilde NDSI ve NDSI indekslerinin EC ile 0.40–0.70 aralığında korelasyon verdiğini bildirmiştir. Ayrıca, Bannari ve ark. (2018), görünür–SWIR kombinasyonlarının tuzluluk duyarlılığını artırdığını ve çok değişkenli modellerde bu bantların öne çıktığını vurgulamıştır.

Buna karşılık, NDVI log EC ile negatif korelasyon göstermektedir ($r = -0.52$, $p < 0.01$). Bu durum, yüksek tuzluluk koşullarında bitki gelişiminin baskılanması ve yeşil biyokütlenin azalması nedeniyle NDVI değerlerinin düşmesiyle ilgilidir. Allbed ve ark. (2013) ve Zhao ve ark.. (2022), bitki örtüsünün tuzluluk stresine verdiği spektral tepkinin NDVI’da anlamlı azalmaya neden olduğunu ve bu göstergenin dolaylı bir tuzluluk göstergesi olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.



Şekil 4.3. Bağımlı Değişken (Logec) Ve Sentinel-2B Veri Seti Arasındaki Pearson Korelasyon Tablosu

Sentinel-2'nin kısa dalga boylu bantlarından türetilen S1–S4 ve S8–S9 değişkenleri de log EC ile yüksek düzeyde pozitif korelasyon sergilemiştir ($r \approx 0.75$ – 0.79). Bu bantlar, özellikle 1.6 – 2.2 μm dalga boyu aralığında yüzey tuzluluğuna duyarlı oldukları için, multispektral tuzluluk haritalama çalışmalarında öne çıkan göstergelerdir. Benzer şekilde Dehni ve Lounis (2012), Bannari ve ark., (2018) ve Ge ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda da SWIR bantlarının toprak tuzluluğuna karşı en duyarlı spektral aralık olduğu belirtilmiştir.

Genel olarak bu bulgular, Sentinel-2 verilerinin toprak tuzluluğunun uzaktan algılama ile izlenmesinde güvenilir bir bilgi kaynağı sunduğunu göstermektedir. Literatürdeki benzer çalışmalar (Ma ve ark. 2020; Zang ve ark, 2022;) ile karşılaştırıldığında, elde edilen korelasyon katsayıları orta–yüksek düzeyde olup ($r \approx$

0.5–0.8), mevcut araştırmalarla uyumlu bir doğruluk düzeyine sahiptir. Ancak korelasyon değerlerinin tüm varyansı açıklamaması, toprak nemi, yüzey pürüzlülüğü, mineralojik yapı ve bitki örtüsü yoğunluğu gibi ek faktörlerin de modele dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir (Bannari vd., 2018; Allbed vd., 2024).

4.4. İHA VE SENTİNEL-2B VERİ SETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Uyuz Gölü çevresinde toprak tuzluluğunun modellenmesinde kullanılan İHA multispektral görüntüleri ile Sentinel-2B uydu verileri, uzamsal çözünürlük, spektral bant yapısı ve ölçüm doğruluğu bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların korelasyon ve modelleme sonuçlarına etkisini değerlendirmek amacıyla iki veri seti ayrıntılı biçimde karşılaştırılmıştır.

Sentinel-2B sensörü, görünür, yakın-kızılötesi (NIR), red-edge ve kısa dalga kızılötesi (SWIR1–SWIR2) bantları içeren 13 spektral banda sahiptir. Bu bantlar, özellikle yüzey mineralleri, nem ve tuz birikimlerini ayırt etmede oldukça etkilidir (Li ve ark., 2023). Buna karşın DJI Phantom 4 RTK Multispectral gibi platformlardan elde edilen İHA verileri, çok daha yüksek uzamsal çözünürlükte (21.2 cm) olup, yüzeydeki mikro-ölçekli tuz kabukları ve bitki stresini doğrudan algılayabilmektedir (Zhang vd., 2022).

İHA bantları dar spektral aralıklar içerdikinden, özellikle red-edge ve NIR bölgelerinde bitki-tuz etkileşimini Sentinel-2B'ye göre daha ayrıntılı göstermektedir (Bannari vd., 2018; Zhang vd., 2022). Ancak Sentinel-2B'nin daha geniş bant aralıkları, bölgesel ölçekte toprak tuzluluğu değişimlerini haritalanmasında avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle iki veri seti birbirini tamamlayıcı niteliktedir.

Her iki veri setinde de log EC ile anlamlı ve pozitif korelasyonlar elde edildiği görölmektedir. Sentinel-2B verilerinde en yüksek korelasyon yeşil bantta ($r = 0.79$, $p < 0.01$) bulunmuştur. Bu bant, tuz kristallerinin görünür spektrumda yansıtımı artırması nedeniyle yüzey tuzluluğuna en duyarlı bölgeyi temsil etmektedir. Ayrıca mavi ($r = 0.781$), NIR ($r = 0.784$) ve SWIR1–SWIR2 ($r \approx 0.74$) bantları da log EC ile güçlü ilişki sergilemiştir.

İHA verilerinde ise en yüksek korelasyon spektral bandlarda red-edge bandında ($r = 0.618$), ardından tuzluluk indekslerinde SI5–SI6 indekslerinde ($r \approx 0.77$) ve SI1 ($r = 0.687$) değerlerinde gözlenmiştir. Bu indekslerin yüksek korelasyon katsayıları, İHA verilerinin yüksek uzamsal çözünürlüğü sayesinde yüzeydeki tuz kabuklarını ve nem değişimlerini hassas biçimde algılayabilmesiyle açıklanabilir (Zhang ve ark. 2022). Bu sonuçlar, Sentinel-2B'nin bölgesel ölçekte homojen tuzluluk eğilimlerini, İHA'nın ise yerel mikro-ölçekli tuzluluk değişimlerini daha iyi temsil ettiğini göstermektedir.

4.5. TOPRAK TUZLULUĞUNUN MODELLENMESİ

Uyuz gölü çevresinin toprak tuzluğunun uzaktan algılama ile belirlenmesinde İHA ve Sentine-2B görüntü setleri arasında en yüksek korelasyon veren ($r=0.79$) bağımsız değişken Sentinel-2B verilerinden elde edilen yeşil spektral bandtır. Modelleme aşamasında bu band kullanılarak doğrusal regresyon analizi ile model oluşturulmuştur. Model özeti sonuçlarına göre (Tablo 4.2.) korelasyon katsayısı ($R = 0.79$) ve belirleme katsayısı ($R^2 = 0.62$) elde edilmiştir. Bu değer, log EC değişkenindeki toplam varyansın yaklaşık %62'sinin yeşil bant yansıtım değerleri tarafından açıklandığını göstermektedir. Düzeltilmiş $R^2 = 0.607$ değeri, modelin genellenebilirliğinin de güçlü olduğunu ortaya koymaktadır. Modelin tahmin hatası (Std. Error = 0.380) düşük olup, yeşil bant temelli tahminlerin tutarlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Aynı zamanda Tablo 4.3 de verilen ANOVA tablosunda modelin regresyon kareler toplamının artık kareler toplamından fazla olması ayrıca modelin güvenilirliğine işaret etmektedir (Doğan ve Kılıç, 2013). Regresyon artık değerlerin histogram dağılımının da normal dağılımda olması da modelin başarısını ortaya koymaktadır (Şekil 4.4)

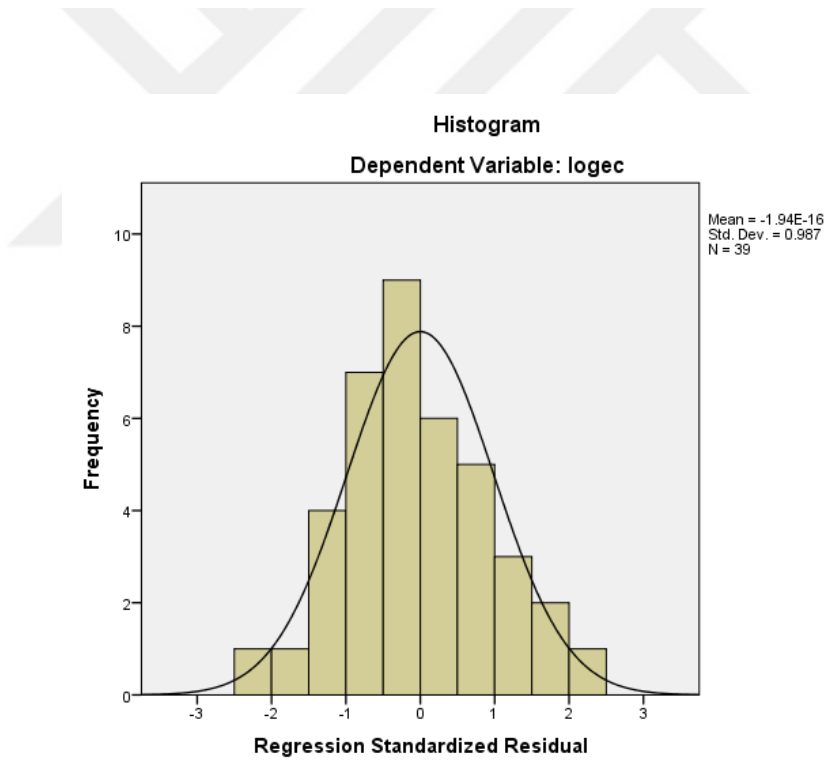
Tablo 4.2. LogEC ile Sentinel 2B Yeşil Bandı Arasındaki Model Uyum Düzeyi

Model	r	R ²	Düzeltilmiş R ²	Std. Hata	F	p
logEC = f(GREEN)	0.79	0.62	0.607	0.38	59.727	< 0.001

Tablo 4.3. Model ANOVA Tablosu

ANOVA^a

Model	Kareler toplamı	df	Ort. Kare	F	Sig.
1 Regresyon	8.635	1	8.635	59.727	.000 ^b
Artık	5.349	37	.145		
Toplam	13.985	38			



Şekil 4.4. Regresyon Artık Değerleri Histogram Grafiği

Benzer şekilde Zang vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda da yeşil bant yansıtımının, özellikle yüzey tuzluluğunun yoğun olduğu bölgelerde logEC ile yüksek düzeyde ilişkili olduğu ve doğrusal modellerde R² değerlerinin 0.55–0.65 aralığında

raporlandığı bildirilmiştir. Bu sonuçlar, mevcut çalışmada elde edilen $R^2 = 0.617$ değerinin literatürde ki bulgularla tam uyum içinde olduğunu göstermektedir.

Regresyon modelinin sonuçlarına göre (Tablo 4.4) elde edilen model formülü eşitlik 1 de verilmiştir. Bu eşitliğe göre, yeşil band değerindeki her bir birimlik artış, log EC değerinde 0.001 birimlik artışa karşılık gelmektedir. Yeşil bant katsayısı istatistiksel olarak oldukça anlamlıdır ($t = 7.728$; $p < 0.001$). Regresyon modelin Standardize edilmiş beta katsayısı ($\beta = 0.786$) modeldeki bağımsız değişkenin güçlü etkisini göstermekte olup, bu katsayının yüksekliği yeşil bandın tuzluluk değişimlerine karşı duyarlılığını ortaya koymaktadır.

Tablo 4.4. Doğrusal Regresyon Modeli Katsayıları

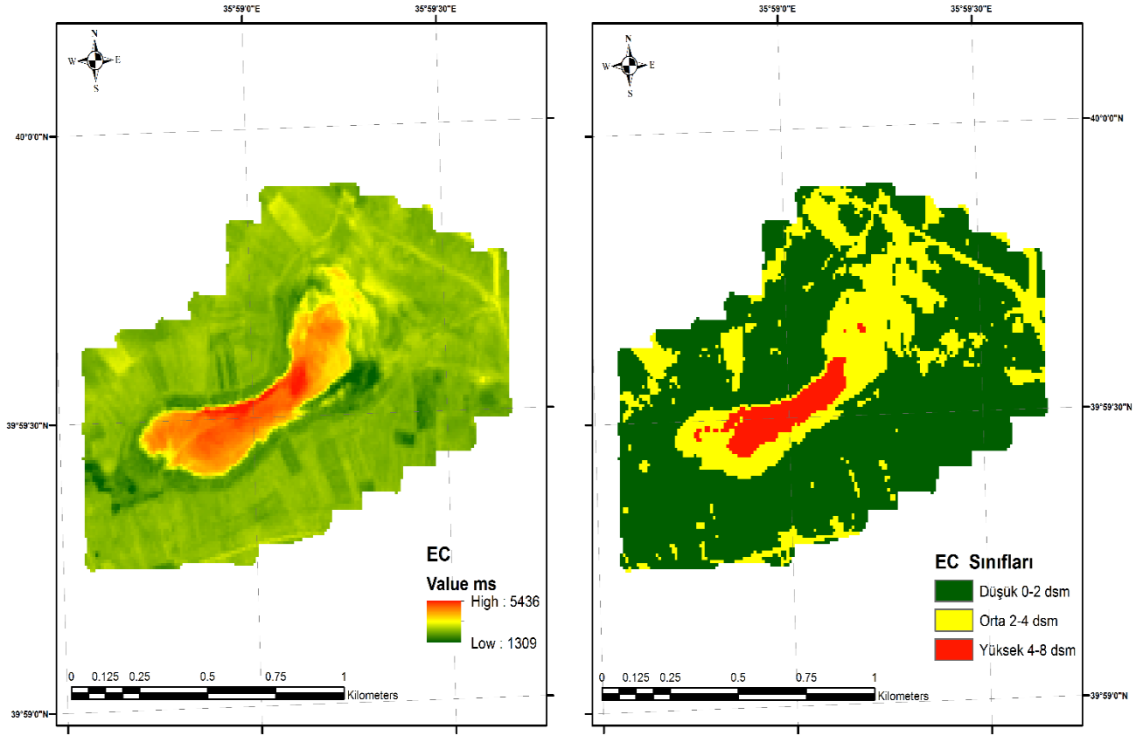
Model	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standartlaştırılmış Katsayılar	t	Sig.
	B	Std. Hata	Beta		
1 (Constant)	1.861	.185		10.049	.000
GREEN	.001	.000	.786	7.728	.000

a. Bağımlı Değişken: logec

$$\log EC = 1.861 + 0.001 \times (\text{GREEN}) \quad \text{Eşitlik 1}$$

4.6. MODEL HARİTASININ OLUŞTURULMASI

LogEC verileri ile Sentinel-2B görüntüsünün yeşil dalga boyu bandı arasında geliştirilen eşitlik 1'de verilen model ArcGIS yazılımının harita hesaplayıcısı yardımıyla raster haritaya çevrilmiştir. Hesaplanan raster harita şekil 4.5'te verilmiştir. Hazırlanan haritaya göre toprak tuzluluğu göl ve çevresinde 1309 dsm ile 5436 dsm arasında değişen değerler aldığı görülmüştür.



Şekil 4.5. Uyuz Gölü Ve Çevresi Topraklarının EC Model Haritası Ve Sınıflandırılmış EC Haritası

Hesaplanan model haritasının mekânsal değişimi incelendiğinde Uyuz gölü çevresinde toprak tuzluluğunun kuzeybatı-güneydoğu istikametinde uzanan merkezi çanak alanında yoğunlaştığını, buna karşın çevredeki yamaç ve teraslarda düşük değerlere gerilediğini göstermektedir.

Gölün kuzeydoğusundaki bataklık alanlarda orta EC değerlerinin görülmesi, yeraltı su tablasının yüzeye çok yakın olması ve kapalı drenaj koşulları altında ikincil tuzluluk gelişimiyle açıklanabilir. Bu durum, Metternicht ve Zinck (2003) ve Allbed ve Kumar (2013)'ın belirttiği gibi, kapalı havza ortamlarında tuzluluk birikiminin temel belirleyicilerindendir.

Uydu verilerinin yeşil bandı, çıplak yüzeylerde tuz kristallerinin yansıtımını arttırdığı için toprak tuzluluğunun belirlenmesinde oldukça etkilidir. Metternicht ve Zink (2003) bu bandın tuz birikimlerinin spektral ayırt edilmesinde kilit rol oynadığını,

Allbed ve Kumar (2013) ise yeşil ve kırmızı bantların özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda EC tahmini için en duyarlı dalga boyları olduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla Uyuz Gölü modelinde yeşil bandın yüksek korelasyon değeri ($r= 0.79$) beklenen fiziksel ilişki ile uyumludur. Model çalışma sahasındaki toplam varyasyonun %62 'sini açıklamaktadır ve bu sonuçta geliştirilen modelin orta düzeyde güçlü olduğuna işaret etmektedir.

Sınıflandırılmış EC haritası incelendiğinde, düşük tuzluluk sınıfı ($0-2 \text{ ds m}^{-1}$) geniş bir alanı kaplamakla birlikte (97.89 ha), orta ($2-4 \text{ ds m}^{-1}$) sınıf 33.93 ha alan kaplamakta. Yüksek tuzluluk sınıfına sahip alanlar ise göl çanağının merkezinde olacak şekilde yalnızca 5.21 ha alan kapladığı belirlenmiştir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Uyuz Gölü Ve Çevresi Toprak Tuzluluk Sınıflarının Alansal Dağılımı

Tuzluluk sınıfı	Alan (ha)
Düşük ($0-2 \text{ ds m}^{-1}$)	97.89
Orta ($2-4 \text{ ds m}^{-1}$)	33.93
Yüksek ($4-8 \text{ ds m}^{-1}$)	5.21
Toplam	137.04

Genel olarak model, yüksek EC değerlerinin göl çevresinde oval biçimli bir halka boyunca yoğunlaştığını, bunun da topoğrafya, buharlaşma ve yeraltı su dinamiklerinin ortak etkisini yansıttığını göstermektedir. Bu mekânsal dağılım, Orta Anadolu'daki diğer kapalı havzaların göllerinde (Gorji ve ark., 2017), Cezayir Oran bölgesindeki (Dehni ve Lounis, 2012), ve Pakistan'ın tuzlu ovalarında (Abbas ve ark. 2013) bildirilen dağılımlarla benzerlik göstermektedir.

5.BÖLÜM: SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada Uyuz Gölü ve çevresi topraklarının tuzluluk durumunun uzaktan algılama temelli olarak belirlenmesi amacıyla İHA çoklu spektral görüntüleri ve Sentinel-2B uydu verileri kullanılmıştır. Elde edilen spektral veriler laboratuvar ortamında ölçülen toprak elektriksel iletkenlik değerleriyle ilişkilendirilmiş, istatistiksel analizler sonucunda tuzluluk dağılımının mekânsal değişimi haritalandırılmıştır.

Korelasyon ve doğrusal regresyon analizleri, her iki veri kaynağının da toprak tuzluluğunu başarıyla temsil ettiğini göstermiştir. Sentinel-2B verilerinde yeşil bandın, İHA verilerinde ise red-edge (kırmızı kenar) bandının logEC ile en güçlü ilişkiyi sunduğu belirlenmiştir. Sentinel-2B veri setinden yeşil band en yüksek ilişkiyi sunduğundan modelleme işlemi bu bandla gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen model, toplam varyasyonu %62 oranında açıklayarak orta derece de başarılı bulunmuştur. Model haritasına göre Uyuz Gölü orta kesimi ve kıyı zonlarında yüksek EC değerlerinin baskın olduğunu ve bu durumun buharlaşma, yeraltı suyu yükselmesi ve kapalı havza koşullarının ortak etkisinden kaynaklandığını göstermektedir.

Çalışma sonuçları, uydu ve İHA verilerinin kullanıldığı model yaklaşımlarının, küçük ölçekli göl havzalarında toprak tuzluluğunun izlenmesi ve yönetimi için güçlü bir potansiyel sunduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, Uyuz Gölü çevresinde belirlenen yüksek tuzluluk alanlarının mevsimsel kuruma ve yanlış arazi kullanımına bağlı olarak genişleme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, hem toprak verimliliği hem de ekosistem sürdürülebilirliği açısından risk oluşturmaktadır. Bu bağlamda bölge için aşağıdaki öneriler tavsiye edilmiştir.

- Uyuz Gölü çevresinde toprak tuzluluğunun mevsimsel değişiminin izlenebilmesi için yıllık olarak geliştirilen model ile Sentinel-2B zaman serilerinin analizi yapılmalıdır.
- Gölün kıyı zonlarında yeraltı su derinliği ve elektriksel iletkenlik ölçümleri düzenli aralıklarla gerçekleştirilmelidir.
- İHA tabanlı izleme özellikle ilkbahar ve yaz dönemlerinde tekrarlanarak, tuzluluk artışının dinamikleri ayrıntılı biçimde belirlenmelidir.

- Elde edilen veriler, yerel yönetim ve tarımsal planlama çalışmalarına entegre edilerek tuzlanma riski yüksek alanlarda arazi kullanım politikaları gözden geçirilmelidir.
- Gelecekteki çalışmalarda, farklı sensörlerden (ör. Hypersektral veya PlanetScope) elde edilecek veriler kullanılarak çok kaynaklı modelleme yaklaşımları denenebilir.



KAYNAKÇA

- Al-Khuzai, M. M. (2022). Soil Salinity Monitoring and Quantification Using Modern Remote Sensing Techniques. *Journal of Ecological Engineering*, 23(11), 57-67.
- Allbed, A., & Kumar, L. (2013). Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Advances in remote sensing*, 2(4), 373-385.
- Arca, D. (2012). Afet yönetiminde coğrafi bilgi sistemi ve uzaktan algılama. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(2), 53-61.
- Aylar F., Zeybek H. İ. (2019) ‘‘ Uyuz Gölü (Sulusaray-Tokat)’’ Social Sciences Studies Journal 2019-42 S.4557-4572.
- Azabdaftarı, A.(2015)’’ Soil salinity mapping by integrating remote sensing data with ground measurements; a case study in Lower Seyhan Plate, Adana, Turkey / Uzaktan algılama verilerinin yersel ölçümlerle entegrasyonu ile toprak tuzluluk haritalaması; Aşağı Seyhan Ovası, Adana, Türkiye’’, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Bai, L.; Wang, C.; Zang, S.; Zang, S.; Wu, C.; Luo, J.; Wu, Y. Mapping Soil Alkalinity And Salinity In Northern Songnen Plain, China With The Hj-1 Hyperspectral Imager Data And Partial Least Squares Regression. *Sensors* 2018, 18, 3855.
- Bannari, A., El-Battay, A., Bannari, R., & Rhinane, H. (2018). Sentinel-MSI VNIR and SWIR bands sensitivity analysis for soil salinity discrimination in an arid landscape. *Remote Sensing*, 10(6), 855.
- Budak, M., Günal, H., Kılıç, O. M., & Acir, N. (2020). Tuzlu ve Sodik Arazilerde Islah ve Tarımsal Faaliyetler Sonrası Arazi Tahribatının Dengelenmesinin İzlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7(2), 172-182.
- Çini H,K. (2014) ‘‘ Toprak tuzluluğunun yüksek çözünürlükte görülebilir – yakın kızılötesi yansıma spektrometre tekniği ve yapay sinir ağları metodu ile karakterize edilmesi / Characterization of soil salinity using hyperspectral visible - near infrared reflectance spectroradiometer technique and artificial neural network’’ Harran Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

- Çullu, M.A., U.Dinç, S. Şenol, N. Öztürk, İ. Çelik ve H. Günel, (1995). Tuzlu ve Alkali Alanların Uydu Verileri Yardımıyla Haritalanması. Türkiye Toprak İlmi Derneği, İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu, Yayın No: Cilt 1, 163-172.
- Dakak, H.; Huang, J.; Zouahri, A.; Douaik, A.; Triantafilis, J. Mapping soil salinity in 3-dimensions using an EM38 and EM4Soil inversion modelling at the reconnaissance scale in central Morocco. *Soil Use Manag.* 2017, 33, 553–567.
- Davis, E.; Wang, C.; Dow, K. Comparing Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in soil salinity detection: A case study of agricultural lands in coastal North Carolina. *Int. J. Remote Sens.* 2019, 40, 6134–6153.
- Dehni, A., & Lounis, M. (2012). Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: application to the Oran region of Algeria. *Procedia Engineering*, 33, 188-198.
- Dogan, H. M., & Kılıç, O. M. (2013). Modelling and mapping some soil surface properties of Central Kelkit Basin in Turkey by using Landsat-7 ETM+ images. *International journal of remote sensing*, 34(15), 5623-5640.
- Doğan, U., Koçyiğit, A. (2018). Tuz Gölü havzasının jeomorfolojik evrimi ve göl sularında tuzluluğun gelişim mekanizması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 61(2), 145–162.
- Domingues Franceschini, M. H., Bartholomeus, H., Van Apeldoorn, D., Suomalainen, J., & Kooistra, L. (2017). Intercomparison of unmanned aerial vehicle and ground-based narrow band spectrometers applied to crop trait monitoring in organic potato production. *Sensors*, 17(6), 1428.
- Ge, X., Ding, J., Teng, D., Wang, J., Huo, T., Jin, X., ... He, B. (2022). Updated soil salinity with fine spatial resolution and high accuracy: the synergy of Sentinel-2 MSI, environmental covariates and hybrid machine learning approaches. *CATENA*, 212, 106054. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106054>
- Gitelson, A. A. (2017). Remote sensing of soil and vegetation properties: Advances and challenges. *Remote Sensing of Environment*, 198, 1–3.

- Gojiya K.M, Rank H.D, Chauhan P.M, Patel D.V, Satasiya R.M, Prajapati G.V. (2023) "Remote Sensing and GIS Applications in Soil Salinity Analysis: A Comprehensive Review". International Journal of Environment and Climate Change Volume 13, Issue 11, Page 2149-2161
- Gorji, T., Sertel, E., & Tanik, A. (2017). Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. *Ecological indicators*, 74, 384-391.
- Gorji, T.; Yildirim, A.; Hamzehpour, N.; Tanik, A.; Sertel, E. (2020). Soil salinity analysis of Urmia Lake Basin using Landsat-8 OLI and Sentinel-2A based spectral indices and electrical conductivity measurements. *Ecol. Indic.*, 112, 106173.
- Gorji, T. (2021). "Evaluating performance of different remote sensing techniques and various interpolation approaches for soil salinity assessment / Toprak tuzluluğu değerlendirmesi için farklı uzaktan algılama teknikleri ve çeşitli interpolasyon yaklaşımlarının performansının değerlendirilmesi", İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi
- Hoa, P.V.; Giang, N.V.; Binh, N.A.; Hai, L.V.H.; Phan, T.; Hasanlou, M.; Bui, D.T. Soil Salinity Mapping Using SAR Sentinel-1 Data and Advanced Machine Learning Algorithms: A Case Study at Ben Tre Province of the Mekong River Delta (Vietnam). *Remote Sens.* 2019, 11, 128.
- Honkavaara, E., Saari, H., Kaivosoja, J., Pölönen, I., Hakala, T., Litkey, P., ... & Pesonen, L. (2013). Processing and assessment of spectrometric, stereoscopic imagery collected using a lightweight UAV spectral camera for precision agriculture. *Remote Sensing*, 5(10), 5006-5039.
- Hu, J.; Peng, J.; Zhou, Y.; Xu, D.; Zhao, R.; Jiang, Q.; Fu, T.; Shi, Z. Quantitative Estimation of Soil Salinity Using UAV-Borne Hyperspectral and Satellite Multispectral Images. *Remote Sens.* 2019, 11, 736.
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A. K., Pulatov, A., Franceschini, M. H., Kramer, H., ... & Finkers, R. (2019). UAV-based soil salinity assessment of cropland. *Geoderma*, 338, 502-512.

- Ivushkin, K.; Bartholomeus, H.; Bregt, A.K.; Pulatov, A.; Kempen, B.; Sousa, L. Global mapping of soil salinity change. *Remote Sens. Environ.* 2019, 231, 111260.
- Jenny, H. *Factors Of Soil Formation*; McGraw-Hill: New York, Ny, Usa, 1941.
- Jiang, Q.; Peng, J.; Biswas, A.; Hu, J.; Zhao, R.; He, K.; Shi, Z. Characterizing dryland salinity in three dimensions. *Sci. Total Environ.* 2019, 682, 190–199.
- Kılıc, O. M., Budak, M., Gunal, E., Acır, N., Halbac-Cotoara-Zamfir, R., Alfarraj, S., & Ansari, M. J. (2022). Soil salinity assessment of a natural pasture using remote sensing techniques in central Anatolia, Turkey. *Plos one*, 17(4), e0266915.
- Kavak, K. Ş. (1998). Uzaktan algılamanın temel kavramları ve jeolojideki uygulama alanları. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 21(1), 63-74.
- Li, J., Zhao, X., Sun, W., ... (2023). Comparing Machine Learning Algorithms for Soil Salinity Mapping Using Sentinel-1/2 and DEM Data in the Yellow River Delta, China. *Remote Sensing*, 15(9), 2332. <https://doi.org/10.3390/rs15092332>
- Lu, Y., Peng, J., & Zhao, B. (2023). Integration of UAV and Sentinel-2 data for monitoring salinization dynamics in arid wetlands. *Ecological Indicators*, 152, 110315.
- Ma, Y., Chen, H., Zhao, G., Wang, Z., & Wang, D. (2020). Spectral index fusion for salinized soil salinity inversion using Sentinel-2A and UAV images in a coastal area. *IEEE access*, 8, 159595-159608.
- Ma, Z.; Zhou, L.; Yu, W.; Teng, H.; Shi, Z. (2018) Improving TMPA 3B43 V7 datasets using land surface characteristics and ground observations on the Qinghai-Tibet Plateau. *Int. J. IEEE Geosci. Remote. Sens. Lett.* 2018, 15, 178–182.
- Maki, M., Sritumboon, S., Srisutham, M., Yoshida, K., Homma, K., & Sukchan, S. (2022). Impact of changes in the relationship between salinity and soil moisture on remote sensing data usage in northeast Thailand. *Hydrological Research Letters*, 16(2), 54-58.
- McBratney, A.B.; Santos, M.L.M.; Minasny, B. On digital soil mapping. *Geoderma* 2003, 117, 3–52.

- Metternicht, G. I., & Zinck, J. A. (2003). Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote sensing of environment*, 85(1), 1-20.
- Mulder, V.L.; de Bruin, S.; Schaepman, M.E.; Mayr, T.R. The use of remote sensing in soil and terrain mapping—A review. *Geoderma* 2011, 162, 1–19.
- Naseri, M., Kiani, S., & Asgari, M. (2022). Comparison of UAV and Sentinel-2 data for soil salinity mapping in closed basins of Iran. *CATENA*, 210, 106008.
- Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K. D., & Ries, J. B. (2012). Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote sensing*, 4(11), 3390-3416.
- Peng, J.; Ji, W.; Ma, Z.; Li, S.; Chen, S.; Zhou, L.; Shi, Z. Predicting total dissolved salts and soluble ion concentrations in agricultural soils using portable visible near-infrared and mid-infrared spectrometers. *Biosyst. Eng.* 2016, 152, 94–103.
- Racetin, I., Krtalic, A., Srzic, V., ve Zovko, M. (2020). Characterization of short-term salinity fluctuations in the Neretva River Delta situated in the southern Adriatic Croatia using Landsat-5 TM. *Ecological Indicators*, 110, 105924. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105924>
- Ren, D.; Wei, B.; Xu, X.; Engel, B.; Li, G.; Huang, Q.; Xiong, Y.; Huang, G. Analyzing spatiotemporal characteristics of soil salinity in arid irrigated agro-ecosystems using integrated approaches. *Geoderma* 2019, 356, 113935.
- Roosjen, P. P., Brede, B., Suomalainen, J. M., Bartholomeus, H. M., Kooistra, L., & Clevers, J. G. (2018). Improved estimation of leaf area index and leaf chlorophyll content of a potato crop using multi-angle spectral data—potential of unmanned aerial vehicle imagery. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 66, 14-26.
- Santini, F., Carlucci, G., & Palombo, A. (2019). A multi-sensor approach for estimating soil salinity at field scale. *Remote Sensing*, 11(12), 1456.
- Shi, Z.; Cheng, J.; Huang, M.; Zhou, L. Assessing Reclamation Levels of Coastal Saline Lands with Integrated Stepwise Discriminant Analysis and Laboratory Hyperspectral Data. *Pedosphere* 2006, 16, 154–160.

- Sona, G., Passoni, D., Pinto, L., Pagliari, D., Masseroni, D., Ortuani, B., & Facchi, A. (2016). UAV multispectral survey to map soil and crops for precision farming applications. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 41, 1023-1029.
- Sultanov, M.; Ibrakhimov, M.; Akramkhanov, A.; Bauer, C.; Conrad, C. Modeling End-of-Season Soil Salinity in Irrigated Agriculture Through Multi-temporal Optical Remote Sensing, Environmental Parameters, and In Situ Information. *PFG-J. Photogramm. Remote Sens. Geoinf. Sci.* 2019, 86, 221–233.
- Taghadosi M. M, Hasanlou M, Eftekhari K.(2019)‘‘Retrieval of soil salinity from Sentinel-2
- Thiam, S., Villamor, G. B., Faye, L. C., Sène, J. H. B., Diwediga, B., ve Kyei-Baffour, N. (2021). Monitoring land use and soil salinity changes in coastal landscape: A case study from Senegal. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5), 259. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08958-7>
- Uygur, M. (2019).’’ Determination of lead-zinc deposits in Eastern Taurides using remote sensing techniques / Doğu Toroslardaki kurşun-çinko yataklarının uzaktan algılama yöntemleriyle belirlenmesi’’, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Van der Meij, B., Kooistra, L., Suomalainen, J., Barel, J. M., & De Deyn, G. B. (2017). Remote sensing of plant trait responses to field-based plant–soil feedback using UAV-based optical sensors. *Biogeosciences*, 14(3), 733-749.
- Vermeulen, D.; Van Niekerk, A. Machine learning performance for predicting soil salinity using different combinations of geomorphometric covariates. *Geoderma* 2017, 299, 1–12.
- Wang J, Peng J, Li H, Yin C, Liu W, Wang T, Zhang H.(2021) ‘‘Soil Salinity Mapping Using Machine Learning Algorithms with the Sentinel-2 MSI in Arid Areas, China.’’ *MDPI Remote Sens.* 2021, 13, 305. <https://doi.org/10.3390/rs13020305>

- Wang, J.; Ding, J.; Abulimiti, A.; Cai, L. (2018) Quantitative estimation of soil salinity by means of different modeling methods and visible-near infrared (VIS-NIR) spectroscopy, Ebinur Lake Wetland, Northwest China. *PeerJ*, 6, e4703.
- Wang, T., Li, J., & Zhou, C. (2024). Integrating Sentinel-2 and UAV data for high-resolution soil salinity mapping in irrigated basins. *Remote Sensing*, 16(8), 1520.
- Wang, X.; Zhang, F.; Ding, J.; Kung, H.; Latif, A.; Johnson, V.C. Estimation of soil salt content (SSC) in the Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve (ELWNNR), Northwest China, based on a Bootstrap-BP neural network model and optimal spectral indices. *Sci. Total Environ.* 2018, 615, 918–930.
- Wicke, B.; Smeets, E.; Dornburg, V.; Vashev, B.; Gaiser, T.; Turkenburg, W.; Faaij, A. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. *Energy Environ. Sci.* 2011, 4, 2669–2681.
- Wu, W.; Muhaimeed, A.S.; Al-Shafie, W.M.; Al-Quraishi, A.M.F. Using L-band radar data for soil salinity mapping—a case study in Central Iraq. *Environ. Res. Commun.* 2019, 1, 081004.
- Xu, W., Chen, P., Zhan, Y., Chen, S., Zhang, L., & Lan, Y. (2021). Cotton yield estimation model based on machine learning using time series UAV remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104, 102511.
- Yıldırım A. (2021) ‘‘ High-resolution soil salinity mapping using machine learning based regression and classification methods / Makine öğrenimi tabanlı regresyon ve sınıflandırma yöntemlerini kullanarak yüksek çözünürlüklü toprak tuzluluğu haritalaması’’, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi
- Yıldırım, C., Atalay, İ. (2016). Burdur Gölü havzasında iklimsel ve jeomorfolojik koşulların tuzluluk üzerindeki etkisi. *Coğrafya Dergisi*, 33, 25–42.

Zhang, Z., Niu, B., Li, X., Kang, X., & Hu, Z. (2022). Estimation and dynamic analysis of soil salinity based on UAV and Sentinel-2A multispectral imagery in the coastal area, China. *Land*, 11(12), 2307.

Zhao, Y., He, L., & Gao, P. (2022). NDVI response to soil salinity in coastal ecosystems. *Ecological Indicators*, 141, 109071.



ÖZGEÇMİŞ

