

ÇEVRE BİLİMLER VE MÜHENDİSLİĞİ ALANLARINDA YENİ GÜNCEL KONULAR

Editör
Ali BİLGİLİ

BİDGE Yayınları

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Alanlarında Yeni Güncel Konular.

Editör: Prof. Dr. Ali Bilgili

ISBN: 978-625-372-600-3

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2024

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



Önsöz

Günümüzde iklim değışikliği ve doğal enerji kaynaklarının kıtlığı birçok ÷lkede ilgi çeken konulardır. Çeşitli sürdürülebilir yaklaşımların uygulanması ve binalar için daha çevre dostu bileşenlerin tasarlanması, düşük enerji tüketimli binaların uygulanmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla bu konu kapsamında çevre ile uyumlu binalar inşa etmek için optimize edilmiş yeşil çatılar ve optimizasyon önerileri ele alındı.

Sanayi devrimi ile başlayıp günümüze kadar gelen teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, ekonomik fayda sağlamasının yanı sıra artan dünya nüfusu ve enerji tüketimine bağlı olarak çevre kirliliği açısından önemli sorunlar teşkil etmektedir. Ulaştırma sektörü bu antropojenik etkiler sonucunda oluşan sera gazlarının üretiminde önemli bir paya sahiptir. Ulaştırma sektörü içerisinde de özellikle karayolu ulaşımı oldukça büyük yer tutmaktadır. Bu kitapta Eskişehir ilinin on bir yıllık sürede atmosfere salınan karayolu kaynaklı toplam sera gazı emisyon artışları ve bu emisyon artışını azaltabilmek için alınabilecek çözüm önerilerine değinildi.

Çevrede mikroplastikler ve nanoplastikler endüstri, tarım, yağmur, atık su nedeniyle yaygın şekilde bulunmaktadır. Plastiklerin uygun olmayan kullanımları ekosistem ve canlı organizmalar için önemli risk oluşturmaktadır. Bu bağlamda olmak üzere su, hava ve toprakta nanoplastik ve mikroplastik kirliliği ve riskleri kapsamlı şekilde ele alındı.

Ayrıca yine bu kitapta Doğu Karadeniz Bölgesi'nde baraj işleyiş süreçlerinde jeolojik problemler konusu da kapsamlı şekilde ele alındı.

Editör

Prof. Dr. Ali BİLGİLİ

İçindekiler

Önsöz	3
Yeşil Çatılar ve Optimizasyon Önerileri.....	6
Mehmet Anıl KIZILASLAN.....	6
Eskişehir İli Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Belirlenmesi	20
Ülker Aslı GÜLER.....	20
Merve TÜRKAY	20
Nanoplastics and Microplastics in Abiotic Environments (Water, Air and Soil)	46
Emrah AKÇELİK.....	46
Ahmet ALTIN	46
Doğu Karadeniz bölgesi özelinde baraj işleyiş süreçlerinde jeolojik problemler	78
Çağla ÇOLAK.....	78
İçme Suyu Arıtma Tesisinin Openlca Yazılımı Kullanılarak Yaşam Döngüsü Değerlendirme (Ydd) Çalışması.....	129
Nurgül SOYAZ	129
Mehmet ÇAKMAKCI ²	129
Black Sea Pollution: Engineering Approaches Protecting the Ecosystem	164
Eylem AYDEMİR ÇİL	164

BÖLÜM I

Yeşil Çatılar ve Optimizasyon Önerileri

Mehmet Anıl KIZILASLAN¹

Giriş

Günümüzde iklim değişikliği ve doğal enerji kaynaklarının kıtlığı birçok ülkede ilgi çeken konulardır. Ayrıca, kentler büyümeye ve kırsal alanlardan kentsel alanlara artan göçü karşılamak için sınırlarını genişletmeye devam etmektedir. Birleşmiş Milletler'in yakın tarihli bir raporuna göre, gelişmiş ülkelerde kentleşmenin 2030 yılına kadar %83'e ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu durum, küresel ölçekte çeşitli çevresel sorunlara yol açmaktadır

Artan şehirleşme faaliyetleri nedeniyle, son kırk yılda yeni binalara, araziye, suya ve enerjiye olan talep önemli ölçüde artmıştır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı'na göre, binaların inşası ve bakımı, küresel birincil enerji gereksiniminin yaklaşık %40'ını

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversite, ÇTBMYO, İnşaat Bölüm, Çanakkale, Türkiye
Orcid: 0000-0002-0621-4646

karşılmaktadır ve binalar, küresel sera gazı emisyonlarının %33'ünden sorumludur. Bu nedenle, yapı sektörü, enerji tüketimini azaltma konusunda özel bir öneme sahiptir; bu, küresel ısınmayı sınırlamak ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için gereklidir.

Çeşitli sürdürülebilir yaklaşımların uygulanması ve binalar için daha çevre dostu bileşenlerin tasarlanması, düşük enerji tüketimli binaların uygulanmasını sağlamaktadır. Ayrıca, çatılar binaların önemli bileşenleridir ve genel kentsel yüzey alanının yaklaşık %20-25'ini oluşturmaktadır. Bu nedenle, etkin bir şekilde tasarlanmış ve entegre edilmiş yeşil çatılar, modern şehirlerde kaybolan yeşil alanları ve yaşam alanlarını yerine koyarak bina ve kentsel çevreyi etkileme potansiyeline sahiptir. Özellikle yeşil çatılar, bir büyüme ortamının üstünde çeşitli bitkilerle dikilen mühendislik ürünü çatı sistemleridir.

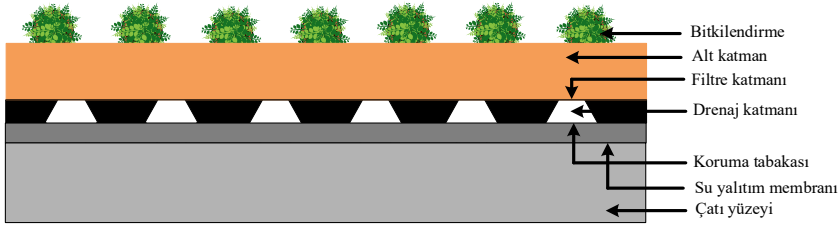
Yeşil çatılardaki (YÇ) yapısal katman, yukarıdan aşağıya doğru bitki katmanı, alt tabaka, filtre katmanı ve drenaj katmanı olarak dört ana bölüme ayrılabilir. Bu katmanlar arasında bitki katmanının ve alt tabakanın bileşenleri ve özellikleri, yalnızca geniş ve yoğun yeşil çatılar arasındaki sınıflandırmanın belirlenmesinde bir ölçüt değil, aynı zamanda yeşil çatının işlevsel performansını etkileyen temel faktörlerdir (Di Miceli vd., 2022).

Değişen iklim koşulları göz önünde bulundurulduğunda yağmur suyunu etkili bir şekilde biriktirmek önem arz etmektedir. Bu nedenle araştırmacılar kentsel alanlarda yeşil çatılar (GR) için etkili ve sürdürülebilir bir gelişim sağlamak amacıyla, çok işlevli performansın değerlendirilmesine dayanan YÇ tabaka bileşenlerinin

tasarım optimizasyonu için çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Halen geliştirilmeye açık alan bu alanda yapılan ve yapılacak olan çalışmalar küresel iklim krizinin etkilerini minimize etmek adına gereklidir. Bu çalışmada da yeşil çatı alt tabakasında geri dönüşüm malzemesi kullanılan araştırmalar incelenmiş ve bu katmanın farklı geri dönüşüm malzemeleri ve farklı yöntemler kullanılarak optimizasyonu için önerilerde bulunulmuştur.

Yeşil Çatı Optimizasyonun Literatürdeki Yeri

Bir yeşil çatı genellikle aşağıdan yukarıya doğru çeşitli bileşenlerden oluşur. Bunlar; çatı yüzeyi, su yalıtım membranı, koruma tabakası, drenaj katmanı, filtre katmanı, alt katman ve bitkilendirme şeklinde sıralanabilir (Şekil 1). Her bir bileşene ait farklı optimizasyon önerileri literatürde araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. Son beş yılda bu alanda yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir.



Şekil 1: Yeşil çatı katmanları

Cascone (2019) yaptığı çalışmada yeşil teknolojiyle ilgili gelecekteki araştırmaların, yeşil çatının kurulduğu alandaki malzemelerin özelliklerini ve bulunabilirliğini göz önünde bulundurması gerektiğini vurgulamıştır. Bu malzemelerin, maliyetleri düşürmek, performansı ve sürdürülebilirliği artırmak için yerel tarımsal atıkların geri dönüşümünden elde edilmesi gerektiğini

belirten araştırmacı; bu geri dönüştürülmüş malzemelerin termal iletkenlik ve atalet, maksimum ve minimum yoğunluk, özgül ağırlık, hidrolik iletkenlik ve boşluk indeksi gibi fiziksel özellikleri değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Geri dönüşüm sürecinin de dikkate alınarak bu malzemelerin çevresel etkilerini analiz etmek için bir yaşam döngüsü analizi yapılması gerektiğinin altını çizmiştir.

Fei vd. (2023) alışmalarında, çok işlevli performans değerlendirmesine dayalı olarak Yeşil atı alt tabaka katman bileşenlerini optimize etmek için yeni bir ereve modeli önermiştir. Sonuçlar, mineral alt tabaka olarak vermikülit içeren alt tabaka katmanının daha hafif bir yapıya ve daha iyi su tutma performansına sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, ponza taşı eklenmesi, sürekli yüksek yoğunluklu yağış olaylarında Yeşil atı alt tabaka katmanının besin sızmasını engelleme etkisini önemli ölçüde artırtabileceğini ve iki veya daha fazla alt tabaka malzemesinden oluşan alt tabaka katmanının yağmur suyunu azaltma kapasitesinin daha yüksek olabileceğini göstermiştir. Çalışmada nerilen Yeşil atı alt tabaka katman bileşeninin optimizasyonuna yönelik değerlendirme modelinin, belirli uygulama senaryolarına ve işlevsel gereksinimlere göre Yeşil atı alt tabaka katmanının tasarımı iyileştirmek için daha fazla işlevsel göstergeyi ierebilmesiyle kentsel alanlarda Yeşil atıların gelişimini teşvik edebileceği vurgulanmıştır.

Wei vd. (2021) yeşil atılarda ROST'u (atı Yüzey Sıcaklığı) tahmin etmek için Rastgele Etkiler Modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Model, dinamik ve kontrol edilemeyen iklim değişkenlerini girdi parametreleri olarak kullanmış ve bu

parametrelerle, belirli kontrol edilebilir değişkenler (örneğin, toprak kalınlığı ve nem içeriği) altında ROST'u tahmin etmeyi hedeflemiştir. Sonuçlar ayrıca, yaklaşık 10 cm'lik ince bir toprak tabakasına sahip bir yeşil çatının, güneş ışığından gelen ısıyı engelleyerek kış gündüz saatlerinde iç mekan sıcaklığını düşürebileceğini göstermektedir. Ayrıca, toprak kalınlığı ve toprak nem içeriğinin ROST üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur; bu nedenle, yeşil çatı tasarımında bu faktörlere daha fazla dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bitki büyümesini desteklemek için yeterli miktarda su bulundurulması gerektiğinden, toprak nem içeriğinin değişim aralığı sınırlıdır. Bu nedenle, optimal enerji tasarrufu sağlamak için toprak kalınlığı özel olarak dikkate alınması gerekliliği çalışmanın bulguları arasındadır.

Çalışmalarının iki ana motivasyon kaynağı olduğunu belirten Baryla vd. (2023) bu kaynakları şu şekilde sıralamıştır. (1) Yeşil çatılarda kullanılan malzemeler (alt tabaka ve drenaj katmanları) ve (2) yeşil çatılardan gelen suyun kalitesi. Bu iki açıdan da sürdürülebilir yeşil çatılar inşa edilirken dikkate alınması gereken önemli sonuçlar çalışma sayesinde elde edilmiştir. Bu çalışma, drenaj katmanlarındaki drenaj hacmi farkını göstermektedir. Deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmalardan, en yüksek su tutma kapasitesi, 40 mm kalınlığındaki drenaj matı olan katmanda elde edildiği gözlenmiştir. Çalışmada aynı zamanda, drenaj katmanı için malzeme seçilirken su tutmanın yanı sıra diğer çevresel unsurlar da dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Geri dönüştürülmüş veya yerel olarak temin edilen malzemelerin kullanılması, yeşil çatılardaki çevresel etkiyi azaltabilir ve yaşam döngülerini

iyileştirebilir. Ancak, bu malzemeler her zaman hidrolik performans açısından kontrol edilmelidir.

Lin vd. (2021) çalışmalarında, Çin'in sıcak yazlar ve soğuk kışlar bölgesinde, Şanghai'da bulunan yeşil çatılı bir pasif bina, bina enerji tüketimi ve görsel rahatsızlık hedefleri dikkate alınarak optimize edilmiştir. Bina şekli, bina kabuğu özellikleri, klima sistemi ayarları ve yeşil çatı konfigürasyonları ile ilgili toplam 35 tasarım parametresi değerlendirilmiştir. Bina enerji tüketimi ve görsel konfor için tahmin modelleri geliştirmek amacıyla dört makine öğrenimi yöntemi kullanılmış ve en uygun tasarım çözümlerini bulmak için altı optimizasyon algoritması değerlendirilmiştir.

Maftouni ve Askari (2019) çalışmalarında, Tahran, Reşt ve Tebriz de dahil olmak üzere üç farklı şehirde yer alan bir konut binası için yeşil çatı ve yağmur suyu toplama sistemi tasarlamıştır. Optimize edilmiş sonuçlar ve iyileştirmeler elde etmek amacıyla geniş bir çim-sedum tipi yeşil çatı seçilmiştir. Çalışmada, yeşil çatının farklı kalınlıklarının binanın termal yükleri ve enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, Tahran'da 10 cm kalınlığındaki geniş yeşil çatı entegrasyonunun yıllık %21,3 enerji tasarrufu sağladığını, Tebriz'de 8 cm kalınlığındaki yeşil çatının yıllık %11,7 enerji tasarrufu sağladığını ve Reşt'te 9 cm kalınlığındaki çatının yıllık enerji tüketiminde %13,2 tasarruf sağladığını ortaya koymuştur. Yeşil çatının en iyi performansı Tahran'da görülürken, en düşük performans güneş radyasyonunun düşük olması ve bitki büyümesi için uygun olmayan koşullar nedeniyle Tebriz'de rapor edilmiştir. Tasarlanan yağmur suyu toplama sistemi, binanın su bitkisi için gereken suyun %72'sini

Tahran'da, %93'ünü Reş'te ve %81'ini Tebriz'de karşılayabildiği belirtilmiştir.

Xie vd. (2023) çalışmalarında, su dengesi ve ekonomik fizibiliteyi iyileştirmek amacıyla yeşil çatı ve yağmur suyu toplama (GR-RWH) sistemlerinin potansiyeli araştırmıştır. Özellikle, Paris şehrinde GR-RWH sistemleri için yağmur suyu depolama tankının optimal boyutunu belirlemek amacıyla NSGA-II algoritması CI-WB modeline uygulanmıştır ve çeşitli çatı alanı (RA), hacim talebi (Vd) ve yeşil çatı oranları (RGR) dikkate alınmıştır. Ana bulgular GR-RWH sistemleri daha büyük bir depolama hacmi (Vt) gerektirse de, geleneksel yağmur suyu toplama sistemleriyle karşılaştırılabilir bir su toplama oranı (WR) sağlayabileceğini ve Paris'te GR-RWH sistemlerinin, yeni bina tasarımlarında %25 ila %75 arasında değişen yeşil çatı oranları (RGR) için uygulanabilir olup, yağmur suyu kullanım ihtiyaçları düşük maliyetle karşılanırken yeşil çatılardan ek faydalar sağlanacağını kanıtlamıştır.

Bulgular

Bu çalışmada literatürde yeşil çatı alt katmanında yapılan optimizasyon çalışmaları incelenmiş ve farklı optimizasyon önerilerinde bulunulmuştur. Yapılan çalışmalar bu katmanda yeşil çözüm üretmeye yönelik olarak atık malzemelerin kullanıldığı çalışmalar ile sınırlandırılmıştır. Tablo 1'de literatürde yeşil çatı alt tabakasında kullanılan geri dönüşüm malzemeleri ve elde edilen ana sonuçlar verilmiştir.

Tablo 1: Yeşil çatı alt tabakasında kullanılan geri dönüşüm malzemeleri ve ana sonuçlar

Malzeme	Elde edilen ana sonuçlar
Granül atık ve gaz beton (Bisceglie vd., 2014)	Yeşil çatının su tutma kapasitesi artmıştır.
Cam atık (Chen vd., 2018)	Asit yağmurlarının nötralizasyonunda iyi bir performans göstermiş, ancak diğer kirleticilerin seviyelerini önemli ölçüde azaltmamıştır.
Ezilmiş porselen ve köpüklü cam (Matlock ve Rowe, 2016)	İki ürün de bitki örtüsü yetiştirmede uygun bulunmuştur.
Ezilmiş porselen ve köpüklü cam (Eksi ve Rowe, 2016)	Porselen ve köpüklü camda yüzey altı sıcaklıkları gündüzleri genişletilmiş şistten daha soğuk olmuştur. Bitki örtüsü %50'nin altında olduğunda porselende günlük sıcaklıklardaki değişim genişletilmiş şistten önemli ölçüde daha düşük olmuştur.
İnşaat atığı (Molineux vd., 2009)	Alternatif alt tabakaların bazıları, bitki oluşumunu desteklemek için yaygın olarak kullanılan kırılmış kırmızı tuğla agregası ile karşılanabilir.
Kırılmış tuğla, kırılmış agrega ve katı atık yakma fırını külü agregası (Bates vd., 2015)	Büyüme alt tabakasında yüksek oranda kırma tuğla bulunan uygulamalar, daha fazla türün tohumlanabildiği ve daha az miktarda Sedum bitkisinin bulunduğu daha zengin toprakları desteklemiştir.
İnşaat atığı (Mickovski vd., 2013)	Geri dönüştürülmüş inşaat atığı malzemeleri içeren alt tabaka karışımı, bitki büyümesini desteklemede yeterliydi, erozyona ve kaymaya karşı dirençliydi ve iyi drenaj sağlayabiliyordu.
Elekten geçirilmiş atık (Farias vd., 2017)	Yeni agrega düşük yoğunluğu ve artan su emme potansiyeline sahipti.

	Termografik kamera sonuçları, yeni agregaların önemli yalıtım özelliklerine sahip olduğunu ve yeşil çatılarda kullanım için uygun olduğunu kanıtlamıştır.
Kumlu balçık (Wei vd., 2021)	Farklı doku ve yapıya ve dolayısıyla farklı termal ve hidrolojik özelliklere sahip toprakların karıştırıcı etkilerinden kaçınmak için yerel arazilerde yeşillendirme endüstrisinde yaygın olan kumlu balçık kullanılması incelenmiştir. Yaklaşık 10 cm'lik ince bir toprak tabakasına sahip yeşil bir çatının güneş ışığından gelen ısıyı engelleyebileceğini ve böylece kış günlerinde iç mekan sıcaklığını düşürebileceğini göstermektedir. Enerji tasarrufu etkilerini belirlerken, gündüz soğutma ve gece ısı koruma baskın faktör olarak tanımlanmıştır.
Drenaj matı (Baryla vd., 2024)	Drenaj katmanlarındaki drenaj hacmindeki farkı göstermek amaçlanmıştır. En yüksek tutma, 40 mm kalınlığında drenaj matına sahip bir katman için elde edilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar göstermektedir ki farklı atık malzemelerin yeşil çatıların farklı katmanlarında kullanılması ortak hedefleri takip eden, düzenlemeleri destekleyen ve daha iyi sürdürülebilir yeşil çatılar inşa etmeye yardımcı olmayı amaçlayan niteliktedir. Optimizasyon sürecinde su tutma kapasitesi, kirleticileri önleme kapasitesi, bitki oluşumunu destekleme durumu, mekan sıcaklığını artırma ya da azaltma durumu, erozyona ve kaymaya karşı direnç, drenaj kapasitesi ve yalıtım özellikleri gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur.

Sonuç ve Öneriler

Dünyada yaşanan iklim değişikliği ile meydana gelen birçok doğal afet sonucunda şehirlerimiz zarar görüyor; suyla ilgili birçok sorun yaşamamıza sebep oluyor. Sel felaketleri, aşırı hava olayları, su kıtlığı ve su kirliliği bunlardan sadece birkaçı olarak belirtilmektedir (Nguyen vd., 2018). Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yapmış olduğu çalışmaları desteklemek, küresel iklim krizi sürecinde ülkemizin de dâhil olduğu Paris Anlaşması'nın hükümlerini yerine getirmek ve çevre ile uyum içerisinde binalar inşa etmek adına optimize edilmiş yeşil çatıların kullanılması önem arz etmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar genellikle benzer inşaat atıklarının yeşil çatıların optimizasyonunda kullanıldığını göstermektedir. Bu bağlamda aşağıda belirtilen öneriler yeşil çatıların optimizasyonunda yapılacak çalışmalara referans olabileceği niteliğine sahiptir.

- *Farklı sektörlerden atıkların yeşil çatının farklı alt tabakalarında kullanılarak etkisinin araştırılması.* Ziraat atıkları, tekstil atıkları ve endüstri atıkları yeşil çatının uygun alt tabakalarında kullanılarak etkisi araştırılabilir.
- *Drenaj katmanının optimizasyonu.* Drenaj tabakasının delik formasyonu değiştirilerek drenaj yoğunluğu araştırılabilir. Bu durum hem deneysel hem de hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları ile desteklenerek kanıtlanabilir.

- *Mevcut yeşil çatıların optimizasyonu.* Mevcut teknolojiler kullanılarak inşa edilmiş yeşil çatıların basit yöntemler ile optimizasyonu için öneriler geliştirilerek; uygulamaları gerçekleştirilebilir.

Kaynakça

Baryła, A., Karczmarczyk, A., Bus, A., & Sas, W. (2024). Water retention and runoff quality of a wildflower meadow green roof with different drainage layers. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 24(3), 591-598.

Bates, A. J., Sadler, J. P., Greswell, R. B., & Mackay, R. (2015). Effects of recycled aggregate growth alt tabakae on green roof vegetation development: A six year experiment. *Landscape and Urban Planning*, 135, 22-31.

Bisceglie, F., Gigante, E., & Bergonzoni, M. (2014). Utilization of waste Autoclaved Aerated Concrete as lighting material in the structure of a green roof. *Construction and Building Materials*, 69, 351-361.

Cascone, S. (2019). Green roof design: state of the art on technology and materials. *Sustainability* 11: 3020.

Chen, C. F., Kang, S. F., & Lin, J. H. (2018). Effects of recycled glass and different alt tabakae materials on the leachate quality and plant growth of green roofs. *Ecological Engineering*, 112, 10-20.

Di Miceli, G., Iacuzzi, N., Licata, M., La Bella, S., Tuttolomondo, T., & Aprile, S. (2022). Growth and development of succulent mixtures for extensive green roofs in a Mediterranean climate. *Plos one*, 17(6), e0269446.

Eksi, M., & Rowe, D. B. (2016). Green roof alt tabakaes: Effect of recycled crushed porcelain and foamed glass on plant

growth and water retention. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 81-88.

Fariás, R. D., Martínez García, C., Cotes Palomino, T., & Martínez Arellano, M. (2017). Effects of wastes from the brewing industry in lightweight aggregates manufactured with clay for green roofs. *Materials*, 10(5), 527.

Fei, Y., Fu, D., Xu, C., & Singh, R. P. (2023). Component design optimization of green roof alt tabakae layer based on the assessment of multifunctional performance. *Environmental Research*, 238, 117190.

Lin, Y., Zhao, L., Liu, X., Yang, W., Hao, X., & Tian, L. (2021). Design optimization of a passive building with green roof through machine learning and group intelligent algorithm. *Buildings*, 11(5), 192.

Maftouni, N., & Askari, M. (2019). Building energy optimization: Implementing green roof and rainwater harvester system for a residential building. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 6(2), 38-45.

Matlock, J. M., & Rowe, D. B. (2016). The suitability of crushed porcelain and foamed glass as alternatives to heat-expanded shale in green roof alt tabakaes: An assessment of plant growth, alt tabakae moisture, and thermal regulation. *Ecological Engineering*, 94, 244-254.

Mickovski, S. B., Buss, K., McKenzie, B. M., & Sökmener, B. (2013). Laboratory study on the potential use of recycled inert

construction waste material in the alt tabakae mix for extensive green roofs. *Ecological Engineering*, 61, 706-714.

Nguyen, T. T., Ngo, H. H., Guo, W., Wang, X. C., Ren, N., Li, G., ... & Liang, H. (2019). Implementation of a specific urban water management-Sponge City. *Science of the Total Environment*, 652, 147-162.

Molineux, C. J., Gange, A. C., Connop, S. P., & Newport, D. J. (2015). Using recycled aggregates in green roof alt tabakaes for plant diversity. *Ecological Engineering*, 82, 596-604.

Wei, T., Jim, C. Y., Chen, A., & Li, X. (2021). A random effects model to optimize soil thickness for green-roof thermal benefits in winter. *Energy and Buildings*, 237, 110827.

Xie, H., Randall, M., & dos Santos, S. M. (2023). Optimization of roof Coverage and Tank size for Integrated Green roof Rainwater Harvesting Systems-a case study. *Water Resources Management*, 37(12), 4663-4678.

BÖLÜM II

Eskişehir İli Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Belirlenmesi

**Ülker Aşlı GÜLER
Merve TÜRKEY**

1.GİRİŞ

Sanayi devrimi ile başlayıp günümüze kadar gelen teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, ekonomik fayda sağlamanın yanı sıra artan dünya nüfusu ve enerji tüketimine bağlı olarak çevre kirliliği açısından önemli sorunlar teşkil etmektedir. Bu konu üzerine çok sayıda raporlar hazırlanmış, farklı ülkelerde toplantılar ve paneller düzenlenmiş, çeşitli anlaşmalar, sözleşmeler ve eylem planları hazırlanarak uluslararası çevre politikaları oluşturulmuştur. Bu çevre politikalarına göre; ülkelerin karşılaştığı en önemli sorunlardan biri küresel ısınma ve buna bağlı olarak iklim değişikliği kavramıdır (Bıyık & Civelekoğlu, 2020; Toröz 2015).

Günümüzde, iklim değişikliği ile ilgili üç uluslararası anlaşma vardır. Bunlardan ilki; Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇŞ), ikincisi Kyoto Protokolü ve son olarak da Paris Anlaşmasıdır (Bıyık & Civelekoğlu, 2020, Cüce & Uğur, 2021). 1992’de kabul edilen BMİDÇŞ, sürdürülebilir kalkınmadan taviz vermeksizin iklim değişikliği ile mücadelenin bir yansımasıdır (Karakaya, 2008). BMİDÇŞ’nin ilk maddesine göre; iklim değişikliği, “karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak doğrudan veya dolaylı olarak insan faaliyetleri nedeniyle küresel atmosferin bileşimini değiştiren ve belli dönem içinde gerçekleşen değişkenlikler” şeklinde tanımlanmaktadır (IPCC, 1996a; UN, 1992). Ayrıca, “sera gazı emisyonlarının büyük bir çoğunluğunu gelişmiş ülkelerin oluşturması nedeniyle bu emisyonların azaltılmasına yönelik uygulamalarda gelişmiş ülkelerin öncü olmaları gerektiği ve gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliği ile mücadelelerinde finansal ve teknolojik yardımda bulunmaları gerektiği” uluslararası müzakerelerde vurgulanmaktadır.

Kyoto Protokolü ise 1997’de Japonya’nın Kyoto şehrinde imzalanmıştır (Uzunçakmak, 2014). Kyoto Protokolü kapsamında, “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ilkesi” baz alınmış ve gelişmiş ülkeler için bağlayıcı olan salım azaltım sorumlulukları getirilmiştir (ÇŞB, 2018). Böylece iklimin korunması kapsamındaki ilk adım oluşturulmuştur (Karakaya, 2008).

2020 yılı sonrası için ülkelerin iklim koruma konusundaki yükümlülükleri, 2015 yılında kabul edilen Paris Anlaşması kapsamında yürütölmektedir (UN, 2015). Paris Anlaşmasının BMİDÇŞ ve Kyoto Protokolü’nden farklı bir yönü bulunmaktadır.

Bu anlaşmaya göre; taraflar beş yılda bir yenilenmesi gereken “Ulusal Katkı Niyet Beyanı” sunmaktadırlar. Bu beyana göre taraflar uymaları gereken kendi yükümlülüklerini kendileri ilan etmektedirler (UN, 2015). Ülkemiz, iklim değişikliği konusunda yapılan çalışmalara katılmakta ve bu çalışmaları desteklemektedir. Ülkemiz her yıl BMİDÇS kapsamında yıllık sera gazı emisyon dökümlerini hazırlamakla yükümlüdür (URL-1).

İklim değişikliği konusunda yapılan bir diğer önemli çalışma ise; 1988 yılında Kanada’nın Toronto şehrinde Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü’nün (WMO) ortak girişimiyle düzenlenen konferans’ta Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)’nin kurulmuş olmasıdır (Bıyık & Civelekoğlu, 2020). Uluslar arası bir kuruluş olan IPCC, iklim değişikliği ile ilgili güncel bilimsel, teknik ve sosyoekonomik bilgi ve çalışmaları değerlendirerek sonuçları karar vericilerle paylaşmak, BMİDÇS’ne bilgi vermek ve özel rapor ya da bilimsel değerlendirmeler hazırlamak amacıyla kurulmuştur (URL-2). IPCC 5. raporunda; iklim değişikliği kavramı “Zaman içinde insan faaliyetleri ya da doğal değişkenlikle iklimde yaşanan, istatistiki testlerle kanıtlanmış veya gözlenmiş değişkenliklerdir” şeklinde tanımlanmaktadır (IPCC, 1996b).

IPCC’ye göre, küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olan başlıca sera gazları; %76 oranında karbondioksit, %16 oranında metan, %6,2 oranında diazotoksit ve %2 oranında florlu gazlardır (Dündar, 2021). IPCC 6. Değerlendirme raporuna göre ise 2011 yılından bu yana atmosferdeki sera gazı konsantrasyonları artmaya devam etmiş ve 2019 yılında yıllık ortalama 410 ppm CO₂, 1866 ppb CH₄ ve 332 ppb N₂O’ya ulaşmıştır (URL-3). Karbondioksit gazının

başlıca kaynağı; yoğun olarak kullanılan fosil yakıtlardır (Dündar, 2021). Metan gazının başlıca kaynakları ise; enerji ve tarımcılık faaliyetleridir. Bunların yanı sıra atık değerlendirme gibi aktivasyonlar sonucunda da metan gazı açığa çıkmaktadır. Diazotoksitin başlıca kaynağı da yine tarımsal gübreler ve fosil yakıtlardır (EPA, 2019). Yine IPCC 6. Değerlendirme raporuna göre; 2019 yılında, atmosferik karbondioksit konsantrasyonları son 2 milyon yılda olduğundan daha yüksek bir değerdedir. Metan ve diazotoksit konsantrasyonları ise son 800.000 yılda olduğundan daha yüksek bir değere ulaşmıştır (URL-4). 1990-2019 yılları için dünya geneli CO₂ salınımı sektörlere göre incelendiğinde; elektrik ve ısınma, enerji, endüstri ve ulaşım yer almaktadır. Türkiye geneli sektörlere göre CO₂ salınımında da ilk üç sırayı elektrik ve ısınma, endüstri ve ulaşım almaktadır (URL-5). Ulaşım içerisinde karayolu taşımacılığı birinci sıradadır (Dündar, 2021). Karayolu kaynaklı ulaşım sektöründe otomobil, otobüs, kamyon, traktör, motosiklet vb. araçlarda gerçekleşen benzin ve motorinin yanması sonucunda sera gazı emisyonları açığa çıkmaktadır (Dündar, 2021). Karayolunu kullanan bu motorlu taşıtlar, birçok kirletici gaz ve partiküler maddeyi atmosfere salarlar. Araç sayısının artması, trafik düzeninin olmaması, araçların emisyon çıkışlarının yüksek olması, araçların düzenli bakımlarının ve egzoz gazı muayenelerinin yapılmaması ve düşük kaliteli yakıt kullanılması gibi sebepler, karayolu kaynaklı ulaşım sektöründeki sera gazı emisyonlarının artışına sebep olmaktadır (TÜSİAD 2007). Toplam sera gazı emisyonları içerisinde ulaşımın önemli bir paya sahip olduğunun anlaşılması üzerine, bu konu ile ilgili son yıllarda ulusal ve uluslar arası literatürde yapılmış birçok çalışmaya rastlanmaktadır (Dündar,

2021; Bıyık & Civelekoğlu, 2020; Bıyık & Civelekoğlu, 2018; Cüce & Uğur, 2021; Haksevenler & ark., 2020; Dündar & Kolay, 2021; Gonçalves & ark., 2019; Li & ark., 2019; Tongwane & ark., 2015). Ayrıca bu emisyonların karayolu çevresindeki toprak ve su alanlarını etkilediği de birçok çalışmada belirtilmiştir (Demirel & Ateş, 2018; Kalıpcı & Başer, 2019).

Yapılan bu çalışmalar göstermektedir ki; karayolu taşımacılığından kaynaklanan kirletici gaz emisyonlarının çevre ve hava kalitesine olan etkilerini görebilmek için yapılan çalışmalar oldukça önemlidir. Tüm bu bilgiler ışığında yapılan çalışmada, Büyükşehir statüsüne sahip Eskişehir iline ait ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanması ve bu emisyonların kontrolüne yönelik yaklaşımlarda bulunulması amaçlanmıştır. Ayrıca tüm dünya genelinde sera gazı emisyonlarında COVID-19 salgını nedeniyle 2020 yılı ilk aylarından itibaren önemli ölçüde düşüşlerin meydana geldiği belirtilmektedir. Dünya genelinde sera gazı emisyonlarına etki eden bu salgın durumunun Eskişehir ili düzeyinde nasıl bir gelişim gösterdiğinin belirlenmesi bu çalışmanın diğer önemli bir yönüdür. Bu sebeple, salgın öncesi ve sonrası Eskişehir ili ulaştırma sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonlarının karşılaştırmasını yapabilmek için hesaplamalarda IPCC tarafından geliştirilen Tier 1 yöntemi ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından yayınlanan Eskişehir ili 2012-2023 yıllarına ait yakıt satış verileri kullanılmıştır.

2.ESKİŞEHİR İLİ ULAŞIM SEKTÖRÜ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Eskişehir ili İç Anadolu Bölgemizin kuzeybatısında yer almaktadır. Eskişehir ilinin yüzölçümü 13.652 km² ve TÜİK'in 2023

yılı verilerine göre Eskişehir il toplam nüfusu 915.418 kişidir (URL-6; URL-7; URL-8). Eskişehir ili hava kirliliği ölçüm değerlerine göre; yüksek kirlilik potansiyeline sahiptir. Ülkemiz, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği ve Genelgesi'ne göre; Temiz Hava Eylem Planı hazırlama zorunluluğu olan illerden birisidir. Bu bağlamda, Eskişehir İli Ulaştırma Sektörü Ana Planı (EUAP) çalışması 2017 yılında tamamlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, otobüs seferlerinin yeniden düzenlenerek km başına düşen yakıt israfının önlenmesi hedeflenmektedir. Böylece yakıt kaynaklı hava kirleticilerinin azaltılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda; Eskişehir ili toplu taşıma sistemlerinde otobüs güzergahları optimize edilmiş ve ölü km'ler azaltılmıştır. Otobüs taşımacılığında filo yaşı ortalamasının düşürülme çalışmaları ve elektrikli otobüs kullanımının artırılması çalışmaları planlanmaktadır. Ayrıca, yolcu yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde raylı sistem ulaşımına geçilmesi çalışmaları yürütülmektedir. Kentin en yoğun kavşaklarında akıllı kavşak sistemi kurulmuş, kent merkezindeki tüm duraklar mobil uygulama üzerinden akıllı durağa dönüştürülmüştür. Ayrıca EUAP önerileri çerçevesinde, bisiklet yollarının artırılması çalışmaları uygulanmaktadır (Çevre Durum Raporu, 2019).

3.MATERYAL VE METOD

3.1.Tier 1 yaklaşımı

IPCC (2006) kılavuzunda Tier 1, Tier 2, ve Tier 3 olarak adlandırılan üç farklı yaklaşım bulunmaktadır (IPCC, 2006a). Tier 1 yaklaşım metodunda daha az veri ile genel bir sonuca ulaşılabilmektedir (Haksevenler & ark., 2020). Eskişehir ili 2012-2023 yıllarına ait karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonlarını değerlendirmek

amacıyla yapılan bu çalışmada Tier 1 yaklaşım metodu kullanılmıştır. Tier 1 yaklaşım metodu hesaplamalarında “yakıt tüketimini” esas almaktadır. IPCC’ye göre, ulaşım sektörü kaynaklı tüm emisyon hesapları, yakıtın yanması üzerinedir. Karayolu taşımacılığında kaynaklı anahtar sektör 1A3b kategorisidir. Benzin, motorin ve LPG için karbondioksit, metan ve diazotoksit kaynaklı emisyonlar hesaplanarak toplam emisyon miktarına ulaşılmaktadır (Bıyık & Civelekoğlu, 2020; IPCC 2006a).

IPCC 2006’ya göre; Tier 1 yaklaşım metodunun CO₂, CH₄ ve N₂O emisyon hesaplama formülasyonları aşağıda sunulmuştur (Bıyık & Civelekoğlu, 2020; IPCC, 2006a).

CO₂ emisyonlarının hesaplanması:

CO₂ emisyonlarının hesabında öncelikle her sektörün yakıt tüketim değerleri belirlenir. Bu hesaplamalarda kullanılan yakıt satış verileri olarak, EPDK tarafından yayımlanan Eskişehir ili 2012-2023 yıllarına ait veriler kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1: Eskişehir iline ait karayolu ulaşımına ait yakıt satış miktarları (2012-2023 yılları) (ton) (EPDK, 2012-2023)

YIL	Y ZİN	BEN	MOT ORİN	LPG	To plam Tüketim
2023	2	44.6 12,850	319.6 97,630	41.4 19,070	405.729,5 5
2022	2	36.5 61,958	303.3 66,624	36.4 96,000	376.424,5 8
2021	2	35.7 04,491	312.3 23,336	36.4 88,350	384.516,1 8
2020	2	27.7 08,890	308.4 24,391	35.4 25,878	371.559,1 6
2019	2	28.8 04,000	309.8 93,000	38.8 68,000	377.565,0 0
2018	2	28.7 60,794	345.1 68,568	38.8 67,840	412.797,2 0
2017	2	27.9 64,605	378.2 75,787	45.8 22,000	452.062,3 9
2016	2	27.2 73,456	278.8 15,092	41.1 40,000	347.228,5 5
2015	2	24.7 91,000	256.0 81,000	38.4 65,000	319.337,0 0
2014	2	22.9 75,000	223.3 97,000	42.6 17,000	288.989,0 0
2013	2	22.8 49,000	231.8 31,000	41.4 25,870	296.105,8 7
2012	2	22.6 68,000	193.2 89,000	40.5 42,710	256.499,7 1

Daha sonra; yakıt tüketim miktarları (Tablo 1) ile Tablo 2’de verilen dönüşüm faktörü çarpılarak bu yakıt tüketim değerinin enerji tüketimi bulunmuştur (Denklem 1) (Şenel & Atabey, 2020; Dündar, 2021; Bıyık & Civelekoğlu, 2020).

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü (DF) [TJ/kt]} \quad (1)$$

Tablo 2: Tier 1 hesaplama yönteminde kullanılan değerler (IPCC 2006b; IPCC 2006c; IPCC 2015; URL-9)

Yakıt Türü	DF (TJ/Gg)	CO ₂ EF (kg/TJ)	CH ₄ ve N ₂ O EF (kg/TJ)		Oksitlenme Oranı	KIP	
			CO ₂	CH ₄		N ₂ O	CH ₄
Benzin	44.3	69300	33	3.2	0.99	21	298
Motorin	43.0	74100	3.9	3.9	0.99	21	298
LPG	47.3	63100	62	0.2	0.95	21	298

İkinci adımda; her yakıt türü için Tablo 2’den CO₂ emisyon faktörleri (EF) seçilmiş ve bu değerler ile enerji tüketim miktarları çarpılarak yakıtın içeriğindeki toplam karbon miktarı bulunmuştur (Denklem 2).

$$\text{Karbon Emisyonu [Gg C]} = \text{Enerji Tüketimi [TJ]} \times 10^{-6} \times \text{CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} \left[\frac{\text{tC}}{\text{TJ}} \right] \quad (2)$$

Bu denklemdeki 10⁻⁶ değeri, IPCC tarafından kullanılan kg’ı (kilogram), Gg (gigagram) birimine çevirmek için kullanılmaktadır.

Üçüncü adımda; ; oksitlenme oranı ile karbonun yanma sırasında ne kadarının oksidasyona uğradığı hesaplanmıştır (Denklem 3) (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).

$$\text{Karbon Emisyonu [Gg C]} = \text{Karbon Emisyonu [Gg C]} \times \text{Oksitlenme Oranı (Küresel Isınma Katsayısı (KIP))} \quad (3)$$

CH₄ ve N₂O emisyonlarının hesaplanması:

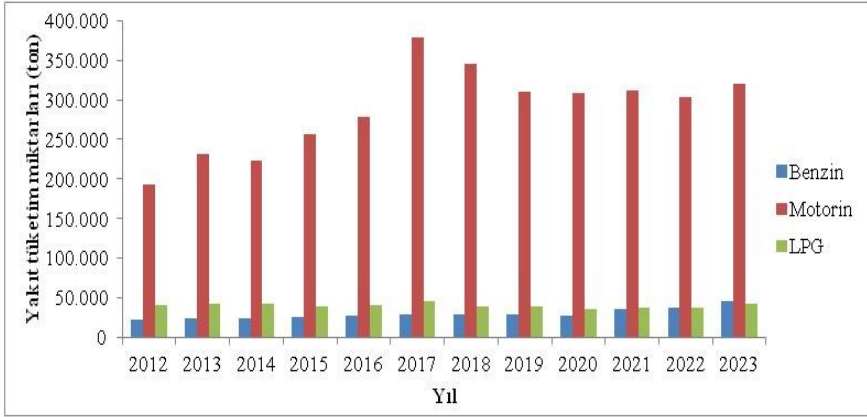
CH₄ ve N₂O emisyonların hesabında yukarıda belirtilen formülasyonlar kullanılarak Tablo 2’de verilmiş olan emisyon faktörleri (EF) ile enerji tüketim verileri çarpılarak emisyon değerleri bulunmuştur (Denklem 2). Daha sonra bulunan değer küresel ısınma katsayıları (KIP) ile çarpılmıştır (Denklem 3).

Yukarıda belirtilen hesaplama yöntemi ile her bir yakıt türü için karbondioksit, metan ve diazotoksitten kaynaklanan emisyonlar ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan her bir gazın emisyon değerleri toplanarak toplam sera gazı emisyon değeri hesaplanmıştır.

Ayrıca çalışmada kişi başına, araç başına ve km²'ye düşen sera gazı emisyon miktarları da hesaplanmıştır.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

2012-2023 yıllarına ait Eskişehir ili yakıt tüketim miktarları Grafik 1'de verilmiştir.



Grafik 1: 2012-2023 yıllarına ait Eskişehir ili yakıt satış miktarları

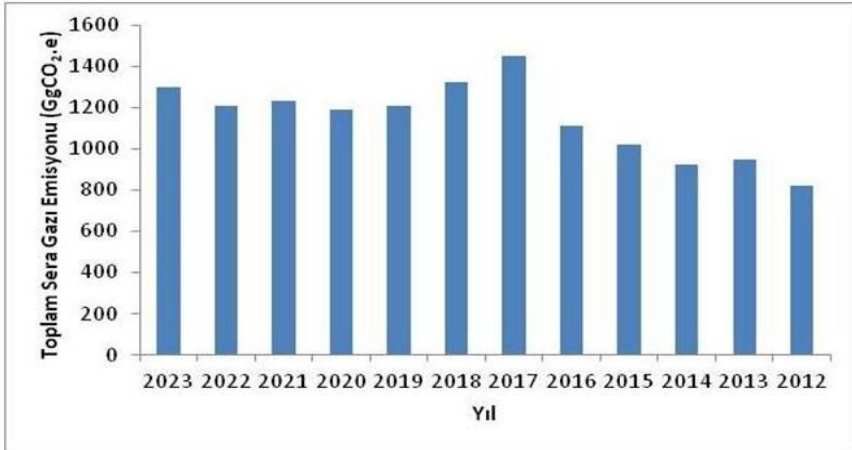
Grafik 1 incelendiğinde tüm yıllar için Eskişehir ili motorin tüketimi diğer yakıtlara oranla oldukça yüksektir. 2017 ve 2018 yılları motorin tüketiminin en fazla olduğu yıl olurken, 2017 yılı aynı zamanda LPG tüketiminin de en fazla olduğu yıl olmuştur. Benzin tüketimi de en fazla 2021 yılında gerçekleşmiştir. Dündar'ın (2021) yapmış olduğu bir çalışmada da 2010 ve 2019 yıllarında büyükşehirlerimizde en fazla tüketilen yakıt türünün motorin olduğu

belirtilmiştir (Dündar, 2021). Dündar (2021)'e göre bunun sebebi; daha ucuz ve kilometre başına yakıt tüketiminin daha düşük olması nedeniyle motorinli araçların tercih edildiği şeklindedir. Motorinden sonra ikinci sırada LPG yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre; Eskişehir ili için de bu durum geçerlidir. 2012-2023 yıllarında toplam motorin tüketim miktarı 3.460,562 ton iken bunu 477.577,72 ton ile LPG, 350.674 ton ile benzin izlemektedir. 2000'li yıllardan sonra araçlarda LPG kullanımının artması ile birlikte taşıt sayısındaki artışa rağmen benzin tüketimi önemli derecede artmamıştır (Dündar, 2021). Bu sebeple Eskişehir ilinde en az tüketilen yakıt türü benzindir. Bu durum ülkemiz yakıt tüketim profiline uygun bir durum olarak değerlendirilebilir.

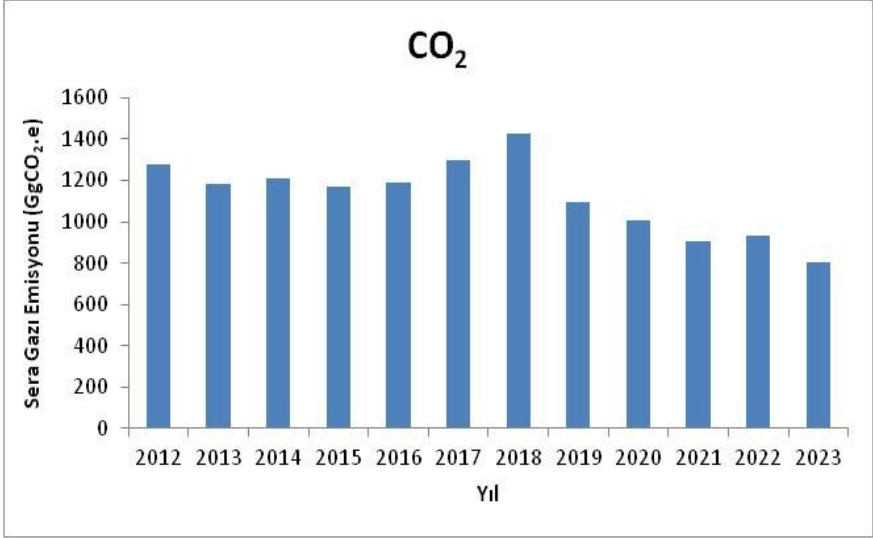
Eskişehir İli'nde 2012-2023 yıllarında tüketilen yakıtlar sonucunda açığa çıkan CO₂, CH₄ ve N₂O miktarları Gg cinsinden hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında son 11 yıl boyunca oluşan sera gazı emisyon miktarları ve yıllara bağlı olarak meydana gelen emisyon değişim yüzdesi Tablo 3'de, ve elde edilen değerlerin grafiksel gösterimi Grafik 2-5'de verilmiştir.

Tablo 3: Eskişehir ili 2012-2023 yılları sera gazı emisyon miktarları (Gg)

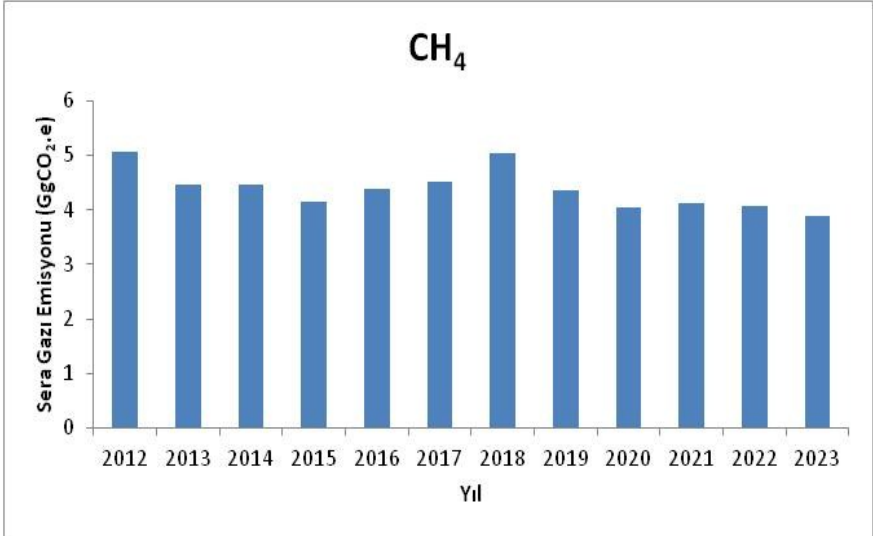
Yıl	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Toplam Sera Gazı Emisyonu	Değişim oranı (%)
2023	1276,36	5,07	18,12	1299,55	7,71
2022	1185,08	4,46	16,94	1206,48	-2,13
2021	1210,89	4,46	17,36	1232,71	3,44
2020	1170,76	4,14	16,82	1191,72	-1,54
2019	1189,02	4,39	16,95	1210,36	-8,60
2018	1301,02	4,51	18,72	1324,25	-8,66
2017	1424,46	5,03	20,37	1449,86	30,39
2016	1092,28	4,37	15,32	1111,97	8,75
2015	1004,44	4,05	14,06	1022,55	10,69
2014	907,3	4,13	12,35	923,78	-2,46
2013	930,19	4,08	12,77	947,04	15,61
2012	804,49	3,89	10,82	819,20	
Toplam	13496,29	52,58	190,6	13739,47	



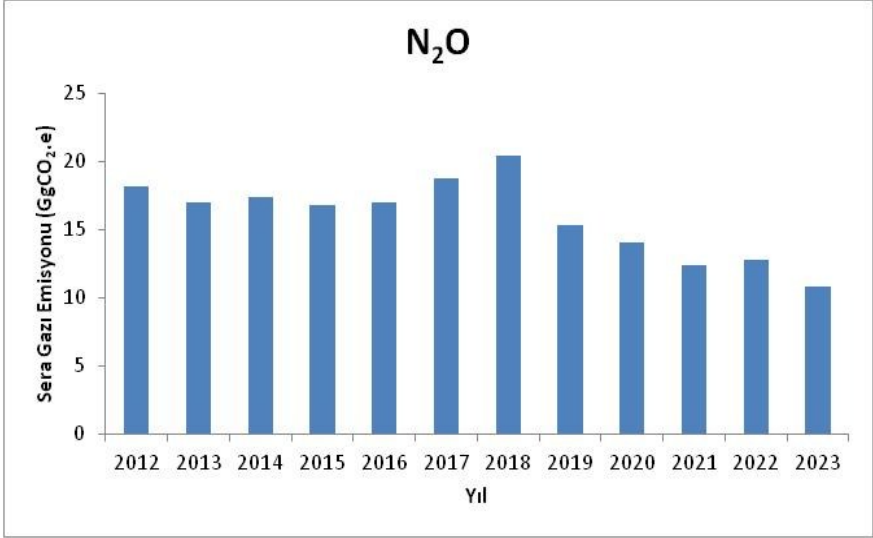
Grafik 2: Eskişehir ili 2012-2023 yılları toplam sera gazı emisyon miktarları



Grafik 3: Eskişehir ili 2012-2023 yılları sera gazı CO₂ emisyon miktarları



Grafik 4: Eskişehir ili 2012-2023 yılları sera gazı CH₄ emisyon miktarları



Grafik 5: Eskişehir ili 2012-2023 yılları sera gazı N₂O emisyon miktarları

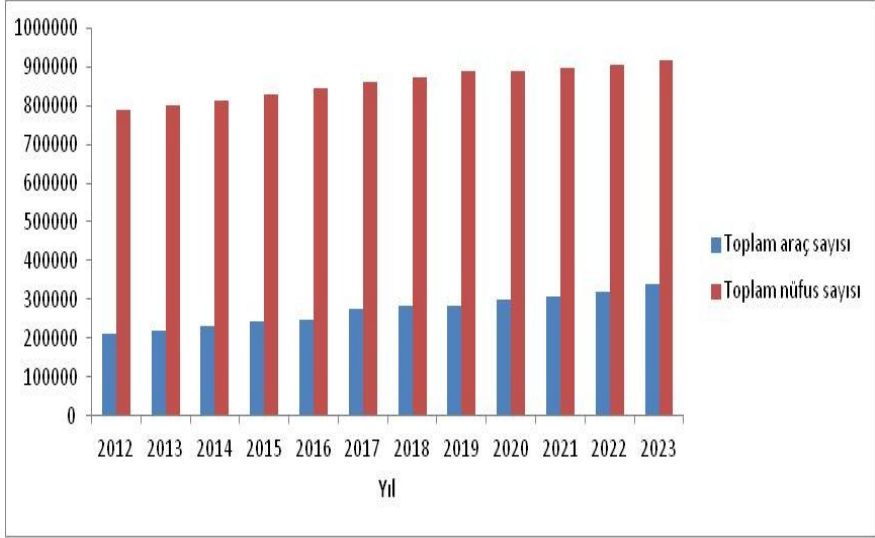
Tablo 3 ve Grafik 2-5 incelendiğinde CO₂, CH₄ ve N₂O kaynaklı ve toplam sera gazı emisyonlarının yıllar içinde dalgalanma gösterse de çoğunlukla artış gösterdiği görülmektedir. Yakıt türüne bağlı olarak motorlarda yanma olayı sonrasında açığa çıkan emisyon miktarı önemli derecede farklılık gösterdiği görülmektedir. 2017, 2018 ve 2023 yıllarında toplam yakıt tüketimine bağlı olarak sırasıyla 1449.86 Gg, 1324.25 Gg ve 1299.55 Gg olmak üzere en yüksek toplam sera gazı emisyon değerleri oluşmuştur.

Yıllara göre % değişime de bakıldığında 2017 yılında en büyük emisyon artışı (bir önceki yıla göre %30.39) görülmüştür. 2018-2020 yıllarında ise Covid-19 salgını kaynaklı olduğu tahmin edilen yakıt tüketimindeki azalmaya bağlı olarak emisyon artış yüzdesi de negatif değer olarak gerçekleşmiştir. Covid-19 salgını

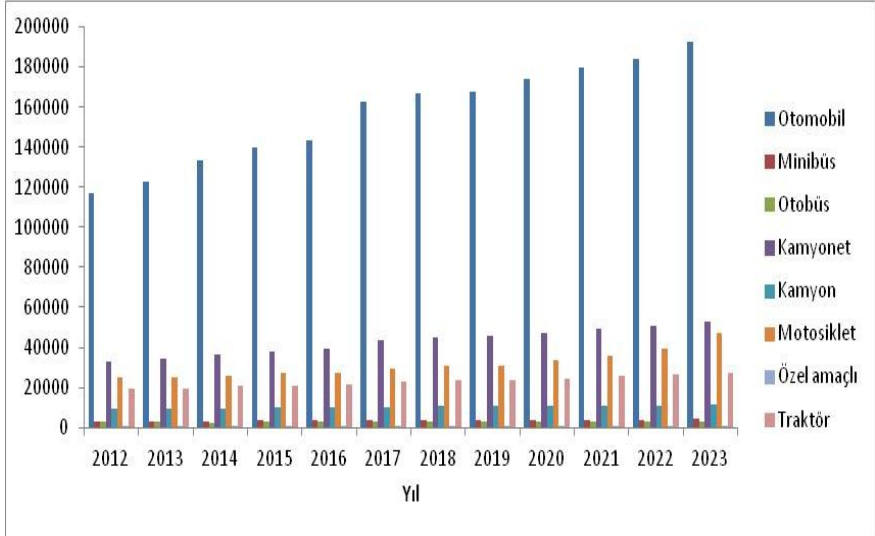
sebebiyle ulaşım faaliyetleri ve yakıt tüketime miktarlarının 2019-2021 yılları aralığında azaldığı verilerden görölmektedir. Ancak 2012 ve 2023 yılı baz alındığında yani son 11 yıldaki toplam sera gazı emisyon değişimi % 58,64 olarak karşımıza çıkmaktadır. Son 11 yıllık periyotta toplam CO₂ emisyon miktarındaki artış yaklaşık % 58, CH₄ emisyonundaki artış yüzdesi % 30 ve N₂O için emisyon miktarındaki artış yüzdesi % 67 olarak hesaplanmıştır.

Grafik 6’da 2012-2023 yıllarına ait Eskişehir ili toplam nüfusa ve toplam karayolu araç sayısının grafiksel karşılaştırması, Grafik 7’de ise toplam araç türlerinin (otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet, motosiklet, özel amaçlı ve traktör) grafiksel karşılaştırması verilmiştir (URL-10; URL 11).

Grafik 6’ya göre toplam nüfus ile toplam araç sayısı oranlandığında 2012 yılında toplam nüfusun %26’sı araç sahibi iken, 2017 yılında bu oran % 32’ye yükselmiş, 2017-2019 yılları arasında bu oran % 32 civarında stabil kalmış, daha sonra yıllık yaklaşık % 1’lik artışlarla 2022 yılında % 35’e, 2023 yılında ise % 37 oranına yükselmiştir.



Grafik 6: 2012-2023 yıllarına ait Eskişehir ili toplam nüfus ve araç sayısı verilerinin grafiksel karşılaştırması



Grafik 7: 2012-2023 yıllarına ait Eskişehir ili toplam araç türlerinin grafiksel karşılaştırması

Grafik 7'yi değerlendirecek olursak; Eskişehir ilinde CO₂ salınımının büyük oranda otomobil daha sonra kamyon, motosiklet ve traktörlerden kaynaklandığı söylenebilir. Artan araç sayısına bağlı olarak artan yakıt tüketimi sera gazı emisyonlarının artışına doğrudan etkide bulunmaktadır. Özellikle trafiğe çıkan araç sayısının yıllar içinde giderek artması ve elektrikli araç gibi alternatif yakıt kullanımının az olması nedeniyle sera gazı emisyonlarının da giderek arttığı görülmektedir.

Literatürde diğer iller için yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar göstermektedir. Cüce ve Uğur (2021) yaptıkları “Nevşehir İlinde Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Covid-19 Salgını Başlangıç Döneminde Değerlendirilmesi” çalışmasında; Tier1 hesaplama metodolojisinden yararlanılmış ve sera gazı emisyonları tespit edilmiştir. Sonuç olarak; harcanan yakıt ile CO₂ salınımının doğru orantılı olduğunu ortaya koymuşlardır (Cüce & Uğur, 2021). Dündar (2021) yapmış olduğu “Türkiye’deki Büyükşehirlerin Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Sera Gazı Emisyon Miktarının Karşılaştırmalı Analizi” çalışmasında; karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonlarını Tier 1 yöntemi kullanarak hesaplamıştır. 2010-2019 yılları arasında toplam sera gazı emisyon miktarının % 61,90 oranında artış gösterdiğini belirtmiştir (Dündar, 2021). Çelik (2020) “Konya İlinde Ulaşımından Kaynaklı Karbon Ayak İzi ve Çevresel Fayda Maliyet Analizi” başlıklı tezinde; Konya’nın ulaşım kaynaklı karbon ayak izinin belirlenmesinde, farklı ulaşım türleri için karşılaştırma çalışmasını yürütmüştür. Ulaşım kaynaklı CO₂ emisyonunun tamamına yakınının karayolu ulaşımından kaynaklı olduğu belirlenmiştir (Çelik, 2020).

Tablo 4’de ise kiři başına, araç başına ve km²’ye dūřen toplam sera gazı emisyon miktarları ve yıllık değişim yūzdeleri verilmiştir. Toplam sera gazı emisyonunda bir önceki yıla göre hem kiři başına hem araç başına hem de km²’ye dūřen sera gazı emisyonlarında genellikle artışlar yaşanırken 2018-2022 yılları arasında dūřüřler yaşanmıştır. Bu durum, Covid-19’un etkileri olarak grlmektedir. Ayrıca araç sayılarının artmasına karşın araç başına dūřen emisyon miktarındaki artış hızının azalması ise yeni model araçların yakıt verimliliği konusunda yeni teknolojilerle donatılmış olması ve emisyon değerlerinin ise dūřk olmasına dayandırılabilir.

Tablo 4: Kiři bařına, araç bařına ve km²’ye dūřen toplam sera gazı emisyon miktarları ve yıllık deęiřim yūzdeleri

Yıl	Kiři Bařına Dūřen Toplam Sera Gazı Emisyonu (Gg)	Değişim Oranı (%)	Araç Bařına Dūřen Toplam Sera Gazı Emisyonu (Gg)	Değişim Oranı (%)	Km ² ’ye Dūřen Toplam Sera Gazı Emisyonu (Gg)	Değişim Oranı (%)
023	0,00142	6,68	0,00383	1,21	0,09519	7,714
022	0,00133	-3,02	0,00379	-5,19	0,08837	-2,13
021	0,00137	2,34	0,00399	-0,20	0,09029	3,44
020	0,00134	-1,69	0,00399	-5,81	0,08729	-1,54
019	0,00136	-10,28	0,00424	-9,05	0,08865	-8,60
018	0,00152	-9,77	0,00466	-11,06	0,09700	-8,66

017	0,00169	2,799	0,00524	1,708	0,10620	3,039
016	0,00132	6,41	0,00448	6,24	0,08145	8,75
015	0,00124	8,76	0,00422	6,11	0,07490	1,069
014	0,00114	-3,97	0,00397	-8,718	0,06766	-2,46
013	0,00118	1,416	0,00435	1,636	0,06937	1,561
012	0,00104		0,00390		0,06000	

5.SONUÇLAR

Sanayi devrimi ile birlikte artan teknolojiye bağı olarak antropojenik etkiler sonucunda hızla artış gösteren sera gazı emisyonlarının ısıyı hapsedme özellikleri nedeniyle küresel ısınmaya neden oldukları bilinen bir gerçektir. Ulaştırma sektörü bu antropojenik etkiler sonucunda oluşan sera gazlarının üretiminde önemli bir paya sahiptir. Ulaştırma sektörü içerisinde de karayolu ulaşımı oldukça büyük yer tutmaktadır. Bu nedenle ülkemizde birçok ilin ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonlarının belirlenmesi ile ilgili çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada da Eskişehir ilinin 20120-2023 yıllarını kapsayan on bir yıllık bir periyotta atmosfere verilen karayolu kaynaklı toplam sera gazı emisyonları (CO₂, CH₄ ve N₂O) belirlenmiştir. Emisyon hesaplamalarında IPCC tarafından önerilen Tier 1 yaklaşım metodolojisi kullanılmıştır. Çalışmada; açığa çıkan CO₂ gazlarının yanı sıra, CH₄ ve N₂O gazlarının da emisyon değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda yıllar içinde emisyon değerlerinde dalgalanmalar gerçekleşse de on bir yıllık

periyotta toplam CO₂ emisyon miktarındaki artış yaklaşık % 58, CH₄ emisyonundaki artış % 30 ve N₂O için % 67 olarak bulunmuştur. Karayolu kaynaklı bu emisyon artışını azaltabilmek için alabilececek bazı çözüm önerileri mevcuttur. Bu önerilerden bir tanesi; fosil yakıtlı motorların yanma teknolojilerinin iyileştirilmesi ile daha az sera gazı çıkışı sağlanabilir. Bir diğer önemli öneri ise elektrikli araçların kullanımının teşvik edilmesidir. Bunların yanı sıra; trafikteki motorlu araç sayılarını azaltmak, toplu taşımayı arttırmak ve özendirmek, bisiklet kullanımını aktifleştirmek, trafik akışının düzenlenmesi ve trafik sinyalizasyon sistemlerinin geliştirilmesi gibi birçok etkin olabilecek seçeneklerin oluşturulması mümkündür.

KAYNAKLAR

Bıyık, Y. & Civelekoğlu, G. (2020). Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 78-87.

Bıyık, Y. & Civelekoğlu, G. (2018). Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak İzi Değişiminin İncelenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 157-166.

Cüce, H. & Uğur, O. (2021). Nevşehir İlinde Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Covid-19 Salgını Başlangıç Döneminde Değerlendirilmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), 118-134. Doi: 10.31466/kfbd.885206.

Çelik, H. A. (2020). *Konya İlinde Ulaşımından Kaynaklı Karbon Ayak İzi Ve Çevresel Fayda Maliyet Analizi*, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı..

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞB) (2018). *Kyoto Protokolü*. <http://iklim.csb.gov.tr/kyoto-protokolu-i-4363> (Erişim Tarihi:03.10.24).

Çevre Durum Raporu (2020). Çed ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü, s167, Eskişehir.

Demirel, H. & Ateş, A. (2018). Sapanca Gölü Çevresinde Karayolu Trafikinden Kaynaklanan Hava Kirleticilerinin Emisyon Envanteri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 150-158.

Dünder, A. O. (2021). Türkiye'deki Büyükşehirlerin Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Sera Gazı Emisyon Miktarının Karşılaştırmalı Analizi. *Doğ Afet Çev Derg.* 7(2), 318-337, Doi: 10.21324/dacd.862836.

Dünder, A. O. & Kolay, A. (2021). Karayolu Yük Ve Yolcu Taşımacılığının Çevresel Sürdürülebilirlik Bakımından Değerlendirilmesi Ve Konya İli Sera Gazı Emisyonunun Hesaplanması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.* 14(1), 317-334.

EPA. (2019). *Global greenhouse gas emissions data, United States Environmental Protection Agency*, <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>, [Erişim 09/01/2021].

EPDK (2012-2023). *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Yıllık Sektör Raporları*, <https://www.epdk.gov.tr/>, [Erişim 03/10/2024].

Gonçalves, D.N.S., Goes, G.V., D'Agosto, M.A. & de Mello Bandeira, R.A. (2019). Energy Use And Emissions Scenarios For Transport To Gauge Progress Toward National Commitments, *Energy Policy.* 135, 1-10.

Gürsoy Haksevenler, B. H., Çelik Onat, G. N., Akpınar, B. & Bedel, T. (2020). Yerel Yönetimler İçin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Ümraniye Belediyesi Örneği. *Doğ Afet Çev Derg.* 6(2), 319-333.

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). (1996a). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume I: Reporting Instructions, Chapter 1.*

Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), (1996b). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual, Chapter 1*. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), (2006a). *IPCC Guidelines for National Gas Inventories Volume 2, Chapter 2*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Paris.

IPCC/UNEP/OECD/IEA, (1997). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual, Chapter 1*. 4-44, 62-98, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.

IPCC (2006b). *2006 guidelines for national greenhouse gas inventories: mobile combustion*.
https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf,
[Erişim 03.10.2024].

IPCC (2006c). *2006 guidelines for national greenhouse gas inventories: introduction*. https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf, [Erişim 03.10.2024].

IPCC (2015) *Climate change 2014 synthesis report*. https://ar5syr.ipcc.ch/ipcc/ipcc/resources/pdf/IPCC_SynthesisReport.pdf, [Erişim 03.10.2024].

Kalıpcı, E. & Başer, V. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Ve Hava Kalitesi Verileri Kullanılarak Türkiye'nin Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 377-389.

Karakaya, E. (2008). *Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü: İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi*. Bağlam Yayıncılık., ISBN 9789758803934, 376 s., İstanbul.

Li, F., Cai, B., Ye, Z., Wang, Z., Zhang, W., Zhou, P. & Chen, J. (2019). Changing Patterns And Determinants Of Transportation Carbon Emissions In Chinese Cities. *Energy*, 174, 562-575.

Toröz, A. S. (2015). *Gemi Kaynaklı Atıkları Alan Bir Atık Kabul Tesisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Tongwane, M., Piketh, S., Stevens, L. & Ramotubei T. (2015). *Greenhouse Gas Emissions From Road Transport In South Africa And Lesotho Between 2000 And 2009*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 37, 1-13.

TÜSİAD (2007., *Kurumsal yapısı, yasal çerçevesi ve göstergeleriyle ulaştırma sektörü*. Yayın No: TÜSİAD-T/2007-02/431, Mikado Matbaacılık ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, 61s.

UN (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*.

<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>, [Erişim 03.10.2024].

UN (2015). *Paris Agreement*.
https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf,
[Erişim 03.10.2024].

Uslu şenel, G., & Atabey, T. (2020). *Diyarbakır İlinde Farklı Sektörlerden Kaynaklanan Karbondioksit Salınımının Hesaplanması*, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(1), 2020.

Uzunçakmak, M. (2014). *Ulaşım Modlarından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları ve İklim Değişikliği Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması*. Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.

URL-1: <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-ulusal-sera-gazi-emisyon-envanteri>

URL-2:
<https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/Uluslararası%C4%B1%20Kurulu%C5%9Flar/IPCC%20TR.pdf>

URL-3:
https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/IPCC%206.%20De%20Ferlendirme%20Raporu/IPCC%20-%20ar6_WGI_Y%C3%B6netici%20-%20zeti.pdf

URL-4:
https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/IPCC%206.%20De%20Ferlendirme%20Raporu/IPCC%20-%20ar6_WGI_Y%C3%B6netici%20-%20zeti.pdf

URL-5: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser/?country=TURKEY&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>

URL-6: <https://eskisehir.ktb.gov.tr/TR-70841/cografya-yapisi.html>

URL-7:
https://www.eskisehir.bel.tr/sayfalar.php?sayfalar_id=16

URL-8:
https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/esk-seh-r_-cdr2019-20200814100218.pdf

URL-9:
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/07/20140722-5.htm>

URL-10:
<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Ulastirma-ve-Haberlesme-112>

URL-11: <https://data.tuik.gov.tr>

CHAPTER III

Nanoplastics and Microplastics in Abiotic Environments (Water, Air and Soil)

Emrah AKÇELİK¹
Ahmet ALTIN²

1. Introduction

The fundamental building blocks of plastics are long polymer chains, composed of carbon, hydrogen, oxygen, chlorine and silicon. These are derived from natural carbon sources, including fossil fuels such as coal and petroleum (Shah & et al., 2008). The most significant synthetic plastics, representing 90% of global plastic production, are high-density polyethylene (HDPE), low-density polyethylene (LDPE), polystyrene (PS), polyethylene terephthalate

¹ pHD (PhD biçiminde yazılması) Student, Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Zonguldak, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9158-1266, emrahakcelik06@gmail.com

² Prof. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Zonguldak, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9398-3111, aaltin@beun.edu.tr

(PET), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC), and polyethylene (PE) (Andrady & Neal, 2009). The economic price, lightweight nature, convenience, and durability of plastics make them a widely used material in a variety of contexts, including biomedical and environmental protection technologies, the clothing industry, cosmetics, agriculture, construction, packaging, transportation, entertainment, marine applications, 3D laser printing, detergents, pharmaceuticals, marine applications, commercial fishing, and other applications (Huerta Lwanga & et al., 2016; Ali & et al., 2021; Su & et al., 2022; Schwarz & et al., 2023). Plastics have been disseminated globally via a multitude of transportation methods. During the transportation process, the physical structures of plastics undergo alterations through mechanical and physicochemical processes, resulting in a reduction in their size to micro and nano levels. Although this was not initially perceived as a problem, the accumulation of plastics in the abiotic environment has facilitated their transition to the biotic environment and subsequent accumulation.

The terms "microplastics" (MPs) and "nanoplastics" (NPs) are used to describe solid polymer particles that are insoluble in water. There are no strict limitations in the definition of MP and NP in the literature. For example, (Browne, Galloway & Thompson, 2007) classified plastic particles between 1 mm-1 μm as MP, and particles smaller than 1 μm as NP. The European Union classifies particles between 1-100 nm as NP (European Commission, 2011). In some studies (Ryan & et al., 2009), 2 mm-1 μm is defined as MP, and in some studies (Desforges & et al., 2014; Rocha-Santos & Duarte, 2015), 5 mm-1 μm is defined as MP. To eliminate this confusion, a

group of experts has concluded that it would be appropriate to classify plastics according to their dimensions as macroplastic (>1 cm), mesoplastic (1 mm-1 cm), microplastic (1 μm -1 mm), and nanoplastic (NP) (1 nm-1 μm) (Hartmann & et al., 2019). Based on their origin, microplastics are divided into two types: primary and secondary microplastics. Primary microplastics are micro-sized synthetic polymers and are used in sandblasting processes, chemical formulations, maintenance of various plastic products, manufacturing of synthetic clothing, health care products and cosmetics (Chatterjee & Sharma, 2019). Secondary microplastics are the degraded product of macro- or mesoplastics and mostly occur under the influence of various environmental processes such as biodegradation, photocatalytic degradation (via sunlight or UV light), thermo-oxidative degradation (via heat, ambient conditions such as pH, chemical oxidants such as oxygen and radicals), and hydrolysis (Figure 1).

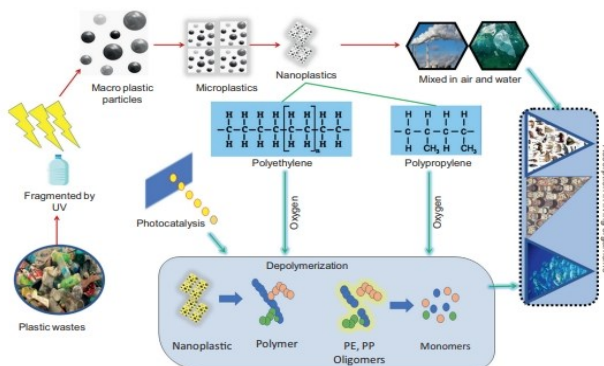


Figure 1: Schematic Representation of the Formation and Degradation of Microplastics and Nanoplastics in the Environment (Keerthana Devi & et al., 2022).

Plastics are generally regarded as biologically and chemically inert materials with the capacity to remain stable within the environment for extended periods, typically spanning tens to hundreds of years. The most fundamental biotic and abiotic processes involved in the degradation of plastics are known to be photocatalytic degradation, thermo-oxidative degradation, and biodegradation. Furthermore, the physical structure and chemical properties of plastic polymers influence the manner in which they degrade in the environment.

In this study, the current pollution status of MP/NPs in the abiotic environments was revealed in terms of surface and groundwater, ocean and sea, soil and air environments. In addition, information was given about the degradation and transportation processes of MP and NPs in the relevant abiotic environmental conditions.

2. Surface Water and Groundwater

The largest freshwater resources in the world are surface and groundwater. Pollution in these resources is one of the most important risk factors that threaten life. Pollution, especially in groundwater resources, can sometimes be irreversible. The concentration of MPs and NPs in surface waters is influenced by a multitude of variables, including the biota present in the aquatic ecosystem, the physicochemical properties of the water column, and the structural characteristics (size, shape, and composition) of the MPs and NPs themselves (Ding, Tong & Zhang, 2021). A range of factors, including surface runoff, wastewater discharge and atmospheric deposition, contribute to the input of MPs and NPs into freshwater bodies. (Liu & et al., 2022; Triebkorn & et al., 2019).

Current studies have shown that the presence of MPs in freshwater resources is higher than that of NPs and this difference can reach eight times the size (Koutnik & et al., 2021; Liu & et al., 2022). The most important examples of MP/NP pollution in freshwater resources are found in Asian countries. For example, in the Saigon River in South Vietnam, MP concentrations were measured as 172,000-519,000 particles/m³ (Rios Mendoza & Balcer, 2019). In Dongting Lake in Hunan Province, China, and Hong Lake in Hubei Province in central China, MP concentrations ranging from 900 to 2800 and 1250-4650 particles/m³ were reported, respectively (W. Wang & et al., 2018). A study was conducted in order to ascertain the extent of microplastic contamination present in surface waters and sediments across China. The findings indicated a concentration of microplastic particles ranging from 1,597 to 12,611 per cubic metre in the Three Gorges Reservoir, located in the mid-section of the Yangtze River (Di & Wang, 2018).

At present, there is growing concern regarding the presence of micro- and nano-plastic pollution within the context of drinking water networks and packaged drinking water. In a study conducted by Mintenig et al., (2019), MP concentrations ranging from 0 to 7 particles/m³ were identified in samples taken from different locations in the urban drinking water supply chain, and these microplastics were understood to be polyethylene, polyamide, polyester, polyvinylchloride or epoxy resin (Mintenig & et al., 2019). In another study conducted by Nizamali et al., (2023), it was reported that nine packaged drinking water bottles from three different brands contained an average of 96 particles/L (7–364 particles/L), and the polymer amounts were ranked as polyethylene

terephthalate and/or polyurethane > polyamide > polyvinylchloride (Nizamali, Mintenig & Koelmans, 2023). A study examined 159 tap water samples and found that 81% of them contained microplastics (MPs). The concentration of MPs ranged from 0 to 61 particles per litre, with an average of 5.45 particles per litre. Of these particles, 98.3% were fibre-shaped (Kosuth, Mason & Wattenberg, 2018). It is established that MPs and NPs can be transported to locations distant from their point of production or discharge, with the potential to reach glaciers and polar regions via various mechanisms. Although there is little human activity, especially near glaciers, it has been observed that the MP/NP content in glaciers is very high. This phenomenon can be attributed to the deposition of MPs/NPs in the snow, due to the subsequent scarcity of opportunities for these particles to be removed by washing. On the other hand, MPs/NPs in urban areas have very different environmental conditions than those in glacier regions. In contrast to their accumulation in glacial environments, microplastics (MPs) and nanoplastics (NPs) in urban settings can either be retained in the source area or transported to more distant locations by surface runoff and wind (Figure 2) (Koutnik & et al., 2021; Werbowski & et al., 2021).

Another problem is the potential of MPs and NPs to carry hydrophobic organic chemicals and persistent organic pollutants, heavy metals, and antibiotics due to their large mass-to-surface ratio and hydrophobic structure (Kiran, Kopperi & Venkata Mohan, 2022; Souza & et al., 2022).

The investigation of the fate, movement and consequences of microplastics within soil and groundwater remains a developing field of research. Indeed, as Goepfert and Goldscheider (2021) and

Re (2019) have highlighted, this field of research remains in a nascent state of development. Notwithstanding recent evidence of microplastic contamination in potable water (Koelmans & et al., 2019; Schymanski & et al., 2018; Eerkes-Medrano & Thompson, 2018), the formation, fate and migration processes of microplastics and nanoplastics in soil and groundwater remain insufficiently understood (Moeck & et al., 2023). To date, only a limited number of studies have evaluated the contamination of aquifers by microplastics (MP) and nanoparticles (NP) (Moeck & et al., 2023). The mean concentrations of microplastics (MP) and nanoparticles (NP) in these studies were found to be less than 0.001 particles per litre in limestone and sandstone aquifers in the United Kingdom, as reported by Johnson et al. (2020). In a separate investigation, Panno et al. (2019) reported a mean concentration of seven particles per litre of MP and NP in a karst groundwater aquifer system in the United States. Given the significant variability in concentrations across sites, it is imperative to implement robust and standardized procedures for sampling, extraction, and quantification. This approach ensures enhanced comparability and facilitates the interpretation of results (Moeck & et al., 2023).

The presence of microplastics and nanoplastics in riverine alluvial aquifers has been identified as a potential environmental concern, particularly given the ability of these materials to accumulate in riverbed sediments and subsequently enter the aquifer system (Gillefalk & et al., 2018; Frei & et al., 2019; Boos, Gilfedder & Frei, 2021). The organic matter present in fine-grained unconsolidated aquifer material exerts control over the migration of colloids (Adrian & et al., 2018). Furthermore, the chemical attributes

of groundwater, including ionic strength and pH, can also exert a considerable influence on the migration and retention of microplastics (MP) and nanoplastics (NP) (Wu & et al., 2020; Dong & et al., 2021; Jiang & et al., 2021).

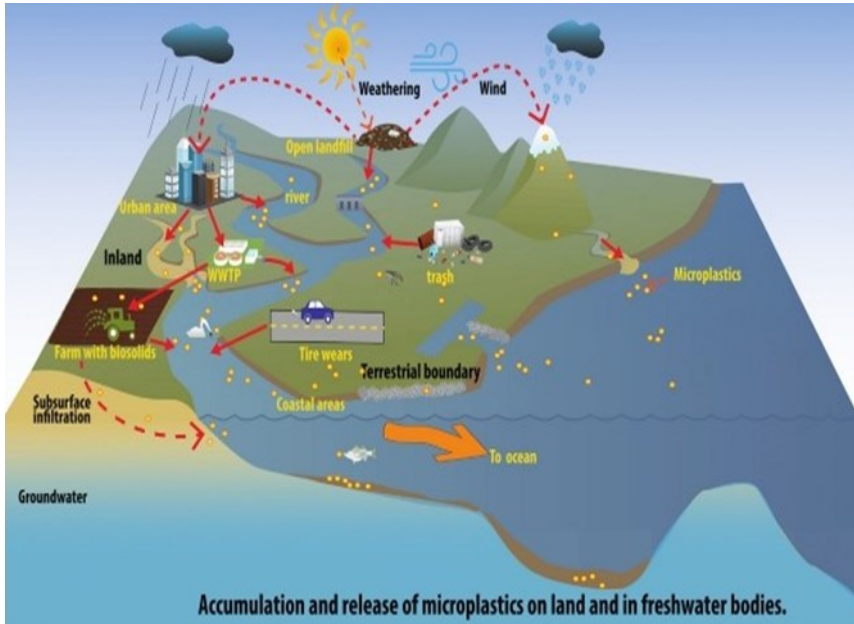


Figure 2: Accumulation and Release of Microplastics in Terrestrial and Freshwater Bodies by Various Environmental Factors (Koutnik & et al., 2021).

In conclusion, the movement of microplastic and nanoplastic particles through porous media is contingent upon a multitude of factors (Moeck & et al., 2023).

1. The aforementioned properties of materials with both mesoporous and non-porous (NP) characteristics,

including size, density, shape, composition, and surface properties, are to be considered.

2. Furthermore, it is essential to take into account the environmental conditions of the porous medium, including the organic matter content, the geometry of the pores, the distribution of particle sizes, and the composition of the material, in addition to the chemistry of the groundwater or soil water, and the rate of groundwater flow.
3. The flora and fauna properties of an environment may be observed in the presence of plant roots, biofilm formation, or invertebrate activity.

Although MP and NPs can move in soil, under certain conditions soils can become effective barriers to groundwater plastic pollution. As a result, it is possible to say that there is still very little data on how and to what extent MP and NP particles are transported in natural soil and groundwater environments (Moeck & et al., 2023).

3. Oceans and Seas

Plastic pollution is considered to be one of the most important risk factors threatening life in the oceans and seas (Figure 3). So much so that MP/NPs have been characterized as PM 2.5 in the oceans today, and subsequently, numerous studies on MP/NPs have been published (Liu & et al., 2022). It is estimated that between 75 and 90 percent of marine plastic waste originates from land-based sources, while the remaining 10 to 25 percent is the result of various anthropogenic activities in marine environments, including

aquaculture, fishing, and gas exploration (Steve Nuelle & et al., 2014; Allen & et al., 2022). It is approximated that 4.8-12.7 million tons of plastic are deposited into the oceans on an annual basis, with this quantity increasing on a daily basis (Sumin Wang & et al., 2020; Gola & et al., 2021). It is expected that annual plastic entry into the oceans will reach 50 to 250 million tons by 2025 (de Haan, Sanchez-Vidal & Canals, 2019). The results of numerous scientific studies have revealed the presence of an estimated 14.9 trillion microplastic particles (weighing a total of 93,300 tons) in the global marine environment. These particles have been identified in a variety of marine ecosystems, including the North and South Pacific, North and South Atlantic, South Indian Ocean, and even the Antarctic and Arctic oceans (Li & et al., 2022). Additionally, it has been estimated that at least 14.9 trillion particles (weighing approximately 93,300 tons) are currently suspended in the world's oceans (Bai, Wang & Wang, 2021).

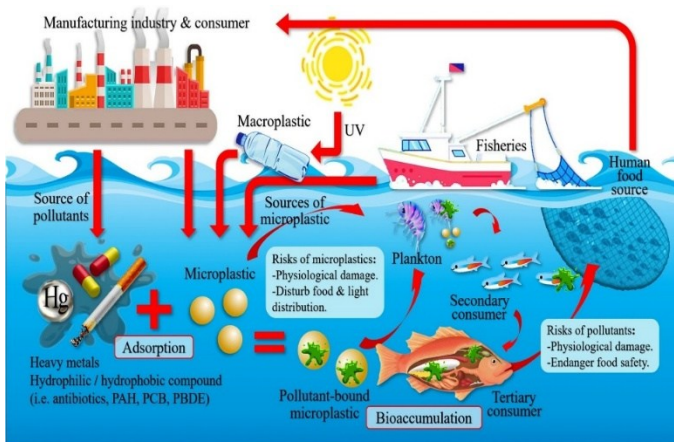


Figure 3: Effects of MPs and NPs on Marine Ecosystems (Amelia & et al., 2021).

The distribution of MPs and NPs in marine ecosystems exhibits considerable spatial heterogeneity. For example, it has been observed that the amount of MPs in Mediterranean waters varies between 0 and 9.0×10^5 particles /km² (Li & et al., 2022). MP abundance has been reported as 20-120 particles/m³ in Jiaozhu Bay (Zheng & et al., 2019), 15×10^3 - 2×10^6 particles/km² in San Francisco Bay (Sutton & et al., 2016), 500- 10.2×10^3 particles/m³ in the Yangtze Estuary (China) (Zhao & et al., 2014), 257.9-1215 particles/m³ in South African marine waters (Nel & Froneman, 2015), and 2.3 ± 2.1 particles/m³ in the South Indian Ocean (Li & et al., 2022).

In a study conducted by Sumin Wang et al., (2020), 39.1% of the plastics identified in the samples were polypropylene (PP), 16.2% polymethyl methacrylate (PMMA), 14.1% polyethylene (PE), and 14.2% polyethylene terephthalate (PET). The marine environment is a highly complex ecosystem, and it is therefore essential to consider a multitude of factors when determining MPs and NPs. Such factors include, although they are not limited to, meteorological variables, currents and water depth (Li & et al., 2022). Marine MPs can be distinguished by a number of characteristics, including density, size, crystallinity, surface morphology, and colour. They exhibit a variety of shapes, including beads, fibres, pieces, and granules. In particular, the weathering effect in the marine environment gives rise to a considerable degree of variation in terms of size, shape, colour, and polymer type in secondary marine MPs (Lehtiniemi & et al., 2018). Due to their diminutive size and pervasive distribution, MPs exert a detrimental impact on organisms that inhabit various habitats, including both

pelagic and benthic environments (Foekema & et al., 2013; Mathalon & Hill, 2014). The specific gravities of the polymers in question exert a considerable influence on their propensity to sink or float. Polyvinyl chloride (PVC), polystyrene (PS), and polyethylene terephthalate (PET) with a specific gravity greater than 1 typically sink in the benthos, whereas polyethylene (PE) and polypropylene (PP) with a specific gravity less than 1 tend to float on the surface. This results in the occurrence of different types of plastics in pelagic and benthic environments (Bai, Wang & Wang, 2021).

4. Soils

The health and quality of the soil and the quality of the crops obtained from it have an important role in the country and therefore its economy. For this reason, the presence, behavior, and movement of MPs/NPs in the soil have become a subject of attention in academic research in recent years. However, when the sources and fate of MPs in the soil are examined, it can be said that they are almost the same as in aquatic environments (Liu & et al., 2022). Nevertheless, research on the presence of MPs and NPs in soil is relatively scarce. The principal challenge lies in the complex organo-mineral matrix of the soil. In addition to the sources that cause the presence of MPs and NPs in aquatic environments (Liu & et al., 2022), MPs and NPs can gain entry to the soil environment via other means. Soils can contain MPs and NPs originating from a variety of human activities and natural processes (Pathan & et al., 2020). For example, the application of agricultural film, the use of sludge and organic fertilisers, irrigation with sewage, atmospheric deposition, pollution from landfill leachate, the application of soil conditioners containing plastic, plastic mulching, road stormwater runoff, illegal

waste dumping, and similar activities represent significant sources of the accumulation of MPs and NPs in soil (Figure 4) (Liu & et al., 2022; Pathan & et al., 2020).

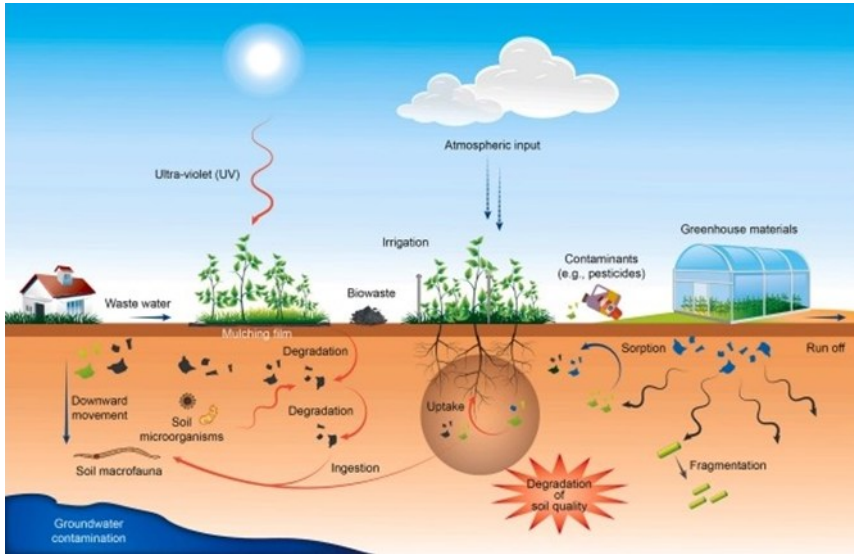


Figure 4: Sources and Fate of Microplastics in the Terrestrial Environment (Dissanayake & et al., 2022).

The formation of soil MPs is primarily attributed to the use of pesticides, organic fertilisers, agricultural mulching, and various industrial microplastics. Of these sources, agricultural mulching films have been identified as a principal contributor to soil MP contamination (Hu & et al., 2021). Although sewage sludge is employed as a fertiliser to enhance agricultural yield, microplastics (MPs) are transported from wastewater treatment plants to agricultural fields and terrestrial ecosystems (Li & et al., 2023). It is estimated that between 63,000 and 430,000 tons and 44,000 and 300,000 tons of sewage sludge are used in agricultural lands

annually in Europe and North America, respectively (Nizzetto, Futter & Langaas, 2016). It has been reported that the concentration of MPs in treatment sludges ranges from 15,385 to 43,000 particles per kilogram of soil (Mahon & et al., 2017). In comparison, it can be observed that the quantity of MPs released into the soil (44,000-430,000 tons) is greater than the amount of MPs present in the marine environment (93,000-236,000 tons) on an annual basis. A negative correlation was identified between the abundance of MPs and soil depth (Liu & et al., 2022). In a study, the mean abundance of MPs in the initial 0-300 mm soil layer was found to be 161.50 ± 5.20 particles per 100 g of soil. However, this value decreased. The abundance of MPs in the 400-800 mm soil layer was 11.20 ± 1.10 particles/100 g. soil, while deeper soils predominantly contained particles and fibres (Hu & et al., 2021).

The types of microplastics commonly seen in soil are polystyrene (PS), polyethylene (PE), and polypropylene (PP). From the results obtained from samples taken from different points, it is seen that the frequently encountered MP shapes are fiber, film, piece/sheet, pellet/sphere (Yang & et al., 2022). In soil samples taken from 88 sampling points in China, it was understood that 57% of the MPs were fiber and 30% were piece-shaped, and transparent color was dominant in their color distribution (C. Li & et al., 2021). In the terrestrial environment, large-sized plastics are degraded into secondary MP/NPs under the influence of ultraviolet radiation, adverse weather conditions, high temperatures, thawing-freezing cycles, and biological processes carried out by soil organisms (Liu & et al., 2022; Yang & et al., 2022; Yee & et al., 2021). Currently, the decomposition rate of MPs in soil is not known precisely and

therefore it is assumed that they will accumulate (Rillig & et al., 2019).

MPs and NPs have been demonstrated to possess a soil pollutant property that has a deleterious impact on soil quality, manifested in altered soil aggregation and the release of toxic plastic leachate (Allen & et al., 2022). MPs are capable of altering soil pH through their interactions with a multitude of organic and inorganic substances (Boots, Russel & Green, 2019). For example, the impact of LDPE and biodegradable mulch on soil chemistry has been investigated, with findings indicating that microplastics elevate soil pH (Qi & et al., 2020). Nevertheless, the precise mechanisms responsible for these alterations remain elusive, underscoring the necessity for further field and laboratory investigations encompassing diverse soil and MP types (Z. Li & et al., 2023). The analytical examination of soil samples for the presence of microplastics (MPs) and nanoplastics (NPs) represents a significant challenge due to the elevated organic matter content and intricate composition of these matrices. It has been demonstrated that MPs and NPs possess the ability to reduce root penetration resistance, diminish soil bulk density, and exert an influence on water movement, and evaporation, soil aeration. Furthermore, it can be proposed that MPs and NPs exert a beneficial or detrimental influence on the degradation of organic pollutants through a range of mechanisms. These mechanisms include adsorption and desorption, bioaccumulation, movement, and toxicity (Yang & et al., 2022; Yu & Flury, 2021).

5. Air

MPs and NPs in the air can originate from synthetic textiles, emissions from landfills or waste incineration facilities, industrial emissions, road dust re-entry into the air, vehicle tires, and similar activities (Liu & et al., 2022). The majority of research conducted to date has concentrated on the presence of microplastics in marine environments. However, MPs and NPs present in the air environment are a pollutant that threatens human life and causes health problems. In particular, suspended microplastic fibers originating from occupational activities (such as the synthetic textile industry) have been shown to have adverse effects on human health (Prata, 2018). As demonstrated by studies such as that conducted by Jenner and Colleagues (2022), microplastics have been identified in human lung samples and have been associated with the formation of ground glass nodules, a type of tumourous growth (Chen & Colleagues, 2022).

It is noteworthy that microplastics and nanoplastics have now been identified in some locations that are difficult to access (Liu & et al., 2022). This is due to the fact that microplastics are readily transported by wind, given their diminutive size and low density (Figure 5) (G. Chen, Feng & Wang, 2020).

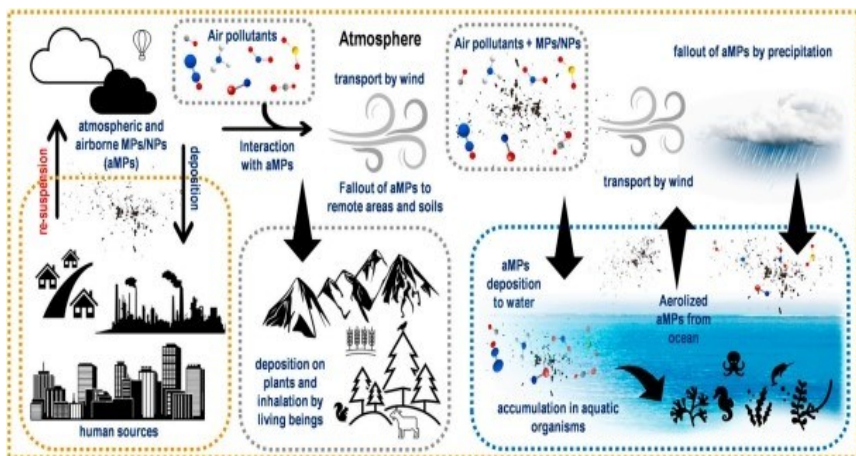


Figure 5: Transport Mechanisms of MPs and NPs and Air Pollutants in the Atmosphere (Ortega & Cortés-Arriagada, 2023).

With regard to atmospheric deposition, the levels of MP and NP pollution in settlements and rural areas with different development levels can vary significantly (Liu & et al., 2022). For example, atmospheric MP deposition in the Paris city centre and suburban areas was measured as 110 ± 96 and 53 ± 38 particles/m²/day, respectively (Dris & et al., 2016). In Dongguan (China), the figure was 36 ± 7 particles/m²/day (Cai & et al., 2019). In 2019, the concentration of atmospheric microplastics in the Pyrenees was recorded at 365 particles per square metre per day (Allen & et al., 2019). In Hamburg, Germany, the concentration was 275 particles per square metre per day (Klein & Fischer, 2019). In Yantai, China, the concentration was 400 particles per square metre per day (Chen, Feng & Wang, 2020).

6. Conclusion

The presence of microplastics (MPs) and nanoplastics (NPs) in the environment is a pervasive phenomenon, with these synthetic materials originating from a multitude of anthropogenic sources. These can be attributed to a number of sources, including, but not limited to, industrial and agricultural activities, rainwater runoff, wastewater discharge and sewage sludge. The improper usage and mismanagement of plastics represent a significant risk factor for ecosystems and living organisms, resulting in the accumulation of MPs and NPs in the abiotic environment. The ultimate fate and mode of transport of MPs and NPs are largely contingent upon the intrinsic physicochemical properties of the plastics in question. It has been proven that the buildup of MPs and NPs in soil has an adverse effect on soil fertility and hinders plant growth. The presence of MPs and NPs in freshwater environments renders these pollutants susceptible to ingestion by various aquatic organisms due to their size, thereby facilitating bioaccumulation. Conversely, the transport and discharge of MPs and NPs into surface and groundwater used as drinking water sources has a deleterious effect on water quality. Furthermore, the inhalation and ingestion of MPs and NPs can result in adverse health effects, including cancer, digestive issues, and cardiovascular disease. In light of the aforementioned considerations, it can be asserted that NPs currently possess a more critical importance. It is therefore recommended that further studies be based on NPs, with particular emphasis placed on the transfer of plastic-derived pollutants (including additives and chemicals) within the food chain. Moreover, there is a need to develop more straightforward and accurate analytical techniques for the

identification of MPs and NPs, and to address the current deficiencies in knowledge and experience in this field.

References

Adrian, Y. F., Schneidewind, U., Bradford, S. A., Simunek, J., Fernandez-Steege, T. M., & Azzam, R. (2018). Transport and retention of surfactant- and polymer-stabilized engineered silver nanoparticles in silicate-dominated aquifer material. *Environmental Pollution*, *236*, 195–207.

Ali, I., Ding, T., Peng, C., Naz, I., Sun, H., Li, J., & Liu, J. (2021). Micro- and nanoplastics in wastewater treatment plants: Occurrence, removal, fate, impacts and remediation technologies – A critical review. *Chemical Engineering Journal*, *423*, 130205.

Allen, Steve, Allen, D., Karbalaei, S., Maselli, V., & Walker, T. R. (2022). Micro(nano)plastics sources, fate, and effects: What we know after ten years of research. *Journal of Hazardous Materials Advances*, *6*, 100057.

Allen, Steve, Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., ... Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, *12*(5), 339–344.

Amelia, T. S. M., Khalik, W. M. A. W. M., Ong, M. C., Shao, Y. T., Pan, H.-J., & Bhubalan, K. (2021). Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. *Progress in Earth and Planetary Science*, *8*(1), 12.

Andrady, A. L., & Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal*

Society B: Biological Sciences, 364(1526), 1977–1984.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>

Bai, Z., Wang, N., & Wang, M. (2021). Effects of microplastics on marine copepods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 217, 112243.

Boos, J., Gilfedder, B. S., & Frei, S. (2021). Tracking Microplastics Across the Streambed Interface: Using Laser-Induced-Fluorescence to Quantitatively Analyze Microplastic Transport in an Experimental Flume. *Water Resources Research*, 57(12), e2021WR031064.

Boots, B., Russell, C. W., & Green, D. S. (2019). Effects of Microplastics in Soil Ecosystems: Above and Below Ground. *Environmental Science & Technology*, 53(19), 11496–11506.

Browne, M. A., Galloway, T., & Thompson, R. (2007). Microplastic—an emerging contaminant of potential concern? *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(4), 559–561. <https://doi.org/10.1002/ieam.5630030412>

Cai, L., Wang, J., Peng, J., Tan, Z., Zhan, Z., Tan, X., & Chen, Q. (2017). Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(32), 24928–24935.

Chatterjee, S., & Sharma, S. (2019). Microplastics in our oceans and marine health. *Field Actions Science Reports The Journal of Field Actions*, (19), 54–61.

Chen, G., Feng, Q., & Wang, J. (2020). Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. *Science of the Total Environment*, 703, 135504.

Chen, Q., Gao, J., Yu, H., Su, H., Yang, Y., Cao, Y., ... Liu, H. (2022). An emerging role of microplastics in the etiology of lung ground glass nodules. *Environmental Sciences Europe*, 34(1), 25.

de Haan, W. P., Sanchez-Vidal, A., & Canals, M. (2019). Floating microplastics and aggregate formation in the Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 523–535.

Desforges, J.-P. W., Galbraith, M., Dangerfield, N., & Ross, P. S. (2014). Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 79(1–2), 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.035>

Di, M., & Wang, J. (2018). Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of The Total Environment*, 616–617, 1620–1627.

Ding, R., Tong, L., & Zhang, W. (2021). Microplastics in Freshwater Environments: Sources, Fates and Toxicity. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(5), 181.

Dissanayake, P. D., Kim, S., Sarkar, B., Oleszczuk, P., Sang, M. K., Haque, M. N., ... Ok, Y. S. (2022). Effects of microplastics on the terrestrial environment: A critical review. *Environmental Research*, 209, 112734. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112734>

Dong, S., Xia, J., Sheng, L., Wang, W., Liu, H., & Gao, B. (2021). Transport characteristics of fragmental polyethylene glycol

terephthalate (PET) microplastics in porous media under various chemical conditions. *Chemosphere*, 276, 130214.

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2), 290–293.

Eerkes-Medrano, D., & Thompson, R. (2018). Occurrence, Fate, and Effect of Microplastics in Freshwater Systems. In *Microplastic Contamination in Aquatic Environments* (pp. 95–132). Elsevier.

European Commission. (2011). Commission recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial. *Official Journal of the European Communities Legis*, 275, 38–40. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:EN:PDF>

Foekema, E. M., De Gruijter, C., Mergia, M. T., van Franeker, J. A., Murk, A. J., & Koelmans, A. A. (2013). Plastic in North Sea Fish. *Environmental Science & Technology*, 47(15), 8818–8824.

Frei, S., Piehl, S., Gilfedder, B. S., Löder, M. G. J., Krutzke, J., Wilhelm, L., & Laforsch, C. (2019). Occurrence of microplastics in the hyporheic zone of rivers. *Scientific Reports*, 9(1), 15256.

Gillefalk, M., Massmann, G., Nützmann, G., & Hilt, S. (2018). Potential Impacts of Induced Bank Filtration on Surface Water Quality: A Conceptual Framework for Future Research. *Water*, 10(9), 1240.

Goeppert, N., & Goldscheider, N. (2021). Experimental field evidence for transport of microplastic tracers over large distances in an alluvial aquifer. *Journal of Hazardous Materials*, 408, 124844.

Gola, D., Kumar Tyagi, P., Arya, A., Chauhan, N., Agarwal, M., Singh, S. K., & Gola, S. (2021). The impact of microplastics on marine environment: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100552.

Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., ... Wagner, M. (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environmental Science and Technology*, 53(3), 1039–1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>

Hu, C., Lu, B., Guo, W., Tang, X., Wang, X., Xue, Y., ... He, X. (2021). Distribution of microplastics in mulched soil in Xinjiang, China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(2), 196–204.

Huerta Lwanga, E., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, P., Salánki, T., van der Ploeg, M., ... Geissen, V. (2016). Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environmental Science & Technology*, 50(5), 2685–2691.

Jenner, L. C., Rotchell, J. M., Bennett, R. T., Cowen, M., Tentzeris, V., & Sadofsky, L. R. (2022). Detection of microplastics in human lung tissue using μ FTIR spectroscopy. *Science of the Total Environment*.

Jiang, Y., Yin, X., Xi, X., Guan, D., Sun, H., & Wang, N. (2021). Effect of surfactants on the transport of polyethylene and polypropylene microplastics in porous media. *Water Research*, *196*, 117016.

Johnson, A. C., Ball, H., Cross, R., Horton, A. A., Jürgens, M. D., Read, D. S., ... Svendsen, C. (2020). Identification and Quantification of Microplastics in Potable Water and Their Sources within Water Treatment Works in England and Wales. *Environmental Science & Technology*, *54*(19), 12326–12334.

Keerthana Devi, M., Karmegam, N., Manikandan, S., Subbaiya, R., Song, H., Kwon, E. E., ... Govarthanam, M. (2022). Removal of nanoplastics in water treatment processes: A review. *Science of The Total Environment*, *845*, 157168.

Kiran, B. R., Kopperi, H., & Venkata Mohan, S. (2022). Micro/nano-plastics occurrence, identification, risk analysis and mitigation: challenges and perspectives. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *21*, 169–203.

Klein, M., & Fischer, E. K. (2019). Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany. *Science of the Total Environment*, *685*, 96–103.

Koelmans, A. A., Mohamed Nor, N. H., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*, *155*, 410–422.

Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLOS ONE*, *13*(4), e0194970.

Koutnik, V. S., Leonard, J., Alkidim, S., DePrima, F. J., Ravi, S., Hoek, E. M. V., & Mohanty, S. K. (2021). Distribution of microplastics in soil and freshwater environments: Global analysis and framework for transport modeling. *Environmental Pollution*, *274*, 116552.

Lehtiniemi, M., Hartikainen, S., Nähkö, P., Engström-Öst, J., Koistinen, A., & Setälä, O. (2018). Size matters more than shape: Ingestion of primary and secondary microplastics by small predators. *Food Webs*, *17*, e00097.

Li, C., Gan, Y., Zhang, C., He, H., Fang, J., Wang, L., ... Liu, J. (2021). "Microplastic communities" in different environments: Differences, links, and role of diversity index in source analysis. *Water Research*, *188*, 116574.

Li, J., Gao, F., Zhang, D., Cao, W., & Zhao, C. (2022). Zonal Distribution Characteristics of Microplastics in the Southern Indian Ocean and the Influence of Ocean Current. *Journal of Marine Science and Engineering*, *10*(2), 290.

Li, Z., Yang, Y., Chen, X., He, Y., Bolan, N., Rinklebe, J., ... Sonne, C. (2023). A discussion of microplastics in soil and risks for ecosystems and food chains. *Chemosphere*, *313*, 137637.

Liu, Q., Chen, Y., Chen, Z., Yang, F., Xie, Y., & Yao, W. (2022). Current status of microplastics and nanoplastics removal

methods: Summary, comparison and prospect. *Science of the Total Environment*, 851, 157991.

Mahon, A. M., O'Connell, B., Healy, M. G., O'Connor, I., Officer, R., Nash, R., & Morrison, L. (2017). Microplastics in Sewage Sludge: Effects of Treatment. *Environmental Science & Technology*, 51(2), 810–818.

Mathalon, A., & Hill, P. (2014). Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 69–79.

Mintenig, S. M., Löder, M. G. J., Primpke, S., & Gerdt, G. (2019). Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of The Total Environment*, 648, 631–635.

Moeck, C., Davies, G., Krause, S., & Schneidewind, U. (2023). Microplastics and nanoplastics in agriculture—A potential source of soil and groundwater contamination? *Grundwasser - Zeitschrift Der Fachsektion Hydrogeologie*, 28(1), 23–35.

Nel, H. A., & Froneman, P. W. (2015). A quantitative analysis of microplastic pollution along the south-eastern coastline of South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, 101(1), 274–279.

Nizamali, J., Mintenig, S. M., & Koelmans, A. A. (2023). Assessing microplastic characteristics in bottled drinking water and air deposition samples using laser direct infrared imaging. *Journal of Hazardous Materials*, 441, 129942.

Nizzetto, L., Futter, M., & Langaas, S. (2016). Are Agricultural Soils Dumps for Microplastics of Urban Origin? *Environmental Science & Technology*, *50*(20), 10777–10779.

Nuelle, M.-T., Dekiff, J. H., Remy, D., & Fries, E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution*, *184*, 161–169.

Ortega, D. E., & Cortés-Arriagada, D. (2023). Atmospheric microplastics and nanoplastics as vectors of primary air pollutants - A theoretical study on the polyethylene terephthalate (PET) case. *Environmental Pollution*, *318*, 120860.

Panno, S. V., Kelly, W. R., Scott, J., Zheng, W., McNeish, R. E., Holm, N., ... Baranski, E. L. (2019). Microplastic Contamination in Karst Groundwater Systems. *Groundwater*, *57*(2), 189–196.

Pathan, S. I., Arfaioli, P., Bardelli, T., Ceccherini, M. T., Nannipieri, P., & Pietramellara, G. (2020). Soil Pollution from Micro- and Nanoplastic Debris: A Hidden and Unknown Biohazard. *Sustainability*, *12*(18), 7255.

Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution*, *234*, 115–126.

Qi, Y., Ossowicki, A., Yang, X., Huerta Lwanga, E., Dini-Andreote, F., Geissen, V., & Garbeva, P. (2020). Effects of plastic mulch film residues on wheat rhizosphere and soil properties. *Journal of Hazardous Materials*, *387*, 121711.

Re, V. (2019). Shedding light on the invisible: addressing the potential for groundwater contamination by plastic microfibers. *Hydrogeology Journal*, *27*(7), 2719–2727.

Rillig, M. C., Lehmann, A., de Souza Machado, A. A., & Yang, G. (2019). Microplastic effects on plants. *New Phytologist*, 223(3), 1066–1070.

Rios Mendoza, L. M., & Balcer, M. (2019). Microplastics in freshwater environments: A review of quantification assessment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 113, 402–408.

Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47–53.
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>

Ryan, P. G., Moore, C. J., van Franeker, J. A., & Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1999–2012.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>

Samandra, S., Johnston, J. M., Jaeger, J. E., Symons, B., Xie, S., Currell, M., ... Clarke, B. O. (2022). Microplastic contamination of an unconfined groundwater aquifer in Victoria, Australia. *Science of The Total Environment*, 802, 149727.

Schwarz, A. E., Lensen, S. M. C., Langeveld, E., Parker, L. A., & Urbanus, J. H. (2023). Plastics in the global environment assessed through material flow analysis, degradation and environmental transportation. *Science of The Total Environment*, 875, 162644.

Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman

spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154–162.

Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3), 246–265. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>

Souza, A. M. de, Santos, A. L., Araújo, D. S., Magalhães, R. R. de B., & Rocha, T. L. (2022). Micro(nano)plastics as a vector of pharmaceuticals in aquatic ecosystem: Historical review and future trends. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 6, 100068.

Su, L., Xiong, X., Zhang, Y., Wu, C., Xu, X., Sun, C., & Shi, H. (2022). Global transportation of plastics and microplastics: A critical review of pathways and influences. *Science of The Total Environment*, 831(1–2), 154884.

Sutton, R., Mason, S. A., Stanek, S. K., Willis-Norton, E., Wren, I. F., & Box, C. (2016). Microplastic contamination in the San Francisco Bay, California, USA. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 230–235.

Triebkorn, R., Braunbeck, T., Grummt, T., Hanslik, L., Huppertsberg, S., Jekel, M., ... Köhler, H.-R. (2019). Relevance of nano- and microplastics for freshwater ecosystems: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 375–392.

Wang, S., Chen, H., Zhou, X., Tian, Y., Lin, C., Wang, W., ... Lin, H. (2020). Microplastic abundance, distribution and composition in the mid-west Pacific Ocean. *Environmental Pollution*, 264, 114125.

Wang, W., Yuan, W., Chen, Y., & Wang, J. (2018). Microplastics in surface waters of Dongting Lake and Hong Lake, China. *Science of The Total Environment*, 633, 539–545.

Werbowski, L. M., Gilbreath, A. N., Munno, K., Zhu, X., Grbic, J., Wu, T., ... Rochman, C. M. (2021). Urban Stormwater Runoff: A Major Pathway for Anthropogenic Particles, Black Rubbery Fragments, and Other Types of Microplastics to Urban Receiving Waters. *ACS ES&T Water*, 1(6), 1420–1428.

Wu, X., Lyu, X., Li, Z., Gao, B., Zeng, X., Wu, J., & Sun, Y. (2020). Transport of polystyrene nanoplastics in natural soils: Effect of soil properties, ionic strength and cation type. *Science of The Total Environment*, 707, 136065.

Yang, H., Yumeng, Y., Yu, Y., Yinglin, H., Fu, B., & Wang, J. (2022). Distribution, sources, migration, influence and analytical methods of microplastics in soil ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 243, 114009.

Yee, M. S.-L., Hii, L.-W., Looi, C. K., Lim, W.-M., Wong, S.-F., Kok, Y.-Y., ... Leong, C.-O. (2021). Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health. *Nanomaterials*, 11(2), 496.

Yu, Y., & Flury, M. (2021). Current understanding of subsurface transport of micro- and nanoplastics in soil. *Vadose Zone Journal*, 20(2), 1–14.

Zhao, S., Zhu, L., Wang, T., & Li, D. (2014). Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observations on occurrence, distribution. *Marine Pollution Bulletin*, 86(1–2), 562–568.

Zheng, Y., Li, J., Cao, W., Liu, X., Jiang, F., Ding, J., ... Sun, C. (2019). Distribution characteristics of microplastics in the seawater and sediment: A case study in Jiaozhou Bay, China. *Science of The Total Environment*, 674, 27–35.

BÖLÜM IV

Doğu Karadeniz bölgesi özelinde baraj işleyiş süreçlerinde jeolojik problemler

Çağla ÇOLAK¹

Giriş

Baraj, suların biriktirmesi için hazne oluşturmak amacıyla bir akarsu vadisinin kapatılıp akışı engelleyen yapılara verilen isimdir. Bilhassa, suyun neden olduğu zararları engellemek ya da suyu faydalı bir biçimde kullanmak üzere suyun kontrolünü temin eden barajlar, birkaç asırdır, hidroloji ve hidro mekanik gibi konularda şuanki bilgilerin elde edilmesini sağlamıştır ve uzunca seneler önce kullanılmaya başlanmıştır. Enerji ve taşkın yararlarının yanı sıra sulak alanlar oluşturup birçok endemik türü bünyesinde barındırmak vb. mühim fonksiyonları da bulunmaktadır (Anonim, 1999; Berga, 1999; Briddle, 1999; Çataklı, 1967, Shenaouda, 1999). Tablo 1’de

¹ Dr., Öğretim Üyesi, Avrasya Üniversitesi, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Trabzon/Türkiye, Orcid: 0000-0002-4903-416X,caglaclk61@hotmail.com

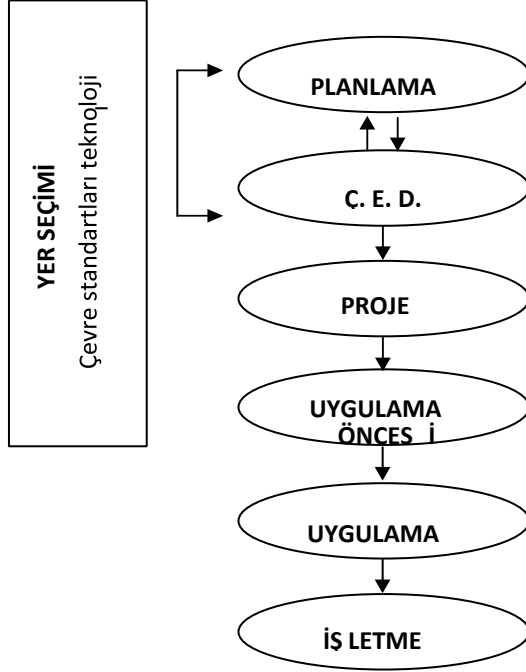
Tablo 1’de barajlar farklı özelliklerin çerçevesinde sınıflandırılmıştır.

Tablo 1: Barajların sınıflandırılması

Büyükölçü ölçütü	Gövdesinin yüksekliği 100 metreden çok; (Yüksek Baraj), 50-100 metre arasında; (Orta Yük. Baraj), 50 metreden az; (Alçak Baraj), Gövdesinin genişliği, Gövdesinin hacmi, Haznesinin hacmi, Üretilmekte olan enerji
Yapılış amacına	İçme ve kullanma suyu elde etme, hidroelektrik enerji temin etme, endüstriyel su sağlama, taşkınları kontrol etmenin yanı sıra, dinlence yerleri sağlama, tuzluluğunun giderilmesi, akarsu deltalarının katı maddelerin tutulup kontrol edilmesi, canlıların korunması suların kalitesinin iyileştirilmesi, atıkların toplanması balıkçılığın geliştirilip korunması, akarsuların ve iç yolu ulaşımı.
Fonksiyonuna	Biriktirme, Taşkın geciktirme ve Kabartma barajları
Gövdenin statik projelendirilmesine	Ağırlık, Kemer, Kemer ağırlık, Dolgu, Payandalı, Ön gerilmeli barajlar
Hidrolik özelliğine	Üzerinden su akan ve akmayan barajlar
Gövde malzemesine	Kagir, Beton, Dolgu, Ahşap, Çelik, Lastik baraj

Kaynak: Çataklı, 1967

Baraj projelerinin çalışma Süreçleri Şekil 1’de görüldüğü üzere, Planlama ve ÇED Raporlarının hazırlanması, baraj kati proje çalışmaları ve inşaat öncesi, inşaat ve işletme olmak üzere 6 aşamada gerçekleşmektedir.



Şekil 1: Baraj İşleyiş Süreçleri

Kaynak: Çolak, 2007

Araştırma ile Doğu Karadeniz bölgesindeki Barajların mevcut süreçlerdeki jeolojik problemleri ortaya konulmaktadır. Araştırma alanı jeolojik sorunlar açısından önem arz etmektedir. Bunun nedenleri;

Enerji amaçlı barajların Dik ve dar vadilerde inşa edilmiş olmaları

Yamaçların azla eğimli olması ve bölgenin fazla yağış alması

Yerleşimlerin arazi sorunu nedeniyle vadi yamaç ve tabanlarında olması -Zorunlu yerleşim sorunları

Yamaçlarda ki vejetasyonunu ortadan kalkması

Tarım ve verimli arazilerin vadi tabanlarında olması ve bu nedenle Toprak kullanım şeklinin değişmesi

Araştırma yöntemi ve amacı

Araştırmanın amaçları;

Doğu Karadeniz Bölgesin deki Barajların işleyiş süreçlerinde yaşanan heyelan problemlerini ve nedenlerini ortaya koymak

Planlama-Projelendirme süreci açısından yapılan Mühendislik jeolojisi araştırmalarında eksiklikleri belirlemek

İnşaat ve İşletme aşamalarına ait olumlu çalışma modelini geliştirmek

İnşaat mühendisliği ve Baraj jeolojisi ilişkisinin çalışma süreçlerine bağlı değerlendirmek

Araştırmada kullanılan yöntem ve teknikler dört bölümde yürütüldü. Bunlar;

Baraj inşaatları ve süreçlere bağlı jeolojik problemlerin listelenmesi, mühendislik jeolojisi sorunlarının değerlendirilmesi, konu ile ilgili yapılan araştırmalar ve konu ile ilişkileri

Doğu Karadeniz havzasında ki tüm barajların listelenmesi; Tüm barajlar listelenerek uygulaması yapıldığı havzaların tüm özellikleri incelenerek, mühendislik jeolojisi sorunları olabilecek barajlar netleştirildi.

Araştırma Alanlarında mevcut sürece ve ilerleyen süreçlere ait konuyla ilgili detaylı bulgular belirlendi. Bu kapsamda;

1. Mevcut süreçte Yetkililerle görüşmeler; Şantiye şefleri, DSİ de yetkili mühendisler, İşi üstlenen firma yetkilileri

2. Mevcut Raporlar; Mevcut Raporlarda konu ile ilgili bölümlerin analizi yapılarak gerekli listelemeler yapıldı

3.İlerleyen süreçlere ait mühendislik jeolojisi sorunları ve yöre halkı için tehdit yaratan olaylar literatür olarak araştırıldı ve araştırmanın yapıldığı süreçteki bulgu ve raporlarla ilişkilendirilerek önerilere zemin oluşturacak değerlendirmeler yapıldı.

Sonuç ve öneriler

Araştırmanın amacı; yapıldığı mevcut sürece ve İlerleyen sürece ait veriler ilişkilendirilerek Baraj işleyiş süreçlerine bağlı mühendislik jeolojisi sorunları detaylı listelenerek öneriler getirilmektedir. Araştırma Modeli Şekil 2’de verilmektedir.

Ön Analiz

- Doğu Karadeniz Havzasında Planlama -Projelendirme - Uygulama da ki barajların listelenmesi

Araştırma Alanlarının seçilmesi



Analiz

- Seçilen barajlarda Baraj jeolojisi açısından detaylı araştırmalar;Mevcut raporların genel olarak incelenmesi ve çevresel ön arazi etütleri



Bukgular ve Değerlendirmeler

- Seçilen baraj ve çevresinde detaylı incelemeler; Arazi gözlem ve fotoğraflar, Yetkililerle ve, Yöre halkı ile görüşmeler, DSİ Projeleri Mühendislik Jeolojisi açısından problemlı barajlar ve çalışmaların İşleyiş süreçlerine göre listelenmesi



Sonuç ve Öneriler

- Mevcut Barajlar da mühendislik jeolojisi sorunlarının işleyiş süreçlerine bağlı değerlendirilmesi ve öneriler

Şekil 2: Araştırma modeli

Tablo 2 'de Araştırılacak barajlar için yetkililerle yapılan mülakatlarda soru ilgi alanlarıyla muhtemel sorunlar verilir.

Tablo 2: Kürtün barajının yetkilileri-Soru ilgi alanları-muhtemel sorular

YETKİLİLERLE	
SORU İLGİ ALANI	MUHTEMEL SORULAR
GENEL BİLGİ	Bu yöre ve bu vadide yapılacak barajlar hakkında neler biliyorsunuz?
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE İLİŞKİLİ SORUNLAR	Baraj, yapılmaya başlandığı dönemde veya daha sonra baraj sahasında jeolojik sorunlar nelerdir?
YAPILMIŞ OLAN VE YAPILMASI GEREKEN FAALİYETLER	Baraj inşa edilmeden önce konu ile ilgili hangi çalışmalar yapıldı? Bu çalışmalar hangi kurumlarca gerçekleştirildi? Şimdi veya daha sonra hangi kurumlarca hangi çalışmalar yapılmalıdır?
DÜŞÜNCELER	Jeolojik sorunlar açısından barajın yapılmasıyla ilgili düşünceleriniz nelerdir?

Bulgular

1.Doğu karadeniz havzasında mevcut süreçte planlama - projelendirme -uygulama da ki barajların listelenmesi

Jeolojik problemlerin inşaat aşamasında başladığı dikkate alınarak Tablo 3’ de programda ve inşaat öncesi ve inşaat aşamasında olan barajlar listelenmektedir. Tablo 4’te inşaat aşamasında ki barajların mevcut çalışma durumları verilmektedir.

Tablo 3: Programdaki ve inşaat aşamasındaki barajların amaçları

BARAJ-GÖLET-REGÜLATÖR-HES	Amaçları	PROJE
Muratlı Barajı-HES	Enerji	ÇORUH
Borçka Barajı-HES		
Deriner Barajı-HES		
Yusufeli Barajı-HES		
Bağlık Barajı		
Bayram Barajı		
Atasu Barajı-HES Arıtma Tes.-İsale Hattı	Sulama+Enerji	GALYAN VADİSİ
Torul Barajı-HES		HARŞİT PROJESİ
Kürtün Barajı -HES		
Koruluk Barajı	Sulama	GÜMÜŞHANE -ŞİRAN
Köse Barajı	Sulama	YUKARI KELKİT
Demirözü Barajı	Sulama	AYTINTEPE ÇAYIRYOLU II.MERHALE PROJESİ

Kaynak: Anonim,1978; Anonim, 1983; Anonim, 1994; Anonim,1998; Anonim, 2005

Tablo 4: Doğu Karadeniz Bölgesi'nde mevcut süreçte uygulama aşamaları bağlamında barajlar

Barajlar	Uygulama Durumları
Torul, Atasu, Koruluk, Köse, Borçka, Deriner Barajları	İnşaat halinde
Kürtün Barajız, Muratlı Barajı	İşletme Aşaması

Kaynak: Anonim, 2005; Anonim, 2006

2.Araştırılacak barajların seçilmesi-ön analiz

Tablo 5’te mevcut raporlar incelenerek ve ön arazi gözlemleri neticesinde, vadi eğimi ,zemin özellikleri, vejetasyon durumu, vadi darlığı, sedimantasyon kil ve karstik yapı gibi mühendislik jeolojini etkileyen durumlar dikkate alınarak seçilen vadiler ve nedenleri listelenmektedir.

Tablo 5: Proje planlanan ve uygulaması düşünülen baraj havzaları; yakın ve uzak ilişkili çevresinde ortam

Barajlar ve Havzaları		Proje alanındaki ortam (Birimlerin yoğunluğuna dayalı olarak verilmiştir)	Yakın ve Uzak Çevre
Yusufeli	ÇORUH HAVZASI	Dar derin vadilerin içinde; Yerleşim yerleriyle verimli tarımsal araziler, ulaşım ağları, yüksek debili ve yoğun rusubat taşıyan nehirler, alüvyonal nehir tabanları, sucul hayat, yaban yaşamı, kimi endemik türler, kısmen ormanlık ve mer’a arazileri, tarihsel yapıtlar, geleneksel mimari ve kırsal yerleşim kaliteleriyle kısmen heyelana uygun toprak yapısı	Milli park, yayla ve geleneksel yayla yerleşimleri, mer’a ve ormanlık sahalar, buzul gölleri, önemli flora ve fauna türleriyle endemik türler
Deriner			
Borçka			
Artvin			
Muratlı			
Kürtün	HAR ŞİT HAVZASI	Eğimli dar vadi içleriyle yamaçlarda kırsal yerleşimler, ulaşım ağları, yoğun heyelana uygun yamaç arazileri (yamaç molozları), ağaççıklarla çalılıklardan oluşan ve önemli türleri içermeyen karasal ve sucul flora - fauna yapısı	Taban alanlara dayalı olarak daha az yoğun kırsal yerleşimler, ağaççıklar, heyelanlı yamaç arazileriyle kısmen mer’a niteliğindeki sahalar
Torul			

Demirözü		Bölge kil oturma ve borulanma problemlerine neden olan kil zemin ağırlıklıdır. Düz ovalık geniş sahalar, az eğimlidir ve az verimlidir. Tarımsal Araziler, Kırsal Yerleşim Yerleri, Ulaşım ağları, zaman zaman ormanlık alanlar, kırsal yerleşim yerlerinde geleneksel geri kalmış hayat, önemli boyutlara varmayan tarihsel eserlerle biyolojik hayat	Proje sahasıyla yakın çevresi benzerliklere sahiptir. Sadece yüksek kotlarda mer'a arazileri vardır.
Köse			
Koruluk	GÜMÜ ŞHANE BAYBURT HAVZALARI		
Atasu	GALYAN VADİSİ	Yoğun yerleşimler, dar vadiler boyunca kimi zaman çıplak ve erozyona müsait yapıdır, kimi zaman ağaççıklarla ve çalılıklar ile kaplı bitki örtüsü, içme suyu için kullanımlı derelerdir (kalyon),	Proje alanının yakın ve uzak çevresi de aynı formasyona sahiptir.

Kaynak: Master Plan 1982, Kesin Proje 1982

Tablo 6’da inşaat öncesi süreçte, Tablo 7’de inşaat sürecinde, Tablo 8’de su tutma aşamasında Uygulama durumları listelenmektedir. (2000-2007 arası süreç)


Uygulama durumuna dayalı olarak; Bu grupta yer alan barajlar “inşaat öncesi (ihalesi yapılmış olan), inşaat aşamasındaki barajlar ve su tutulduktan sonraki barajlar” olarak 3 grupta incelenir;

İhalesi yapılarak inşaat açılışı gerçekleştirilecek olan barajlar; Öncelikli olarak Yusufeli, Bağlık ve Bayram barajları.


İnşaat aşamasın farklı evrelerde olan barajlar; Gümüşhane ve Bayburt kentlerinde sulama için kullanılan Köse, Koruluk, Demirözü barajları, Çoruh havzasında enerji üretmek için; Deriner, Borçka, Muratlı ve Harşit vadisinde Kürtün ile Torul Barajlarıdır.




Su tutulmasının ardından yapılan çalışmalar; Muratlı, Kürtün barajlarıdır. Bu çalışmalar TEK'e devir işlemlerinin ardından için geçersizdir.

Tablo 6: İnşaat öncesi barajlar

BARAJLAR	Uygulama Durumu
 <p>Şekil 3. Yusufeli baraj göl alanı</p>	<p>Arazide şantiye açılış hazırlığı yapılmış olan Yusufeli barajı için, Öncelikli Kamulaştırma çerçevesinde 15 Milyon YTL ye acil olarak gereksinim bulunmaktadır. Yusufeli Barajı ile HES Tesisleri İnşaatı çerçevesinde bütün kamulaştırma işlemlerini gerçekleştirebilmek üzere gereken ödenek 300 Milyon YTL'dir.</p>
Bağlık Bayram	İhalesinin yapılmasının ardından, baraj inşaatıyla ilgili daha herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Tablo 7: İnşaat aşamasındaki barajlar

BARAJ -REGÜLATÖR	MEVCUT DURUM (2003)
 <p>Şekil 4. Borçka Barajı</p>	<p>01.09.1999 yılında yer teslimi yapıp inşa edilmeye başlanmıştır. İnşaat işleri, % 91,00 civarında gerçekleşmiştir. Baraj gövde işlemleri sürmektedir.</p>
	<p>08.01.1998 yılında inşa edilmeye başlanmıştır. Şimdi gövde kazı işlemleri sürmektedir. İnşaat işleri;</p>

 <p>Şekil 5. Deriner Barajı</p>	<p>74,50 civarında fiziksel gerçekleşmesi tamamlanmıştır.</p>
 <p>Şekil 6. Torul Barajı</p>	<p>14.11.2000 yılında inşa edilmeye başlanmıştır. Barajın gövdesinin oturacağı sahada sıyırma kazıları sürmektedir. İnşaat işleri % 74 civarında tamamlanmıştır.</p>
 <p>Şekil 7. Koruluk</p>	<p>23.11.1990 yılında inşa edilmeye başlanmıştır. İnşaat işleri; % 94 dolayında yapılmıştır. Baraj gövdesiyle üniteleri, baraj depolama hacmini arttırmak için yapılmış olan regülatör ile iletim kanalı tamamıyla bitirilmiştir.</p>



Şekil 8.Köse Barajı

04.04.1996 civarında inşa edilmeye başlanmıştır. İnşaat işleri;% 56 civarında yapılmıştır. Gövde sıyırma kazıları tamamlanmıştır, dolusavak kazıları %65 düzeyindedir. 20.06.2003 yılında gövde dolgusu başlamıştır.



Şekil 9.Demirözü Barajı

İnşaatı; 35.23 civarında yapılmıştır (% 50.7). Temel kazısı bitirilmiştir. Şu anda temel kazısı (cutoff) işlemleri sürmektedir.



Şekil 10. Atasü Barajı

10.03.1998 senesinde inşa edilmeye başlanmıştır. İnşaat işleri; % 14 civarında tamamlanmıştır. Barajın gövdesinde sıyırma kazıları başlatılmıştır

Tablo 8: Su tutulduktan sonra (suyun tutulması ve işletme)

BARAJ -REGÜLATÖR	MEVCUT DURUM (2003)
 <p>Şekil 11. Kürtün Barajı</p>	<p>28.09.1986 yılında inşa edilmeye başlanmıştır. 08.02.2002 yılında su tutulmaya başlanmıştır. Şimdi Tirebolu-Torul karayolunun Özkürtün beldesi geçişinde hemen hemen 300 m'lik bölüm heyelandan dolayı zarar görmüştür.</p>
 <p>Şekil 12. Muratlı Barajı</p>	<p>01.09.1999 yılında yer teslimi yapıp inşaatı başlamıştır. Yapım işleri % 99,00 civarında gerçekleşmiştir. 14.03.2005 tarihinde su tutma işlemi yapılmıştır.</p>

Yukarda verilen bulgular neticesinde mühendislik jeolojisi açısından sorun yaratacak olası nedenler jeolojik yapı ve süreçlerde ki çalışmalar açısından irdelenerek araştırılacak barajlar Tablo 9 'da görüldüğü gibi özetlenmektedir.

Tablo 9: Seçilen barajlar ve nedenleri

Seçilen Barajlar	Nedenleri
Kürtün	Yüksek eğim-Heyelan
Torul	Yüksek Eğim-Heyelan
Yusufeli	Yüksek eğim, Heyelan ve sediment oluşturacak arazi yapısı
Atasu	Yüksek eğim-Heyelan
Demirözü	Killi arazi-Baraj aks yerinde problemler

3.Seçilen barajlarda bulgular ve analizler

3.1. Harşit vadisi projeleri

3.1.1. Yetkililerle yapılan görüşmeler

Bu yörede ve vadede yapılacak barajlara dair bildikleriniz nelerdir?

"1986 yılında Nurol İnşaat firması tarafından başlanan Kürtün Barajı, Memba yüzü Beton Kaplamalı kaya dolgu ve enerji amaçlı bir barajdır. Şu an su tutma aşamasında. Fakat gerek İnşaat aşamasında gerekse şu anda çok sıkıntıları olan bir baraj... Baraj yeri ve çevresi çok heyelanlı bir bölgedir. Heyelanı durdurmak için, baraj aks yerinde ve dolu savak tünellerinin bulunduğu kesimde yapılan çalışmalar baraj maliyetini büyük ölçüde arttırdı. Tabii bu arada yapım süresinin uzaması ve son zamanda yaşanan heyelanların getirdiği sıkıntılar da baraj maliyetini arttıran en önemli sebeplerdir. Bütün bunlar barajın rantabilitesini olumsuz yönde etkiledi. Aks yeri, site yerleri ve yolları için kamulaştırmaya bu yıl itibariyle (2001) 7.5 trilyon para ödendi. Tamamı bu yılda ödendi..

...Baraja Kil Çekirdekli başlanmasına rağmen kaya dolgu bir baraj olarak değiştirildi. Kil Araköy denilen bir yerleşim yerinden

temin edilecekti. Buradaki İnsanlara zarar vermemek için tipi değiştirildi."

"Baraj çevresi doğal yeşili ve tarım arazisi fazla olan bir bölge değildir.. .Bu yüzden bu yörenin İnsanı hayvancılık yapar. İşsizlik nedeniyle de nüfusun çalışabilecek kesimi dışarıya göç etmektedir..."

...Barajın yapılmaya başlanmasıyla özellikle yerleşim düzeninde ve ulaşım ağında büyük ölçüde değişimler oldu. Barajın yapılmaya başlanmasından bir müddet sonra, Çatak heyelanı oldu. Bu heyelan eski Kürtün'ün daha erkenden yeni yerine taşınmasına neden oldu.(1987 yılında)Kamulaştırma bedellerini alan köylüler Eski Kürtün'ü heyelan nedeniyle terk ederek, yeni yere yerleşmeye başladılar...



Şekil 13: Çatak heyelanı nedeniyle terk edilen Kürtün beldesi



Şekil 14: Evleri rezervuar içine kayan vatandaşların durumu

Birçok karayolu rezervuara girmesi nedeniyle iptal edildi. Bu nedenle de birçok köyün yakın ilçelerle bağlantısı kesildi...

Özkürtün adıyla kurulan yeni ilçe sosyal ve ekonomik anlamda eski yerleşimden çok farklıdır. Baraj nedeniyle kurulan şantiyelere buralarda çalışmak üzere gelen uzman kadro nüfusu arttırdı. Artan nüfusun beklentileri de arttı tabii... Sağlık eğitim hizmetlerinde büyük ilerlemeler oldu. Yeni işyerleri açıldı. Göç kısmen durdu. Hizmet sektöründe, ticarete olumlu yönde değişimler oldu. İnsanlar yatırımlarını da kendi yörelerine yapmaya başladılar..."

Çevresel Etkiler: Baraj inşa edilmeye başlandığında şu dönemde veya daha sonra doğayı nasıl etkilemiştir ve etkileyecektir?

"36 tane bina var. Birkaç tanede boş parsel var..10 trilyon gibi bir para kamulaştırma için gerekiyor. Tünel yerinde de 7 tane ev var. Torul barajına 80 trilyon ödenek ayrılması düşünülüyor. Belki oradan alınabilir. Ben şunu ifade etmek istiyorum; Devlet baraj yaparken iyi etüt etmesi lazım yeni yerleşim birimlerini oluştururken.. Şimdi baraj bitti. Biz yazışma da yaptık. Yollarla birlikte baraj göl alanının kıyısı da korunsun diye..94 imar başlamış

ve 95’de onaylanmış..95’ten sonra ciddi bir yapılaşma yok eski baraj yerindeydi. Kürtün buraya taşınmış belde olmuş. Şimdi Devlet Su İşleri topu dönüp dolaşıp Belediyeye atıyor....

Bu konuda hepimizin sorumlulukları var. Belediye olarak, vatandaş olarak. Bu konuda yetkililerle konuşmaktayız ..."

"Şimdi su toplama evresindeyiz. Fakat, yolun alt tarafı yol ile birlikte kaymaktadır.30-40m dolayında yamaç molozu vardır. Sondajlar cami de dahil olmak üzere yamacın tehlike yaşadığını ortaya koydu. Durumu valiliğe ve belediyeye bildirdik. Buradaki insanların can güvenliği için bu bölgeyi biran önce terk etmeleri lazım.

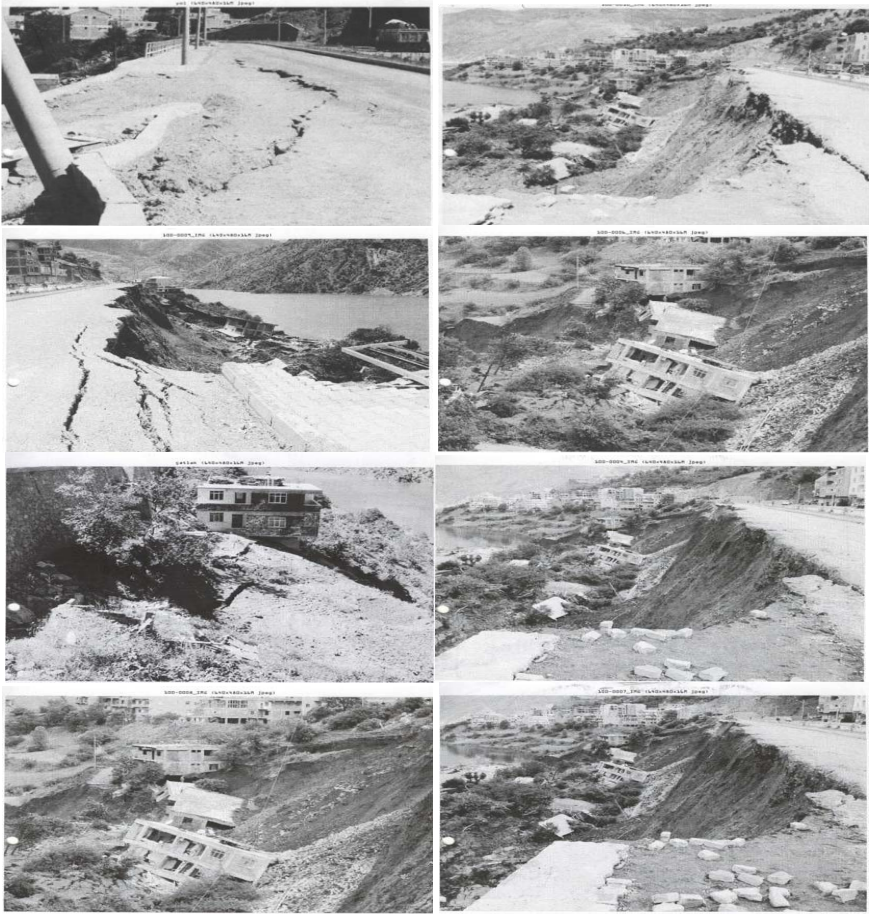


Şekil 15: Baraj rezervuarından dolayı kayma riski olan karayolu ve Özkürtün Camii

"Bu konuda valiliğe yazı yazdık. 40 adet deprem konutu ormanlık açık araziye kurmayı düşünüyoruz. Arazilerin boşaltılması lazım. Yolun dibindeki binaları boşaltmak sorun değil. Zaten vatandaşta kalmak istemez. Dükkanlarda gündüz çalışıyoruz-. En azından geçe kalmasın...

...İstimlak bedelini hemen alacağız diye bir şey yok...Vali bey devletin yatırımını – baraj yerleşim nedeniyle çıkan problemler yüzünden durdurmak, suyu aşağıya çekmek gibi bir düşüncemiz olmaz.. .Binaları yıkıp. kaldırmayacak, yani kamulaştırmasını yapıp ondan sonra yıkar...Yani bir kısım eşyada orda kalacak. 30 m2 'lik prefabrik. O eşyaların oraya sığması mümkün değil. Vali bey diyor ki "ben riske giremem"...

"Yolu yukarıya aldık. Tünelle geçeceğiz. Tünelin orda sanırım 7-8 m kamulaştıracacağız. Bu arada vatandaşlara kamulaştırma Bedelini ödüyoruz. Aslında bunlar evlerini kıyı çizgisi dediğimiz alan içerisine yapmışlar. Kanun gereği kamulaştırma bedeli vermemiz imkansız böyle durumlarda. Bu 50m içerisine ekip biçebilir, boş tarla olarak burayı tutabilirler. Fakat tehlikeli bölge olarak görüldüğü için yapı izni alamazlar, verilmemeli de. Ancak vatandaş yapı izni zamanında almış. Nasıl almış? Ne olmuş bilemiyorum? Zira bölgede bizim belediyeye birçok uygun dilekçemiz var. Gidince isteyebiliriz... Özellikle kıyı kanunu nedeniyle buraya yapı yapılmaması konusunda uyarılarımız var. Bu yapılaşmaya belediye onay vermeyecekti. Devlet Su işlerinin bu işle ilgisi yok. Verdiğimiz dilekçeler incelendiği takdirde gerekeni yaptığımızı göreceksiniz...



Şekil 16: Rezervuar Kıyı çizgisindeki yerleşimler

Kaynak: Çolak, 2007

Yapılan ve Yapılması Gereken Çalışmalar: Baraja başlamadan ne tür çalışmalar hangi kurumlar tarafından yapıldı? Şu anda yada bundan sonra hangi kurumlar tarafından ne tür çalışmalar yapılmalıdır?

...Belediye 95 yıllarında kurulduğundan kendinin bu işle bir ilgisi olmadığını savunuyor. Vatandaş ise buraya 1988 yılında yerleştiğini ifade ediyor. Ancak su -elektrik idaresindeki kayıtları incerseniz bu dönemde su ve elektrik kullanmadıklarını göreceksiniz. Oysa onlar orda oturduklarını ifade ediyorlar... Kamulaştırma bedelini arazi üzerinden ödememiz gerekirken, onlar müracaat ederek yaptıkları evlerin bedelini aldılar devletten. Oysa burası kıyı çizgisinde yada bunlara daha sonra tapumu verildi bilemiyorum..".

Düşünceler: Barajın yapılmasıyla ilgili düşünceleriniz nelerdir?

"Burada zamanında bir sondaj çalışması yapıldığını tahmin etmiyorum açıkçası... Torul Kirazlık köyünde de ayın sıkıntılar çıkacak diye düşünüyorum. Buradaki problemleri düşünüp orda ayın durumlara düşülmemesi lazım.. Bu şartların yöre insanı için olumlu olmadığı açık.."

"Barajda üretilecek enerji ileride turizm, balıkçılık gibi nedenlerle ülke ekonomisi açısından son derece faydalı olan bir projedir. Ancak önceden tespit edilemeyen bazı problemler bu süreyi uzatmıştır. Dünyanın bir çok yerinde barajlar bu tür problemleri peşinde getirebiliyor..

Bu yüzden dünyada başka yoldan enerji elde etme konusunda çalışmalar yapılmaktadır..".

Torul Barajında yaşanan sıkıntılar nelerdir?

Baraj inşaatı sırasında civar kırsal yerleşimlerde taş ocaklarındaki patlamalar nedeniyle sıkıntılar yaşanmaktadır

(Kirazlık Köyü ve Başatlık Mahallesi gibi...). Evlerin çatlama problemleri var. Patlamayı denetimli yaparak problemi çözeceğiz. Bu da maliyeti bir hayli arttırıyor. Torul ilçesinin mahalleleri kıyı çizgisine çok yakın. Ulaşım da aksamalar yaşıyor. Baraj akış ağağındaki köylerde ki ulaşım kesildiği için köprü ihalesi yapıldı. Akış yönüne göre soldaki Kirazlık köyünün Başatlık mahallesinde kil malzeme alınacak. Ayrıca köyün büyük bir bölümü rezervuar içinde kalacağı için mahallenin yarısı istimlak edilecek. Köyde 1 cami ve 1 okul var...

...Rezervuar kıyı çizgisine 50 m olan yerleşim yerlerinin istimlak edilmesi gerekiyor. Ancak konut varsa kayıp kaymayacağı ona göre belirlenip, kayacaksa istimlak edilecek....Kürtün barajında yaşanan sorunların burada da yaşanmamasına özen gösteriliyor. Sonuçta aynı vadi ve benzer olaylar söz konusu.

Şu anda 1 köprü inşaatına başlandı. Civar köylerdeki ulaşım bu köprü ile sağlanacak...

3.1.2. Yapılan çalışmalar

Raporlarda belirtildiği üzere; Tablo 10'da, Tespit edilen Mühendislik problemleri, Tablo 11'de, konuyla ilgili Yapılan Teknik araştırma, tespit ve sonuçları ve Tablo 12'de Harşit vadisine ait çevre analizi özetlenmektedir.

Tablo 10: Kürtün barajı proje sahasına ait çevresel problemler

Su tutulmadan önce;	<p>Tek tek incelenecek olan potansiyel heyelanlı alanların bir bölümünde gerek doğal dengenin bozulması gerek kazı ve patlatma gibi işlemlerle duraylılığın bozulması sonucu yüzeysel olsa aktif hareketler görülmektedir. Ayrıca göl alanında su tutulduğunda zaman içerisinde yüzeysel akmlar şeklinde bu deplasmanlar devam edecektir.</p> <p>Barajda su tutulduğunda raporda sondaj çalışmaları yapılan heyelanlı alanların dışındaki sahalarda da küçük ölçekli yüzeysel akmlar oluşabilecektir</p>
Su Tutulduktan sonra	<p>Kürtün Beldesi Merkez camiinden yaklaşık 500m akış yukarısında (Torul yönünde) TireboluTorul karayolunun baraj gölü tarafındaki bölümünün yaklaşık 100m uzunluğunda yay şeklinde bir çatlak belirmiş, bu çatlak zamanla karayolu altındaki arazilerde de izlenmiş, bu arazi üzerinde inşa edilmiş binaların bazılarında da çeşitli büyüklükte çatlaklar belirlenmiştir (2002 tarihinde 630 metre su kotu). Arazide ve binalarda çeşitli deformasyonlara neden olan bu hareket sonucunda açılan yay şeklinde ki çatlak ile sınırlanan ve ortalama 15 m kalınlığındaki bir kütle heyelan aniden hareket ederek baraj gölüne kaymıştır Hareket eden kütle üzerinde bulunan binalar tamamen yıkılmış, karayolunun da yaklaşık 150 m'lik bölümünün göl tarafındaki şeridi tahrip olmuştur.</p> <p>Merkez camii de dahil olmak üzere Tirebolu-Torul devlet karayolu ile baraj gölü arkasında kalan yamaç üzerinde ki oldukça kalın ve nispeten gevşek yapılı yamaç molozu örtüsü içerisinde sızacak baraj gölü suları zeminin doygun hale gelmesini sağlayarak hem ağırlığının artmasına hem de zemin dayanım parametrelerinin düşmesine neden olacağı ve bu bağlamda raporda belirtilen bölümde geri kalan diğer binalarında ve işyerleri ile caminin tehlike altında bulunduğu, can ve mal güvenliği açısından en kısa sürede boşaltılması gerektiği ifade edilmektedir.</p>

Kaynak: Anonim,1978; Anonim, 2003

Tablo 11: Özkürtün heyelanıyla ilgili tespit ve öneriler

Tespitler	İleri süreçlerde Etkiler
<p>5 Haziran 2002 tarihinde Özkürtün beldesi yerleşim alanında Tirebolu-Torul devlet karayolu ile Kürtün barajı gölü arasındaki yamaç üzerinde inşa edilen binaların hemen hemen tamamının 655 m kotuna yerleştirildiği, bu da en yüksek işletme kotu olan (647 m) nin 5-6m yukarısı gibi çok yakın mesafede bulunduğu.</p> <p>Merkez Camiinin bulunduğu sırt boyunca çatlaklı, yer yer çok parçalı ve ayrılmış granitten oluşan temel kaya üzerindeki bloklu, çakıllı ve killi yamaç molozu kalınlığının 36.50 m olduğu.</p> <p>Karayolunun rezervuar tarafında yapılan jeoteknik sondajlar neticesinde; tüm binaların temellerinin oldukça kalın yamaç molozu örtüsü içinde kaldığı</p>	<p>5 Haziran 2002 tarihinde heyelan ederek baraj gölüne doğru kayan bölgeden itibaren Merkez cami de dahil olmak üzere Tirebolu-Torul devlet karayolu ile baraj gölü arasında kalan yamaç üzerindeki oldukça kalın ve nispeten gevşek yapıllı yamaç molozu örtüsü içerisine sızacak baraj gölü suları, zemini doygun hale gelmesini sağlayarak hem ağırlığının artmasına hem de zemin dayanım parametrelerinin düşmesine neden olacaktır.</p> <p>Baraj santralı işletme çalışmaları sırasında göl kotunun yükselmesi ile daha üst kotlara kadar yamaç molozu içerisine sızacak olan sular, göl kotunun alçalması sırasında ise tersine hareketle zeminden dışarıya boşalacak, bu işlem nedeniyle de zeminin ince tanelerini beraberinde sürükleyerek borulanmalara neden olacak, bu oluşuma yamaç üzerinde bulunan binaların ağırlığı da olumsuz katkıda bulunacaktır.</p> <p>Merkez camiinin bulunduğu sırtın her iki kanadındaki yamaç molozu örtüsü içerisindeki önceleri küçük boyutlu, fakat zaman içerisinde giderek büyüyecek boyutlarda zemin hareketleri kaçınılmaz olacaktır.</p> <p>Bu zemin hareketlerinden merkez camiinin karşısındaki kısımda bulunan karayolu da baraj hizmet ömrü boyunca geçecek zaman içerisinde etkilenebilecektir</p>

Kaynak; Anonim, 2002; Anonim, 2003

Tablo 12: Harşit vadisi çevre analizleri

Do ğal	Proje alanı Harşit çayı ve Galevara derelerinin tüm su toplama yüzeylerini kapsar.
Yap ılaşmış	<p>Proje sahasındaki (Harşit kapsamında) yerleşim yerleri; Gümüşhane ve merkez köyleri, Kale bucağı ve merkez köyleri, Torul ilçesi ve merkez köyleri, Kürtün bucağı ve merkez köyleri, Doğankent bucağı ve merkez köyleri, Tireboluya bağlı merkez köylerdir. Ancak Kürtün barajı projesinden direkt etkilenen yerleşim Kürtün beldesidir (Anonim, 1978).</p> <p>Torul barajı için bugünkü kesitin yaklaşık 7 km akış yukarısında 2 ayrı yer incelenmiştir. Bu baraj yerleri; Torul ilçe merkezi burada yapılacak baraj gölü içerisinde kaldığı için ve baraj yerleri temel koşulları yönünden yeterli olmakla birlikte yatırım tutarını etkileyecek bazı sorunları içerdiğinden elenmiştir. Seçilen baraj yerinde Torul ilçe merkezini göl dışında tutmak koşuluyla yükseklik artışı yapılmıştır. Torul Barajının yüksekliği seçilirken Torul kasabasının göl dışında kalmasına özen gösterilmiştir. Bunun nedeni Doğu-Karadeniz de yerleşim yeri olanakların oldukça kısıtlı oluşudur. Torul kasabasının kamulaştırılması baraj maliyetini büyük ölçüde arttırması yanında böyle bir yerleşim yerinin kaldırılmasının o çevre için sakıncalı olacağı düşünölmüştür. Torul baraj yerine ulaşım Tirebolu-Torul karayolu ile yapılmaktadır.</p>
Sosyal	Ekonomik olanakların çok sınırlı olmasının sonucu, artan nüfus büyük kentlere göç etmek zorunda kalmıştır. Ekonomi, tarıma dayalıdır ve güç koşullarda yapılmaktadır

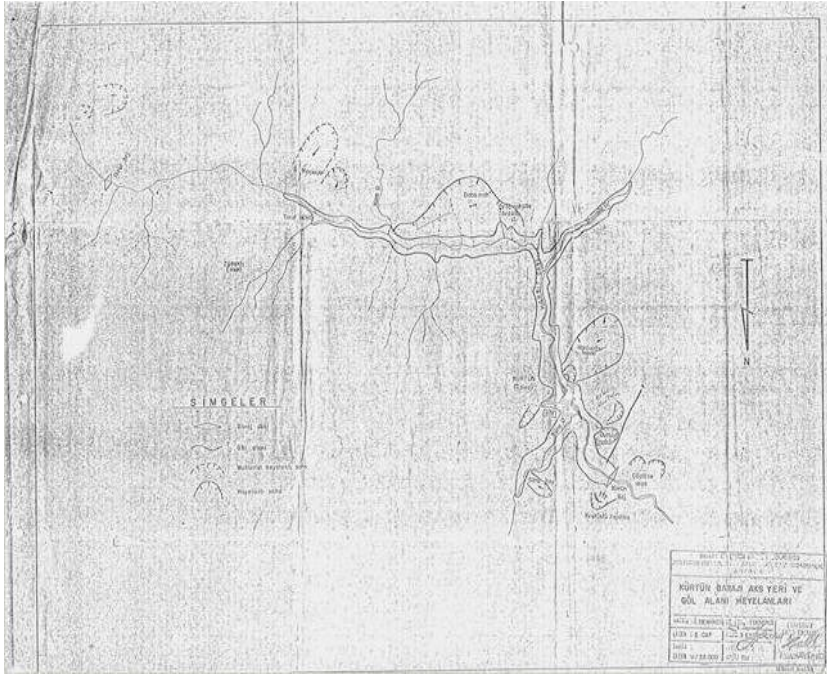
Kaynak: Anonim, 1978

3.1.3. Mevcut raporlar ve jeolojik araştırmalar

Tablo 13'te verildiği üzere Harşit Vadisinde planlanan Kürtün ve Torul Baraj Projelerine Mevcut sürece kadar yapılan çalışma detayı listelenmektedir. Şekil 17'de rezervuar alanı ve baraj aks yerine ait Yamaç molozlarının yerleri görölmektedir.

Tablo 13: Harşit vadisinde yapılan çalışmalar

Planlama -Proje	1978	DSİ(Kürtün-Torul)
Barajın İhalesi	(27.06.1986) Kürtün (02.11.1998) Torul	DSİ
Baraj inş.Başlaması	(28.09.1986)- 2003 Kürtün 14.11.2000 Torul	Nurol İnş. ve Tic.A.Ş. Bayburt-Özdemir- Energomachexport Ort
Heyelan Raporları	1988	DSİ (Kürtün)
	2002	
Su Tutulması	2003	



Şekil 17: Kürtün Baraj aks yeri ve göl alanına ait yamaç molozları

DSİ tarafından hazırlanan rapora göre;

Mevcut karayolu ile baraj gölü arasında kalan yamacın stabilizesini sağlayacak betonarme veya birbirine teğet kazıklardan oluşacak bir perde duvar inşaatının maliyeti, korunması düşünülen binaların değerinden çok daha fazla olacak ve böyle bir duvarın inşaatı için yapılacak kazı, yamaç dengesini kesinlikle olumsuz etkileyecektir.

HSK-4 nolu temel sondaj kuyusu yakınında bulunan binalar ise bu zaman içerisinde gözlem altında bulundurulmalıdır. Heyelan nedeniyle tahrip olan ve baraj gölü sularından gelecekte olumsuz etkilenebilecek Tirebolu-Torul Karayolu Özkürtün Beldesi geçişi için karayolu, göl tarafındaki şeridin yıkıldığı bölüm de kamulaştırılarak, evlerin bulunduğu kısma çekilmeli. Yaklaşık 1.5 km uzunlukta ve ortalama 5.5 metre ile 10.5 metre yükseklikte inşa edilebilecek ve temel kayaya oturtulacak bir yerde duvar ile karayolu tabanı üzerinde bulunan yamaç molozunun göl suları ile bağlantısı kesilmelidir.

Merkez Camii'nin karşısındaki bölümde geçiş, yamaç içerisinde geçecek yaklaşık 350 metre uzunluktaki tünel ile sağlanmalıdır."

Baraj yerindeki en yaşlı birim Kretase yaşlı kireçtaşıyla volkanikleridir. Kireçtaşıyla volkanikler Granodiyorit batolitinin yerleşiminden etkilenmiştir, özgün durumlarını ve dayanımlarını yitirmiştir. Daha sonra tüm bu birimleri kesen dayaklar sokulmuş oldukları kırık hatlar boyunca kontak metamorfizma tesiri oluşturmuştur. Deprem Araştırma Dairesinin hazırladığı

Depremsellik Haritasına göre inceleme sahası 3. derece deprem bölgesidir (URL-1).

3.1.4. Mevcut durum sonrası heyelan problemleri

24 nisan 2024 tarihinde Gümüşhane'nin Kürtün ilçesinde Kürtün Barajının yakınlarında yamaçta heyelan oluştu. Tonlarca toprak hareketlenerek, karayoluna akmıştır (URL-2).

25.mart.2024 Yukarı Kürtün Gurup Yolu Sevincek Mevkiinde uzun yıllardır devam eden toprak kaymaları vatandaşları endişeye sevk etmektedir. Alanda yaşanması muhtemel büyük bir heyelanda devasa kütlelerin Kürtün barajını ani olarak dolduracağı ve bu durumun çok ciddi sorunlara yol açabileceği değerlendiriliyor.

Kürtün Barajının yapılmasının ardından baraj suları altında kalan eski yolda güzergah değiştirilmiş 22 köy, onlarca mahalle ve yüzlerce yaylaya ulaşım sağlayan gurup yolu yeni güzergahından hizmet vermeye başlamıştı.

Hizmete açıldığı günden beri baraj gölünün üst kısmında bulunan Sevincek mevkiinde her yıl heyelanlar yaşanırken, yolda oluşan bozulmalar Gümüşhane İl Özel İdaresi ekipleri tarafından onarıma tabi tutuluyor. Asfalt zeminde zaman zaman onlarca santimetreyi bulan çatlamlar geçici olarak çözüme kavuşturulurken nihai çözüm noktasında yapılması gereken çalışmalar ise bir türlü başlatılmıyor.

Konunun uzmanları tarafından heyelanlı bölgenin ciddi sorunlara gebe olduğu dile getirilirken, yüzeysel bir heyelandan ziyade kütleli bir hareket olduğunda baraj ve barajın alt bölümünde

yer alan yerleşim yerlerinde telafisi imkansız kayıpların olabileceği öngörülüyor (URL-3).

3.2,Galyan vadisi projeleri

3.2.1.Yetkililerle yapılan görüşmeler

Baraj inşaatı esnasında bölgedeki insanlar ve çevre ile alakalı sorunlar nelerdir?

Atasu Barajı İçme suyu amaçlı olmasından dolayı uygulama evresine olmasına karşın ÇED Raporu hazırlanmış olan barajlarımızdan biridir.

Öncelikli olarak inşaat evresinde, baraj alanı tarımsal arazi ve yerleşim bölgesi ağırlıklı olmasından dolayı, bazı hanelerde patlamalardan kaynaklı çatlaklar endişe oluşturdu. Fakat bu direkt olarak görünen bir etkidir. Çevresel etkilerde bir süre sonra gerçekleşebilecek ve başta hemen anlaşılmayan etkiler de vardı. Bu etkiler zamanla çözülmesi olanaksız sorunlar oluşturabilir. Bundan dolayı; kalyon deresinin patlatma, kazı işlemleriyle baraj rezervuar ve aksının oturduğu vadinin darlığı ve dikliği, heyelana uygun bir yapıda olmasından dolayı malzemenin depolama problemleri esnasında kirlenmesi, dere suyunun içme suyu olarak kullanılması, bundan beslenen kuyulardan su sağlayan yerleşimlerden dolayı sakıncalar oluşturacağı belirtilebilir....Ancak şu da ikinci plana atılamaz: Şimdi Değirmendere suyunun çevre yerleşimlerden dolayı kirliliği fazladır, bundan dolayı Galyan Deresi'nin kirliliği bunun yanında önemsenemez durumdadır...Bunun için su malzeme çökertilip ve aşırı klorlanıp topluma zararlarını önlenmek için çalışmalar yapıyoruz fakat klorun artmasının insanların sağlığına zararları vardır. Bundan dolayı barajın hızlıca bitirilmesinin arıtma

tesisinin faaliyete geçmesi için önemi büyüktür...Zira arıtma tesisi durgun suya göre planlanmıştır, şimdi tam anlamı ile fonksiyon görememektedir...

Baraj ile alakalı olarak; malzeme ocaklarında meydana gelen patlatmalar yeraltı sularında kirlenme, yok olma vb. olaylara yol açabilecektir, ayrıca yer değiştirmek suretiyle farklı kayma açısı yüksek zeminlere ulaşp duraylılığa da zarar verebilir, yeni heyelanlara yol açabilir.

Atasu Baraj İnşaatı esnasında yapılacak işlemlerdeki patlatma standartlarıyla uzaklıkların içme suyu kontrol yönetmeliğine uygun oluşunun denetlenmesi baraj inşaatında içme suyu için kullanılmakta olan Galyan Deresi'ndeki muhtemel etkilerin azaltılması için oldukça kritiktir. Baraj işletme prosesinde içme suyu için yapılan barajlarda koruma mesafeleriyle içme ve kullanma suyu kontrol yönetmeliğinin izlenmesi, ÇED Raporu'nun bu süreçteki denetimi de en kritik husustur.

3.2.2. Yapılan çalışmalar

Tablo 14'de Galyan vadisi yakın ve uzak çevresi hakkında bilgiler listelenmektedir.

Tablo 14: Galyan vadisi yakın ve uzak çevresi

Doğal Çevre (cansız)	<p>Baraj rezervuarında kalacak araziler genellikle ormanlık ve tarım açısından nitelikli araziler değildir. İnşaat sahaları rezervuar alanı ve malzeme sahaları flora ve fauna bakımından tipik yöresel özelliklere sahip, insanların müdahalesiyle (iskan, tarım vb) doğal formunu kaybetmiş, değişik özellikler gösteren bir formda değildir.</p> <p>Atasu Barajı bent yerindeki yamaçlarda ve yamaç eteklerinde yer yer (3,00-7,00)metreye kadar kalınlaşabilen kumlu, çakıllı, killi yamaç molozları vardır. Baraj göl sahasında, Temelli Köyü, Marabioğlu Mahallesi ve Bibat Mahallesi etrafında en çok 8,00metre kalınlığa sahip yamaç molozları vardır.</p> <p>Temelli köyü heyelanının topuk kısmı (330-340)metre kota dek inmektedir, söz konusu kot 320.60 metre olan baraj en fazla su kotunun çok üzerinde kalmaktadır. Anakol Vadisi'nde Bibat Mahallesi heyelanının topuk kısmının, Kalyan Deresi talveg kotuna dek indiği düşünülmektedir fakat yapılmış olan sondajların sonucunda, baraj göl sahası kuyruk suyu bölümündeki bu kütlenin, baraj gölü suyuyla dolduğu zaman bir kısmının aktifleşebileceği düşünülse de meydana gelecek dalgaların baraj gölünde sönmüneceği ve baraj gölüne negatif bir etkisinin olmayacağı düşünülmektedir</p> <p>Göl sahasında Kalyan Deresi vadisi sağ yamacıyla Temelli Deresi vadisinin iki yamacında (Marahioğlu ve Küçükalioglu çevresi)temel kaya üstü örtü tabakası biçimindeki yamaç molozlarında, göl suyla dolduğu zaman meydana gelebilecek yamaç molozu akmaları kitlesel boyutlara varmayacaktır. Atasu Barajıyla kaybedilen arazilerin dağılımı; Sulanan Toplam Araziler 0,4, Taban Araziler 6, Meyilli araziler 59, Çalı Alanı (Bozuk Baltalık) 1, Çalılık ve Boş Araziler 29, Tarım dışı araziler 4,6'dır.</p>
Doğal Çevre (canlı)	<p>30 ha'lık K-1 Kaya gereç sahasının işletiminden dolayı elden çıkarılacak ormanlık saha işletim sonunda toprak serimiyle iyileştirilerek ağaçlandırmaya müsait duruma getirilip kısa-orta vadede eski halini alması temin edilecektir.</p>

Yapılanmış Çevre	<p>K-1 kaya gereç sahasının işletimi Kuştu manastırı başta olmak üzere yakın yerleşimlerle çevreye herhangi bir negatif etkisi olmayacaktır, basamak biçiminde ve gecikmeli kapsül kullanılmak suretiyle, emniyetli patlayıcı maddelerin miktarına bağlı kalmak suretiyle gerçekleştirilecektir. Taş ocağı işletimine başlanacağına gerçekleştirilecek ilk patlamada manastıra vibrometre cihazı yerleştirilip partikül sürati ölçülecektir ve ölçüm değerinin standart ve alan yazına uygunluğu kanıtlanacaktır.</p>
Sosyal Çevre	<p>Proje alanındaki toprak sulu veya kuru tarım açısından müsait değildir fakat toplumsal ve ekonomik yapıdan dolayı tarıma açılan arazi özelliğindedir.</p> <p>Proje kapsamındaki özel mülkiyetlere ait araziler ve az sayıda münferit binalarla yapılar kamulaştırılacaktır ve yeniden yerleşim sorunu ileri seviyede değildir. Bunun yanı sıra rezervuar içerisinde kalacak mezarlıklar depo alanına nakledilecektir.</p> <p>Temelli Deresi (Kuştu Deresi) vadisindeki iki yamaçta, Kalyan Deresi vadisindeyse bilhassa sağ yamaçta her iki vadide de değişken kalınlıklara sahip bitkisel toprak+çakıllı kilden oluşan yamaç molozları temel kaya üstünde örtü şeklindedir. Çevredeki insanlar genel olarak, söz konusu örtü tabakasının önemli bir kısmını tarımsal arazi şeklinde kullanmaktadır ve örtü kalınlığı; kalyan deresi sağ yamacında 7.00 metre Temelli Deresi'nin her iki yamacındaysa en fazla 8.00 metreye dek varmaktadır.</p>

Kaynak: Anonim, 1994

3.2.3. Mevcut raporlar ve jeolojik araştırmalar

Tablo 15’de mevcut süreçte yapılan çalışmalar, Şekil 18 Atası barajı planı verilmektedir. Şu anda Trabzon içme ve kullanma suyu, Esiroğlu’da Değirmendere yüzeysel sularının regülatörle alınarak Arıtma tesisinde arıtılması ile sağlanmaktadır. Arıtma tesisine Atası barajı planlama evresindeki kuruluşumuzca bir arada ele alınmıştır, (durgun suya nazaran) fakat arıtma tesisine Atası Barajı

eş zamanlı hizmete alınamamıştır. Bundan dolayı halihazırdaki içme suyu arıtma tesisi zaman içinde su kalitesi bozulan ve kalite salınımı gösteren Değirmendere yüzeysel sularını arıtma konusunda teknik ve ekonomik anlamda yeterli değildir.

Tablo 15: Atasu Barajında Gerçekleştirilen Faaliyetler

Yapılan Faaliyetler	Yıl	İlgili Kurum
Planlama-Projelendirme	1991	DSİ
ÇED Raporu	1994	DSİ



Şekil 18: Atasu Barajı

3.2.4. Mevcut durum sonrası heyelan problemleri

Atasu barajı su topladıktan ve tüneller yapıldıktan sonra Esiroğlu’ daki gelişmeler üzerine harekete geçen “TMMOB Trabzon İl Koordinasyon Kurulu, bölgede heyelan riski ile ilgili çalışmasını tamamladı. Jeoloji, Jeofizik, Harita ve Kadastro, Çevre ve İnşaat Mühendisleri Odaları”nın çalışmasıyla hazırlanmış olan ve çarpıcı sonuçlarla önemli notların bulunduğu raporda şu ifadeler vardır;

Heyelan riskine sahip arazide pek çok sahada 1 m'ye ulaşan kayma, çökme ve akma biçiminde toprak hareketlerine rastlanmıştır.

Bu hareketlerle birlikte yerleşimlerde farklı ölçeklerde beton zeminlerle duvarlarda açılma, çökme, kırık, istinat duvarlarında şişme ve yarıklar, bunun dışında üst kotlardan kopan kaya parçaları vardır.

Yoğun yağışla beraber harekete geçmesi olası kaya blokları belirlenmiştir. MTA kayıtları çerçevesinde bölge, eski bir heyelan kütlesi üstündedir.

Baraj gölünden heyelan riskine sahip olan bölgeye su sızıntılarının olabileceği ifade edilen açıklamada; "Riskli bölgenin yaklaşık 1.5-2 kilometre güneyinde bulunan Atasu Baraj alanı ortalama 310 metre, heyelan bölgesi ise yaklaşık 270 metre rakımdadır. Bölgenin jeolojik yapısı göz önünde bulundurulduğunda baraj rezervuar alanından heyelan bölgesine doğru su sızıntısının olabileceğine ve bu durumun heyelanı tetikleyebileceğine yönelik ciddi kuşku taşınmaktadır. Çeşitli tarihlerde sızıntı takip edilmekle birlikte bu sızıntının barajdan kaynaklanıp kaynaklanmadığı bir dizi çalışma ile kesin olarak tespit edilmelidir" denilmek suretiyle bölgenin heyelan riski taşıdığı ifade edildi, tehlikenin riske dönüşmemesine yönelik olarak bölgede daha ayrıntılı ölçümlerin yapılıp tedbirlerin hızlıca yaşama dökülmesi gerektiği belirtildi. Şekil 19' de söz konusu mevki de tehlikeli yapılardan biri verilmektedir (URL-4).



Şekil 19: Atasu Barajı yakın yerleşimlerde baraj inşaatı sırasında oluşan çatlaklar

3.3.Ayıntepe çayır yolu, II. merhale projesi (demirözü barajı) çalışma süreci

3.3.1. Yetkililerle yapılan görüşmeler

1-Baraj inşaatı esnasında meydana gelen sorunlar nelerdir?

Bu kırsal yerleşimleri birbirine bağlanmasını sağlayan ulaşım yollarıyla köprülerin rezervuara gelmesinden dolayı yok olacağı, bilhassa kıyı çizgisindeki köylerin birbiri ile irtibatının kesileceği bilinmektedir. Bunlar ekonomik ve toplumsal pek çok soruna neden olabilecektir. Söz konusu yerleşimlerde ya da yakınlarında arazi kayan ya da killi zemin ise, dinamik etkiden ve gürültüden dolayı ve rezervuar oluşumunun ardından kilin su ile şişerek sürüklenmesine yol açacaktır. Veya rezervuar manzara ve iklim açısından bu yakın yerleşimler daha önemli olabilecektir.

Demirözü baraj sahası tarımsal arazi ağırlıklıdır. Tüm barajlarda gerçekleşen göçler Demirözü Barajı'nda da söz konusudur. Fakat sulama amaçlı olmasından dolayı bölgede barajdan dolayı göç fazla değildir veya yöre içerisinde. Kırsal yerleşimlerde kamulaştırma bedelini alan pek çok insan yakın köylere göçerek, tarım ile geçinmekte. Tarımsal araziye verilmiş olan kamulaştırma bedelinin azlığı, büyük kentlere göçmelerine ve yerleşmelerine de olanak vermemektedir. Bunun yanı sıra proje alanındaki köylerin senelerdir tek geçim kaynağı tarımla hayvancılıktır. Malzeme temini tarlalardan olduğundan yerleşimleri etkileme ihtimali fazladır

Lori deresinin üstünde,1680 metre talveg kotunda ve Lori Vadisi'nin ovaya açıldığı yere yakındır. Çamur Barajı'ndan gelen sulama fazlası suları depolayacaktır. Bayburt' a bağlı Demirözü bucağının 4.00 metre civarında güneyinde yer almaktadır.



Şekil 20: Demirözü baraj göl alanında doğal ve yapılaşmış çevre

Baraj aks yeriyle rezervuar kıyı çizgisine yakın yerleşimler; Karayaşmak, Zarani, Cenci, Aşutka, Aşağı Lori'dir. Rezervuara rastlayan yollarla köprülerin kapanması ile birbirleri ve merkez ilçe ile bağlantıları kesilmiştir.

3.3.2. Yapılan çalışmalar

Tablo 16' da Demirözü baraj proje alanı yakın-uzak çevresindeki çevre analizleri verilmektedir.

Tablo 16: Demirözü baraj proje alanı yakın-uzak çevresindeki çevre analizleri

Çevre	Proje alanında; Genellikle geniş ovalardan müteşekkil proje alanında, çayırırlarla meralar geniş bir sahayı kapsar. Önemli sayılabilecek tarımsal arazileri su altında bırakmasına karşın, Çayırlyolu Ovası'nın tümünü sulayabilmek üzere yeterince suyu depolayabilecek en müsait alışveriş yeri Demirözü Barajı yerindedir
Doğal	Proje Yakın Uzak Çevresinde; Dağların yüksek kısımlarında bulunmaktadır ve senenin 2-3 ayında yeşildir. Demirözü bucağını daha güney yer alan köylere bağlayan stabilize yol Lori Deresi Vadisi'nden geçtiğinden, baraj yerine ulaşım kolayca sağlanmaktadır.
Yapılmış Çevre	Yakın ve Uzak Çevresinde; Çok az sayıda Bayburt dolayında kale, kilise, cami, medrese ve hamamlar vardır, proje alanında belli bir tarihsel yapıt yoktur.

Sosyal Çevre	<p>Proje sahasında; Köylerde 1975-80 yıllarında azalma görülmüştür. Söz konusu köylerden büyük kentlerin merkezlerine önemli göçler olduğu anlaşılmaktadır. Proje alanının yakın çevresindeki köylerin neredeyse tamamında ilkokul vardır. Sağlıkla ilgili hizmetler yeterli değildir. İnsanların önemi bir bölümü sağlıkla ilgili hizmetlerin Trabzon ile Erzurum'daki hastanelerde yapılmaktadır. Doğu Anadolu'yu Karadeniz'e bağlayan Trabzon-İran transit yolu proje alanını katetmektedir ve bu sayede havzanın öteki merkezler ile bağlantısını temin etmektedir. Proje alanında temel uğraş tarım, hayvancılık ve ticarettir. Maden açısından proje alanı çok zengindir. Bakır, emir, maden kömürü, linyit damarları bulunmaktadır. Şahıs işletmesi şeklinde ve ilkel yöntemler ile işletilmekte olan linyit ocaklarından çıkarılan kömür işlenmek ve pazarlanmak üzere Erzincan ile Erzurum'a yollanmaktadır.</p>
--------------	--

Kaynak: Anonim,1992

3.3.3. Mevcut raporlar

Tablo 17'de Demirözü barajı yapılan çalışmalar verilmektedir.

Tablo 17: Demirözü barajında gerçekleştirilen işlemler

Yapılan Çalışmalar	Yıl	İlgili Kurum – Yapılan Çalışmalar
Planlama-Projelendirme	1992	DSİ
İhalesi	(13.03.1996) 2008	Ece-Tur-Ece Turizm İnş. Tic. Ve Mağz. İşl.AŞ.
İnşaat	2003	Memba batardosu, % 94 civarında gerçekleştirilen köy irtibat yolları bitirilmiştir. Baraj aks yerine ait temeldeki problemlerden dolayı jeolojik çalışmalar sürmektedir.
İnşaat	2005	Temelde sızma problemleri ve Kil çekirdekli kaya dolgu olarak projelendirilen baraj tipinin değiştirilmesi, Barajın iptal edilme düşüncesi
Su Tutma	2011	DSİ (ayburtpostasi.com.tr/gundem/demirozu-barajigun-sayiyor-h3751.html)

3.4.Çoruh vadisi-mevcut ve ilerleyen süreçlerde jeolojik sorunlar

Tablo 18’ de Çoruh Vadisi Yapılan Çalışmalar verilmektedir.

Tablo 18: Çoruh Vadisi yapılan çalışmalar

BARAJ-REGÜLATÖR	YAPILAN ÇALIŞMALAR (Planlama-ÇED)
Yusufeli	Master Plan (1982), Kesin Proje, (1987)ÇED, (2005)Yusufeli Yerleşim Planı (2005)
Artvin	Master Plan (1982), Kesin Proje, (1987)
Muratlı	Master Plan (1982), Planlama
Bayram	Master Plan (1982), Planlama ,ÇED
Bağlık	Master Plan (1982), Planlama
Borçka	Master Plan (1982), Planlama
Deriner	Master Plan (1982), Planlama ÇED

Mevcut süreçte Planlama projelendirme sürecinde olan Yusufeli barajı 2007 sonrası jeolojik problemler ve süreçler şunlardır;

İnşaat başlangıç aşaması;Yususfeli baraj şantiyesinde sel ve heyelan ,4 ölü (URL-5).

Yeni yerleşim yerinde patlatmalar nedeniyle heyelan

Yeni ilçeye ulaşım için yapılan viyadük inşaatı sırasında heyelan (URL-6).

İnşaat aşamasında taşınan köylerde heyelanlar (URL-7).

Sonuçlar

Grafik 1’de Doğu Karadeniz havzasında ki barajlarda mühendislik jeolojisi sorunlarının ağırlıklı olarak enerji amaçlı barajlarda ve heyelan problemi olduğu görölmektedir.



Grafik 1: Araştırma alanında jeolojik problemler

Tablo 19’ da Doğu Karadeniz havzasında araştırma yapılan süreçte jeolojik sorunlar, süreçleri ve önlem çalışmaları özetlenmektedir. Süreçlerde problemlerin çözümleri için İnşaat mühendisi ve jeoloji mühendisi birlikte çalışmalıdırlar.

Tablo 19: Uygulama aşamasında ki barajların mühendislik jeolojisi sorunları listelenmektedir.

Baraj Adı- Amacı	Süreç- Yıl	Mühendislik Jeolojisi Sorunları	
		Yapılan Çalışma	Problem
Atasu Barajı- İçme suyu	İşletme	Su tutulduktan 1 yıl sonra	<ul style="list-style-type: none"> • Maçka Esiroğlu mahallesinde evlerde çatlaklar, AFAD raporuna göre 4 evde oturamaz,57 hanede oturulması sakıncalı raporu • Yeni su kaynaklarının ortaya çıkması, • TMMOB tarafından hazırlanan raporda, Rezervuardan sızabilecek suların zemini harekete geçirebileceği
Kürtün- Enerji	İnşaat	Baraj gövde inşaatı sırasında patlatmalar	<ul style="list-style-type: none"> • 1987 yılında (barajın başlangıç yılı) eski kürtün' de sel nedeniyle oluşan heyelan, kamulaştırma ve yerleşmeler • Baraj aks yerinde kazı ve dola savak tünel inşaatı sırasında oluşan heyelanlar • Patlatmalar nedeniyle yamaç stabilitesinde bozulmalar ve baraj yakın çevresinde heyelanlar ve önlem çalışmaları, • Baraj tipi kil çekirdekli dolgu baraj olarak planlanan ancak inşaat sürecinde Araköy de yaşanan sıkıntılar nedeniyle baraj tipinin kaya dolgu olarak değiştirilmesi
	Su tutma Süreci	Rezervuarın işletme	<ul style="list-style-type: none"> • Göl alanı yamaçlarında yerleşimlerin ve mevcut yolun

		kotuna kadar su toplaması	göl alanına kayması, kamulaştırmalar <ul style="list-style-type: none"> • Yeni karayolunun üst kota alınması ve tünel inşaatı ile kamulaştırmalar
Demirözü Barajı	2003 İnşaat	Sızdırmazlık perdeleri Baraj tipinin değiştirilmesi (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • Gövde aks temel zemininde sivilaşma problemi, • Seyrek,2003 yılında ki Tez çalışmasında sivilaşırma potansiyeli olan barajlarda baraj topuk bölgesinde ve önünde ki zeminde iyileştirme çalışmalarının Demirözü barajı için uygulanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. (Toprak dolgu barajların zemininde sivilaşma problemi ve bir uygulama, Evren seyrek)
Torul Barajı		İnşaat aşamasında patlatmalar	<ul style="list-style-type: none"> • Yerleşim yerlerinde patlatmalara bağı zemin oturmaları ve çatlaklar
Yusufeli barajı		İnşaat Aşamasında	<ul style="list-style-type: none"> • Yeniden yerleşim bölgeleri için yapılan yol çalışmaları ve viyadük inşaatı sırasında patlatmalara bağı heyelan • İnşaat sırasında sel ve yağışlara bağı yaşanan heyelan

Şekil 21' de Araştırma alanında süreçlere bağı jeolojik sorunlar verilmektedir.

	HEYELAN	YERALTISULARI DEĞİŞİMİ	EROZYON	OTURMA	KAYA DÜŞMESİ	SIZMA	ÇEVRE YERLEŞİMLERDE OTURMA VE ÇATLAK
İnşaat Öncesi Süreç	●					●●●	
İnşaat	●	●	●	●	●		●
Su tutulması	●	●			●	●	
İşletme	●	●			●	●	

Şekil 21: Süreçlere bağlı jeolojik sorunlar

1. İnşaat öncesi süreç

Şekilde 21’de görüldüğü üzere, İnşaat öncesi süreçte Heyelan sorunları yaşanmaktadır. Bunlar Doğal ve Yapay olarak değerlendirebiliriz;

Doğal Nedenler;

Kürtün ve Yusufeli barajlarında olduğu gibi. Vadilerin dik olması ve ani yağışlara bağlı proje sahasında heyelanlar oluşabilmektedir.

Yapay Nedenler;

Bir kısmı da Kamulaştıma ve Toprak kullanımında farklılaşmaların başlaması, yeniden yerleşimler yerlerinde çıkan sorunlar olarak insan eliyle yapılan çalışmaların (yol,köprü,viyadük,konut vs..) başlamasına bağlı olarak gelişebilmektedir.(Heyelan,oturma,kopma,kayma,akma,erozyon)

2.İnşaat aşaması

Bu süreci jeolojik sorunlar açısından iki aşamalı düşünmek gerekir. Su toplama öncesi ve su toplama sonrasıdır .Gerek yapılan çalışmalar nedeniyle gerekse suyun zeminle etkileşimi sonucu beklenmeyen durumlarda jeolojik açıdan farklılıklar görülmektedir.

Baraj inşaatının başlaması ile Toprak Kaybı ve kullanımında değişime bağlı heyelan ve erozyona neden olan çalışmalar ; Ağaç kesimleri Yangınlar Kamulaştırmalar, Kazılar, Patlamalardır.

Stabilite, toprak kalitesi ,strüktürü ve özelliklerinin değişmesi heyelana neden olan çalışmalar makinelerin ağırlığı, beton şantiyelerindeki çalışmalarla makinelerden zemine sızan kirleticiler, tedbir alınmadan gerçekleştirilen kazılar, patlamalar, malzeme alımlarıdır.

Yer altı Suyu ve jeotermal Kaynaklarda değişim; Zemin cinsine bağlı olarak zeminde oturma ve karstik zeminlerde boşalma gibi farklı mühendislik jeolojisi sorunları yatabilecek olan bu durum, İnşaat süresince suyun çekilme (drenaj) işlemleri, Zemine düşen-

inşaat sırasında kullanılan- maddelerin sızması ile sular kirlenebilir (Süzülme), İnşaat sırasında Yüzeysel suların kirlenmesi nedeniyle meydana gelmektedir.

Yüzeysel sularda değişim; Yüzeysel suların kıyı çizgisi değişimine neden olan bu durum zeminin cinsine bağlı olarak zeminde kayma problemi ve Toprak erozyonu problemlerine neden olabilmektedir. Kazılar, Beton ile agrega şantiyelerinden gelen sular, Şantiyeden gelen yağ atıklarıyla kirli sular, Şantiyenin kanalizasyonla yağmur suları ,Şantiyeden gelen sıcak sular, Batardo ile derivasyon inşaatları buna yol açan çalışmalar arasındadır.

Gürültü ve Titreşim Yoğunluğu; Heyelan, Zeminde oturma, Erozyon gibi mühendislik jeolojisi problemlerine neden olan bu durum Malzeme Ocaklarındaki patlamalar, Patlama-kazılma-taşınma-depolama-röpriz sahalarında toplanması-dolgu yerlerine serilmesi esnasında meydana gelen gürültüler neden olmaktadır.

Bitki Örtüsü;. Baraj uygulamalarında İnşaat işlemleri sırasında ki heyelan ve erozyonun temel nedeni , Ağaç kesilmesi, Yangınlar gibi nedenlerle bitki örtüsünde ki değişimdir.

Suyun Tutulması ve İşletme Süreci

Bu süreçte yaşanan jeolojik sorunlar şunlardır;

Kıyı çizgisinde suyun alçalma ve yükselmesine bağlı oluşan kaymalar ve erozyon

Büyük kaya parçası ve heyelan durumlarında baraj gövdesinde dalga etkisi

Toprak kullanımında meydana gelen değişimlere bağlı erozyon ve heyelan

Yeraltısuyu ve jeotermal kaynaklarda değişim

Baraj göl alanında sızmalar ve borulanma

3.Planlama süreci

Bu süreçte Tüm verileri değerlendirmek ve en uygun baraj yerini ve tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Baraj ekseniiyle ilgili olarak vadinin en dar yeri baz alınmak koşuluyla, Hazne hacminin gövde hacmine oranı en büyük yapan yer “baraj aks yeri” şeklinde belirlenen yerlerin, jeolojik veriler açısından incelenmesi gerekmektedir. Bu aşamada, Jeolojik verileri değerlendirebilme ve tasarımda etkili olacak verileri toplayabilme, gereken veriler varsa onları tespit edebilmek çok önemlidir. Bu kapsamda inşaat mühendisi, jeoloji mühendisi ile arazi ve büro çalışmalarını birlikte yürütmesi gerekmektedir. Karar aşamasında projenin jeolojik veriler açısından ekonomik uygulanabilir olması amaçlanmaktadır.. Planlama sırasında jeolojik açıdan Rantabilite açısından dikkat edilecek, ekonomik analizi etkileyecek ve inşaat mühendisinin tasarım kararlarında jeoloji mühendisi ile ilişki kuracağı çalışmalar şunlardır;

Baraj aks yerinin zemin özelliklerine bağlı baraj tipi seçimi

Dolusavak ve baraj temelinden çıkan malzemenin gövdede kullanılabilme durumu,

Baraj inşaatında kullanılacak malzeme teminin yeri ve mesafesi,

Malzeme temini sırasında proje sahası uzak -yakın çevresinde ki yerleşimlerde çıkabilecek jeolojik sorunlar

Belirlenen aks yerinde, ünitelerde ve rezervuar alanında olası Jeolojik çalışmaların maliyeti

ÇED Raporunda olası jeolojik sorunların maliyeti (Zorunlu yerleşim bölgelerinde jeolojik durum ve yapılması muhtemel çalışmalar)

Bölgenin sediment ve Erozyon durumu, inşaat ve su tutma çalışmalarının erozyona etkileri ve heyelana etkileri, Önlem çalışmalarının maliyeti

Bölgede topografik yapı, yağış ,inşaat ve su tutma durumunun heyelana olası etkileri,

Proje aşaması baraj gövdesi ve üniteleri için daha detaylı bir çalışma gerektirmektedir. Özellikle tatbikat projelerine yakın kati proje çalışması yapabilmek inşaat aşamasında geriye dönüşümü çok zor olan sorunların ortadan kalkmasını sağlayacaktır. Aksi halde Araştırma alanında görüldüğü üzere baraj tipinin değişmesi ve yapılan jeolojik çalışmaların maliyeti ve süresi açısından baraj rantabilitesi planlama raporunda verilen değerde olmayacaktır. Proje çalışmalarında öncelikle Arazide ünitelerin yerleri belirlenir. Yerlerinin uygunluğu onaylanır.

A.Baraj Tipi ve yerine yön veren jeolojik veriler; Baraj aks yerinde ki zemin cinsi ve baraj tipi arasında ki ilişkinin kurulması, kayaç cinsine bağlı en uygun baraj tipinin belirlenmesi ve dikkate alınması gereken jeolojik veriler, Baraj tipi, vadi şekli, vadide mesnetlenme durumu ve bu bölümlerde zeminin yapısı

B.Baraj ünite yerleri ve tasarımı etkileyen jeolojik veriler; Tünellerde kaplama türü ve jeoloji ilişkisi, Denge bacası yeri ve

jeoloji ilişkisi, Cebri Boru Güzergah seçimi ve yerleştirilmesi, Santral yeri seçimi

4.Proje aşaması

İkinci aşama kati proje aşamasıdır. Kati proje çalışmaları ihale bedelinin tespiti açısından önemli bir yer teşkil ettiğinden tatbikat projelerine yakın olması çok önemlidir. Bu yakınlığın sağlanabilmesinde jeolojik verilerin eksiksiz ve doğru yapılması; yapıların yer boyut ve tip tayinini yapacak olan inşaat mühendisi açısından önem arz etmektedir. Proje aşamasında yapılan hidrolik çalışmalardan sonra yükseklik, tip ve yer son halini alır. Ancak bazı durumlarda ,Kati proje çalışmaları sırasında baraj yeri ve tipi proje kriterleri nedeniyle değışebilmektedir. Bu bağlamda yapılacak jeolojik rapor değışim nedenleri şunlardır;

Baraj aks yeri değışiminde, Rezervuar ve gövde hacmi, yandan alışlı dolusavak tipinde dolusavak yeri ve enerji barajlarında diğere ünite yerlerinde de değışim olabileceğinden, bu durumlar Planlama raporunu jeolojik veriler açısından etkilemektedir.

Baraj tipi değışimi baraj gövdesinde kullanılacak malzeme temin yeri, malzeme deneyleri, dolgu barajlarda gövde de sızma durumları açısından jeolojik veriler maliyet değışimi getireceğinden planlama raporu yenilenmelidir. Bu bağlamda proje ve planlama çalışmaları inşaat sürecine kadar birbirini etkileyen ve çok dikkatli araştırılması gereken çalışmalardır.

Araştırma alanında inşaat sürecinde ki jeolojik sorunlar ve nedenleri ortaya konularak, planlama ve projelendirme çalışmaları yürüten inşaat ve jeoloji mühendislerine iki disiplinin ortak çalışma süreçlerinde ışık tutmaktadır.

.....

Kaynaklar

Anonim (1978). "Regulations for implementing the procedural provisions of national environmental policy act". Council on environmental Quality, Executive Office of the president, USA.

Anonim (1982). *EİEİ Çoruh Havzası master plan*. Ankara.

Anonim (1983). *Keban Dam reservoir limnological report*. DSİ Matbaası.

Anonim (1992). *Groundwater*. UNESCO Environment and Development Briefs.

Anonim (1994). *Water policies and agriculture.*, Rome: FAO.

Anonim (1995). *DSİ, 22. Bölge Müdürlüğü, pazar-fırtına, Çamlıhemşim regülatörü ve Hes planlama raporu*.

Anonim (1999). *Köse Barajı ve sulaması projesi ÇED ön araştırma raporu*. DSİ 22.Bölge Müdürlüğü

Anonim (2002). *DSİ, 22. Bölge Müdürlüğü, Kürtün Barajı göl alanı jeoteknik araştırma raporu*.

Anonim (2005). *DSİ, Yukarı Kelkit Projesi, Köse Barajı sulaması, revize planlama raporu*. Trabzon.

Anonim (2006). *DSİ Genel Müdürlüğü, ÇED raporu, yönetici özeti*. Ankara: Encon Çevre Danışmanlık Ltd.Şti.

Berga, I. (1999). Benefits of dams in the flood control. M. Turfan (Ed.), *67th Annual Meeting of ICOLD, Workshop on Benefits of and Concerns About Dams*, Antalya, (s. 181-191).

Briddle, R. C. (1999). Benefits of dams to British society. *67 th Annual Meeting of ICOLD, Workshop on Benefits of and Concerns About Dams*, Antalya, (s. 3-14).

Çataklı, O. N. (1967). *Büyük bentler*. İTÜ İnşaat Fakültesi Ders Notları, İstanbul.

Shenaouda, W. (1999). Benefits of and concerns about aswan high dam case study. *67 th Annual Meeting of ICOLD*, Antalya.

URL-1 <https://www.internethaber.com/heyelan-bolgesinde-baraj-yapildi-1028622h.htm>

URL-2 <https://www.yirmidort.tv/gundem/gumushanede-baraj-yakininda-heyelan-ani-kamerada-174149>

URL-3
<https://www.gumuskoza.com.tr/haber/19698133/gumushanenin-kurtun-ilcesinde-dag-baraja-dogru-kayiyor>

URL-4 <https://www.evrensel.net/haber/289648/mackada-heyelan-korkusu>

URL-5 <https://www.iha.com.tr/haber-yusufeli-baraji-santiyesinde-sel-ve-heyelan-boyle-goruntulendi-855972>

URL-6 <https://www.haberturk.com/yusufeli-nde-yapimi-suren-viyaduk-yakinindaki-heyelan-kamerada-3585272>

URL-7 <https://haber.sol.org.tr/haber/koyluler-uyarmisti-yusufeli-baraji-nedeniyle-tasinan-koyun-yeni-yerinde-heyelan-357578>

BÖLÜM V

İçme Suyu Arıtma Tesisinin Openlca Yazılımı Kullanılarak Yaşam Döngüsü Değerlendirme (Ydd) Çalışması

Nurgül SOYAZ¹
Mehmet ÇAKMAKCI²

Giriş

Geçmişte su arıtma teknolojisi ekonomik ve teknolojik özelliklere dayanırken, günümüzde çevresel boyutlar da önemli bir unsur olarak kabul edilmektedir. Çevresel etkilerin çok daha önemli olduğunu benimseyen endüstrinin, bu sorunlarla başa çıkmak için bazı sorumluluklar alması gerekmektedir. Su arıtma endüstrisi, kaynakların tükenmesi, kimyasalların ve enerjinin kullanılmasıyla çevreye doğrudan veya dolaylı kirletici salınımı gibi çevresel

¹Yüksek Lisans Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye, Orcid: 0000-0003-4784-6006, soymaznurgul@gmail.com

²Prof.Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye, Orcid: 0000-0003-4784-6006, cakmakci@yildiz.edu.tr

etkilerden sınırlı bir alana kadar sorumlu olmaktadır (Kartikasari & Santoso, 2023, s. 3225).

Çalışmanın Amacı

Bu tezde, iki farklı Geleneksel İçme Suyu Arıtma Tesisi (İAT)'nin çevresel performansını iyileştirmek için 2022-2023 yılları arasında alınan gerçek veriler ile ISO 14040 (ISO, 2006a) ve ISO 14044 (ISO, 2006b) standartları kapsamında openLCA 2.2.0 yazılımı kullanılarak Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) çalışmasının gerçekleştirilmesidir. Bu çalışma ile iki tesisin (İAT-1, İAT-2) çevresel açıdan iyileştirilmesi hedeflenmiştir. İyileştirmeler için kullanılan kimyasallar ve enerji dikkate alınarak çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmanın gerçekleşmesi ile karar vericilere gelecekte tesisi daha sürdürülebilir kılmak için doğru adımlar atılmasında rehber bir literatür kaynağı olarak kullanılabilir.

Çalışmada uygulanan program openLCA yazılımı olup, veri tabanları Avrupa referans Yaşam Döngüsü Veritabanı (ELCD) kullanılır. Uygulanan Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme (YDED), ReCiPe 2016 Orta Nokta (H) yöntemidir (OpenLCA Nexus, 2017, paragraf 1).

Çalışmada, öncelikle YDD ilk aşaması olan amaç ve kapsam tanımlanmış, sistem sınırları ve fonksiyonel birim (işlevsel birim) belirlenmiştir. Bu çalışmanın amacı, global bakış açısıyla ve sistematik bir analiz ile su kalitesi dikkate alınarak iki klasik içme suyu arıtma tesislerinde kullanılan kimyasalların ve enerjinin çevresel etkisinin değerlendirmek ve çevresel açıdan iyileştirebilecek öneriler sunmaktır. Çalışmanın kapsamı, tesisteki bir ürünün veya sürecin tek bir aşamasına ait yaşam döngüsünün ele

alındığı yöntem “kapıdan kapıya (gate-to-gate)” yaklaşımı olarak belirlenmiştir (Demirer, 2011, s. 10).

ReCiPe Orta nokta (H) modellemede pek çok etki kategorisi vardır. Bu etki kategorileri “iklim değişikliği, ozon tabakasının incelmeye, insan toksisitesi, solunum inorganikleri, iyonlaştırıcı radyasyon, fotokimyasal ozon oluşumu, asitlenme, ötrofikasyon, ekotoksitesite, arazi kullanımı, kaynakların tükenmesi temelinde değerlendirilmiştir (Acero, Rodríguez, & Citroth, 2016, s. 8).

Çalışmanın son aşamasında ise envanter analizi ve etki değerlendirmesi aşamalarındaki bulgular birlikte değerlendirilerek, ilk aşama olan amaç ve kapsam tanımları ile ilişkili sonuçlar ortaya çıkarılmış ve yorumlanmıştır.

Yöntem

İAT-1 ve İAT-2 için, tesislerdeki yetkili kişilerden alınan envanter verileri ve openLCA programı ELCD veri tabanındaki hazır envanter verileri YDD programına girilerek YDED sonuçları alınarak yorumlanmıştır.

YDD aşaması; amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki değerlendirme ve yorumlama aşamalarından oluşur (Yılmaz, 2023).

Amaç ve Kapsam Tanımı

İlk adım çalışmanın amacını ve kapsamını belirlemektir. Bu aşama YDD çalışmasının tutarlılığına yardımcı olur (Yılmaz, 2023). Bu çalışmanın amacı, YDD çalışmalarının analizine dayanarak özellikle kimyasal madde ve elektrik enerjisi kullanımının çevresel etki analizini yapmaktır. İçme suyu arıtımında koagülasyon, flokülasyon, dezenfeksiyon ve sedimentasyon proseslerinde su

arıtma giriş sürecinden başlayarak faaliyet odağına göre aktivite biriminin girdi ve çıktılarının analiz edilmesiyle analiz gerçekleştirilir.

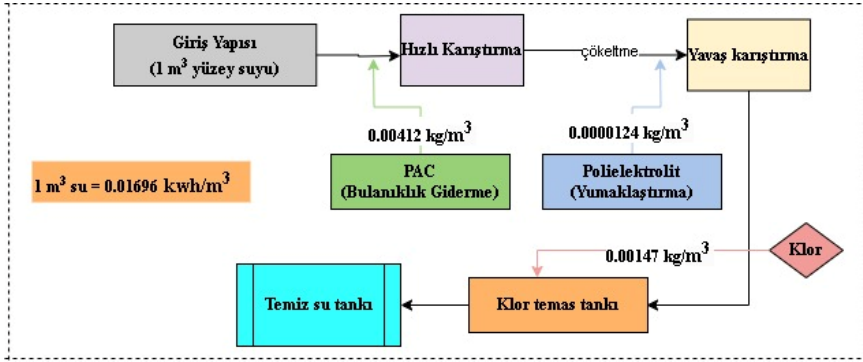
Sistem sınırları, bir ürünün hammaddesinin temin edilmesinden başlayarak üretim, kullanım ve geri dönüşüm aşamalarının hangilerinin çalışmaya dâhil edileceğini belirleyen aşamadır (Yılmaz, 2023). Bu aşamada girdiler ve çıktılar tanımlandı. Sistem sınırları belirlenirken, çalışmanın amacı açısından gerekli görülmeyen aşamalar sınırların dışında bırakılabilir (Yılmaz, 2023). Ancak, çalışmanın sonucunu etkileyebilecek tüm aşamaların sistem sınırlarına dâhil edilmesi önemlidir (Ordu, 2017, s. 8).

Bu çalışmada kullanılan kapsam, suyun tesise girişinden kimyasal kullanımı olan ünitelerin dahili ve tesiste kullanılan toplam enerji baz alınarak kapıdan kapıya kapsamıdır.

Etki kapsamı sınırlıdır. Çalışmada su arıtma prosesleri dahildir ama ham su çıkarma, pompalama, çamur yönetimi ve içme suyu dağıtımı ve yapı-inşaat hariçtir. Su arıtma tesisinin hizmetten çıkarma aşamasının ihmal edilebilir düzeyde olduğu düşünüldüğünden, birkaç istisna dışında çoğu malzemenin hizmetten çıkarılması hariç tutulmuştur. Diğer istisnalar kapsam tanımlama aşamasında daha spesifik olarak listelenmiştir.

Geleneksel içme suyu arıtma prosesleri bir çok aşamadan oluşmaktadır. Sudaki Demir-Mangan oluşumunu önlemek için ham suya, su alım girişinde ön klorlama yapılır. Ayrıca ham suda bulanıklığı gidermek ve hızlı karıştırma işlemini hızlandırmak için koagülant eklenir. Ham suyun pH değeri kontrol edilir ve pH düşükse kireç, yüksek ise sülfirik asit dozlanır (ihmal). Yavaş

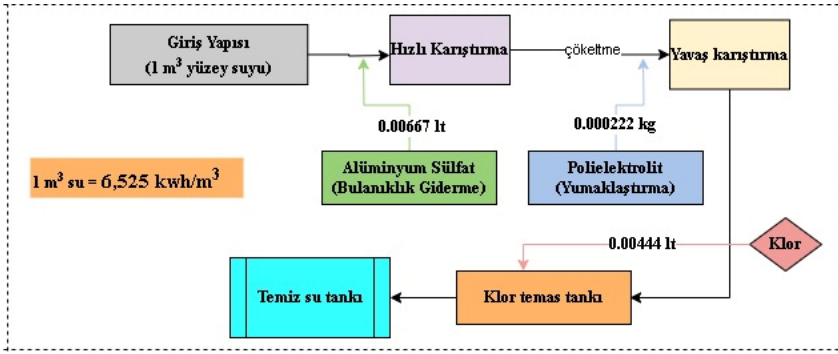
karıştırmada yumaklaşmayı hızlandırmak için polielektrolit ilavesi yapılır. Temiz su tankına alınmadan önce klor ile dezenfekte yapılır. Şekil 1’de çalışmada İAT-1 çalışma sınırları gösterilmiştir (Büşra Midilli, kişisel görüşme, Şubat 2024). Ek olarak, enerji tüketimi de sistem sınırlarına dahildir.



Şekil 1: İAT-1 YDD sistem sınırları

İAT-1’de 2023 yılında arıtılan su miktarı 20.292.497 m³/yıl’dır. Tesiste hidroelektrik santrali bulunmakta ve tesisin tüm enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Yılda tüketilen enerji 344088, 56 kWh/yıl’dır. Koagülasyon prosesi aşamasında Polialüminyum Klorür (PAC), flokülasyon prosesi aşamasında polielektrolit, dezenfeksiyon aşamasında klor kullanılmaktadır. Tesisten çıkan çıkan çamur ihmal edilecek kadar az olduğundan tesiste ölçülmemektedir ve herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Üretilen çamur ihmal edildiğinden sistem sınırına sedimentasyon prosesi dahil edilmemiştir. Yıllık arıtılan su miktarına göre kullanılan toplam kimyasal ürünler ve tüketilen enerji verileri 1 m³ suya göre hesaplanmıştır (Büşra Midilli, kişisel görüşme, Şubat 2024).

İAT-2’de 2023 yılında arıtılan su miktarı $8.212.500 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ’dır. Tesiste herhangi bir yenilenebilir enerji kaynağı kullanılmamaktadır. 1 m^3 su arıtımı için tesiste toplam $6,525 \text{ kWh}/\text{m}^3$ enerji tüketilmektedir. Koagülasyon prosesi aşamasında sıvı alüminyum sülfat, flokülasyon prosesi aşamasında polielektrolit, dezenfeksiyon aşamasında klor kullanılmaktadır. Şekil 2’de çalışmada İAT-2 çalışma sınırları gösterilmiştir (Mehmet Çakmakçı, kişisel görüşme, Kasım 2024).



Şekil 2: İAT-2 YDD sistem sınırları

Tesiste çok az miktarda çamur çıkmaktadır. Yıllık arıtılan su miktarına göre kullanılan toplam kimyasal ürünler ve tüketilen enerji verileri 1 m^3 suya göre hesaplanmıştır. Şekil 2’de çalışmada İAT-2’de çalışma sınırları gösterilmiştir (Mehmet Çakmakçı, kişisel görüşme, Kasım 2024).

Envanter Analizi

Sistemden çıkan çamur dikkate alınmayacak kadar az olduğundan sistem sınırlarına dahil edilmemiştir. Elektrik verileri tesisten alınmıştır. Su kalitesinde görülen mevsimsel değişiklikler ele alınmamıştır. İnşaat-yapı malzemeleri dikkate alınmamıştır.

Kimyasalların taşınması işlemleri sırasında çeşitli varsayımlarda bulunulmuş ve alınan mesafeler Tablo 1’de verilmiştir (Google, 2024). Kimyasalları taşımada kullanılan araçların kapasitelerinin farklı olduğu ve araçların %100 dolu olduğu ve boş döndüğü kabul edilmiştir.

Tablo 1: Kimyasalların tesise taşınmasında alınan varsayım mesafesi

Şehirler	Mesafe
Yalova-İAT-1	1243 km
Balıkesir- İAT-1	1296 km
İAT-2	~300 km (Kabul)

Ele alınan veriler, tesislerde üretilen 1 m³ proses suyuna karşılık gelen ağırlıklar baz alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca taşıma verileri, taşınan materyallerin ağırlık değerleri ve sarf edilen mesafenin çarpılmasıyla elde edilen “kgkm” birimi cinsinden hesaplanarak openLCA yazılımında kullanılmıştır. Kimyasal taşınımı esnasındaki emisyon dikkate alınmıştır ve emisyon hesaplaması yapılmıştır.

Elektrik

Su arıtma tesislerinin elektrik ihtiyacı, kaynaktaki ham suyun kalitesi, dağıtım için hedeflenen su kalitesi, uygulanan arıtma teknolojileri ve prosesleri, coğrafi konumlar, pompa tipi ve verimliliği gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Büşra Midilli, kişisel görüşme, Şubat 2024).

Hesaplamalar sonucu 1 m³ su üretimi için İAT-1'de 0.01696 kWh/m³ elektrik harcaması yapılmıştır. Elektrik tüketimi için emission yükü hesaplaması, elektrik tüketim verisi ile emisyon faktörünün çarpılması ile elde edilmiştir. Emisyon faktörü 0,725 kg CO₂/kWh alınmıştır (Karnaningroem & Anggraeni, 2021, s. 5). İAT-1'de hidroelektrik santrali olduğundan ve elektrik ihtiyacının tamamı yenilenebilir enerji olduğundan emisyon yükü hesaplanmamıştır.

İAT-2'de herhangi bir yenilenebilir enerji kaynağı kullanılmamaktadır. Toplam 1 m³ su için 6,525 kWh/m³ enerji tüketilmektedir (Mehmet Çakmakçı, kişisel görüşme, Kasım 2024). Türkiye'ye özgü herhangi veri bulunmadığından Avrupa ortalama proses verileri kullanılır. Bu çalışmanın temel sınırlılığdır. Şebeke karışımı için de ortalama Avrupa elektrik karışımı kullanıldı.

Elektrik envanter verileri, ELCD veritabanından hazır alınmıştır. Diğer envanter verilerine göre emisyon hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır (Karnaningroem&Anggraeni, 2021, s.5).

$$\begin{aligned} \text{Emisyon Yüğü (kg CO}_2\text{)} &= (6.525 \text{ kWh/m}^3) * (0.725 \text{ kg CO}_2\text{/kWh}) \\ &= 4.731 \text{ kg CO}_2\text{/m}^3 \end{aligned}$$

Kimyasallar

İAT-2'de, Tablo 2'de verildiği gibi kimyasal kullanım miktarı günlük olarak alınmış ve tesisin bir yıl boyunca her gün çalıştığı varsayılarak yıllık tüketim miktarları hesaplanmıştır (Mehmet Çakmakçı, kişisel görüşme, Kasım 2024). Yıllık miktar ise tesisteki

yıllık arıtılan su miktarına bölünerek 1 m³ su arıtımı için kullanılan kimyasal miktarı hesaplanarak YDD programına girilmiştir.

Tablo 2: İAT-2’de kullanılan kimyasallara ait veriler (2023)

Proses adı	Kullanılan kimyasal	Kullanma sıklığı	Kullanım miktarı
Koagülasyon	Alüminyum sülfat	Günlük	100-150 L Yıllık: 47450 L/yıl
Flokülasyon	Anyonik Polielektrolit	Günlük	5 kg Yıllık:1825 kg /yıl
Dezenfeksiyon	Klor	Günlük	100 L Yıllık:365000 L /yıl

İAT-1’de Tablo 3’de verildiği gibi yıllık kimyasal tüketim verileri, yıllık arıtılan su miktarına bölünerek 1 m³ su arıtımı için kullanılan kimyasal miktarı hesaplanarak YDD programına girilmiştir (Büşra Midilli, kişisel görüşme, Şubat 2024).

Tablo 3: İAT-1’de kullanılan kimyasallara ait veriler (2023)

Proses adı	Kullanılan kimyasal	Kullanma sıklığı	Kullanım miktarı
Koagülasyon	PAC	Ayda ort 10 gün	Aylık:1110 kg/ay Yıllık: 83.650 kg/yıl
Flokülasyon	Polielektrolit	Ayda ort 10 gün	Aylık:4,52 kg/ay Yıllık: 252,26 kg/yıl
Dezenfeksiyon	Klor	Hergün-24 Saat	Aylık: 1989.9 kg/ay Yıllık: 29.746,35 kg/yıl
pH ayarlama	Sülfirik asit/ kireç	İhmal	Değişkenlik gösterir.

Temin edilerek tesise gelen kimyasalların, taşıma mesafeleri fonksiyonel birim ile ilişkilendirdikten sonra “kgkm” birimi cinsinden elde edilen değerler Tablo 4’te gösterilmiştir (Büşra Midilli, kişisel görüşme, Şubat 2024) (Google, 2024).

Tablo 4: Temin edilerek tesise gelen kimyasalların, taşıma mesafelerinin fonksiyonel birim ile ilişkilendirilendirilmesi

Kimyasal	Kimyasal	(kgkm)
İAT-1	Alüminyum sülfat	1*1293 = 1293
	Polielektrolit	1*1296 = 1296
İAT-2	Alüminyum sülfat	~ 1*300 = 300 (Kabul)
	Polielektrolit	~ 1*300 = 300 (Kabul)

Taşıma esnasında araçların dolu gidip boş döndüğü, dizel kamyonla taşındığı varsayılmıştır. Emisyon faktörü 0.25 kg CO₂/km alınarak taşıma sonucu emisyon yükü hesaplaması aşağıdaki gibi yapılmıştır (Karnaningroem & Anggraeni, 2021, s. 5).

$$\text{Emisyon Yüğü} = 1293 \text{ km} * 0.25 \text{ kg CO}_2/\text{km} = 323.25 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Emisyon Yüğü} = 1296 \text{ km} * 0.25 \text{ kg CO}_2/\text{km} = 324 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Emisyon Yüğü} = 300 \text{ km} * 0.25 \text{ kg CO}_2/\text{km} = 75 \text{ kg CO}_2$$

Alüminyum sülfat (alüm), içme suyu arıtımında koagülant olarak doğrudan sıvı çözelti veya katı olarak kullanılır. Alüminyum sülfat aynı zamanda kaynak suyunun arıtılmasında ve besin gideriminde de kullanılır (Homa & Hoffman, 2014, s. 5).

Diğer taraftan, Polialüminyum Klorür (PAC), bir alternatif olarak geliştirilmiştir. PAC, daha kolay hidrolize olur, daha iyi koagülasyon sağlar ve hızlı şekilde floklar oluşturarak çok daha verimli bir ürün haline gelir. Tablo 5 ve Tablo 6’da, 1 kg sıvı alüminyum sülfat koagülantı ve PAC üretimi için harcanan kaynakları göstermektedir. Alüminyum sülfat üretim esnasında CO₂ emisyon hesaplaması aşağıdaki gibidir (Homa & Hoffman, 2014, s.5):

CO₂ Emisyonu (Enerji): 0.0030 kg CO₂ eşdeğer,

CO₂ Emisyonu (Malzeme): 0.1049 kg CO₂ eşdeğer,

CO₂ Emisyonu (Su): 0.0058 kg CO₂ eşdeğer,

CO₂ Emisyonu (Taşıma): 0.0347 kg CO₂ eşdeğer,

Alüminyum sülfat üretimi sonucu açığa çıkan emisyon 0,148 kg CO₂ eşdeğer’dir.

PAC üretim esnasında CO₂ emisyon hesaplaması aşağıdaki gibidir (Homa & Hoffman, 2014, s.5):

CO₂ Emisyonu (Enerji):0.02924 kg CO₂ eşdeğer,

CO₂ Emisyonu (Malzeme): 0.491 kg CO₂ eşdeğer,

CO₂ Emisyonu (Su):0,00025 kg CO₂ eşdeğer,

PAC üretimi sonucu açığa çıkan emisyon 0,536 kg CO₂ eşdeğer’dir.

Tablo 5: Tesislerde koagülant olarak kullanılan sıvı alüminyum sülfat envanter verileri

Girdi	Değer	Birim
Alüminyum Hidroksit	0.138	kg
Sülfürik asit	0.107	kg
Proses suyu	0.68	kg
Doğalgaz	0.00187	m ³
Elektrik	0.0157	MJ
Taşıma	0.236	t*km
Çıktı	Değer aralığı	Birim
Alüminyum Sülfat	1	kg

Tablo 6: Tesislerde koagülant olarak kullanılan PAC envanter verileri

Girdi	Değer	Birim
Alüminyum Hidroksit	0.275	kg
Hidroklorik asit	0.292	kg
İçme suyu	0.433	kg
Buhar	0.1	kg
Elektrik	0.0396	MJ
Taşıma	0.23	t*km
Çıktı	Değer aralığı	Birim
PAC	1	kg

1 kg alüminyum sülfat üretimi, en çok gemi ve kamyonla taşımadan etkilenir, diğer önemli faktörler ise enerji (hem doğalgaz hem elektrik kullanılır) ve sülfürik asittir. Çalışmadaki alüminyum sülfat verileri genel/ortalama verilerdir ve temsilidir. Sülfürik asit başka bir prosesin üretim artışı olarak modellenmiştir (Homa & Hoffman, 2014, s. 5).

Tesiste kullanılan polielektrolit poliakrilamiddir. Poliakrilamid üretim rotalarına ilişkin birim proseslerin oluşturulmasında uzman görüşünden yararlanılmaktadır. Polielektrolitlere ait YDD programı veri tabanında herhanagi bir veri bulunmadığından dolayı envanter verileri YDD programına

girilmiştir. Tablo 7’de bir anyonik elektrolite ait envanter verileri verilmiştir. Nihai ürün verimi %40 kabul edilmiştir (Okimya, 2023, paragraf 1) (ABACI GROUP, kişisel görüşme, Eylül 2024). Anyonik polielektrolit envanter verilerine göre emisyon hesaplaması aşağıdaki gibidir (Karnaningroem & Anggraeni, 2021, s. 5):

Elektrik için CO₂ Emisyon faktörü: 0.725 kg CO₂/ kWh

Elektrik CO₂ Emisyonu: 0.010875 kg CO₂

Taşıma için CO₂ Emisyon faktörü: 0.25 kg CO₂/km

Taşıma CO₂ Emisyonu: 0.25 kg CO₂

Toplam CO₂ Emisyonu: 0.260875 kg CO₂

Tablo 7: Anyonik bir polielektrolit yaşam döngüsü envanter verileri

Girdi	Değer	Birim
Sodyum Hidroksit	0.001	kg
Akrilik asit	2.5	kg
Sodyum klorür	0.0005	kg
Su	0.05	kg
Elektrik	0.015	kWh
Taşıma	0.23	tkm
Çıktı	Değer aralığı	Birim
Polielektrolit	1	kg
Atık su	0.05	kg
Diğer atıklar	1.25	kg

İçme suyu ve atık su arıtımında, suyun pH seviyesini yükseltmek ve alkaliniteyi ayarlamak için kireç ürünleri kullanılır. Sönüş veya sönmemiş kireç, pH kontrolüne göre kireçli su olarak prosese dozajlanır (Salo, 2017, s. 34). YDD için ELCD veri tabanındaki envanter verileri kullanılmıştır.

Klor, doğada tek başına bulunmaz. Çeşitli kaynaklardan (kaya tuzu, güneş tuzu, çözültiden çıkarılan tuzlu su, vakum tuzu) geri kazanılan tuz (NaCl) suda eritilir ve elde edilen tuzlu su arıtılır ve tuzlu suyun elektrokimyasal işleminden geçmesi sonucunda

bileşenlerine ayrılır. Klor, bakterileri öldüren bir dezenfektan işlevi görür. İçme suyu ve havuz suyunun arıtılmasında da sıkça kullanılır (Kılıç & Anıl, 2005, s. 20). Tesislerde ön klorlama aşamasında veya dezenfeksiyon aşamasında sıkça kullanılır. YDD için ELCD veri tabanındaki envanter verileri kullanılmıştır.

Kükürt neredeyse yalnızca H₂S yan ürünü olarak veya farklı endüstrilerden gelen diğer sülfürik bileşikler olarak üretilir. Sülfürik asit üretimi için en büyük üç kükürt kaynağı, doğal gaz saflaştırmasından ve petrol rafinasyonundan elde edilen elementel kükürt, metalurjik rafinasyondan elde edilen SO₂ ve katalizör olarak kullanılan kullanılmış sülfürik asidin rejenerasyonundan elde edilen SO₂'dir. Tablo 8, sülfür üretim prosesinde harcanan kaynaklara ait verileri vermektedir (Naukkarinen, 2023, s. 52). Üretim esnasında CO₂ emisyon hesaplaması aşağıdaki gibidir:

Elektrik emisyon faktörü: Ortalama elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları dünya genelinde yaklaşık olarak 0.725 kg CO₂/kWh'dir (bu değer bölgesel elektrik şebekelerine göre değişebilir, ancak dünya genelindeki ortalama kullanılmıştır) (Karnaningroem & Anggraeni, 2021, s. 5).

Elektrik emisyon hesaplaması:

Ortalama elektrik tüketimi: $815 \text{ MJ} / 3.6 = 226.39 \text{ kWh}$ (1 kWh = 3.6 MJ)

CO₂ emisyonları: $226.39 \text{ kWh} * 0.725 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 164.2 \text{ kg CO}_2$

Doğal gaz tüketimi: 0.3-0.5 kg (Bu değer ortalama 0.4 kg alınabilir.)

CO₂ emisyonları: 0.4 kg * 0.23 kg CO₂/kg = 0.092 kg CO₂

Taşıma için ortalama 300 km alınırsa;

CO₂ emisyonları: 300 km * 0.25 kg CO₂/km = 75 kg CO₂

Toplam CO₂ Emisyonu: 239.292 kg CO₂ (Bu, üretim ve taşıma sırasında çıkan toplam CO₂ emisyonudur.

Tablo 8: Sülfür yaşam döngüsü envanter verileri

Girdi	Değer aralığı	Birim
Elementel kükürt	145-180	kg
Kireç	1.30-1.33	kg
Diatomacea filtre havası	0.30-0.33	kg
Kostik soda	2.8-3.6	kg
Basınçlı hava	310-380	kg
Proses suyu	6800-7300	Nm ³
Doğalgaz	0.3-0.5	kg
Doğal gazdan termal enerji	13-26	MJ
Elektrik	730-900	MJ
Tesise uzaklık	200-300	km
Çıktı	Değer aralığı	Birim

Sülfirik asit ürünü	1000	kg
Depolama sahasına uzaklık	8-12	km
CO ₂	239.292	kg
Atık su	~705	Nm ³
Kükürt Dioksit (SO ₂)	500-1000	kg
Kalsiyum Sülfat (CaSO ₄)	5-50	kg
Diğer yan ürünler (atık asitler, su buharı gibi.)	~10	kg

Sülfirik asit envanter verileri literatürden alınmıştır ve alüminyum sülfat envanter verilerini YDD programına girerken veri tabanında olmamasından dolayı veri tabanında oluşturulmuştur.

Etki Değerlendirme

Etki değerlendirme aşaması, envanter sonuçlarını kullanarak potansiyel çevresel etkilerin önemini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu süreç, öncelikle envanter verilerinin belirli çevresel etki kategorileri ve kategori göstergeleri ile ilişkilendirilmesini (sınıflandırılmasını) içerir. Her akış, belirli bir etkiye neden olup olmadığına göre sınıflandırılır. Örneğin, azot oksit (N₂O) hem küresel ısınmaya hem de ozon tabakasının incelmeye neden olur (Yılmaz, 2023). Bu çalışmada tartışmada üzerine yoğunlaşılacak etki kategorileri özellikle Küresel Isınma (İklim Değişikliği) ve İnsan Toksikitesi'dir.

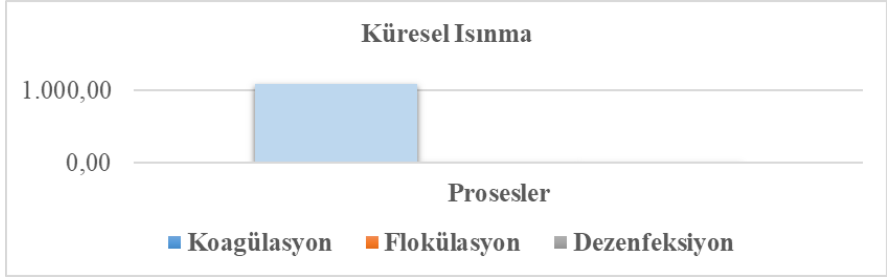
İAT-1'de YDD yapılacak üniterde kullanılan kimyasal ve enerji envanter verileri YDD openLCA yazılımına girildi. Her bir

etki kategorisinde, süreçlerin neden olduğu çevresel etkiler analiz edilmiştir. YDD sonuçlarına göre; koagülasyon ve flokülasyon prosesinden kaynaklanan çevresel etkilerin temel kaynağı PAC ve polielektrolittir.

Küresel ısınma kategorisinde, 1,094.57 kg CO₂ eşdeğer ile koagülasyon süreci en büyük katkıyı yapmaktadır (Tablo 9) (Grafik 1). Bu kategoride çevresel etki değerinin bu kadar yüksek çıkma sebebi, özellikle enerji yoğun ve diğer proseslere kıyasla daha yüksek emisyonlu üretimi olan PAC üretim yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. PAC üretiminde kullanılan kimyasallar, enerji tüketimi, ürünlerin ambalajlanması ve taşınması proseslerinin küresel ısınma etki kategorisine katkıları fazladır (Tablo 10). Bunun için sülfürik asit gibi enerji yoğun materyallerin yerine alternatif kimyasallar kullanılabilir (Karnaningroem & Anggraeni, 2021). Ayrıca, tesiste 1 m³ su üretimi için kullanılan PAC, diğer proseslerde kullanılan klor ve polielektrolite göre yüksektir. Özellikle PAC kullanımı ile polielektrolit kullanım miktarı arasında dikkate değer bir fark vardır.

Tablo 9: İAT-1 proseslerinin küresel ısınma etki kategorisine göre çevresel etkisinin değerlendirilmesi

Proses Birimi	Küresel Isınma Etki Kategorisi
Koagülasyon	1,094.57 kg CO ₂ eşdeğer
Flokülasyon	0.613866 kg CO ₂ eşdeğer
Dezenfeksiyon	1.99051 kg CO ₂ eşdeğer



Grafik 1: İAT-1 proseslerinin küresel ısınma YDED sonuçları

Tablo 10: İAT-1 proseslerinin küresel ısınma etki kategorisine katkı sonuçları

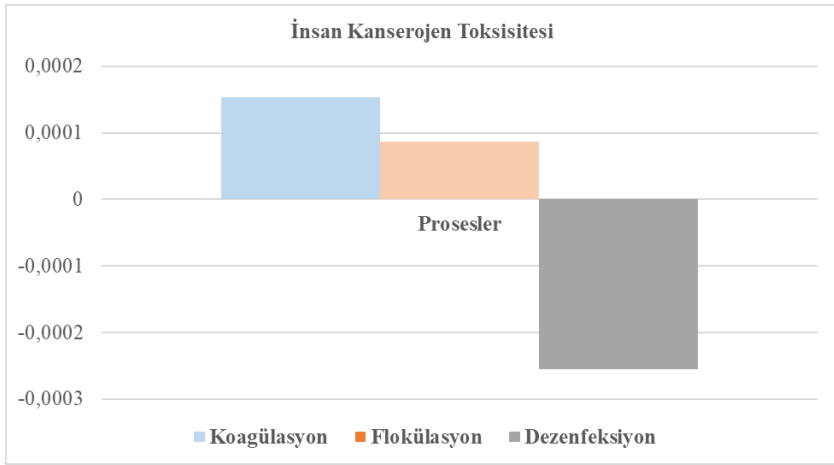
n	Dezenfeksiyo (kg CO₂ eşdeğer)	Flokülasyon (kg CO₂ eşdeğer)	n	Koagülasyo (kg CO₂ eşdeğer)
	2.53 Ambalaj camı	0.32 Anyonik Polielektrolit		5.47E2 PAC
	1.56 Klor	0.15 Ambalaj camı		5.47E2 PAC Transport
	4.66E-2 Yük gemisi	0.13 Taşıma		0.25 Ambalaj camı
	1.63E-2 Hidroelektrik enerji	9.69E-3 Elektrik		0.15 Taşıma
		1.97E-3 Sodyum hidroksit		2.26E-2 Elektrik
		4.14E-4 Hidroelektri k enerji		1.86E-2 Sülfür
		1.11E-4		1.43E-3 Doğal gaz

	Sodyum klorür	
		9.91E-4 Sodyum hidroksit
		4.14E-4 Hidroelektrik enerji
		4.73E-5 Doğal gaz tüketimi
		3.39E-5 Proses buharı

İnsan kanserojen toksisitesine en büyük katkı, koagülasyon işleminden gelmektedir (0.000153939 kg 1,4-DCB). Ancak dezenfeksiyon işlemi, negatif değeriyle bu etkiyi azaltıcı bir potansiyele sahiptir (Tablo 11) (Grafik 2). Bu çalışmada insan toksisitesi, kullanılan kimyasalların üretimi, paketleme ve taşıma proseslerinden kaynaklanmaktadır (Tablo 12). Bu etkinin azaltılması için kimyasal maddelerin değiştirilmesi önerilmektedir. Tuz formundaki klor, dezenfektan olarak en güvenli kullanıma sahiptir (Karnaningroem & Anggraeni, 2021, s.8). Ama genel olarak insan toksisitesi etki değeri yeterince düşük olduğunda kimyasal dozaj miktarı azaltılması da önerilebilir. Örneğin; proseslerde kimyasal dozaj miktarı azaltılarak verimliliği arttırmak için polimer ilavesi yapılabilir (Karnaningroem & Anggraeni, 2021, s. 8).

Tablo 11: İAT-1 proseslerinin insan toksisitesi etki kategorisine göre çevresel etkisinin değerlendirilmesi

Proses Birimi	İnsan Toksikite Etki Kategorisi
Koagülasyon	0.000153939 kg 1,4-DCB
Flokülasyon	0.0000869773 kg 1,4-DCB
Dezenfeksiyon	-0.00025571 kg 1,4-DCB



Grafik 2: İAT-1 proseslerinin insan toksisitesi YDED sonuçları

Tablo 12: İAT-1 proseslerinin insan toksisitesi etki kategorisine katkı sonuçları

<i>Dezenfeksiyon (kg 1,4-DCB eşdeğer)</i>	<i>Flokülasyon (kg 1,4-DCB eşdeğer)</i>	<i>Koagülasyon (kg 1,4-DCB eşdeğer)</i>
<i>1.34E-3 Ambalaj camı</i>	<i>7.91E-5 Ambalaj camı</i>	<i>1.32E-4 Ambalaj camı</i>
<i>8.20E-5 Klor üretimi</i>	<i>7.69E-6 Taşıma</i>	<i>8.72E-6 Taşıma</i>
<i>2.03E-6 Yük gemisi</i>	<i>1.87E-6 Elektrik</i>	<i>4.36E-6 Elektrik</i>
<i>3.31E-6 Hidroelektrik enerji</i>	<i>5.81E-8 Sodyum hidroksit</i>	<i>9.07E-6 Sülfür</i>
	<i>8.40E-8 Hidroelektrik enerji</i>	<i>6.18E-8 Doğal gaz</i>
	<i>3.77E-9 Sodyum klorür</i>	<i>8.40E-8 Hidroelektrik enerji</i>
		<i>6.18E-8 Doğal gaz tüketimi</i>
		<i>9.73E-9 Proses buharı</i>
		<i>1.44E-9 Doğal gaz iletimi</i>

Tesiste çamur miktarı ihmal edilecek düzeyde azdır ve tesiste de işleme alınmaz. Bu sebeple tatlı su ötrofikasyonu YDD sonucuda göre üç prosesinde de negatif değerdedir.

İAT-1’de kullanılan enerjinin tümü hidroelektrik santralden karşılanmaktadır. İAT-2 ise şebeke karışımı elektrik kullanmaktadır. Tesislerin enerji kaynağı envanter verileri için YDD programındaki hazır veriler kullanılmıştır. Bu veriler ile YDED sonuçları alınmıştır ve çalışmada sonuçlar küresel ısınma etki kategorisine göre yorumlanmıştır.

İAT-1’de kullanılan enerjinin tümü hidroelektrik santralden karşılanmaktadır. İAT-2 ise şebeke karışımı elektrik kullanmaktadır. Tesislerin enerji kaynağı envanter verileri için YDD programındaki hazır veriler kullanılmıştır. Bu verilere YDD sonuçları alınmıştır ve çalışmada sonuçlar küresel ısınma etki kategorisine göre yorumlanmıştır.

Tesislerin enerji kaynaklarının YDED sonuçlarına göre küresel ısınma kategorisi; İAT-1’de 0.0644873 kg CO₂, İAT-2’de 22.4995 kg CO₂ olarak verilmiştir (Tablo 13). Sonuçlara göre tesiste yenilenebilir enerji kaynağı kullanmanın küresel ısınma kategorisinde çevresel etki değerleri arasında ciddi bir fark oluşturduğu görülebilir.

Tablo 13: İki tesiste kullanılan enerji kaynaklarının küresel etki kategorisinde çevresel etki değerleri

Enerji Kaynağı	Küresel Isınma Etki Kategorisi
İAT-1	0.0644873 kg CO ₂
İAT-2	22.4995 kg CO ₂

Avrupa elektrik şebeke karışımı (EU-27), farklı enerji kaynaklarının bir karışımını temsil eder ve içinde fosil yakıtların yüksek bir payı bulunmaktadır. Bu nedenle, karbon emisyonu hidroelektrik enerjiye kıyasla oldukça yüksektir. İAT-2, hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmadıkça, çevresel sürdürülebilirlik açısından dezavantajlı bir durumda olacaktır. Ayrıca enerji kaynakları fosil yakıt ağırlıklı olduğu için, enerji tüketimi boyunca karbon emisyonu sürekli yüksek kalacaktır.

Tesislerde kullanılan kimyasalın da küresel ısınma etki kategorisine katkısının etkili olduğu görülmüştür (Tablo 14). İAT-2’de koagülant olarak kullanılan alüminyum sülfat, İAT-1’de kullanılan PAC ‘ye göre daha enerji tüketimi yoğun olan bir kimyasaldır (Tablo 15).

Tablo 14: Tesislerin küresel ısınma etki kategorisine katkı sonuçları

İAT-1 (kg CO₂ eşdeğer)	İAT-2 (kg CO₂ eşdeğer)
1.77E-3 Klor	3.25 Elektrik
4.14E-4 Hidroelektrik enerjisi	5.34E-3 Klor
6.30E-5 Taşıma	2.82E-3 Alüminyum sülfat
3.39E-5 Proses buharı	6.65E-4 PAC Transport
2.27E-5 Elektrik	5.55E-5 Anyonik Polielektrolit
3.10E-6 Anyonik Polielektrolit	3.42E-7 Sodyum hidroksit
1.88E-8 Sodyum hidroksit	9.60E-8 Sülfür
1.07E-9 Sodyum klorür	1.91E-8 Sodyum klorür
6.30E-7 PAC	7.38E-9 Doğal gaz tüketimi
	2.44E-10 Doğal gaz iletimi
	3.58E-6 Taşıma

Tablo 15: Koagülant olarak kullanılan kimyasalların küresel ısınma YDED sonuçları

Kimyasal	Küresel Isınma Etki Kategorisi
PAC	0.0689 kg CO ₂ eşdeğer
Alüminyum sülfat	523.07 kg CO ₂ eşdeğer

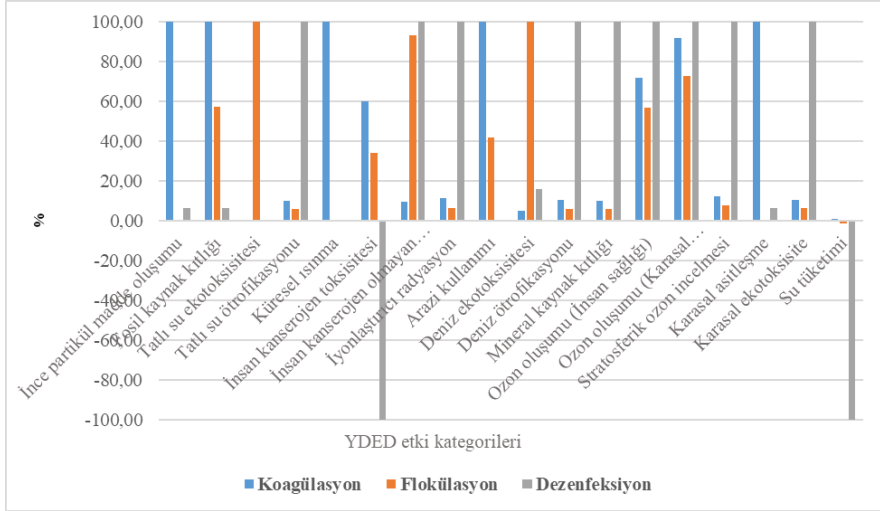
Tesislerin YDED sonuçlarına göre insan toksisitesi değerleri genel olarak çok yüksek değildir. İAT-2, İAT-1'e göre yüksek çıkmıştır (Tablo 16). İAT-2 YDED sonuçlarında, fosil yakıt

kaynaklı elektrik üretimi proseslerinde insan sağlığına etki edecek faktörleri göstermektedir.

Tablo 16: Tesislerin insan toksisitesi YDED sonuçları

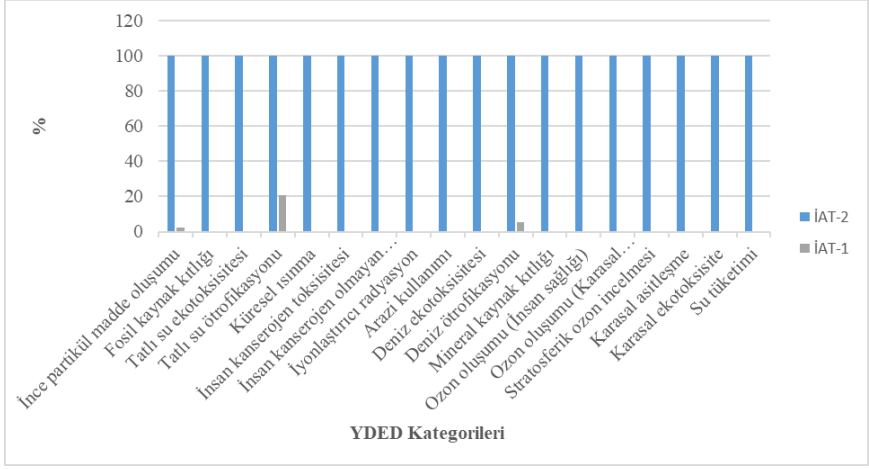
Tesis	İnsan Toksikitesi Etki Kategorisi
İAT-1	3.24104e-5 kg 1,4-DCB
İAT-2	1.09515e-2 kg 1,4-DCB

Veriler, her bir varyantın belirli bir işlemde hangi düzeyde performans sağladığını ve hangi işlemlerin daha verimli olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, her üç işlemin performansını farklı varyantlar arasında karşılaştırarak, belirli süreçlerin daha verimli veya daha az etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, dezenfeksiyon süreci genellikle diğer süreçlere göre daha yüksek performans gösteriyor, ancak bazı varyantlarda koagülasyon veya flokülasyon süreçleri de yüksek değerlere ulaşabiliyor. Bu analiz, tesisin çevresel ve verimlilik performansını iyileştirmeye yönelik kararlar alınırken faydalı olabilir (Grafik 3).



Grafik 1: İAT-1 proseslerinin YDED göreceli sonuçları

Göreceli sonuçlar grafiği, içme suyu arıtma tesislerinin çevresel performansını karşılaştırmaktadır. Veriler, her bir parametrede maksimum değeri %100 olarak kabul ederek proje varyantlarının göreceli etkilerini göstermektedir. İAT-2'nin birçok çevresel kategoride etkisinin maksimum seviyede olduğu görülürken, İAT-1'in çoğu kategoride etkisi sıfır veya çok düşüktür. Özellikle ince partikül madde oluşumu, tatlı su ve deniz ötrofikasyonu gibi kategorilerde İAT-2'nin etkisi belirgin şekilde yüksektir. Bu sonuçlar, İAT-1'in daha sürdürülebilir bir alternatif olduğunu ve çevresel etkilerin azaltılması için tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Grafik 4).



Grafik 2: Tesislerin etki kategorilerine katkı derecelerinin gösterimi

2.4 Yorumlama

İAT-1 arıtma sürecinde, koagülasyon süreci, tüm kategorilerde en yüksek çevresel etkilere sahiptir. Bu, büyük ölçüde kullanılan malzemelerin ve enerji yoğun üretim süreçlerinin etkisinden kaynaklanır. Flokülasyon ve dezenfeksiyon süreçleri, koagülasyona kıyasla çok daha düşük çevresel etkilere sahiptir ve nispeten çevre dostu süreçler olarak değerlendirilebilir.

Küresel Isınma kategorisinde, 1,094.57 kg CO₂ eşdeğer ile koagülasyon süreci en büyük katkıyı yapmaktadır. Bu kategoride çevresel etki değerinin bu kadar yüksek çıkma sebebi, özellikle enerji yoğun ve yüksek emisyonlu üretimi olan PAC üretim yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. Bunun için PAC üretiminde sülfürik asit gibi enerji yoğun materyallerin yerine alternatif kimyasallar kullanılabilir. Ayrıca, enerji verimli ekipman kullanımı teşvik edilmelidir. Karayolu taşımacılığı yerine demiryolu veya

deniz taşımacılığı gibi daha düşük emisyonlu yöntemler tercih edilmelidir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024). Ek olarak koagülasyon sürecinde dozaj pompalarını daha verimli pompalarla değiştirerek enerji tasarrufu da sağlanabilir.

İAT-1 proses YDED sonuçlarına göre; insan toksisitesi, kullanılan kimyasallardan kaynaklanmaktadır. Bu etkinin azaltılması için kimyasal maddelerin değiştirilmesi önerilmektedir. Tuz formundaki klor, dezenfektan olarak en güvenli kullanıma sahiptir (Karnaningroem & Anggraeni, 2021, s. 8). Ama genel olarak insan toksisitesi etki değeri yeterince düşük olduğunda kimyasal dozaj miktarı azaltılması da önerilebilir. Örneğin; proseslerde kimyasal dozaj miktarı azaltılarak verimliliği arttırmak için polimer ilavesi yapılabilir (Karnaningroem & Anggraeni, 2021, s. 5).

İAT-1 hidroelektrik santralının tesisin tüm enerji ihtiyacını karşılıyor olabilmesi çevresel etkisini düşürmüş ve İAT-2’de yenilenebilir enerji kaynağının kullanılmaması bu iki tesisin küresel ısınma etki kategorisinde dikkate değer sonuçlar oluşturmuştur. Hidroelektrik enerji kullanan İAT-1, küresel ısınma etki kategorisi (0.0644873 kg CO₂) YDED sonuçlarına göre karbon ayak izi düşük ve çevresel sürdürülebilirliği yüksek olarak değerlendirilmiştir. İAT-2, küresel ısınma etki kategorisi (22.4995 kg CO₂) YDED sonucuna göre İAT-1 çevresel etki sonucu arasında dikkate alınabilir bir fark bulunmaktadır. Bu sonuca göre İAT-1’in fosil yakıt ağırlıklı elektrik tüketiminin çevresel dezavantajlarına dikkat çekilebilir ve tesisin yenilenebilir enerji kaynağına geçişi vurgulanabilir.

Hidroelektrik enerji, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve karbon ayak izi oldukça düşüktür. İAT-1’de enerji üretiminde fosil

yakıt kullanmadığı için, küresel ısınmaya katkısı minimum düzeydedir. Hidroelektrik enerji genellikle suyun potansiyel enerjisini kullanarak elektrik üretir ve yan ürün olarak sera gazı emisyonu oluşturmaz. Bu nedenle, İAT-1 çevresel açıdan sürdürülebilir bir enerji seçimi yapmıştır. YDED sonuçlarına göre, üretimden tüketime kadar tüm süreçlerde hidroelektrik enerjinin küresel ısınma etki kategorisine katkısı düşük kalmaktadır. Bu, İAT-1'in uzun vadede çevresel performansını artırır.

Sonuç ve Öneriler

Yapılan analizler sonucunda, iki içme suyu arıtma işlemindeki çevresel etkilerin riskini minimize etmek amacıyla en iyi alternatifin bulunması hedeflenmiştir. Bu çalışmada, kimyasal optimizasyonunun çok büyük bir etkisi olduğu ve kullanılan koagülant dozunun yeniden gözden geçirilmesinin önemli olduğu anlaşılmıştır. Her gün bir kavanoz testi yapılarak kullanılan miktarın azaltılması sağlanabilir. Ek olarak kullanılan kimyasal yerine daha verimli bir kimyasal kullanılması çevresel etkiyi de azaltacaktır. Örneğin; koagülant olarak alüminyum sülfat kullanan İAT-2'de, daha az dozda kullanılan ve daha az çamur üretimi ile büyük verimliliğe sahip bir koagülant PAC kullanılması, tesisin verimliliğini artırır ve çevresel etkisini azaltır (Karnaningroem & Anggraeni, 2021, s. 8). Kimyasalların taşınması, etki açısından en iyi tedarikçi seçildiğinde, dikkate alınan etki kategorilerinde önemli artışlara neden olmamaktadır.

Bu analiz, enerji kaynaklarının hayat döngüsü üzerindeki çevresel etkisini net bir şekilde karşılaştırır ve tesislerin

sürdürülebilirlik stratejileri açısından atması gereken adımları ortaya koyar.

Pompa istasyonları, tüm çevresel etki kategorilerine en önemli katkıyı sağlayanlardır. Tesisin toplam enerji ihtiyacının yaklaşık %85'i pompa istasyonlarına tahsis edilmektedir. Hidrolik, mekanik ve elektroteknik koşullara bağlı olarak değişen pompa verimleri, enerji tasarrufu sağlamada önemli bir role sahiptir ve çevresel etkilerin kontrol altına alınması bir başlangıç noktası olabilir. Su arıtma tesisinde kullanılan pompalar ortalama %70 verimliliğe sahiptir. Pompa verimleri değiştirilerek bir modelleme yapılabilir.

İki arıtma tesisinde de su arıtma süreçlerinde yapılan analizlerin çevresel etkisi, kimyasal ve elektrik kullanımı nedeniyle meydana gelmiştir. Çevresel etkiyi azaltma kararları sonucunda, yenilenebilir enerji kullanımı veya enerji tasarrufu en yüksek öncelik olarak belirlenmiştir. Son olarak ise kimyasalların optimize edilmesi ve rutin doz testleri yapılarak gerekli kimyasalların belirlenmesi öncelik olarak sıralanmıştır.

KAYNAKÇA

Acero, A. P., Rodríguez, C., & Citroth, A. (2016, May 11). LCIA methods: Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories (Version 1.5.5). GreenDelta.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024). Ulaştırma türüne göre seragazi emisyonu: Çevresel göstergeler. 10 Aralık 2024 tarihinde [Demirer, G. N. \(2011\). Sürdürülebilir üretim ve tüketim yayınları - I: Yaşam döngüsü analizi. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.](https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turune-gore-seragazi-emisyonu-i-85790#:~:text=T%C3%9C%C4%B0K'in%202021%20y%C4%B1%C4%B1%20seragaz%C4%B1,ise%20di%C4%9Fer%20ula%C5%9Ft%C4%B1rma%20t%C3%BCrlerinden%20kaynaklanmaktad%C4%B1r adresinden erişildi.</p></div><div data-bbox=)

Google. (2023). Rize, Türkiye [Harita]. 8 Aralık 2024 tarihinde <https://www.google.com/maps/place/Rize> adresinden erişildi.

Homa, J., & Hoffman, E. (2014). Life cycle analysis of leading coagulants: Executive summary. INCOPA.

ISO. (2006a). 14040 international standard. Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

ISO. (2006b). 14044 international standard. Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

Karnaningroem, N., & Anggraeni, D. R. (2021). Study of life cycle assessment (LCA) on water treatment. *Sustainability and Resilience of Coastal Management (SRCM 2020), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 799(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/799/1/012036>

Kartikasari, I. B., & Santoso, R. I. B. (2023, August). Impact of drinking water treatment process using life cycle assessment (LCA) to minimize environmental impact risk. *Journal of Social Research*, 2(9), 3218-3230. <https://doi.org/10.55324/josr.v2i9.1294>

Kılıç, Ö., & Anıl, M. (2005). Farklı kalsinasyon ortamlarının kireç üretimi üzerindeki etkilerinin araştırılması. *Madencilik*, 44(4), 19-28.

Naukkarinen, M. (2023). Life cycle assessment study of a sulfuric acid manufacturing process in the chemical pulping industry (Master's thesis, Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT). Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT.

Okimya. (2023, October 20). Polielektrolitler: Üretimi nasıl yapılır? 10 Aralık 2023 tarihinde https://okimya.com.tr/polielektrolitler/polielektrolit/#Uretimi_Nasil_Yapilir adresinden erişildi.

OpenLCA Nexus. (2017, November 16). OpenLCA Nexus. 10 Aralık 2023 tarihinde <https://nexus.openlca.org/database/ELCD> adresinden erişildi.

Ordu, M. (2017). Çevresel etkinin zaman içerisindeki değişiminin yaşam döngüsü analiziyle değerlendirilmesi: Bursa Organize Sanayi Bölgesi su üretim tesisi örneği (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.

Salo, H. (2017). A life cycle assessment of potable water treatment plant (Unpublished master's thesis). Aalto University, Espoo, Finland.

Yılmaz, Ö. (2023). Türkiye'nin dögüsel ekonomiye geçiş potansiyelinin değerlendirilmesi için teknik destek projesi: Dögüsel ekonomide izlemeyi desteklemek için yaşam döngüsü analizi eğitimi. *EuropeAid/140562/IH/SER/TR*. Ankara: Teknik Destek Projesi.

BÖLÜM VI

Black Sea Pollution: Engineering Approaches Protecting the Ecosystem

Eylem AYDEMİR ÇİL¹

1. Black Sea Basin



Figure 1.1. Black Sea Basin (RTMFA, 2024)

¹ Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Sinop University, Sinop, Turkey, <https://orcid.org/0000-0003-2405-1155>, eylemaydemir@sinop.edu.tr

The Black Sea Basin is a strategically and ecologically significant region located at the intersection of Europe, Asia, and the Middle East. This basin encompasses rivers flowing into the Black Sea and the vast territories through which these rivers pass. The Black Sea, as one of the world's largest inland seas, receives water from numerous countries spread across a wide geographical area. The basin is closely interconnected not only with the sea itself but also with the ecosystems of the rivers and the lands they traverse (Smith et al., 2020).

Due to its vast extent, the Black Sea Basin involves numerous countries and diverse geographical regions. It directly or indirectly impacts 17 countries. The total drainage area of the Black Sea Basin is approximately 2.4 million km², while the Black Sea itself covers a surface area of around 436,000 km².

2. Countries of the Basin



Figure 2.1. Countries bordering the Black Sea (TN, 2024)

The countries through which rivers flowing into the Black Sea pass are as follows:

- Directly bordering the Black Sea: Türkiye, Romania, Bulgaria, Ukraine, Russia, and Georgia

- Indirectly connected via river basins: Moldova, Albania, Serbia, Croatia, Hungary, Austria, Slovakia, Czechia, Germany, Poland, and Belarus

The countries directly bordering the Black Sea significantly contribute to its ecosystem and face challenges related to coastal and marine environmental management. Conversely, the countries indirectly connected to the basin influence the Black Sea through the rivers and pollutants they discharge (Ivanov & Petrov, 2021).

3. Rivers Draining into the Black Sea

The major rivers flowing into the Black Sea pose significant threats to its ecosystem due to pollution loads from agricultural, industrial, and urban areas. The primary contributors include the Danube, Dniester, Dnieper, Kuban, Sakarya, and Yeşilirmak Rivers, which carry nutrients, chemicals, and heavy metals from vast drainage basins into the Black Sea (Petrov et al., 2022).

3.1. Danube River (Romania, Ukraine)



Figure 3.1. Danube River (Wikimedia, 2024)

The Danube River, the largest river discharging into the Black Sea, contributes approximately 50% of the total pollution load. Starting in Germany, it traverses ten countries and drains an extensive basin. The river carries nitrogen and phosphorus from agricultural areas, along with pesticides, heavy metals, and industrial waste, causing eutrophication and water quality degradation in the

Black Sea (Kovalenko & Petro, 2021). Data from 2022 indicate that the annual nitrogen and phosphorus loads transported by the Danube have reached critical levels, triggering algal blooms and creating extensive dead zones in the Black Sea (Smith et al., 2020).

3.2. Dniester River (Ukraine)



Figure 3.2. Dniester River (iStock, 2024 a)

The Dniester River, discharging into the Black Sea mainly through Ukraine, carries a substantial pollution load from agricultural lands, including pesticides and fertilizers. These pollutants significantly contribute to eutrophication, particularly along the northwestern coasts of the Black Sea. Recent analyses have shown that the river transports large amounts of phosphorus and nitrogen, exacerbating eutrophication problems in the region (Brown & Smith, 2023).

3.3. Dnieper River (Ukraine, Belarus)



Figure 3.3. Dnieper River (iStock, 2024 b)

The Dnieper River is another critical source of pollution to the Black Sea, carrying contaminants from agricultural and industrial activities. Industrial facilities, chemical factories, and intensive agricultural areas along the river significantly increase its pollution load. Studies have identified that heavy metals such as mercury and cadmium transported by the Dnieper have accumulated in the sediments of the Black Sea, causing severe toxic effects on marine ecosystems (Ivanov & Kuznetsov, 2020).

3.4. Kuban River (Russia)



Figure 3.4. Kuban River (Dreamstime, 2024)

The Kuban River is one of the most important rivers flowing from Russia into the Black Sea. Due to agricultural activities and the petroleum industry, the Kuban River carries significant amounts of agricultural chemicals and petroleum derivatives into the Black Sea (Ivanov et al., 2021). Monitoring studies have revealed that the organic pollutants and petroleum derivatives discharged into the Black Sea by the Kuban River negatively affect water quality (Petrov & Sokolov, 2020). Furthermore, the river transports nutrients, contributing to algal blooms in the sea (Ivanov et al., 2021).

3.5. Sakarya River (Türkiye)



Figure 3.5. Sakarya River (RTMCT, 2024)

The Sakarya River is one of Türkiye's largest rivers flowing into the Black Sea and significantly contributes to the pollution load of the Black Sea, particularly through fertilizers, pesticides from agricultural lands, and domestic wastewater from settlements (Öztürk & Yıldırım, 2022). Analyses conducted in 2022 revealed that the Sakarya River carries a substantial amount of phosphorus and nitrogen into the Black Sea, exacerbating regional eutrophication issues (Kaya & Akın, 2022). Additionally, the

pollutants transported by the river have reached levels that severely harm the marine ecosystem (Doğan, 2022).

3.6. Yeşilirmak River (Türkiye)



Figure 3.6. Yeşilirmak River (Ekoloji Birliği, 2024)

The Yeşilirmak River, like the Sakarya River, is one of Türkiye's significant water sources flowing into the Black Sea. The river transports both agricultural and industrial pollution into the Black Sea (Öztürk & Yıldırım, 2022). Specifically, agricultural pesticide residues, fertilizers, and industrial waste reach the Black Sea through the river, disrupting the chemical balance of the seawater (Kaya & Akın, 2022). Recent monitoring studies have shown that the pollutants carried by the Yeşilirmak River cause significant damage to the marine ecosystem, particularly posing risks from micropollutants (Doğan, 2022).

4. Pollution Status of the Black Sea

The Black Sea faces critical environmental challenges, with significant pollution problems emerging since the 1990s. Both industrial and agricultural activities in countries bordering the Black Sea and pollution transported by rivers have severely impacted its ecosystem. The Danube River is particularly noted as the largest

contributor, transporting significant quantities of nutrients, organic matter, and chemical pollutants to the sea (Smith et al., 2021).

Studies and monitoring programs conducted in the 2020s reveal that pollution manifests in various forms, including eutrophication, plastic pollution, heavy metals, oil spills, and biological degradation of marine ecosystems (Petrov et al., 2022).

4.1. Eutrophication and Agricultural Pollution



Figure 4.1. Eutrophication (TYH, 2024)

Eutrophication remains one of the most significant environmental issues in the Black Sea. Excessive nutrients, particularly nitrogen and phosphorus, transported by major rivers like the Danube, Dniester, Dnieper, Sakarya, and Yeşilirmak, have been identified as the primary drivers of algal blooms. These blooms deplete oxygen levels, resulting in the formation of dead zones. Data from 2023 indicate that eutrophication effects have been observed in more than 60% of the coastal areas of the Black Sea (Yılmaz & Kara, 2023).

4.2. Plastic Pollution



Figure 4.2. Plastik Pollution (SAS, 2024)

Plastic pollution is another major threat to the Black Sea ecosystem. A 2021 study estimated an annual average of 1.3 million tons of plastic waste on the surface of the Black Sea, primarily originating from coastal areas. Microplastics pose a significant risk to marine life, entering the food chain and affecting biodiversity (Kara & Şahin, 2021).

4.3. Heavy Metals and Chemical Pollution

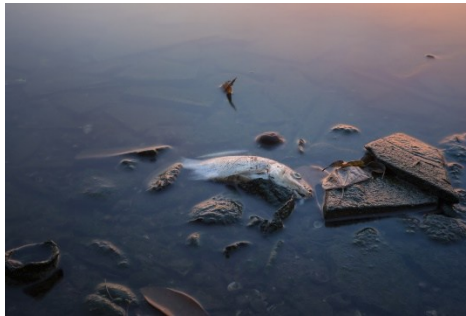


Figure 4.3. Chemical Pollution (AE, 2024)

Heavy metals such as mercury, lead, and cadmium, along with organic pollutants from industrial facilities and maritime

transport, have been identified as significant sources of contamination in the Black Sea. Analysis of sediments shows a notable increase in heavy metal concentrations, posing risks to marine life and human health (Ivanov et al., 2023).

4.4. Oil Pollution



Figure 4.4. Oil pollution (NOAA, 2024)

Oil pollution from maritime traffic and oil transportation through the Black Sea remains a significant environmental concern. Studies conducted in 2020 highlight an increasing trend in oil residues on the sea's surface over the last decade, primarily due to tanker traffic between Russia and Ukraine (Smith et al., 2020).

5. Environmental Management and Conservation Efforts in the Black Sea Basin

Environmental issues in the Black Sea Basin require regional and international cooperation. Environmental management strategies and conservation efforts are shaped under the framework of important agreements and action plans, as detailed below:

5.1. Bucharest Convention (1992)

The *Convention on the Protection of the Black Sea Against Pollution* is the most significant agreement facilitating joint actions by Black Sea coastal countries to combat marine pollution. Under this convention, countries collaborate on waste management, water quality monitoring, and pollution reduction efforts (Borysova et al., 2005).

5.2. Black Sea Strategic Action Plan

The *Strategic Action Plan for the Black Sea* is a long-term management strategy aimed at addressing environmental issues in the Black Sea Basin and improving water quality. The plan focuses on reducing marine pollution, protecting marine biodiversity, and promoting the sustainable management of marine resources (Mee et al., 2005).

5.3. EU Black Sea Synergy Program

The European Union has implemented various projects to promote environmental protection and sustainable development in the Black Sea Basin. The *Black Sea Synergy Program* aims to enhance regional environmental governance and cooperation. This program emphasizes controlling pollution sources in river basins and reducing pollution transported to the Black Sea (European Commission, 2010).

6. Engineering Solutions for Pollution in the Black Sea

Engineering solutions for pollution in the Black Sea focus on preserving the marine ecosystem and ensuring sustainability through various technological and strategic approaches. These solutions target pollution control, water quality improvement, and ecosystem restoration, as outlined below:

6.1. Wastewater Treatment Plants and Advanced Treatment Technologies

Wastewater from rivers flowing into the Black Sea contributes significantly to pollution. Advanced treatment technologies, including biological, chemical, and physical processes, can minimize pollutants entering the sea. These include:

- Membrane filtration technologies such as microfiltration, nanofiltration, and reverse osmosis for removing micro-pollutants from wastewater.
- Efficient disposal or energy recovery methods for sludge produced during wastewater treatment (Schwarzenbach et al., 2006).

6.2. Green Infrastructure and Natural Filtration Systems

Natural solutions can help reduce pollution without harming the ecosystem. Wetlands, for instance, act as natural filters for pollutants entering the sea. Potential engineering applications include:

- Constructed wetlands for filtering agricultural chemicals, fertilizers, and heavy metals from runoff.
- Bioremediation techniques, where microorganisms break down organic pollutants, particularly in groundwater and soils, with minimal environmental harm (Gadd, 2004).

6.3. Coastal and River Monitoring and Management Systems

Technologies like sensors and data analysis systems can monitor pollution sources in real time. Examples include:

- Smart sensors and IoT devices to monitor the flow rates and pollutant loads of rivers entering the Black Sea.

- Satellite and drone-based monitoring systems for tracking coastal conditions and pollution spread (Petersen et al., 2018).

6.4. Management of Agricultural Activities

Agricultural runoff, including fertilizers and pesticides, significantly impacts marine ecosystems. Engineering solutions include:

- Precision agriculture technologies for optimizing fertilizer and pesticide application.
- Erosion control projects to stabilize soil in agricultural areas and reduce runoff (Zhang et al., 2004).

6.5. Measures for Maritime Traffic and Oil Pollution

The Black Sea faces pollution threats from heavy maritime traffic, including oil spills. Engineering solutions include:

- Waste management systems at ports to prevent ships from discharging waste into the sea.
- Oil spill cleaning robots and rapid response technologies to mitigate oil spills (ITOPF, 2020).

6.6. Coastal Rehabilitation and Artificial Reefs

Erosion, habitat loss, and reduced biodiversity threaten the Black Sea's ecosystem. Solutions include:

- Artificial reefs to support marine life and encourage biodiversity.
- Coastal protection structures such as wave breakers to absorb wave energy and prevent erosion (Papanicolaou et al., 2012).

6.7. Marine Cleanup and Collection Systems

Technologies to collect plastics, oil, and other waste from the sea include:

- Floating barriers and ocean cleanup devices to capture plastics in the Black Sea.
- Automated systems for collecting ghost fishing nets left in the sea (Lebreton et al., 2018).

7. Ongoing Studies and Conservation Efforts

7.1. Black Sea Strategy and Action Plan

The *Bucharest Convention (1992)* was a key milestone in strengthening environmental cooperation among Black Sea coastal states, including Türkiye, Bulgaria, Romania, Ukraine, Georgia, and Russia. This convention focuses on protecting the marine environment from pollution, with member states regularly developing action plans to address these issues (Mee et al., 2005).

The *2017 Strategic Action Plan for the Black Sea* identified priority areas for reducing pollution, including:

- Monitoring and mitigating pollution.
- Coastal and marine area management.
- Combating marine litter and microplastics.
- Restoring marine ecosystems and raising awareness (Black Sea Commission, 2017).

7.2. EU-Funded Projects

Black Sea coastal countries actively participate in environmental projects funded by the European Union. For instance, the *Black Sea Clean* project has made significant strides in combating marine pollution. These initiatives include installing monitoring systems and collaborating with local authorities in coastal regions (European Commission, 2010).

7.3. Türkiye's Efforts

Türkiye actively participates in both national and international programs to address environmental issues in the Black Sea. The Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change conducts regular water quality monitoring along Türkiye's Black Sea coast. Additionally, efforts to combat mucilage in the Marmara Sea have led to wastewater treatment and pollution management projects benefiting the Black Sea. By 2023, Türkiye had increased investments in wastewater treatment and pollution control initiatives for the region (Çetinkaya & Demir, 2023).

8. Conclusion

- The Black Sea Basin is an essential region influencing the ecosystems of many countries. However, pollution from agriculture, industry, and urban activities threatens its marine ecosystem.
- International cooperation is vital to addressing pollution issues in the Black Sea Basin. Regional collaboration and increased environmental awareness are critical in this process.
- Pollution loads from rivers flowing into the Black Sea severely damage the marine ecosystem, reducing water quality and endangering marine life.
- Engineering solutions targeting Black Sea pollution include technological and strategic approaches aimed at preserving the marine ecosystem and ensuring sustainability.
- These solutions prioritize controlling pollution sources, improving water quality, and restoring marine ecosystems.
- Through regional and international cooperation efforts, engineering solutions, and sustainable management strategies, pollution in the Black Sea can be controlled effectively.

References

AE (2024). Alpha Environmental. (n.d.). *Heavy metals case study 3: Historical heavy metal disasters*. Retrieved December 23, 2024, from <https://www.alphaenvironmental.com.au/heavy-metals-case-study-3-historical-heavy-metal-disasters/>

Black Sea Commission. (2017). *Strategic Action Plan for the Rehabilitation and Protection of the Black Sea (2017)*.

Borysova, O., Kondakov, A., & Mee, L. D. (2005). Ecosystem problems of the Black Sea: A regional perspective. *Journal of Marine Science*, 25(3), 201-219. DOI: 10.1007/s10113-012-0328-z.

Brown, R., & Smith, J. (2023). Nutrient contributions of the Dniester River to Black Sea eutrophication. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 18(1), 45-62. DOI: 10.1080/14634988.2015.1046352.

Çetinkaya, S., & Demir, B. (2023). Environmental management in Türkiye's Black Sea region. *Turkish Journal of Environmental Science*, 31(4), 89-102.

Doğan, E. (2022). Micropollutants and their impacts on marine ecosystems: The Black Sea case study. *Marine Sciences Institute Reports*, 28(1), 56-67.

Dreamstime (2024). *Kuban River view*. Retrieved December 23, 2024, from <https://www.dreamstime.com/stock-photo-kuban-river-view-nature-landscape-plants-water-travel-russia-image60148278>

Ekoloji Birliği (2024). *Yeşilirmek'ta su seviyesi azaldı, nehir karardı*. Retrieved December 23, 2024, from <https://ekolojibirligi.org/yesilirmakta-su-seviyesi-azaldi-nehir-karardi/>

European Commission. (2010). *Black Sea Synergy: A new regional cooperation initiative*. European Commission Report.

Gadd, G. M. (2004). Microbial influence on metal mobility and application for bioremediation. *Geoderma*, 122(2-4), 109-119.

International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). (2020). Oil spill response and cleanup technologies. *ITOPF Annual Review*.

Ivanov, A., Petrova, N., & Sokolov, V. (2021). Pollution load from the Kuban River into the Black Sea. *Journal of Environmental Studies*, 45(3), 145-159.

Ivanov, V., & Petrov, M. (2021). Pollution loads in the Black Sea from major rivers. *Environmental Research Letters*, 14(3), 345-362.

iStock. (2024 a). *Dinyester Nehri'nin güzel manzarası – Moldova*. Retrieved December 23, 2024, from <https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraf/dinyester-nehri-nin-g%C3%BCzel-manzaras%C4%B1-moldova-gm1267183733-371715248>

iStock. (2024 b). *Dinyeper Nehri*. Retrieved December 23, 2024, from <https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraf/dinyeper-nehri>

Kara, A., & Şahin, M. (2021). Plastic pollution in the Black Sea: Sources and ecological effects. *Marine Pollution Bulletin*, 102(5), 567-578.

Kaya, S., & Akın, M. (2022). Eutrophication processes in Türkiye's rivers. *Water Resources Research*, 15(3), 78-91.

Kovalenko, A., & Petrov, M. (2021). Danube River nutrient dynamics and its impact on Black Sea dead zones. *Water Research*, 110, 278-295. DOI: 10.1016/j.watres.2017.01.019.

Lebreton, L. C. M., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2018). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, 8, 15611. DOI: 10.1038/ncomms15611.

Mee, L. D., Friedrich, J., & Gomoiu, M. T. (2005). Restoring the Black Sea in times of uncertainty. *Oceanography*, 18(2), 100-111. DOI: 10.5670/oceanog.2005.47.

NOAA (2024). Ocean Service. (n.d.). *Oil spills: Response and cleanup technologies*. Retrieved December 23, 2024, from <https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial-coastal/oil-spills/os03.html>

Öztürk, M., & Yıldırım, H. (2022). Rivers flowing into the Black Sea and their pollution loads. *Journal of Environmental Sciences*, 34(2), 125-138.

Papanicolaou, A. N., Elhakeem, M., & Lawler, D. (2012). Wave energy dissipation and coastal erosion prevention using artificial reefs. *Journal of Coastal Research*, 28(3), 504-512.

Petersen, W., Wehde, H., Krasemann, H., Colijn, F., & Schroeder, F. (2018). Marine monitoring in the Black Sea using satellite and in situ techniques. *Journal of Marine Systems*, 173, 12-29.

Petrov, M., Kuznetsov, L., & Ivanov, V. (2022). Heavy metal accumulation in Black Sea sediments from industrial sources. *Ecotoxicology Journal*, 29(1), 98-112.

Petrov, V., & Sokolov, M. (2020). Impact of organic pollutants from Russian rivers on the Black Sea ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*, 78(2), 112-124.

RTMCT (2024). Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism. (n.d.). *Sakarya Nehri'nin denize döküldüğü yer*. Retrieved December 23, 2024, from <https://sakarya.ktb.gov.tr/TR-340487/yenimahalle-sakarya-nehrinin-denize-dokuldugu-yer.html>

RTMFA (2024). Republic of Türkiye Ministry of Foreign Affairs. (n.d.). *Karadeniz Havzası*. Retrieved December 23, 2024, from <https://cbc.ab.gov.tr/karadeniz>

SAS (2024). Surfers Against Sewage. (n.d.). *Plastic pollution: Facts and figures*. Retrieved December 23, 2024, from <https://www.sas.org.uk/plastic-pollution/plastic-pollution-facts-figures/>

Schwarzenbach, R. P., Egli, T., Hofstetter, T. B., Von Gunten, U., & Wehrli, B. (2006). Global water pollution and human health. *Science*, 313(5790), 1072-1077. DOI: 10.1126/science.1127297.

Smith, J., Brown, R., & Kovalenko, A. (2020). The Black Sea Basin: Environmental challenges and strategic importance. *Journal of Marine Studies*, 15(4), 210-230.

TN (2024). Tasnim News. (2022, March 6). *Karadeniz krizi: Rusya ve ABD arasındaki rekabetin yoğunlaşması*. Retrieved December 23, 2024, from <https://www.tasnimnews.com/tr/news/2022/03/06/2677234/karadeniz-krizi-rusya-ve-abd-aras%C4%B1ndaki-rekabetin-yo%C4%9Funla%C5%9Fmas%C4%B1>

TYH (2024). Türkiye Yaban Hayatı. (n.d.). *Dünya ve bizi bekleyen tehlike: Ötrofikasyon*. Retrieved December 23, 2024, from <https://turkiyeyabanhayati.org/blog/detail/dunya-ve-bizi-bekleyen-tehlike-otrofikasyon>

Wikimedia (2024). Wikimedia Commons. (n.d.). *View from Gellért Hill to the Danube, Hungary – Budapest*. Retrieved December 23, 2024, from [https://tr.wikipedia.org/wiki/Tuna#/media/Dosya:View_from_Gell%C3%A9rt_Hill_to_the_Danube,Hungary-Budapest\(28493220635\).jpg](https://tr.wikipedia.org/wiki/Tuna#/media/Dosya:View_from_Gell%C3%A9rt_Hill_to_the_Danube,Hungary-Budapest(28493220635).jpg)

Yılmaz, T., & Kara, A. (2023). Eutrophication impacts in the Black Sea: A focus on nutrient loads. *Turkish Journal of Environmental Science*, 32(2), 145-167.

Zhang, X., Liu, X., Zhang, M., Dahlgren, R. A., & Eitzel, M. (2004). A review of vegetative buffer strip effectiveness in reducing sediment and nutrient loss. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 111(1-4), 1-4. DOI: 10.1016/j.agee.2004.01.

