



TÜRKİYE VE DÜNYADA ÇEVRE BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Saadet HACISALİHOĞLU

yaz
yayınları

Türkiye ve Dünyada Çevre Bilimleri ve Mühendisliği

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Saadet HACISALİHOĞLU

yaz
yayınları

2025

**Türkiye ve Dünyada Çevre Bilimleri ve
Mühendisliği**

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Saadet HACİSALİHOĞLU

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8678-39-0

Aralık 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Antalya İli Yoğun Yapılaşma Alanlarındaki Hava Kirleticilerin (CO, NO₂, SO₂) Uydu Tabanlı Aylık Değişimi ve Yüzey Sıcaklığı İle İlişkisi	1
<i>Kübra ŞAHİN, Namık Kemal SÖNMEZ, Batuhan KARTAL</i>	

Havzalar arası Su Transferindeki Risklerin AHS Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Örnek Uygulama	21
<i>Seçil KARABAY, Feriha YILDIRIM EKİM</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

ANTALYA İLİ YOĞUN YAPILAŞMA ALANLARINDAKİ HAVA KİRLETİCİLERİN (CO, NO₂, SO₂) UYDU TABANLI AYLIK DEĞİŞİMİ VE YÜZEY SICAKLIĞI İLE İLİŞKİSİ

Kübra ŞAHİN¹

Namık Kemal SÖNMEZ^{*2}

Batuhan KARTAL³

1. GİRİŞ

Hava kirliliği, atmosferdeki zararlı gaz ve partikül maddelerin canlı yaşamı ve çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturacak düzeye ulaşmasıyla ortaya çıkan önemli bir çevre sorunudur. Sanayileşme, kentleşme ve özellikle konut ısınması, ulaşım ve turizm faaliyetlerinde artan enerji kullanımı, azot dioksit (NO₂), kükürt dioksit (SO₂) ve karbon monoksit (CO) gibi kirleticilerin atmosfere salınımını artırmaktadır (World Health Organization [WHO], 2024). Bu durum hem hava kalitesinin düşmesine hem de güneş ışığı etkisiyle bu gazların atmosferde tepkimeye girerek ozon (O₃) ve diğer kirleticilerin oluşumunu hızlandırmasına yol açmaktadır (Monks et al., 2015). CO, fosil yakıtların eksik yanması sonucu oluşmakta olup özellikle trafik kaynaklı emisyonlarda önemli bir paya sahiptir; yüksek konsantrasyonlarda insan sağlığı üzerinde toksik etkilere neden

¹ Kübra Şahin, Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, kubrasahin0103@gmail.com, ORCID: 0009-0007-3739-9931

² Prof. Dr. Namık Kemal Sönmez, Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, ORCID: 0000-0001-6882-0599.

³ Batuhan Kartal, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü (YL), ORCID: 0009-0009-0066-6842.

olabilmektedir (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2021). Motorlu taşıtlar ve sanayi faaliyetleri sonucu ortaya çıkan NO₂, troposferik ozon oluşumuna katkıda bulunarak solunum yolu rahatsızlıklarını tetikleyebilmekte ve özellikle hassas gruplar üzerinde olumsuz sağlık etkileri yaratmaktadır (WHO, 2021). Fosil yakıtların yanmasıyla oluşan SO₂, asit yağmurlarına yol açarak ekosistemi etkilediği gibi; solunum, kardiyovasküler ve sinir sistemleri üzerindeki etkileriyle insan sağlığını da tehdit etmektedir (Khalaf et al., 2024; Seinfeld & Pandis, 2016). Bu kirleticilerin etkileri, özellikle yoğun insan faaliyetlerinin görüldüğü kentsel alanlarda, hava kirliliği ve diğer çevresel sorunların artmasına yol açmakta hem ekosistemleri hem de insan sağlığını farklı şekillerde etkileyerek hava kirliliğini küresel bir çevre sorunu hâline getirmektedir. Ayrıca sosyal yaşam, ekonomik faaliyetler ve toplumsal refah üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Küresel hava kirliliği, Türkiye özelinde değerlendirildiğinde özellikle kıyı bölgelerinde, turizm ve hızlı kentleşmenin etkisiyle yerel ölçekte de önemli sorunlara yol açmaktadır. Kentsel alanlarda yoğun trafik, sanayi tesisleri ve enerji tüketimi bu sorunu derinleştirirken, düşük rüzgâr hızı, sıcaklık terselmesi ve durağan hava koşulları kirletici gazların atmosferde birikmesine yol açarak hava kalitesini daha da düşürebilmektedir (Liu et al., 2019). Türkiye genelinde, hızla artan kentleşme ve fosil yakıtlara dayalı enerji talebi sonucunda sera gazı emisyonlarının son 20 yılda yaklaşık %45 oranında arttığı bildirilmektedir (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2023). Bu genel eğilimin bir yansıması olarak, Antalya özelinde turizm ve hızlı kentleşmeye bağlı artan trafik yoğunluğu, hava kirleticilerinin (gazlar ve partiküller) yükselmesinde başlıca etkenlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Rüzgârın düşük olduğu dönemlerde ise kirleticilerin yatay ve dikey taşınımı sınırlanmakta, alt atmosferde birikme sonucu hava kalitesi

belirgin şekilde bozulmaktadır (Ketzel et al., 2020). Hava kirleticilerinin tespiti ve konsantrasyon ölçümlerinde kullanılan yer istasyonları, genellikle lokal ölçekte kalmakta ve dar alanları temsil etmektedir. Buna karşın özellikle geniş alanlarda ve sürekli izleme gerektiren durumlarda, uzaktan algılama teknikleri etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Veefkind et al., 2012). Uzaktan algılama, yeryüzü ve atmosfer olaylarını doğrudan temas olmadan, uydular veya hava platformları aracılığıyla elektromanyetik radyasyon ölçerek inceleyen bir yöntem olup (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2021), kentsel alanlarda kirleticilerin mekânsal ve zamansal dağılımını detaylı biçimde analiz etmeyi sağlar. Bu sayede şehirleşme, trafik yoğunluğu ve sanayi faaliyetleri gibi insan kaynaklı faktörlerin hava kalitesi üzerindeki etkileri hassas bir şekilde incelenebilir.

Dünya genelinde Sentinel-5P TROPOMI sensörü, NO₂ ve SO₂ gibi gaz kirleticilerinin kentsel alanlardaki mekânsal ve zamansal değişimini izlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, bu sensörün yer ölçümleriyle yüksek tutarlılık gösterdiği görülmektedir. Örneğin, Çin’de yapılan bir çalışmada Sentinel-5P NO₂ kolon yoğunlukları verisi ile yer ölçümleri karşılaştırılmış ve aralarında yüksek korelasyon ($R^2 = 0,72$) bulunarak kirliliğin kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde toplandığı gözlemlenmiştir (Zhou et al., 2020). Bu bulgulara ek olarak, Helsinki’de yapılan bir diğer çalışmada, TROPOMI NO₂ verileri ile yer tabanlı Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS) ölçümleri karşılaştırılmış ve uydudan elde edilen kolon verilerinin şehir hava kalitesi izlemede güvenilir olduğu gösterilmiştir (York et al., 2018). Uydu verileri, izlemenin ötesinde modelleme çalışmalarına da entegre edilmektedir. Kong, Zhang, and Wang (2025) ensemble Kalman filtresi ve CMAQ hava kalite modellemesi kullanılarak TROPOMI verilerinden günlük NO₂ emisyon tahmini gerçekleştirmişlerdir. Douros,

Eskes, and van Geffen (2023) ise Avrupa genelinde Sentinel-5P NO₂ verilerini, CAMS bölgesel hava kalite modeli ile karşılaştırmış ve yaz/kış mevsimsel değişimler ile kent bazlı emisyon kaynaklarının başarıyla modellendiğini göstermiştir. Ayrıca TROPOMI sensörünün öncüsü olan OMI uydusu kullanılarak yapılan küresel analizlerde ise 1.274 şehirdeki NO₂ kolon yoğunluğu kent nüfusu ile güçlü bir şekilde ilişkili ($r = 0,69$) bulunmuştur (Martin et al., 2013).

Atmosferik kirleticilerin mekânsal dağılımı yalnızca emisyon kaynaklarına değil, aynı zamanda yüzey özellikleri ve iklimsel koşullara da bağlıdır. Özellikle beton ve asfalt yüzeylerin yoğun olduğu kentsel alanlarda oluşan "Kentsel Isı Adası (KIA)" etkisi, yüzey sıcaklıklarını artırarak atmosferik kararlılığı ve kimyasal reaksiyon süreçlerini değiştirmektedir (Yılmaz & Öztürk, 2023). Bu nedenle, atmosferik gaz gözlemlerinin MODIS uydusundan elde yüzey sıcaklığı (LST) verileri ile birlikte değerlendirilmesi, kentsel iklim-hava kalitesi etkileşimlerinin daha bütüncül biçimde anlaşılmasına olanak sağlamaktadır (Voogt & Oke, 2003; Wan, 2014). Nitekim güncel çalışmalarda, MODIS LST verileri ile NO₂ ve CO konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyonlar ($r = 0,65-0,78$) tespit edilmiş; yüzey sıcaklığının kirletici dağılımı üzerindeki belirleyici rolü ortaya konmuştur (Khesali & Mobasheri, 2023; Mathew et al., 2025).

Türkiye’de yürütülen çalışmalarda da uydu tabanlı uzaktan algılama yöntemleri, kirlilik kaynaklarının tespiti ve tahminlenmesinde etkin biçimde kullanılmaktadır. Sanayi ve nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu Kocaeli’de yapılan analizlerde, Sentinel-5P verileri ile NO₂ ve CO konsantrasyonlarının sanayi bölgeleriyle ilişkisi ortaya konmuştur (Çelen, Yıldız, & Demir, 2025). Benzer şekilde yoğun nüfusun olduğu İzmir’de Bilgiç ve Elbir (2025), makine öğrenmesi (Random Forest) modeli ile saatlik NO₂ tahminleri

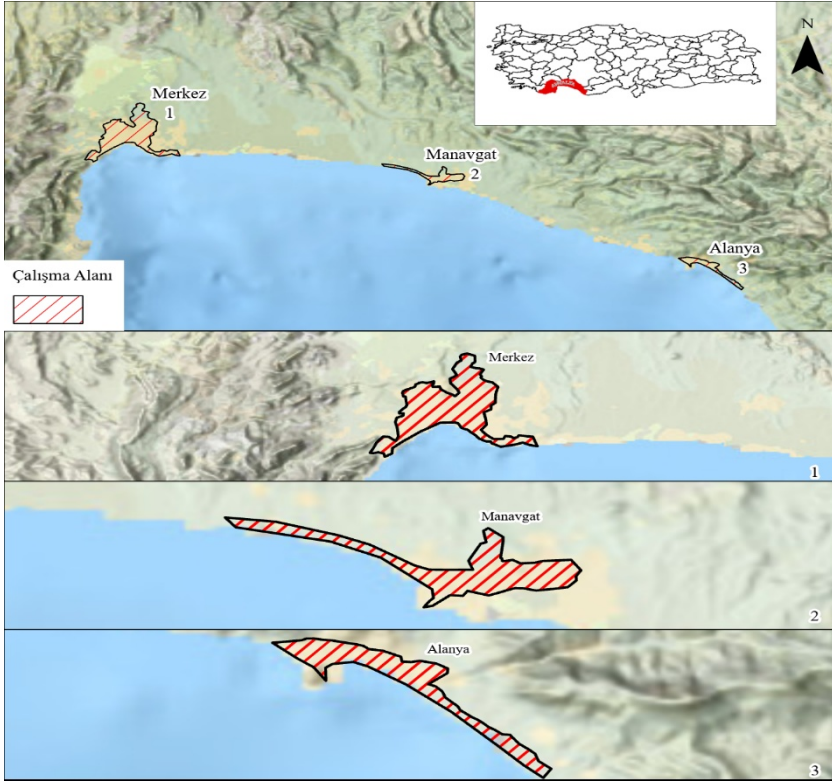
yapmış ve model yüksek doğruluklu ($R^2 = 0,71$) performans göstermiştir. İstanbul’da ise Aydın ve Aydın (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Sentinel-5P verileri ile mevsimsel NO_2 düzeyleri tahmin edilmiş ve trafik kaynaklı emisyonlar haritalandırılmıştır. Ayrıca, antropojenik kaynakların yanı sıra orman yangınlarının da hava kirliliği üzerine yapılan çalışmalar vardır. Örneğin Akyürek (2022) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de orman yangınları sonrası Sentinel-5P aracılığıyla CO ve SO_2 emisyonları izlenmiş ve yangınların kısa dönemli hava kalitesi etkileri bilimsel olarak ortaya konmuştur.

Bu çalışmanın amacı, 2022–2024 yılları arasında Antalya ilinde nüfus yoğunluğu yüksek kentsel bölgeler için Sentinel-5P TROPOMI verilerinden elde edilen CO, NO_2 ve SO_2 yoğunluklarının aylık değişimini incelemektir. Ayrıca bu kirleticilerin MODIS LST verisi ile olan ilişkisini aylık ölçekte korelasyon analiziyle ortaya koymak hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, seçilen bölgeler için öncelikle aylık zaman serileri oluşturulacaktır. Ardından LST–kirletici ilişkileri istatistiksel olarak değerlendirilecektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Türkiye’nin Akdeniz Bölgesi’nde yer alan Antalya ili ve özellikle Antalya Merkez, Manavgat ve Alanya ilçeleri seçilmiştir (Şekil 1). Antalya ili yaklaşık 20.177 km^2 yüzölçümüne sahip olup, $36^{\circ}07'–37^{\circ}29'$ kuzey enlemleri ile $29^{\circ}20'–32^{\circ}35'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır (TÜİK, 2023). Antalya, tipik bir Akdeniz iklimine sahiptir; yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılıman ve yağışlıdır. Bu iklim, özellikle yaz aylarında turizm faaliyetleri ve konut ile ulaşım kaynaklı enerji kullanımının artması nedeniyle hava kalitesi üzerinde etki oluşturabilir.



Şekil 1. Seçilen çalışma alanları

Bu çalışmada ele alınan alanlar, turizm ve hızlı kentleşmenin yoğun hissedildiği kıyı yerleşimleridir ve Şekil 1’de verilmektedir. Antalya Merkez, kentin idari ve ticari yapısının toplandığı, yıl boyunca nüfus hareketliliğinin yüksek olduğu bir bölgedir. Manavgat hem tarım alanları hem de Side gibi turistik merkezleriyle öne çıkmakta ve özellikle yaz aylarında belirgin bir sezonluk nüfus artışı yaşamaktadır. Alanya, turizmi ve yabancı nüfusun artışıyla öne çıkmaktadır. Son yıllarda ilçede konut projeleri yoğunlaşmış ve kentleşme hız kazanmıştır. Antalya genelinde 1980’lerden sonra hızlanan turizm, göç ve konut talebi kentleşme sürecini hızlandırmıştır (Işık & Zoğal, 2017; Manavoğlu & Kutlu, 2005). Bu tür yoğun kentleşme ve turizm baskısının yerleşim alanlarında enerji tüketimini artırdığını ve

bunun hava kalitesi ile kentsel ısı adası oluşumunu olumsuz etkilediğini göstermektedir (Gossling, 2002). Bu sonuçlar, Manavgat ve Alanya gibi turizm odaklı ilçelerde yapılacak analizler için destekleyici bir örnek teşkil etmektedir.

2.1.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan başlıca veri setleri, Sentinel-5P TROPOMI ve MODIS uydu ürünleridir. Bu veriler Google Earth Engine (GEE) platformu üzerinden ilgili kataloglardan temin edilmiştir.

Sentinel-5P, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 2017’de fırlatılmış olup atmosferdeki temel gaz kirleticilerini yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlükte izlemek amacıyla tasarlanmıştır. Üzerindeki TROPOMI sensörü, UV (270–300 nm ve 300–320 nm), visible (VIS; 675–715 nm ve 715–775 nm), NIR (2315–2365 nm ve 2365–2385 nm) ve SWIR (2305–2385 nm) bantlarında gözlem yapabilmekte ve NO₂, CO, SO₂, O₃, CH₄ gibi gazların kolon yoğunluklarını tespit edebilmektedir (Lamsal et al., 2020; Veeffkind et al., 2012). 2019’dan sonra sensörün uzaysal çözünürlüğü 3,5 × 5,5 km² olarak güncellenmiş olup, günlük (24 saat) veri sağlama özelliği ile kentsel alanlarda kirleticilerin zamansal değişimlerini izlemeye imkân tanımaktadır. Bu çalışmada, Google Earth Engine (GEE) platformu üzerinden sağlanan ve kullanıma hazır hale getirilmiş Seviye-3 veri setleri kullanılmıştır. İlgili sensörün genel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. SENTİNEL 5P / TROPOMİ bandlarının genel özellikleri

Band Grubu	Spektral Aralık (nm)	Mekânsal Çözünürlük (Seviye-3)	Zamansal Çözünürlük
UV	270 – 320	1x1 km	1 gün
VIS	320 – 500	1x1 km	1 gün
NIR	675 – 775	1x1 km	1 gün
SWIR	2305 – 2385	1x1 km	1 gün

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), Terra ve Aqua uydularında bulunan multispektral bir sensördür ve küresel ölçekte güvenilir yüzey sıcaklığı (LST) tahminleri sunmaktadır (Wan, 2014). MODIS'in LST ürünleri, 1 km mekânsal çözünürlüğe sahip olup, 8 günlük kompozit görüntüler olarak sunulmaktadır. Bu veri, kentsel ısı adası etkisinin ve yüzey sıcaklığı ile atmosferdeki gazlar arasındaki ilişkilerin incelenmesinde kullanılmıştır. GEE kataloğunda bulunan LST ürünleri Band 31 ve 32 değerlerinden türetilmiştir, bu bandlara ait genel özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. MODIS uydusuna ait Bandların genel özellikleri

Band İsmi	Spektral Aralık (nm)	Mekânsal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük
Band 31	10.78-11.28	1x1 km	8 gün
Band 32	11.77-12.27	1x1 km	8 gün

2.1.1.1. Yöntem

Bu çalışmada yöntemsel süreç; çalışma alanlarının belirlenmesi, uydu tabanlı veri setlerinin temin edilmesi, veri ön işleme adımlarının uygulanması, zamansal filtreleme, mekânsal analizler ve istatistiksel değerlendirmelerden oluşmaktadır. İlk aşamada, Antalya Merkez, Manavgat ve Alanya ilçelerine ait çalışma alanları QGIS yazılımı kullanılarak yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri üzerinde elle sayısallaştırılmış, elde edilen poligon sınırlar, çalışma alanlarını temsil eden arazi kullanım desenini olabildiğince doğru yansıtabilecek şekilde görsel yorumlama yapılarak oluşturulmuştur. Bu çizimler sonrasında GEE platformuna aktarılmak üzere .shp formatında dışarıya aktarılmıştır. Uydu verilerinin işlenmesi ve analizinde Google Earth Engine (GEE) platformu kullanılmıştır. GEE, büyük ölçekli uydu veri setlerini bulut tabanlı olarak işleyebilen, veri ön işleme, analiz ve görselleştirme imkânı sunan bir çevrimiçi platformdur (Gorelick et al., 2017). Bu sayede veri ön işleme adımları hızlı ve

verimli bir şekilde gerçekleştirilmiştir. GEE ortamında her bir çalışma alanı için atmosferik gazlar ve yüzey sıcaklığına ait piksel değerleri ayrı ayrı hesaplanmış, üç ilçenin ortalama değerleri elde edilmiş ve son aşamada bu ortalamalar birleştirilerek bölgeyi temsilen tek bir birleşik ortalama değer oluşturulmuştur. Bu yaklaşım hem ilçe bazlı hem de bölgesel düzeyde değerlendirme yapılabilmesine olanak sağlamış, mekânsal farklılıkların ve genel trendlerin karşılaştırmalı olarak incelenmesini mümkün kılmıştır.

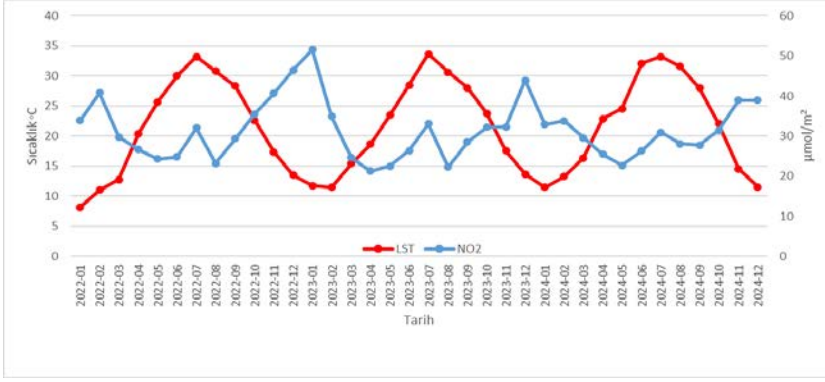
Çalışmanın zaman aralığı 2022–2024 yılları olarak belirlenmiş olup, bu dönem hem Sentinel-5P hem de MODIS veri setlerinin yüksek süreklilik ve güvenilirlik sağladığı bir dönemi temsil etmektedir. Günlük çözünürlükteki uydu verilerinde görülen sensör boşlukları ve bulutluluk kaynaklı eksiklikleri azaltmak amacıyla, tüm veri setleri aylık ortalama değerlere dönüştürülmüştür. Bu sayede hem zamansal tutarlılık artırılmış hem de mevsimsel eğilimlerin daha güvenilir biçimde ortaya konması sağlanmıştır. Atmosferik kirleticilerin belirlenmesinde, Sentinel-5P/TROPOMI sensörünün OFFL Level-3 ürünleri kullanılmıştır. Buradaki “offline (OFFL)” ifadesi, verilerin uydu tarafından toplandıktan sonra mekânsal ve radyometrik kalibrasyonlarının yapıldığını gösterir. Çalışmada NO₂, CO ve SO₂ gazları değerlendirilmiş, bu gazların seçimi hem kentsel ısı adası etkisi hem de enerji tüketimi ve sanayi kaynaklı kirletici dağılımlarını temsil etmesi açısından literatürde önerilen temel gaz türleri olarak yapılmıştır. TROPOMI verilerinde bulutun etkisini minimize etmek amacıyla %20 bulut filtresi uygulanmış, böylece düşük güvenilirlikteki ölçümler analizden çıkarılarak veri setinin doğruluğu artırılmıştır.

Yüzey sıcaklığı analizlerinde ise MODIS sensörünün hem gündüz hem de gece bantları kullanılmıştır. Bu yaklaşım gün içindeki sıcaklık değişimini daha doğru yansıtarak, yüzeyin termal davranışının daha istikrarlı bir biçimde değerlendirilmesine imkân sağlamıştır. MODIS verileri Kelvin

biriminde sunulduğu için, verilen katsayılar kullanılarak tüm değerler Celsius birimine dönüştürülmüş ve gündüz ile gece sıcaklıklarının ortalaması alınarak tek bir LST değeri üretilmiştir. MODIS verilerinde zaman zaman oluşan aşırı sıcaklık değerlerini ($>-50^{\circ}\text{C}<65^{\circ}\text{C}$) elemine etmek amacıyla eşikleme yöntemiyle maskeleye uygulanmış, bu sayede veri setinin istatistiksel güvenilirliği artırılmıştır.

Tüm ön işlemler tamamlandıktan sonra hem atmosferik gazlar hem de yüzey sıcaklıkları için aylık ortalama değerler hesaplanmış ve bu veriler analizler için CSV formatında dışa aktarılmıştır. Dışa aktarılan veriler Excel ortamında düzenlenmiş, her bir gaz ve yüzey sıcaklığı için zamansal ve mekânsal değişimler analiz edilmiş, grafikler oluşturulmuş ve kirletici gaz yoğunlukları ile yüzey sıcaklığı arasındaki doğrusal ilişkinin belirlenmesi amacıyla Pearson korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Pearson katsayısı -1 ile $+1$ arasında değer almakta olup, $+1$ 'e yaklaşan değerler güçlü pozitif, -1 'e yaklaşan değerler güçlü negatif, 0 civarındaki değerler ise doğrusal ilişki olmadığını göstermektedir (Pearson, 1895). Bu analiz, özellikle ısı adası etkisi ve kentsel kirletici dağılımının yüzey sıcaklığı ile ilişkisini sayısal olarak ortaya koymak için kullanılmıştır. Tüm mekânsal, zamansal ve istatistiksel analizlerin bir arada değerlendirilmesiyle, 2022–2024 döneminde Antalya Merkez, Manavgat ve Alanya bölgelerinde atmosferik kirleticiler ile yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkiler kapsamlı bir biçimde ortaya konmuştur.

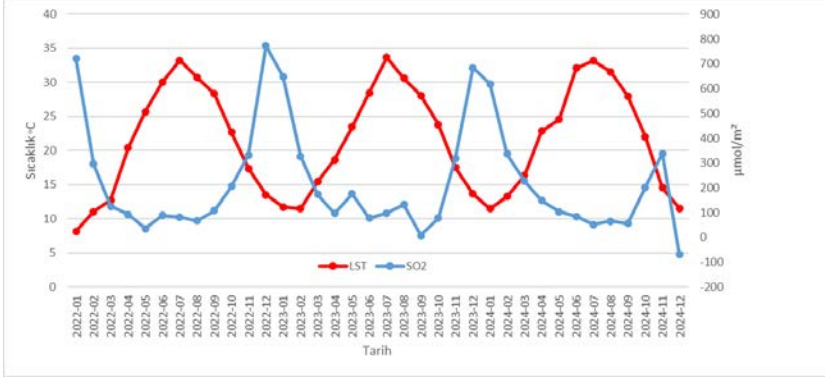
3. BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 2. LST ve NO2'e ait aylık değişim analizi (2022-2024)

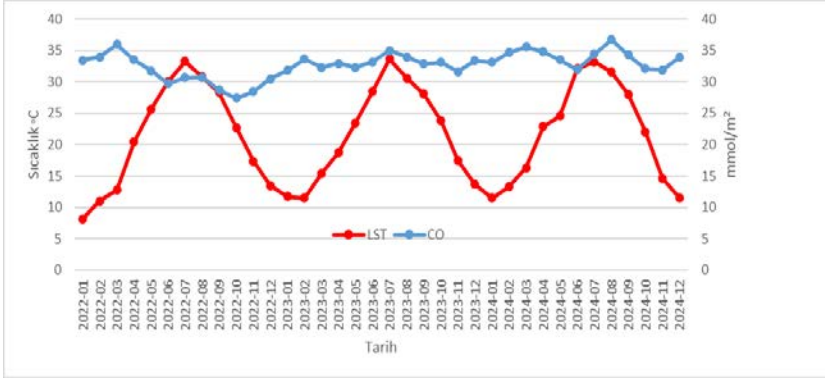
2022–2024 yılları arasında Antalya merkez, Manavgat ve Alanya’yı kapsayan çalışma alanlarında NO₂ konsantrasyonları ile yüzey sıcaklığı (LST) arasındaki zamansal zayıf düzeyde negatif bir korelasyon ($r = -0.23$) tespit edilmiştir (Şekil 2). Kentsel alanlarda NO₂’nin temel kaynağının motorlu taşıt trafiği olması nedeniyle, sıcaklık artışıyla birlikte emisyonların da artması beklenmektedir. Ancak turizm yoğunluğu yüksek Akdeniz kentlerinde, yaz aylarında artan deniz–kara meltemleri, atmosferik karışım yüksekliğinin yükselmesi ve güçlü fotokimyasal süreçler NO₂’nin atmosferde daha hızlı dağılmasına neden olmakta ve yüzeyde ölçülen konsantrasyonları sınırlamaktadır. Nitekim Barcelona ve Atina gibi kıyı kentlerinde yapılan çalışmalarda, yaz dönemlerinde artan sıcaklıklara rağmen NO₂ konsantrasyonlarının sabit kaldığı veya azaldığı rapor edilmiştir (Papanastasiou et al., 2015; Querol et al., 2014). Ayrıca çalışma alanlarının il geneline kıyasla daha dar ve heterojen kentsel birimleri temsil etmesi, trafik kaynaklı emisyonların yüzey sıcaklığı (LST) ile eşzamanlı ve doğrusal biçimde ilişkilendirilmesini güçleştirmiştir. Buna ek olarak, kış döneminde konut ısınmasına bağlı yanma kaynaklı emisyonların NO₂ düzeylerine ek katkı sağlaması, NO₂’deki aylık değişimin

yalnızca termal koşullarla açıklanmasını sınırlamıştır. Bu iki etkenin birlikte, NO₂–LST ilişkisinde gözlenen zayıf negatif korelasyonun ortaya çıkmasına katkıda bulunmuş olabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 3. LST ve SO₂'e ait aylık değişim analizi (2022-2024)

SO₂ ile yüzey sıcaklığı arasında orta düzeyde negatif bir korelasyon ($r = -0.50$) belirlenmiştir (Şekil 3). SO₂'nin başlıca kaynaklarının fosil yakıt kullanımı ve ısınma amaçlı enerji tüketimi olduğu dikkate alındığında, Antalya ve çevresinde ağır sanayi faaliyetlerinin sınırlı olması ve son yıllarda konutlarda doğalgaz kullanımının yaygınlaşması bu ilişkinin belirleyici faktörleri arasında yer almaktadır. Özellikle sıcak dönemlerde ısınma kaynaklı emisyonların azalması ve atmosferik karışımın artması, SO₂ konsantrasyonlarının düşmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde, düşük sanayileşme düzeyine sahip Akdeniz kıyı kentlerinde yapılan çalışmalarda SO₂'nin yüzey sıcaklığı ile negatif ilişkili olduğu ve yaz aylarında konsantrasyonların belirgin biçimde azaldığı belirtilmiştir (Kampa & Castanas, 2008; Vardoulakis et al., 2016). Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, turizm ağırlıklı ve doğalgaz kullanımının yaygın olduğu kentsel alanlar için beklenen eğilimlerle uyumludur.



Şekil 4. LST ve CO'e ait aylık değişim analizi (2022-2024)

CO ile yüzey sıcaklığı arasında istatistiksel olarak anlamsız bir negatif korelasyon ($r = -0.08$) hesaplanmıştır (Şekil 4). Kentsel ve turizm odaklı alanlarda CO'nun temel kaynağının motorlu taşıt trafiği olması nedeniyle, sıcak dönemlerde artan insan ve araç hareketliliğine bağlı olarak CO konsantrasyonlarının yükselmesi beklenmektedir. Ancak çalışma alanlarının dar, yoğun yapılaşmış ve trafik akışının zamansal olarak düzensiz olduğu bölgelerden oluşması, CO emisyonlarının yüzey sıcaklığı ile doğrudan bir ilişki sergilemesini zorlaştırmıştır. Ayrıca CO'nun atmosferde nispeten uzun ömürlü bir kirletici olması ve yaz aylarında artan rüzgâr hızları ile denizel etkiler sonucunda geniş alanlara taşınabilmesi, lokal sıcaklık artışlarının CO konsantrasyonları üzerindeki etkisini zayıflatmaktadır. Akdeniz ve Güney Avrupa kentlerinde yapılan çalışmalarda da CO konsantrasyonlarının yüzey sıcaklığından ziyade trafik yoğunluğu ve zamansal kullanım alışkanlıkları ile daha güçlü ilişkili olduğu, bu nedenle CO-sıcaklık ilişkilerinin genellikle zayıf veya istatistiksel olarak anlamsız olduğu rapor edilmiştir (Guerreiro et al., 2014; Kampa & Castanas, 2008). Bu açıdan elde edilen sonuçlar literatürle genel olarak tutarlılık göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, 2022–2024 yılları arasında Şekil 1’de verilen çalışma alanları için yüzey sıcaklığı (Land Surface Temperature, LST) ile seçilmiş atmosferik kirleticiler (NO_2 , SO_2 ve CO) arasındaki ilişkiler uydu tabanlı verilerle aylık ölçekte değerlendirilmiştir. Pearson korelasyon sonuçları, NO_2 –LST için zayıf negatif ($r = -0.23$), SO_2 –LST için orta düzeyde negatif ($r = -0.50$) ve CO –LST için anlamsız ($r = -0.08$) bir ilişkiye işaret etmektedir. NO_2 –LST ilişkisindeki zayıf negatif eğilim, sıcak dönemde artan atmosferik karışım ve kıyasal etkiler ile birlikte düşünülebilir. Ayrıca çalışma alanlarının dar ve heterojen kentsel birimleri temsil etmesi trafik kaynaklı emisyonların LST ile eşzamanlı ve doğrusal biçimde yakalanmasını zorlaştırmış, kış döneminde konut ısınmasına bağlı yanma emisyonlarının NO_2 ’ye ek katkısı da NO_2 değişiminin yalnızca termal koşullarla açıklanmasını sınırlamıştır.

SO_2 –LST ilişkisindeki orta düzeyde negatif ilişkisi, düşük LST koşullarında ısınma amaçlı yakıt tüketiminin artması ve durağan atmosferik şartlarda birikimin kolaylaşması, sıcak dönemde ise karışım ve taşınım süreçlerinin güçlenmesiyle SO_2 düzeylerinin azalması çerçevesinde yorumlanabilir. CO –LST ilişkisinin çok zayıf olması, kentsel alanlardaki düzensiz trafik akışı, turizm kaynaklı zamansal değişkenlik ve CO ’nun atmosferdeki görece uzun ömrü ile uyumludur.

MODIS LST verisinin 8 günlük kompozit yapısı ve bulutluluk kaynaklı veri kayıpları kısa zaman ölçeklerinde karşılaştırmaları sınırladığı için analizler aylık ortalamalar üzerinden yürütülmüştür. Sentinel-5P/TROPOMI ürünlerinin yer seviyesi konsantrasyonlarını değil atmosferik kolon değerlerini temsil ettiği dikkate alınarak sonuçlar nedensellik göstergesi olarak değil, aylık ölçekteki birlikte değişim olarak değerlendirilmelidir. Gelecek çalışmalarda daha yüksek zamansal

çözünürlüklü termal verilerin kullanılması, mevsimsel alt dönem analizlerinin ayrıntılandırılması ve daha geniş mekânsal kapsamlı karşılaştırmaların yapılması, LST–kirletici ilişkilerinin daha kapsamlı biçimde ortaya konmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akyürek, Z. (2022). Monitoring CO and SO₂ emissions from forest fires in Turkey using Sentinel-5P satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 43(18), 6821–6840. doi:10.1080/01431161.2022.2121190
- Aydın, E., & Aydın, E. (2025). Seasonal estimation of NO₂ concentrations in Istanbul using Sentinel-5P satellite observations. *Atmospheric Environment*, 315, 120123.
- Bilgiç, A., & Elbir, T. (2025). Hourly NO₂ prediction using Random Forest model in Izmir, Turkey. *Science of the Total Environment*, 906, 167890.
- Carslaw, D. C., & Beevers, S. D. (2005). Estimation of road vehicle primary NO₂ exhaust emission fractions using monitoring data in London. *Atmospheric Environment*, 39(1), 167–177. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.08.053
- Çelen, M., Yıldız, S., & Demir, G. (2025). Spatio-temporal analysis of NO₂ and CO concentrations in Kocaeli using Sentinel-5P data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197, 412.
- Douros, J., Eskes, H., & van Geffen, J. (2023). Evaluation of Sentinel-5P NO₂ observations against CAMS regional air quality analyses. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(4), 2123–2141. doi:10.5194/acp-23-2123-2023
- EPA. (2021). *Carbon monoxide (CO) pollution*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. 18 Aralık 2025 tarihinde <https://www.epa.gov/co-pollution> adresinden erişildi.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. doi:10.1016/j.rse.2017.06.031

- Gossling, S. (2002). Global environmental consequences of tourism. *Global Environmental Change*, 12(4), 283–302. doi:10.1016/S0959-3780(02)00044-4
- Guerreiro, C. B. B., Foltescu, V., & de Leeuw, F. (2014). Air quality status and trends in Europe. *Atmospheric Environment*, 98, 376–384. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.09.017
- Işık, Ş., & Zoğal, V. (2017). Tourism-driven urbanization in Antalya. *Journal of Urban Studies*, 9(2), 45–61.
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151(2), 362–367. doi:10.1016/j.envpol.2007.06.012
- Ketzel, M., Frohn, L. M., Christensen, J. H., Brandt, J., Massling, A., ... & Hertel, O. (2020). Modelling air pollution in urban areas. *Atmospheric Environment*, 224, 117308. doi:10.1016/j.atmosenv.2020.117308
- Khalaf, E. M., Mohammadi, M. J., Sulistiyani, S., Ramírez-Coronel, A. A., Kiani, F., Jalil, A. T., ... Derikondi, M. (2024). Effects of sulfur dioxide inhalation on human health: A review. *Reviews on Environmental Health*, 39(2), 331–337.
- Khesali, E., & Mobasheri, M. R. (2023). Investigating the relationship between land surface temperature and air pollutants. *Urban Climate*, 47, 101385. doi:10.1016/j.uclim.2022.101385
- Kong, L., Zhang, Y., & Wang, J. (2025). Daily NO_2 emission estimation using TROPOMI data and ensemble Kalman filter. *Atmospheric Environment*, 320, 120456.
- Lamsal, L. N., Krotkov, N. A., Vasilkov, A., Marchenko, S., Qin, W., ... & Joiner, J. (2020). Evaluation of TROPOMI tropospheric NO_2 data. *Atmospheric Measurement*

- Techniques*, 13(10), 5489–5509. doi:10.5194/amt-13-5489-2020
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2021). *Remote sensing and image interpretation* (8. baskı). Hoboken, NJ: Wiley.
- Liu, Y., Zhao, N., Vanos, J. K., Cao, G., & Zhang, J. (2019). The impact of meteorological conditions on air pollution. *Science of the Total Environment*, 662, 1–12. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.01.112
- Manavoğlu, E., & Kutlu, D. (2005). Urban growth and tourism development in Antalya. *Tourism Management*, 26(2), 215–224.
- Martin, R. V., van Donkelaar, A., Lamsal, L. N., Celarier, E. A., Browell, E. V., ... & Crawford, J. H. (2013). Global inventory of NO_2 emissions inferred from satellite observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 987–1003. doi:10.5194/acp-13-987-2013
- Mathew, A., Sreekumar, S., Khandelwal, S., & Kumar, R. (2025). Relationship between land surface temperature and air pollution. *Remote Sensing of Environment*, 310, 113045.
- Monks, P. S., Archibald, A. T., Colette, A., Cooper, O., Coyle, M., ... & Williams, M. L. (2015). Tropospheric ozone and its precursors. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(15), 8889–8973. doi:10.5194/acp-15-8889-2015
- Papanastasiou, D. K., Melas, D., & Lissaridis, I. (2015). Summertime NO_2 variability in Mediterranean cities. *Atmospheric Environment*, 109, 76–89. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.03.018
- Pearson, K. (1895). Notes on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, 58, 240–242. doi:10.1098/rspl.1895.0041

- Querol, X., Alastuey, A., Pandolfi, M., Reche, C., Pérez, N., ... & Viana, M. (2014). Air quality trends in Southern Europe. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 10913–10935. doi:10.5194/acp-14-10913-2014
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics* (3. baskı). Hoboken, NJ: Wiley.
- TÜİK. (2023). *Sera gazı emisyon istatistikleri*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu. 18 Aralık 2025 tarihinde <https://data.tuik.gov.tr> adresinden erişildi.
- Vardoulakis, S., Dimitroulopoulou, C., Thornes, J., Lai, K. M., Taylor, J., Myers, I., ... Wilkinson, P. (2016). Impact of climate change on air quality and human health in Europe. *Environmental Research*, 151, 362–367. doi:10.1016/j.envres.2016.07.025
- Veefkind, J. P., Aben, I., McMullan, K., Kleipool, H., Knigge, M., ... & Levelt, P. F. (2012). TROPOMI on the Sentinel-5 Precursor. *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(6), 157–175. doi:10.5194/amt-5-157-2012
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. doi:10.1016/S0034-4257(03)00079-8
- Wan, Z. (2014). New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products. *Remote Sensing of Environment*, 140, 36–45. doi:10.1016/j.rse.2013.08.027
- WHO. (2021). *WHO global air quality guidelines*. Cenevre: World Health Organization.
- WHO. (2024). *Air pollution and health*. Cenevre: World Health Organization. 18 Aralık 2025 tarihinde <https://www.who.int> adresinden erişildi.

- Yılmaz, S., & Öztürk, M. (2023). Urban heat island effect and land surface temperature analysis. *Journal of Urban Climate Studies*, 15(1), 22–35.
- York, D., Dils, B., & Vlemmix, T. (2018). Validation of TROPOMI \$NO_2\$ with ground-based DOAS. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(6), 333–348. doi:10.1016/j.amt-11-333-2018
- Zhou, Y., Lau, A. K., Wong, R., & Fung, J. C. (2020). Satellite observation of \$NO_2\$ over China. *Remote Sensing*, 12(3), 456. doi:10.3390/rs12030456

HAVZALAR ARASI SU TRANSFERLERİNDEKİ RİSKLERİN AHS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: ÖRNEK UYGULAMA¹

Seçil KARABAY²

Feriha YILDIRIM EKİM³

1. GİRİŞ

Su hayatının her alanında yer almaktadır. Susuz bir Dünya düşünülemez. Ancak iklim değişikliği etkileri ve artan su tüketimleri, kalite ve miktar açısından suya erişimi zorlaştırmaktadır. Günümüzde su ile alakalı problemlerin başında “su kıtlığı” gelmektedir. Su kıtlığı gibi küresel bir problem, bugün dünya üzerinde 4 milyardan fazla insanı etkilemektedir (Rollason ve ark., 2021). Birleşmiş Milletler eski Genel Sekreteri Ban Ki Moon tarafından 2013 yılında gerçekleştirilen Dünya Su Günü’nde yapılan konuşmada 2030 yılına kadar dünya nüfusundan yarısından fazlasının su kıtlığı tehlikesi ile karşı karşıya kalacağı ve su kaynaklarına olan talebin, temin edilen suyun %40’ından fazla olacağı belirtilmiştir (Zhuang, 2016).

Su kıtlığı, sadece kurak bölgelere özgü değil, dünya çapında kötüleşen bir problemdir. Su kıtlığı nüfus artışı, artan su talepleri, iklim değişikliği etkileri ve su kaynaklarının kirlenmesi

¹ Bu yayın Seçil KARABAY’ın “Ülkemizde Havzalar arası Su Transferi Metodolojisinde Yeni Yaklaşımlar” isimli Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ABD Doktora tezinden elde edilmiştir.

² Doktora Öğrencisi, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri ABD, ORCID: 0000-0002-4196-1532.

³ Doç. Dr., Gazi Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ABD, ORCID: 0000-0003-4938-3922.

gibi çeşitli faktörlerin birleşimiyle tetiklenmektedir (Machado ve ark., 2018).

Tarım, sanayileşmeye ve nüfus artışı ile suya olan talep arttıkça su kaynakları üzerindeki baskılar da artırmaktadır. Nüfusun homojen olmayan coğrafik dağılımı ve bu dağılımdaki değişimler birçok bölgede su kıtlığına neden olmaktadır. Bu etkilerin yanı sıra su kıtlığına bağlı olarak iklim değişikliğine karşı hassasiyet artmakta ve ekosistemler zayıflamaktadır (Machado ve ark., 2018).

İklim değişikliğinin hidrolojik döngüler üzerindeki etkilerinin yağış değişimlerine bağlı olarak yerüstü su akışını ve yeraltı sularının beslenimini olumsuz yönde etkilemesi beklenmektedir. Ayrıca, öngörülemeyen nüfus artışı ve büyüyen küreselleşme ile birlikte sürecin daha karmaşık bir hale gelmesi olasıdır (Zeman, 2020).

Su kaynakları üzerinde insan kaynaklı müdahaleler fiziksel olarak doğrudan suyun doğal akışı ve dağıtımını etkilemektedir. İçme-kullanma ve sulama gibi amaçlarla yerüstü ve yeraltı suları doğrudan kullanılmaktadır. Dünya’da suyu kullanan sektörler arasında tarım, en başta gelmektedir. Nehir akışına yapılan müdahalelerle su barajlarda tutulmakta ve büyük ölçekli projelerle transfer edilmektedir. Çin gibi bazı ülkelerde iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde oluşturduğu etkilerin, insan müdahaleleriyle oluşan etkilerin yanında geri planda kaldığı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (IPCC, 2022).

Su kaynakları yönetiminde su kıtlığı ile ortaya çıkan sorunları gidermek amacıyla havzalar arası su transferi bir çözüm olarak kullanılmaktadır. Geniş ölçekte yapım gerektiren bu transferler başta Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya, Kanada, Pakistan, Sovyetler Birliği, İran, Hindistan ve Kuzey Afrika olmak üzere birçok ülkede uygulanmaktadır (Machado ve ark., 2018).

Havzalar arası su transferlerinin en yaygın ve birincil kullanım amacı, su kaynaklarının homojen olmayan mekânsal dağılımı nedeniyle ortaya çıkan su talebini karşılamaktır (Yi ve Kondolf, 2024). Dünya’da uygulama açısından 1980’lerde en yüksek düzeyi bulan havzalar arası su transferi, olumsuz etkileri açısından da birçok akademik tartışmayı beraberinde getirmiştir (Rollason ve diğerleri, 2021). UNESCO Uluslararası Hidroloji Programı tarafından havzalar arası su transferi belirlenen beş kriter ile değerlendirilmekte ve yapılan değerlendirmenin sonucuna göre su transfer projeleri onaylanmakta ya da iptal edilmektedir (Bui ve diğerleri, 2020). Dünya’da su transferi 20’den fazla ülkede uygulanmakta olup, transfer edilen toplam su miktarı %80’dir (Zhuang, 2016).

Türkiye’nin de içerisinde yer aldığı ve iklim değişikliğinden en çok etkilenecek bölgelerden biri olan Akdeniz Havzası, Dünya su krizinde sıcak noktalardan biri olarak gösterilmektedir. İklim değişikliği, 2050 yılına gelindiğinde Akdeniz Havzası’nda yer alan ve günümüzde kurak ve yarı kurak iklim koşulların sahip havzaların tatlı su kaynaklarındaki azalmanın nedeni olacaktır (Milano et al., 2013). 2022 yılı verilerine göre Türkiye’nin kişi başına düşen yıllık su miktarı 1322 m³ olup bu durum Türkiye’nin "su stresi" çeken bir ülke olduğunu göstermektedir (Türkiye Bilimler Akademisi, 2023)

Akdeniz Havzası içerisinde yer alan Türkiye’deki su kaynaklarını, iklim değişikliği ve nüfus artışı gibi doğal ve insan kaynaklı baskılardan ortaya çıkabilecek risklerin etkilemesi muhtemeldir. Türkiye’nin gelecekte su fakiri bir ülke olacağı birçok bilimsel çalışmada ortaya konulmaktadır. Bu nedenle su kaynaklarının bir bütün olarak hem yerüstünde hem de yeraltında muhtemel risklere karşı korunması önemlidir. Korunması ile çevrenin, insanların ve sektörlerin bir bütün olarak sürdürülebilirliği sağlanmış olacaktır. Türkiye’de su yönetiminde uygulanmakta olan su transferi projelerinde Analitik Hiyerarşi

Süreci (AHS) ile risklerin değerlendirilmesinin ve önceliklendirilmesinin karar verme sürecinde karar vericilere destek olması hedeflenmiş ve transfer ile her açıdan en çok faydanın elde edilmesinde kullanılan yöntem bir örnek ile açıklanmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olarak İspanya'dan Ebro Havzasının seçilmesinde aşağıda verilen faktörler rol oynamıştır. Bunlar:

- Türkiye'de açık kaynaklı veri sınırlı sayıda olup; güvenlik nedeniyle çeşitli resmi kurumlar ellerindeki verileri paylaşma konusunda sıkıntı yaratmaktadırlar, birçok veriye ulaşım mümkün olamamaktadır. Halbuki, bu çalışmada verilerin varlığı ve çeşitliliği kilit rol oynamaktadır.
- Ebro havzası, Türkiye'nin de içinde yer aldığı Akdeniz Havzasında yer aldığından, iklim özellikleri açısından Türkiye ile benzerlik taşımaktadır.
- Ebro Havzasına ilişkin verilere ise kolayca erişmek mümkün olup, internet ortamından da çok sayıda ulusal rapor, doküman ve bilimsel çalışma sağlamak mümkün olmaktadır.
- Su transferi sürecinde, bu havza için su kalitesinden, ekonomik maliyete ve çevresel etkilere kadar birçok farklı alanda yayınlanan makale bulunmaktadır.
- Bu şartlar nedeniyle Türkiye'den seçmeyi düşündüğümüz Akdeniz iklimi karakterini taşıyan bir havza yerine, Ebro havzası seçilerek hesaplamalarda bu alandan elde edilen veriler kullanılmıştır.

Çalışmada değerlendirilen Ebro Havzası, İspanya’da 85570 km²’lik yüzey alana sahip bir havzadır (Gonzalez ve ark., 2023). Ebro nehri, 930 km uzunluğu ile İspanya’nın en uzun nehri olup, Ebro Havzası 3.2 milyon yerleşik nüfusa sahiptir (Baccour ve ark., 2025). Havza geniş bir alana yayıldığından dolayı iklimi bölgeden bölgeye farklılıklar göstermektedir (Gonzalez ve ark., 2023). Havzanın su kaynakları potansiyeli 15500 milyon m³/yıl olup, bu suyun yılda 8830 milyon m³’ü tarım, içme-kullanma ve sanayi amaçlı kullanılmaktadır. Yeraltı suyu çekimleri için ise %5 limiti belirlenmiş olup, bazı akiferlerde su çekimine bağlı problemlerle karşılaşmaktadır (Baccour ve ark., 2025).

Tagus-Segura Su Transferi Projesi ile gündeme gelen ve İspanya Ulusal Hidroloji Planı’na göre 22 transfer projesinden biri olan Ebro su transferi, havzadaki diğer projeler ile birlikte değerlendirildiğinde çevresel, sosyal ve ekonomik kayıplar oluşturması endişesiyle İspanya Hükümet tarafından 2005 yılında iptal edilmiştir (WWF, 2004). Projeye çevreciler, uzmanlar, sivil örgütler, Aragon ve Katalonya özerk bölgeleri ciddi anlamda karşı çıkmıştır. Projenin yapılmasındaki bir diğer engel, Avrupa Birliği (AB)’nin projenin ekonomik ve çevresel temellerinin tutarsız olması nedeniyle fon sağlama konusundaki isteksizliğidir. Bu transfer aynı zamanda AB Su Çerçeve Direktifinin AB politikalarıyla da çelişmektedir (Albiac ve ark., 2006). Plan, AB Su Çerçeve Direktifinin sürdürülebilir su kullanımı, çevrenin korunması, etkili su planları ile kirliliği azaltılması, ekonomik analiz ve tedbirler programı açısından transferin uygun olduğunu söylese de yapılan analizler özellikle ekonomik ve ekolojik açıdan Su Çerçeve Direktifi ile çakıştığını göstermiştir. Sürdürülebilirlik kapsamında, çevresel ekonomik ilkeler göz ardı edilmiştir (Tortajada, 2006).

3. YÖNTEM

Çalışmanın temel dayanağı olan risk, gerçekleşme olasılığı olan ancak ortaya çıkmasında (nerede, ne şekilde ve nasıl) belirsizlikler bulunan durumları ifade etmek için kullanılır. Çalışmamızda, Ebro su transferleri kapsamında risklerin değerlendirmesinde “Çok Kriterli Karar Verme” için kullanılan yöntemlerden biri olan analitik hiyerarşi yöntemi (AHS) kullanılmıştır.

3.1. Analitik hiyerarşi süreci

AHS yöntemi, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olup, 1970’li yıllarda Thomas L. Saaty (1994) tarafından geliştirilmiştir (Uludağ & Doğan, 2016). Bu yöntem, çok sayıdaki kriterin öncelik derecesine göre sıralanması esasına dayanarak; karar verme sürecine hem nitel (subjektif) hem de nicel (objektif) değişkenleri bir arada dâhil edebilen matematiksel bir yöntemdir (Dulkadir, 2024). Bu özellik, TOPSİS ve PROMETHEE gibi diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha güçlü olmasını sağlamaktadır (Gülenç ve Bilgin, 2010).

İlaveten, ÇKKV’de kullanılan diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında, probleme ilişkin hiyerarşi yaklaşımı ile bir yapı oluşturması açısından da farkını ortaya koymaktadır. Bu yöntemde, karmaşık problemler daha küçük bileşenlere ayrılarak, bileşenlerin yönetilebilirliği kolaylaşmaktadır (Ok, 2025).

Kısaca, AHS, karar verme sürecinde ortaya çıkan karmaşık problemlerin çözümüne ilişkin bir yapı oluşturmakta ve farklı alternatiflerin karşılaştırılarak, değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Peterseim ve ark., 2013). AHS ile literatürde yapılan çok sayıda ulusal ve uluslararası çalışma bulunmaktadır. Arulbalaji ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada Hindistan’ın Güneybatı Gatlar bölgesindeki Vamanapuram nehir havzasındaki yeraltı suyu potansiyel

bölgelerinin belirlenmesini amaçlayan çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) teknikleri birleştirilmiş, su kaynaklarının aşırı kullanım ve iklim değişikliklerinin yarattığı baskıya yanıt verip vermediği kontrol edilmiştir. Şanlı ve ark. (2025) tarafından yapılan bir çalışmada AHS ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak Bursa'nın İnegöl ilçesindeki Kalburt Deresi'nin taşkın riskinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

AHS yöntemi, hiyerarşi oluşturma, karşılaştırmalı değerlendirme (ikili karşılaştırma) ve önceliklerin hesaplanması olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır (Ömürbek ve Şimşek, 2014) Hiyerarşi oluşturma sürecinde, karar problemi hiyerarşik bir yapıya dönüştürülür; temel hedef, kriterler (temel ve/veya alt kriterler) ve alternatifler tanımlanır. Karşılaştırmalı değerlendirmede, ikili matris oluşturularak, her kriterin diğer kriterlere göre ne kadar önemli olduğunu belirlemek için kriterler kendi aralarında karşılaştırılır (Erdoğan, 2020). Uzmanlar tarafından yapılan karşılaştırmada kullanılan sözel ifadeler Çizelge 1’de verilen ve Saaty (1994) tarafından hazırlanmış olan “önem derecesi ölçeği” kullanılarak, sayısallaştırılır.

İkili matris oluşturulduktan sonra normalizasyon işleminin gerçekleştirilmesinde, her kriter için sütunlar toplanır. İlk kriterden son kritere kadar her satır için verilen sayısal değerler, satırların yer aldığı sütunun toplamına bölünerek, ikili matrisin normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

Çizelge 1. Önem Skalası

Önemi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Öneme Sahip	Her iki seçenekte eşit değerde öneme sahip
3	Biraz (Orta dereceli) Önemli	Tecrübe eve yargılama ile bir ölçüt diğerine göre biraz daha önemli
5	Oldukça Önemli	Tecrübe ve yargılama ile bir ölçüt diğerine göre oldukça önemli
7	Çok Önemli ya da Önemi Kanıtlanmış	Bir ölçüt diğerine göre çok daha önemlidir; üstünlüğü uygulamalı olarak kanıtlanmıştır
9	Aşırı Önemli	Bir ölçüt diğerine göre son derece önemli
2,4,6,8	Yukarıdaki değerler arasındaki değerler	(Not: Yöntemi oluşturan Saaty (1994) tarafından ara değerlere ilişkin herhangi bir açıklamada bulunulmamıştır. Ancak sözel değerlendirmede kriterlerin arasında farklar ya da benzerlik açısından değerlendirmeyi etkilemiştir.)

Normalizasyon işleminden sonra önem derecelerini gösteren “öncelik vektörü” hesaplanır. Bu işlem AHS yöntemi ile birden fazla alternatif arasından seçim yapıldığında ise “ağırlık vektörü” olarak tanımlanmaktadır. Öncelik vektörünün hesaplanmasından sonra Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanmaktadır. CR, Tutarlılık İndeks (CI) değerinin Rassallık Değer İndeks (RI) değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Elde edilen CR değeri 0.10’un üstünde çıktığında, yapılan çalışmaların en başına yani ikili matrise dönülerek, değerlendirme ve buna bağlı olarak skarlama 0.10’un altına düşünceye kadar yapılır (Polat ve Göraltay, 2019). Yapılan çalışmanın uygunluğu CR değerinin 0.10’ın altında bir sonuç vermesine bağlıdır. Tutarlılık oranı, kriterler ve alt kriterler için ikili matriste yapılan değerlendirmenin ve dolayısıyla skarlamanın doğruluğunu göstermek için hesaplanmaktadır. Çalışmada, alternatifler arasından bir değerlendirme yapılmadığından dolayı, “öncelik vektörü” hesaplanmıştır.

4. UYGULAMA VE BULGULAR

Çalışmamızda, İspanya’da uygulanan Tagus-Segura Su Transferi’nde Segura Havzasının su ihtiyacının Ebro Havzası’ndan karşılanması amacıyla önerilen su transferi projesinde ortaya çıkan risklerin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile değerlendirilmesi ve risklerin önem derecelerini gösteren skorlamanın elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma ile su transferlerine ilişkin alternatiflerin değerlendirilmesinde yeni bir metodolojinin geliştirilmesi ve karar vericilere karar verme sürecinde bu yöntemin uygulanabilirliği gösterilmek istenmiştir.

Bu kapsamda su transferinden kaynaklanan riskler üzerine literatür taraması yapılarak risk olarak ortaya konulan suyun adil paylaşımı gibi sosyal riskler, su kalitesi değişimleri gibi ekolojik/çevresel riskler vb. başlıklar Ebro havzasında Ulusal plan, makale vb. yayınlarda risk olarak tanımlanan başlıklarla karşılaştırılarak, havzaya özgü düzenlenmiştir. Bu kapsamda, Ebro havzası su transferi için belirlenmiş olan 4 temel risk ve 17 alt risk Çizelge 2’de gösterilmiştir. Yöntemde kullanılan (K) ifadesi temel riskleri; (CE), (ET), (S) ve (PH) ifadeleri alt riskleri simgelemek amacıyla kullanılmıştır.

AHS’de kullanılan kriter ifadesi çalışmada risk olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda bir su transferinde birden fazla su transferi alternatifinin karşılaştırılarak, en uygun alternatifin belirlenmesi yerine AHS’nin uygulanabilirliği bir su transferi için seçilen bir alternatifinin (Ebro su transferi) hangi riskler ortaya çıktığı için uygulanmadığını göstermek hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar su transferleri için AHS yönteminin uygulanması ile uygun alternatifin belirlenmesinden sonra uygun olmayan alternatifleri nedenleri ile ortaya koyması açısından önemlidir. İlave olarak, su transferleri gibi sayıları birden fazla olan bilinmeyen faktörlerin etkili olduğu çalışmalarda her havzaya özgü tek bir risk değerlendirme

metodolojisi geliştirmek, her havzanın kendine özgü özellikleri olması dolayısıyla mümkün değildir. Bu nedenle çalışmada havzanın özellikleri ortaya konulmuş, tarafımızca yapılan uzman görüşleriyle de skorlanmıştır.

Çizelge 2. Temel ve Alt Riskler

Temel Riskler (K) ve Alt Riskler	
K1. Çevre/Ekolojik Riskleri	
CE1	Habitatların yok olması (Korunan alanların maruz kaldığı etkiler)
CE2	Su kalitesinin düşmesi
CE3	Deltayı besleyen debinin azalması
CE4	İstilacı türler
CE5	İklim değişikliğinin Ebro Deltası'na etkileri
CE6	Deltanın fiziksel yapısının değişmesi ve suyunun tuzlanma problem vb.
K2. Ekonomik/Teknik Riskler	
ET1	Yatırım Maliyeti
ET2	Sürdürülebilirlik
ET3	Enerji Maliyeti
ET4	Bakım, Altyapı Maliyeti
K3. Sosyal Riskler	
S1	Suyun adil paylaşımı
S2	Suyun Alındığı/Verildiği Bölgeler Arası Anlaşmazlık/Çatışma
S3	Sudan Elde Edilen Kazancın Eşit Şekilde Paylaşılmaması
K4. Politik/Hukuki Riskler	
PH1	Politik zorluklar
PH2	Bölgeler, eyaletler, havza sakinleri tarafından itiraz, dilekçe gibi başvurular
PH3	Havza bazlı planlar
PH4	Sınır aşan/Eyaletler arası politikalar

4.1. Analitik hiyerarşi süreci

Çalışmada “Yöntem” başlığı altında açıklanan AHS adımları takip edilerek, yapılan çalışmalar bu bölümde derlenmiştir. Ebro Havzası için oluşturulan ve AHS'nin birinci

adımı olan hiyerarşi modeli Çizelge 3’de görülmektedir. Hiyerarşi modelinde su transferleri için temel riskler ve alt riskler gösterilmektedir. Amaç, çalışılacak konuya ilişkin riskleri doğru kurgulayarak AHS sürecinin temeli olan ve sonraki çalışmalara da yön veren yönetilebilir riskleri ve alt riskleri belirlemektir.

Çizelge 3. Hiyerarşi Modeli.

Ebro Havzası Su Transferi Risklerinin Değerlendirilmesi			
Çevre / Ekolojik Riskler	Ekonomik / Teknik Riskler	Sosyal Riskler	Politik / Hukuki Riskler
1. Habitat kaybı (korunan alanlar) 2. Su kalitesinin düşmesi 3. Deltayı besleyen debinin azalması 4. İstilacı türler 5. İklim değişikliği etkileri 6. Fiziksel yapı değişimi ve tuzlanma	1.Yatırım maliyeti 2.Sürdürülebilirlik 3. Enerji maliyeti 4. Bakım ve altyapı maliyeti	1.Suyun adil paylaşımı 2.Bölgeler arası anlaşmazlıklar 3. Gelirin eşit paylaşılması	1.Politik zorluklar 2.İtiraz ve dilekçeler 3.Havza bazlı planlar 4.Sınır aşan / eyaletler arası politikalar

4.1.1. Temel risklerin AHS’nin uygulanması

AHS’nin ikinci adımı olarak temel riskler için oluşturulan ve skorlanan ikili matris Çizelge 4’de yer almaktadır. Skorlamada Tablo 1’de sözel olarak ifade edilen değerlendirmelere göre risklerin karşılaştırılmasında 1 ile 10 arasında bir değer atanarak, ikili matris oluşturulur.

Çizelge 4. İkili Karşılaştırma Matrisi

Risk	K1	K2	K3	K4
K1	1	3	5	4
K2	1/3	1	3	4
K3	1/5	1/3	1	3
K4	1/4	1/4	1/3	1
TOPLAM	1.78	4.58	9.33	12

İkili matrisin skorlanmasından sonra AHS'nin ikinci adımında yer alan normalizasyon işlemi ile matris normalize edilerek, Çizelge 5 oluşturulmuştur.

Çizelge 5. Normalize Matris Değerleri

Risk	K1	K2	K3	K4
K1	0.5618	0.6550	0.5359	0.3333
K2	0.1854	0.2183	0.3215	0.3333
K3	0.1124	0.0721	0.1072	0.25
K4	0.1404	0.0546	0.0354	0.0833
TOPLAM	1	1	1	1

Matris normalize edildikten sonra AHS'nin son adımında yer alan önem ağırlıkları temel riskler için hesaplanmıştır. Bu sayede temel risklerin kendi içinde önemini gösteren değerler yüzde olarak belirlenmiş olur. Bu kapsamda temel kriterler için önem ağırlıkları Çizelge 6'da görülmektedir. Risklerin ağırlıklandırılmasında her satırın toplamı toplam kriter sayısına bölünmüş ve elde edilen değer ilgili satırda gösterilmiştir.

Çizelge 6. Temel Risklerin Ağırlıklandırılması

Risk	K1	K2	K3	K4	Ağırlıklandırma
K1	0.5618	0.6550	0.5359	0.3333	0.5215
K2	0.1854	0.2183	0.3215	0.3333	0.2646
K3	0.1124	0.0721	0.1072	0.25	0.1354
K4	0.1404	0.0546	0.0354	0.0833	0.0784
TOPLAM	1	1	1	1	

Bu işlemden sonra ikili matriste yapılan skoranın doğruluğunu göstermek için AHS'nin diğer bir adımı olan "Tutarlılık Oranı (CR)" hesaplanmıştır. Oranın hesaplanmasında, Tutarlılık İndeks (CI) değeri Rassallık İndeks (RI) değerine

bölünür. RI değeri, Saaty (1994) tarafından 0'dan 1.49'a kadar değişen bir aralıkta, $\lambda_{\max}$ değerine göre belirlenen bir sayıdır. İşlem sonucunda, CR değeri 0.10'un altında bulunan tutarlılık oranları “doğru” olarak kabul edilmektedir. CR değeri 0.10'un üzerinde çıkıyorsa, yapılan skortlama “tutarsız” sayılmaktadır. Çalışmada temel risklere ilişkin bulunan değerler Çizelge 7'de verilmektedir.

Çizelge 7. Temel Risklerin Önem Ağırlıkları

SONUÇLAR				
$\lambda_{\max}$: 4.260071		Rassallık İndeksi (RI): 0.9		
Tutarlılık İndeksi (CI): 0.0851		Tutarlılık Oranı (CR): 0.0946		
CR< 0.10 olduğundan dolayı matris tutarlı kabul edilmiştir.				
Kriter	Önem Ağırlığı (w)		(%)	Öncelik
Çevre/Ekolojik Riskler (K1)	W ₁	0.5215	%52.15	1
Ekonomik/Teknik Riskler (K2)	W ₂	0.2647	%26.47	2
Sosyal Riskler (K3)	W ₃	0.1354	%13.54	3
Politik/Hukuki Riskler (K4)	W ₄	0.0784	%7.84	4

5. SONUÇ

Yapılan çalışma ile elde edilen Ebro Havzası su transferi kapsamında temel risklere ilişkin yapılan çalışma detayları ile verilmiş, alt risklere yönelik yapılan çalışmalar sonuçları ile Çizelge 8'de sunulmuştur.

Çizelge 8. Ebro Havzası su transferi kapsamında temel riskler

Alt Riskler	Temel Riskler	Ağırlıklandırma (%)	Öncelik
(K1)	Çevre/Ekolojik Riskler (K1)	52.15	1
	Habitatların yok olması (Korunan alanların maruz kaldığı etkiler)	9.7	5
	Su kalitesinin düşmesi	15.17	3
	Deltayı besleyen debinin azalması	20.80	2
	İstilacı türler	3.59	6
	İklim değişikliğinin Ebro Deltası'na etkileri	36.04	1

Deltanın fiziksel yapısının değişmesi ve suyunun tuzlanma problem vb		14.69	4
(K2)	Ekonomik/Teknik Riskler (K2)	26.47	2
Yatırım Maliyeti		30.92	2
Sürdürülebilirlik		47.44	1
Enerji Maliyeti		15.24	3
Bakım, Altyapı Maliyeti		6.4	4
(K3)	Sosyal Riskler (K3)	13.54	3
Suyun adil paylaşımı		70.28	1
Suyun Alındığı/Verildiği Bölgeler Arası Anlaşmazlık/Çatışma		11.49	3
Sudan Elde Edilen Kazancın Eşit Şekilde Paylaşılması		18.22	2
(K4)	Politik/Hukuki Riskler (K4)	7.84	4
Politik zorluklar (PH1)		12.65	4
Bölgeler, eyaletleri, havza sakinleri tarafından itiraz, dilekçe gibi başvurular		54.86	1
Havza bazı planlar		14.27	3
Sınır aşan/Eyaletler arası politikalar (PH4)		18.23	2

AHS ile yapılan değerlendirmede su transferlerindeki riskler bir örnek üzerinden değerlendirilmiştir. Bu sayede, su transferlerine yeni bir bakış açısı getirilerek, bir metodoloji oluşturulması ve yöntemin karar vericilere olması muhtemel risklere karşı en uygun seçeneklerin belirlenmesinde yardımcı olması hedeflenmiştir. AHS yöntemi bütün kriterlerin birbiriyle olan ilişkileri üzerinden bir değerlendirmeyi esas aldığından dolayı su transferlerindeki risklerin ortaya konularak etkilerin tespit edilmesinde doğru sonuçlar üretebileceği düşünülmektedir.

AHS yöntemi ile elde edilen sonuçlarda, temel riskler için yapılan değerlendirmede, risk skorlamasında “Çevre/Ekolojik Riskler” başlığının en yüksek değeri aldığı görülmektedir. Ebro havzasında su debisinden, deltanın bozulmasına kadar altı alt kriteri içeren bu riskin insan ve doğal çevre üzerinde ciddi ve gözle görünür sonuçlar ortaya çıkmasının bir sonucu olarak yüksek olduğu değerlendirilmektedir. Bu durum su transferi

projesi henüz karar aşasında iken çeşitli amaçlarla yapılan barajların ve havzada yaşanan kuraklık olayının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu zorlukları yaşamış bir havzada, su transferi projesinin yapılmasının havzanın sürdürülebilirliğini etkileyebileceği düşünülmektedir.

Diğer üç temel riske bakıldığında ise bu risklerin ortaya çıkmasında daha çok insan kaynaklı faktörlerin rol oynadığı görülmektedir. Bu açıdan üç riskin ortaya çıkaracağı etkilerin çevre/ekolojik risklerle kıyaslandığında hem tahmin edilebilirliği hem de iyileştirilmesi daha muhtemeldir.

Temel kriterler altında yer alan her alt kriterin birbiri ile karşılaştırılmasıyla ortaya çıkan değerlendirmede, iklim değişikliği, sürdürülebilirlik, suyun adil paylaşımı ve suyu ilk kullanan yerel halkın yaklaşımının risk değerlendirmesinde öne çıktığı görülmektedir. İklim değişikliği su kaynaklarını etkilemekte; dolayısıyla su transferleri gibi su ile alakalı gerçekleştirilen çalışmaların sürdürülebilirliği tehlikeye girmektedir. UNESCO'nun su transferleri için getirdiği kriterler arasında, transferin gerçekleştirilmesi durumunda suyu alınan havzanın da etkilenmemesi gerektiği belirtilmektedir (Bui ve ark., 2020). Bu açıdan suyun havzalar arasında adil bir şekilde paylaşılması ile hem alan hem de veren havzalar eşit koşullara sahip olacak ve böylelikle sosyo-ekonomik etkiler gibi başka etkiler ortaya çıkmadan havzaların bir bütün içerisinde sürdürülebilirliği sağlanmış olacaktır.

Su transferlerine ilişkin risk değerlendirmesinin su transferi projelendirme aşamasına ön hazırlık olarak yapılması, proje açısından önemlidir.

6. TARTIŞMA

AHS yöntemiyle birden fazla seçenek arasından yapılan detaylı inceleme sonucu en doğru alternatifin belirlenmesi hedeflenmektedir. Ancak bu çalışmada AHS yöntemi ile Ebro Havzasının hangi risklerden dolayı su transferi projesinden çıkarıldığı gösterilerek, yöntem bir uygulama ile açıklanmıştır.

Bu çalışmada temel ve alt riskler dikkate alınarak, skora yapılmış ve öncelikle dikkate alınması gereken hususlar ortaya konulmuştur. Bu kapsamda, temel riskler yanında alt risklerin dikkate alınarak, projelerin detaylandırılması önemlidir. Alt risklerinin de detaylandırılması ile daha hassas, özel sonuçlara ulaşılması mümkün olabilir. Bu kapsamda bu çalışma ile elde edilecek değerlendirme, ilerleyen zamanlarda su transferleri ile ilgili yapılacak çalışmalara yol göstermesi açısından önemlidir.

Su transferlerinde Ebro Havzasını etkileyen kuraklık gibi bazı risklerin tahmini mümkün olamazken bazılarının ise mümkün olabilmektedir. Bazı risklerin etkileri kısa zamanda görülebilirken, bazıları için aylar, yıllar hatta onlarca yıl geçmelidir.

Su transferi çalışmalarına bakıldığında, en kırılgan faktörlerden birinin çevre/ekolojik yapı olduğu görülmektedir. Çevre ve ekolojik sistemlerin ani değişimlere karşı verdiği tepkiler beklenmedik derece hızlı ve vurucu olabilir.

Su transferlerinde bazı riskler kısa sürede kendini gösterirken, bazıları uzun bir zaman sürecinde ortaya çıkabilmektedir. Ancak uzun vadeli bu risklere karşı suyu kullanan tüm bileşenlerin dikkatli bir şekilde takip edilmesi, birikerek büyüyen etkilerin doğru tespit edilerek, bu etkilerden kaynaklı risklerin çıkmadan önlenmesi açısından önemlidir. Ebro Havzası üzerinden yapılan çalışmada AHS yöntemi ile ortaya çıkan risk değerleri, dikkat edilmesi ve müdahale edilmesi gereken hususları ortaya koymuştur. Risklerin ağırlıklandırılması

ile kısa, orta ve uzun vadede ele alınması gereken tedbirler de belirlenmesi mümkün olabilecektir.

Bu açıdan su transferinde risklerin doğru kalite ve sayıda verilerle desteklenmesinin, gerçekçi sonuçlara ulaşılmasında önemli bir faktör olduğu düşünülmektedir. Akdeniz Havzasında iklim değişikliği etkilerine karşı hassasiyetin yüksek olduğu bir konumda bulunan Türkiye için, su kaynaklarının ve ona bağlı tüm unsurların bir arada korunabilmesi için su transferi projelerinde AHS yöntemi başta olmak üzere risk değerlendirilmesine yönelik çalışmaların faydalı olacağı düşünülmektedir.

Su transferi için projelendirilen havzaların özelliklerine göre riskler de değişeceği için geçerliliği olan tek bir risk hiyerarşi modeli oluşturmak mümkün değildir. Ancak yapılacak değerlendirmeler ile havzalardaki risklerin tespit edilmesi bir yandan ekonomik ve sosyal kalkınmanın sürdürülebilirliğini sağlarken diğer taraftan su kaynaklarının, çevrenin, ekolojinin, doğanın bir bütün içerisinde korunmasına destek olacaktır.

KAYNAKÇA

- Arulbalaji, P., Padmalal, D., & Sreelesh, K. (2019): GIS and AHP Techniques Based Delineation of Groundwater Potential Zones: a case study form Southern Western Ghats, India. *Scientific Reports*.
<https://www.nature.com/articles/s41598-019-38567-x>
adresinden alınmıştır.
- Baccour, S., Tilmant, A., Albiac, J., Espanmanesh, V. & Kahil, T. (2025): Probabilistic Trade-Offs Analysis for Sustainable and Equitable Management of Climate-Induced Water Risks. *Water Resources Research*. doi: <https://doi.org/10.1029/>
- Bui, D. T., Asl, T., & Ghanavati, E., (2020): Effects of Inter-Basin Water Transfer on Water Flow Condition of Destination Basin. *Sustainability*, 12(1), s. 338.
- Dulkadir, B. (2024): Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemiyle İşletmelerin Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) Yazılımında Beklediği Fayda Kriterlerinin Önem Derecesine Göre Sıralanması: Mobilya Sektöründe Araştırma. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(4), s. 1617-1634.
- Erdoğan, D. D. (2020): Analitik Hiyerarşi Sürecinin (AHP) Matematiksel Yapısı. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, s. 18-26. doi: <http://dx.doi.org/10.29228/ASOS.42730>.
- Gonzalez, M. L., Quilez, D. & Isidoro, D. (2023): Factors Controlling the Changes in Surface Water Temperature in the Ebro River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101379>

- Gülenç, İ. F. & Aydın Bilgin, G. (2010): Yatırım Kararları için Bir Model Önerisi: AHP Yöntemi. *Öneri Dergisi*, 9(34), s. 97-107.
- IPCC (2022): *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Report*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Machado, F. H., Gontijo, E. S., Beghelli, F. G. D. S., Fengler, F. H., De Medeiros, G. A., Peche, Filho, A. P., De Moraes, J. F. L., Longo R. M. & Ribeiro, A. I. (2018): Environmental Impacts of Inter- Basin Water Transfer in Water Quality in the Jundiai- Mirim River, South- East Brazil. *Int. J. Environ Impacts*, 1(1), s. 80-91.
- Milano, M., Reulland, D., Dezetter, A., Fabre, J., Bardin, S. A. & Servat, E. (2013): Modeling the Current and Future Capacity of Water Resources to Meet Water Demands in the Ebro Basin. *Journal of Hydrology*, s. 114-126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.010>
- Ok, E. (2025): Comparative Analysis of AHP and Other Multi-Criteria Decision-Making Methods in Investment Project Evaluation. https://www.researchgate.net/publication/389650833_Comparative_Analysis_of_AHP_and_Other_Multi-Criteria_Decision-Making_Methods_in_Investment_Project_Evaluation adresinden alınmıştır.
- Ömürbek, N. & Şimşek, A. (2014): Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri ile Online Alışveriş Site Seçimi. *Yönetim ve Ekonomik Araştırmaları Dergisi* (22). doi: <http://dx.doi.org/10.11611/JMER214> <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/203388> adresinden alınmıştır.

- Peterseim, J. H., White, S., Tadros, A. & Hellwig, U. (2013): Concentrated solar power hybrid plants, which technologies are best suited for hybridisation? *Renewable Energy*, 57,520-532.
Doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.02.014>
- Polat, S. ve Göraltay, K. (2019): Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde Güncel Yaklaşımlar. Ankara: İksad Yayınevi.
- Rollason, E., Sinha, P. & Bracken, L. J. (2021): Interbasin Water Transfer in A Changing World: A New Conceptual Model. *SageJournals*, 3(46). Doi: <https://doi.org/10.1177/0309133321106500>
- Saaty, T. L. (1994): How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/307800676_How_to_Make_a_Decision_The_Analytic_Hierarchy_Process adresinden alınmıştır.
- Şanlı, B., Can, M. & Akkaya Aslan, Ş. T. (2025): Analitik Hiyerarşi Yönetimi ile Taşkın Riskinin Tespiti: Bursa İli İnegöl İlçesi Kalburt Deresi Örneği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 39(1), s.167-186.
<https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/cbb5e6db-4bb8-439a-9fb4-fb53c4c58f14/content> adresinden alınmıştır.
- Tortajada, C (2006): Case Study for the 2006 HDR Water Transfer From the Ebro River. *UNDP Human Development Reports*. <https://hdr.undp.org/content/water-transfer-ebro-river> adresinden alınmıştır.
- Türkiye Bilimler Akademisi (2023): İklim Değişimi Çerçevesinde Su Kaynaklarının Mevcut Durumu ve Geleceği. Ankara: Türkiye Bilim Akademisi Yayınları.

- WWF (2009): Interbasin Water Transfer and Water Scarcity in a Changing World- a Solution or a Pipedream? Frankfurt: WWF, Germany.
<https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/pipedreams18082009.pdf> adresinden alınmıştır.
- Yi, S. & Kondolf, G. M. (2024): Environmental Planning and the Evolution of Inter-Basin Water Transfers in the United States. *Frontiers* (12).
- Zeman, C. (2020): World Water Resources: Trends, Challenges and Solutions. ResearchGate.
- Zhuang, W. (2016): Eco-Environmental Impact of Interbasin Water Transfer Projects: A Review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* doi: DOI 10.1007/s11356-016-6854-3

TÜRKİYE VE DÜNYADA
ÇEVRE BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com