

İTÜ



İTÜ DERGİSİ



İTÜ Çevre, İklim ve  
Sürdürülebilirlik

## İÇİNDEKİLER

Makale Adı	Makale Türü	Yazarlar	Sayfa Numarası
1. Türk Endüstrisi için Temiz Üretim ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Örnekleri	Derleme Makale	Fatoş GERMİRLİ BABUNA*, Bilge BAŞ, Burçin ATILGAN TÜRKMEN, Nilay ELGİNÖZ KANAT	55-64
2. Katı Atıkların Geri Dönüşümü İçin Depozito İade Sisteminin Önemi: Kızılcahamam Pilot Uygulaması Örneği	Araştırma Makalesi	Zeynep EREN*, Nurdan TAŞARSU	65-74
3. Ankara İli Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme Problemleri ve İyileştirme Önerileri	Araştırma Makalesi	Hakan SOYSAL*, Muhammed ERCAN, Ahmet ALADAĞ, Çağrı SAMUR, Merve KIZILKAYA, Volkan YAVUZ, Erdem GÖRGÜN, Hakan ANLITAN, Onur KİRAZ, Burak Akın ARACI	75-86
4. Yeşil Mutabakat Kapsamında Pestisit Yönetimi ve Türkiye	Araştırma Makalesi	Asude HANEDAR, Aysegul TANIK*, Emine GİRGİN	87-96
5. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Hasadı	Derleme Makale	Muhammed Nimet HAMİDİ*, Nizamettin HAMİDİ, Onur IŞIK, Hüseyin GÜVEN, Hale ÖZGÜN, Mustafa Evren ERŞAHİN	97-110
6. Üniversitelerde Sürdürülebilirlik Çalışmaları: İstanbul Teknik Üniversitesi Örneği	Araştırma Makalesi	Ebru ACUNER, Kadriye Elif MAÇİN, Feriha Kamile ÖZCAN*, Arife Eymen KARABULUT, Bërte KÖSE MUTLU, Lütfiye DURAK ATA	111-120

\*Sorumlu Yazar

## DERLEME MAKALE

## Türk Endüstrisi için Temiz Üretim ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Örnekleri

## Yazışma yazarı:

Fatoş GERMİRLİ  
BABUNA,  
germirliba@itu.edu.tr

## Referans:

Germirli Babuna, F., Baş, B., Atılgan Türkmen, B., Elginöz Kanat, N. (2023). Türk Endüstrisi için Temiz Üretim ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Örnekleri, Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik, 24, (2) 55-64.

**Makale Gönderimi** : 17 ŞUBAT 2023  
**Online Kabul** : 25 TEMMUZ 2023  
**Online Basım** : 2 AĞUSTOS 2023

Fatoş GERMİRLİ BABUNA<sup>1</sup>, Bilge BAŞ<sup>2</sup>, Burçin ATILGAN TÜRKMEN<sup>3</sup>, Nilay ELGINÖZ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.

ORCID:0000-0003-0365-2373

<sup>2</sup>İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eyüpsultan, İstanbul, Türkiye. ORCID: 0000-0002-6273-9527

<sup>3</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Gülümbe, Bilecik, Türkiye. ORCID: 0000-0003-3220-3817

<sup>4</sup>IVL - İsveç Çevre Araştırma Enstitüsü, Stokholm, İsveç. ORCID: 0000-0001-6635-6163

**Özet** Nüfus artışına paralel olarak ivme kazanan endüstriyel faaliyetler, küresel ölçekte çevre kirliliği yaratan odak noktalarının en önemlisidir. Güncel endüstriyel kirlenme kontrolü temiz üretim kavramını benimseyen bir yapıdadır. Temiz üretim ise proseslere, ürünlere ve hizmetlere sürekli uygulanan entegre, önleyici nitelik taşıyan bir çevre stratejisidir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD), endüstriyel faaliyet kaynaklı istenmeyen çevresel etkilerin azaltılması, diğer bir deyişle temiz üretim yönünde doğru adımların atılması için kullanılacak objektif bir araçtır. Kimi durumda kullanılan enerji kaynağının değiştirilmesi, kimi durumda başka bir ülkede üretilerek ithal edilen girdilerin yerli yapım olanlarla değiştirilmesi ya da geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı veya çıkan atıkların geri dönüşüme gönderilmesi çevresel etkilerin azalmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada endüstride temiz üretim seçeneklerinin saptanmasında YDD kullanımına ait örnekler sunulmaktadır. Örneklerin tümü ülkemizde yerinden toplanmış verilerle yürütülen çalışmalara aittir. YDD'de girdi olarak başka coğrafyalar için oluşturulmuş veri tabanlarının kullanımı yerine ülkemize özel verilerin oluşturulmasının önemi vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yaşam döngüsü değerlendirmesi, endüstri, temiz üretim, atık azaltımı.

## Cleaner Production and Life Cycle Assessment Examples for Turkish Industry

**Abstract** Industrial activities accelerated in parallel to population growth, are among the most important sources of environmental pollution on a global basis. Current understanding of industrial pollution control adopts a cleaner production concept. Cleaner production on the other hand, is a continuous, integrated, and preventive environmental strategy that can be applied to production processes, products and services. Life cycle assessment (LCA), is an objective tool that can be used to reduce the unwanted environmental impacts generated from industrial activities. In other words, with the help of LCA, sound steps towards cleaner production can be realized. Environmental impacts can be lowered for some industrial installations by shifting the energy source. In some cases, this can be achieved by substituting an imported input by a locally produced one or using recycled material or sending the wastes to a recycling facility. In this paper, examples of LCA applications to find out industrial cleaner production alternatives are presented. All the examples are obtained from our country with data collected from the actual production sites. The importance of using country specific data instead of data from databases of other geographic areas for LCA studies is emphasized.

**Keywords:** Life cycle assessment, industry, cleaner production, waste minimization.

## 1.Giriş

Artan nüfusun taleplerini karşılayabilmek için hız kazanan endüstriyel faaliyetler çevre kirliliğine de önemli katkıda bulunmaktadır.

Tarih boyunca endüstri kaynaklı kirliliğe yaklaşım farklılık göstermiştir. Kirliliğin göz ardı edilmesi ve bunu izleyen dönemlerde çevrede seyrelmenin çözüm olarak ele alındığı pasif yaklaşımlar daha sonra yerlerini boru-sonu arıtımın

öne çıkartıldığı reaktif yaklaşıma bırakmıştır. Çevre problemlerini çözmek yerine öteleyen pasif yaklaşımlar sonucunda hem insan sağlığı hem de çevre üzerinde, gelecek nesillere de yansıtılabilecek olumsuz etkiler ortaya çıkmıştır. Reaktif boru-sonu arıtma ise maliyetli bir yaklaşımdır. Bu nedenle kirlenmeyi kaynağında kontrol etme üstüne kurulu, proaktif yani gelecekte karşılaşılabilecek problemleri öngörmeyi esas alan temiz üretim stratejileri geliştirmek zaman, para ve diğer kaynaklardan tasarruf edilmesini sağlayacaktır.

Temiz üretim Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından toplam verimliliğin artırılması, insan ve çevre üzerindeki risklerin azaltılması amacı ile proseslere, ürünlere ve hizmetlere sürekli uygulanan entegre, önleyici nitelikli bir çevre stratejisi olarak tanımlanmıştır (UNEP, 2017a, 2017b). Temiz üretim endüstriyel bir procese, bir ürüne ve/veya hizmetlere yansıtılabilir. Temiz üretim ile çevre, üretimde çalışan işçi, tüketici korunurken, verimlilik, kar ve rekabet artırılmaktadır (UNEP, 2017b). Yeşil üretim, atık minimizasyonu, kirlilik önleme, eko-verimlilik gibi farklı isimler de temiz üretim ile örtüşmektedir (UNEP, 2017b). Sonuç olarak temiz üretimle, endüstriyel faaliyetlerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltılırken, verimlilik ve mali fayda artırılmış olacaktır. Öte yandan bir ürün veya süreç veya hizmet üzerinde; üretim, kullanım, atık uzaklaştırma aşamalarının tümü veya bazılarını ele alarak yürütülebilen Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) çalışmaları, temiz üretime erişmek için kullanılacak en etkin yöntemlerden biridir. YDD, ürün, süreç veya hizmetin çevre üzerindeki etkilerinin objektif ve bütüncül bir bakış açısı ile kantitatif olarak ortaya konmasını sağlayacak bir metodolojidir.

Yerinde elde edilmiş verilere dayalı şekilde yürütülmüş YDD çalışmaları, özellikle yaşam döngüsü yaklaşımını benimsememiş ya da bu konuda yapılmış yeterli sayıda örneğe sahip olmayan ve dolayısıyla konuya ilişkin bir veri tabanı oluşturamamış, Türkiye gibi ülkeler için önem taşımaktadır. Farklı ülkeler veya ülke toplulukları için geliştirilmiş veri tabanlarının kullanılması sonucu elde edilen bulguların, sınırlı YDD çalışmalarına sahip ülkelere uygulanması yanıltıcı sonuçlara yol açabilir. Bu açıdan enerji örneği konunun daha iyi anlaşılabilmesini sağlayacaktır. Endüstriyel sektörlerin çoğu yoğun enerji kullanımına sahiptir. Diğer bir deyişle enerji, endüstriyel faaliyetler açısından en önemli girdilerden bir tanesidir. Farklı ülkelerde yer alan farklı sektörler YYD ile temiz üretimin açısından değerlendirildiğinde, ancak değerlendirmelerin gerçekleştirildiği ülkeye ait öneriler sunulabilir. Yani, enerji kaynağı olarak şebeke elektriğini kullanan ve İsveç'te yer alan bir demir çelik fabrikasına yönelik yürütülen YDD sonuçlarının temiz üretim açısından irdelenmesi ve bulguların Türkiye'deki bir demir çelik endüstrisine uygulanması, İsveç ve Türkiye'deki şebeke elektriğine katkı veren kaynaklar farklı olduğundan hatalı sonuçlar doğurabilir.

Yüksek etki faktörlü International Journal of Life Cycle Assessment dergisinde yer alan editör yazılarında da, Klöpffer ve Curran (2014) henüz tam olarak YDD düşünce tarzını benimsememiş ülkelerde gerçekleştirilen çalışmaların önemini vurgulamışlardır. Bu açıdan bakıldığında Türkiye için ülkemize özel yerinde toplanan veriler doğrultusunda gerçekleştirilen öncü çalışmalara, yani arka plan verilerine ihtiyaç olduğu sonucuna varılabilir.

Yukarıda sunulan çerçevede, bu çalışma endüstride temiz üretim seçeneklerinin saptanmasında YDD kullanımına ait, tümü Türkiye'de yer alan endüstrilerde yerinde toplanmış verilerle yürütülen çalışmalara ait örnekler sunulmaktadır. YDD'de girdi olarak farklı coğrafyalar için oluşturulmuş veri tabanlarının kullanımı yerine ülkemize özel veriler ışığında değerlendirmelerin gerçekleştirilmesinin önemi de vurgulanmıştır.

## 2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)

YDD seçilen ürün, veya sistemin hammaddelerinin eldesinden başlayarak hammaddelerin işlenmesi, ulaşım, üretim, bakım ve onarım, kullanım ve kullanım sonu değerlendirilmesi ya da bertarafı yaşam döngüsü

basamaklarını kapsayan, uluslararası kabul görmüş sistematik bir çevresel etki değerlendirme yöntemidir (Baumann ve Tillman, 2004). Bu aşamalarda yer alan tüm girdi ve çıktılar kapsamlı envanterleri derlenerek bir arada değerlendirilir ve ürün veya sistemin potansiyel çevresel etkileri hesaplanır (Azapagic, 2010; EPA, 2006).

YDD yönteminin Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) gibi diğer çevresel etki analizi için kullanılan yöntemlere göre başlıca avantajı sadece tesis veya üretim sahası tarafından üretilen emisyon ve atıklara odaklanmak yerine, bir ürün veya sürecin yaşam döngüsündeki tüm çevresel etkileri kapsayacak şekilde belirlenen sistem sınırları için değerlendirme yapmasıdır.

YDD ürün, süreç, tesis, teknoloji ya da hizmet için doğrudan veya dolaylı etkileri ele alır (Azapagic, 1999). YDD planlamacılar ve karar vericilere çevresel etkiler ve maliyetlerle ilgili gerekli değerlendirmeleri yapmalarında yardımcı olmak için uygun bir araçtır (Baumann ve Tillman, 2004).

YDD metodolojisi, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından oluşturulan ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına (ISO, 2006a, 2006b) göre tanımlanmıştır. Bu standart serisine göre YDD, Şekil 1'de verildiği gibi birbiriyle ilişkili dört basamaktan oluşmaktadır. Bunlar; amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki değerlendirme ve sonuçların yorumlanmasıdır (ISO, 2006a).

Bir ürün için gerçekleştirilecek YDD adımları ve değerlendirmede göz önüne alınabilecek süreçler Şekil 2'de verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi beşikten mezara bir kapsam ele alındığında üretim adımında hammadde, yardımcı maddeler ve enerji eldesi, bunların üretimin gerçekleştirildiği tesise taşınması işlemleri ve üretim yer almaktadır. Kullanım adımında ise kullanım, bakım ve onarım gibi süreçler ele alınmaktadır. Ömür sonu adımında farklı malzemelerin ürün içinde bulunması durumunda parçalara ayırma, atıkların ya da geri dönüştürülebilir malzemelerin arıtım ya da geri dönüşüm tesisine taşınmaları, atık arıtımı ve bertarafı süreçleri incelenmektedir.

Aşağıda, yukarıda sözü edilen YDD adımlarının uygulama sırasına göre tanımları yer almaktadır:

**Amaç ve Kapsam Tanımı:** İlk aşamada çalışmanın amaç ve kapsamı belirlenmelidir. Amaç, çalışmanın yürütülme nedenleri ve hedef kitle dikkate alınarak tanımlanır. Çalışmanın amacına uygun olarak sistem sınırları belirlenmektedir. Yaşam döngüsü modellemesinde seçilen sistem için belirlenen sınırlar içerisinde oluşan girdi ve çıktı akışları modellenmektedir. YDD çalışmalarında sistem sınırları beşikten kapıya (hammaddeden fabrika kapısına kadar), kapıdan kapıya (sadece üretim süreçlerine odaklanarak) veya beşikten mezara (hammaddeden bertarafı kadar) olarak belirlenebilir. Bu aşamada ayrıca ürünün ya da sistemin işlevini nicelik olarak ölçeklendirmek için bir referans olan fonksiyonel birim tanımlaması yapılır (Baumann ve Tillman, 2004).

**Envanter Analizi:** Bu aşama, proses akış şemaları oluşturularak incelenen sistemin girdi ve çıktıları için veri toplama ve hesaplama prosedürünü içerir. Girdiler su, enerji ve hammadde iken çıktılar ürünler ve yan ürünler, atıklar ve emisyonlardır. Bu aşamada ayrıca veri kalitesi gereksinimleri belirlenmelidir (Rebitzer vd., 2004).

**Etki Değerlendirmesi:** YDD'nin üçüncü aşamasını oluşturan bu basamakta envanter değerlendirilmesi sonucunda elde edilen verilerin potansiyel çevre etkileri değerlendirilir (Guinée vd., 2004). İlk olarak çalışma ile ilgili ele alınacak çevresel etki kategorileri seçilip tanımlanır ve sonrasında ise envanter öğeleri ilgili katsayılarla çarpılarak çevresel etkiler hesaplanır (Baumann ve Tillman, 2004). YDD çalışmalarında genel olarak kullanılan çevresel etki kategorileri küresel ısınma potansiyeli (KIP), abiyotik tükenme potansiyeli (ATP fosil, su ve element), asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (ÖP), tatlı su canlılarına ekotoksikite potansiyeli (TSEP), deniz canlılarına ekotoksikite potansiyeli (DEP), insan toksisite potansiyeli (İTP), ozon tabakası incelmesi potansiyeli (OTİP), fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (FOOP), karasal ekotoksikite potansiyeli (KEP), partikül madde, radyoaktif emisyonlar ve arazi kullanım değişikliği şeklinde sıralanabilir.

**Sonuçların Yorumlanması:** Bu aşamada sonuçlar belirtilen hedef ve kapsama uygun olarak yorumlanır. Çevresel etkilerin en fazla olduğu noktalar belirlenirken iyileştirme alternatifleri değerlendirilir. Elde edilen sonuçların belirsizliği ve doğruluğu da bu adımda ele alınır (Baumann ve Tillman, 2004).

### 3. Endüstrilerde Temiz Üretim için Yaşam Döngüsü Değerlendirme Uygulamaları

Türkiye'deki farklı endüstriyel sektörler için tesislerden yerinden toplanan veriler doğrultusunda yürütülen YDD uygulamaları ve bunların temiz üretime yansımaları üzerine örnekler aşağıda verilmektedir:

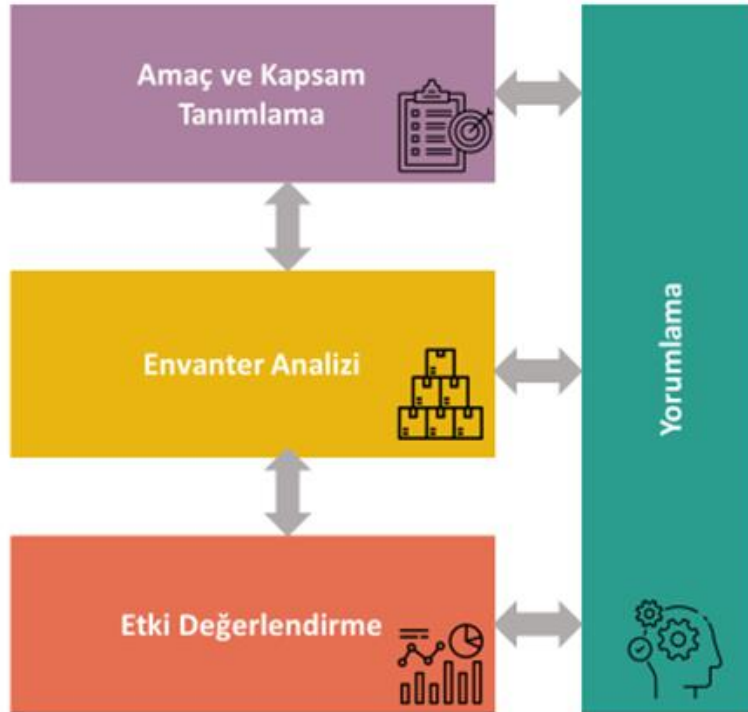
#### 3.1. Baskılı devre kartı üretimi

Baskılı devre kartları tüm elektronik cihazlarda kullanılan ekipmanlardır. Elektronik eşya üreten bir firmanın baskılı devre kartı üretim hatlarından yerinde veri toplanarak oluşturulan çalışmada proseslerin çevresel etkilerinin belirlenmesi ve iyileştirmeler için öneriler getirilmesi amaçlanmıştır. Baskılı devre kartı hattında ele alınan prosesler ve çalışmanın sistem sınırları Şekil 3'te verilmiştir. Fonksiyonel birim olarak 1 m<sup>2</sup> baskılı devre kartı seçilmiştir. Yapılan çalışmada bakır aşındırma prosesinin, baskılı devre kartı üretiminin çevresel etkilerini en çok etkileyen proses olduğu belirlenmiştir (Ozkan vd., 2017).

Bakır geri dönüşümü için hassasiyeti belirlemek üzere oluşturulan senaryolarda bakır dönüşüm oranının %30'tan %47'ye çıkarılması durumunda tüm çevresel etkilerde %10'dan %103'e kadar değişen çeşitli oranlarda azalma olabileceği görülmüştür (Ozkan vd., 2020).

Bakır geri dönüşümünün yanı sıra taşımanın etkisi de incelenmiş; halihazırda Güney Kore'den ithalata gerçekleştirilen bakır yüzeyli levhanın aynı tesiste üretiminin gerçekleştirilmesi durumunda çevresel etkilerin önemli ölçüde azalacağı belirlenmiştir (Ozkan vd., 2020).

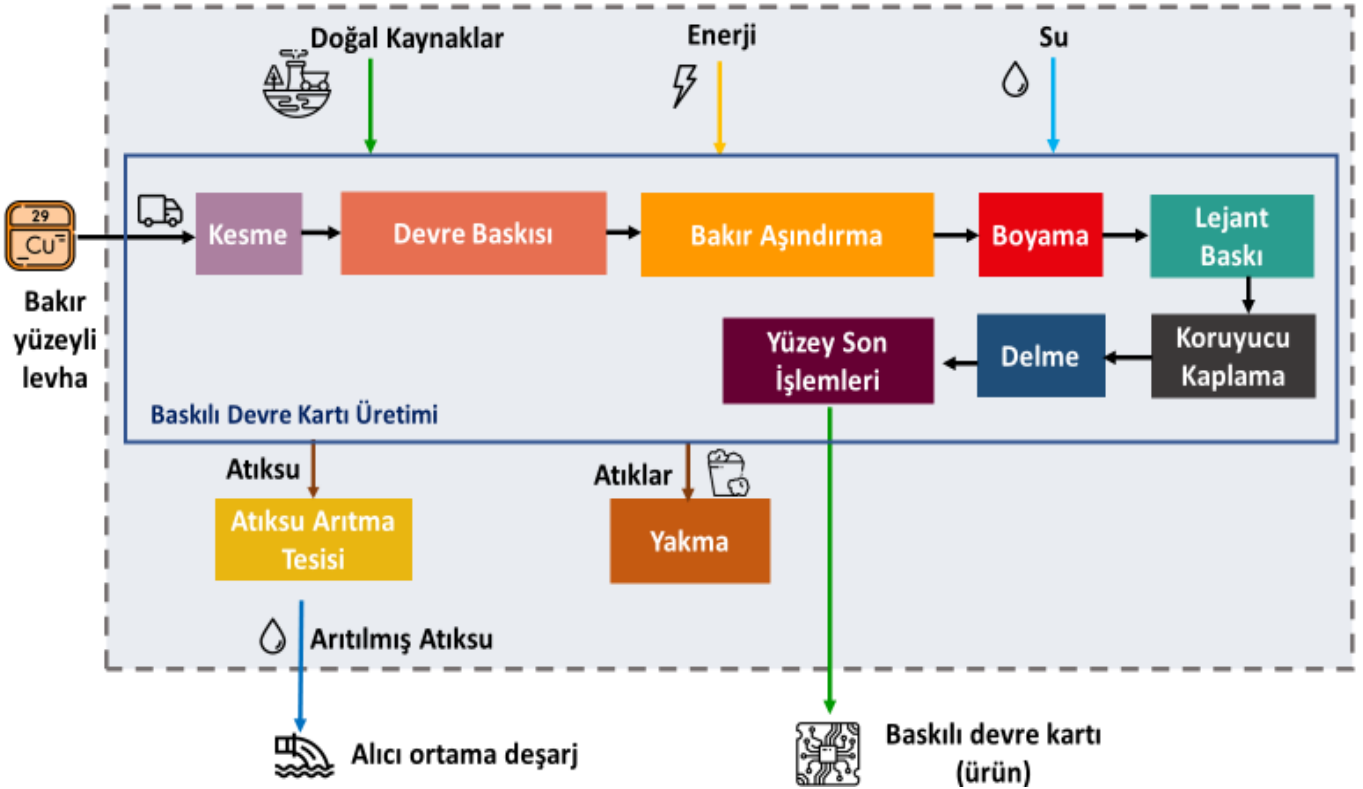
Tesiste kullanılan şehir şebekesi elektriğinin bir rüzgâr türbini ile temin edilmesi olasılığı değerlendirilerek, bu durumda İTP, KIP, ATP-fosil kategorilerinde sırasıyla %56, %39 ve %40 azalma olacağı belirlenmiştir (Ozkan vd., 2020).



Şekil 1. YDD süreci. (ISO 14040, 2006) (Simgeler: [www.flaticon.com](http://www.flaticon.com))



Şekil 2. Bir ürün için YDD adımları. (Simgeler: www.flaticon.com)



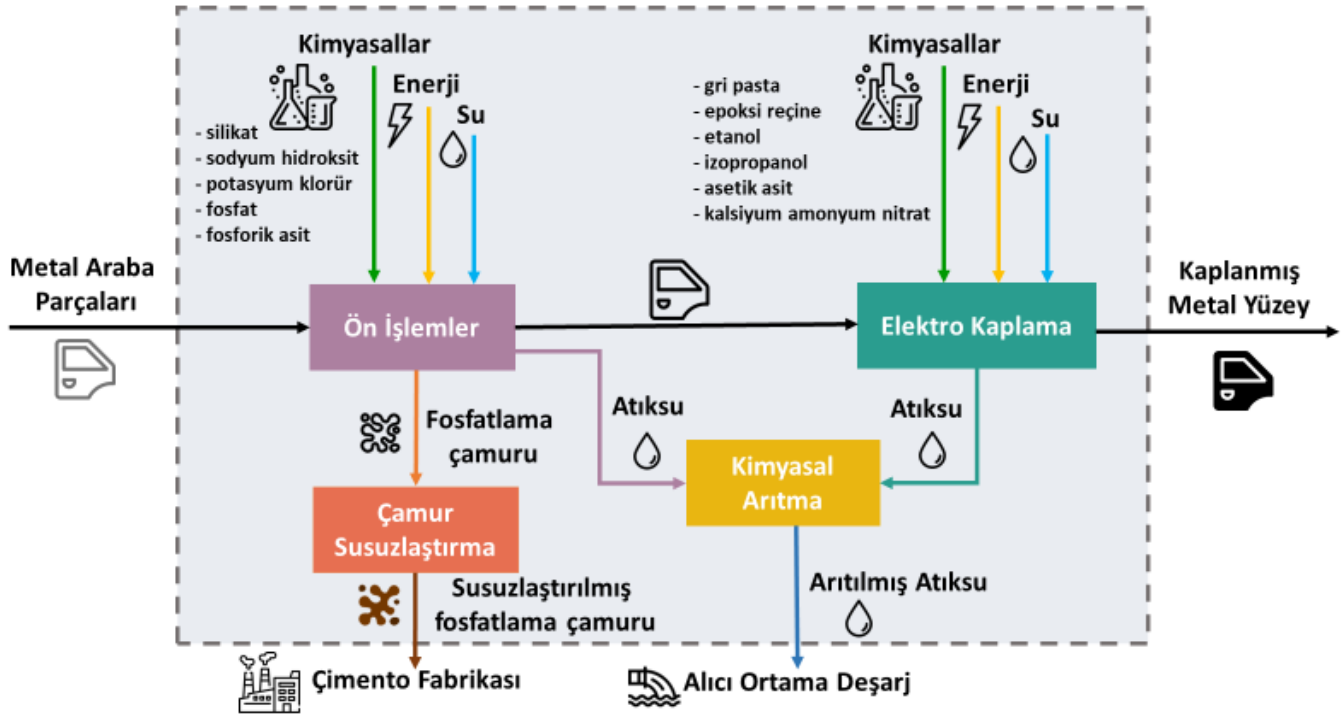
Şekil 3. Baskılı devre kartı üretimi sistem sınırları. (Özkan ve diğ., 2020'den uyarlanmıştır. Simgeler: www.flaticon.com)

### 3.2. Otomotiv endüstrisi kataforez prosesi

Yılda yaklaşık 6100 kamyon ve otobüs üreten Kocaeli'de kurulu 860 işçi çalışan bir fabrikadan alınan gerçek verilerle otomotiv endüstrisinde en yaygın yüzey kaplama işlemi olan kataforez prosesi üzerinde yürütülen YDD çalışmasına ait sistem sınırları Şekil 4'te verilmektedir.

Tesiste yer alan kataforez prosesinin çevresel etkileri YDD yaklaşımı ile saptanmıştır. Tesiste, otomotiv endüstrisinde kullanılacak metal parçalara uygulanan kataforez işlemi Şekil

4'te de görüldüğü gibi iki adımlı olarak yürütülmektedir. Her iki adımda toplam 10 banyo bulunmaktadır. İlk adım ön işlemler ikinci adım ise elektro kaplamadır (Karacal ve diğ., 2019). Ön işlemler sıcak su ile yıkama, yağ alma, su ile yıkama, yüzey aktifleştirme, fosfatlama, su ile yıkama ve deiyonize su ile yıkama banyolarından oluşmaktadır. Öte yandan elektro kaplama adımında kataforez boyama, ultrafiltre edilmiş su ile yıkama ve deionize su ile yıkama bulunmaktadır. 1 m<sup>2</sup> kaplanmış metal yüzey fonksiyonel birim olarak ele alınmıştır (Karacal ve diğ., 2019).



Şekil 4. Otomotiv sanayi kataforez prosesi sistem sınırları (Karacal ve diğ., 2019'dan uyarlanmıştır. Simgeler: www.flaticon.com)

Kataforez prosesinin toplam enerji tüketimi 12,5 kWsa/m<sup>2</sup> düzeyindedir (Karacal vd., 2019). Elektro depozisyon kaplama ve ultra filtre edilmiş su ile yıkama banyoları ana çevresel etki kaynakları olarak saptanmışlardır. Öte yandan taşıma işlemlerinin çevresel etkileri ihmal edilebilecek düzeydedir. Enerji ihtiyacı tüm incelenen tüm çevresel etkiler için ana kaynak olarak saptanmıştır (Karacal vd., 2019). Halihazırda tesis enerji kaynağı olarak Türkiye şebeke elektriğini kullanmaktadır. Türkiye şebeke elektriği yerine rüzgâr enerjisi, fotovoltaik hücre ve kömür kullanım senaryoları kurularak, söz konusu enerji kaynaklarının çevresel etkiler üzerindeki tesiri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar rüzgâr enerjisinin enerji kaynağı olarak kullanılması durumunda tüm çevresel etkilerde azalma olduğunu göstermiştir (Karacal vd., 2019). Şebeke elektriği yerine güneş enerjisi kullanımı ise İTP hariç diğer tüm çevresel etkileri azaltmıştır (Karacal vd., 2019).

Tesisteki üretim prosesleri için gereken enerji tüketimi, üretimin banyolar vasıtasıyla yürütülmesi nedeniyle, gerçekleştirilen üretim kapasitesinden bağımsız ve sabittir. Tesisin halihazırındaki üretimi, üretim kapasitesinin %32'si düzeyindedir (Karacal vd., 2019). Bu nedenle tesisin tam kapasite ile çalışması yüksek oranda enerji tasarrufuna yol açarak istenmeyen çevresel etkilerin azalmasını sağlayacaktır (Karacal vd., 2019).

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda tesisin çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla tam kapasite çalıştırılması ve enerji kaynağı olarak da rüzgâr enerjisinin kullanımı önerilmiştir (Karacal vd., 2019).

### 3.3. Su arıtma tesisi

Yaklaşık 2.600.000 kişilik nüfusa hizmet eden, 400.000 m<sup>3</sup>/gün debili büyük ölçekli bir su arıtma tesisinin inşaa ve işletme aşamaları üzerine yerinden toplanan verilerle yürütülen ve bu açıdan ülkemizde su arıtma tesislerinde gerçekleştirilen ilk YDD çalışmasının bulguları aşağıda özetlenmektedir:

Tesis konvansiyonel bir arıtma teknolojisi içermektedir. Büyükçekmece Gölü'nden çekilen su, ızgaralardan geçirilmekte, ardından bir kaskat vasıtası ile havalandırılmakta, aktif karbon ilave edilmektedir. Daha sonra (alüminyum sülfat ve polielektrolit ilavesi gerçekleştirilen) koagülasyon-flokülasyon ve kum filtrelerinden geçen su klorlanarak dezenfeksiyona tabi tutulmaktadır. Fonksiyonel birim 1 m<sup>3</sup> arıtılmış atıksudur (Elginöz vd., 2019).

Tesisin inşaa aşaması ele alındığında KIP, AP, ÖP ve İTP etki kategorilerinde en etkin faktörler beton ve çelik girdileri olarak saptanmıştır (Elginöz vd., 2019). TSEP ve KEP ise esas olarak polivinil klorür boru ve membranlar ile kullanılan beton kaynaklıdır (Elginöz vd., 2019). DEP kaynakları beton, alüminyum ve inşaat çeliğidir. Ulaşım inşaa aşaması çevresel etkileri üzerinde etkili değildir (Elginöz vd., 2019).

İşletme aşamasında bulunan sonuçlara göre bu tesiste 1 m<sup>3</sup> arıtılmış su elde edebilmek için 0,57 kWsa enerji gereklidir (Saad vd., 2019). Giriş ve çıkış pompa istasyonları toplam enerji ihtiyacının %85'ini oluşturmaktadır (Saad vd., 2019). Çevresel etkiler ana olarak enerji ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Tesisin enerji kaynağı ise şebeke elektriğidir. Şebeke elektriği yerine özellikle rüzgâr enerjisi gibi bir yenilenebilir kaynağın kullanımı tüm etki kategorilerindeki istenmeyen çevresel etkileri düşürecektir. Öte yandan enerji ihtiyacının şebeke elektriği yerine güneşten sağlanması durumunda İTP ve ATP-elementler haricindeki tüm etkiler azalmaktadır (Saad vd., 2019). Gerçekleştirilen hassasiyet analizi sonuçları tesisin işletme aşamasında, halihazırda %60 verim ile çalışan pompaların %90 verimlilikle değiştirilmesi durumunda 0,171 kWsa düzeyinde enerji kullanımından tasarruf edildiğini göstermektedir (Saad vd., 2019). Böylelikle çevresel etkilerde %15 ile %24 düşüş sağlanması mümkündür (Saad vd., 2019). Enerji kaynağının yenilenebilir rüzgâr veya güneş enerjisi ile değiştirilmesi ve pompaların yüksek verimlilikle yenilenmesi çevresel etkileri azaltıcı stratejiler olarak önerilmektedir (Saad vd., 2019).

### 3.4. Endüstriyel su arıtma sistemleri

Su, pek çok endüstride önemli girdiler arasında yer almaktadır. Tekstil, metal sanayii gibi sektörlerde kullanılan su miktarı oldukça yüksektir. Endüstriler farklı kalitede suya ihtiyaç duyabilmektedir. Bazı endüstri sektörlerinde, aynı tesis içinde musluk suyundan deiyonize suya kadar değişik bir yelpazede kaliteye sahip su ihtiyacı olabilmektedir.

Bir endüstri için kazan suyu hazırlama sistemlerinin çevresel etkilerinin incelendiği çalışmada kuyudan çekilen suyun ters osmoz ve iyon değiştirici sistemlerden geçirilmesi sonucu ortaya çıkan çevresel etkiler değerlendirilerek en az istenmeyen etkiyi yaratacak sistemin hangisi olduğu saptanmıştır. Kuyudan temin edilen ham suyun arıtılmış suya dönüştürülmesi sistem sınırları olarak belirlenmiştir (Yalamacılar vd., 2019).

İyon değiştirici sistemi ters osmoza göre yaklaşık %19 daha az enerji ihtiyacına sahiptir (Yalamacılar vd., 2021). Buna karşın iyon değiştirici kaynaklı istenmeyen çevresel etkiler ters osmoza göre daha yüksek olduğundan ters osmoz ile arıtma sistemi seçilmelidir (Yalamacılar vd., 2021).

Ters osmoz ile arıtmada çevresel etkilerin en önemli kaynağı elektrik tüketimidir. Öte yandan iyon değiştirici ile arıtmada çevresel etkilerin etkinin çoğunluğu kimyasal tüketiminden kaynaklanmaktadır (Yalamacılar vd., 2021).

Enerji kaynağını şebeke elektriğinden rüzgâr enerjisine çevirmek ATP (fosil), İTP, AP, ÖP ve KEP etki kategorilerinde azalmalara neden olmaktadır (Yalamacılar vd., 2021).

İyon değiştirici alternatifinin ATP (fosil) düzeyi kimyasal girdisi nedeni ile, ters osmoza göre %68 daha fazladır (Yalamacılar vd., 2021). İyon değiştirici rejenerasyonu esnasında ihtiyaç duyulan kimyasallar iyon değiştirici kaynaklı AP'nin ters osmoza göre %66 daha yüksektir (Yalamacılar vd., 2021). Benzer şekilde iyon değiştirici alternatifinde kullanılan NaOH ve HCl, ÖP değerinin ters osmoza göre %79 daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır (Yalamacılar vd., 2021).

Ters osmoz sisteminde elektrik ve kimyasal tüketimi KIP üzerinde eş düzeyde etkinken, iyon değiştiricide kimyasal girdisi önem kazanmaktadır (Yalamacılar vd., 2021). İyon değiştirici sisteminin KIP'i, ters osmoza göre %68 yüksektir (Yalamacılar vd., 2021). Seçeneklerin İTP değerleri karşılaştırıldığında iyon değiştiricinin %64 daha fazla etki yaptığı saptanmıştır (Yalamacılar vd., 2021). OTTP üzerinde ise NaOH girdisi etkindir. İyon değiştiricinin OTTP değeri ters osmoza göre %86 daha yüksektir (Yalamacılar vd., 2021).

İyon değiştirici sistemine ait KEP ve TSEP değerleri de ters osmoza göre %78 daha yüksektir (Yalamacılar vd., 2021).

### 3.5. Rüzgâr santralleri tarlası

Bazı endüstri sektörlerinde istenmeyen çevresel etkilerin kaynağı enerji tüketimidir. Bu nedenle şebeke elektriği yerine güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile çevresel etkiler azaltılabilmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının da çevresel etkilere sahip olabileceği

unutulmamalıdır. Tüm diğer sanayi tesisleri gibi enerji üreten kuruluşların kurulum, işletme ve ömür sonu aşamalarından çevresel etkiler kaynaklanmaktadır.

Toplam 47,5 MW kurulu kapasiteye sahip, 2,5 MW Nordex türbinlerinden oluşan tam ölçekli bir rüzgâr tarlasından elde edilen gerçek veriler üzerinde yürütülen YDD çalışması yenilenebilir enerji sistemlerinin çevresel etkilerinin belirlenmesine dair bir örnek olup sonuçları aşağıda verilmektedir (Ozsahin vd., 2022).

Söz konusu çalışmada 1 kWh elektrik üretimi fonksiyonel birim olarak kullanılmıştır. Çalışmada malzeme üretimi, ana parçaların üretimi, kurulum, nakliye, işletme-bakım ve yaşam sonu aşamaları sistem sınırları olarak kapsamaktadır (Şekil 5) (Ozsahin vd., 2022).

Tüm yaşam döngüsü ele alındığında çevresel etkilerin ana kaynağının üretim ve kurulum adımı olduğu ortaya çıkmaktadır (Ozsahin vd., 2022). Kule üretiminde kullanılan çelik, ATP (fosil), AP, ÖP, KIP ve DEP kategorilerine en yüksek katkıyı yapmaktadır (Ozsahin vd., 2022).

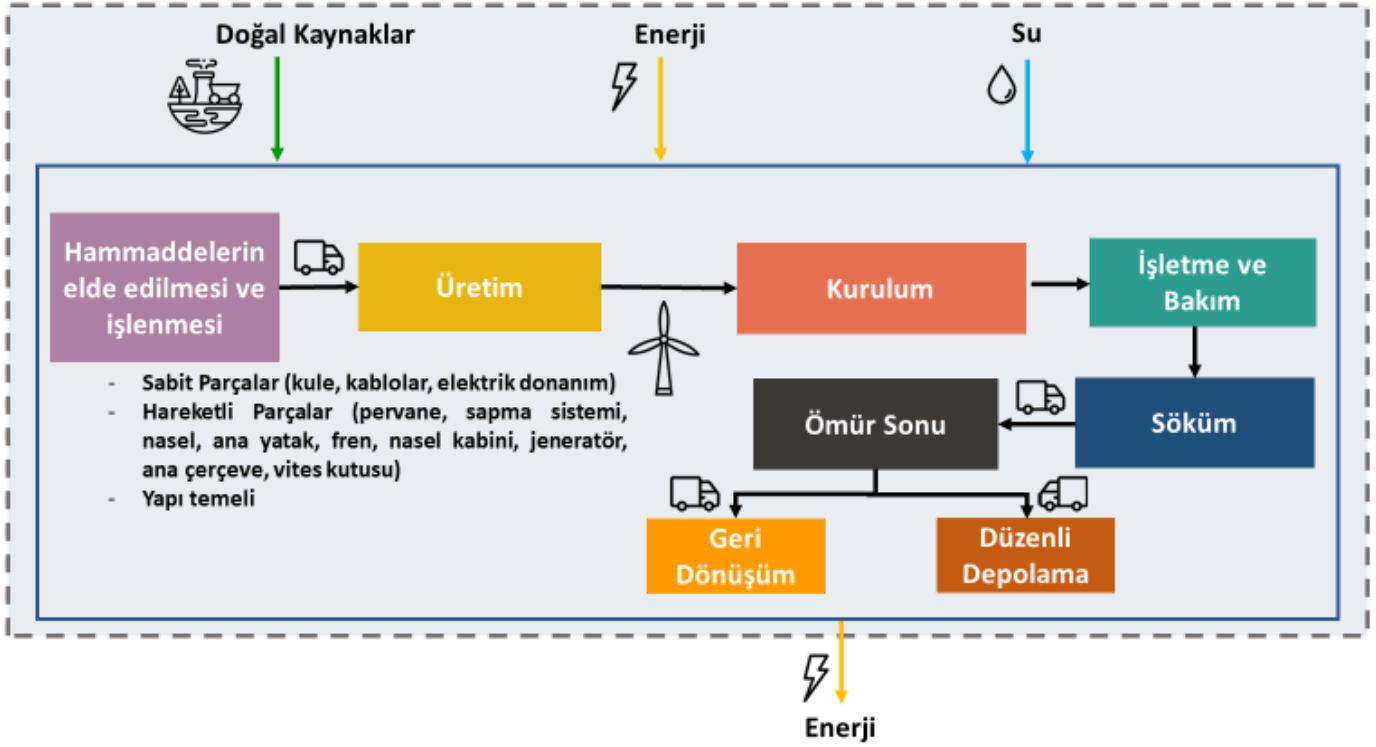
Metal geri dönüşümü nedeniyle, ömür sonu aşaması OTİP hariç tüm kategorilerde azalma sağlamaktadır. Metal geri dönüşümünün %90'dan %20'ye düşürülmesi AP'nin %110, KEP'in %102, DEP'in %92 ve KIP'nin %87 oranında artmasına neden olacaktır (Ozsahin vd., 2022).

Çalışmadaki rüzgâr tarlasındaki ana parçalar Almanya'da üretilmekte ve ardından deniz yolu ile ülkemize taşınmaktadır. Bunun yerine ana parça üretiminin Türkiye'de gerçekleştirilmesi ve parçaların kara yolu ile tarlaya taşınması sonucunda, nakliye değişikliği nedeniyle ATP (fosil) %31, TSEP %35 ve KIP %27 artarken, AP'de %11 ve ÖP'de ise %4 düzeyinde azalma olacağı saptanmıştır (Ozsahin vd., 2022).

### 3.6. Endüstriyel kimyasal seçiminde YDD

Temiz üretim, atıkları kaynaktan önlemeye dayalı, tesis-içi kirlenme kontrolü yaklaşımına öncelik veren bir yöntem olduğundan üretim sırasında aynı görevi yapabilecek farklı girdiler arasında çevre açısından uygun olanı seçmeyi de gerektirir. YDD metodolojisi endüstride birbirleri yerine kullanılacak kimyasalların hangisinin istenmeyen çevresel etkilerinin daha az olduğunun belirlenmesinde, diğer bir deyişle daha çevre dostu kimyasal seçiminde de net bilgiler elde edilmesini sağlayabilmektedir. Buna örnek olarak geniş kullanım alanına sahip, birbirini ikame edebilecek iki metal yüzey kaplama kimyasalının çevresel sürdürülebilirliğinin karşılaştırıldığı çalışma (Sezginer vd., 2022) verilebilir. Çalışmada formülasyonları değişik iki çinko fosfatlama kimyasalı (Ürün A ve Ürün B) üretimi için çevresel etkiler karşılaştırılmıştır. Fonksiyonel birim 1000 kg ürün olarak tanımlanmıştır. Sistem sınırları ise hammadde eldesinden ürünlerin paketlenerek fabrikadan çıkışına kadar işlemlerle beraber tüm ulaşım basamaklarını kapsamaktadır. Veriler Kocaeli'nde üretim yapmakta olan bir fabrikadan 2019 yılı temel alınarak sağlanmıştır. Çalışmada modelleme için GaBi 7.3 yazılımı (Sphera, 2017) ve Ecoinvent veritabanı (Ecoinvent, 2013) kullanılmıştır. Çevresel etkiler CML 2 (Guinee vd., 2001) etki değerlendirme yöntemi ile hesaplanmıştır (Sezginer vd., 2022).





Şekil 5. rüzgâr tarlası sistem sınırları (Ozsahin vd., 2022'den uyarlanmıştır. Simgeler: www.flaticon.com)

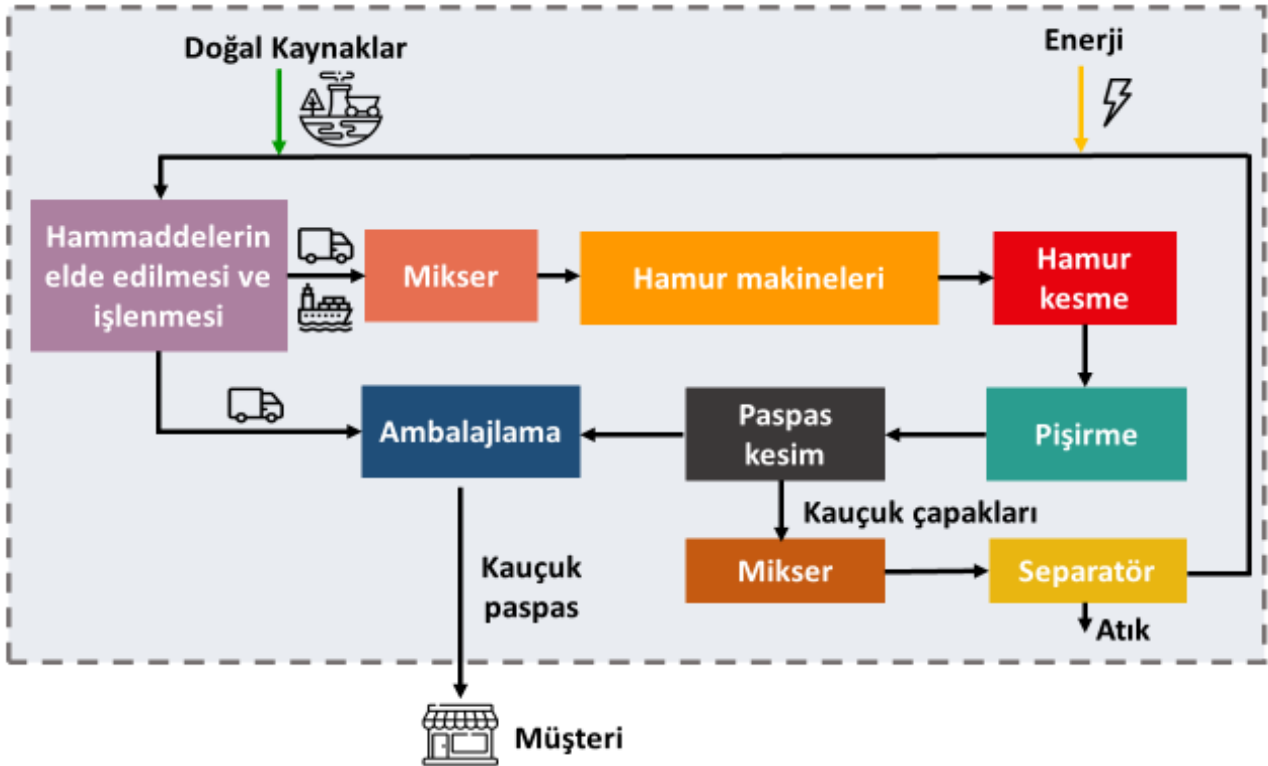
Elde edilen sonuçlar Ürün A'nın KIP dışında daha az çevresel etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Bunun başlıca sebebi ise ürünler arasındaki hammadde çeşitlerinin ve miktarlarının farklılığından kaynaklanmaktadır. Nitrik ve fosforik asit üretimi Ürün A ve B için tüm çevresel etki kategorilerinde fazla etkinin geldiği basamaktır (Sezginer vd., 2022). Çalışmada ayrıca tesiste kullanılan elektriğin yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ya da rüzgâr enerjisi ile sağlandığı durum için de çevresel sürdürülebilirlik analizi yapılmıştır. Şebeke elektriği yerine fotovoltaik paneller ya da rüzgâr türbinleri kullanıldığında, ATP unsurları dışında diğer etki kategorilerinde azalmalar tespit edilmiştir (Sezginer vd., 2022). Şebeke elektriği yerine rüzgâr türbinlerinden elde edilen elektrik tesiste kullanılırsa ATP fosil, AP, ÖP, İTP, OTİP ve FOOP için %95'ten fazla düşüş olacağı bulunmuştur (Sezginer vd., 2022). Elde edilen sonuçlar tesisteki elektriğin rüzgâr türbinlerinden sağlanmasının fotovoltaik panellere ya da şebeke elektriğine göre daha az istenmeyen çevresel etkiler çıkarttığını göstermiştir. Bu çalışmadan (Sezginer vd., 2022) elde edilen sonuçlar metal endüstrisinde kullanılan yüzey işlem kimyasalları için alternatif hammaddelerin kullanılması halinde istenmeyen çevresel etkilerin büyük oranda azaltılabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca yenilenebilir enerji ile enerji üretiminin teşvik edilmesi de sürdürülebilir metal endüstrisi açısından büyük öneme sahiptir.

### 3.7. Araba paspasları için YDD

Otomotiv sektörü parça, aksam ve sistem olarak incelendiğinde demir-çelik, petrokimya, lastik, tekstil, cam, elektrik-elektronik gibi sektörleri kapsayan çok geniş bir

üretim ağına sahiptir. Bundan dolayı otomotiv sektörünün sürdürülebilirliğinin artırılması için YDD büyük önem taşımaktadır.

Burada ele alınan ve Örucü ve Atılğan Türkmen (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, her araçta kullanılan paspasın çevresel etkileri ile ilgili bir YDD çalışması yürütülmüştür. Söz konusu çalışmada araçlarda kullanılan kauçuk paspasların çevresel etkileri değerlendirilerek halı paspas ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada ayrıca kauçuk paspas üretiminde kullanılması planlanan alternatif hammadde ve enerji kaynakları ile farklı nakliye mesafesi verileri üzerinden hassaslık analizi yapılmış olup sonuçlar karşılaştırılmıştır. Fonksiyonel birim olarak "1 set otomobil paspası" seçilmiştir. Sistem sınırları Şekil 6'da da görüldüğü gibi, hammaddelerin elde edilmesi ve işlenmesi, hammadde, ambalaj malzemeleri ile ürünlerin nakliyesi, mikser, hamur makineleri şablon ile hamur kesme, pişirme, paspas kesim ve ambalajlama basamaklarını içeren üretim süreçlerini kapsamaktadır. Tüm veriler Bilecik'te üretim yapmakta olan bir tesisten 2019 ve 2020 yılları için sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ATP fosil ve element ile OTİP dışındaki diğer çevresel etki kategorilerinin en fazla üretim basamağından kaynaklandığını göstermiştir (Örucü ve Atılğan Türkmen, 2022). Ayrıca araçlarda kauçuk paspas kullanımı yerine halı paspas kullanımının tüm kategorilerdeki çevresel etkilerde artışa sebep olduğu bulunmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde otomotiv sektöründe kullanılan parça ve aksesuarları için özellikle üretim tesislerinden elde edilen verilerle gerçekleştirilen YDD kullanımının yaygınlaştırılmasının sektörden kaynaklanan çevresel etkileri azaltılabileceği ortaya koyulmuştur (Örucü ve Atılğan Türkmen, 2022).



Şekil 6. Araba paspası üretimi sistem sınırları (Örücü ve Atılgan Türkmen, 2022'den uyarlanmıştır. Simgeler: www.flaticon.com)

#### 4. Sonuç ve Değerlendirme

Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan çevresel etkilerin objektif ve bütünlük bir sistematik izlenerek YDD metodolojisi ile ortaya koyulması temiz üretime ulaşılması açısından önemli ipuçları vermektedir. Yukarıda özetlenen çalışmalarda da sözü edildiği gibi YDD yöntemi kullanılarak bir üretim sisteminin çevresel etkileri, çevresel etkilerin oluşmasında en etkin üretim prosesleri (sıcak noktalar), bu etkilerin azaltılması için uygulanabilecek işlemler belirlenebilmektedir. Bu açıdan yaklaşıldığında enerji kullanımının yoğun olduğu endüstrilerde şebeke elektriği yerine örneğin rüzgâr enerjisinin kullanımı ile çevresel etkiler indirilebilmektedir. Öte yandan YDD aynı fonksiyona sahip iki farklı girdi arasında seçim yapmayı da kolaylaştırır. Örneğin bazı durumlarda üretim aşamasında daha fazla çevresel etkiler yaratan bir ürün kullanım ve ömür sonu adımları da ele alındığında muadili olan ve üretim esnasında daha az çevresel etki yaratan üründen daha çevreye duyarlı olabilmektedir.

Ele alınan bu sonuçlar endüstriyel ürünlerle ilgili Çevresel Ürün Beyanı hazırlamalarında da kullanılabilir.

YDD çalışmaları hazırlanırken temel olarak endüstrilerden toplanan 'birincil veriler' kullanılmakta, sahadan toplanamayan 'arka plan' verileri ise bu çalışmada örneklendirilen çalışmalarda da görüldüğü üzere YDD çalışmalarında kullanılmak üzere hazırlanan veri tabanlarından temin edilmektedir. Çevresel etkiler, her tesisin bulunduğu bölgedeki teknoloji olanakları, hammaddeler, diğer girdiler vb. birçok özelliğe göre değişmektedir. Söz konusu arka plan verileri ülke ve bölge (örneğin Avrupa) ortalama değerleri olarak verilmektedir. Bu sayede veri tabanını kullanılırken çalışmanın yer aldığı bölgedeki veriler seçilerek sonuçların doğruluğunun mümkün olduğunca yüksek olması sağlanmaktadır. Bu çerçevede özellikle henüz yaşam döngüsü bakış açısını tam olarak benimsememiş ülkelerde bu amaçla kullanılacak ulusal veri tabanlarının oluşturulması gerekli ve değerlidir.

Çeşitli endüstrilerde yerinden toplanmış veriler ile gerçekleştirilen YDD modelleme çıktıları özellikle ülkemiz gibi bir YDD veri tabanına sahip olmayan coğrafyalar için ayrıca değerlidir. Ülkemizde ulusal bir YDD veri tabanının oluşturulmasına yönelik çalışmalar belirlenen bazı sektörler doğrultusunda yürütülmekte olup (URL-1), buna yönelik sektörel ve akademik iş birliklerinin yoğunlaştırılması önerilmektedir.

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### 5. Kaynaklar

- Azapagic, A. (1999). Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. *Chemical Engineering Journal*, 73(1), 1-21. [https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(99\)00042-X](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(99)00042-X).
- Azapagic, A. (2010). Life cycle assessment as a tool for sustainable management of ecosystem services. In *Ecosystem Services* (Vol. 30, pp. 140-168). The Royal Society of Chemistry. <http://dx.doi.org/10.1039/9781849731058-00140>
- Baumann, H., & Tillman, A.-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA: An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application*. Studentlitteratur AB.
- Ecoinvent. (2013). *Ecoinvent Database v3.1*.
- Elginöz, N., M. Alzaboot, F. Germirli Babuna, G. Iskender (2019), "Construction of a large water treatment plant: appraisal of environmental hotspots", *Desalination and Water Treatment*, Volume 172, pp 309–315, <https://doi:10.5004/dwt.2019.25107>
- EPA. (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice* (Washington, DC, Issue).

- Guinée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppés, G., Kleijn, R., Koning, A. d., Oers, L. v., Sleeswijk, A. W., Suh, S., Haes, H. A. U. d., Bruijn, H. d., Duin, R. v., Huijbregts, M. A. J., Lindeijer, E., Roorda, A. A. H., Ven, B. L. v. d., & Weidema, B. P. (2004). Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers.
- Guinee, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppés, G., Kleijn, G.R., van Oers, R.L., Wegener, L., Sleeswijk, A., Suh, S., de Haes, H.A. Udo, de Bruijn, H., van Duin, H.R., Huijbregts, M. A.J. (2001). Life Cycle Assessment, an Operational Guide to the ISO Standards. Part 2a: Guide. In. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- ISO. (2006a). Life Cycle Assessment - Principles and Framework.
- ISO. (2006b). Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines.
- Karacal, P.N., N. Elginöz, F. Germirli Babuna (2019). "Environmental Burdens of Cataphoresis Process", Desalination and Water Treatment, Volume 172, pp. 301–308, December, doi: <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24800>.
- Klöpffer, W., & Curran, M. A. (2014). How many case studies should we publish, if any? The International Journal of Life Cycle Assessment, 19(1), 1-2. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0667-0>.
- Örücü, E., ve Atilgan Türkmen, B. (2022). Evaluating the sustainability of car mat manufacturing. Sustainable Materials and Technologies, 32, e00402. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2022.e00402>
- Özkan, E., B. Bas, N. Elginöz, F. Germirli Babuna (2020), Environmental sensitivity of printed circuit board manufacturing to Cu recycling rate, transportation and various energy sources, International Journal of Global Warming, Vol. 20 No. 3, pp. 237 – 248, <https://doi.org/10.1504/IJGW.2020.106596>.
- Özkan, E., N. Elginöz, F. Germirli Babuna (2017). Life cycle assessment of a printed circuit board manufacturing plant in Turkey. Environmental Science and Pollution Research, <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0280-z>.
- Özsahin, B., N. Elginöz, F. Germirli Babuna (2022). Life cycle assessment of a wind farm in Turkey. Environ Sci Pollut Res 29, 71000–71013. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20783-0>.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W. P., Suh, S., Weidema, B. P., & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment International, 30(5), 701-720. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>.
- Saad, A., N. Elginöz, F. Germirli Babuna, G. Iskender (2019), "Life cycle assessment of a large water treatment plant in Turkey", Environmental Science and Pollution Research, May 2019, Volume 26, Issue 15, pp 14823–14834, <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3826-9>.
- Sezginer, I., Atilgan Turkmen, B., & Germirli Babuna, F. (2022). Environmental impacts arising from the production of two surface coating formulations. Clean Technologies and Environmental Policy, 24(6), 1811-1822. <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02288-z>.
- Sphera. (2017). GaBi V7.3 software and database.
- UNEP (2017a), Environmental agreements and cleaner production, Rapor, 21 sayfa, ISBN: 92-807-2717-6.
- UNEP (2017b) Cleaner Production Assessment in Dairy Processing, Prepared by COWI Consulting Engineers and Planners AS, Denmark, United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry and Economics and Danish Environmental Protection Agency, Rapor, 95 sayfa.
- Yalamacılar, B.B., N. Elginöz, F. Germirli Babuna (2021), "Benchmarking industrial water purification systems with the aid of life cycle assessment", Desalination and Water Treatment, Vol.211, 422–431, <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2021.26574>.
- URL 1- [https://www.temizuretimmerkezi.org/aktif-projelerimiz/ulusal-yasam-dongusu-degerlendirmesi-veri-tabaninin-gelistirilmesi-projesi\\_26](https://www.temizuretimmerkezi.org/aktif-projelerimiz/ulusal-yasam-dongusu-degerlendirmesi-veri-tabaninin-gelistirilmesi-projesi_26)



## ARAŞTIRMA MAKALESİ

## Katı Atıkların Geri Dönüşümü İçin Depozito İade Sisteminin Önemi: Kızılcahamam Pilot Uygulaması Örneği

Zeynep EREN<sup>1</sup>, Nurdan TAŞARSU<sup>2</sup>

Yazışma yazarı:  
Zeynep EREN,  
zeren@atauni.edu.tr

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye.

ORCID: 0000-0003-1633-2547

<sup>2</sup>Yozgat Katı Atık Bertaraf Tesisleri, Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi, Salmanfakılı Köyü, Beşiktepe Mevkii, Yozgat, Türkiye. ORCID:0009-0007-0413-9164

## Referans:

Eren, Z. ve Taşarsu, N. (2023). Katı Atıkların Geri Dönüşümü İçin Depozito İade Sisteminin Önemi: Kızılcahamam Pilot Uygulaması Örneği, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(2) 65–74.

Makale Gönderimi: 20 MART 2023  
Online Kabul : 8 AĞUSTOS 2023  
Online Basım : 14 AĞUSTOS 2023

**Özet** Bu çalışmada Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından ülkemizde 2020 yılında yürürlüğe konulan Türkiye Depozito İade Sistemi (DİS) Projesi kapsamında Ankara İli Kızılcahamam İlçesinde 2022 yılı Temmuz ayında pilot ölçekli olarak uygulanmaya başlatılan ayrı toplanmış cam, plastik ve metal içecek ambalajı atıklarının 6 aylık verileri üzerinden evsel atık ve sıfır atık uygulamaları da dikkate alınarak DİS'in ülkemizde uygulanabilirliğinin bir değerlendirilmesi yapılmıştır. İlçede son üç yıldır uygulanan sıfır atık kapsamında toplanan geri dönüşümlü atıklar ile toplam evsel atıklar da çalışmaya dahil edilmiştir. İlçede 2019 yılı Mayıs ayında sıfır atık pilot bölgesi seçilerek geri dönüşüm için ilk çalışmalar başlatılmıştır. 2020 yılından itibaren de atıklar Sıfır Atık Yönetmeliğine (SAY) uygun olarak toplanmıştır. İlçe 2022 yılı Haziran ayında ise DİS pilot bölge olarak belirlenmiştir. Bu amaçla İlçe merkezinde Millet Bahçesi Önü, Sıfır Atık Bahçesi, Soğuksu Milli Parkı Girişi, Belediye Binası Önü ve Cumhuriyet Meydanından oluşan 5 farklı noktaya Depozito İade Makineleri (DİM) yerleştirilmiştir. Kızılcahamam İlçesinde 2020, 2021 ve 2022 yıllarında atıkların sıfır atık uygulamasına göre toplandığı ancak bu üç yılda geri dönüşümlü ambalaj atıklarının ayrı toplanma oranlarının tüm evsel atık içerisinde %7-10 arasında kaldığı görülmektedir. 2022 yılının Temmuz ayında başlatılan DİS uygulaması kamuoyu tarafından oldukça cazip bulunmuş ve altı ay gibi kısa bir sürede 560 kg'dan 5,6 tona ulaşan miktarda içecek ambalajı atığı ayrı olarak toplanmıştır. Sıfır atık uygulaması ile ayrı toplanan geri dönüşümlü atıkların içerisinde organik atıkların da bulunduğu göz önüne alındığında DİS uygulamasının kısa sürede önemli bir başarıya sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle DİS uygulamasının ülke çapında tüm il ve ilçe merkezlerinde yaygınlaştırılması ile ülkemizin 2025 yılı için belirlediği %55 olan genel geri dönüşüm hedeflerine ulaşmada önemli bir araç olabileceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Depozito İade Sistemi, Sıfır Atık, Geri Dönüşüm, İklim Değişikliği

## The Importance of Deposit Return Scheme For The Recycling Of Solid Waste: The Case Study of Kızılcahamam Pilot Implementation

**Abstract** It was conducted an evaluation of the applicability of Deposit Return Scheme (DRS), which was started to be implemented on a pilot scale in Ankara Province Kızılcahamam District in July 2022 within the scope of the Turkey Deposit Return System Project put into effect by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change in January 2021, taking into account the domestic waste and zero waste practices based on the 6-month data of the wastes separately collected glass, plastic and metal beverage packaging with DRS. In addition, the recyclable wastes collected within the scope of zero waste implementations in the district for the last three years and total domestic wastes are also included in the study. Kızılcahamam was also selected as pilot area for the zero waste practices and the first implementations for recycling were started in May 2019. Since 2020, domestic wastes have been separately collected in accordance with zero waste regulation. The district was determined as a DRS pilot region in June 2022 as well. For this purpose, Deposit Return Machines (DRM) have been placed at 5 different points in the district center, consisting of the Millet Garden, Zero Waste Garden, Soguksu National Park Entrance, in front of the Municipality Building and Cumhuriyet Square. It was seen that wastes were collected according to zero waste implementations in 2020, 2021 and 2022 in Kızılcahamam District, but the separate collection rate of recyclable packaging waste in these three years remained between 7-10% compared to domestic waste. The DRS application from July 2022 until the end of December 2022 was found very attractive by the public, and nearly six tons of beverage packaging waste was collected separately in a short period of six months, with a result close to one hundred percent (from 560 kg to 5.6 tons). Considering that organic wastes and construction wastes are included as the recyclable wastes collected separately with the zero waste application, it is evaluated that the DRS implementation has had a significant success in a short period. For this reason, it is predicted that with the dissemination of the DRS application in all cities and district centers throughout the country, it will be an important tool in reaching the general recycling targets of 55% of Turkey set for 2025.

**Keywords:** Deposit Refund Scheme, Zero Waste, Recycle, Climate Change

## 1.Giriş

Endüstriyel, ticari, madencilik ve tarımsal faaliyetler ile belediye atıkları olarak tanımlanan, gündelik yaşamımızdan kaynaklanan, üreticisine bir faydası olmadığı düşünülen terk edilen, istenmeyen, atılan herhangi bir çöp veya atık, katı atık olarak ifade edilmektedir (Christensen, 2011). Katı atık tanımının fiziksel olarak katı olan atıklarla sınırlı olmadığına dikkat etmek de gereklidir. Atıksu arıtma tesislerinden, içme suyu arıtma tesisinden veya hava kirliliği kontrol ünitelerinden gelen çamur ve diğer atılan malzemeler de katı atık sınıfı içerisinde değerlendirildiği için katı atıkların çoğu sıvı, yarı katı veya gaz halindeki maddeleri de içerebilmektedir (EEA, 2016; EPA, 2022). Dünya Bankası verilerine göre küresel olarak yılda 2,01 milyar ton evsel katı atık üretilmekte ve bunun en az %33'ü çevresel açıdan güvenli bir şekilde bertaraf edilememektedir. Yine küresel olarak kişi başına günlük üretilen atık miktarı ortalama 0,74 kg olup ülkelerin gelişmişlik seviyesine göre 0,11-4,54 kg/kişi-gün arasında değişmektedir. Dünya nüfusunun %16'sını oluşturan yüksek gelirli ülkelerin tüm küresel atığın

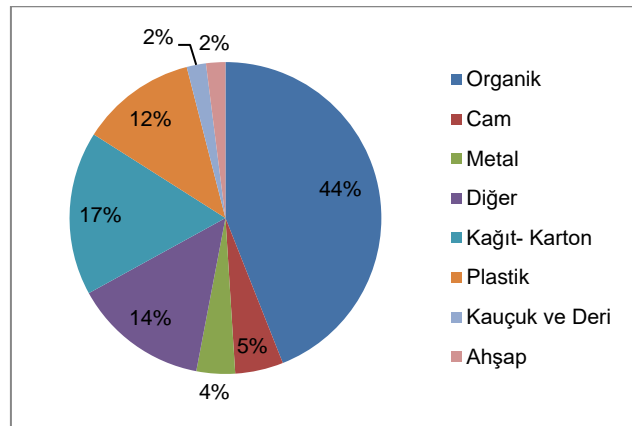
yaklaşık %34'ünü ürettiği belirtilmektedir. Yapılan tahminler 2050 yılına kadar küresel katı atık üretim miktarının 3,4 milyar tona çıkacağını ve aynı dönemdeki nüfus artışının iki katından fazla olacağını göstermektedir (WB, 2023). Dünyanın en gelişmiş ekonomilerinden biri olarak kabul edilen ABD'nin 2018 yılı istatistiklerine göre ülke çapında 292,4 milyon ton belediye atığı üretilmiş ve kişi başı günlük katı atık üretim miktarı da 2,22 kg olarak belirtilmiştir. Bu atıkların %32,1'i ise geri dönüşüm ve kompost üretimi yolu ile bertaraf edilmiştir. %11,8'lik kısmı ise enerji geri kazanımı için yakılmıştır. AB üye ülkelerde ise, 2010 yılında toplam yıllık kişi başı atık üretimi 5,2 ton olurken, 2020'de bu miktar 4,8 ton'a düşerek %4,2 azalma göstermiştir. AB Çevre Direktifinde belirtilen atık hiyerarşisinin ilk adımı olan atık üretimini önleyerek atığı azaltmaya yönelik politika hedefini gerçekleştirmek için uzun süredir çaba gösteren AB üye ülkeleri 2030 yılı için sıfır atık oluşum ilkesini benimsemektedir. Hem ABD Çevre Koruma Ajansı hem de Avrupa Çevre Ajansının benimsediği katı atık yönetim hiyerarşisi Şekil 1'de gösterilmiştir (USEPA, 2018a; EEA, 2022).



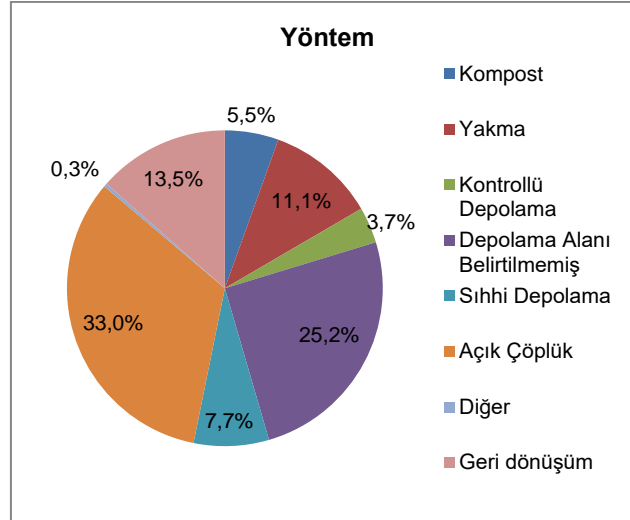
Şekil 1. Katı Atık Yönetim Hiyerarşisi.

Atıkların toplanması atık yönetim sürecinin en kritik basamağı olarak görülmektedir ancak bu durum ülkelerin gelişmişlik-gelir seviyesi durumlarına göre büyük ölçüde değişmektedir. Az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde atıkların %48'i kent merkezlerinde toplanabilirken kırsal alanlara doğru gidildikçe bu oran %26'lara düşmektedir. Avrupa ve Kuzey Amerika gibi gelişmiş ülkelerde atıkların

%96'ı toplanırken üst-orta gelir sınıfındaki ülkeler %82'sini, düşük-orta gelirli ülkeler %51'ini ve düşük gelirli ülkeler ise atıklarının %39'unu toplayabilmektedir. Dünya Bankası verilerine göre küresel olarak üretilen atıkların türleri ve oranları Şekil 2'de; bertaraf yöntemleri ise Şekil 3'te gösterilmiştir (WB, 2023).



Şekil 2. Küresel Katı Atık Türleri ve Oranları.



Şekil 3. Küresel Katı Atık Bertaraf Yöntemleri.

Ülkemizde ambalaj atıklarının geri kazanımı konusundaki ilk çalışmalar 1991 yılında başlatılmış, 2004 yılında “Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği” yayımlanarak marka sahibi sorumluluğunda, tüm ambalajların kapsama dahil edildiği ve atıkların kaynağa ayrı toplanması esasına dayanan yeni bir döneme geçilmiştir. Ardından katılımcı ülke olarak AB ile müzakerelerin başladığı 3 Ekim 2005’ten sonra çalışmalar önemli bir ivme kazanmış ve çevre müktesebatına uyum sağlamak için AB Entegre Çevre Uyum Stratejisi (2007-2023) hazırlanarak Türkiye’nin zorunlu çevresel iyileştirmeler ve düzenlemeler için ihtiyaç duyduğu teknik ve kurumsal altyapı bilgileri ile hedefler belirlenmiştir (UÇES, 2006). Bu doğrultuda Katı Atık Ana Planı (KAAP, 2006) hazırlanmış ve ilk aşamada Türkiye genelinde farklı bölgeler ve nüfus grupları için 16 adet model önerilerek AB ile uyumlu atık yönetimi doğrultusunda bu bölgelerdeki farklı atık grupları için ikili toplama/kompost, atık toplama merkezleri, atık kumbaraları, maddesel geri kazanma tesisi, AB düzenli depolama tesisi, inşaat ve yıkıntı atıkları geri dönüşüm tesisi ile biyometanizasyon tesisi gibi farklı bertaraf yöntemleri belirlenmiştir. Bu bertaraf yöntemleri için mülga Çevre ve Orman Bakanlığı’nın 2005 yılında hazırladığı “Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması için Teknik Yardım Projesi (EHCIP)” referans olarak alınmıştır (Korucu, 2019). KAAP ülkemizdeki tüm evsel katı atık yönetim stratejilerini belirleyen temel bir dayanak olmuştur ve bu doğrultuda 2008-2012 dönemini kapsayan Atık Yönetimi Eylem Planı (AYEP) hazırlanarak bölgesel planlara ek olarak tüm iller için ayrı ayrı olmak üzere nüfus ve atık projeksiyonları yapılarak düzenli depolama tesisi ihtiyacı, biyobozunur atıkların işlenmesi, yakma, düzensiz depolama alanlarının rehabilitasyonu ve ambalaj atıklarının ayrı toplama oranları için 2012 yılına kadar net sayısal hedefler belirlenmiştir. 2012 yılı için cam, metal, plastik, kâğıt/karton atıklar için geri dönüşüm oranları %40 olarak belirlenmiştir (Anonim, 2008). Ardından “Çevreye ve insana saygılı, kaynakların etkin kullanıldığı ve geri dönüşümün ekonominin vazgeçilmez parçalarından biri haline geldiği üretim ve tüketim kültürünün oluşumunu sağlamak” ilkesi ile T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 2014-2017 dönemi için “Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı” hazırlanarak 2017 yılı sonuna kadar hayata geçirilmek üzere 54 eylemden oluşan bir program hazırlanmıştır (Anonim, 2012). Bu raporda da yine AB atık yönetimine ilişkin öncel direktifler ile geri dönüşüm hedefleri belirlenerek ülkemiz için bir mevcut durum analizi yapılmış ve toplumun tüm kesimlerinde geri dönüşüm bilincini oluşturmak, ilgili mevzuatın geri dönüşüme uygun hale

getirilmesi, geri dönüşüm için etkin bir alt yapı kurulması, atık üretiminin kayıt altına alınması için etkin bir denetim sistemi kurularak geri dönüşüm konusunda finansal destek sağlanması gibi beş temel hedef belirlenmiştir. Son olarak Mülga Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2016-2023 dönemini kapsayan nihai “Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı” hazırlanarak; 2023 yılı geri dönüşüm hedeflerini %35’e çıkarmak (bunun %8’i geri kazanım) ve düzenli depolamaya gönderilen atık oranını %65’e düşürmek hedefleri ortaya koyulmuştur. Raporda 2023 yılı için ayrıca 33 milyon ton evsel atık oluşacağı tahmini yapılmıştır (Anonim, 2017).

Tüm bu eylem planları ve bu planlarda belirlenen hedefler göz önüne alındığında ülkemiz için geri dönüşüm oranlarının hala düşük olduğu ve istenilen seviyeleri yakalamadığı görülmektedir. Geri dönüşüm süreçlerinin belirlenen hedefleri yakalayamamasının önündeki en büyük engel ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanamaması sürecinden meydana geldiği tahmin edilmektedir. Katı atıkların meydana getirdiği çevre kirlilikleri, arazi problemleri ve hammadde kayıplarının yanında bugün en önemli sorun yarattığı sera gazı salımlarıdır. Üretilen atığın miktarına, içeriğine ve bertaraf yöntemine bağlı olarak katı atıkların 2016 yılında küresel olarak 1,6 milyar ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazı emisyonuna neden olduğu veya küresel sera gazı emisyonunun yüzde beşini meydana getirdiği tahmin edilmektedir. Katı atık bertaraf yöntemleri ile ilgili gerekli iyileştirmeler yapılmaz ise bu emisyonların 2050 yılına kadar yılda 2,38 milyar ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazı emisyonuna ulaşması beklenmektedir (IPCC, 2007; WB, 2023).

Türkiye’nin AB üyelik sürecinde, ilk kez 2005 yılında yayımlanan ve 24/08/2011 tarih ve 28035 sayılı Resmî Gazete ile son halini alan “Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği” ile ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi, önlenemeyenlerin geri dönüşümü/kazanımı, bertarafı, kaynağında ayrı toplanması ve taşınması ile ilgili standartlar “Atık Yönetimi Yönetmeliği”nden çok daha önce oluşturularak geri dönüşüm firmalarının 2020 yılına kadar kâğıt-karton, plastik, metal, cam vb. atıkların %60 oranında geri dönüşümünün sağlanmasını zorunlu kılmaktadır (ÇŞB, 2011; Zengin ve Ulutaş, 2016). ÇŞB tarafından yayımlanan ve 2014-2017 yıllarını kapsayan “Ulusal Geri Dönüşüm Stratejisi ve Eylem Planı”nında Türkiye’de geri dönüşüm sektörüne ait “Güçlü Yönler-Zayıf Yönler-Fırsatlar-Tehditler (GZFT) Analizi” gerçekleştirilmiş ve buna göre geri dönüşüm

süreci için 12 adet güçlü yönler maddeleri oluşturulurken 29 adet zayıf yönler maddeleri oluşturulmuştur. Katı atık yönetimi konusunda hazırlanan eylem planlarında ülkemiz için; 2014 yılında %6 olan, 2020 yılında %13,2'ye yükselen ve 2023 yılı için %35 olması hedeflenen geri dönüşüm oranlarının hala düşük ve istenilen seviyede olamamasının temelinde bu ağırlıklı zayıf yönlerin etkili olduğu düşünülmektedir (Anonim, 2012). Üstelik düzenli depolama sahalarında bertaraf edilen katı atık miktarlarının azalması gerekirken artmakta; ülkemizde 2018 yılında belediye atıklarının %67,2'si düzenli depolama sahalarına gönderilirken 2020 yılında bu oran artış sergileyerek %69,4'e yükselmiştir. ABD Çevre Ajansı 2018 yılı verilerine göre belediye atıklarının düzenli depolama sahasında bertaraf edilen atık miktarı %50 olarak rapor edilmiştir (USEPA, 2018b; TÜİK, 2021).

### Depozito İade Sistemi (DİS)

Pek çok ülkenin döngüsel ekonomi modelini benimseyerek sıfır atık politikalarını uygulamaya başladığı günümüzde Depozito İade Sistemleri-DİS (Deposit Return Schemes, DRS) geri dönüşüm oranlarını artırmanın ve çevreye atık bırakılmamasının en etkili ve sürdürülebilir bir yolu olarak değerlendirilmektedir. DİS, bir ürünü satın alan tüketicilerin ek bir miktar para (depozito) ödediği ve bu tutarın ambalaj veya ürünün bir toplama noktasına iade edilmesiyle geri alınabildiği bir sistemdir. DİS kapsamında üretici ve tüketiciler bir sözleşmenin tarafları gibi anlaşılır: Tüketici, ambalajı olan bir ürün satın alır, bu durumda bir şişe olan ambalaj, üreticinin mülkiyetinde kalır. Tüketici ürün içeriğini kullandıktan sonra ambalajı sahibine iade eder. DİS ambalajın sahibine iade edilmesini sağlamaya yardımcı olan bir uygulamadır. DİS yeniden kullanılmalarını veya geri dönüştürülmelerini sağlamak için herhangi bir noktaya yerleştirilen konteynerler vasıtasıyla toplanan çeşitli ambalaj atıkları için dünyada giderek yaygınlaşan cazibeli bir uygulama sistemi haline gelmektedir. DİS, okyanuslardaki plastik birikmesini önlemenin en etkili araçlarından biri olarak görülmektedir ve okyanuslardaki içecek kaplarını %40'a kadar azaltabileceği tahmin edilmektedir. DİS ayrıca diğer malzemeler, evsel çöpler ve/veya kimyasal maddeler ile kirlenmemiş daha yüksek kaliteli, daha saf ikincil bir malzemenin toplanması açısından da önem taşımaktadır. Yeniden kullanılabilen ya da yeniden doldurulabilen cam veya PET şişeler söz konusu olduğunda, DİS kapalı malzeme döngüleri oluşturma avantajına da sahiptir. Bugün Avrupa ülkelerinde yaklaşık %90 ile en yüksek ayrı toplama oranları elde edilmesini sağlayan DİS ile 2030 yılı geri dönüşüm ve depolama hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olacağı öngörülmektedir. Çünkü DİS için kamusal destek oranları %80'in üzerinde olarak tahmin edilmektedir (DRS, 2018; ZW, 2019; OECD, 2020). DİS'in yürürlükte olduğu Avrupa ülkelerinde, PET şişeler için toplama oranları %65'ten %95'e kadar yüksek oranlarda değişmektedir. DİS'in bulunmadığı ülkelerde, Belçika hariç ayrı toplama oranları %22 ila %73 arasında daha düşük olarak belirtilmektedir. DİS uygulayan ülkeler şöyle sıralanabilir: Hırvatistan, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Almanya, Malta, Norveç, Litvanya'da: PET, alüminyum kutular, cam şişeler; Hollanda ve İsveç'te: PET şişeler, alüminyum kutular

toplama sistemleri şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra Slovakya, 1 Ocak 2022'de ve Letonya ise 1 Şubat 2022'de DİS uygulamasını yürürlüğe koymuştur. DİS döngüsel ekonomi modeline ulaşmanın bir anahtarı olarak da görülmektedir (EU DRS, 2022).

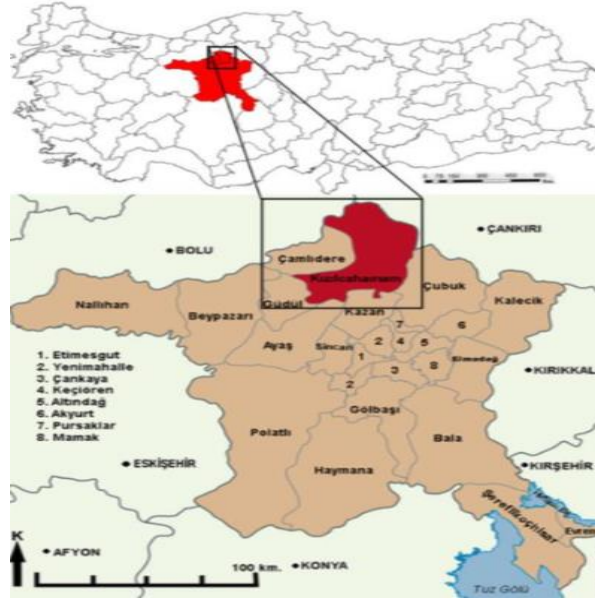
DİS kapsamında ambalaj atıklarının ayrı toplanmasının birçok ekonomik avantajı da bulunmaktadır. Bunların en önemlisi ambalaj atıklarının herhangi bir kontaminasyon olmadan toplanarak ekonomik değerini korumasıdır. Ayrıca belediyelerin atık bertaraf maliyetlerini de azaltacak bir yöntemdir. Ambalaj atıklarının ayrı toplanması en önemli kaynak geri kazanım yollarından biridir. Türkiye, tekstil ve plastik endüstrisinde kullanılmak üzere atık PET ithal etmektedir. DİS ile gerekli hammadde kaynağı da toplanabileceği için atık geri dönüşüm malzeme ithaline gerek kalmayacak ve geri dönüştürülen malzeme de yeniden üretim sürecine dahil edilecektir. DİS ile ülkemizde hammadde ithalat oranının %42 oranında azalacağı tahmin edilmektedir. DİS'in Türkiye'de uygulanmasının sosyal, çevresel ve ekonomik faydaları belirlenirken en sürdürülebilir finansal yapı ve en etkin sistem önerisini sağlamak amacıyla Kamu Özel Ortaklığı modeli analiz sonuçları kullanılmıştır. Buna göre geri dönüştürülmüş malzemenin hammadde olarak kullanımı ile yıllık 85 milyon Euro kazanç elde edileceği tahmin edilmiştir (Görgün vd. 2021).

Bu amaçla bu çalışmada 2872 sayılı Çevre Kanunu ile 01/01/2022 tarihinden itibaren ülkemizde zorunlu depozito uygulamasına resmi olarak geçiş sürecinin başlamasıyla Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın pilot bölge olarak belirlediği Ankara İli Kızılcahamam İlçesinde 28/06/2022 tarihinde başlatılan ve 5 farklı noktaya kurulan DİM ile 2022 yıl sonuna kadar toplanan ambalaj atıklarının miktarları kullanılarak Kızılcahamam İlçesinde Kasım 2019 tarihinden beri uygulanan sıfır atık uygulamasından elde edilen veriler ile karşılaştırmalı bir değerlendirilmesi yapılmış ve elde edilen sonuçların ülkemize yararları, riskleri, ülkemizde uygulama zorlukları; DİS uygulayan diğer Avrupa ülkeleri göz önünde bulundurularak incelenmiştir.

## 2. Yöntem ve Çalışma Alanı

Çalışmada DİS'in ülkemizde ilk olarak uygulandığı Ankara İli Kızılcahamam İlçesi'nde 5 farklı noktaya yerleştirilen depozito iade makineleri ile uygulanmaya başlayan DİS'in 28/06/2022 ile 2022 yıl sonuna kadar yani 6 aylık dönemdeki veriler alınarak değerlendirilmesi yapılmıştır. DİS'in değerlendirilebilmesi için Kızılcahamam İlçesinde 2020 yılında resmi olarak uygulanmaya başlayan sıfır atık sisteminden elde edilen 3 yıllık geri dönüşüm oranları da kullanılmıştır. Böylelikle ülkemizde geri dönüşümün başarı ile uygulandığı ilçelerden biri olan Kızılcahamam İlçesinde sıfır atık ve zorunlu depozito uygulamasının bir karşılaştırılması yapılarak her iki sistemin başarısı ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Şekil 4'te çalışma sahası olan Ankara İli Kızılcahamam İlçesi'nin harita görüntüsü yer almaktadır.





Şekil 4. Çalışma Sahası Olan Ankara İli Kızılcahamam İlçesi (Usta ve Zaman, 2015).

Kızılcahamam, Ankara merkeze 90 km uzaklıkta 109 mahallesi ile 2021 yılı adrese dayalı nüfus sayımına göre nüfusu 26.968 olan bir ilçesidir. Kızılcahamam doğudan Çubuk, batıdan Çamlıdere ve Gündül, kuzeyden Çankırı'nın Çerkeş ilçesi ve Bolu'nun Gerede ilçesi ile güneyden Ayaş ve Kazan ilçeleriyle komşudur. Kızılcahamam'da karasal iklim şartları hâkim olmasına rağmen yapılan barajlar ve Karadeniz'e yakınlığı nedeniyle Batı Karadeniz iklimi özellikleri de görülmektedir. Orman alanlarının fazlalığından dolayı yıl boyunca yağışlı günler daha fazladır. İlçenin ortalama sıcaklığı +11 °C, en yüksek sıcaklık 34 °C ile ağustos ayında, en düşük sıcaklık ise -20 °C ile şubat ayında rapor edilmiştir. Kızılcahamam İlçesi 1711,87 km<sup>2</sup> alan üzerine kurulmuş olup ilçe merkezinin rakımı 975 metredir. İlçe Soğuksu Millî Parkı, Karagöl Mevkii ve orman alanları içerisindeki 21 farklı yürüyüş rotası ile tabii güzellikler açısından turizm açısından önemli bir destinasyon noktasıdır. Ayrıca ilçede yapılan termal turizm de ilçenin önemli bir cazibe merkezi haline gelmesine sebep olmaktadır (Anonim, 2023).

İlçede 2019 yılı Mayıs ayında sıfır atık pilot bölgesi seçilerek geri dönüşüm için ilk çalışmalar başlatılmıştır (Anonim, 2019). 2020 yılından itibaren de atıklar SAY'a uygun olarak toplanmıştır. İlçe 2022 yılı Haziran ayında ise DİS pilot bölge olarak belirlenmiştir. Bu amaçla İlçe merkezinde Millet Bahçesi Önü, Sıfır Atık Bahçesi, Soğuksu Milli Parkı Girişi, Belediye Binası Önü ve Cumhuriyet Meydanından oluşan 5 farklı noktaya depozito iade makineleri yerleştirilmiştir. Şekil 5'te bir tanesi örnek olarak gösterilen bu depozito iade makinelerinden yerleştirildikleri tarihten 2022 yıl sonuna kadar toplanan 6 aylık ambalaj atıkları miktarlarına ait veriler alınarak bu çalışmada kullanılmıştır. Tüketiciler bu DİM'lere getirdikleri ambalaj atıklarının her birini atarak 0,10 TL değerinde Tuca puanına sahip olmaktadır. Projeye ait veriler mobil uygulamaya sahip depozito bilgi sisteminden takip edilmekte olup yaygın kullanım öncesi test çalışmalar

sürdürülmektedir. DİS kullanıcıları için Mobil Uygulama ve E-Cüzdan adında uygulamalar geliştirilmiştir. Google Play ve AppStore mağazalarından telefonlara yüklenen mobil uygulama ile DİS uygulamasına giriş yapılabilmektedir. Boş içecek ambalajlarını herhangi bir depozito iade makinesine götürüp teker teker iade ettikten sonra makine kullanıcıya bir fiş vermektedir. Kullanıcılar aldıkları bu fişte bulunan barkodu depozito uygulaması üzerinden telefonun kamerasına gösterdiklerinde iade ettikleri ambalaj adedi kadar "Tuca" puanı almakta ve bu puan E-Cüzdan hesaplarına yüklenmektedir. Kazanılan puanlar Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Kantininde ve/veya Kızılcahamam Kart'a aktararak alışverişlerde kullanılabilir.

Kızılcahamam Belediyesi Sıfır Atık uygulamasının da uygulandığı ilk ilçelerden biri olup 2021 yılında ilçe merkezinde 40 Resmi Kurum ve 14 Belediye Birimi ile 104 çevre ve 5 merkez mahallede 8.208 konut, genelinde ise 18.804 konut tespiti yapılarak ihtiyaç listesi hazırlanmış ve ambalaj atıkları tam olarak SAY'a uygun olarak toplanmaya başlamıştır. Bu kapsamda 170 çevre görevlisi ile 8.000 konut ziyaret edilerek 15.000 kişi doğrudan bilgilendirilmiş; 70.000 mavi renkli atık ayırma poşeti, 60.000 bez çanta dağıtılarak okullarda da 3.500 öğrenci ve 350 öğretmen sıfır atık konusunda bilgilendirilmiştir. Sıfır atık projesinin uygulanması ile Kızılcahamam'da 13 ton ambalaj atığı toplanmıştır. İlçede sıfır atık resmi olarak uygulanmaya başladığında 2021 yılında bu miktar 95 tona yükselmiştir. Ayrıca ilçede kurulan 1. sınıf atık getirme merkezi ile de ayrı toplanan atıkların lisanslı geri dönüşüm firmalarına gönderilmesi sağlanmıştır. 2018 yılında toplam evsel atık miktarı 10,54 ton olarak rapor edilirken, 2021 yıl sonunda yaklaşık %20'lik bir azalma ile 8,56 ton evsel atık toplandığı belirtilmiştir. 2021 yılı sonu itibarı ile ilçede ayrıca 65 ton kompost üretimi gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2021).



Şekil 5. Cumhuriyet Meydanına Yerleştirilen Depozito İade Makinesi.

Kızılcahamam Belediyesinin 2018-2022 yılları arasındaki toplam evsel atık miktarı Tablo 1’de verilmiştir. İlçede genel olarak Temmuz-Ağustos aylarında evsel çöplerin miktarının arttığı görülmekle birlikte sıfır atık uygulaması öncesi genel olarak yıllık 10 ton evsel atık oluştuğu görülmektedir.

Üretilen evsel atık miktarları sırasıyla 2018 yılında 10,54 ton/yıl, 2019 yılında 9,76 ton/yıl, 2020 yılında 9,21 ton/yıl, 2021 yılında 8,56 ton/yıl ve 2022 yılında ise 8,18 ton/yıl olarak kaydedilmiştir.

Tablo 1. Kızılcahamam Belediyesi Evsel Atık Miktarı (kg).

Kızılcahamam Belediyesi Evsel Atık Miktarları, Kg					
Aylar	2018	2019	2020	2021	2022
Ocak	789,34	805,94	676,2	580,24	416,2
Şubat	684,98	665,26	666,16	646,46	559,95
Mart	820,56	669,58	742,52	667,01	551,6
Nisan	775,12	686,34	656,6	696,75	592,05
Mayıs	842,36	729,66	707,1	776	711,65
Haziran	948,4	897,18	883,58	781,3	730,05
Temmuz	1.019,28	953,98	927,8	1.246,8	928,35
Ağustos	1.313,46	1.149,74	1.056,04	838,6	873,25
Eylül	909,88	860,54	822,02	678,95	733
Ekim	902,62	830,02	792,56	676,1	755
Kasım	701,54	770,52	660,58	645,15	689,1
Aralık	832,46	740,1	613,82	328,6	643,05
<b>Toplam</b>	<b>10.540</b>	<b>9.758,86</b>	<b>9.204,98</b>	<b>8.561,96</b>	<b>8.183,25</b>

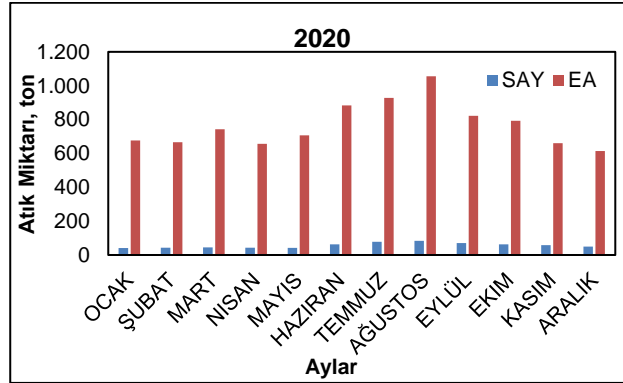
### 3. Tartışma

Elde edilen verilerin daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için DİS verileri, Kızılcahamam Belediyesinin 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait evsel atık miktarları ve 2020 yılında başlatılan sıfır atık uygulamasından elde edilen ambalaj atığı miktarları ile karşılaştırılmış ve sonuçlar ton cinsinden Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil 6’ya göre 2020 yılı içerisinde ilçede SAY kapsamında toplanan ambalaj atıkları toplam evsel atığın (EA) yaklaşık %7’sine karşılık gelirken; Şekil 7’ye göre ise 2021 yılında sıfır atık kapsamında toplanan ambalaj atıkları toplam evsel atığın yaklaşık %8’ine karşılık gelmektedir. 2022 yılında ise sıfır atık kapsamında toplanan ambalaj atıkları toplam evsel atığın %10’una karşılık gelmektedir (Şekil 8). İlçede son 3 yılda ayrı toplanan ambalaj atıkları artış gösterse de genel itibari ile toplanan miktar hedeflenen geri dönüşüm oranlarının oldukça altında kalmıştır.

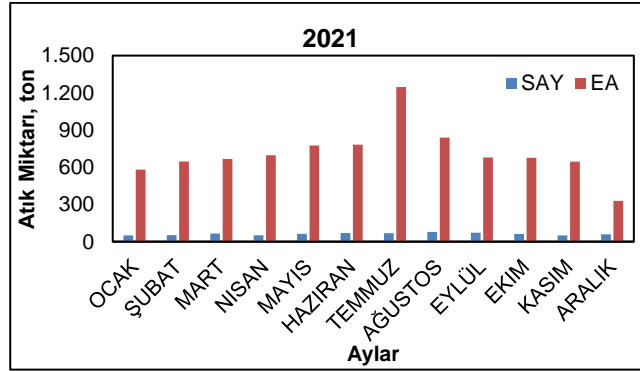
Şekil 8’e göre ise DİS’e göre 6 ay boyunca ayrı toplanan ambalaj atıkları 2022 yıl sonunda 12 tona yaklaşmış olup toplam evsel atık içinde %0,15’lik bir paya ve sıfır atık içerisinde ise yaklaşık %1,5’lik bir orana sahip olmuştur. Temmuz 2022’de ilk kez uygulanmaya başlanan DİS’e göre ayrı toplanan ambalaj atıkları ilk ay yaklaşık 0,5 ton toplanırken Aralık 2022’de bu değer 5,67 tona yükselmiştir. İlçede son üç yılda sıfır atık uygulamasına göre ayrı toplanan atık oranları önemli ölçüde değişmezken DİS sadece 6 ayda kayda değer bir ilerleme göstermiştir. İlçede sadece evsel atık verisinin mevcut olduğu 2019 yılı ve sıfır atık uygulamasının başlatıldığı 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki evsel atık miktarları sırasıyla; 9.758, 9.204, 8.561 ve 8.183 tondur. Buna göre sıfır atık uygulamasının başladığı ilk yıl olan 2020 yılında ilçedeki evsel atık miktarındaki azalma %5,7; ikinci yıl olan 2021 yılında ilçedeki evsel atık miktarındaki azalma %12,3 ve sıfır atık uygulamasının 3. yılı olan 2022 yılında ilçedeki evsel atık miktarındaki azalma referans yılı olan 2019’a göre %16,1 olarak kaydedilmiştir. Bu azalmanın üzerinde sıfır atık uygulamasının yaygınlaşmasının etkisi olabileceği

düşünülmektedir. Ancak elde edilen verimlerin tamamını geri dönüşümlü ambalaj atıklarına atfetmek doğru olmayabilir çünkü sıfır atık verileri içerisinde organik atıklardan elde edilen kompost miktarı da dahil edilmektedir. Yine de düzenli depolama alanlarına gönderilen atık miktarının dört yılda toplamda %16,1 oranında azaldığı görülmektedir. Bu üç yıllık

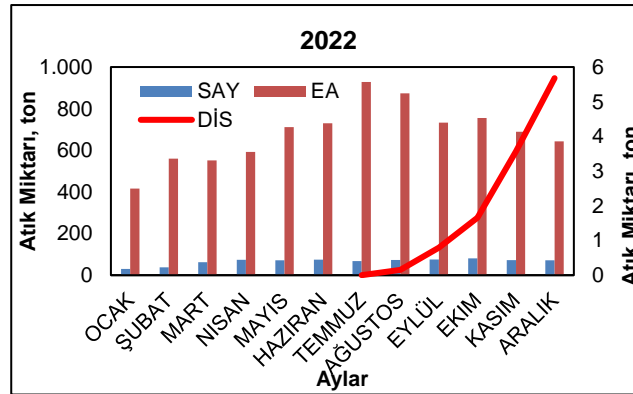
süreç içerisinde pandemi koşullarının yer aldığı da göz önünde bulundurulmalıdır. Kızılcahamam turizm bölgesi olduğu için 2020 ve 2021 yıllarındaki kısıtlamaların etkisi ve son yıllarda değişen ekonomik şartların etkisi ile birlikte atık verilerini değerlendirmek daha doğru olacaktır.



Şekil 6. Kızılcahamam Belediyesi 2020 Yılı EA Verileri ve SAY Kapsamında Ayrı Toplanan Ambalaj Atığı Verilerinin Karşılaştırılması.



Şekil 7. Kızılcahamam Belediyesi 2021 Yılı EA ve SAY Kapsamında Ayrı Toplanan Ambalaj Atığı Verilerinin Karşılaştırılması.



Şekil 8. Kızılcahamam Belediyesi 2022 Yılı EA, SAY Kapsamında Ayrı Toplanan Ambalaj Atığı ve Depozitolu Ambalaj Atık (DİS) Verilerinin Karşılaştırılması.

Ülkemizde başka bir bölgede DİS uygulanmadığı için elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılamamış ancak literatürde yer alan bazı araştırmalar ile elde edilen sonuçlar üzerinden bir değerlendirme ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Arslan-Ağar'ın 2021 yılında yaptığı bir araştırmada tüketicilerin sürdürülebilir ambalaja sahip depozitolu ürünleri satın alma niyeti ve davranışları planlı davranış teorisi kullanılarak incelenmiştir. Hedef grubun %59'u kadın ve toplamda %75'i 7000 TL ve altında bir gelire sahip olan ve en önemli kriteri çevre bilinci olarak belirlenen bu çalışmaya göre; katılımcıların cam şişeleri depozitolu ürün ya da ambalaj olarak daha fazla tercih edecekleri, öznel ürün bilgisinin, tüketicilerin depozitolu ürünlere yönelik tutumları üzerinde bir etkisinin olduğunu yani depozitolu ürünler hakkında yapılacak olan bilgilendirmelerin oldukça önemli olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma bu anlamda depozitolu ürün ambalajları tasarlayan işletmelerin farkındalık yaratma ve tanınırlık sağlama noktasında katkı sunmalarını önermekte, depozitolu

ürün ambalajı benimseyen işletmelerin iletişim mesajlarını bireyin sosyal çevresine, düşüncelerini önemsedikleri grupların görüşlerine vb. yer verilmesinin faydalı olacağına ve konuya ilişkin kamu kurumları ve sivil toplum tarafından yapılan bilgilendirme ve farkındalık çabalarında da yine fikir liderlerine, birey tarafından onaylanan ve etkisi kabul edilmiş olan kimselerin mesajlarına yer vermeleri önerilmektedir. Ayrıca depozitolu ürün ambalajı benimseyen işletmelerin iletişim mesajlarında bireyin kendisi, çevresel ve bilişsel bilgisi vb. üzerine yönelik vurgular yapılması da tavsiye edilmektedir (Arslan-Ağar, 2021).

AB ülkeleri içerisinde DİS'i ilk uygulayan İsveç, İzlanda, Norveç ve Danimarka ile Türkiye gibi 2022 yılında DİS uygulaması başlatan Malta ve Slovakya'ya ait DİS uygulama koşullarının karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir (DS, 2016; Reloop, 2022)

Tablo 2. DİS uygulayan çeşitli Avrupa Ülkelerinin Verilerinin Karşılaştırılması.

ÜLKE	DİS Başlangıcı	DİS Ücreti, €	DİS Noktası Sayısı	Toplama Ambalaj boyutu	2020 Geri Dönüşüm Oranları, %
İsveç	1984	0,11-0,19	877 kişiye bir	150 mL - 3 L	Plastik: 86,4 Metal: 89
İzlanda	1989	0,12	6147 kişiye 1	Tüm ebatlar	Plastik: 92,1 Metal: 93,2 Cam: 82,5
Norveç	1999	0,20-0,30	360 kişiye 1	125 mL - 4,9 L	Plastik: 92,8 Metal: 91,5
Danimarka	2002	0,13-0,39	1900 kişiye 1	20 L'den küçük	Plastik: 95 Metal: 92 Cam: 93
Malta	Kasım 2022	0,10	1720 kişiye 1	100 mL - 3 L Plastik, Metal ve Cam	2023 hedefi: 70 2025 hedefi: 85
Slovakya	Ocak 2022	0,15	2730 kişiye 1	100 mL - 3 L Plastik ve Metal	2022 hedefi: 60 2023 hedefi: 80 2025 hedefi: 90
*Türkiye	Ocak 2022	0,003 (0,1 TL)	4500 kişiye 1	-	Genel Geri Dönüşüm 2025 hedefi: 55 2030 hedefi: 65 2031 sonrası: 70

\*Bu çalışmada kullanılan pilot veriler

"Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliğine" göre, 2021 yılından itibaren ülke genelinde DİS kapsamında toplanan ve işlenen ambalaj miktarları esas alınmak üzere yeniden kullanıma hazırlanan oranlar da dahil malzeme bazlı yıllık geri dönüşüm oranlarında ulaşılması gereken en az oranları Tablo 3'te

belirlemiştir. Kızılcahamam İlçesi uygulama verileri göz önüne alındığında altı ayda ayrı toplanan ambalaj atıkları miktarı 560 kg'dan 5,6 tona yükseldiği için DİS sisteminin 2023 yılı içerisinde ülkemizde yaygınlaştırılması ile 2026 yılı hedeflerini yakalamanın mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 3. Malzeme Bazlı Yıllık Geri Dönüşüm Hedefleri.

Yıl	Malzeme cinsi bazlı yıllık geri dönüşüm oranı (%)				
	Cam	Plastik	Metal	Kâğıt/Karton	Ahşap
2026'ya kadar	70	55	60	75	25
2031'e kadar	75	55	70	85	30
2031 ve sonrası	75	55	70	85	30

Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF) 2019 yılında yayımladığı raporunda Türkiye'de 34 milyon ton yıllık evsel atık oluştuğunu bunun 7-8 milyon tonunun ambalaj atıklarından meydana geldiğini ve bu ambalaj atıklarının da yaklaşık 1,6 milyon tonunun içecek ambalajları olduğunu belirtmiştir. Raporda ayrıca geri dönüşüm oranlarının AB ülkeleri ile kıyaslandığında hala düşük seviyelerde olmasının sebepleri arasında; ülkemizin GSYİH seviyesine göre yüksek oranda atık üretmesi, düşük tüketici farkındalığı, kaynağında ayrıştırmanın çok düşük seviyelerde olması, toplama ve ayrıştırmanın çok bileşenli bir sistem ile yönetilmesi, yerel yönetimler arasında standart olmayan atık yönetimi farklılıklarının bulunması, geri dönüşüm tesislerinin yetersiz olması ve bunların da düşük işleme kapasitesine sahip olması, düşük kalitede ambalaj atıkları toplanması gibi sebeplerle ambalaj üreticileri açısından sadece büyük firmaların standartlara uyması ve teşvik eksikliği gibi nedenler gösterilmiştir. Bu rapor, depozito iade sürecinin ülkemiz için önemli bir geri dönüşüm aracı olabileceğini gözler önüne sermektedir.

2023 yılı ocak ayı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı verilerine göre, DİS için ulusal ölçekte 2 bin depozito iade makinesi ve 5 bin depozito toplama noktasının hizmete sunulacağı; sistemin ise 2024 yılı itibarıyla zorunlu hale getirileceği belirtilmiştir (ÇŞB 2023).

#### 4. Sonuç

Tüketicilerin satın aldıkları ürünlerin ambalaj atıklarının iadesi için söz konusu atıkların satış noktalarına götürülmesi ve ambalajı için ödediği bedelin iade alınması esasına dayanan DİS'in ülkemizde yaygınlaşması durumunda; lisanslı firmalar, mahalle depoları, belediye toplama sistemi, sokak toplayıcıları ve çöp sahaları gibi bertaraf faaliyetlerinin yapısının önemli ölçüde değişmesi beklenmektedir. DİS ile alışveriş merkezleri başta olmak üzere pek çok sosyal alan, park, bahçe, mağaza merkezlerine DİM yerleştirilecek olup tüketicilerin bu noktalara ambalaj atıklarını götürüp iade edebilmeleri için dijital teknoloji ile birleşen önemli bir altyapı sisteminin kurulması gerekmektedir. 2023 yılında tüm ülke geneline yaygınlaştırılması planlanan DİS ile sıfır atık

hedeflerinin büyük ölçüde yakalanması, ayrı toplanan ambalaj atıkları miktarının artırılması, çevre kirliliğinin engellenmesi, belediyelerin taşıma maliyetlerinden tasarruf etmesi, çöplerin sokakta ayıklanması gibi uygulamaların önüne geçilmesi ve düzenli depolama alanlarının etkin kullanımını sağlanması gibi doğaya, ekonomiye ve kaynak kullanımına önemli katkılar sağlanması beklenmektedir. DİS uygulamasının ana ilkeleri olan; ülke genelinde yaygınlaştırma, kapsama dahil olan depozitolu içecek ambalajlarının malzeme tipi, boyutu ve içecek türünün doğru olarak belirlenmesi ve bu ambalajların toplam içecek sektörünün büyük bir bölümünü tercih eden %90'dan fazlasını içermesi gerekmektedir. Ayrıca depozito ücretinin içecek ambalajlarının tamamı için sabit tutarda olmasına dikkat edilmeli, ambalaj ebatı bazında değişkenlik göstermelidir. DİS'de bakkallar, zincir mağazalar ve marketler dahil bütün perakende satış noktaları iade noktası haline getirilmeli ve bu yönetmelikle mecburi kılınmalıdır. Ayrıca otel, kafe/kahvehane, restoran vb. yerlerde oluşan içecek ambalajı atıklarının da ayrı toplanması gerekmektedir (WWF-BCG, 2019).

### 5. Teşekkür ve Bilgi

Bu çalışmada kullanılan veriler için Kızılcahamam Belediyesine ve Türkiye Çevre Ajansı'na teşekkür ederiz.

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### 6. Kaynaklar

- Anonim (2008). T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012).
- Anonim (2012). Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017, <https://webdosya.csb.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 13.08.2022.
- Anonim (2012). Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017, <https://webdosya.csb.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 13.08.2022.
- Anonim (2017). Türkiye Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2016-2023. <https://webdosya.csb.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 1.09.2022.
- Anonim (2021). Kızılcahamam Belediyesi, Kızılcahamam Belediyesi Sıfır Atık Çalışmaları.
- Anonim (2023). T.C. Kızılcahamam Kaymakamlığı, <http://www.kizilcahamam.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 23.01.2023.
- Arslan-Ağar, D., (2021). Sürdürülebilir Ambalaj Kapsamında Tüketicilerin Depozitolu Ürün Satın Alma Niyetine Yönelik Bir Araştırma. Y.Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karaman.
- Christensen, T. (Ed.). (2011). Solid waste technology and management. John Wiley & Sons.
- ÇŞB (2011). Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/08/20110824-6.htm>, Erişim Tarihi: 09.12.2021.
- ÇŞB (2023). Eski pet şişelerinizi atmayın: İade paraları alışverişte kullanılacak.

<https://www.tgrthaber.com.tr/fotogaleri/bakanlik-acikladi-eski-pet-siselerinizi-atmayin-iade-paralari-alisveriste-kullanilacak-30821?p=2>, Erişim Tarihi: 13.05.2023.

- DRS (2018). Deposit - Return Schemes, Data and figures from 16 member countries of the EPA Network, <https://plonesaa.devel4cph.eea.europa.eu/>, Access Date: 30.11.2022.
- DS (2016). Deposit Systems For One-Way Beverage Containers: Global Overview.
- EEA (2016). Solid waste, <https://www.eea.europa.eu>, Erişim Tarihi: 22.12.2022.
- EEA (2022). Waste generation in Europe, <https://www.eea.europa.eu>, Erişim Tarihi: 12.12.2022.
- EPA (2022). Recycling in the United States, <https://www.epa.gov/>, Erişim Tarihi: 2.11.2022.
- EU DRS (2022). State of implementation of Deposit Refund Systems (DRS) across Europe, <https://www.unesda.eu/>, Access Date: 23.06.2022.
- Görgün, E., Adsal, K., Mısır, A., Aydın, E., Ergün, Ç., Keskin, N., ... & Ergenekon, Ş. (2021). Deposit refund system for beverage containers as a best practice example for recycling maximization. Environmental Research and Technology, 4(3), 199-205.
- IPCC (2007). Waste Management, <https://www.ipcc.ch/>, Erişim Tarihi: 15.11.2022.
- Korucu, M. K. (2019). Ulusal Atık Yönetimi Eylem Planlarında Kullanılan Belediye Atığı Yönetimi İçin Yöntem Seçimi Yaklaşımının Bir Eleştirisi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 2(4), 169-176.
- OECD (2020). Deposit refund schemes, <https://www.oecd.org>, Access Date: 23.06.2022.
- Reloop (2022). Global Deposit Book2022: An Overview of Deposit Return Systems for Single-Use Beverage Containers, <https://www.reloopplatform.org/>, Erişim Tarihi: 27.01.2023
- TÜİK (2021). Atık İstatistikleri, 2020, <https://data.tuik.gov.tr>, Erişim Tarihi: 21.01.2023.
- UÇES (2006). Türkiye Cumhuriyeti AB Entegre Çevre Uyum Stratejisi (2007 - 2023).
- USEPA (2018a). National Overview: Facts and Figures on Materials, Wastes and Recycling, <https://www.epa.gov/>, Erişim Tarihi: 22.12.2022.
- USEPA (2018b). How Communities Have Defined Zero Waste, <https://www.epa.gov/>, Erişim Tarihi: 23.1.2023
- Usta, N., Zaman, M. (2015). Kızılcahamam İlçesinin Turizm Potansiyeli ve Geliştirilmesi. Doğu Coğrafya Dergisi, 20(34), 1-24.
- WB (2023). Trends in Solid Waste Management, <https://datatopics.worldbank.org>, Erişim Tarihi: 22.01.2023.
- WWF-BCG, (2019). Nisan Türkiye'de İçecek Ambalajları için Atık Yönetimi WWF-BCG ortak atık yönetimi model tasarımı çalışması İstanbul

## Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik

Zengin, E., & Ulutaş, K. (2016). Büyükşehir ilçe belediyelerinde evsel katı atık ücret tarifelerinin belirlenmesi ve uygulanması. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(11), 26-42.

ZW (2019). Deposit Return Systems: an effective Instrument towards a Zero Waste Future, <https://zerowasteurope.eu> , Erişim Tarihi: 17.08.2022.

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

## Ankara İli Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme Problemleri ve İyileştirme Önerileri

## Yazışma yazarı:

Hakan SOYSAL,  
hakan.soysal@suyapi.com.tr

## Referans:

Soysal, H., Ercan, M., Aladağ, A., Samur, Ç., Kızılkaya, M., Yavuz, V., Görgün, E., Anlıtan, H., Kiraz, O. ve Aracı, B.A. (2023). Ankara İli Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme Problemleri ve İyileştirme Önerileri, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(2), 75-86.

Makale Gönderimi : 17 ŞUBAT 2023  
Online Kabul : 9 AĞUSTOS 2023  
Online Basım : 17 AĞUSTOS 2023

Hakan SOYSAL<sup>1</sup>, Muhammed ERCAN<sup>2</sup>, Ahmet ALADAĞ<sup>3</sup>, Çağrı SAMUR<sup>4</sup>, Merve KIZILKAYA<sup>5</sup>, Volkan YAVUZ<sup>6</sup>, Erdem GÖRGÜN<sup>7</sup>, Hakan ANLITAN<sup>8</sup>, Onur KIRAZ<sup>9</sup>, Burak AKIN ARACI<sup>10</sup>

<sup>1</sup> Su-Yapı Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., 06530, Çankaya, Ankara, Türkiye  
ORCID: 0000-0001-5513-8582

<sup>2</sup> ASKİ Genel Müdürlüğü, Planlama, Koordinasyon ve Dış İlişkiler Dairesi Başkanlığı, Planlama Şube Müdürlüğü, 06050, Çankaya, Ankara, Türkiye. ORCID: 0000-0001-6058-8967

<sup>3</sup> ASKİ Genel Müdürlüğü, Planlama, Koordinasyon ve Dış İlişkiler Dairesi Başkanlığı, Planlama Şube Müdürlüğü, 06050, Çankaya, Ankara, Türkiye. ORCID: 0000-0001-6508-5808

<sup>4</sup> ASKİ Genel Müdürlüğü, Planlama, Koordinasyon ve Dış İlişkiler Dairesi Başkanlığı, Planlama Şube Müdürlüğü, 06050, Çankaya, Ankara, Türkiye. ORCID: 0000-0001-6233-6990

<sup>5</sup> ASKİ Genel Müdürlüğü, Planlama, Koordinasyon ve Dış İlişkiler Dairesi Başkanlığı, Planlama Şube Müdürlüğü, 06050, Çankaya, Ankara, Türkiye. ORCID: 0000-0003-1163-6437

<sup>6</sup> ASKİ Genel Müdürlüğü, Planlama, Koordinasyon ve Dış İlişkiler Dairesi Başkanlığı, Planlama Şube Müdürlüğü, 06050, Çankaya, Ankara, Türkiye. ORCID: 0000-0002-5765-3462

<sup>7</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, Türkiye ve io Çevre Çözümleri Ar-Ge Ltd. Şti., 34469, Sarıyer, İstanbul, Türkiye. ORCID: 0000-0001-8086-8747

<sup>8</sup> io Çevre Çözümleri Ar-Ge Ltd. Şti., 34469, Sarıyer, İstanbul, Türkiye. ORCID: 0000-0002-5261-0674

<sup>9</sup> io Çevre Çözümleri Ar-Ge Ltd. Şti., 34469, Sarıyer, İstanbul, Türkiye. ORCID: 0000-0002-0903-2397

<sup>10</sup> io Çevre Çözümleri Ar-Ge Ltd. Şti., 34469, Sarıyer, İstanbul, Türkiye. ORCID: 0000-0001-8787-738X

**Özet** Günümüzde nüfusun artması, kentleşme, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi nedenlerle su kaynaklarının tükenmesi ve kirlenmesi her geçen gün artmakta ve su yönetimi dikkat çeken bir konu hâline gelmektedir. Su yönetiminin en temel bileşenlerinden biri atıksuların arıtılmasıdır. Bu nedenle, atıksu yönetimi hakkında daha sıkı politikalar geliştirilmekte ve AAT'lerin uyması gereken yasal hususlar artmaktadır. Dolayısıyla AAT'lerin işletme maliyeti artmakta ve işletilmesi daha zor hale gelmektedir. AAT'ler atıksu karakterizasyonuna, alan ihtiyacına veya yasal yükümlülükler göre farklı türde proseslere sahip olabilmektedir. Bu nedenle her AAT'nin tasarım ve işletme aşamasında oluşabilecek problemler farklılık göstermektedir. Çıkış suyu kalitesinin sağlanması ve tesis işletme maliyetlerinin azaltılması için planlama, tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında dikkat edilmesi gereken birçok husus bulunmaktadır. Bu hususlar göz ardı edildiğinde mekanik, elektrik ve betonarme problemleri meydana gelmekte ve tesisin işletilmesini güçleştirmektedir. Bu çalışmada ASKİ Genel Müdürlüğü tarafından 2020 yılı itibarıyla Ankara'da işletilmekte olan 19 adet AAT'nin problemleri tespit edilmiş, bu problemler için kısa ve orta vadede iyileştirme önerileri sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Su yönetimi, atıksu, atıksu arıtma tesisleri, işletme problemleri, iyileştirme önerileri

## Operational Problems and Solution Suggestions of Ankara Province Wastewater Treatment Plants

**Abstract** Due to the increase in population, urbanization, industrialization and climate change, water consumption is increasing day by day and water management is becoming a remarkable issue. One of the most basic components of water management is the treatment of wastewaters. For this reason, policies on wastewater management are being developed day by day and legal issues that WWTPs should pay attention to are increasing. Therefore, the operational costs of WWTPs increase and WWTPs become more difficult to operate. WWTPs may have different types of processes according to wastewater characterization, area requirement or legal obligations. For this reason, the problems that may occur during the design and operation phase of each WWTP is different. There are many issues that need to be considered during the planning, design, construction and operation phases in order to ensure effluent quality and reduce plant operating costs. When these issues are ignored, mechanical, electrical and reinforced concrete problems can occur and make the operation of the facility difficult. In this study, the problems of 19 WWTPs operating in Ankara were determined and improvement suggestions were presented for these problems in the short and medium term.

**Keywords:** Water management, wastewater, wastewater treatment plants, operational problems, solution proposals

## 1. Giriş

Su, hayatımızı sürdüren ve besleyen hayati bir ihtiyaçtır. Dünya üzerindeki yaşam ise kirliliğe eğilimli bir yapıdadır. Atıksuların arıtılması, geri kazanımı ve yeniden kullanımını su kaynaklarının yönetimi için kullanılan en önemli araçlardan olmakla beraber paydaşları, bilim insanlarını ve politikacıları yakından ilgilendirmektedir (Maryam & Büyükgüngör, 2017). Özellikle son otuz yılda Avrupa Birliği üyesi devletler, su yönetiminde sürdürülebilirliği sağlamak için ardi ardına önlemler almıştır. (Bixio vd., 2008). Bunun yanında Avrupa Birliği dışında Avustralya, Singapur, Güney Afrika, Tunus ve Kıbrıs gibi ülkelerde su yönetimi konusunda ciddi önlemler alınmış, hatta atıksuyun geri kazanımı konusunda birçok başarılı proje yürütülmüştür (Salgot, 2008) (Bixio vd., 2005). Su yönetiminde en önemli kısımlardan biri ise atıksuların arıtılmasıdır. Atıksuların arıtılması, su sıkıntısı problemi için önerilen çözümlerden biridir. Çünkü bu yöntemle yeni tatlı su kullanılmaktan kaçınılarak antropik döngü içinde su geri kazanılır (Pintilie, vd., 2016). Bu nedenle Atıksu Arıtma Tesisleri (AAT'ler) günümüzde doğanın korunması ve su yönetimi açısından çok önemli konumdadır. AAT'ler kentsel sistemlerde üretilen atıksuyun alıcı su kütlelerine deşarj edilmeden önce bu kütlelere olan zararlı etkilerini azaltmak için tasarlanmaktadır. AAT'ler çevreye faydalı olmalarının yanında, inşaat ve işletme gibi durumlarından dolayı farklı çevresel etkilere de sebep olmaktadır (Morera, vd., 2017). AAT'lerin işletilmesi esnasında yüksek işletme maliyetlerini karşılamak amacıyla işletmeciler kurumlar yeterli bütçeyi sağlamada eksik kalmakta, işletme ve bakım aşamasında bazı problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle hem tasarım hem de işletme aşamasında tasarım ve işletme mühendislerinin AAT performansını en uygun seviyeye çıkarması için bazı öngörülerde bulunması gerekmektedir. Tesis ünitelerinde tasarım veya işletme nedeniyle oluşabilecek problemlere karşı erkenden önlem alınması hem tesis performansını iyileştirmede hem de kurumları maddi yüklerden kurtarmada önemli bir rol oynamaktadır. Atıksu parametrelerinin ve debinin kontrolü, arıtma tesisi giriş ve çıkış sularında sürekli analizlerinin yapılması, mekanik ekipmanların kontrol ve bakımlarının düzenli aralıklarla yapılması işletme için önemli adımlardır. AAT'lerin yüksek performansta işletilmesi için tesis personeli adına eğitim programları düzenlenmeli yeterli bilgi ve deneyime sahip kalifiye eleman yetiştirilmelidir.

Dünyada birçok ülkede yerel özelliklere bağlı olarak atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi sırasında ortaya çıkan zorluklar zaman zaman yapılan araştırmalarla belirlenmiştir. Örneğin, Güney Afrika'da Sedibeng Bölgesi ve Soshanguve kentsel çevresindeki nüfus artışının hedeflenen atıksu arıtma tesislerinin performansı üzerindeki etkileri araştırmıştır. Bu araştırmada nüfus artışının etkisinin tesis tasarımı, işletme kapasitesi ve diğer arıtma prosesi kısıtlamaları açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Mevcut atıksu arıtma tesislerinin düşük performansı, kentsel ve çevresinde bulunan bölgelerdeki hızlı nüfus artışının (atıksu arıtma tesislerinin hidrolik olarak aşırı yüklenmesi) ve işletme kısıtlamaları (taşma durumu, tutma süresi, tesislerin oksijen temin kapasitesi ve klor temas süresi) seçilen her iki alanda da düşük standartta atıksuların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu araştırma, bir AAT'nin verimsizliğinin nüfus artışına ve işletme kısıtlamalarına bağlı olduğu, diğer üç arıtma tesisindeki düşük performansın nedeninin ise açıkça işletimsel olduğunu göstermiştir (Giorgis vd., 2015).

Çin'de de 467 AAT'deki işletme zorlukları araştırılmıştır. Bu ülkede AAT enerji tüketimi, ulusal elektrik tüketiminin yaklaşık %1'ini oluşturmakta ve AAT'lerin işletilmesi sırasında her yıl yaklaşık 100.000 ton çeşitli kimyasallar

tüketilmektedir. Yüksek hidrolik yükleme oranı, yüksek aktif çamur konsantrasyonu ve düşük çamur aktivitesi, gerçek değerlerle tasarım değeri uyumsuzlukları, yüksek enerji ve yüksek malzeme tüketimi, vb. AAT'lerin başlıca işletme zorlukları ortaya çıkmıştır (Zhang vd., 2021).

Bu çalışma Ankara ili özelinde yapılmış olup işletmede bulunan AAT'ler ile ilgili problemleri ve iyileştirme önerilerini içermektedir. Aynı zamanda tüm tesislerde meydana gelen problemler özetlenerek AAT'lerde meydana gelen genel problemlere ve iyileştirme önerilerine öncelik etme özelliği taşımaktadır.

## 2. Veri ve Çalışma Alanı

Ankara Büyükşehir Belediyesi ASKİ Genel Müdürlüğü'nce yürütülen çalışmalar kapsamında, atıksu kaynaklı kirliliğin önüne geçilmesi için AAT'ler işletilmektedir. ASKİ Genel Müdürlüğü'nün 2020 yılı itibariyle hizmet kapsamında işletmekte olduğu 19 adet AAT bulunmakta olup bu çalışmada bu tesisler değerlendirilmiştir. 2022 yılı itibariyle ise hizmet kapsamında 20 adet AAT bulunmaktadır. Gerede İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (İBAAT), 2021 yılı aralık ayında devreye alınması nedeniyle değerlendirilmeye alınmamıştır. Bu AAT'ler arasında kapasite bakımından en büyük olan Tatlar Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (BAAT) 1997 yılında Sincan ilçesinde devreye alınmıştır. Yıllık 765.000 m<sup>3</sup>/gün kapasite ile Ankara ilindeki atıksuların yaklaşık olarak %84'ü bu tesiste arıtılmaktadır. Tesiste oluşan fazla çamurların yoğunlaştırıldıktan sonra anaerobik çürütücülerde çürütülmesi ile biyogaz elde edilmektedir. Tesiste elde edilen biyogazdan elektrik enerjisi üretilmekte olup tesisin enerji ihtiyacının %80'i bu şekilde karşılanmaktadır. Tatlar BAAT Yenimahalle ilçesinin tamamından, Altındağ, Çankaya, Etimesgut, Gölbaşı, Keçiören, Mamak, Sincan ilçelerinin tamamına yakınından; Ayaş, Kahramankazan ve Pursaklar ilçelerinin ise bir kısmından çıkan atıksuları arıtmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Ankara'da işletilmekte olan 19 AAT uzman heyet tarafından etüt edilmiş, tüm üniteler detaylı olarak yerinde incelenmiş, tesislerin tasarım esasları ve kavramsal projeleri ile geçmişe dönük gerçekleşen işletme verileri (giriş debisi, giriş ve çıkış kirlilik konsantrasyonları, çamur oluşumu, enerji ve kimyasal madde tüketimi vb.) temin edilerek ön incelemeleri yapılmış ve tesislere ait sayısal veriler değerlendirilmiştir. Ankara ilinde bulunan AAT'lerin proses tipine göre 2020 yılındaki toplam kapasiteleri ve bu kapasiteye oranları Tablo 1 ile verilmektedir.

Tablo 1: Ankara İlinde Bulunan AAT'lerin Proses Tipine Göre Kapasiteleri ve Toplam Kapasiteye Oranları.

Proses Tipi	Kapasite (m <sup>3</sup> /gün)	Toplam Kapasiteye Oranı (%)
İleri Biyolojik Arıtma	139.727	15,3
Biyolojik Arıtma	772.000	84,7
Toplam	911.727	100

Çalışma kapsamda incelenen AAT'ler atıksu arıtma ve çamur işleme proseslerine göre 5 farklı gruba ayrılmaktadır. Gruplandırılan AAT'lerin atıksu arıtma ve çamur işleme prosesleri aşağıda verilmektedir.

- Grup 1: Biyolojik arıtma (karbon giderimi) + çamur çürütme + susuzlaştırma üniteleri
- Grup 2: Biyolojik arıtma (karbon giderimi) + çamur susuzlaştırma



- Grup 3: İleri Biyolojik Arıtma (karbon ve azot giderimi) + çamur susuzlaştırma
- Grup 4: İleri Biyolojik Arıtma (karbon ve fosfor giderimi) + çamur susuzlaştırma
- Grup 5: İleri Biyolojik Arıtma (karbon, azot ve fosfor giderimi) + çamur susuzlaştırma

Gruplandırılan tesislerin kapasite, eşdeğer nüfus, mevcut kapasite, nihai kapasite, nihai deşarj noktası deşarj noktası, AAT türü, proses tipi ve tabii olduğu deşarj yönetmeliği bilgileri Tablo 2 ile verilmektedir. Şekil 1’de ise, Ankara’nın en büyük, ülkemizin ise en büyüklerinden biri olan Tatlar Atıksu Arıtma Tesisinin görünüşü sunulmaktadır. Ayrıca

Şekil 2’ de de Ankara İl’inde bulunan atıksu arıtma tesislerinin konumları yer almaktadır.

Arıtma tesislerine yönelik belirlenen problemler ve bunların çözümüne ilişkin iyileştirme önerileri deşarj kriterlerinin ve arıtma veriminin sağlanması dikkate alınarak verilmiştir. Aciliyet durumu kısa vadede olan tesisler deşarj kriterlerini sağlayamayan ve verimliliği etkileyen tesislerdir. Orta vadede iyileştirme önerisinde bulunulan tesisler ise kısa ve orta vadede deşarj kriterini sağlayan ancak uzun vadede deşarj kriterlerini bozacak ve arıtma verimliliğini etkileyecek olan tesislerdir.

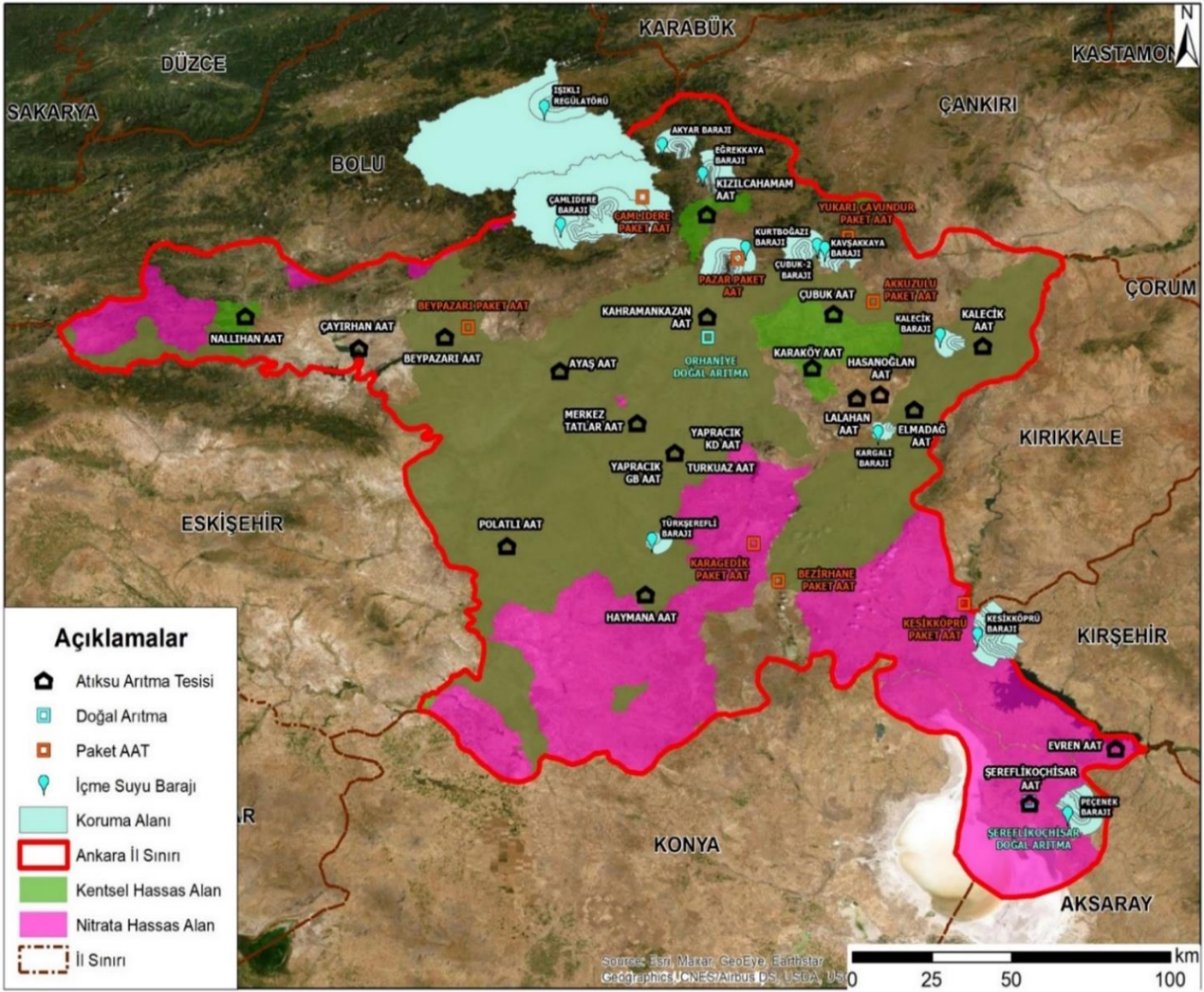
Tablo 2. AAT’lerin Genel Bilgileri.

Arıtma Tesisi	Mevcut Eşdeğer Nüfus (kişi)	Mevcut Kapasite (m <sup>3</sup> /gün)	Nihai Kapasite (m <sup>3</sup> /gün)*	Nihai Deşarj Noktası	AAT Türü	Proses Tipi	Tabii Olduğu Deşarj Yönetmeliği
<b>Grup 1</b>							
Tatlar BAAT	3.920.000	765.000	1.377.310	Ankara Çayı	Biyolojik Arıtma (Karbon Giderimi)	Tam Karışımli Aktif Çamur	Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (KAAY) Tablo 1-2
<b>Grup 2</b>							
Turkuaz BAAT	25.000	4.000	4.000	Arı Deresi	Biyolojik Arıtma (Karbon Giderimi)	Tam Karışımli Aktif Çamur	KAAY Tablo 1-2
Çayırhan BAAT	10.000	2.000	2.000	Sarıyar Barajı	Biyolojik Arıtma (Karbon Giderimi)	Tam Karışımli Aktif Çamur	KAAY Tablo 1
Evren BAAT	9.750	1.000	1.000	Hirfanlı Baraj Gölü	Biyolojik Arıtma (Karbon Giderimi)	Oksidasyon Hendeği	KAAY Tablo 1-2
<b>Grup 3</b>							
Polatlı İBAAT	89.350	19.872	27.792	Gülveren Deresi	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon ve TN Giderimi)	Eş Zamanlı Denitrifikasyon	KAAY Tablo 1-2
Haymana İBAAT	30.623	2.530	3.562	Ilıközü Deresi	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon ve TN Giderimi)	Eş Zamanlı Denitrifikasyon	KAAY Tablo 1-2
<b>Grup 4</b>							
Yapracık Kuzeydoğu İBAAT	25.000	4.000	4.000	Arı Deresi	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon ve TP Giderimi)	AO	KAAY Tablo 1-2
Yapracık Güneybatı İBAAT	25.000	4.000	4.000	Arı Deresi	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon ve TP Giderimi)	AO	KAAY Tablo 1-2
<b>Grup 5</b>							
Karaköy İBAAT	159.584	41.818	132.189	Çubuk Çayı	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon, Toplam Azot (TN) ve Toplam Fosfor (TP) Giderimi)	A2O	KAAY Tablo 1-2
Çubuk İBAAT	108.939	25.068	40.989	Çubuk Çayı	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon, TN ve TP Giderimi)	A2O	KAAY Tablo 1-2
Kahramankazan İBAAT	65.988	10.289	42.908	Ova Çayı	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon, TN ve TP Giderimi)	Eş Zamanlı Denitrifikasyon	KAAY Tablo 1-2
Kızılcahamam İBAAT	31.110	3.610	6.186	Kirmir Çayı	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon, TN ve TP Giderimi)	Eş Zamanlı Denitrifikasyon	KAAY Tablo 1-2
Ayaş İBAAT	26.167	6.172	14.302	Uğur Çayı	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon, TN ve TP Giderimi)	Eş Zamanlı Denitrifikasyon	KAAY Tablo 1-2
Elmadağ İBAAT	39.732	4.951	8.665	Elmadağ (Kargalı) Deresi	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon, TN ve TP Giderimi)	Eş Zamanlı Denitrifikasyon	KAAY Tablo 1-2

Aritma Tesisi	Mevcut Eşdeğer Nüfus (kişi)	Mevcut Kapasite (m <sup>3</sup> /gün)	Nihai Kapasite (m <sup>3</sup> /gün)*	Nihai Deşarj Noktası	AAT Türü	Proses Tipi	Tabi Olduğu Deşarj Yönetmeliği
Hasanoğlan İBAAT	28.750	3.000	4.500	Hatip Çayı	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon, TN ve TP Giderimi)	Ardışık Kesikli Reaktör	KAAY Tablo 1
Kalecik İBAAT	20.000	2.492	2.492	Uludere Çayı	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon, TN ve TP Giderimi)	Eş Zamanlı Denitrifikasyon	KAAY Tablo 1-2
Lalahan İBAAT	14.375	1.500	2.250	Hatip Çayı	İleri Biyolojik Arıtma (TN ve TP Giderimi)	Ardışık Kesikli Reaktör	KAAY Tablo 1
Nallıhan İBAAT	19.445	1.500	2.107	Nallı Çayı	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon, TN ve TP Giderimi)	Eş Zamanlı Denitrifikasyon	KAAY Tablo 1-2
Beypazarı İBAAT	78.232	8.926	16.657	Karapınar Deresi	İleri Biyolojik Arıtma (Karbon, TN ve TP Giderimi)	Eş Zamanlı Denitrifikasyon	KAAY Tablo 1-2



Şekil 1. Tatlar AAT örüntüsü (aski.gov.tr'den alınmıştır.).



Şekil 2. Ankara İli'nde Bulunan Atıksu Arıtma Tesisleri (Ankara İli İçmesuyu, Atıksu ve Yağmursuyu Yönetimi Master Planı, 2022)

### 3. Yöntem

AAT'lerin proses ve enerji verimliliğine yönelik iyileştirilmesinde öncelikle tesisler yerinde ziyaret edilmiş, tasarıma esas projeler ile işletmeye yönelik sayısal veriler elde edilmiştir. Yerinde tespitler ile mevcut işletme koşulları ile arıtma tesisinde yer alan elektromekanik ekipmanların durumu tespit edilmiş, tasarıma esas projelerin incelenmesi ile tasarımların uygunlukları tespit edilmiş ve sayısal işletme verileri ile de işletme performansları tespit edilmiştir. Bütün bu tespitler sonucunda arıtma tesisindeki problemlerin çözüm önerilerinin geliştirilmesi yöntem olarak belirlenmiştir.

### 4. Tartışma

Bu çalışma kapsamında Ankara ilinde hizmet veren AAT'ler için proje ve işletmeden kaynaklanan problemler tesis özelinde tespit edilip bu problemlerin olumsuz etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Dolayısıyla tespit edilen gözlemlerle her tesisdeki ünitelere ve tesisin geneline ait belirlenen problemler ve bunların çözümüne yönelik iyileştirme önerileri kısa ve orta vadede detaylı olarak Tablo 3 ile verilmiştir. Kısa vadede verilen iyileştirme önerilerinin bir yıl içerisinde, orta vadede verilen iyileştirme önerilerinin ise üç yıl içerisinde tamamlanması gerektiği öngörülmüştür.

Tablo 3. AAT'lerde Yer Problemler ve İyileştirme Önerileri.

AAT	Aciliyet Durumu	Problem	İyileştirme Önerileri
Tatlar BAAT	Kısa Vadede	Mevcut durumda karbon giderimi yapılması amacı ile tasarlanmış Tatlar BAAT'de nütrient giderimi yapılmadığından dolayı KAAY gerekliliklerine uygun değildir.	Arıtma tesisinin TN ve TP giderimine yönelik İBAAT niteliğinde olması gerekmektedir.
		Arıtma tesisinin mevcut kapasitesi yeterli değildir. Bu nedenle alıcı ortama arıtılmamış atıksu verilmektedir.	Mevcut tesisin kapasitesinin yeterli olmaması ve proses kurulumunun ilgili yönetmeliklere uygun olmaması nedenleri ile 2. Kademe tesisin mevcutla birlikte ileri biyolojik arıtma tesisi olacak şekilde yatırıma geçilmesi gerekmektedir.
		Atıksu ile gelen lifli atık malzemeler sebebi ile tesis işletmesi olumsuz yönde etkilenmektedir.	Perfore ızgaraların teçhiz edilmesi gerekmektedir.

AAT	Aciliyet Durumu	Problem	İyileştirme Önerileri
		Ham ve özümlemiş çamur yoğunlaştırıcılarının tasarıma esas yüzey yükleri yetersizdir. Bu nedenle çamur yoğunlaştırıcılardan istenilen yoğunlukta çamur elde edilememekte, süzöntü suyu ile oldukça fazla çamur kaçıışı olmaktadır.	İlave yoğunlaştırıcıların teçhiz edilmesi gerekmektedir. Diğer bir çözüm ise ön çökeltim tanklarından doğrudan yoğunlaşmış çamur çekilerek, mevcut yoğunlaştırıcılara sadece biyolojik fazla çamur için kullanılması, böylece yoğunlaştırıcıların yüzey yükünün artırılmasıdır.
		Arıtma tesisine gelen atıksu, kanalizasyon hatlarındaki infiltrasyon ve yağmur suyunun kanalizasyon hatlarına bağlanmaktadır. Bu nedenle, özellikle yağışlı zamanlarda arıtma tesisine gelen atıksu seyreltik olmaktadır.	Yağmursuyu hatlarının ayrılarak kanalizasyon sisteminin ayrık hale getirilmesi, ayrıca kanalizasyon hatlarının sızdırmaz hale getirilmesi gerekmektedir.
Karaköy İBAAT	Kısa Vadede	Terfi ünitesi kapalı bir bina içerisinde yer almakta olup, üzeri açık ve atıksu yüzeyi fazladır. Bu nedenle, terfi ünitesinde H <sub>2</sub> S gazı kokusu algılanmaktadır.	Bu ünite, uzun süreli H <sub>2</sub> S gazı ölçümleri sonucunda, H <sub>2</sub> S gazı emisyonunun izin verilen limitlerin üzerinde kalması durumunda koku giderim sisteminin yapılması gerekebilecektir.
		İşletme şartlarında, bir havuzdan 12 saat boyunca geri devir çamuru çekilirken diğer havuzdan çekilmemekte ve bu nedenle havalandırma havuzlarında arıtma verimi düşmektedir.	Son çöktürme havuzlarından çekilen geri devir debisinin kesikli değil sürekli olması gerekmektedir.
		Dalgıç mikserlerin verimsiz çalışmaları veya bilinmeyen arızaların meydana gelmesinden dolayı, biyofosfor ve havalandırma havuzunda yeterli karışım sağlanamamakta ve havuzlarda yer yer çökeltmeler olmaktadır.	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizlerinin yapılarak dalgıç mikserlerin revizyonlarının yapılması önerilmektedir.
Çubuk İBAAT	Kısa Vadede	Tesis giriş TN konsantrasyonu geçmiş yıllara göre artış göstermektedir.	Havalandırma havuzu çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonu 0,60 – 1,10 mg/L aralığında ayarlanmıştır. Tesis A2O proses konfigürasyonuna göre işletildiğinden ÇO konsantrasyonunun 1,5 – 2,0 mg/L aralığında ayarlanması önerilmektedir.
		Atıksu ile taşınan lifli atık malzemelerden kaynaklı bazı ekipmanlarda sıkışma veya birikme gerçekleşmektedir.	İnce ızgara sonrasında perfore ızgaraların teçhiz edilmesi önerilmektedir.
		Dalgıç mikserler verimsiz çalışmakta veya bilinmeyen arızalar meydana gelmektedir. Bu nedenle, biyofosfor ve havalandırma havuzunda yeterli karışım sağlanamamakta ve havuzlarda yer yer çökeltmeler olmaktadır.	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizlerinin yapılarak dalgıç mikserlerinin revizyonlarının yapılması, geri devir ve fazla çamur haznesine dalgıç karıştırıcı teçhiz edilmesi önerilmektedir.
Polatlı İBAAT	Kısa Vadede	Tesiste biyofosfor havuzu bulunmamakta ve gerekli olan nütrient giderimi gerçekleşmemektedir. Bu nedenle, arıtma tesisi ilgili Yönetmelik deşarj kriterlerini sağlayamamaktadır.	Arıtma tesisinin ilgili Yönetmelik deşarj kriterlerini sağlayabilmesi için 2. kademe için ön görülmüş biyofosfor havuzunun inşa edilmesi gerekmektedir.
	Orta Vadede	UV ünitesi öncesinde filtrasyon sistemi bulunmamaktadır. Bu nedenle, UV sistemi verimli çalışmamaktadır.	UV sisteminin verimli çalışması ve UV lambalarının faydalı kullanım ömrünün kısalması için UV ünitesi öncesinde filtrasyon sistemi (basınçlı kum filtresi, hızlı kum filtresi, disk filtre vb.) teçhiz edilmesi önerilmektedir.
Kahraman kazan İBAAT	Kısa Vadede	Proses verimliliği düşüktür. Bu nedenle, tesis çıkışında yüksek miktarda NH <sub>4</sub> -N konsantrasyonu tespit edilmektedir.	Arıtma tesisi verimliliğinin etkin bir şekilde sağlanması ve nitrifikasyon prosesinin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için oksik bölgelerdeki oksijen seviyesinin 1 mg/L civarında olduğu kontrol edilmeli, eğer oksijen seviyesi uygun ise havuzlardaki difüzör setlerinin açılıp kapatılması ile oksik bölge hacminin denitrifikasyon prosesi de dikkate alınarak artırılması ve tesise atıksu taşıyan kolektörünün sızdırmaz hale getirilmesi önerilmektedir.
		Kaba ızgara ve ince ızgaralar aynı kanalda yer almaktadır. Kaba ızgaraların ve ince ızgaraların çapraz devreden çıkması durumunda gelen atıksuyun önemli bir kısmı taşkan vasıtası ile deşarja yönlenecek ve alıcı ortamda kirliliğe neden olacaktır.	İzgara sistemlerinin arasında dağıtım kanalının açılması gerekmektedir.
Kızılcahamam İBAAT	Kısa Vadede	Arıtma tesisi girişinde By-Pass yapısı bulunmaktadır. SKKY Madde 4, "J" bendine göre atıksuların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi yasaklanmıştır.	By-Pass yapısının taşkın yapısına dönüştürülmesi gerekmektedir.
		Arıtma tesisine gelen atıksuda yüksek oranda termal otellerden kaynaklı termal su bulunmaktadır. Bu nedenle, tesisin hidrolik kapasitesi artmakta, arıtma prosesi etkilenmekte ve işletme giderleri yükselmektedir.	Termal otellerin termal sularının geri kazanımına yönlendirilmesi veya ilgili Yönetmeliklere göre uygun kalitede alıcı ortama deşarj etmelerinin sağlanması önerilmektedir.
		Biyofosfor havuzunda dalgıç mikserlerin konumlandırılması yanlış yapılmıştır. Bu nedenle, biyofosfor havuzunda yeterli karışım yapılamamaktadır.	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizlerinin yapılması ve aynı zamanda dalgıç mikserlerin yerlerinin değiştirilmesi gerekmektedir.
		Kum ve yağ tutucu havuzların tasarımları literatüre uygun değildir. Bu nedenle, tesiste kum ve yağ atıkları verimli bir şekilde tutulamamaktadır.	Kum ve yağ tutucu havuzların uzatılması gerekmektedir.
Ayaş İBAAT	Kısa Vadede	Tarımsal alanlardan gerçekleşen sızıntı sonucunda arıtma tesisi giriş atıksuyunda yüksek NO <sub>3</sub> -N konsantrasyonu görülmektedir.	Atıksu kolektörünün sızdırmaz hale getirilmesi gerekmektedir.

AAT	Aciliyet Durumu	Problem	İyileştirme Önerileri
		Çıkış TN konsantrasyonunun ortalama olarak %82 civarında oksitlenmemiş formda olduğu görülmektedir.	TN parametresi deşarjının çoğunlukla oksitlenmemiş formda olması, tesisteki nitrifikasyon veriminin yetersiz olduğunu göstermektedir. Tesisteki nitrifikasyon veriminin artırılması için giriş atıksuyu karakterizasyonuna bağlı olarak havalandırma havuzunda oksik hacmin artırılması gerekmektedir.
		Kum tutucu havuzların tasarımı literatüre uygun değildir. Bu nedenle, kum tutucu havuzlar düşük verimle çalışmaktadır.	Toplam bekletme süresi daha da artırılarak, yatay akış hızı düşürülebilir ve istenilen giderim verimi yakalanabilir. Diğer bir seçenek olarak havuzlara lamella ilave edilerek atıksuyun izleyeceği yol uzatılarak, kum tutma verimi yükseltilebilir.
Elmadağ İBAAT	Kısa Vadede	Tesise gelen atıksu, yeraltı suyunun karışması nedeni ile seyrelmektedir. Bu nedenle, TN parametresi haricinde arıtma tesisine gelen kirletici parametrelerin ortalama konsantrasyonları tasarıma esas değerlerinden yaklaşık olarak %60 ila %70 düşüktür. Deşarj limitinin aşıldığı dönemlerde çıkış TN konsantrasyonunun yaklaşık olarak yarısının NH <sub>4</sub> -N'den kaynaklandığı görülmüştür. Buna ilaveten, nitrifikasyon verimi artsa dahi giriş atıksuyundaki karbon yetersizliğinden dolayı denitrifikasyonun yeterli seviyede gerçekleşmemektedir. Bu nedenle, TN deşarj limitinin aşılması muhtemeldir.	Atıksu kolektörüne sızıntıların önlenmesi durumunda arıtma tesisinin kapasitesinin kısa vadede yeterli olacağı düşünülmektedir.  Tarımsal kaynaklı suların tesise girişinin engellenmesi ile atıksudaki karbon/azot oranının ve nitrifikasyon veriminin artırılması gerekmektedir.
Turkuaz BAAT	Kısa Vadede	Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkındaki Yönetmelik uyarınca Turkuaz BAAT deşarj noktası "Kentsel Hassas Alan" içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle, mevcut arıtma prosesi tesisin güncel Yönetmelik gerekliliklerine uygun değildir.  Tesis giriş TN ve TP konsantrasyonları yüksektir. Bu nedenle, tesis deşarjda limit aşımına uğrayabilir.  Geri devir pompaları kesikli olarak çalışmaktadır. Bu nedenle, ani hidrolik ve çamur yükleri oluşarak, arıtma performansı olumsuz yönde etkilenmektedir.  Atıksu ile taşınan lifli atık malzemelerden kaynaklı bazı ekipmanlarda sıkışma veya birikme gerçekleşmektedir.	Arıtma tesisi tasarımının KAAY Tablo 1 ve Tablo 2 gerekliliklerini sağlayacak şekilde ileri biyolojik arıtma tesisi niteliğinde olması gerekmektedir.  Arıtma tesisinde uygulanabilecek proses esnekliğini arttırmak adına, havalandırma havuzlarının oksik ve anoksik hacim kontrolüne imkân veren ve atıksudaki organik maddenin etkin kullanılabilirdiği önde denitrifikasyon tipi proses işletim sistemi önerilmektedir.  Geri devir pompalarının giriş debisine bağlı olarak sürekli çalışması gerekmektedir.  Mevcut ince izgaraların sökülerek yerlerine perfore izgaraların monte edilmesi önerilmektedir.
Yapracık KD. İBAAT	Kısa Vadede	Tesiste TN parametresi giderim üniteleri bulunmamaktadır. Bu nedenle, tesisinin mevcut tasarımı ilgili Yönetmelik kriterlerini sağlayacak nitelikte değildir.  Geri devir pompaları kesikli olarak çalışmaktadır. Bu nedenle, ani hidrolik ve çamur yükleri oluşmakta ve arıtma performansı olumsuz yönde etkilenmektedir.	Havalandırma havuzunun TN parametresini artıracak şekilde revize edilmesi gerekmektedir.  Geri devir pompalarının giriş debisine bağlı olarak sürekli çalışması gerekmektedir.
Yapracık GB. İBAAT	Kısa Vadede	Tesiste TN parametresi giderim üniteleri bulunmamaktadır. Bu nedenle, tesisinin mevcut tasarımı ilgili Yönetmelik kriterlerini sağlayacak nitelikte değildir.  Geri devir pompaları kesikli olarak çalışmaktadır. Ani hidrolik ve çamur yükleri oluşması sebebi ile arıtma performansı olumsuz yönde etkilenmektedir.	Havalandırma havuzunun TN parametresini artıracak şekilde revize edilmesi gerekmektedir.  Geri devir pompalarının giriş debisine bağlı olarak sürekli çalışması gerekmektedir.
Hasanoğlan İBAAT	Kısa Vadede	Atıksuya yüksek oranda infiltrasyon debisi karışmaktadır. Bu nedenle, tesise gelen atıksu seyrelmekte ve giriş kirlilik konsantrasyonları düşmektedir.  Arıtma tesisi girişinde By-Pass yapısı bulunmaktadır. SKKY Madde 4, "J" bendine göre atıksuların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi yasaklanmıştır.	Atıksu altyapısında gerekli önlemlerin alınması ve seyreltik atıksu şartlarının iyileştirilmesi gerekmektedir.  By-Pass yapısının taşkın yapısına dönüştürülmesi gerekmektedir. Ayrıca, inşa edilmesi önerilen taşkın yapısına debi ölçer temin edilerek, taşkın debisi sürekli kayıt altına alınmalıdır.
Haymana İBAAT	Kısa Vadede	Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkındaki Yönetmelik [1] uyarınca Haymana İBAAT deşarj noktası "Kentsel Hassas Alan" içerisinde yer almaktadır. Bu duruma göre arıtma tesisi tasarımının KAAY [2] Tablo 1 ve Tablo 2 gerekliliklerini sağlayacak şekilde TN ve TP parametrelerinin giderimine dayalı olması gerekmektedir. Mevcut durumda birinci kademe biyofosfor havuzu mevcut olmayıp, ikinci kademe için planlanmıştır. Bu nedenle, mevcut arıtma prosesi, tesisin güncel Yönetmelik gerekliliklerine uygun değildir.  Termal otellerden kaynaklı tesise yüksek miktarda atıksu gelmektedir. Bu nedenle, giriş kirlilik konsantrasyonları tasarıma esas konsantrasyonlardan yaklaşık %200 – 300 mertebesinde düşük gerçekleştiğinden atıksu seyreltik olmaktadır.	Yönetmelik gerekliliklerinin sağlanabilmesi için ikinci kademe için ön görülen biyofosfor havuzlarının birinci kademe içinde teçhiz edilmesi gerekmektedir.  Tesise kapasitesinin üzerinde debi gelmesinin önlenmesi için, ilgili termal otellerin termal sularının geri kazanımına yönlendirilmesi veya ilgili Yönetmeliklere göre uygun kalitede alıcı ortama deşarj etmelerinin sağlanması gerekmektedir.

AAT	Aciliyet Durumu	Problem	İyileştirme Önerileri
		<p>Aritma tesisi girişinde By-Pass yapısı bulunmaktadır. SKKY Madde 4, "J" bendine göre atıksuların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi yasaklanmıştır.</p> <p>Tesiste biyofosfor havuzu bulunmamaktadır. Bu nedenle, deşarj yönetmelik sınır değerleri sürekli olarak sağlanamamaktadır.</p>	<p>By-Pass yapısının taşkın yapısına dönüştürülmesi gerekmektedir. Ayrıca, inşa edilmesi önerilen taşkın yapısına debi ölçer temin edilerek, taşkın debisinin sürekli kayıt altına alınması gerekmektedir.</p> <p>İkinci kademe için ön görülen biyofosfor havuzlarının birinci kademede teçhiz edilmesi gerekmektedir.</p>
Kalecik İBAAT	Kısa Vadede	Tarım kaynaklı infiltrasyon sebebi ile tesis giriş kirlilik konsantrasyonları tasarım değerlerinin altında gerçekleşmektedir. Debinin de düşük olması ile birlikte arıtma tesisine giren kirlilik yükü tasarım değerlerinin yaklaşık %15 – 25 mertebesinde dir. Ancak giriş TN konsantrasyonu diğer parametrelerin konsantrasyonuna oranla yüksektir.	Bunun için atıksu kolektörünün sızdırmaz hale getirilmesi gerekmektedir.
Lalahan İBAAT	Kısa Vadede	<p>Aritma tesisi girişinde By-Pass yapısı bulunmaktadır. SKKY Madde 4, "J" bendine göre atıksuların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi yasaklanmıştır.</p> <p>Fabrikalardan kaynaklı olarak zaman zaman fazla miktarda yağ gelmekte ve bu nedenle By-Pass yapılmaktadır.</p>	<p>By-Pass yapısının taşkın yapısına dönüştürülmesi gerekmektedir. Ayrıca, inşa edilmesi önerilen taşkın yapısına debi ölçer temin edilerek, taşkın debisinin sürekli kayıt altına alınması gerekmektedir.</p> <p>Atık yağların arıtma tesisinin performansına olumsuz etkide bulunmaması için kaynağında gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.</p>
Çayırhan BAAT	Kısa Vadede	<p>Aritma tesisi girişinde By-Pass yapısı bulunmaktadır. SKKY Madde 4, "J" bendine göre atıksuların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi yasaklanmıştır.</p> <p>Havalandırma havuzlarından önce kum ve yağ tutma ünitesi mevcut değildir. Bu nedenle, arıtma sisteminde kum birikmekte ve ilave atık yük oluşturmaktadır.</p> <p>Son çökeltim havuzu tabanından alınan geri devir çamuru havalandırma havuzlarının çıkış tarafına terfi ettirilmektedir. Bu nedenle, atıksu ile geri devir çamuru yeterli karışıma sahip olmamakta ve arıtma verimi düşmektedir.</p>	<p>By-Pass yapısının taşkın yapısına dönüştürülmesi gerekmektedir. Ayrıca, inşa edilmesi önerilen taşkın yapısına debi ölçer temin edilerek, taşkın debisinin sürekli kayıt altına alınması gerekmektedir.</p> <p>Terfi pompalarından sonra düşük kapasiteli tesisler için uygun bir çözüm olarak görülen ve hazır imalat olarak üretilen ince ızgara, kum ve yağ tutucuyu içeren kompakt tip ön arıtma ünitesinin tesis edilmesi gerekmektedir.</p> <p>Biyokütlene ve atıksuyun tam karışımının sağlanabilmesi için geri devir çamurunun havalandırma havuzları girişine terfi ettirilmesi gerekmektedir.</p>
Nallıhan İBAAT	Kısa Vadede	<p>Aritma tesisine gelen debi tasarım debisinin yaklaşık %50 üzerinde olup, tesis kapasitesinin yetersiz olmakta ve arıtma tesisi giriş atıksuyunda yüksek NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonu bulunmaktadır. Giriş atıksuyu ile gelen yüksek NO<sub>3</sub>-N yükünün tarımsal alanlardan gerçekleşen sızıntı sonucunda oluştuğu düşünülmektedir.</p> <p>Aritma tesisi girişinde By-Pass yapısı bulunmaktadır. SKKY Madde 4, "J" bendine göre atıksuların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi yasaklanmıştır.</p>	<p>Her iki durum birlikte değerlendirildiğinde, atıksu kolektörünün sızdırmaz hale getirilmesi ve tesis kapasitesinin artırılması gerekmektedir.</p> <p>By-Pass yapısının taşkın yapısına dönüştürülmesi gerekmektedir. Ayrıca, inşa edilmesi önerilen taşkın yapısına debi ölçer temin edilerek, taşkın debisinin sürekli kayıt altına alınması gerekmektedir.</p>
Evren BAAT	Kısa Vadede	<p>Hassas Su Kütelleri ile Bu Kütelleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkındaki Yönetmelik uyarınca Evren BAAT deşarj noktası "Nitrata Hassas Alan" niteliğindedir. Bu duruma göre arıtma tesisi KAA Y Tablo 1 ve Tablo 2'deki TN parametresi deşarj limitlerine (eşdeğer nüfusa göre TN deşarj limiti 15 mg/L) tabidir. Tesis sadece klasik aktif çamur sistemine (yalnızca karbon giderimi) dayalı olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle, mevcut arıtma prosesi, tesisin güncel Yönetmelik gerekliliklerine uygun değildir.</p> <p>Aritma tesisi girişinde By-Pass yapısı bulunmaktadır. SKKY Madde 4, "J" bendine göre atıksuların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi yasaklanmıştır.</p> <p>İşletme şartlarında geri devir pompaları dur – kalk pozisyonunda çalıştırılmaktadır. Bu nedenle, ön çökeltim havuzları tabanında çamur tabakası seviyesi sürekli değişken olmakta, bekleme süresi boyunca çamur seviyesi temiz su bölgesine yaklaşması durumunda çamur kaçağı riski olabilmekte, son çökeltim havuzu tabanında yoğunlaşma farkı oluşmakta ve havalandırma havuzunda sürekli olarak debi ve AKM salınımları olmaktadır.</p>	<p>Yönetmelik gerekliliklerinin sağlanabilmesi için tesisin TN giderimi yapabilen İBAAT niteliğinde olması gerekmektedir.</p> <p>By-Pass yapısının taşkın yapısına dönüştürülmesi ve inşa edilmesi önerilen taşkın yapısına debi ölçer temin edilerek, taşkın debisinin sürekli kayıt altına alınması gerekmektedir.</p> <p>İşletme şartlarında geri devir pompasının sürekli olarak çalıştırılması gerekmektedir.</p>
Beypazarı İBAAT	Kısa Vadede	Tesisin 1.Kademesi 100.000 eşdeğer nüfus altı için tasarlandığından mevcut KAA Y Yönetmeliğindeki TN ve TP parametreleri açısından standartlara uymaktadır. Tesisin 2. kademesi ise 100.000 eşdeğer nüfusun üzerinde olduğundan TN ve TP parametreleri yönünden KAA Y Yönetmeliğinde esas alınan çıkış konsantrasyonu hedeflerine uygun değildir.	Aritma tesisinin 2. kademe inşaatından önce bu parametrelerin KAA Y Yönetmelik sınır değerlerini karşılayacak şekilde (TN için 10 mg/L ve TP için 1 mg/L) gerekli revizyonların yapılması gerekmektedir.

AAT	Aciliyet Durumu	Problem	İyileştirme Önerileri
		Aritma tesisi girişinde By-Pass yapısı bulunmaktadır. SKKY Madde 4, "J" bendine göre atıksuların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi yasaklanmıştır.	By-Pass yapısının taşkın yapısına dönüştürülmesi gerekmektedir. Ayrıca, inşa edilmesi önerilen taşkın yapısına debi ölçer temin edilerek, taşkın debisinin sürekli kayıt altına alınması gerekmektedir.
Paket AAT'ler	Kısa Vadede	Beypazarı (Ayvaşık) AKR PAAT haricinde diğer atıksu arıtma tesislerinde kum tutucu ünite bulunmamaktadır. Birçoğunda ise ince ızgara mevcut değildir. Bu nedenle, paket arıtma ünitelerinde birikme ve ekipmanlarda sıkışma gerçekleşmekte, arıtma verimleri düşmektedir	Tüm PAAT'lere ince ızgara ve kum tutucu üniteleri barındıran kompakt tip ön arıtma ünitelerinin teçhiz edilmesi gerekmektedir.
		Karagedik PAAT'de geri devir lift sistemi ile yapılmakta ancak sistem çalışmamaktadır. Ayrıca son çökeltim ünitesindeki yüzey yükü artırıcı lamellalar da hasarlı durumdadır. Çamur geri devri yapılmadığından dolayı havalandırma ünitesinde gerekli biyokütle tutunamamakta ve oluşan çamurlar da deşarj suyuna karışmaktadır.	Geri devir pompaların teçhiz edilmesi ve lamellaların yenilenmesi gerekmektedir.
		Beypazarı (Ayvaşık) AKR PAAT'de enerji kesintisinden sonra tüm tanklar aynı anda devreye girmekte ve dolayısı ile boşaltma aşaması da aynı anda gerçekleşmektedir. Bu nedenle ortak çıkış hattı çapı tüm çıkış debisini hidrolik olarak karşılayamamaktadır.	Elektrik kesintisinden sonra AKR tanklarının aşamalı olarak devreye alınması, ortak çıkış hattı çapının yükseltilmesi veya ikinci bir çıkış hattı teçhiz edilmesi gerekmektedir.
		Kesikköprü PAAT'de kum filtrelerinin geri yıkama işlemi sırasında filtre tabakasının kabartılması için blower bulunmamaktadır. Buna göre geri yıkama işlemi doğrudan su ile yapıldığından tabakalar arasında biriken olan atık malzemeler sistemden atılamayacak ve kum tutucuların verimi düşecek, daha sık geri yıkamaya geçecektir.	Geri yıkama işleminin ilk adımı olması gereken hava ile kabartmanın yapılabilmesi için blowerların teçhiz edilmesi gerekmektedir.
	Orhaniye (Kazan) Doğal AAT bitkiler tüm yüzey alanını kaplamamakta ve giriş ve çıkıştan numune alınmamaktadır. Bu nedenle tesisin kirletici giderim verimi bilinmemektedir.	Bitkilerin bakımlarının yapılması, boş alanlarda da bitkilerin tamamlanması ve giriş ve çıkıştan numune alınması gerekmektedir.	
	Orta Vadede	PAAT'lerde çamur arıtma üniteleri bulunmamaktadır. Tesislerde oluşan fazla çamurlar genel olarak vidanjörlerle çekilerek Merkezi (Tatlar) BAAT'ye iletilmektedir. Yönetmelik gereğince bertaraf edilecek çamurun KM içeriğinin minimum %50 olması gerekmektedir.	Çamurların kuru madde içeriğinin artırılması için kısmi kurutma ünitesinin ilave edilmesi gerekli görülmekte ise de düşük kapasiteli paket tip AAT'lerde kısmi kurutma ünitelerinin ilave edilmesi ilk yatırım ve işletme maliyetleri yönünden avantajlı görünmemektedir. Bu sebeple çamurların en yakın BAAT'lere iletilerek buralarda kurulacak kısmi kurutma ünitelerinde kurutularak bertaraf edilmesi önerilmektedir.

Tablo 3'te tesis özelinde belirtilen problemler incelendiğinde, Ankara ilindeki AAT'lerde karşılaşılan genel problemler şunlardır:

- Bazı tesislerde By-Pass yapısı bulunmaktadır. SKKY Madde 4, "J" bendine göre atıksuların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi yasaklandığından dolayı By-Pass hattına izin verilmemektedir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇŞİDB], 2004, Resmi Gazete, [RG], (Sayı: 25687).
- Aşırı yağışlı günlerde tesislerde taşkınlar yaşanmaktadır.
- Bazı AAT'lerin giriş ve/veya çıkışlarında kompozit numuneler alınmadığından, gerçek atıksu giriş kirlilik konsantrasyonları net olarak analiz edilememekte ve arıtma tesislerinin performansı net olarak ölçülememektedir. Alınan anlık numuneler de tesis verilerinde ortalama değeri göstermemektedir.
- AAT'lerde genel olarak ölçüm ve kontrol enstrümanları (Çeşitli noktalardaki debimetreler, oksijenmetre, ORP ölçer, iletkenlik ölçer, sıcaklık ölçer vb.) yeterli değildir.
- AAT'lerde atıksuya ait sıcaklık verileri ölçülmemekte veya kayıt altına alınmamaktadır.
- Kum tutucu havuzlarda genel olarak sıyrıcı köprü ortak tasarlanmış durumdadır. Köprünün arıza yapması durumunda tüm kum tutucu havuzlar devre dışı kalacak, devre dışı kaldığı sürece havuzlarda yoğun kum ve yağ birikmesi olacağından sonradan temizlenmesi ilave iş gücü ve işletme sorunlarına neden olabilecektir. Ayrıca, havuzların boşaltılması ile arıtma tesisine atıksuyun bir kısmı alınamayacak ve By-Pass zorunluluğu

doğacağından alıcı ortamın kirlenmesine sebebiyet verilecektir.

- AAT'lere gelen lifli malzemeler havuzlarda birikime, tıkanmaya ve ekipmanlarda sıkışmaya sebep olarak tesis işletmesinin kesintiye uğratabilmekte ve bakımlardan dolayı yoğun iş gücü harcanabilmektedir. Ayrıca arıtma tesislerinin verimleri de bu sebeplerle düşmektedir.
- AAT'lerde susuzlaştırılan çamurun KM oranı yaklaşık %22 -25 aralığında olmakta ve ÇOK parametresi Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe uygun olmadığından ya da ÇOK parametresi analizi yapılmadığından "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik" gereklilikleri sağlanamamaktadır (ÇŞİDB, 2010, [RG], (Sayı: 27533).
- AAT'lerde optimum şartlarda işletim ve tasarım yapılamamaktadır.
- AAT'lerde elektrik ve otomasyon sistemleri sağlıklı olarak işletilememekte ve ileride problemlere yol açabilir durumdadır. Ayrıca ölçüm ve kontrol enstrümanlarındaki eksiklikler (Çeşitli noktalardaki debimetreler, oksijenmetre, ORP ölçer, iletkenlik ölçer, sıcaklık ölçer vb.) sebebi ile tesisler genel olarak manuel işletilmekte ve optimizasyon sağlanamamaktadır.
- Arıtma tesislerindeki havalandırma blowerlarının kapasiteleri genel olarak yüksek seçilmiş olduğundan en fazla enerji tüketen ekipmanlar oldukları için enerjiye dayalı işletme giderleri oldukça yüksek seyretmektedir.
- AAT'lerin inşa yapılarında çevresel şartlar nedeniyle deformasyon meydana gelmekte, tretuvarlarda yollarda çökmeler gerçekleşmektedir.

- Paket AAT'lerde çamur susuzlaştırma sistemi olmadığından fazla çamurlar vidanjörlerle çekilerek Merkezi (Tatlar) BAAT'ye iletilmektedir. %1 KM oranında olan çamurlar için yüksek miktarda nakliye bedelleri ödenmektedir.
- Bazı AAT'lerde proses verimliliği düşük olduğundan işletme giderleri yükselmektedir.

Ankara ilindeki AAT'lerde karşılaşılan problemler için önerilen genel iyileştirme önerileri ise şunlardır:

- AAT'lerde bulunan By-Pass yapıları taşkın yapısına dönüştürülmeli ve inşa edilmesi önerilen taşkın yapısına debi ölçer temin edilerek taşkın debisi sürekli kayıt altına alınmalıdır. Bu şekilde AAT'lere gelen toplam debi de ölçülebilecek ve veri tabanı oluşturulabilecektir.
- Yağmur suyu drenaj hatları iyileştirilmelidir ve yeni yapılacak tesislerde taşkınlara karşı önlemler alınmalıdır. Yeni yapılacak tesislerin tasarım aşamasında taşkın kotları DSİ'den temin edilerek projelendirmelerin bu yönde yapılması gerekmektedir.
- AAT'lerin giriş ve çıkışlarına kompozit numune alma cihazı yerleştirilmelidir.
- AAT özelinde belirtilen enstrüman eksiklerinin tamamlanarak arıtma tesisinin SCADA'ya bağlı olarak otomasyon sistemi dâhilinde çalışması ve enstrümanların periyodik olarak kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir.
- AAT'lerde sıcaklık verilerinin ölçülmesi için gerekli enstrümanların temin edilmesi ve ölçüm yapılan tesislerde sıcaklık verilerinin kayıt altına alınması gerekmektedir. Bu kayıtlar benzer tesislerin tasarımında veri tabanı oluşturacaktır.
- Kum tutucu havuzların problemsiz olarak çalışmaları için sıyrıcı köprüler her bir havuz için ayrı olarak tasarlanmalı ve kum pompaları dikey yönlü hareketli sistem olmalıdır.
- AAT'lere gelen lifli atık malzemelerin etkin bir şekilde tutulabilmesi için mevcut AAT'lerde ince izgaralardan sonra perfore tip izgaralar teçhiz edilmeli, yeni yapılması planlanan AAT'lerde ise perfore tip izgaralar tercih edilmelidir. Bu şekilde atıksudaki lifli atık malzemeler tutularak kesintisiz ve verimli bir işletme sağlanabilecektir.
- Çamur kuru madde içeriğinin Yönetmelik gereğince %50 olarak bertaraf edilebilmesi için AAT'lere kısmi kurutma üniteleri ilave edilmelidir.
- Yeni yapılacak projelerde ATV-2015 hesap esasları kullanılmalı, arıtma tesisine gelen atıksu karakterindeki değişikliklerde, proses işletim sisteminde karar verici bir araç olarak aktif çamur bilgisayar modelleri oluşturulmalıdır. Diğer yandan optimum tasarım yapılabilmesi için yeni planlanacak atıksu arıtma tesislerinin projelendirme aşamasına geçmeden önce atıksuda uzun süreli analizler yapılmalı ve bu şekilde gerçek kirlilik konsantrasyonları belirlenmelidir.
- Elektrik sisteminde arızalı ekipmanlar yenilenmeli, eksik ekipmanlar temin edilmeli, çevresel şartlara maruz kalan ekipmanlar için gerekli değişimler yapılmalı ve önlemler alınmalı, eksik veya hatalı sinyaller kontrol edilerek önlenmelidir. Diğer yandan eksik ölçüm ve kontrol enstrümanları da temin edilerek tesislerin mümkün olduğunca tam otomasyonda işletilmeleri sağlanmalıdır.
- Havalandırma blowerlarının kapasitelerinin düşürülmesi için yüksek oksijen transfer verimine sahip difüzörlerin seçilmesi gerekmektedir. Bu şekilde hava ihtiyacı düşeceğinden tesislerde enerjiye dayalı işletme giderlerinden ciddi düzeyde tasarruf edilebilecektir.
- AAT'lerde inşa yapılarında oluşan çatlaklar uygun kimyasallar ile izole edilmeli, sahada oluşan çökmeler ise gerekli zemin sıkıştırması ile birlikte onarılmalıdır.
- Düşük kapasiteli paket tip AAT'lerde oluşan çamurlar için seyyar dekantör aracının temin edilmesi ve bu araçla belirli periyotlarda tesislere giderek susuzlaştırılan çamurların en

yakın tesisteki kısmi kurutma ünitelerinde kurutulması gerekmektedir.

Proses verimliliği için yukarıda tesis bazında yazılmış olan iyileştirme önerilerinin uygulanması gerekmektedir.

### 5. Sonuç

Ankara ilinde işletmede olan AAT'lerde en çok karşılaşılan problemler; fizibilite, etüt ve proje çalışmalarındaki eksiklikler, betonarme yapılarda sorunlar, kapasite yetersizliği gibi işletme problemlerinin çoğunun tip proje uygulamalarından ötürü eksik projelendirmeden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

AAT'lerde atıksu deşarjlarının yasal limitleri sağlayabilmesi için arıtılması planlanan atıksu karakterizasyonunun belirlenmesi, bu atıksu karakterizasyonuna göre planlama ve projelendirme yapılması önem arz etmektedir. Tesis ekipmanları seçilirken işletme ve tasarım deneyimine sahip deneyimli kişiler ve kuruluşlar ile beraber çalışmalı, böylece ileride oluşabilecek aksaklıklar en aza indirgenmelidir. Bunun yanında, işletmede olan tesislerde tesis üniteleri ve işletme enstrümanlarının düzenli olarak bakımlarının yapılması ve kayıt altına alınması gerekmektedir. Bakımların düzenli olarak yapılamaması halinde öncelik sıralaması belirlenmeli ve planlanması gerekmektedir. Tesislerin işletilmesi ve bakımlarının yapılması aşamasında kalifiye personelin çalıştırılması hem kısa hem de orta vadede birçok problemin oluşmasını önlemekle beraber ekipmanların daha uzun kullanımı ve tesisin doğru işletilmesi gibi konularda çevre sağlığı ve işletme maliyeti açısından da faydalı olacaktır.

Ankara ilindeki mevcut AAT'lerde yaşanan birçok problem bu çalışma kapsamında belirlenmiştir. Bu problemlere göre önerilen iyileştirme önerileri uygulandığı takdirde, tesislerin deşarj standartlarını sağlayacak şekilde optimum koşullarda işletilmesi sağlanabilecek, arıtma verimleri yükselecek, bakım masrafları düşecek ve enerjiye dayalı işletme giderlerinden tasarruf edilebilecektir. Ayrıca uluslararası standartlarda Bakım Yönetim Sistemi ve Kurumsal Varlık Yönetimi Sistemi kurulması da ekipman ve sistemlerinin performans düşüklüğünü önlenmesini, sebebi belli olmayan arızaların engellenmesini ve enerji verimliliğinin sağlanmasına büyük katkıda bulunacaktır. Mevcut durumda ASKİ, belirtilen problemlerle ilgili iyileştirme çalışmalarına başlamıştır ve kısa zamanda tamamlamayı hedeflemektedir. Buna ilaveten, ASKİ tarafından şu an yaptırılan Ankara İli İçmesuyu, Atıksu ve Yağmursuyu Yönetimi Master Plan çalışması kapsamında, AAT'lerle ilgili mevcut durum değerlendirme ve planlama çalışmaları da yer almaktadır. Ülkemizdeki tüm su kanalizasyon idarelerinin benzer çalışmalar yaparak, atıksu arıtma tesisleri ile ilgili problemlerini tespit edip çözüm uygulamaları geliştirmesi, ülkemizin su kaynaklarının sürdürülebilirliği ile enerji ve proses verimliliği açısından tavsiye edilmektedir.

### 6. Teşekkür ve Bilgi

Bu makale ile ilgili ihtiyaç duyduğumuz verilerde ve konularda bize gösterilen yakın ilgi ve destekten dolayı ASKİ Genel Müdürlüğü, Planlama, Koordinasyon ve Dış İlişkiler Dairesi Başkanlığı, Planlama Şube Müdürlüğü tüm çalışanlarına, başta Atıksu Arıtma Dairesi Başkanı Ayşegül Pekyılmaz olmak üzere Atıksu Arıtma Dairesi Başkanlığı tüm çalışanlarına ve bu çalışmada sunulan bulguların geliştirilmesine, düzeltilmesine ve olgunlaştırılarak son haline getirilmesine katkıda bulunan Prof. Dr. Ahmet Mete Saatçı ve Prof. Dr. Özlem Karahan Özgün hocalarımıza teşekkür ederiz.

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.



### 7. Kaynaklar

- Ankara İli İçmesuyu, Atıksu ve Yağmursuyu Yönetimi Master Planı (2022). GR-12 Atıksu Arıtma Görev Raporu kapsamında hazırlanan Mevcut Atıksu Arıtma Tesisleri Raporu.
- Bixio, D., Thoeye, C., Wintgens, T., Ravazzini, A., Miska, V., Muston, M., Chikurel, H., Aharoni, A., Joksimovic D., and Melin, T. (2008). Water reclamation and reuse: implementation and management issues, *Desalination*, (218), pp. 13-23.
- Bixio, D., Deheyder, B., Cikurel, H., Muston, M., Miska, V., Joksimovic, D., Schäfer, A., Ravazzini, A., Aharoni, A., Savic D., and Thoeye, C. (2005) Municipal wastewater reclamation: where do we stand? An overview of treatment technology and management practice, *Water Science and Technology: Water Supply*, (5)1, pp. 77-85.
- Giorgis Z. Teklehaimanot, I. Kamika, M. A. A. Coetzee & M. Momba, N. B. (2015) Population Growth and Its Impact on the Design Capacity and Performance of the Wastewater Treatment Plants in Sedibeng and Soshanguve, South Africa, *Environmental Management*, (56), pp. 984-997.
- Maryam, B. & Buyukgungor, H. (2017). Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: Opportunities and challenges, *Journal of Water Process Engineering*, 2017.
- Morera, S., Corominas, L., Rigola, M. Poch, M., and Comas, J. (2017). Using a detailed inventory of a large wastewater treatment plant to estimate the relative importance of construction to the overall environmental impacts, *Water Research* (122), pp. 614-623.
- Salgot, M. (2008). Water reclamation, recycling and reuse: implementation issues, *Desalination*, no. 218, pp. 190-197.
- Pintilie, L., Torres, C. Teodosiu, C., and Castells, F. (2016). Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study, *Journal of Cleaner Production*, (139), pp. 1-14.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, (31.12.2004), Resmî Gazete (Sayı: 25687).
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, (26.03.2010), Resmî Gazete (Sayı: 27533).
- Zhang, J., Shao, Y., Wang, H., Liu, G., Qi, L., Xu, X., Liu, S. (2021) Current operation state of wastewater treatment plants in urban China, *Environmental Research*, Volume 195, 110843.



## ARAŞTIRMA MAKALESİ

## Yeşil Mutabakat Kapsamında Pestisit Yönetimi ve Türkiye

Yazışma yazarı:  
Ayşegül TANIK,  
tanika@itu.edu.tr

Referans:  
Hanedar, A., Tanik, A., Girgin, E. (2023). Yeşil Mutabakat Kapsamında Pestisit Yönetimi ve Türkiye, *İTÜ Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(2), 87-96.

Makale Gönderimi : 15 AĞUSTOS 2023  
Online Kabul : 27 EYLÜL 2023  
Online Basım : 3 EKİM 2023

Asude HANEDAR<sup>1</sup>, Ayşegül TANIK<sup>2</sup>, Emine GİRGİN<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye. ORCID: 0000-0003-4827-5954

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye. ORCID:0000-0002-0319-0298

<sup>3</sup>Emine Girgin Timur, Halil Rifat Paşa Mah. Hergün Sk. No:3/2 Şişli, İstanbul, Türkiye. ORCID:0000-0002-4849-8229

**Özet** Avrupa Birliği'nin (AB) 2030 yılı iklim hedefi planını içeren Yeşil Mutabakat (YM) 2019 yılında kabul edilmiştir. Böylelikle, birlik iklim-nötr taahhüdünü ve net emisyon azaltma hedefini mevzuatla bağlayıcı hale getirmiştir. Kapsamda yer alan 7 stratejiden ikisi sürdürülebilir gıda üretimine yöneliktir. Bu bağlamda tarımsal üretimde kullanılan bitki koruma ürünleri olan pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı önemlidir. Makalede, AB'de Mutabakatın kabulü ardından pestisit yönetimi konusundaki uygulamaları, ilgili güncel mevzuattaki düzenlemeleri, 2030 yılına kadar ortaya konan stratejiler doğrultusunda pestisit kullanımına getirdiği kısıtlamalar anlatıldıktan sonra, pestisit kullanımından kaynaklanan risklerin yönetilmesine ve raporlanmasına imkân verecek Uyumlaştırılmış Risk Göstergelerine değinilmiştir. Hesaplanan ve analiz edilen risk göstergeleri, hedefleri, yaklaşımları ve uygulamaları değerlendirilmiştir. Türkiye'de halen yürürlükte olan bitki koruma ürünlerine ilişkin mevzuat ile pestisit kullanım miktarları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Ülkemizde uygulamalardaki sorunlar güncel AB düzenlemeleri de göz önüne alınarak tartışılmıştır. Ayrıntılı pestisit kullanım envanterinin oluşturulamaması ve kalıntı sorunu halihazırda en öne çıkan sorunlardır. Bu kapsamda ülkemizde yapılması önerilen iyileştirilmelere de değinilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Pestisit, Yeşil Mutabakat, sürdürülebilir gıda üretimi, Uyumlaştırılmış Risk Göstergeleri, bitki koruma ürünleri.

## Pesticide Management within the Context of Green Deal and Türkiye

**Abstract** The Green Deal (GD), which includes the 2030 climate target plan of the European Union (EU), was adopted in 2019. Thus, the Union has made its climate-neutral commitment and net emission reduction target binding in legislation. Two of the 7 strategies included in the scope are for sustainable food production. In this context, sustainable use of pesticides, which are plant protection products used in agricultural production, is important. In the article, following the presentation of the EU's applications on pesticide management with the adoption of the Consensus, the regulations in the relevant current legislation, restrictions on pesticide use in line with the strategies put forward until 2030, the Harmonized Risk Indicators that will allow the management and reporting of risks arising from pesticide use are mentioned. In addition to the legislation on plant protection products still in force in Turkey, pesticide usage amounts are also given comparatively. Problems faced in our country are discussed considering the current EU regulations. Lack of detailed pesticide use inventory and residue problem are currently the most prominent problems. In this context, the proposed improvements for our country are also underlined.

**Keywords:** Pesticide, Green Deal, Sustainable Food Production, Harmonised Risk Indicators, plant protection products

## 1. Giriş

### 1.1 Yeşil Mutabakat

11 Aralık 2019'da Avrupa Komisyonu (EC) tarafından sunulan European Green Deal (EGD)-Avrupa Yeşil Mutabakatı (YM), Avrupa'yı 2050 yılına ilk karbon nötr kıta haline gelmesini amaçlayan, yeni, sürdürülebilir ve kapsayıcı büyüme stratejisinin yol haritasını ortaya koyan bir araçtır (EC, 2019). Avrupa İklim Yasası (EC, 2020a) ile Avrupa Birliği'nin (AB) YM kapsamında iklim-nötr taahhüdünü ve net emisyon azaltma hedefi mevzuatla bağlayıcı hale gelmiştir. Komisyon, sera gazı emisyonu azaltma hedefini 1990 seviyelerine kıyasla %50-55'e çıkarmak için 2030 yılı iklim hedefi planını ortaya koymuştur.

Mutabakat kapsamında iklim değişikliği ile mücadele ederken aynı zamanda ekonominin canlanması, insan sağlığı ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesi ve doğanın korunması da hedeflenmektedir. Bu kapsamda YM, yedi strateji altında özetlenmiştir. Bunlar biyoçeşitlilik, temiz enerji, sürdürülebilir sanayi, inşaat ve renovasyon, sürdürülebilir ulaşım, kirliliğin ortadan kaldırılması ve tarladan sofraya stratejileridir (EC, 2020b; EC, 2020c; EC, 2020d; EC, 2020e; EC, 2020f; EC, 2020g; EC, 2020h; EC, 2020i; EC, 2020j; EC, 2020k). Bu stratejilerin ülkeler tarafından benimsenmesi ve uygulamaya konulması esnasında karşılaşılan problemler ve hedeflerin başarı düzeyleri Maris ve Flouros (2021) ve Smol (2022) tarafından detaylı olarak ele alınmış ve 2019-2022 yılları arasında yaşanan Covid-19 salgınının etkileri altında YM'nin ancak 2023 yılından itibaren sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda önem kazanabildiği ortaya konulmuştur.

### 1.2 AB'de sürdürülebilir gıda üretimi

AB'de 1962 yılında başlatılan Ortak Tarım Politikası (OTP) (Common Agricultural Policy (CAP), çiftçileri korumak, tarımsal üretimi artırmak, istikrarlı fiyatı olan gıda arzı sağlamak, iklim değişikliğiyle mücadeleye ve doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimine yardımcı olmak ve ilgili sektörleri desteklemek amacıyla toplum ve tarım faaliyetleri arasında gerçekleştirilen bir stratejidir. OTP, tüm AB bütçesinin kaynakları kullanılarak Avrupa düzeyinde yönetilen ve finanse edilen ortak bir politikadır. En son 2023-2027 yılı için açıklanan 4 yıllık planlara dayalı olarak tüm AB Üye Devletleri için ortak stratejik planlar sunmaktadır. Onaylanan planlar Avrupa Yeşil Mutabakatı (EC, 2019), Biyoçeşitlilik Stratejisi (EC, 2020d) ve Tarladan Sofraya Stratejisi (EC, 2020e) hedeflerine önemli katkılar sağlamak üzere tasarlanmıştır (CAP, 2023).

OTP'nin de kapsamında olan, sürdürülebilir gıda sistemlerinin zorluklarını kapsamlı bir şekilde ele alan "Tarladan Sofraya Stratejisi" hem YM'nin hem de Birleşmiş Milletler (BM) Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SKH) ulaşma gündeminin merkezinde yer almaktadır. Yaşanan salgınların, gözlenen kuraklıklar, seller ve orman yangınlarının, gıda yönetiminin tehdit altında olduğunu, daha sürdürülebilir ve daha dayanıklı üretimin gerektiğini sürekli olarak hatırlattığı günümüzde bu strateji ile AB'de ve tüm dünyada değer zincirlerindeki insanların özellikle Covid-19 salgını ve ekonomik gerileme sonrasında adil bir geçişten faydalanması hedeflenmektedir.

Tarladan-Sofraya Stratejisi kapsamında ekosistemi korumanın yanında Avrupa'da sunulan yemeklerin standardını artırmak, tüketici taleplerini değiştirmek, AB'deki yetişkin nüfusun yarısından fazlasının karşı karşıya kaldığı "fazla kilo" sorununu çözmek, gıda israfını azaltmak

ve tüm bunları çiftçi, balıkçı ve su ürünleri yetiştiricileri gibi birincil üreticilerin gelir ve karlarını iyileştirerek ve AB'nin rekabet gücünü arttırarak yapmak gibi çok kapsamlı hedefler yer almaktadır (Farm to Fork f2f, 2020).

Bu kapsamda AB'nin hedefleri, AB gıda sisteminin çevresel ve iklim ayak izini azaltmak ve sistemin direncini güçlendirmek, iklim değişikliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı karşısında gıda güvenliğini sağlamak ve tarladan-sofraya rekabetçi sürdürülebilirliğe ve yeni fırsatlardan yararlanmaya yönelik küresel bir geçişe öncülük etmektir. Bu stratejiyle birlikte hedeflenen değişiklikler çiftçiler, balıkçılar ve su ürünleri üreticileri ile gıda işleyicileri ve gıda hizmetleri için önemli bir fırsat olarak düşünülmektedir. Bu geçiş ile üreticiler sürdürülebilirliği ticari markalarının bir parçası yapabilecek ve AB gıda zincirinin geleceğini AB dışındaki rakiplerinden önce garanti etmeleri mümkün olabilecektir (EC, 2020e).

Bütün bu ihtiyaçlar ve çalışmalarla birlikte gıda sisteminin sürdürülebilirliğine geçişte birçok AB bölgesinde ekonomik yapının ve bunların etkileşim modellerinin değişeceği düşünülmektedir. Uyum fonları ve kırsal kalkınma için Avrupa Tarım Fonu (European Agricultural Fund for Rural Development-EAFRD) gibi mevcut AB araçlarından sağlanan teknik ve mali yardımlarla bu geçişin desteklenmesi planlanmaktadır.

Tarımsal üretim, AB'nin sera gazı emisyonlarının %10,3'ünün sebebidir. AB tarımı, dünyada sera gazı emisyonlarını 1990'dan bu yana %20 oranında azaltabilen en büyük tarım sistemidir (SUD, 2022). Ancak bu azalma, AB içinde Üye Devletler arasında bile homojen bir şekilde gerçekleşmemiştir. Gıda sektörü üretimi, işlenmesi, perakende satışı, paketlenmesi ve nakliyesi ile hava, toprak ve su kirliliği ile sera gazı emisyonlarına büyük katkı sağlayan ve biyolojik çeşitlilik üzerinde önemli bir etkiye sahip olan bir sektördür. Bu nedenle, AB'nin birçok alanda sürdürülebilir gıda sistemlerine geçişi başlamış olsa da gıda üretimi iklim değişikliğinin ve çevresel bozulmanın ana itici güçlerinden biri olmaya devam etmektedir (Stetkiewicz vd., 2023; Tyczevska vd., 2023). Bu kapsamda gıda üretiminde pestisitlere ve antimikrobiallere bağımlılığı azaltmak, aşırı gübre kullanımını engellemek, organik tarımı arttırmak, hayvan refahını yükseltmek, sürdürülebilir balık ve deniz ürünleri üretimine geçiş, biyolojik çeşitlilik kaybını tersine çevirmek ve tedarik zincirlerinde sürdürülebilirliğe geçiş acil bir ihtiyaç olarak kabul edilmektedir (Farm to Fork f2f, 2020).

## 2. AB'de Pestisit Yönetimi ve Yeşil Mutabakat

### 2.1 Pestisit Nedir?

Pestisitler, herhangi bir zararlıyı yok etmek, engellemek, uzaklaştırmak veya azaltmak için kullanılan bitki düzenleyici ve azot dengeleyici özellikleri olan aktif ve inert bileşenlerden oluşan madde veya madde karışımlarıdır (USEPA, 2023). Bazı doğal minerallerden, endüstriyel ölçekte kimyasallara kadar pek çok türü barındıran ve "Bitki Koruma Ürünleri (BKÜ)" olarak da gruplandırılan bu sentetik/yarı sentetik karışımlar; bitki büyüme düzenleyicileri (böcek çekiciler, böcek kovucular, böcek büyüme düzenleyicileri), besleme inhibitörleri, mikrobiyal preparatlar, bitki aktivatörleri, fizyolojik hastalıkların tedavisinde kullanılan ürünler, zararlı böceklerde biyolojik etki gösteren parazitoidler ve predatörleri de içermektedir (Marchand vd., 2023).

Tarımsal girdilerin en önemlilerinden biri olan pestisitlerin kullanımının başlıca amacı, ürün miktar ve kalitesini

arttırmaktır. Pestisitler tarımsal mücadelede yüksek etkinliğe sahip olup hızlı sonuç veren ve bilinçli ve kontrollü kullanıldığında ekonomik bir yoldur. Modern tarımın vazgeçilmezlerinden olan pestisitler olmaksızın yoğun tarım üretiminin olanağı yoktur ve pestisit kullanılmadan üretim yapılması halinde, üretim miktarında büyük kayıplar olabilmektedir (Kaymak vd., 2015).

BKÜ'lerin içeriğinde organizmalara karşı genel veya özel etki sağlayan kimyasallar, mikroorganizmalar ve yarı kimyasal fito-farmasötik aktif maddeler bulunmaktadır. Pestisitler bu aktif maddelerin karışımları halinde satılırlar. Formülasyon adı verilen bu maddelerde olması gereken özellikler, BM Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile ülkeler ve komisyonlar ölçeğinde ilgili kurumlar tarafından belirlenip standartlar oluşturulmuştur. Bir maddenin pestisit özelliği taşıyabilmesi için biyolojik, ekonomik, aktivitesine güvenilen, etkili, kolay uygulanabilen, yeteri kadar kararlı ve kullanımları, tüketiciler, canlılar için risk oluşturmayan, yalnızca hedef canlıya yönelik ve çevre için kabul edilebilir olması gerekir (Tiryaki vd., 2010; Denkçi, 2019).

Pestisitler ve parçalanma ürünleri, yapılarındaki aktif maddelerden dolayı toksik maddeler içerirler. Parçalanma ürünlerinden bazıları ana pestisitten daha toksik ve kalıcıdır. Hedef alınan ve/veya alınmayan zararlıları, doğal düşmanlarını ve faydalı organizmaları da öldürerek yeni salgınlar oluşturabilirler. Dolayısıyla, çevrede yayıldıkları ve organizmalarda biriktikleri için toksik olarak kabul edilirler ve belirli konsantrasyonlarda insanlarda kanser, kısırlık, malformasyon, DNA mutasyonu ve oksidatif stres gibi ciddi sağlık sorunlarına neden oldukları bilinmektedir. Aşırı kullanımları ise hedef organizmalarda ilaca karşı direnç oluşturmaktadır ve uygulamalar başarısız olmaktadır (Salvagni vd., 2011, Sabarwal vd, 2018, Porter vd. 2018, De Souza vd., 2020).

Pestisitlerin bazı türleri doğada uzun süre değişmeden kalırlar. Kalıcılık aslında uygulanan bölgede tarım zararlılarını etkili bir şekilde yok etmek için istenen bir özelliktir. Uygulanan pestisitlerin önemli bir kısmının da hedef dışı alanlara taşındığı bilinmektedir. Yağış ve tarımsal sulama, pestisitleri uygulandıkları alanlardan su sistemlerine taşımaktadır. Bu pestisitler omurgasız canlılarda ve balıklarda birikebilmekte ve besin zincirine katılarak kuşlara, memelilere ve hatta insanlara geçmektedir (Wang vd. 2019; De Souza vd., 2020).

## 2.2 AB'de pestisit yönetimi

Pestisitlerin sayılan potansiyel zararlı etkileri nedeniyle özellikle gelişmiş ülkelerde sıkı düzenlemelerle kontrollü uygulamalara geçilmiştir. AB, pestisitlerin kullanım izinleri ve kontrolleri konusunda dünyadaki en katı sistemlerden birini benimsemiştir. En önemli pestisit düzenlemeleri Maksimum Kalıntı Limiti (MKL) – Maximum Residue Limit (MRL) direktifi (EC 396/2005, 2005) ve Bitki Koruma Ürünleri (BKÜ)- Plant Protection Products (PPP) direktifi (EC, 1107/2009) olarak bilinen direktiflerdir. Bu düzenlemeler AB'de pestisit risk yönetiminin çerçevesini oluşturmaktadır. Düzenlemelerin uygulanması, Üye Devletlerin ve Komisyonun ortak sorumluluğundadır. BKÜ ve MKL Yönetmelikleri, özellikle izin verilen pestisitlerin kullanımı için yükümlülükler oluşturan, sürdürülebilir tarım ve çiftçilik için teşvikler sağlayan, Sürdürülebilir Kullanım Direktifi (SKD)- Sustainable Use Directive (SUD, 2009) ile ve OTP geliştirilen politikalar ile daha kapsamlı bir çerçevede düzenlenmiştir.

AB'de 2009/128/EC sayılı Pestisitlerin Sürdürülebilir Kullanımına İlişkin Direktif (SUD, 2009), pestisit kullanımının insan sağlığı ve çevre üzerindeki risklerini ve etkilerini ve pestisit kullanımına bağımlılığı azaltmak için entegre haşere mücadele yönetimi gibi alternatif yaklaşımların veya tekniklerin kullanımını teşvik etmeyi amaçlar. Üye Devletlerin SKD'ni iç hukuklarına aktarma ve eyleme dönüştürmeleri faaliyetleri sürerken Avrupa Komisyonu, AB'nin Tarladan Sofraya ve Biyoçeşitlilik Stratejileri ile uyumlu olarak 2030 yılına kadar kimyasal (ticari) pestisitlerin kullanımını ve risklerini azaltmaya yönelik yeni bir Tüzük teklif etmiştir. Teklif, mevcut Direktifi, tüm Üye Devletler için doğrudan bağlayıcı ve tek tip olarak uygulanabilecek bir yönetmeliğe dönüştürmeyi kapsamaktadır. Bu teklifler, Pestisitlerin sürdürülebilir kullanımına ilişkin mevcut kuralları elden geçirerek bunları YM kapsamında biyoçeşitlilik ve tarladan-sofraya stratejilerinde belirlenen hedeflere uygun hale getirmeyi amaçlamaktadır. Teklifler, normal yasama prosedürü kapsamında Konsey'deki Üye Devletler ve Avrupa Parlamentosu tarafından 22 Haziran 2022'de onaylanmıştır. Bu teklifte alınan ana kararlar şunlardır (Food EU, 2023):

- 2030 yılına kadar kimyasal pestisitlerin kullanımı ve riskinin yanı sıra daha tehlikeli pestisitlerin kullanımını %50 oranında azaltmak için AB düzeyinde yasal olarak bağlayıcı hedefler koymak,
- Çiftçilerin ve diğer profesyonel pestisit kullanıcılarının Entegre Zararlı Yönetimi (EZY)- Integrated Pest Management (IPM) uygulamasını sağlayarak haşerelerin önlenmesine odaklanan, alternatif yöntemlere öncelik veren, son çare olarak kimyasal böcek ilaçlarının kullanıldığı çevre dostu bir sisteminin kullanılması,
- Halka açık parklar veya bahçeler dahil kentsel yeşil alanlar, oyun alanları, rekreasyon alanları, spor alanları, halka açık yollar, Natura 2000 kapsamında korunan alanlar ve ekolojik olarak hassas tüm alanlar ve benzeri yerlerde her türlü pestisit kullanımının yasaklanması,
- Kimyasal olmayan haşere kontrol yöntemlerinin ve kimyasal olmayan bitki koruma ürünlerinin satışını artırmak için düşük riskli alternatiflerin teşvik edilmesi,
- Çiftçilerin daha az kimyasal böcek ilacı kullanımı ile daha sürdürülebilir tarım için gerekli tavsiye ve rehberliğe erişimlerini sağlamak,
- Kimyasal pestisit kullanımının daha da azaltılmasına katkıda bulunan hassas tarım gibi yeni teknolojilerin kullanılmasına olanak sağlamak,
- Sürdürülebilir uygulamalarda, yatırımlar ve rehberlik için OTP kapsamında finansman sağlamak,
- Çiftçiler ve diğer pestisit kullanıcıları için biyolojik alternatiflerin onayı hızlandırmak,
- AB'ye gıda ihraç eden ülkelerde sürdürülebilir tarımı desteklemek ve maksimum kalıntı seviyesinde yeni ve daha çevreci bir yaklaşım getiren sistemler uygulamak,
- Üye Devletlerin kimyasal olmayan haşere kontrol yöntemlerinin kullanımını artırmak için iyimser hedefler belirlemesini zorunlu kılmak.

## 2.3 Uyumlaştırılmış Risk Göstergeleri

Tarladan-sofraya stratejisi kapsamında 2030 yılına kadar pestisitlerin ve daha tehlikeli pestisitlerin kullanımını ve risklerini azaltmak için 2 özel hedef önerilmiştir. Bu hedefler şunlardır (Eurostat, 2020):

- **2030 yılına kadar kimyasal pestisit kullanımını ve riskini %50 azaltmak:** Bu hedef her üye devlette piyasaya sürülen (satılan) ve dolayısıyla kullanılan

pestisitlerde bulunan aktif maddelerin miktarları ve bu aktif maddelerin tehlikelilik özelliklerine ilişkin istatistiklere dayanılarak belirlenecektir.

- **2030 yılına kadar daha tehlikeli pestisitlerin kullanımını %50 azaltmak:** Bu hedef her üye devlette piyasaya arz edilen (satılan) ve bu nedenle kullanılan pestisitlerde bulunan ve sözde 'ikame adayları' olarak adlandırılan daha tehlikeli aktif maddelerin miktarlarına ilişkin istatistiki veriler kullanılarak belirlenecektir.

Tarlardan Sofraya Stratejisi ve Biyoçeşitlilik Stratejisi bağlamında, "daha tehlikeli pestisitler", AB 1107/2009 Sayılı Yönetmeliğin 24. Maddesi uyarınca "ikame adayları" olarak onaylanmış bir veya daha fazla aktif madde içeren BKÜ'lerdir ve AB 540/2011 Sayılı Uygulama Tüzüğü Ekinin E Bölümünde listelenen ya da AB 2015/408 sayılı Uygulama Tüzüğü Ekinde listelenen bir veya daha fazla aktif madde içeren pestisit türlerinden oluşur (SUD Report, 2022).

Üye Devletlerin pestisit kullanımından kaynaklanan riskleri ulusal düzeyde yönetmesine ve raporlamasına imkân verecek şekilde Birlik düzeyinde bu hedeflere ulaşılmasında kaydedilen ilerlemeyi ölçmek için "Uyumlaştırılmış Risk Göstergeleri – Harmonised Risk Indicators" oluşturulmaya başlanmıştır. 2009/128/EC sayılı Direktifin 15(4) Maddesi, Komisyonun eğilimleri tahmin etmek için Birlik Mevzuatına uygun olarak toplanan BKÜ'ne ilişkin istatistikler vder ilgili verileri kullanarak risk göstergelerini hesaplamaktadır. Söz konusu risk göstergeleri şunlardır:

**Uyumlaştırılmış Risk Göstergesi 1:** 1107/2009 Sayılı Yönetmelik (EC) uyarınca BKÜ olarak piyasaya sürülen aktif maddelerin miktarlarına ilişkin Tehlikeye Dayalı Uyumlaştırılmış Risk Göstergesidir. Bu gösterge, (EC) 1107/2009 Sayılı Yönetmelik Ek I kapsamında Komisyona sağlanan piyasaya sürülen aktif maddelerin "miktarlarına" ilişkin istatistiklere dayanmaktadır.

**Uyumlaştırılmış Risk Göstergesi 2:** 1107/2009 Sayılı Yönetmelik 53 (1) Maddesi uyarınca BKÜ'ler için verilen "izin" sayısına dayanmaktadır.

Söz konusu risk göstergelerini hesaplamak ve ilgili hedefleri takip etmek için AB tarafından piyasaya sürülen tüm pestisitler 7 kategori ve 4 gruba ayrılır. Bu sınıflandırma teknolojik ve bilimsel gelişmelere bağlı olarak her yıl güncellenmektedir. Buna göre ilgili grupların tanımlamaları Tablo 1'de verilmiştir.

## 2.4 AB düzenlemelerinin sonuçları

OTP 2023-2027 Planı, SKD 2022 revizyonu ve pestisit yönetimi ile ilgili yapılan düzenlemelerin sonuçları



Şekil 1. Pestisit (a) ve daha tehlikeli pestisitlerin (b) kullanımında AB eğilimleri (EU Trends, 2023).

göstermiştir ki, AB'de pestisit kullanımından kaynaklanan riskler ile ilgili kullanım ve onay kriterlerinin sıklığı insan sağlığını ve çevreyi korumada etkili olmuştur (SUD, 2022). Ancak uygulamanın daha da geliştirilebileceği kabul edilmektedir. BKÜ Tüzüğü'nün öncüsü olan 91/414/EEC sayılı Direktif (EC, 1991) kapsamında aktif maddelerin sayısı %50'den fazla azalmış ve bu durum Direktifin gerekliliklerini karşılamayan birçok maddenin piyasadan çekilmesinde etkili olmuştur.

AB'de halihazırda yüksek tehlike profiline sahip etken madde payı %2'dir. Daha az tehlikeli etken maddelerin oranı ise nispeten büyüktür (%37) ve bu oran gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda, yılda ortalama 10 tane olan yeni aktif madde onayına yönelik başvuruların yaklaşık yarısı kimyasal olmayan mikroorganizmalar veya düşük risk grubundaki pestisitlerden oluşmuştur. 2011'den 2018'e kadar, sağlık veya çevre ile ilgili endişeler nedeniyle 22 aktif maddenin onaylamama, yenilememe veya geri çekme kararları hedeflere ulaşmaya katkıda bulunmuştur. Mevcut tüm onayların ilk incelemesinin 2025 yılına kadar tamamlanması hedeflenmektedir (SUD, 2022). Bununla birlikte tüm paydaşlar, özellikle STK'lar, BKÜ Tüzüğü'nün insan sağlığını ve çevreyi etkili bir şekilde koruduğu sonucuna katılmamakta, onay kriterlerinin uygulanmasının yeterince katı olmadığını ve AB'de hala tehlikeli aktif maddelerin kullanıldığını ortaya koymakta; ancak, mevcut mevzuatın aktif maddelerin pazar öncesi onayı için yeterli bir çerçeve oluşturduğunu kabul etmektedir (SUD, 2022, Stetkiewicz vd., 2023).

Uyumlaştırılmış Risk Göstergeleri son 5 yılda pestisit kullanımından kaynaklanan risklerde %20'lik bir azalma olduğunu göstermektedir. Temmuz 2023'te Komisyon, 2011-2021 dönemi için Tarladan-Sofraya pestisit azaltma hedeflerine yönelik güncellenmiş ilerlemeyi yayınlamıştır (Şekil 1). Sonuçlara göre kimyasal pestisitlerin kullanımı ve riski, 2020'ye göre %6'lık bir düşüş göstermiş ve ilk 4 yılda, 2015-2017 temel dönemine göre %33'lük genel bir düşüş gerçekleşmiştir. Daha tehlikeli pestisitlerin kullanımı 2020'ye göre %5'lik bir artış göstermiş, ilk dört yılda ise 2015-2017 temel dönemine göre %21'lik bir düşüş gerçekleşmiştir (EU Trends, 2023),

İlk 4 yıldaki genel düşüş eğilimleri ümit vericidir. Üye devletler kimyasal pestisitlerin tarım dışı ortamlarda ve çiftliklerde yalnızca son çare olarak kullanımını sağlamaya devam etmeye teşvik ettikleri müddetçe, Tarladan-Sofraya hedeflerinin her ikisinin de 2030 yılına kadar elde edilebileceğini göstermektedir (EU Trends, 2023).

Tablo 1. AB Pestisit Risk Kategorizasyonu (EUROSTAT, 2020).

Grup	Kategori
<b>Grup I</b>	<b>A</b>
	<b>B</b>
<b>Grup II</b>	<b>C</b>
	<b>D</b>
<b>Grup III</b>	<b>E</b>
	<b>F</b>
<b>Grup IV</b>	<b>G</b>

### 3. Türkiye’de Pestisit Yönetimi

Tablo 2’de FAO tarafından 2023 yılında yayınlanmış verilerle dayanılarak dünyada, Avrupa’da ve Türkiye’de 2019, 2020 ve 2021 yıllarında pestisit kullanım bilgileri verilmektedir. Görüldüğü üzere ülkemizde tarım arazisi başına pestisit kullanım miktarı dünya ortalamasına yakın olup AB ülkeleri için verilen ortalama değerlerden bir miktar daha düşüktür. Kişi başına pestisit kullanımı ise dünya ortalamasının üzerinde olup AB ülkeleri ile benzer değerlerdedir.

Türkiye pestisit kullanımı açısından yüksek seviyelerde olmamakla birlikte bölgelere göre değişen kullanım değerleri olduğu bilinmektedir. Özellikle Akdeniz Bölgesi’nde dünya ortalamasının üzerinde pestisit kullanımının mevcut olduğu bildirilmiştir. Ülkemizdeki toplam insektisit kullanımının neredeyse %40’ı Akdeniz Bölgesi’nde kullanılmaktadır. Pestisit en fazla kullanıldığı ilk 3 il Antalya, Manisa ve Adana’dır ve bu üç ildeki kullanım, ülkemizin toplam pestisit kullanımının %22,75’idir. Bu bölgeler yoğun tarım yapılan, ürün çeşitliliği fazla olan ve özellikle ihracata konu tarım ürünleri üreten illerdir (Özercan ve Taşçı, 2022).

#### 3.1 Türkiye’de pestisit yönetimine ilişkin mevzuat

Ülkemizde BKÜ’lerin, zirai mücadele alet ve makinelerinin ve bunların üretim yerlerinin onay ve kontrollerini yapmak, depolanması ve satışı ile ilgili düzenlemeleri yapmak, ithalat ve dağıtım ile ilgili esasları düzenlemek ve yürütmek, ilgili istatistik verileri toplamak, analiz etmek ve ilgili eğitim faaliyetlerini yürütmek, ilgili mevzuatları hazırlamak, piyasaya sunumla ilgili usul ve esasları belirlemek, üretimler ilgili planlamalar yapmak, BKÜ denemeleri yapacak kişi ve kuruluşlara yetki belgesi vermek Tarım Orman Bakanlığı Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü Bitki Koruma Ürünleri Daire

Başkanlığı tarafından yürütülmektedir (Tarım Orman Bak., 2023). Bu kapsamda ülkemizde BKÜ’ler ile ilgili yürürlükte olan mevzuat ve düzenlemeler Tablo 3’te özetlenmiştir.

Görüldüğü üzere, ülkemizde AB ile paralel olarak BKÜ’lerin üretimi, sınıflandırılması, ambalajlanması, etiketlenilmesi, ruhsatlandırılması, piyasaya arzı, satışı, depolanması, ithalatı gibi konularda yönetmelikler mevcuttur.

Bununla birlikte ülkemizde Aralık 2014’te BKÜ Veritabanı Yazılım Programı, Nisan 2016’da ise olan "BKÜ Veri Tabanı Mobil Uygulaması" uygulamaya geçmiştir. Bu uygulamalar ile ruhsatlandırılan bitki koruma ürünlerine ait ruhsat, kullanım bilgileri, aktif madde, zararlı organizma, bitki ve bitkisel ürünler ve MRL değerleri ile ilgili tüm konulara, Bakanlık uzmanları, BKÜ ruhsat sahibi firmalar, üreticiler erişim sağlayabilmektedir. Programda ruhsatlı BKÜ’nün onay, aktif madde içeriği, formülasyonu, tavsiye konuları, uygulama dozu, son ilaçlama ile hasat arası bırakılması gereken süre, maksimum kalıntı limiti (MKL) gibi tüm bilgilere ulaşılabilmektedir. Bu bilgilere uyulduğunda, tavsiye dışı kullanım veya aşırı doz kullanımı önlenmektedir. Kullanımı sonlandırılmış pestisitler de BKÜ veri tabanında duyurulmaktadır.

Bununla birlikte ruhsatlandırılan BKÜ etiketlerinde; ürünün uygulama dozu ve dönemi, son ilaçlama ile hasat arasındaki süre, bitki koruma ürünün uygulamaya hazırlanması, kalibrasyon, ilaçlama makinesinin temizliği, bitki koruma ürününün kullanım şekli, ilk yardım önlemleri, zehirlenme belirtileri, önlem ve zararlılık ifadeleri ile kullanırken ve depolarken dikkat edilecek hususlar kullanıcının dikkatine sunulmaktadır.

Tablo 2. Pestisit kullanım verileri (FAO, 2023).

		Tarımsal toplam kullanım	Tarım arazisi başına kullanım	Kişi başına kullanım	Tarımsal üretim değeri başına kullanım
		ton	kg/ha	kg/kişi	kg/1000 \$
<b>Dünya</b>	2019	3.385.786	2,18	0,44	0,86
	2020	3.402.199	2,18	0,44	0,85
	2021	3.535.375	2,26	0,45	0,86
<b>Avrupa Bölgesi (FAO sınıflandırması)</b>	2019	462.150	1,60	0,62	0,82
	2020	485.760	1,69	0,65	0,86
	2021	505.157	1,75	0,68	0,88
<b>AB üyesi ülkeler (26 ülke)</b>	2019	328.327	3,14	0,60	0,80
	2020	342.522	3,35	0,62	0,82

	2021	352.967	3,27	0,63	0,82
Türkiye	2019	51.297	2,22	0,61	0,70
	2020	53.672	2,32	0,64	0,71
	2021	52.963	2,26	0,62	0,70

Tablo 3. Ülkemizde pestisit yönetimi ile ilgili mevzuat (URL-1).

Düzenleme	Düzenlemenin amacı
Bitki Koruma Ürünleri Kontrol Yönetmeliği (Resmî Gazete: 20.05.2011- 27939)	Ruhsatlı bitki koruma ürünlerinin imalatı, ithalatı ve kullanımı arasındaki safhalarda ruhsata esas özelliklere sahip olup olmadıklarının kontrol edilmesi amacıyla hazırlanmıştır.
Bitki Koruma Ürünlerinin Ruhsatlandırılması ve Piyasaya Arzı Hakkında Yönetmelik (Resmî Gazete: 09.11.2017- 30235)	Bitkilerin veya bitkisel ürünlerin her türlü zararlı organizmadan korunması veya bu tür organizmaların etkisinin önlenmesi, bitki ve bitkisel ürünlerin yetiştirildikleri ve muhafaza edildikleri ortamlarda zararlı organizmalara karşı kullanılacak ticari formdaki bitki koruma ürünlerinin ruhsatlandırılması ve piyasaya sunulmasına ilişkin usul ve esasları belirlemek
Bitki Koruma Ürünlerinin Önerilmesi, Uygulanması ve Kayıt İşlemleri Hakkında Yönetmelik. (Resmî Gazete: 03.12.2014- 29194)	Bitki ve bitkisel ürünlere arz olan zararlı organizmaların teşhisini, kullanılacak bitki koruma ürünlerinin önerilmesini, bitkisel üretim yeri ve depolarda zirai mücadele teknik talimatları ve teknik tavsiyeler doğrultusunda uygulanması, yapılan uygulamaların kayıt altına alınarak bitki ve bitkisel ürünlerde gıda güvenliği açısından izlenebilirliğin sağlanması
Bitki Koruma Ürünlerinin Toptan ve Perakende Satılması ile Depolanması Hakkında Yönetmelik (Resmî Gazete: 13.02.2019- 30685)	Bakanlıkça onaylı bitki koruma ürünlerinin toptan veya perakende olarak satılması ve depolanması ile bu ürünleri toptan veya perakende satacak ve depolayacakların uyması gereken esasları belirlemek
Bitki Koruma Ürünleri ile Bitki Koruma Ürünü Hammaddelerinin İthalatı Hakkında Yönetmelik (Resmî Gazete: 14.12.2018- 30625)	Bitki koruma ürünleri, bitki koruma ürünü imalatında kullanılan hammaddeler, ruhsatlandırma veya ürün geliştirme çalışmalarına esas araştırma ve denemelerde kullanılmak üzere bitki koruma ürünü ve bitki koruma ürünü imalatında kullanılan hammadde numuneleri ile ihracat amacıyla imal edilecek bitki koruma ürünü imalatında kullanılacak olan hammaddelerin ithalat izinleri ile ithalat iznine esas kontrolleri hakkında usul ve esasları düzenlemek
Bitki Koruma Ürünleri ile İlgili Yapılacak Denemeler Hakkında Yönetmelik (Resmî Gazete: 09.11.2017- 30235)	Bitki ve bitkisel ürünlerin yetiştirildikleri ve muhafaza edildikleri ortamlarda zararlı organizmalara karşı kullanılacak ticari formdaki bitki koruma ürünlerinin biyolojik etkinlik, kalıntı, yan etki, toksikolojik ve ekotoksikolojik denemelerinin yapılmasına ilişkin usul ve esasları belirlemek
Bitki Koruma Ürünü Üretim Yerleri Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik (Resmî Gazete: 06.07.2011- 27986)	Bitki koruma ürünü veya bitki koruma ürünü teknik maddesi üretimi yapan tesislerin, üretim izni ve denetimi, taşınması gereken asgari teknik şartlar ile çalışma usul ve esaslarını düzenlemek
Bitki Koruma Ürünlerinin Sınıflandırılması, Ambalajlanması ve Etiketlenmesi Hakkında Yönetmelik (Resmî Gazete: 25.03.2011- 27885)	Piyasaya arz edilen bitki koruma ürünlerinin insan sağlığı ve çevre üzerinde yaratabilecekleri olumsuz etkilere karşı etkin kontrolünü ve gözetimini sağlamak üzere sınıflandırılmasına, etiketlenmesine ve ambalajlanmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemek
İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Zirai Mücadele Kapsamında Bitki Koruma Ürünü Uygulamalarında Kullanılmasına İlişkin Yönerge (Yönerge: 3841017)	Zirai mücadele amacıyla bitki koruma ürünü uygulamalarında kullanılmak üzere ruhsatlandırılan insansız hava aracı sistemlerinin, bitki koruma ürünü uygulama üniteleri veya sistemlerinin, zirai mücadele kapsamında kullanımına ilişkin usul ve esasları düzenlemek
Bitki Koruma Ürünü ile Hammaddelerinin İthalat İznine Esas Kontrollerine İlişkin Uygulama Talimatı (Talimat, 7360368)	Bitki koruma ürünleri ile bitki koruma ürünü imalatında kullanılan hammaddelerin, ithalat iznine esas kontrolleri kapsamında Türkiye Gümrük Bölgelerinden numune alınması, analizleri ve fiziksel kontrollerine ilişkin usul ve esasları düzenlemek
Bitki Koruma Ürünü Olarak Kullanılan Biyolojik Mücadele Etmenlerinin İthalatı Hakkında Talimat (Talimat, 137477)	Zirai mücadele uygulamalarında bitki koruma ürünü olarak kullanılan biyolojik mücadele etmenlerinin (parazitoit ve predatörlerin) ithalat iznine esas kontrolleri ve ithalat izin işlemleri hakkında usul ve esasları düzenlemek

### 3.2 Ülkemizde pestisit yönetimi ile ilgili sorunlar

Ülkemizde birim tarım arazisi başına ve kişi başına kullanılan pestisit miktarları AB üyesi ülkelere göre bir miktar daha düşük olup dünya ortalamasını yakın değerlerdedir (Tablo 2). BKÜ'lerin üretiminden depolanması ve uygulanmasına kadar çok çeşitli mevzuat dünyadaki uygulamalarla paralel olarak mevcuttur. Halihazırda ülkemizde bir BKÜ'nün zirai mücadelede kullanılabilmesi için Ruhsatlandırma Mevzuatı'na (Resmî Gazete, 30235) uygun olarak başvurusunun yapılması ve mevzuat gerekliliklerini sağlayarak ruhsatlandırılması gerekmektedir ve bu uygulamalar düzenli olarak sürdürülmektedir.

Ancak bu durum özellikle tarımın yoğun olduğu ve ürün deseninin çeşitlilik gösterdiği bölgelerde pestisit yönetimi ile ilgili sorunları önleyememektedir. Ülkemizde pestisit yönetimi ile ilgili sorunlardan biri kullanılan pestisit miktarlarının aktif madde bazında yeterince kayıt altında tutulmuyor olmasıdır. İlçe Tarım Müdürlüklerinde yıllık olarak tutulan ve paylaşılan veriler aktif madde yerine insektisit, fungusit vb. pestisit grupları bazındadır. Bu durum, kullanılan pestisit aktif

maddelerinin tehlikelilik özelliklerine göre değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Diğer taraftan BKÜ veri tabanı uygulaması, reçetelendirme, barkod ve karekod uygulamaları mevcut olmasına rağmen, BKÜ satış bayileri ve dolayısıyla ilçe tarım müdürlükleri tarafından bu uygulamanın ülkemizin pek çok yerinde kullanılmıyor olması, pestisit kullanım miktarlarının aktif madde türleri bazında kayıt altına alınmasını ve kullanımının kontrol altına alınmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum ülke içinde gıda güvenliği açısından risk oluştururken, ihraç edilen gıda ürünlerinde de kalıntı sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır.

AB ülkeleri arasında gıda ve yemde ortaya çıkabilecek risklere karşı hızlı bilgi alışverişinin sağlanmasını amaçlayan ve erişime açık bir ağ olan Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF) kullanılmaktadır. Durmuşoğlu ve Aydın (2023), 2019-2021 yıllarındaki RASFF bildirimlerini incelemişlerdir. Buna göre gıdalarda pestisit kalıntısı ile ilgili bildirimlerin sayısı 2019'da 300'den 2021'de 1200'e çıkmıştır. Söz konusu bildirimlerin ülkeler bazında dağılımına göre 2021 yılında Türkiye 372 bildirimle 1. sıraya yükselmiştir. 2021 yılında Türkiye kaynaklı ürünlerdeki bildirimlerin %65'inin pestisit



## Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik

kalıntısından kaynaklandığı rapor edilmiştir (Durmuşoğlu ve Aydın, 2023). Aynı değerlendirmeye göre, ülkemizde 2021 yılı RASFF bildirimlerinde en fazla pestisit kalıntısı rapor edilen ilk 10 aktif madde içerisinde 6 aktif madde AB'de yasaklıdır (Durmuşoğlu ve Aydın, 2023). Değerlendirmeye göre pestisit kalıntısı bildirimlerinin nedenleri:

- Kaçak pestisit kullanımı,
- Pestisitlerin önerilere uygun kullanılmaması, ve
- AB'de yasaklı aktif madde içeren BKÜ'lerin ülkemizde kullanılmasıdır.

Avrupa'da sahte ve kaçak pestisit kullanım oranı Europol tarafından 2015 yılından beri *Silver Axe Operasyonu* ile takip edilmektedir. Çalışma sonuçlarına göre, Avrupa'nın güneyinde ve Karadeniz Bölgesi'nde yasadışı pestisit kaçakçılığında artış tespit edilmiş ve Türkiye kaynaklı yasadışı pestisit satışlarının vaka sayısı bakımından arttığı bildirilmiştir (Durmuşoğlu ve Aydın, 2023).

Ülkemizde yasaklı ve kaçak pestisitlerle mücadele kapsamında denetimler Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmektedir. 2021'de gerçekleştirilen 31.302 denetim sırasında 28,4 ton bitki koruma ürününün satışının durdurulduğu ve çeşitli idari para cezalarının uygulandığı bildirilmiştir (Durmuşoğlu ve Aydın, 2023).

### 4. Değerlendirme

Yeşil Mutabakat, sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda gıda üretimi ve yönetimine küresel ölçekte bir standart geliştirmektedir. Bu yenilikçi sistemlere geçiş, yönetimin her seviyesindeki kamu otoritelerini, gıda değer zincirindeki özel sektör aktörlerini, sivil toplum kuruluşlarını, sosyal ortakları, akademisyenleri ve vatandaşları içeren entegre bir yaklaşımı gerektirmektedir. Hedeflerdeki ilerleme ve AB gıda sisteminde çevresel ve iklim ayak izinin azalma miktarı da dahil olmak üzere sürdürülebilir gıda sistemine geçiş, tüm dünya ülkeleri tarafından da izlenebilmektedir. Bu stratejideki tüm eylemlerin rekabet edebilirlik, çevre ve sağlık üzerindeki birikimli etkisinin kapsamlı değerlendirmesi amacıyla düzenli olarak veri toplanmaktadır.

AB Komisyonu, 2030 yılına kadar kimyasal pestisitlerin toplam kullanımını ve riskini %50 ve daha tehlikeli pestisitlerin kullanımını %50 azaltmak için ek önlemler almaktadır. Alternatiflerin önünü açmak ve çiftçilerin gelirlerini korumak için komisyonun bir dizi adım atması gerekmektedir. Bunlar arasında Pestisitlerin Sürdürülebilir Kullanımı Direktifi'ni gözden geçirmek, entegre zararlı yönetimi (EZY) ile ilgili hükümler geliştirmek ve hasadı zararlılardan ve hastalıklardan korumanın güvenli alternatif yollarının kullanılmasını teşvik etmek için ek önlemler alınması yer almaktadır. Böylelikle EZY, ürün rotasyonu ve mekanik yabancı ot temizleme gibi alternatif kontrol tekniklerinin kullanımını teşvik edecek ve genel olarak kimyasal pestisitlerin ve özeldede daha tehlikeli pestisitlerin kullanımı ile bağımlılığını azaltacak ana araçlardan biri olacaktır. Yakın gelecekte OTP aracılığıyla pestisit kullanımını azaltan tarımsal uygulamalar ve stratejik planlar ile biyolojik aktif maddeler içeren pestisitlerin piyasaya arzı kolaylaşacak ve pestisitlerin çevresel riskinin değerlendirilmesi daha da güçlenecektir.

Ancak AB, diğer ülkeleri yanına almadıkça gıda güvenliği açısından etkili bir iyileşme yapılamayacağına da bilincindedir. Bu nedenle, sürdürülemez uygulamaların elenmesi için, AB gıda sistemindeki sürdürülebilirlik gerekliliklerini sıkılaştırma çabalarına ek olarak standartların küresel olarak kabul görmesine yardımcı olacak politikaların da geliştirilmesi için çalışılmaktadır. Bu anlamda YM gerekliliklerine uyan diğer ülkeler AB ile gıda ithalat-ihracatı

konusunda öne geçmiş olacaktır.

Ülkemizde ise yürürlükteki mevzuat açısından bir yetersizlik söz konusu değildir. BKÜ veri tabanı ile çiftçi ya da herhangi bir paydaş güvenli bilgiye anında ulaşabilmektedir. Ancak, pestisit kullanımının kontrolsüz olması, ayrıntılı kullanım envanterinin oluşturulamaması ve kalıntı sorunu halihazırda öne çıkan sorunlardır. Bu kapsamda ülkemizde tarladan-sofraya gıda güvenliği yaklaşımı kapsamında ilk aşamada yapılabilecekler aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir:

- Pestisit kullanımında karekod sisteminin yaygınlaştırılması ile ilgili gerekli önlemler alınmalıdır.
- Aktif madde bazında pestisit kullanımı kayıt altında tutulmalı ve bilimsel çalışmalar ile birlikte projeler kapsamında paylaşılmalıdır.
- Türkiye kaynaklı BKÜ'lerde en çok bildirim yasak pestisitlerden kaynaklandığına göre, yasaklanmış pestisitlerin kayıt dışı (kaçak) satışı ile daha etkin mücadele edilmelidir.

### 5. Teşekkür ve Bilgi

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### 6. Kaynaklar

- CAP (2023). Common Agricultural Policy of European Commission [https://agriculture.ec.europa.eu/cap-my-country/cap-strategic-plans\\_en#background](https://agriculture.ec.europa.eu/cap-my-country/cap-strategic-plans_en#background) (Son erişim: Ağustos 2023).
- De Souza, R. M., Seibert, D., Quesada, H. B., Bassetti, F., Fagundes-Klen, M. R., Bergamasco, R. (2020). Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surfacewater: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 135, 22–37.
- Denkçi, H. (2019). Edirne ili merkez ilçeye bağlı köylerden ayçiçeği ekim alanının en geniş olduğu ilk 3 köyde, kayıtlı çiftçilerin tarım ilacı kullanımı konusundaki bilgi ve tutumları (Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Durmuşoğlu, E., Aydın, A (2023). Türkiye'de meyve ve sebzelerde kalıntı problemi ve yönetimi, *Tarlasera*, Ocak 2023, 76-80.
- EC (2019). European Commission, Communication from the Commission: The European Green Deal (COM No. 640).
- EC (2020a). European Commission, Communication from the Commission. European Climate Pact (COM No. 788).
- EC (2020b). European Commission, Communication from the Commission: A New Industrial Strategy for Europe (COM No. 102).
- EC (2020c). European Commission, Communication from the Commission. Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe (COM No. 98).
- EC (2020d). European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, EU Biodiversity Strategy for 2030, Bringing Nature Back into Our Lives (COM No. 380).

- EC (2020e). European Commission, Communication from Commission. A Farm to Fork Strategy for a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System (COM No.381).
- EC (2020f). European Commission, Communication from the Commission. Powering a Climate-Neutral Economy: an EU Strategy for Energy System Integration (COM No. 299).
- EC (2020g). European Commission, Communication from the Commission. The Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe (COM No. 301).
- EC (2020h). European Commission, Communication from the Commission. A Renovation Wave for Europe- Greening Our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives (COM No.662).
- EC (2020i). European Commission, Communication from the Commission. EU Strategy to Reduce Methane Emissions (COM No 663).
- EC (2020j). European Commission, Communication from Commission. Chemicals Strategy for Sustainability- towards a Toxic-free Environment (COM No. 667).
- EC (2020k). European Commission, Communication from Commission. An EU Strategy to Harness the Potential of Offshore Renewable Energy for a Climate Neutral Future (COM No. 741).
- EC (1991). Council Directive 91/414/EEC of 15 July 1991 concerning the placing of plant protection products on the market.
- EU (2022)., EU Pesticides Database V3. Available online: <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances> (Son erişim: Ağustos, 2023).
- EU Trends (2023) [https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides/farm-fork-targets-progress/eu-trends\\_en](https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides/farm-fork-targets-progress/eu-trends_en), (Son erişim: Ağustos 2023).
- EUROSTAT (2020). Methodology for calculating harmonised risk indicators for pesticides under Directive 2009/128/EC, ISBN 978-92-76-36884-7.
- FAO (2023). <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc6958en>, (Son erişim: Ağustos 2023).
- Farm to Fork f2f (2020). Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system, EU Green Deal, European Union, 2020. [https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f\\_action-plan\\_2020\\_strategy-info\\_en.pdf](https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf) (Son erişim: Ağustos 2023).
- Food EU (2023). [https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides\\_en](https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides_en); Factsheet (Son erişim: Ağustos 2023).
- Kaymak, S., Özdem, A., Karahan, A., Özercan, B., Aksu, P., Aydar, A., Kodan, M., Yılmaz, A., Başaran, S., Asav, Ü., Erdoğan, P., Güler, Y. (2015). Ülkemizde zirai mücadele girdilerinin değerlendirilmesi, Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara.
- Marchand, P. A. (2023). EU Chemical Plant Protection Products in 2023: Current State and Perspectives. *Agrochemicals* 2023, 2, 106–117.
- Maris, G., Flouros, F (2021), The Green Deal, National Energy and Climate Plans in Europe: Member States' Compliance and Strategies, *Administrative Sciences*, 11(3), 75, doi.org/10.3390/admsci11030075
- MRL Regulation (2005). EC No 396/2005 of the European Parliament and of the Council of 23 February 2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin and amending Council Directive 91/414/EEC, OJ L 70, 16.3.2005, p. 1–16.
- Özercan, B., Taşçı, R. (2022). Türkiye'de pestisit kullanımının iller, bölgeler ve pestisit grupları açısından incelenmesi, *Ziraat Mühendisliği*, 375, 75-88 doi: 10.33724/zm.1120599.
- Porter, S. N., Humphries, M. S., Buah-kwofie, A., & Schleyer, M. H. (2018). Accumulation of organochlorine pesticides in reef organisms from marginal coral reefs in South Africa and links with coastal groundwater. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 295–305.
- PPP Regulation (2009). ECNo 1107/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing Council Directives 79/117/EEC and 91/414/EEC, OJ L 309, 24.11.2009, p. 1–50.
- Sabarwal, A., Kumar, K., Singh, R. P. (2018). Hazardous effects of chemical pesticides on human health – Cancer and other associated disorders. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 63, 103–114.
- Salvagni, J., Ternus, R. Z., & Fuentefria, A. M. (2011). Assessment of the genotoxic impact of pesticides on farming communities in the countryside of Santa Catarina State, Brazil. *Genetic and Molecular Biology*, 34, 122–126.
- Smol, M. (2022). Is the green deal a global strategy? Revision of the green deal definitions, strategies and importance in post-COVID recovery plans in various regions of the World, *Energy Policy*, 169, 113152.
- Stekiewicz, S., Menary, J., Nair, A., Rufino, M.C., Fischer, A.R.H., Cornelissen, M., Duchesne, R., Guichaoua, A., Jorasch, P., Lemarié, S., Nanda, A.K., Wilhelm, R., Davies, J.A.C. (2023). Crop improvements for future-proofing European food systems: A focus-group-driven analysis of agricultural production stakeholder priorities and viewpoints, *Food Energy Secur.* 2023;12:e362, doi.org/10.1002/fes3.362
- SUD Report (2022). Report From the Commission to the European Parliament and the Council, on the experience gained by Member States on the implementation of national targets established in their National Action Plans and on progress in the implementation of Directive 2009/128/EC on the sustainable use of pesticides. Brussels, 22.6.2022. COM (2022) 305 final 2022/0196 (COD)
- SUD (2009). Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides.

- SUD (2022). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the sustainable use of plant protection products and amending, Regulation (EU) 2021/2115. Explanatory Memorandum, Brussels, 22.6.2022 COM (2022) 305 final 2022/0196 (COD).
- Tarım Orman Bak. (2023). <https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM>, (Son erişim: Ağustos 2023).
- Tiryaki, O., Canhilal, R., Horuz, S. (2010). Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(2), 154–169.
- Tyczewska, A., Twardowski, T., Woźniak-Gientka, E. (2023). Agricultural biotechnology for sustainable food security, *Trends in Biotechnology*, 41(3), 331-341. doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.12.013
- USEPA (2023). <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/basic-information-about-pesticide-ingredients>. (Son erişim: Ağustos 2023).
- Wang, R., Yuan, Y., Yen, H., Grieneisen, M., Arnold, J., Wang, D., Wanf, C., Zhang, M. (2019). A review of pesticide fate and transport simulation at watershed level using SWAT: Current status and research concerns. *Science of the Total Environment*, 669, 512-526.



## DERLEME MAKALESİ

## Sürdürülebilir Yağmur Suyu Hasadı

Muhammed Nimet HAMİDİ<sup>1</sup>, Nizamettin HAMİDİ<sup>2</sup>, Onur IŞIK<sup>3</sup>, Hüseyin GÜVEN<sup>4</sup>, Hale ÖZGÜN<sup>5</sup>, Mustafa Evren ERŞAHİN<sup>6</sup>

Yazışma yazarı:  
Muhammed Nimet  
HAMİDİ,  
hamidim@itu.edu.tr

Referans:  
Hamidi, M.N., Hamidi, N., Işık, O.,  
Güven, H., Özgün, H. ve Erşahin,  
M.E. (2023), Sürdürülebilir Yağmur  
Suyu Hasadı, *İTÜ Çevre, İklim ve  
Sürdürülebilirlik*, 24(2), 97-110.

Makale Gönderimi: 13 EYLÜL 2023  
Online Kabul : 27 EYLÜL 2023  
Online Basım : 9 EKİM 2023

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.  
ORCID:0000-0002-6609-9977

<sup>2</sup>Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye.

ORCID: 0000-0003-0244-0264

<sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.  
ORCID:0000-0001-5595-9807

<sup>4</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.  
ORCID:0000-0001-6754-0106

<sup>5</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.  
ORCID:0000-0001-8784-8351

<sup>6</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.  
ORCID:0000-0003-1607-0524

## Özet

Hızla artan nüfus ve sanayileşme, tatlı su kaynaklarının tükenmesine ve su stresine sebep olmaktadır. Yağmur suyu hasadı (YSH), alternatif bir tatlı su kaynağı olarak değerlendirilmekte ve su stresinin azaltılması için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yağmur suyu kalitesine etki eden faktörler, YSH sisteminin bileşenleri (çatı, oluk, ilk sifon, depolama tankı ve arıtma sistemi), toplanan yağmur suyunun kullanım alanları, YSH sistemlerinin maliyeti ve YSH ile ilgili mevzuat değerlendirilmiştir. Yağmur suyu ıslak birikim ve kuru birikim süreçleriyle kirlenmektedir. Ayrıca, çatı ve depolama tankı malzemesi de toplanan yağmur suyu kalitesine etki etmektedir. Çatılardan toplanan yağmur suyunun belirli bir kısmı yağışın ilk dakikalarında ilk sifon sistemi kullanılarak ayrılarak atmosferde ve çatı üzerinde biriken kirleticilerin depolama tankına girişi engellenmektedir. Toplanan yağmur suları tuvalet rezervuarlarında, çamaşır ve araba yıkamada, rekreasyon alanlarında, içme suyunda, bahçe ve peyzaj sulamasında kullanılabilir. Yağmur suyu arıtma ihtiyacı kullanım amacına göre değişmektedir. Yağmur suyu arıtımında basit izgaralar, elekler, kum filtrasyonu, granüler aktif karbon ve membran filtrasyon; dezenfeksiyonunda ise klor ve ultraviyole (UV) en sık kullanılan yöntemlerdir. YSH sisteminin geri ödeme süresi birim su fiyatına, faiz oranına, YSH'nin ilk yatırım ve işletme maliyetine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Geri ödeme sürelerinin kısaltılması için hükümetler ve yerel yönetimler tarafından teşvik mekanizmaları uygulanmalıdır. Bu derleme makalesinin, YSH sisteminin bileşenleri, maliyeti ve dünya genelindeki mevzuat hakkında bilgi vererek uygulayıcılara ve bilim insanlarına yol gösterici olması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yağmur Suyu Hasadı, Çatı, Depolama, Yağmur Suyu Arıtma

## Sustainable Rainwater Harvesting

## Abstract

Rapid population growth and industrialisation are leading to pollution of water resources. Rainwater harvesting (RWH) is considered as an alternative freshwater source and has a significant potential for reducing water stress. In this study, factors affecting rainwater quality, components of the RWH system (roof, gutter, first flush, storage tank and treatment system), utilisation areas of harvested rainwater, cost and legislation of RWH systems were evaluated. Rainwater is polluted by wet deposition and dry deposition mechanisms. In addition, roof and storage tank material also affect the quality of harvested rainwater. A certain portion of the rainwater collected from the roofs is separated in the first minutes of the rainfall by using the first flush system and the pollutants deposited in the atmosphere and on the roof are prevented from entering the storage tank. Harvested rainwater can be used in toilet reservoirs, laundry and car washing, recreation areas, drinking water, garden and landscape irrigation. The need for rainwater treatment varies according to the intended use. Simple grids, screens, sand filtration, granular activated carbon and membrane filtration are the most commonly used methods for rainwater treatment, while chlorine and ultraviolet (UV) are the most commonly used methods for disinfection. The payback period for RWH systems depend on water prices, interest rate, investment and operational costs of RWH system. Governments and local authorities should implement incentive mechanisms to shorten the payback periods. This review article is expected to provide guidance to practitioners and scientists by providing information on the RWH components, costs and legislation.

**Keywords:** Rainwater Harvesting, Roof, Storage, Rainwater Treatment

## 1.Giriş

Hızlı nüfus artışı ve sanayileşme ile beraber su tüketimi her geçen yıl artmaktadır. Birleşmiş Milletler raporuna göre 2022 yılında yaklaşık olarak 8 milyar olan dünya nüfusunun 2050'de 9,7 milyara ve 2100'de 10,4 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (UN, 2022). Birleşmiş Milletler verilerine göre küresel nüfusun yaklaşık %10'unun yüksek seviyede su stresi etkisi altında olduğu belirtilmektedir (UN-Water, 2023). Nüfus artışı ile bölgesel ve küresel düzeyde gıda ve su kaynakları üzerinde ciddi baskı oluşmaktadır (Richards vd., 2021). Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), 2000 yılından bu yana kuraklığın %29 arttığını ve 2022'de 2,3 milyar insanın su kıtlığından etkilendiğini bildirmiştir. Ayrıca 2050 yılına kadar dünya nüfusunun dörtte üçünden fazlasının kuraklıktan etkileneceği (WMO, 2022) ve iklim değişikliğinin büyük olasılıkla sel ve kuraklık olaylarını arttıracığı tahmin edilmektedir (Guerreiro vd., 2018; Cea ve Costabile, 2022). Birleşmiş Milletler 6. Sürdürülebilir Kalkınma Amacı ile (Temiz Su ve Sanitasyon), 2030 yılına kadar tüm dünyanın güvenilir ve erişilebilir içme suyuna eşit bir şekilde ulaşması hedeflenmektedir (UN, 2022). Böylelikle, suyun dünya tarihindeki stratejik önemi gelecekte de artarak devam edecektir.

Kentlerde yaşayan insanların su ihtiyacı genellikle yeraltı su kaynaklarından ve yerüstü su kütlelerinden karşılanmaktadır (Scanlon vd., 2023). Tatlısu kaynaklarına ulaşmada zorluk çeken Suudi Arabistan, İsrail, Birleşik Arap Emirlikleri ve Singapur gibi ekonomisi gelişmiş olan ülkeler deniz suyundan tatlısu elde edebilmektedirler (Zhang vd., 2022a). Ancak deniz suyundan tatlısu elde etmek oldukça maliyetlidir ve söz konusu durumda olumsuz çevresel etki yüksektir (Zapata-Sierra vd., 2021). 1950'den 2020'ye kadar şehirlerde yaşayan insan sayısı 0,8 milyardan 4,4 milyara yükselmiş ve 2050'de 6,7 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (World Bank, 2023). Diğer bir ifadeyle dünya nüfusunun 1950 ve 2020 yılında sırasıyla %29,6'sı ve %56,2'si şehirlerde yaşarken, 2050 yılında bu oranın %68,4 olacağı tahmin edilmektedir (World Bank, 2023). Kırsal alanlardan kentlere göçlerin artışıyla beraber büyük şehirlerde yeraltı su kaynaklarının ve yerüstü tatlısu kaynaklarının yetersiz hale gelmesiyle su krizleri yaşanmaktadır (He vd., 2021). Bu durum alternatif su kaynaklarına duyulan ihtiyacı arttırmaktadır (Bhaga vd., 2020). Yağmur suyu hasadı (YSH), alternatif bir su kaynağı olarak değerlendirilmektedir ve su stresinin azaltılmasında önemli bir potansiyele sahiptir (Morales-Figueroa vd., 2023). YSH, çatılar ve yağmur bahçeleri gibi suyun toplanabileceği alanlardan suyun toplanması, uygun şartlarda depolanması ve daha sonra farklı amaçlar için kullanılması sürecidir (Nandi vd., 2022).

İnsanlığın yerleşik hayata geçmesi ile suyu daha sonra kullanmak üzere depolama ihtiyacı ortaya çıkmıştır. İlk olarak Antik Yunan, Orta Doğu ve Hindistan'da uygulanmaya başlanan yağmur suyu toplama ve depolama uygulamaları milattan önce 4500'lü yıllara kadar uzanmaktadır (Gwenzi vd., 2015). Günümüzde Yunanistan sınırlarında bulunan Minoan ve İndus Vadisi medeniyetleri gelişmiş su yönetimi ve YSH sistemleriyle tarihte önemli bir yer tutmaktadır (Yannopoulos vd., 2017). Roma, Bizans ve Osmanlı imparatorlukları su temini için yağmur suyunu toplayıp sarnıçlarda depolamışlardır. Sarnıçlar yağmur suları ile dere ve pınarlardan su kemerleri ile taşınan suyun depolandığı yapılardır (Mays vd., 2013). Günümüzde

teknolojinin ilerlemesi ve altyapının gelişmesi ile suya erişim eski dönemlere göre daha kolay hale gelmiştir. Ancak artan nüfus ve sanayileşme ile beraber su ihtiyacı da artmıştır. Bu nedenle, YSH uygulamalarının geçmişte olduğu gibi gelecekte de su ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Günümüzde YSH daha gelişmiş tekniklerle uygulanmaktadır. Modern şehirlerde sarnıç ve su kemerlerinin kullanımı oldukça azalmış ve yerini çatı, teras ve yağmur bahçelerine bırakmıştır (Yannopoulos vd., 2017).

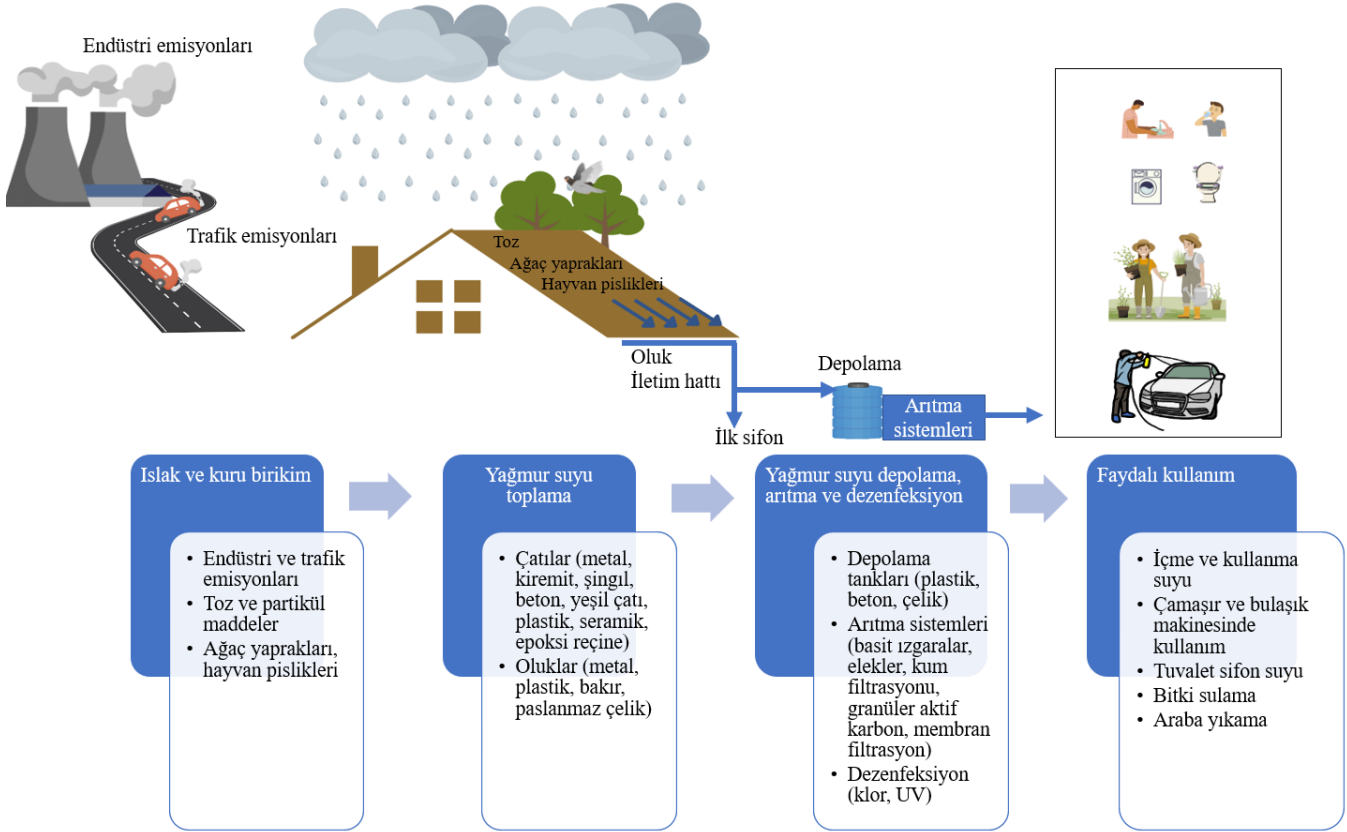
Günümüz kentlerinde çatı ve teras gibi geçirimsiz yüzeylerden toplanan yağmur suları tuvalet sifon suyunda, çamaşır yıkamada, araba yıkamada, rekreasyon alanlarında, bahçe ve peyzaj sulamada kullanılabilir (Campisano vd., 2017; Morales-Figueroa vd., 2023). Ayrıca toplanan yağmur sularının uygun arıtmalardan geçirilmesiyle içme suyu elde etmek mümkündür (Alim vd., 2020). Örneğin, yoğun su stresi altında olan Afrika ülkelerinde yağmur suyu arıtdıktan sonra içme suyu olarak tüketilmektedir (Dobrowsky vd., 2015). Özellikle içme suyu kalitesinde su gerektirmeyen kullanımlarda yağmur suyu kullanılması, şebeke suyu talebine olan baskıyı azaltmak ve su stresine mücadele etmek için önemli bir potansiyel teşkil etmektedir (Maniam vd., 2022).

Kentlerdeki yoğun yapılaşma yol ve bina gibi geçirimsiz yüzeylerin artmasına sebep olmakta ve geçirimsiz yüzeylerin artışı da suyun yeterince toprağa sızmasına engel olmaktadır (Xu vd., 2023). Ayrıca, küresel ölçekteki iklim değişikliği yağış rejimlerini de önemli ölçüde etkilemektedir (Guerreiro vd., 2018; Cea ve Costabile, 2022). Küresel sıcaklıktaki artışın atmosferin su buharı tutma kapasitesini artırmasıyla sağanak yağışların sıklığı artmaktadır (IPCC, 2021). Son 20 senede, dünya genelinde yılda ortalama 163 sel felaketi gerçekleşmiş ve yalnızca 2021'de 223 büyük ölçekli sel meydana gelmiştir (Raimondi vd., 2023). Dünya üzerinde sel felaketlerinden dolayı hayatını kaybedenler tüm doğal afetlerde hayatını kaybedenlerin %84'ünü oluşturmaktadır (Jamali vd., 2020). YSH sağanak yağış meydana geldiğinde bir miktar yağışın tutulmasıyla geciktirme etkisi yaratmaktadır. Bu sayede sel, su taşkını ve kanalizasyon taşmalarının meydana gelme ihtimalini azaltmaktadır (Freni vd., 2019). Buna ek olarak, YSH özellikle birleşik kanalizasyon sistemine sahip olan şehirlerde (yağmur suyu ve atıksu için tek hat kullanıldığı), kanalizasyona karışan yağmurun miktarını azaltarak atıksu arıtma tesislerindeki baskıyı azaltmaktadır (Devkota vd., 2015). İklim değişikliğinin diğer bir olumsuz etkisi de kuraklıktır (Mukherjee vd., 2018). Dünyada bazı bölgelerde aşırı yağışlar meydana gelirken diğer bölgelerde kuraklıklar görülmektedir (Mujumdar vd., 2020). YSH ile kurak dönemlerde su talebi karşılanabilmekte ve aşırı yağışlı dönemlerde sel riski azaltılabilmektedir (Gwoździej-Mazur vd., 2022). Kentlerde binaların çatıları kent alanının büyük bir kısmını kaplamaktadır. Bu nedenle yağış sularını tutmada çatıların önemli bir rolü vardır. Kentlerde geçirimsiz yüzeyleri azaltmak için Sünger Şehir kavramı son yıllarda önem kazanmıştır. Sünger Şehir kavramı şehirlerde yüzey akışına geçen suların yönetiminde suyun akışını, miktarını, kalitesini, biyoçeşitliliği ve estetik bir çevre oluşturmayı gözeterek yaklaşımların bütünüdür ifade etmektedir (Tunçay, 2022). YSH ve Sünger Şehir kavramları gelecekte sel riskinin ve su stresinin azaltılmasında önemli araçlar olma potansiyelini taşımaktadır.

YSH uygulamalarında hava kirliliği, atmosferik koşullar, yağış toplama alanının yapısı toplanan yağmur suyu kalitesine etki etmektedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi ıslak ve kuru birikim sebebiyle kirlenen yağmur suyu çatı

yüzeylerinden akarak oluk ve iletim hatlarıyla toplanmakta, yağışın ilk zamanlarında toplanan yağmur suyunun belirli bir kısmı ilk sifonla ayrılmakta, kalan yağmur suyu depoya ve arıtma sistemine aktarılmakta ve bu adımlardan sonra çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bu derleme makalesinde

sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi için yağmur suyu kalitesine etki eden faktörler, YSH sistemlerinin bileşenleri (çatı, oluk, ilk sifon ve depolama tankları), yağmur suyu arıtma sistemleri, hasat edilen suyun kullanım alanları, YSH sistemlerinin maliyeti ve ilgili mevzuatlar değerlendirilmiştir.



Şekil 1. YSH sisteminin bileşenleri ve faydalı kullanım alanları.

## 2. Yağmur Suyu Kalitesine Etki Eden Faktörler

### 2.1 Islak Birikim

Islak birikim atmosferdeki çeşitli kirlenmelerin yağmur, kar ve sis gibi hava olaylarıyla çatı ve yol gibi geçirimsiz yüzeylere ulaşması sürecidir (Shi vd., 2021). Saf yağmur suyunun kirlenici içermediği varsayılabilir; ancak havada ve düştüğü yüzeyde çeşitli kirlenmelere maruz kalarak kirlenmektedir (Murphy vd., 2015). Atmosferde bulunan tozlar, partikül maddeler, aerosoller ve gazlar yağmur suyunun kalitesine etki etmektedir (Huston vd., 2011). Yoğun trafik ve endüstrilerin bulunduğu bölgelerde toplanan yağmur sularında katı madde, azot oksitler, sülfat ve ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olması muhtemeldir (Norman vd., 2019). Bu nedenle hava kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde toplanan yağmur suları kullanılmadan önce genellikle arıtmaya ihtiyaç duymaktadır.

Yağmur suyu atmosferdeki karbondioksitten dolayı genellikle hafif asidik karakterdedir ve pH'sı hava kalitesinden büyük ölçüde etkilenmektedir. 25°C sıcaklıkta ve 1 atm basınç altında pH'sı 5,6 civarındadır (Ramaswamy vd., 2017). Sanayi devrimiyle beraber atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonunun artışı yağmur suyunun pH değerinin azalmasına sebep olmaktadır. pH'sı 5,6'dan düşük olan yağmurlar asit yağmuru olarak tanımlanmaktadır (Abbasi vd., 2013). Atmosferdeki SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> gazlarının artışıyla yağmur suyundaki NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> anyonlarının konsantrasyonu artmaktadır ve asit yağmurları meydana gelmektedir (Majumdar vd., 2022). Örneğin Çin'de yüksek miktarda fosil

yakıt kullanımı, yoğun trafik ve sanayileşme ile sıklıkla asit yağmurları görülmektedir. Dünya'da asit yağmurlarının sık görüldüğü diğer bölgeler Kuzey Doğu Amerika ve Orta Avrupa'dır (Qu ve Han, 2021). Çöl ikliminin hâkim olduğu bölgelerde tozların etkisiyle yağmur suyu asidik karakterden uzaklaşmaktadır. Alkali katyonlar (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> ve K<sup>+</sup>) yağmur suyunun pH'sını arttırmaktadır (Abbasi vd., 2013). Bölgenin coğrafi konumu ve topoğrafik yapısı yağmur suyu kalitesini etkilemektedir (Vieira-Filho vd., 2015). Denize yakın bölgelerde deniz tuzları sebebiyle yağmur suyu Na<sup>+</sup> ve Cl<sup>-</sup> iyonlarının konsantrasyonu artmaktadır (Payus vd., 2020).

### 2.2 Kuru Birikim

Kuru birikim, atmosferdeki kirlenmelerin zaman içinde rüzgâr ve yerçekimi etkisiyle çatı ve yol gibi geçirimsiz yüzeylerde birikmesi sürecidir. Yağışsız geçen gün sayısı arttıkça kuru birikim artmaktadır. YSH uygulanan yüzeylerde kuru birikimin artışı toplanan yağmur suyunun kalitesinin düşmesine yol açmaktadır (Hamilton vd., 2019). Kuş pislikleri, böcekler, ağaç yaprakları, trafik ve endüstri kaynaklı emisyonlar kuru birikimi arttırmaktadır (Tengan ve Akoto, 2022). Ayrıca, rüzgâr hızının artışı da daha fazla partikül maddenin taşınmasına ve çatılarda birikmesine sebep olmaktadır (Murphy vd., 2015).

Islak ve kuru birikimin yağmur suyu kalitesi üzerinde etki derecesi coğrafyaya ve mevsimlere göre farklılık gösterir. Tablo 1'de verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere farklı koşullarda toplanan yağmur sularının karakterizasyonları farklılık göstermektedir. Huston vd. (2011), yağmur suyu

içerisindeki kirleticilerin %65'inin ıslak birikim kaynaklı olduğunu, %35'inin ise kuru birikimden kaynaklandığını belirtmektedir. Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi için ıslak

ve kuru birikimden kaynaklanan kirleticilerin yağmur suyu kalitesine etkisi göz ardı edilmemelidir.

Tablo 1. Farklı koşullarda toplanan yağmur sularının karakterizasyonu

Yağmur suyu hasadı koşulları	İletkenlik (µS/cm)	Askıda katı madde (AKM) (mg/L)	pH	Bulanıklık (NTU)	Fekal koliform (EMS/100mL)	Kaynaklar
Yağmur suyu pilot ölçekli şingil çatıdan toplanmıştır.	18-57	12-54	6,7-6,9	8-24	9-87	Mendez vd. (2011)
Yağmur suyu pilot ölçekli metal çatıdan toplanmıştır.	9-56	20-87	6-6,8	7-30	1-8	Mendez vd. (2011)
Kırsal alanda 30 derece eğimli kiremit çatıdan yağmur suyu toplanmıştır.	63±31	2,6±2,6	6,75±0,46	-	5-200	Gikas ve Tshrintzis. (2012)
Kırsal alanda düz beton çatıdan toplanan yağmur suyu toplanmıştır.	68±20	1,4±1,0	6,64±0,58	-	0-3	Gikas ve Tshrintzis. (2012)
Pilot ölçekli kiremit çatıdan yağmur suyu toplanmıştır.	15,54	-	5,79	3,2	-	Meera ve Mansoor Ahammed. (2018)
Metal çatıdan ilkbahar aylarında yağmur suyu toplanmıştır.	28,2	-	6,28	6	-	Marszałek ve Dudziak. (2021)
Vietnam'da tam ölçekli metal çatıdan 5 sene boyunca yağmur suyu toplanmıştır.	86,59±14,90	-	6,78±0,38	1,52±0,80	-	Tran vd. (2021)
Vietnam'da tam ölçekli kiremit çatıdan 5 sene boyunca yağmur suyu toplanmıştır.	124,29±46,75	-	6,95±0,39	3,00±1,45	-	Tran vd. (2021)
Gana'da tam ölçekli metal çatıdan ekim ve kasım aylarında yağmur suyu toplanmıştır.	2,82±1,03	-	5,30±0,08	2,13±0,60	424±95	Tengan ve Akoto (2022)

### 3. Yağmur Suyu Hasadın Sisteminin Bileşenleri

#### 3.1 Çatı ve Oluk Yapıları

Çatılar eğimli yapıları sayesinde YSH sistemlerinde suyun belirli bir yerde toplanmasını sağlamaktadır. Çatı alanı ve eğimi, malzemesinin gözenek yapısı, pürüzlülüğü, yaşı, dayanıklılığı ve maliyeti YSH sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdir. Çatı alanı arttıkça daha fazla yağmur suyu toplanabilmektedir. Ayrıca, pürüzlülük ve gözenek yapısı arttıkça suyun akış katsayısı azalmakta ve çatı üzerinde liken oluşumu artmaktadır (Lee vd., 2012). Pürüzlülük ve gözenek artışı toplanan yağmur suyu kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Özellikle gözenekli yapılarda biriken sularda zaman içerisinde mikrobiyal büyüme ve böceklenme olabilmektedir (Norman vd., 2019). Düz çatıların üzerinde partikül madde birikimi ve liken gibi bitkilerinin oluşumu eğimli çatılarda göre daha fazla olmaktadır (Farreny vd., 2011a). Eğimli çatılarda daha az kirletici birikimi gözlenmesine rağmen bu kirleticilerin yağmur suyuna geçişi daha fazla olabilmektedir. Bu durum, eğimli çatılarda suyun daha hızlı akması çatı yüzeyinde biriken kirleticilerin yağmur suyuna nüfuz etmesi olarak açıklanmaktadır (Farreny vd., 2011a). Eğimli ve pürüzsüz çatılarda düz ve pürüzlü çatılara göre yaklaşık %50 daha fazla yağmur suyu toplanabilmektedir (Farreny vd., 2011a). Bielmyer vd. (2011), çatı alanı ile ağır metal konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmada, çatı alanının artmasıyla birlikte yağmurun çatı yüzeyinden oluğa geçiş süresinin (temas süresi) arttığını ve artan temas süresiyle ağır metallerin yağmur suyuna daha fazla nüfuz ettiğini belirtmektedir. Aynı çalışmada, yağmur suyundaki metal konsantrasyonlarının artışında, temas süresinin akış hızından daha etkili olduğu belirtilmektedir.

Tablo 2'de farklı çatı malzemelerinin yağmur suyu kalitesine olan etkisi üzerinde yapılmış çalışmalara işaret edilmektedir. YSH uygulamalarında en sık kullanılan çatı malzemeleri metal, kiremit, şingil ve betondur. Metal çatılardan toplanan yağmur suyunda patojen bakteri konsantrasyonunun diğer çatı malzemelerinden daha az olduğu belirtilmektedir (Mendez

vd., 2011; Lee vd. (2012). Metal çatılarda daha az mikrobiyal birikim olmasının nedenleri arasında; metal çatıların pürüzsüz ve gözeneksiz yapıya sahip olması, metal yüzeyin güneş ışınlarından dolayı ısınması ve metal yüzeyin ultraviyole ışınlarını yoğunlaştırması olarak açıklanmaktadır (Lee vd., 2012). Metal çatılardan toplanan yağmur suyunda Cu, Al, Fe, Zn ve Pb gibi ağır metaller bulunmaktadır (Gwenzi vd., 2015). Kiremit çatıların pürüzlü ve kıvrımlı yapısı nedeniyle bu çatı tipinden toplanan yağmur suları genellikle fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kirleticiler içermektedir (Farreny vd., 2011a). Yeşil çatılar ise estetik açıdan güzel görünmekte, binanın ısı yalıtımını arttırmakta, yağmuru içinde hapsederek sel ve taşkınlarını azaltmaktadır (Lee vd., 2013). Ancak su kalitesi açısından değerlendirildiğinde, yeşil çatılardan toplanan yağmur sularının diğer çatılara göre daha fazla organik madde, katı madde ve mikrobiyal kirlilik içerdiği belirtilmektedir (Zhang vd., 2014).

Çatı malzemeleri zaman içerisinde aşınmakta ve çatlaklar oluşmakta ve bu durum çatılarda kirletici birikiminin zamanla artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, eski çatılardan toplanan yağmur suyu kalitesi yeni çatılara göre daha düşük olmaktadır (Norman vd., 2019). Eskiyen çatıların bakım ve onarımlarının düzenli yapılması yağmur suyu kalitesi açısından önemlidir (Gwenzi vd., 2015). Çatılardan toplanan yağmur suları oluklara doğru akmaktadır. Oluk, çatıdan toplanan yağmur suyunun tahliyesinde kullanılan ve yağmur suyunu borulara ve depolama tankına aktaran yapıdır. Yağmur suyu toplama olukları zamanla hayvan pislikleri ve ağaç kalıntılarının dolmasıyla tıkanabilir (Sharma vd., 2016). Bu sebeple oluklar yıl içinde belirli aralıklarda temizlenmelidir. Özellikle uzun süre yağışsız dönemlerden sonra olukların temizliği yağmur suyu kalitesi açısından çok önemlidir (Raimondo vd., 2023). Oluklar genellikle galvaniz metal, plastik, bakır veya paslanmaz çelikten üretilmektedir. Metal malzemelerden yapılmış oluklar ve montaj işlemleri için kullanılan çiviler yağmur suyuyla temas ettiklerinde yağmur suyundaki ağır metal konsantrasyonlarını arttırmaktadır (De Busk ve Hunt, 2014). Huston vd. (2012), toplanan yağmur suyundaki kurşunun %79'unun çatı ve oluk malzemesi kaynaklı olduğunu, %21'inin ise atmosferik kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Çatı malzemesi ve tasarımı toplanan yağmur



suyunun kalitesine büyük ölçüde etki etmektedir (Gwenzi vd., 2015). Sürdürülebilir YSH için en uygun malzeme seçimi her bölgede farklılık göstermektedir.

Tablo 2. Literatürde YSH çalışmalarında kullanılan çatı malzemeleri.

Çatı malzemesi	Kaynaklar
Metal	Mendez vd. (2011); Farreny vd. (2011a); Lee vd. (2011); Keithley vd. (2018); Lee vd. (2017); Leong vd. (2017); Marszałek ve Dudziak (2021); Zdeb vd. (2021)
Kiremit	Farreny vd. (2011a); Lee vd. (2012); Gikas ve Tsihrintzis (2012); Leong vd. (2017); Meera ve Mansoor Ahammed (2018)
Şingil	Lee vd. (2011); Mendez vd. (2011); Zhang vd. (2014); Zdeb vd. (2021); Marszałek ve Dudziak (2021)
Beton	Mendez vd. (2011); Lee vd. (2011); Gikas ve Tsihrintzis (2012); Zhang vd. (2014); Keithley vd. (2018); Zdeb vd. (2021)
Yeşil çatı	Mendez vd. (2011); Zhang vd. (2014); Keithley vd. (2018)
Plastik	Farreny vd. (2011a)
Seramik	Zhang vd. (2014); Zdeb vd. (2021)
Epoksi reçine	Zdeb vd. (2021)

### 3.2 İlk Sifon Uygulaması

İlk sifon uygulaması yağışın ilk dakikalarında kirli olan yağmurun belirli bir kısmını ayırmak ve depolama tanklarına girmesini engellemek için kullanılan bir mekanizmadır (Campisano vd., 2017). Atmosferde biriken kirletici gazların, çatı gibi toplama alanlarında biriken toz, polen, kuş pislikleri, böcek kalıntıları ve yaprak artıklarının ilk sifon sistemiyle ayrılmasıyla yağmur suyunun arıtma maliyeti azalmakta ve yeniden kullanım potansiyeli artmaktadır (Campisano vd., 2017). Literatürde farklı ilk sifon uygulamaları bulunmaktadır (Tablo 3). İlk sifon miktarı çatının boyutuna ve ayrılacak suyun miktarına göre değişkenlik gösterebilir. Yeterince yağmur suyu toplamak ve depoya giren yağmur suyunun kalitesini iyileştirmek için uygun ilk sifon hacminin hesaplanması önemlidir. Yağışsız geçen gün sayısının artışıyla kirlilik birikimi artacağı için bu dönemlerde ilk sifon hacmi daha fazla tutulabilir (Kim vd., 2021).

Tablo 3. Uygulanan ilk sifon miktarları.

İlk sifon miktarı	Kaynaklar
Çatılar kırılyse 2 mm, değilse 1mm yağış	Kus vd. (2010)
80-90 m <sup>2</sup> ve 100 m <sup>2</sup> çatı alanı için sırasıyla 0.5 mm ve 2 mm yağış	Abbasi ve Abbasi. (2011)
Her 93 m <sup>2</sup> toplama alanı için minimum 38 L yağış	Mendez vd. (2011)
İlk 0,11-0,13 mm yağış	Gikas ve Tsihrintzis. (2012)
Toplanan ilk 5 L yağış	Lee vd. (2012)
100 m <sup>2</sup> çatı alanı başına yağan yağışın ilk 20 L'si	Rahman vd. (2020)

### 3.3 Depolama Tankları

Depolama tankından önce ilk sifonun haricinde genellikle yağmur suyundaki kaba malzemeleri ayırmak için ızgara veya elekler kullanılmaktadır. ızgara ve elekler ek olarak kum filtrasyonu, membran filtrasyonu ve aktif karbon gibi daha ileri seviyede arıtma yöntemleri de uygulanabilir. Membran filtrasyonu akısı düşük olduğundan toplanan yağmur suyunu depolama tankına almadan direkt filtrasyondan geçirmek zor olmaktadır. Bu yüzden yağmur suyunu önce depolama tankında toplayıp daha sonra filtrasyondan geçirmek gereklidir (Latif vd., 2022). Yağmur suyu depolama tankları su geçirmez olmalı, toksik olmayan malzemelerden yapılmalı,

böcek girişinin engellenmesi için ağız kapalı olmalıdır (Üstün vd., 2020). Yağmur suyu depolama tankları genellikle plastik, çelik ve beton malzemelerden üretilmektedir (Zhang vd., 2021; Maniam vd., 2022). Plastik tanklar, hafiflik, uzun ömürlülük, taşınabilirlik, uygun maliyet, kolay kurulum ve kolay temizlenebilirlik özellikleri sayesinde yağmur suyu depolama uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Maniam vd., 2022). Beton tanklarda depolanan yağmur suyu betonun yapısından dolayı genellikle asidik karakterini kaybetmektedir ve pH'ı yükselmektedir (Thomas vd., 2018). Çelik tanklarda depolanan yağmur sularında ağır metal konsantrasyonları artmaktadır (Van der Sterren vd., 2013). Hafif asidik karakterdeki yağmur suyu metallerin çözünerek suya geçmesine sebep olmaktadır (Magyar vd., 2014).

Hava sıcaklığı arttıkça depolama tanklarında mikrobiyal çoğalma artmaktadır. Zhang vd. (2020), farklı depolama süreleri ve farklı sıcaklıkların tanklardaki baskın mikroorganizma türlerini değiştirdiğini bildirmişlerdir. Bu yüzden hava sıcaklığının arttığı dönemlerde dezenfektan dozunun artırılması önerilmektedir. Yağmur suyu depolama tanklarında zaman içerisinde biyofilm oluşumu meydana gelmektedir (Li vd., 2022). Biyofilm oluşumu plastik tanklarda, çelik ve metal tanklara kıyasla daha sık meydana gelmektedir. Biyofilm oluşumuyla tank içerisinde mikroorganizma çoğalması artmaktadır (Ezenobi vd., 2018). Yağmur suyu tanklarında ve dağıtım hatlarında biyofilm oluşumu fırsatçı patojen bakterilerin oluşmasına da sebep olmaktadır (Hamilton vd., 2017). Fırsatçı patojenler sağlıklı insanlarda hastalıklara sebep olmayan ancak bağışıklık sistemi zayıf insanlarda, çocuklarda ve yaşlılarda hastalıklara sebep olabilen mikroorganizmalardır (Ahmed vd., 2014). Bu bakımdan yağmur suyu tanklarında biyofilm oluşumunun engellenmesi için tankların bakım ve temizliğinin mutlaka yapılması gerekmektedir (Hamilton vd., 2016). Yağmur suyu depolama tankları güneş ışığına maruz kaldığında tank içerisinde alg büyümesi meydana gelmektedir. Bu sebeple depolama tankları opak malzemelerden yapılmalıdır (Gupta ve Kahre, 2017; Raimando vd., 2023).

Depolama tanklarının optimum boyutları her bölgede farklılık göstermektedir. Yoğun yerleşime sahip kentlerde yağmur suyu deposu için ayrılacak alanlar genellikle sınırlı olduğundan deponun optimum boyutta tasarlanması önemlidir (Imteaz vd., 2022). Yerel yağış verileri, çatı alanı, akış katsayısı, kullanıcı sayısı ve tüketime bakılarak uygun depolama tankı hacmi hesaplanmalıdır (Campisano ve Modica, 2015; Abdulla, 2020). Yıl boyunca düzenli yağış alan bölgelerde tüketici kullanımlarına bakılarak tank hacmi hesaplanabilir. Bu bölgelerde büyük tank hacimlerine ihtiyaç yoktur (Alim vd., 2020). Düzenli yağış beklendiği için yıl boyunca tankın dolup boşalma sıklığı daha fazla olmaktadır. Ancak bazı bölgelerde yılın belirli dönemlerinde fazla yağış olurken belirli dönemleri kurak geçebilir. Yağışlı geçen dönemlerde mümkün olduğunca fazla suyu kurak dönemlerde kullanmak üzere depolamak gerekir. Bu bölgelerde büyük depolama tankları kullanılmalıdır. Optimum yağmur suyu deposu hacmini belirlemek için en az 20 yıllık yağış verileri dikkate alınmalıdır (Khastagir ve Jayasuriya, 2010). Depolama tankı seçiminde optimum tank hacminin belirlenmesinin yanında tank şekli ve rengi gibi estetik kriterler de düşünülmelidir (Haq vd., 2017). Yeraltında görünmeyecek şekilde yerleştirilen yağmur suyu tankları için estetik çok önemli değilken yüzeyde yerleştirilen tanklarda renk ve şekil göze hitap etmesi açısından önemlidir (Lee vd., 2016). Ancak yağmur suyu depolama tankları seçilirken yağmur suyunu güvenli ve temiz bir şekilde depolamak birinci öncelik olmalıdır.

### 4. Yağmur Suyu Arıtma ve Dezenfeksiyonu

#### 4.1 Arıtma Yöntemleri

Yağmur suyu arıtımında basit ızgaralar, elekler, kum filtrasyonu, granüler aktif karbon ve membran filtrasyonu; dezenfeksiyonunda ise klor ve ultraviyole (UV) dezenfeksiyonu uygulamaları üzerine yapılmış çalışmaların bir kısmı Tablo 4'te verilmektedir. Kum filtresinde kum ve destekleyici çakıl yatakları bulunur. Nispeten düşük maliyetli olup tasarımı ve uygulaması kolaydır. Ancak endüstriyel veya büyük ölçekli uygulamalarda geniş alan gereksinimi nedeniyle ilk yatırım maliyeti yüksektir. Küçük kasaba ve köylerde yüzey suyu arıtımı için yavaş kum filtresi etkili arıtma sağlamaktadır (Latif vd., 2022). Yavaş kum filtresi bulanıklığı yaklaşık %95, mikroorganizmaları %99 oranında giderebilmektedir (Maurya vd., 2020). Brezilya'da bir havalimanında toplanan yağmur suları yavaş kum filtresi ve UV dezenfeksiyon ile arıtılmasıyla şebekeden alınan suya oranla %60 daha ucuz su elde edilmiştir. Aynı zamanda havalimanındaki içme suyu dışındaki su ihtiyacının %70'inin toplanan yağmur suyundan karşılanmaktadır (Neto vd., 2012).

Granüler aktif karbon, adsorpsiyon yoluyla sudaki organik madde, tat ve koku gideriminde uzun yıllardır kullanılmaktadır (Latif vd., 2022). Granüler aktif karbonun yağmur suyunda bulanıklığı %59, *E.koliform*'u %67 ve toplam koliformu %59 oranında giderdiği belirtilmektedir (Naddeo vd., 2013). Yağmur suyu arıtımında membran filtrasyonundan önce granüler aktif karbon kullanarak membran tıkanması azaltılabilir ve kirlenici giderim verimleri artırılabilir (Yu vd., 2021). Granüler aktif karbon, yağmur suyunda sülfat ve doğal organik madde gideriminde ve klorlamadan sonra oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) gideriminde oldukça etkilidir (Köse-Mutlu, 2021; Zhang vd., 2022b).

Membran filtrasyonu su ve atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yağmur suyu arıtımında membran filtrasyonu uygulamaları yaygınlaşmaktadır (Koyuncu vd., 2015; Liu vd., 2021). Membranlar gözenek (por) çaplarına ve basınçlarına göre mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) olarak 4 gruba ayrılmaktadır. Bu membranların por çapları MF'ten TO'ya doğru sırasıyla 0,1-5 µm, 5-100 nm, 1-2 nm, 0,1-0,7 nm ve basınçları 1-3 atm, 2-7 atm, 5-20 atm, 30-50 atm aralıklarındadır (Liu vd., 2021; Cevallos-Mendoza vd., 2022). MF yağmur suyunda askıda katı madde ve bulanıklığı yüksek verimde giderebilirken, patojen ve virüsleri yüksek verimde giderememektedir (Dobrowsky vd., 2015; Fitobór ve Quant, 2021). Katı madde, patojen, virüs ve organik madde giderimi kapasitesi yüksek olan UF membranlar yağmur suyu arıtımında daha sık tercih edilmektedir (Fargo vd., 2019; Marszałek ve Dudziak, 2021; Raimondi vd., 2023). Ancak UF membranlar ağır metaller ve iyonları yüksek verimde giderememektedir (Liu vd., 2021). TO, enerji ihtiyacının yüksek olması sebebiyle yağmur suyu arıtımında çok fazla tercih edilmez (Liu vd., 2021). Yağmur suyunun sadece belirli bir hacmi TO ile artırılıp depolama tankına verilebilir. Bir nevi paçallama olarak nitelendirilebilen bu yöntemle kirlenici konsantrasyonları azaltılabilir (Yu vd., 2021). Enerji ihtiyacı yüksek olmasına rağmen yağmur suyundan içme suyu eldesi istenen durumlarda yağmur suyunun ters osmozla arıtılması bir seçenek olarak düşünülebilir (Jiang vd., 2018). Yağmur suyu arıtımında membran filtrasyon tekniklerinin kullanılmasının önündeki en büyük engel membran tıkanması ve enerji maliyetidir (Maniam vd., 2022). Düşük basınçla işletilen gravite sürücülü membranlar (GSM) bu engellerin aşılması için üzerinde çalışılan bir teknolojidir. GSM 100 milibar ve daha düşük basınçlarda işletilen düz levha membranlardır (Peter-Varbanets vd., 2010; Du vd., 2019). GSM teknolojisinde MF ve UF membranlar kullanılmaktadır (Raimondi vd., 2023).

Düşük işletme maliyeti, karmaşık olmayan yapısı, geri yıkama gerektirmemesi, sürekli sabit akıyla çalışabilmesi, uzun ömürlü olması ve tıkanmaya dirençli olması gibi avantajları GSM teknolojisinin yağmur suyu arıtımında ön plana çıkmasını sağlamaktadır (Peter-Varbanets vd., 2010; Kus vd., 2013; Ding vd., 2017; Ding vd., 2018; Wu vd., 2019; Raimondi vd., 2023).

#### 4.2 Dezenfeksiyon

Yağmur suyu dezenfeksiyonu için en sık kullanılan yöntemler klorlama ve UV dezenfeksiyonudur (Campisano vd., 2017). Klor, maliyetinin az olması ve kolay uygulanabilirliği sebebiyle yağmur suyu dezenfeksiyonunda ön plana çıkmaktadır (Senevirathna vd., 2019; Richards vd., 2021). Klorla dezenfeksiyonun diğer dezenfeksiyon yöntemlerine kıyasla en önemli avantajı bakiye klor bırakmaya imkân tanınmasıdır. Depolama tanklarında ve iletim hatlarında mikroorganizmalar tekrar çoğalabilir ancak suda bakiye klor bulunması bu durumu engellemektedir (Latif vd., 2022). Klor tablet formunda (Neto vd., 2012) veya sıvı formda (Richards vd., 2021) suya ilave edilebilir. Suda bulunan organik ve hümkik maddeler klor ile reaksiyona girerek DYÜ oluşturmaktadır (Liu vd., 2020). Çatılardan toplanan yağmur suyunda bitki kalıntıları ve hayvan pisliklerinden dolayı organik madde bulunabilir (Mendez vd., 2011; Zhang vd., 2014). Toplanan yağmur suyunda klorla dezenfeksiyondan sonra organik maddeler giderilmelidir.

UV dezenfeksiyonu kullanım kolaylığı, DYÜ oluşturmaması, kimyasal depolamaya ihtiyaç duymaması gibi avantajlara sahiptir (Thomos vd., 2014; Senevirathna vd., 2019). Suda bulunan katı maddeler ve suyun bulanıklığı UV dezenfeksiyonunun verimini düşürmektedir. Bu nedenle UV dezenfeksiyonu öncesinde katı maddelerin ve bulanıklığın giderilmesi gerekmektedir (Alim vd., 2021). UV dezenfeksiyonu, yüksek enerji ihtiyacı sebebiyle maliyetli bir sistemdir. Bu nedenle düşük gelirli ülkelerde kullanımı sınırlıdır (Latif vd., 2022). UV dezenfeksiyonu, suda klor gibi bakiye bir dezenfektan bırakmadığı için depolama tanklarında ve iletim hatlarında mikrobiyal çoğalma gerçekleşebilir (Senevirathna vd., 2019). UF membranları ve UV dezenfeksiyonun beraber kullanımı yağmur suyu arıtımında fizikokimyasal ve mikrobiyolojik parametrelerin giderimi açısından oldukça etkili bir prosestir (Marszałek ve Dudziak, 2021). UV dezenfeksiyonda H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve persülfat gibi oksitleyici kimyasallar kullanılarak dezenfeksiyon verimi artırılmaktadır (Fargo vd., 2019). Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmada, çatıdan yağmur suyu toplanan ve içme suyu olarak kullanılan evlerin %70'inin UV dezenfeksiyon yöntemini kullandığı bildirilmiştir (Thomas vd., 2014).

### 5. Yağmur Suyunun Kullanım Alanları

Tarımsal sulama dünyada su tüketiminin yaklaşık %70'ini oluşturur ve artan nüfusla beraber tarımdaki su tüketimi artmaktadır (UN, 2022). Su tüketiminde tarımsal sulamayı endüstriyel ve evsel kullanım takip etmektedir (UN, 2022). Bir konutta tüketilen suyun yaklaşık olarak %80'ini içme suyu dışındaki kullanımlar oluşturmaktadır (Khastagir ve Jayasuriya, 2010). Gelişmişlik düzeyi ve sosyoekonomik yapıya göre evsel su tüketim miktarları değişmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nin tüm eyaletlerini kapsayan bir çalışmada, evsel su tüketiminin %24'ü tuvaletlerde, %20'si duşta, %19'u musluklarda, %17'si çamaşır makinelerinde, %3'ü banyoda, %1'i bulaşık makinelerinde kullanılmaktadır. Geriye kalan %4'ü diğer kullanımlar için harcanırken, %12'lik bir bölüm su kaçaklarını (tuvalet ve musluklarda tesisatın eskimesinden kaynaklı sızıntılar) oluşturmaktadır (DeOreo vd., 2016).

Tablo 4. Yağmur suyu arıtımında yaygın olarak kullanılan arıtma ve dezenfeksiyon yöntemleri.

	Yağmur suyu arıtma ve dezenfeksiyon yöntemleri	Avantajları	Dezavantajları	Kaynaklar
Arıtma yöntemleri	Kum filtrasyonu	-Maliyetinin az olması -Tasarımı ve uygulanması kolay	-Büyük ölçekli uygulamalarda geniş alan gereksinimi	Neto vd. (2012)
	Granüler aktif karbon	-DYÜ, tat, koku, organik madde ve ağır metal gideriminde etkili	-Adsorbsiyon kapasitesinin zamanla azalması	Senevirathna vd. (2019)
	Membran filtrasyon	-Yüksek arıtma verimi	-Yüksek membran fiyatları -Yüksek enerji ihtiyacı -Tıkanma problemi	Liu vd. (2021)
Dezenfeksiyon yöntemleri	Klor	-Maliyetinin az olması -Kolay uygulanabilirliği -Bakiye klor oluşumu	-DYÜ oluşumu -Tat ve koku problemi	Latif vd. (2022)
	UV	-Kolay uygulanabilirliği -DYÜ oluşturmaması -Kimyasal ihtiyacı bulunmaması -Bulanıklığı düşük sulara yüksek dezenfeksiyon verimi	-Bulanık sulara verimin düşmesi -Yüksek enerji ihtiyacı	Latif vd. (2022)
	Solar (güneş ile) dezenfeksiyon	-Maliyetinin az olması	-Bulutlu günlerde ve geceleri güneş ışığının kaybolması sebebiyle dezenfeksiyon veriminin düşmesi	Waso vd. (2020)
	Kaynatma	-Kolay uygulanabilirliği	-Yüksek enerji ihtiyacı	Latif vd. (2022)

Kurak ve yarı kurak bölgelerde yağın yağmurlar tarım alanlarının sulanması için yetersiz kalmaktadır. Şebeke suyunun tarımsal sulama için kullanılması, şebeke sistemine ek bir yük getirmektedir. Kırsal alanlarda tarımsal sulama için tatlısu kaynakları ve kuyular kullanılmaktadır. Yağışlı dönemlerde yağmur suyu toplanıp uygun şekilde depolandıktan sonra yağışsız geçen dönemlerde sulama amaçlı kullanılabilir (Velasco-Munoz vd., 2019).

Çamaşır ve bulaşık makinesinde sert su kullanılması bu makinelerin ömürlerini kısaltmakta ve deterjan tüketimini arttırmaktadır (Struk-Sokolowska vd., 2020). Ayrıca çamaşır ve bulaşık makinesinde sert suyun kullanılması sonucunda bu makinelerin aksamalarında CaCO<sub>3</sub> çökmesi meydana gelmekte ve bu durum makinelere zarar vermektedir (Morales-Pinzón vd., 2014). Yağmur suyu içerisinde kalsiyum ve magnezyum iyonlarının konsantrasyonu düşüktür. Yağmur suyu sertliği genellikle 60 mg CaCO<sub>3</sub>/L ve daha düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Vialle vd., 2011; Neto vd., 2012). Yağmur suyu yumuşak olduğu için çamaşır yıkamak için oldukça uygundur (Campisano ve Modica, 2015). Çamaşır yıkamada yağmur suyu kullanmak şebeke suyundan önemli ölçüde tasarruf yaptırma potansiyeline sahiptir (Morales-Pinzón vd., 2014). Toplanan yağmur sularının tuvalet sifonlarında kullanımı da yaygın bir uygulamadır. Sifon için gerekli su hacmi bina veya evlerde yaşayan kişi sayısına bakılarak tahmin edilebilir. Bu gibi kullanımlarda basit bir filtrasyon ve klorlama yeterli olmaktadır (Campisano ve Modica, 2015). Özellikle benzin istasyonları geniş çatı alanına sahip oldukları için toplanan yağmur suları araç yıkamada kullanılmaktadır (da Costa Pacheco vd., 2017). Avrupa'da araba garajı bulunan müstakil evlerde araba yıkamanın su tüketimindeki payı yaklaşık olarak %10'dur (Li vd., 2010). Yağmur suları parklarda rekreasyon amaçlı kullanılmaktadır. Parklarda süs havuzları ve göletler toplanan yağmur sularıyla doldurularak önemli ölçüde su tasarrufu yapılmaktadır (Schuetze ve Chelleri, 2013).

Tablo 5'te geri kazanılan suyun içme suyu dışındaki kullanımlar için standartları yer almaktadır. Yağmur suyunun içme suyu amacıyla kullanılabilmesi için mutlaka uygun arıtma yöntemleri kullanılarak hastalık yapıcı mikroorganizmaların giderilmesi gerekmektedir (Latif vd., 2022). Dünya Sağlık

Örgütü'ne göre içme suyunda toplam koliform ve fekal koliform bulunmamalıdır (WHO, 2017). Yağmur suyunun hafif asidik karakterde olması, ağır metal içermesi ve insan vücudu için gerekli mineralleri yeterince bulundurmaması gibi nedenlerden dolayı içme suyu amacıyla kullanımı sakıncalı olabilir (Alim vd., 2021).

## 6. YSH'nin maliyeti

YSH sistemlerinin ekonomik olarak avantajlı olup olmadığını değerlendirmek için YSH sisteminin ilk yatırım maliyeti ve işletme-maliyeti hesaplanmaktadır. YSH'de ilk yatırım maliyetinde başlıca kalemler arasında yağmur suyu toplama alanı, su iletim hatları (borulama ve pompa), depolama tankı ve arıtma sistemi bulunmaktadır (Campisano vd., 2017). İşletme maliyeti kalemleri arasında ise yağmur suyu iletim ve arıtmada kullanılan enerji maliyetleri ve bakım maliyetleri yer almaktadır (Farreny vd., 2011b). YSH sistemlerinde maliyet hesabında YSH'nin ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti, birim su fiyatı, YSH kurulacak bölgedeki faiz oranı ve su talebi bilgileri kullanılmaktadır. Bu bilgiler kullanılarak geri ödeme süresi hesaplanmaktadır. Yüksek su birim fiyatı ve düşük faiz oranı bulunan ülkelerde YSH sistemlerinin geri ödeme süresi daha az olmaktadır (Christian-Amos vd., 2016).

YSH sistemlerinin bir binaya veya müstakil bir eve sonradan eklenmesi karmaşık ve maliyetlidir. Bu gibi durumlarda bina tesisatının yeniden planlanması gerekmektedir. Ayrıca arıtma sistemi ve depolama tankı için yeterli alan bulunması gerekmektedir. Bu yüzden YSH sistemlerinin yeni inşa edilen veya tadilat yapılacak binalarda uygulanması mevcut binalara entegre edilmesinden daha az maliyetli olmaktadır (Abdulla, 2020). YSH sistemlerinde depolama tankları ilk yatırım maliyetinin en önemli kısmını oluşturmaktadır (Santos ve Taveira-Pinto; Abdulla vd., 2021; Tran vd., 2021). Depolama tanklarının maliyeti tank malzemesine ve boyutuna bağlıdır. YSH sistemlerinde depolama tankından sonra en önemli maliyet kalemini arıtma maliyeti oluşturmaktadır. Yağmur suyu arıtma sisteminin maliyeti genellikle, arıtma işleminin ne kadar gelişmiş olduğuyula doğru orantılıdır (Tran vd., 2021).

Tablo 5. Geri kazanılan suyun içme suyu dışındaki kullanımlar için standartları (do Couto vd., 2015'ten uyarlanmıştır).

Geri kullanım türü	pH	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Fekal koliform (EMS/100mL)	Bakiye klor (mg/L)	Kaynaklar
Kentsel kullanım: Peyzaj sulama suyu, tuvalet sifon suyu, yangın suyu	6-9	≤10	-	≤2	0	1	EPA (2012)
İnşaat ve toz kontrolünde kullanım	6-9	≤30	≤30	-	≤200	1	EPA (2012)
Tarımsal sulama: ticari olarak işlenmeyen gıda bitkileri (yüzey ve sprej sulama)	6-9	≤10	-	≤2	0	1	EPA (2012)
Halkın erişiminin kısıtlı olduğu alanlarda ve çim çiftliklerinde sulama	-	≤30	≤30	-	<200	1	EPA (2012)
Araba yıkama	5-9,5	-	-	<10	1000	<2	UK Çevre Ajansı (2011)
Tuvalet sifon suyu	5-9,5	-	-	<10	1000	<0,5	UK Çevre Ajansı (2011)
Bahçe sulama	5-9,5	-	-	-	10	<2	UK Çevre Ajansı (2011)
Çamaşır makinesi	5-9,5	-	-	<10	<1	2	UK Çevre Ajansı (2011)
Tuvalet sifon suyu	-	≤20	≤20	-	<1	2	Yeni Zelanda Sağlık Bakanlığı (2002)
Tuvalet sifon suyu	-	≤20	≤20	<5	<200	>0,5	Kanada Sağlık Bakanlığı (2010)
Araba yıkama	6-9	-	-	<5	<200	0,5-1,5	Brezilya NBR13969 Standartı (2019)

YSH sistemlerinin finansal uygulanabilirliğini ve geri ödeme süresini değerlendiren birçok çalışma bulunmaktadır. Bölgeden bölgeye su tarifesi, suya olan talep, su kaynaklarının mevcut durumu ve yağış periyotları farklılık göstermektedir. Bu nedenle YSH sistemlerinin ekonomik olarak avantajlı olup olmadığı ve geri ödeme süreleri her bölgede farklı olmaktadır (de Sá Silva vd., 2022). Geri ödeme süresi, kurulum maliyeti ve işletme maliyeti ile sistemden elde edilen tasarruflar arasındaki dengeyi gösterir. Geri ödeme süresi ilk yatırım maliyeti ve su fiyatlandırmasına bağlıdır (Campisano vd., 2017). Örneğin, Güney Afrika'da, yarı kurak bir ülke olmasına rağmen, su tarifeleri düşük olduğu için YSH ekonomik olarak uygun değildir (Wanjiru ve Xia, 2018). Domènech ve Saurí (2011), Barselona'da (İspanya) müstakil evler ve çok katlı binalar için YSH sisteminin verimliliğini inceledikleri çalışmada müstakil evlerde ve çok katlı binalarda sırasıyla geri ödeme süresinin tank boyutuna bağlı olarak 33-43 ve 20-29 yıl arasında olduğunu belirtmişlerdir. Meksika'da bir şirkette çatıdan toplanan yağmur suları polietilen tankta depolandıktan sonra kum filtresi ile arıtılarak şirketin tüm ihtiyacı karşılanmıştır. Bu uygulamada geri ödeme süresi 5 yıl olarak hesaplanmıştır (Lopez-Zavala vd., 2018). Brezilya'nın 5 şehrinde YSH ekonomik fizibilite yapılmıştır. Bu çalışmada geri ödeme süresinin 1,5-10 yıl arasında değiştiği ve artan su talebiyle geri ödeme süresinin azaldığı belirtilmektedir (Ghisi vd., 2018).

Yağışın yetersiz olduğu durumlarda ve evsel su ihtiyacının tamamı yağmur suyundan karşılamak istendiğinde yağmur suyu yetersiz kalabilmektedir. Bu sebeple YSH sistemleri şebeke suyuna ek olarak kullanılan bir su kaynağı görülebilir. İçme suyu kalitesi gerektirmeyen kullanımlar için toplanan yağmur suyunun ileri arıtma sistemleriyle arıtılmasına çoğu zaman ihtiyaç yoktur. Tuvalet sifon suyunda, bahçe sulamada, araba yıkamada ve çamaşır yıkamada yağmur suyunun kullanılmasıyla su faturaları azaltılabilir (Rahman vd., 2014). Karim vd. (2015), Dhaka (Bangladeş) şehrinde konut binalarında 140 m<sup>2</sup>lik bir çatı boyutunda %10 ila %24 arasında içme suyu tasarrufu sağlanabileceği belirtmişlerdir. Rahman vd. (2014), Dhaka şehri için YSH sisteminin sürdürülebilirliğini değerlendirdiği çalışmada 170 m<sup>2</sup> çatı

alanına sahip bir binadan yılda %11 su tasarrufu yapılabileceğini belirtmişlerdir. Bashar vd. (2018), Bangladeş'teki büyük şehirlerde kentsel YSH'nin konut binalarında yıllık %30 ile %40 arasında içme suyundan tasarruf potansiyeli sağladığını belirlemektedir. Aynı çalışmada geri ödeme süresinin 2-6 yıl arasında olduğu hesaplanmıştır. Brezilya'daki Imbituba kentinde YSH sisteminin ekonomik fizibilitesi üzerine yapılan bir çalışmada, çatı alanı, kullanıcı sayısı ve su taleplerine göre 108 adet senaryo oluşturulmuş ve senaryoların %57,4'ünde YSH'nin ekonomik olarak fizibil olduğu görülmüştür (Freitas ve Ghisi, 2020). Aynı çalışmada geri ödeme süreleri 9,3 ile 19,7 yıl arasında değişmektedir.

Gelişmiş ülkelerde yapılan araştırmaların çoğu, YSH sisteminden elde edilen suyun, şebeke su fiyatından daha pahalı olduğunu belirtmektedir (Christian-Amos vd., 2016). Uzun geri ödeme süreleri YSH sistemlerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Kullanıcılar genellikle kısa vadede karlı görmekdikleri için YSH sistemlerine sıcak bakmamaktadır (Campisano vd., 2017). Bu bakımdan yerel yönetimler ve hükümetler teşvikler ve indirimlerle YSH kullanıcılarına destek olmalıdır (Şahin ve Manioğlu, 2019).

YSH sistemlerinde suyu depolama tanklarından son kullanıcıya iletmek için pompaj gereklidir ve bu işlemde enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Ancak merkezi su temini sistemlerinde de suyu arıtma tesislerinden kente iletmek için oldukça büyük pompalar kullanılır ve bu pompaların enerji tüketimi oldukça fazladır. Hükümet ve yerel yönetimlerin desteğiyle şehirlerin uygun yerlerinde uygun tasarlanmış YSH sistemlerinin kurulmasıyla ana şebekeden sağlanan su miktarı azaltılabilir. Bu konuda tüm kenti kapsayan ekonomik fizibilite çalışmaları yapılarak uzun vadeli yatırımlar üzerine çalışılmalıdır (de Sá Silva vd., 2022).

## 7. Ulusal ve Uluslararası Mevzuat

YSH sistemlerinin tasarımı ve uygulanmasına ilişkin ulusal ve uluslararası mevzuatlar bulunmaktadır. Türkiye'de YSH ile ilgili 23 Haziran 2017 tarihinde ve 30105 sayılı Resmî Gazete'de "Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj

Sistemleri Hakkında Yönetmelik” yayımlanmıştır. Bu yönetmeliğin 16. maddesinde, “Park, bahçe ve bina çatı yüzeylerine düşen yağmursuyu sahada toplanabilir ve evlerde, işyerlerinde ve bahçelerde kullanma suyu, yangın suyu veya ticari sulama suyu olarak umuma mahsus su dağıtım ve temin sistemlerine bir alternatif olarak kullanılabilir.” ifadesi yer almaktadır. Ayrıca ilgili yönetmeliğin EK1 bölümünde YSH sistemlerinin tasarımı hakkında bilgi verilmektedir (ÇŞB, 2017). Türkiye’de 2021 yılında güncellenen “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği” adlı yönetmelikte, “2000 m<sup>2</sup>’den büyük parsellerde yapılacak yapıların mekanik tesisat projelerinin; çatı yüzeyinden toplanacak yağmur sularının gerekmesi halinde filtre edilerek bir tankta toplanması ve bina tuvalet sifonlarında kullanılması amacıyla yağmur suyu toplama sistemi içermesi zorunludur” ifadesi bulunmaktadır. Ayrıca İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi’nin (İSKİ) 2020’de yayımladığı “Yağmur Suyu Hasadı ve Gri Sudan Elde Edilen Geri Kazanım Suyuna İlişkin Hususlar” adlı dökümanda YSH sistemlerinde kullanılan yağmur suyu depolama tanklarının hacminin hesaplanmasına yönelik detaylı bilgiler bulunmaktadır (İSKİ, 2020).

ABD, Avrupa Birliği ülkeleri, Birleşik Krallık, Avustralya, Brezilya, YSH ile ilgili detaylı mevzuatlara sahip ülkeler arasındadır (da Costa Pacheco vd., 2017). YSH ile ilgili mevzuatların içeriği bölgeden bölgeye değişkenlik göstermektedir. ABD’de tüm eyaletlerde YSH yasaldir; ancak sadece 18 eyalette YSH uygulamalarında teşvik edici mevzuatlar bulunmaktadır. Örneğin bu eyaletlerden Rhode Island, Teksas ve Virginia’da, YSH için satın alınan ekipmanlara vergi indirimi veya muafiyet sunularak YSH teşvik edilmektedir (Eslamian ve Eslamian, 2021). Avrupa Birliği tarafından yayımlanan “EN 16491 2018” standardında, içilemez kullanımlar için YSH sistemlerinin tasarımı, boyutlandırılması, kurulumu, devreye alınması ve bakımında uyulması gereken kurallar belirtilmektedir. Birleşik Krallık’ta BS 8515:2009+A1:2013 – “Rainwater Harvesting Systems-Code of Practice” standardı ve BS 8595:2013 – “Code of Practice for the Selection of Water Reuse Systems” standardı, YSH sistemlerinin tasarımların dair kılavuzlar içermektedir (BSI, 2013). %70’i kurak bir ülke olan Avustralya’da YSH uygulamaları oldukça yaygındır (Eroksuz ve Rahnan, 2010). Avustralya’da 2004 yılında YSH uygulamalarına rehber olması amacıyla “Guidance on use of rainwater tanks” adlı doküman yayımlanmış ve bu doküman 2010’da güncellenmiştir (enHealth, 2010). Brezilya’da NBR 15527 (ABNT, 2019) standardı, içilemez kullanımlar için binaların çatısında YSH sistemlerine yönelik tavsiyeler içermektedir.

## 8. Sonuç ve Öneriler

YSH uygulamalarının gelecekte su ihtiyacını karşılamada önemli bir yer tutması beklenmektedir. Kentlerde YSH uygulamalarında toplanan su hacmi ve su kalitesi açısından çatılar önem teşkil etmektedir. Çatıların malzemesi, pürüzlülüğü, gözenek yapısı, alanı ve eğimi YSH sistemi tasarımında mutlaka dikkate alınmalıdır. Çatı malzemelerin yağmur suyu kalitesine etkisi üzerine daha fazla araştırma yapılmalıdır. Malzemesinin fiyatı, bulunabilirliği, bakım ve onarım kolaylığı ve yaşam döngüsü çatı malzemesi seçiminde değerlendirilmelidir. Atmosferik koşullar ve hava kirliliği de yağmur suyu kalitesine etki etmektedir. Dünya üzerinde farklı bölgeler farklı hava kalitesi değerlerine sahiptir. Örneğin Çin’in büyük kentlerinde yoğun trafik ve endüstrilerden dolayı hava kirliliği kritik seviyelerdir. Bu bakımdan YSH ve hava kirliliği beraber düşünülmeli ve arıtma sistemlerinin tasarımında hava kalitesine bakılmalıdır. Yağmur suyunun ev içinde tuvalet rezervuarlarında, çamaşır yıkamada, bulaşık yıkamada ve ev dışında bahçe sulanmasında, araba yıkamasında kullanılmasıyla önemli ölçüde su tasarrufu yapılabilir. Her bir kullanım amacı için gereken su hacmi hesaplanmalı ve kullanım amacına uygun gerekli su kalitesinin sağlandığından

emin olunmalıdır.

Araştırmalarda YSH sistemlerinin geri ödeme süreleri ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. YSH uygulamalarında geri ödeme süresi kısaltılması için optimum depolama tankı hacmi, ihtiyaca yönelik uygun arıtma sistemi seçimi, seçilen arıtma sisteminin optimum işletme koşulları üzerine araştırmalar yapılması gereklidir. YSH uygulanmasına karar verirken ekonomik faktörlerin yanında taşkınların önlenmesi, suya erişimin sağlanması, su kaynaklarının korunması gibi faydaların da düşünülmesi gereklidir.

Halkın YSH uygulamalarına yönelmesi için maddi teşvikler artırılmalıdır. Mevzuatlarda YSH ile ilgili uygulayıcıları yönlendiren detaylı bilgiler yer almalıdır. YSH ile ilgili yerel ölçekte yayımlanmış birçok rapor ve makale bulunmaktadır. Ayrıca YSH sistemlerinin uygulanmasıyla ilgili ülkelere özel mevzuat bulunmaktadır. Ancak bu mevzuatların bilimsel veriler ışığında güncellenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Toplumun yağmur suyunu kullanmaya yönelik bakış açısı YSH’nin uygulanması konusunda önemli bir etkiye sahiptir. Afrika ülkeleri gibi su kıtlığı bulunan ülkelerde yağmur suyunun içme suyu amacıyla ve içme dışı amaçlar için kullanımı zorunluluk iken, suya erişimin daha kolay olduğu ülkelerde yağmur suyu kullanımı halk tarafından kolay kabul görmemektedir. Ancak gelecekte artan nüfus ve sanayileşmeyle çoğu ülkenin su stresi problemiyle karşılaşacağı öngörülmektedir. Bu sebeple toplumun su geri kazanımına ve yağmur suyu hasadına olan bakışı üzerine araştırmaların sayısı artırılmalıdır. Toplanan yağmur suyunun ihtiyaca göre artıldıktan sonra kullanımının güvenli olduğuna dair çalışmalar medya aracılığıyla halka anlatılmalıdır. Ayrıca su stresi ve suyun kullanımı konusunda medya yoluyla halk bilinçlendirilmedir. Gelecek nesillerin su konusunda bilinçlenmesi için üniversite öncesi eğitimde suyun önemi ve su geri kazanımı üzerindeki ders içerikleri artırılmalıdır.

Günümüzde birçok sektörde kullanılan yapay zekâ uygulamalarının YSH sistemlerinde de kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Toplanacak yağmur suyu hacmini meteorolojik tahminlerden hesaplayan, yağmur suyu kalitesini ıslak ve kuru birikimi esas alarak tahmin eden ve bu bilgileri kullanarak ilk sifon, depolama, arıtma koşullarını optimize eden sistemler üzerine araştırmalar yapılmalıdır. YSH sistemlerinin otonom hale gelmesiyle kalifiye eleman ihtiyacının azalması beklenmektedir.

Kentlerde YSH yoğun yağış alan bölgelerde sel felaketi riskini azaltma, su kıtlığı yaşanan bölgelerde ise kuraklık sorununa çözüm olma potansiyeli taşımaktadır. YSH uygulamalarında atmosferik koşullar, yağış toplama alanı, depolama tankları, arıtma sistemleri ve iletim hatları bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalı ve optimum sistem tasarımı yapılmalıdır. YSH bileşenlerinin seçiminde çok kriterli karar verme algoritmaları kullanılması yararlı olabilir. YSH sistemi tasarımında yağmur suyunun kalitesi, ekonomik fizibilite ve çevresel faydalar birlikte düşünülmelidir.

**Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.**

## 9. Kaynaklar

Abbasi, T., and Abbasi, S. A. (2011). Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(23), 2097-2167.

Abbasi, T., Poornima, P., Kannadasan, T., and Abbasi, S. A.

- (2013). Acid rain: past, present, and future. *International Journal of Environmental Engineering*, 5(3), 229-272.
- Abdulla, F. (2020). Rainwater harvesting in Jordan: potential water saving, optimal tank sizing and economic analysis. *Urban Water Journal*, 17(5), 446-456.
- Abdulla, F., Abdulla, C., and Eslamian, S. (2021). Concept and technology of rainwater harvesting. *Handbook of water harvesting and conservation: basic concepts and fundamentals*, 1-16.
- ABNT. (2019). NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - Requisitos. Brasil.
- Ahmed, W., Brandes, H., Gyawali, P., Sidhu, J. P. S., and Toze, S. (2014). Opportunistic pathogens in roof-captured rainwater samples, determined using quantitative PCR. *Water Research*, 53, 361-369.
- Alim, M. A., Ashraf, A. A., Rahman, A., Tao, Z., Roy, R., Khan, M. M., and Shirin, S. (2021). Experimental investigation of an integrated rainwater harvesting unit for drinking water production at the household level. *Journal of Water Process Engineering*, 44, 102318.
- Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., and Shirin, S. (2020). Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales, Australia. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122437.
- Bashar, M. Z. I., Karim, M. R., and Imteaz, M. A. (2018). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: A comparative study within six major cities of Bangladesh. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 146-154.
- Bhaga, T. D., Dube, T., Shekede, M. D., and Shoko, C. (2020). Impacts of climate variability and drought on surface water resources in Sub-Saharan Africa using remote sensing: A review. *Remote Sensing*, 12(24), 4184.
- Bielmyer, G. K., Arnold, W. R., Tomasso, J. R., Isely, J. J., and Klaine, S. J. (2012). Effects of roof and rainwater characteristics on copper concentrations in roof runoff. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 2797-2804.
- BSI, B. (2013). 8515: 2009+ A1: 2013 Rainwater Harvesting Systems-Code of Practice. BSI, London.
- Campisano, A., and Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63, 9-16.
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L. N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., and Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water research*, 115, 195-209.
- Cea, L., and Costabile, P. (2022). Flood risk in urban areas: modelling, management and adaptation to climate change. A review. *Hydrology*, 9(3), 50.
- Cevallos-Mendoza, J., Amorim, C. G., Rodríguez-Díaz, J. M., and Montenegro, M. D. C. B. (2022). Removal of contaminants from water by membrane filtration: a review. *Membranes*, 12(6), 570.
- Christian Amos, C., Rahman, A., and Mwangi Gathenya, J. (2016). Economic analysis and feasibility of rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: A review of the global situation with a special focus on Australia and Kenya. *Water*, 8(4), 149.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170623-8.htm>
- da Costa Pacheco, P. R., Gómez, Y. D., de Oliveira, I. F., & Teixeira, L. C. G. (2017). A view of the legislative scenario for rainwater harvesting in Brazil. *Journal of cleaner production*, 141, 290-294.
- de Sá Silva, A. C. R., Bimbato, A. M., Balestieri, J. A. P., and Vilanova, M. R. N. (2022). Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103475.
- DeBusk, K., and Hunt, W. (2014). Rainwater harvesting: A comprehensive review of literature. 11-12-W.
- DeOreo, W. B., Mayer, P. W., Dziegielewski, B., and Kiefer, J. (2016). Residential end uses of water, version 2. Water Research Foundation. Water Research Foundation (WRF).
- Devkota, J., Schlachter, H., and Apul, D. (2015). Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation. *Journal of cleaner Production*, 95, 311-321.
- Ding, A., Wang, J., Lin, D., Tang, X., Cheng, X., Wang, H., Bai, L., Li, G., and Liang, H. (2017). A low pressure gravity-driven membrane filtration (GDM) system for rainwater recycling: Flux stabilization and removal performance. *Chemosphere*, 172, 21-28.
- Ding, A., Wang, J., Lin, D., Zeng, R., Yu, S., Gan, Z., Ren, N., Li, G., and Liang, H. (2018). Effects of GAC layer on the performance of gravity-driven membrane filtration (GDM) system for rainwater recycling. *Chemosphere*, 191, 253-261.
- do Couto, E. D. A., Calijuri, M. L., Assemany, P. P., da Fonseca Santiago, A., & Lopes, L. S. (2015). Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative. *Journal of Cleaner Production*, 106, 372-379.
- Dobrowsky, P. H., Lombard, M., Cloete, W. J., Saayman, M., Cloete, T. E., Carstens, M., Khan, S., and Khan, W. (2015). Efficiency of microfiltration systems for the removal of bacterial and viral contaminants from surface and rainwater. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226, 1-14.
- Domènech, L., and Saurí, D. (2011). A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner production*, 19(6-7), 598-608.
- Du, X., Xu, J., Mo, Z., Luo, Y., Su, J., Nie, J., Wang, Z., Liu, L., and Liang, H. (2019). The performance of gravity-driven membrane (GDM) filtration for roofing rainwater reuse: Implications of roofing rainwater energy and

- rainwater purification. *Science of the Total Environment*, 697, 134187.
- enHealth (2010). *Guidance on Use of Rainwater Tanks*. Australia: Commonwealth Copyright Administration.
- EN 16491 (2018). *European Standard EN 16941: On-Site Non-potable Water Systems - Part 1: Systems for the Use of Rainwater*. Brussels, Belgium: British Standards Institution.
- EPA. (2012). *Guidelines for water reuse*. EPA/600/R-12/618. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- Eroksuz, E., & Rahman, A. (2010). Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1449-1452.
- Eslamian, S., & Eslamian, F. (2021). *Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals*.
- Ezenobi, N. O., Ogbu, H. I., and Eneogwe, N. C. (2018). Microbiological assessment of biofilm formation on different water storage containers. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 5(3), 115-123.
- Faragò, M., Brudler, S., Godskesen, B., and Rygaard, M. (2019). An eco-efficiency evaluation of community-scale rainwater and stormwater harvesting in Aarhus, Denmark. *Journal of Cleaner Production*, 219, 601-612.
- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall, J., and Gabarrell, X. (2011a). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water research*, 45(10), 3245-3254.
- Farreny, R., Gabarrell, X., & Rieradevall, J. (2011b). Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(7), 686-694.
- Fitobór, K., and Quant, B. (2021). Is the microfiltration process suitable as a method of removing suspended solids from rainwater? *Resources*, 10(3), 21.
- Freitas, D. A., and Ghisi, E. (2020). Economic feasibility analysis of rainwater harvesting: a case study in Imituba, Brazil. *Urban Water Journal*, 17(10), 905-911.
- Freni, G., and Liuzzo, L. (2019). Effectiveness of rainwater harvesting systems for flood reduction in residential urban areas. *Water*, 11(7), 1389.
- Ghisi, E., Thives, L. P., & Paes, R. F. W. (2018). Investment feasibility analysis of rainwater harvesting in a building in Brazil. *Water Science And Technology: Water Supply*, 18(4), 1497-1504.
- Gikas, G. D., and Tsihrintzis, V. A. (2012). Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. *Journal of Hydrology*, 466, 115-126.
- Guerreiro, S. B., Dawson, R. J., Kilsby, C., Lewis, E., and Ford, A. (2018). Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities. *Environmental Research Letters*, 13(3), 034009.
- Gupta, S., and Khare, D. (2017). Quality of Rooftop Harvested Rainwater Stored in Polyethylene Terephthalate Container. In *Development of Water Resources in India* (pp. 199-204). Springer International Publishing.
- Gwenzi, W., Dunjana, N., Pisa, C., Tauro, T., and Nyamadzawo, G. (2015). Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: Review and perspectives. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6, 107-118.
- Gwoździej-Mazur, J., Jadwiszczak, P., Kaźmierczak, B., Kózka, K., Struk-Sokołowska, J., Wartalska, K., and Wdowikowski, M. (2022). The impact of climate change on rainwater harvesting in households in Poland. *Applied Water Science*, 12(2), 15.
- Hamilton, K. A., Ahmed, W., Palmer, A., Sidhu, J. P. S., Hodggers, L., Toze, S., and Haas, C. N. (2016). Public health implications of *Acanthamoeba* and multiple potential opportunistic pathogens in roof-harvested rainwater tanks. *Environmental research*, 150, 320-327.
- Hamilton, K. A., Ahmed, W., Palmer, A., Smith, K., Toze, S., and Haas, C. N. (2017). Seasonal assessment of opportunistic premise plumbing pathogens in roof-harvested rainwater tanks. *Environmental Science and Technology*, 51(3), 1742-1753.
- Haq, PEng, S. A., and Haq, S. A. (2017). *Rainwater Storage. Harvesting Rainwater from Buildings*, 99-116.
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., and Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 12(1), 4667.
- Huston, R., Chan, Y. C., Chapman, H., Gardner, T., and Shaw, G. (2012). Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia. *Water Research*, 46(4), 1121-1132.
- Imteaz, M. A., and Shadeed, S. (2022). Superiority of water balance modelling for rainwater harvesting analysis and its application in deriving generalised equation for optimum tank size. *Journal of Cleaner Production*, 342, 130991.
- IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISKİ. (2020). Yağmur Suyu Hasadı ve Gri Sudan Elde Edilen Geri Kazanım Suyuna İlişkin Hususlar [https://www.iski.istanbul/web/assets/SayfalarDocs/YA\\_GMURSUYUHASADI.PDF?](https://www.iski.istanbul/web/assets/SayfalarDocs/YA_GMURSUYUHASADI.PDF?)
- Jamali, B., Bach, P. M., and Deletic, A. (2020). Rainwater harvesting for urban flood management—An integrated modelling framework. *Water research*, 171, 115372.
- Jiang, L., Tu, Y., Li, X., and Li, H. (2018). Application of reverse osmosis in purifying drinking water. In *E3S web of conferences* (Vol. 38, p. 01037). EDP Sciences.
- Karim, M. R., Bashar, M. Z. I., and Imteaz, M. A. (2015). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting in a megacity in Bangladesh. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 61-67.
- Keithley, S. E., Fakhreddine, S., Kinney, K. A., and Kirisits, M.

- J. (2018). Effect of treatment on the quality of harvested rainwater for residential systems. *Journal-American Water Works Association*, 110(7), E1-E11.
- Khastagir, A., and Jayasuriya, N. (2010). Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. *Journal of Hydrology*, 381(3-4), 181-188.
- Kim, J. E., Teh, E. X., Humphrey, D., and Hofman, J. (2021). Optimal storage sizing for indoor arena rainwater harvesting: Hydraulic simulation and economic assessment. *Journal of Environmental Management*, 280, 111847.
- Koyuncu, I., Sengur, R., Turken, T., Guclu, S., and Pasaoglu, M. E. (2015). Advances in water treatment by microfiltration, ultrafiltration, and nanofiltration. In *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment* (pp. 83-128). Woodhead Publishing.
- Köse-Mutlu, B. (2021). Natural organic matter and sulphate elimination from rainwater with nanofiltration technology and process optimisation using response surface methodology. *Water Science and Technology*, 83(3), 580-594.
- Kus, B., Kandasamy, J., Vigneswaran, S., and Shon, H. K. (2010). Analysis of first flush to improve the water quality in rainwater tanks. *Water science and technology*, 61(2), 421-428.
- Kus, B., Kandasamy, J., Vigneswaran, S., Shon, H. K., and Moody, G. (2013). Household rainwater harvesting system—pilot scale gravity driven membrane-based filtration system. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(3), 790-797.
- Latif, S., Alim, M. A., and Rahman, A. (2022). Disinfection methods for domestic rainwater harvesting systems: A scoping review. *Journal of Water Process Engineering*, 46, 102542.
- Lee, J. Y., Bak, G., and Han, M. (2012). Quality of roof-harvested rainwater—comparison of different roofing materials. *Environmental pollution*, 162, 422-429.
- Lee, J. Y., Moon, H. J., Kim, T. I., Kim, H. W., and Han, M. Y. (2013). Quantitative analysis on the urban flood mitigation effect by the extensive green roof system. *Environmental Pollution*, 181, 257-261.
- Lee, B., Hamm, S. Y., Jang, S., Cheong, J. Y., and Kim, G. B. (2014). Relationship between groundwater and climate change in South Korea. *Geosciences Journal*, 18, 209-218.
- Lee, K. E., Mokhtar, M., Hanafiah, M. M., Halim, A. A., and Badusah, J. (2016). Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: potential, policies and development. *Journal of Cleaner Production*, 126, 218-222.
- Leong, J. Y. C., Chong, M. N., Poh, P. E., Hermawan, A., and Talei, A. (2017). Longitudinal assessment of rainwater quality under tropical climatic conditions in enabling effective rainwater harvesting and reuse schemes. *Journal of Cleaner Production*, 143, 64-75.
- Li, Z., Boyle, F., and Reynolds, A. (2010). Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, 260(1-3), 1-8.
- Li, N., Li, X., and Fan, X. Y. (2022). Storage tank as a pretreatment unit for rainwater cleaner production: Role of biofilm bacterial communities and functional genera in water quality improvement. *Journal of Environmental Management*, 303, 114118.
- Liu, X., Ren, Z., Ngo, H. H., He, X., Desmond, P., and Ding, A. (2021). Membrane technology for rainwater treatment and reuse: A mini review. *Water Cycle*, 2, 51-63.
- Magyar, M. I., Ladson, A. R., Diaper, C., and Mitchell, V. G. (2014). Influence of roofing materials and lead flashing on rainwater tank contamination by metals. *Australasian Journal of Water Resources*, 18(1), 71-83.
- Maniam, G., Zakaria, N. A., Leo, C. P., Vassilev, V., Blay, K. B., Behzadian, K., and Poh, P. E. (2022). An assessment of technological development and applications of decentralized water reuse: A critical review and conceptual framework. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 9(3), e1588.
- Marszałek, A., and Dudziak, M. (2021). Application of the Ultrafiltration and Photooxidation Process for the Treatment of Rainwater. *Water, Air, and Soil Pollution*, 232(12), 504.
- Maurya, A., Singh, M. K., and Kumar, S. (2020). Biofiltration technique for removal of waterborne pathogens. In *Waterborne Pathogens* (pp. 123-141). Butterworth-Heinemann.
- Mays, L., Antoniou, G. P., and Angelakis, A. N. (2013). History of water cisterns: legacies and lessons. *Water*, 5(4), 1916-1940.
- McGuigan, K. G., Conroy, R. M., Mosler, H. J., du Preez, M., Ubomba-Jaswa, E., and Fernandez-Ibanez, P. (2012). Solar water disinfection (SODIS): a review from bench-top to roof-top. *Journal of hazardous materials*, 235, 29-46.
- Meera, V., & Mansoor Ahammed, M. (2018). Factors affecting the quality of roof-harvested rainwater. *Urban Ecology, Water Quality and Climate Change*, 195-202.
- Mendez, C. B., Klenzendorf, J. B., Afshar, B. R., Simmons, M. T., Barrett, M. E., Kinney, K. A., and Kirisits, M. J. (2011). The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water research*, 45(5), 2049-2059.
- Morales-Figueroa, C., Castillo-Suárez, L. A., Linares-Hernández, I., Martínez-Miranda, V., and Teutli-Sequeira, E. A. (2023). Treatment processes and analysis of rainwater quality for human use and consumption regulations, treatment systems and quality of rainwater. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-24.
- Morales-Pinzón, T., Lurueña, R., Gabarrell, X., Gasol, C. M., and Rieradevall, J. (2014). Financial and environmental modelling of water hardness—Implications for utilising harvested rainwater in washing machines. *Science of the Total Environment*, 470, 1257-1271.
- Majumdar, A., Samanta, D., and Das, R. (2022). Chemical characteristics and trends of indian summer monsoon rainfall: A review. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(7), 220019.



- Mukherjee, S., Mishra, A., and Trenberth, K. E. (2018). Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current climate change reports*, 4, 145-163.
- Murphy, L. U., Cochrane, T. A., and O'Sullivan, A. (2015). Build-up and wash-off dynamics of atmospherically derived Cu, Pb, Zn and TSS in stormwater runoff as a function of meteorological characteristics. *Science of the Total Environment*, 508, 206-213.
- Naddeo, V., Scannapieco, D., and Belgiorno, V. (2013). Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. *Journal of hydrology*, 498, 287-291.
- NCSL. (2018). "State Rainwater Harvesting Laws and Legislation." The National Conference of State Legislatures, USA, <https://www.ncsl.org/research/environment-and-natural-resources/rainwater-harvesting>
- Neto, R. F. M., Calijuri, M. L., de Castro Carvalho, I., and da Fonseca Santiago, A. (2012). Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: efficiency and costs. *Resources, Conservation and Recycling*, 65, 124-129.
- Norman, M., Shafri, H. Z., Mansor, S. B., and Yusuf, B. (2019). Review of remote sensing and geospatial technologies in estimating rooftop rainwater harvesting (RRWH) quality. *International soil and water conservation research*, 7(3), 266-274.
- Okoye, C. O., Solyali, O., and Akintuğ, B. (2015). Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: A linear programming approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 131-140.
- Payus, C. M., Jikilim, C., and Sentian, J. (2020). Rainwater chemistry of acid precipitation occurrences due to long-range transboundary haze pollution and prolonged drought events during southwest monsoon season: climate change driven. *Heliyon*, 6(9), e04997.
- Peter-Varbanets, M., Hammes, F., Vital, M., and Pronk, W. (2010). Stabilization of flux during dead-end ultra-low pressure ultrafiltration. *Water research*, 44(12), 3607-3616.
- Qu, R., and Han, G. (2021). A critical review of the variation in rainwater acidity in 24 Chinese cities during 1982–2018. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 9(1).
- Rahman, S., Khan, M. T. R., Akib, S., Din, N. B. C., Biswas, S. K., and Shirazi, S. M. (2014). Sustainability of rainwater harvesting system in terms of water quality. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Rahman, A., Snook, C., Haque, M. M., and Hajani, E. (2020). Use of design curves in the implementation of a rainwater harvesting system. *Journal of cleaner production*, 261, 121292.
- Raimondi, A., Quinn, R., Abhijith, G. R., Becciu, G., and Ostfeld, A. (2023). Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water*, 15(8), 1518.
- Ramaswamy, V., Muraleedharan, P. M., and Babu, C. P. (2017). Mid-troposphere transport of Middle-East dust over the Arabian Sea and its effect on rainwater composition and sensitive ecosystems over India. *Scientific reports*, 7(1), 13676.
- Reyneke, B., Waso, M., Khan, S., and Khan, W. (2020). Rainwater treatment technologies: Research needs, recent advances and effective monitoring strategies. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 16, 28-33.
- Richards, S., Rao, L., Connelly, S., Raj, A., Raveendran, L., Shirin, S., Jamwal, P., and Helliwell, R. (2021). Sustainable water resources through harvesting rainwater and the effectiveness of a low-cost water treatment. *Journal of Environmental Management*, 286, 112223.
- Rosa, G., and Ghisi, E. (2021). Water quality and financial analysis of a system combining rainwater and greywater in a house. *Water*, 13(7), 930.
- Santos, C., and Taveira-Pinto, F. (2013). Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and Recycling*, 71, 1-6.
- Scanlon, B. R., Fakhreddine, S., Rateb, A., de Graaf, I., Famiglietti, J., Gleeson, T., Grafton, R. Q., Jobbagy, E., Kebede, S., Kolusu, S. R., Konikow, L. F., Long, D., Mekonnen, M., Schmied, H. M., Mukherjee, A., MacDonald, A., Reedy, R. C., Shamsudduha, M., Simmons, C. T., ... and Zheng, C. (2023). Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nature Reviews Earth and Environment*, 4(2), 87-101.
- Schuetze, T., and Chelleri, L. (2013). Integrating decentralized rainwater management in urban planning and design: Flood resilient and sustainable water management using the example of coastal cities in the Netherlands and Taiwan. *Water*, 5(2), 593-616.
- Senevirathna, S. T. M. L. D., Ramzan, S., and Morgan, J. (2019). A sustainable and fully automated process to treat stored rainwater to meet drinking water quality guidelines. *Process Safety and Environmental Protection*, 130, 190-196.
- Sharma, A. K., Cook, S., Gardner, T., and Tjandraatmadja, G. (2016). Rainwater tanks in modern cities: A review of current practices and research. *Journal of Water and Climate Change*, 7(3), 445-466.
- Shi, M., Geng, B., Zhao, T., and Wang, F. (2021). Influence of atmospheric deposition on surface water quality and DBP formation potential as well as control technology of rainwater DBPs: a review. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 7(12), 2156-2165.
- Struk-Sokołowska, J., Gwoździej-Mazur, J., Jadwiszczak, P., Butarewicz, A., Ofman, P., Wdowikowski, M., and Kaźmierczak, B. (2020). The quality of stored rainwater for washing purposes. *Water*, 12(1), 252.
- Şahin, N. İ., and Manioğlu, G. (2019). Water conservation through rainwater harvesting using different building forms in different climatic regions. *Sustainable Cities and Society*, 44, 367-377.
- Tengan, B. M., and Akoto, O. (2022). Comprehensive evaluation of the possible impact of roofing materials on the quality of harvested rainwater for human consumption. *Science of the Total Environment*, 819, 152966.

- Thomas, R. B., Kirisits, M. J., Lye, D. J., and Kinney, K. A. (2014). Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. *Journal of Cleaner Production*, 75, 166-173.
- Tran, S. H., Dang, H. T., Dao, D. A., Nguyen, V. A., Nguyen, L. T., Nguyen, V. A., and Han, M. (2021). On-site rainwater harvesting and treatment for drinking water supply: assessment of cost and technical issues. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 11928-11941.
- Tunçay, H. (2022). Sünger Şehirler. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 23(2), 99-108.
- United Nations (UN). (2018). 2018 Revision of World Urbanization Prospects.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2022). World population prospects 2022: Summary of results.
- United Nations. (2022). The Sustainable Development Goals Report.
- Üstün, G. E., Tuğba, C. A. N., ve Küçük, G. (2020). Binalarda Yağmur Suyu Hasadı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1593-1610.
- Van der Sterren, M., Rahman, A., and Dennis, G. R. (2013). Quality and quantity monitoring of five rainwater tanks in Western Sydney, Australia. *Journal of Environmental Engineering*, 139(3), 332-340.
- Vialle, C., Sablayrolles, C., Lovera, M., Jacob, S., Huau, M. C., and Montrejeud-Vignoles, M. (2011). Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water research*, 45(12), 3765-3775.
- Wanjiru, E., and Xia, X. (2018). Sustainable energy-water management for residential houses with optimal integrated grey and rain water recycling. *Journal of cleaner production*, 170, 1151-1166.
- Waso, M., Khan, S., Singh, A., McMichael, S., Ahmed, W., Fernandez-Ibanez, P., Byrne, J.A and Khan, W. (2020). Predatory bacteria in combination with solar disinfection and solar photocatalysis for the treatment of rainwater. *Water research*, 169, 115281.
- World Bank. (2023). Urban Development Overview. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2023, <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>
- World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality: first addendum to the fourth edition.
- World Meteorological Association. (2022). State of the Global Climate 2021.
- Wu, B., Soon, G. Q. Y., and Chong, T. H. (2019). Recycling rainwater by submerged gravity-driven membrane (GDM) reactors: effect of hydraulic retention time and periodic backwash. *Science of the total environment*, 654, 10-18.
- Xu, J., Dai, J., Wu, X., Wu, S., Zhang, Y., Wang, F., Gao, A., and Tan, Y. (2023). Urban rainwater utilization: A review of management modes and harvesting systems. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1025665.
- Yannopoulos, S., Antoniou, G., Kaiafa-Saropoulou, M., and Angelakis, A. N. (2017). Historical development of rainwater harvesting and use in Hellas: a preliminary review. *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(4), 1022-1034.
- Yu, Y., Chen, X., Wang, Y., Mao, J., Ding, Z., Lu, Y., Wang, X., Lian, X., and Shi, Y. (2021). Producing and storing self-sustaining drinking water from rainwater for emergency response on isolated island. *Science of the Total Environment*, 768, 144513.
- Zapata-Sierra, A., Cascajares, M., Alcayde, A., and Manzano-Agugliaro, F. (2021). Worldwide research trends on desalination. *Desalination*, 519, 115305.
- Zdeb, M., Zamorska, J., Papciak, D., and Skwarczyńska-Wojśa, A. (2021). Investigation of Microbiological Quality Changes of Roof-Harvested Rainwater Stored in the Tanks. *Resources*, 10(10), 103.
- Zhang, Q., Wang, X., Hou, P., Wan, W., Li, R., Ren, Y., and Ouyang, Z. (2014). Quality and seasonal variation of rainwater harvested from concrete, asphalt, ceramic tile and green roofs in Chongqing, China. *Journal of environmental management*, 132, 178-187.
- Zhang, X., Xia, S., Zhao, R., and Wang, H. (2020). Effect of temperature on opportunistic pathogen gene markers and microbial communities in long-term stored roof-harvested rainwater. *Environmental research*, 181, 108917.
- Zhang, X., Jiang, J., Yuan, F., Song, W., Li, J., Xing, D., Zhao, L., Dong, W., Pan, X., and Gao, X. (2022a). Estimation of water footprint in seawater desalination with reverse osmosis process. *Environmental Research*, 204, 112374.
- Zhang, Y., Silverman, I., Shayan, S. I., Zhang, Q., Mulford, L., and Iranipour, G. T. (2022b). Removal of disinfection byproduct precursors by granular activated carbon: Hillsborough county water treatment facility case study. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100254.

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

## Üniversitelerde Sürdürülebilirlik Çalışmaları: İstanbul Teknik Üniversitesi Örneği

Ebru ACUNER<sup>1</sup>, Kadriye Elif MAÇİN<sup>2</sup>, Feriha Kamile ÖZCAN<sup>3</sup>, Arife Eymen KARABULUT<sup>4</sup>, Börte KÖSE MUTLU<sup>5</sup>, Lütfiye DURAK ATA<sup>6</sup>

## Yazışma yazarı:

Ebru ACUNER,  
acuner@itu.edu.tr

## Referans:

Acuner E., Maçin, K. E., Özcan F. K. Karabulut A.E., Köse Mutlu B. ve Durak Ata, L., (2023), İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Sürdürülebilirlik Çalışmalarının SWOT Analizi, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24 (2), 111-120.

Makale Gönderimi: 14 EYLÜL 2023  
Online Kabul : 20 EKİM 2023  
Online Basım : 27 EKİM 2023

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi, Maslak, İstanbul, Türkiye.

ORCID: 0000-0003-0877-6009

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.

ORCID: 0000-0002-5989-7954

<sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Rektörlük, Maslak, İstanbul, Türkiye.

ORCID: 0000-0002-1443-2133

<sup>4</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir Bölge Planlaması Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.

ORCID: 0000-0001-8787-6555

<sup>5</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.

ORCID: 0000-0001-9747-5499

<sup>6</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilişim Uygulamaları, Maslak, İstanbul, Türkiye.

ORCID: 0000-0002-4368-2967

**Özet** Üniversiteler, eğitim, araştırma ve topluma katkı faaliyet alanlarının yanı sıra, daha sürdürülebilir kurumlara dönüşmek ve bu alanda iş birliklerini artırmak için kayda değer çabalar göstermektedir. Son yıllarda Türkiye'de üniversiteler tarafından yürütülen sürdürülebilirlik faaliyetlerinde bir artış söz konusudur. Bu çalışmaların daha çok (1) politika geliştirme ve (2) uygulama bazlı oldukları, (3) değerlendirme ve (4) optimizasyon adımlarında yeterince çalışma olmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, bir üniversitenin sürdürülebilirlik sürecinde, UI GreenMetric ve THE Etki Sıralaması gibi uluslararası göstergeler aracılığıyla SWOT analizi yaparak eğitim, araştırma, sürdürülebilir kampüs uygulamaları ve topluma katkı alanlarındaki ilerlemeleri göstermek, eksik noktaları tespit etmek ve bunları göz önünde bulundurarak kısa, orta ve uzun vadede yol haritası belirlemektir. Bu sebeple bu çalışma, sürdürülebilirlik performansını geliştirmek isteyen ulusal ve uluslararası üniversiteler için örnek olarak kabul edilebilir. Makale kapsamında, ilk olarak üniversitelerde sürdürülebilirlik konusunda dünyada ve Türkiye'de mevcut durum kısaca sunulmuştur, ardından, makalenin metodolojisi açıklanmıştır. Son olarak, örnek çalışma olarak seçilen İstanbul Teknik Üniversitesi'nin sürdürülebilirlik hedefleri, faaliyetleri ve süreçleri detaylı bir şekilde anlatılmış ve SWOT analizi temelinde kısa-orta ve uzun vadeli öncelikleri gösteren bir yol haritası önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kampüs, Sürdürülebilir Üniversite, Yükseköğretim Kurumları, UI GreenMetric, THE Etki Sıralaması.

## Sustainability Studies at Higher Education Institutions: The Case of Istanbul Technical University

**Abstract** Campus Universities have presented significant efforts to transform into more sustainable institutions besides education, research and outreach activities. There is an increase in sustainability activities conducted by universities in Türkiye. These efforts are primarily (1) focused on policy development and (2) application-based, with an insufficient attention given to (3) assessment and (4) optimization steps. This study aims to conduct a SWOT analysis using international indicators such as UI GreenMetric and THE Impact Rankings to demonstrate progress in education, research, sustainable campus practices, and contributions to society in a university's sustainability journey. The study also aims to identify areas of improvement and, considering these, to establish a short, medium, and long-term roadmaps. Therefore, this study can be considered an example for national and international universities seeking to enhance their sustainability performance. In the scope of the article, firstly, the current status of sustainability in universities globally and in Türkiye is briefly presented. Then, an explanation of the methodology of the article is presented. Finally, Istanbul Technical University's objectives, activities and processes regarding sustainability are described in detail, and a roadmap indicating short, medium, and long-term priorities is proposed based on the SWOT analysis.

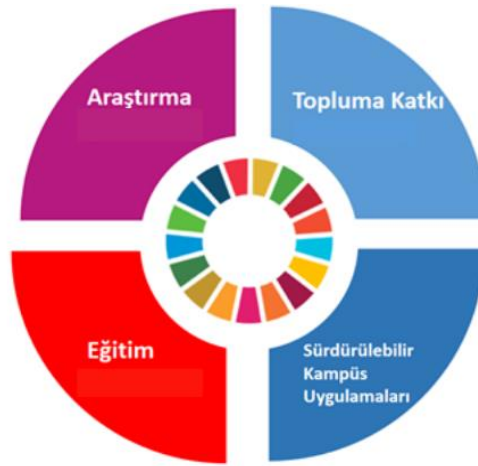
**Keywords:** Campus, Sustainable University, HEIs, UI GreenMetric, THE Impact Rankings.

## 1. Giriş

Birleşmiş Milletler (BM) Brundtland Komisyonu tarafından 1987 yılında "gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılamak" olarak tanımlanan sürdürülebilir kalkınma, mevcut dünyanın gelişiminde atılan her adımla iç içedir (BM, 1987). Eğitim sektörü ve bu kapsamda yükseköğretim alanı çağdaş toplumun sürdürülebilir kalkınmasında önemli bir paydaştır. Özellikle üniversiteler, toplumları küresel Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına (SKA) ulaştırmada büyük bir potansiyele sahiptir. Üniversiteler, kampüsleri, personelleri, öğrencileri ve mezunları gibi paydaşları sayesinde toplumu temsil edebilmekte (Alshuwaikhat ve Abubakar, 2008; Lauder vd., 2015), bunun ötesinde kamu endüstri ve girişimcilikte geniş bir etki alanı oluşturabilmektedir. Bu sebeple üniversite kampüslerinde sürdürülebilirlik çalışmalarının yürütülmesi önemlidir.

Üniversiteler, daha sürdürülebilir kurumlara dönüşmek için geçmişten günümüze kayda değer çabalar göstermektedir.

1972 yılında Stockholm Deklarasyonu, eğitimde sürdürülebilirlik çabalarının resmi başlangıcı olmuştur (BM, 1973). 1990 yılında yayınlanan Talloires Bildirgesi, üniversitelerin sürdürülebilirlik konusunu ele alma taahhüdünde bulunduğu ilk bildirme olmuştur (UNESCO, 1990). 1992 yılında Birleşmiş Milletler Konferansı, sürdürülebilir üniversite ve yeşil kampüs kavramlarını güçlendirmiştir (BM, 1992). 1994 yılında UNESCO, eğitimin sürdürülebilir kalkınma için olan gerekliliğini belirtmiştir (UNESCO, 1994). 2012 yılında Rio+20 Deklarasyonu üniversiteler için beş sürdürülebilirlik kapsamı belirlemiştir. Bunlar; sürdürülebilir kalkınma kavramlarını öğretmek, sürdürülebilir kalkınma ile ilgili araştırmaları teşvik etmek, kampüsleri yeşillendirmek, yerel topluluklardaki sürdürülebilirlik çabalarını desteklemek, uluslararası çerçevelerle sonuçları paylaşmaktır (BM, 2012). 2015 yılında Birleşmiş Milletler tarafından yayınlanan 17 adet SKA, üniversitelerin de dahil olduğu kurumları belirlenen hedeflere ulaşmak adına teşvik etmektedir (BM, 2015). 2019 yılından itibaren Times Higher Education (THE) Etki Sıralama sistemi üniversiteleri 17 amaca yönelik göstergelerle değerlendirmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Sürdürülebilir üniversite kavramının temel alanları.

Üniversitelerin 17 amaca ulaşabilmesi için çalışmalarını; eğitim, araştırma, sürdürülebilir kampüs uygulamaları ve topluma katkı temel alanlarına odaklaması gerekmektedir (Şekil 1). Bunun için izlenilmesi gereken adımlar; **(1) Politika geliştirme**— Üniversite tarafından oluşturulan ve bir stratejik planda tanımlanan misyon, değerler, amaçlar ve hedeflerin tanımı; **(2) Uygulama**— eğitim, öğretim, araştırma ve uygulamayı içeren ve üniversitenin yaygınlaştırma, idari yönetim sektörlerinin rolü olarak da görülebilecek bir dizi eylem; **(3) Değerlendirme**— Üniversitenin çevresel performansını (ekolojik, sosyal, ekonomik, yönetim) garanti altına almak için uygun veri/bilgi toplama yöntemleri ve göstergelerle desteklenen değerlendirme ve yönetim araçlarının kullanımı; **(4) Optimizasyon**—Bir önceki aşamada yapılan analiz ve değerlendirmenin yanı sıra ilerlemeler, engeller, sistem iyileştirmeleri (yenilikler) ve iletişim yoluyla şeffaflık, yöneticileri karar alma sürecinde destekleyecek bir sürdürülebilirlik raporu şeklinde özetlenebilir.

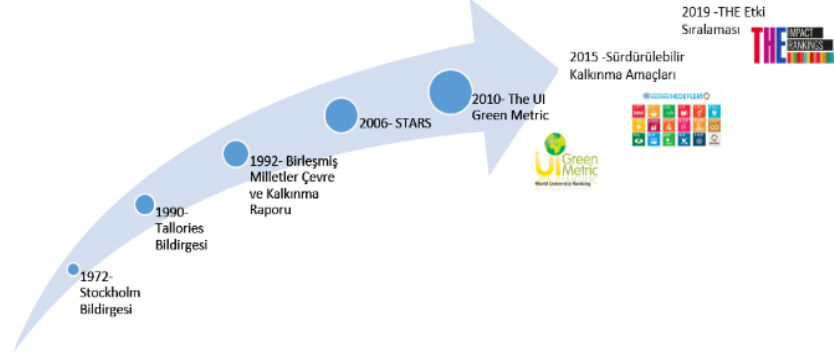
Bu kapsamdaki çok paydaşlı çalışmaları yürütmek adına üniversitelerde bir birim olması gerekmektedir (Fissi vd., 2021; Ramísio vd., 2019). Bu amaçla kurulan "sürdürülebilirlik ofisleri", üniversiteler içindeki girişimlerin sürdürülebilir kalkınma alanındaki çabalarını ve çalışmalarını organize etmelerine yardımcı olacak fırsatlar

sunmaktadır (Filho vd., 2019). Ofislere ek olarak, üniversitelerin sürdürülebilirlik sürecinde "üniversiteler arası sürdürülebilirlik değerlendirme sistemleri", sertifikalar ve sıralamalar ortaya çıkmıştır. Bu sistemler, üniversiteleri dünya çapında SKA'lara ulaşmak için yaşayan laboratuvarlara dönüştürerek sürdürülebilir üniversitelerin ve yeşil kampüslerin gelişimini motive etmektedir. Dünyanın farklı kıtalarında birçok üniversite; Avustralya'dan RMIT Üniversitesi, Batı Sidney Üniversitesi; Amerika kıtasından Kanada Western Üniversitesi, Arizona Devlet Üniversitesi; Asya'dan Auckland Üniversitesi, Hong Kong Üniversitesi, Avrupa'dan Delft Üniversitesi, Hamburg Üniversitesi, Bologna Üniversitesi, Glasgow Üniversitesi ve Newcastle Üniversitesi kurdukları sürdürülebilirlik birimleri ve yaptığı çalışmalarla dikkat çekmekte ve tüm üniversitelere örnek olmaktadır (THE Impact, 2023).

Üniversitelerde sürdürülebilirlik çalışmaları, "yeşil kampüs" kavramıyla birlikte altyapılara odaklanarak başlamıştır. "Yeşil kampüs" terimi, kampüste kaynak verimliliğini ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyen altyapı ve yönetimi ifade eder (Filho vd., 2019). Üniversitelerin sürdürülebilirliğini ölçen öncü sistem 2006 yılında kurulan Sürdürülebilirlik İzleme, Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi (Sustainability Tracking Assessment and Rating System - STARS) olmuştur (AASHE, 2006). STARS,

GREENSHIP ve Holcim Sürdürülebilirlik değerlendirme sistemlerinden esinlenen Universitas Indonesia GreenMetric, 2010 yılında Endonezya Üniversitesi tarafından oluşturulmuştur (UI GreenMetric, 2023). 2022 yılında UI GreenMetric sıralamasına dünyadan toplam 1050

üniversite başvurmuştur. THE Etki Sıralaması, 2019 yılında Times Higher Education University Rankings tarafından oluşturulmuştur (Şekil 2). 2022 yılında THE Etki Sıralamasına 1410 üniversite başvurmuştur.



Şekil 2. Yeşil kampüs terimiyle ilgili önemli gelişmeler (Tan vd., 2014 uyarlanmıştır).

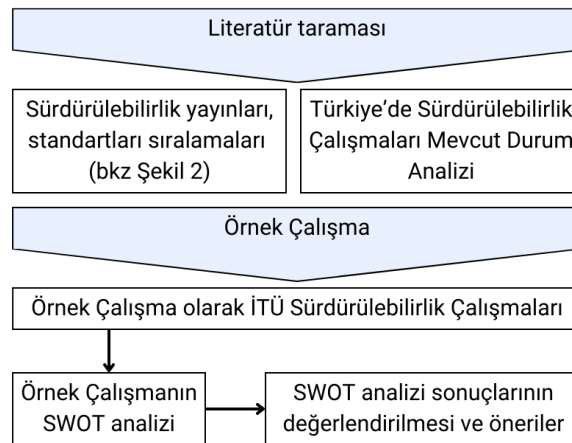
Türkiye'de üniversiteler tarafından yürütülen sürdürülebilirlik faaliyetlerinde bir artış söz konusudur (UI GreenMetric, 2022). 2022 yılında yapılan bir araştırma, Türkiye'deki üniversitelerin %43'ünün sürdürülebilirlik konusunda faaliyet gösterdiğini ve devlet üniversitelerinin vakıf üniversitelere göre daha aktif olduğunu ortaya koymuştur (Güngör Tañç vd., 2022). Vakıf ve devlet üniversiteleri arasındaki bu fark Kaya ve ekibi tarafından da 5 devlet ve 5 vakıf üniversitesinin değerlendirildiği makalelerinde yer almaktadır (Kaya vd., 2019). Bazı üniversiteler henüz UI GreenMetric başvurusunda bulunmamışken yapmış oldukları ön ve öz değerlendirmelerini de literatürde sunarak faydayı artırmışlardır (Benliay ve Gezer, 2019). Bal ve diğerlerinin belirttiği üzere derecelendirme çalışmaları birçok üniversitenin sürdürülebilirlik üzerine farkındalığını ve sürdürülebilirlik faaliyetleri için motivasyonunu güçlendirmekle beraber Günerhanların 2016 yılında yayınladıkları yayında altını çizdikleri üzere sürdürülebilirlik faaliyetleri kimi üniversitelerde çeşitli önlemler alınıyorsa da sistemli çalışmalarda eksiklikler halen bulunmaktadır (Günerhan ve Günerhan, 2016).

Bu çalışmaların daha çok (1) **Politika geliştirme** ve (2) **Uygulama** bazlı oldukları, (3) **Değerlendirme** ve (4) **Optimizasyon** adımlarında yeterince çalışma olmadığı

görülmektedir. Bu koşullar altında çalışmanın amacı, bir üniversitenin sürdürülebilirlik ile ilgili süreçlerinde, UI GreenMetric ve THE Etki Sıralaması gibi uluslararası göstergeler aracılığıyla SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats, GZFT - Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar, Tehditler) analizi yaparak eğitim, araştırma, sürdürülebilir kampüs uygulamaları ve topluma katkı alanlarındaki ilerlemeleri göstermek, eksik noktaları tespit etmek ve bunları göz önünde bulundurarak kısa, orta ve uzun vadede yol haritası belirlemektir. Bu sebeple bu çalışma, sürdürülebilirlik performansını geliştirmek isteyen ulusal ve uluslararası üniversiteler için örnek olarak kabul edilebilir.

## 2. Yöntem

Makale düzeninde, ilk olarak üniversitelerde sürdürülebilirlik konusunda dünyada ve Türkiye'de mevcut durum kısaca sunulmuştur. Daha sonra İstanbul Teknik Üniversitesi'nin (İTÜ) sürdürülebilirlik hedefleri, faaliyetleri ve ilgili süreçler detaylı bir şekilde anlatılmış olup ardından, örnek çalışmanın SWOT analizi yapılmıştır. SWOT analizi temelinde İTÜ özelinde ve ulusal düzeyde kısa-orta ve uzun vadeli öncelikleri gösteren bir yol haritası önerilmiştir. Makale yöntemi Şekil 3'te gösterilmektedir.

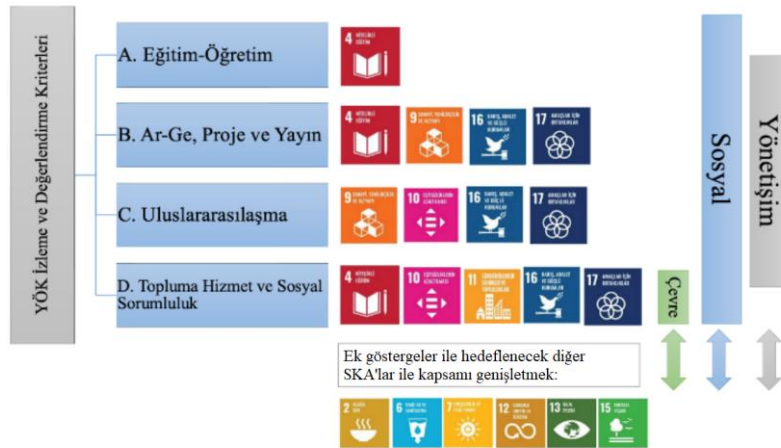


Şekil 3. Çalışmanın metodolojik adımları.

## 3. Türkiye'de Sürdürülebilirlik ve Üniversiteler

Türkiye'de dönemlere göre yenilenen ve diğer tüm politika alanları için çatı belge olarak kabul edilen Kalkınma Planlarının en sonuncusu olan 11. Kalkınma Planı'nın (2019-2023) kurgusu, sürdürülebilir kalkınma perspektifi ile belirlenmiştir. Söz konusu alanda küresel gelişmelerin Türkiye ile etkileşimi özelinde de sektörlere yönelik politika ve stratejiler oluşturulmuştur (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019). Buna ek olarak, BM-SKA'nın uygulanmasını ulusal düzeyde takip edilmesini ve koordinasyonunu sağlayabilmek amacıyla Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı başkanlığınca; tüm bakanlıkların ilgili bakan yardımcıları, Türk İşbirliği ve Koordinasyon Ajansı, Türkiye İnsan Hakları ve Eşitlik Kurumu ve Türkiye İstatistik Kurumu başkanlarından oluşan "Ulusal Sürdürülebilir Kalkınma Koordinasyon Kurulu" 19.07.2022 tarihli ve 31897 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 2022/12 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesiyle kurulmuştur (T.C. Resmî Gazete, 2022). Koordinasyon Kurulu ile birlikte sektörel bazda ilgili temel politika dokümanları her bir hedef bazında taranarak politika ve strateji eksikliği bulunup bulunmadığı tespit edilmiştir. Hedeflere yönelik mevzuat özetlenmiş ve boşluklar belirlenmiştir. Uzman ekiplerin taramaları ve kamu kurumları başta olmak üzere paydaşlardan gelen bilgiler

işığında proje stoku değerlendirmesi yapılmıştır. Hedeflere ilişkin BM göstergeleri ve ek veriler dikkate alınarak temel göstergeler bazında ilerleme durumu incelenmiştir. Kurumsal çerçevede ilgili kamu kurum ve kuruluşları hedefler bazında eşleştirilmiştir. SKA'nın bütününe ilişkin özet değerlendirme ve öneriler yapılmıştır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2022). Bütün bu çalışmalar kalkınma planları dönemleri başta olmak üzere ilgili politika ve strateji belgelerinin yenilenmesi döneminde yeniden gözden geçirilmektedir. Yükseköğretim Kurulu (YÖK) Türkiye üniversitelerinin faaliyetlerini takip etmek için çeşitli raporlama sistemleri kullanmaktadır. Bunlardan sürdürülebilirlik göstergelerini dahil eden ikisi Kurum İç Değerlendirme Raporları (KİDR) ve üniversite İzleme ve Değerlendirme Göstergeleri raporudur. Üniversitelere ait KİDR belgeleri 2015 yılından itibaren yayınlanmaktadır (YÖK, 2022). Raporlar sürdürülebilirliğe dair yönetim, eğitim ve öğretim, araştırma ve geliştirme, toplumsal katkı konularında göstergeler içermektedir. Ancak, KİDR genel anlamıyla üniversitelerin kalite ve süreç yönetimine odaklanmaktadır. YÖK İzleme ve Değerlendirme Kriterleri ise sosyal, yönetim ve belli oranda çevre başlıklarına hitap eden göstergelerden oluşmaktadır. Şekil 4'de yazarlar tarafından görselleştirilen YÖK İzleme ve Değerlendirme Kriterlerinin (YÖK, 2023) SKA'yla ilişkileri sunulmaktadır.



Şekil 4. YÖK İzleme ve Değerlendirme Kriterlerinin SKA'yla ilişkilendirilmesi.

Uluslararası alanda ise öne çıkan başlıca derecelendirme sistemleri, UI GreenMetric ve THE Etki Sıralamalarıdır. 2022 yılında, Türkiye'deki 208 üniversite arasından 83'ü UI GreenMetric'e ve 58'i THE Etki Sıralamasına başvurmuştur. UI GreenMetric sıralamasının başladığı 2010 yılından itibaren Türkiye'den katılım olmuştur (Maçin, 2021). Bu sıralamaya katılan ilk Türk üniversitesi Bilkent Üniversitesi 2010 yılında sıralamada 83. olmuştur. İTÜ, UI GreenMetric sıralamasına ilk defa 2017 yılında katılmıştır ve 77. sırada yer almıştır. 2022 UI GreenMetric sıralamalarında, İTÜ 47., Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi 71., Erciyes Üniversitesi 86., Özyeğin Üniversitesi 94., Yıldız Teknik Üniversitesi 95. sırada yer alarak ilk 100'e 5 Türk üniversitesi girmiştir. THE Etki Sıralamasında ise 2019 ve 2023 yıllarında Türkiye'den sırasıyla 19 ve 79 üniversite katılım göstermiştir. THE Etki'nin ilk sıralaması olan 2019 yılında 72. sırada Özyeğin Üniversitesi yer almıştır ve ilk 100'e giren 3 Türk üniversite bulunmaktadır. Daha sonra 2023 yılına kadar ilk 100'de Türk üniversiteleri yer alamamışken İTÜ 2023'de 58. sıraya yerleşmiştir. 2023 sıralamasında 101-200 bandında

Abdullah Gül Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi bulunmaktadır. Ancak SKA bazlı THE Etki Sıralamalarına bakıldığında Türk üniversitelerinin çeşitli başarıları bulunmaktadır. Dünya sıralamasında, Abdullah Gül Üniversitesi SKA 1'de 28., İTÜ SKA 4'de 10., SKA 6'da 32., SKA 8'de 9., SKA 9'da 23., SKA 11'de 40., Yıldız Teknik Üniversitesi SKA 7'de 12. olarak ilk 50'de sıralanmıştır.

## 4. İTÜ'de Sürdürülebilirlik

İTÜ'nün sürdürülebilirlik faaliyetleri kronolojik olarak Tablo 1'de özetlenmektedir. Sürdürülebilir üniversite temel alanlarına ve bunlara erişmek için izlenilmesi gereken adımlara göre, 2013 yılında başlayan İTÜ'nün sürdürülebilirlik ile ilgili faaliyetleri ise Tablo 2'de özetlenmektedir.

Tablo 1. İTÜ'nün sürdürülebilirlik faaliyetleri.

Tarih*	Gelişme
2005-2012	İTÜ Dergisi-e Su Kirlenmesi Kontrolü
2013	İTÜ Yeşil Kampüs
2016	SDSN (Sustainable Development Solutions Network - Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları konusunda paydaşlarla iş birliği ve ağ) üyelik tarihi
2017	UI GreenMetric Sıralaması Başvurusu
2020	THE Etki Sıralaması Başvurusu
2020	Sıfır Atık Belgesinin Alınması
2021	Sürdürülebilirlik Raporu 2020
2021	İTÜ Cinsiyet Ayrımıyla Mücadele Planı 2021-2026
2021	İTÜ Dergisi-e Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik
2021	Sürdürülebilirlik Ofisinin Kurulması
2021	2021 Yılı Engelsiz Üniversite Ödülleri Töreni'nde iki turuncu bayrak
2020-2021	İklim Eylem Planı 2021-2026
2022	Sürdürülebilirlik Raporu 2021
2023	Sürdürülebilirlik Raporu 2022

\*2000 sonrası faaliyetler listelenmiştir.

Tablo 2. Sürdürülebilir üniversite ana odakları doğrultusunda izlenilmesi gereken adımlar.

	(1) Politika geliştirme	(2) Uygulama	(3) Değerlendirme	(4) Optimizasyon
<b>Araştırma</b>	Yeşil Kampüs (2013) Sürdürülebilirlik Ofisi (2021) Sürdürülebilirlik Raporu (2021) Komisyonlar ve Yönergeler (2021/2022)	Yeşil Kampüs (2013) Sürdürülebilirlik Ofisi (2021)	YÖK İzleme ve Değerlendirme (2018) THE Etki Sıralaması (2020)	
<b>Eğitim</b>	Sürdürülebilirlik Raporu (2021) Komisyonlar ve Yönergeler (2021/2022)	"Sürdürülebilirlik" sertifika programı (2022) "Sürdürülebilirlik" yüksek lisans programı (2023)	YÖK İzleme ve Değerlendirme (2018) THE Etki Sıralaması (2020)	THE Etki Sıralaması ve UI GreenMetric sistemlerindeki ilerlemeler ve <b>Mevcut çalışma (SWOT analizi)</b>
<b>Sürdürülebilir Kampüs Uygulamaları</b>	Yeşil Kampüs (2013) Sürdürülebilirlik Ofisi (2021) Sürdürülebilirlik Raporu (2021) Komisyonlar ve Yönergeler (2021/2022)	Yeşil Kampüs (2013) Sürdürülebilirlik Ofisi (2021)	UI GreenMetric (2017) THE Etki Sıralaması (2020)	
<b>Topluma Katkı</b>	Sürdürülebilirlik Ofisi (2021) Sürdürülebilirlik Raporu (2021)	Sürdürülebilirlik Ofisi (2021)	THE Etki Sıralaması (2020)	

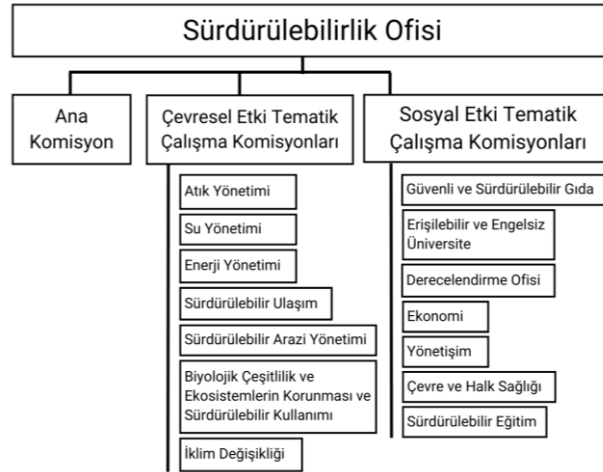
İTÜ 2013 yılında başlattığı ve “Yeşil Kampüs, Yeşil İTÜ” adını verdiği projesi ile “engelsiz ve doğa dostu üniversite” modelini hayata geçirmek hedefiyle uzun soluklu bir projeye başlamıştır. Üniversite tarafından geliştirilen söz konusu proje kapsamında bir takım alt başlıklar belirlenmiş ve buradan hareketle yeşil kampüs yaklaşımının bileşenleri aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;

- Minimum Karbon
- Geri Dönüşüm Bilinci
- Bisiklet Kenti ve Yaya Öncelikli İTÜ
- Engelsiz İTÜ
- İTÜ’de Sağlıklı Yaşam
- Doğa Dostu Tanıtım
- Doğayla İç İçte Kampüs
- Peyzaj ile Renklenen İTÜ
- Toplum Bilincinin Artırılması

SKA’ların alt hedeflerine ulaşmak için yaşayan laboratuvar (living lab) kavramı ile örnek kampüs içerisinde minimum karbon salınımı hedefine doğru İTÜ, bisikletli ulaşımının yaygınlaşması anlayışını benimsemiştir. Bu doğrultuda, toplamda 6 kilometre olacak şekilde planlanan bisiklet ve yaya yolu projesi tamamlanmıştır. Üniversite içerisinde bisiklet satışı ve tamiri sağlanabilecek bir bisiklet evi inşa

edilirken kampüsün çeşitli noktalarına bisiklet parkları yerleştirilmiştir. Projenin bir diğer parçası olan ‘Engelsiz İTÜ’ ise kampüsün her yaştaki engelli kullanıcılar için rahat ve yaşanabilir olması hedefiyle yola çıkmıştır.

İTÜ, Kasım 2021 itibarıyla Sürdürülebilirlik Ofisi ve SKA tematik komisyonları kuran Türkiye’nin sayılı üniversitelerinden biri olmuştur (İTÜ, 2021). İTÜ SO, Rektör Yardımcısı ana komisyon başkanı olmak üzere, doğrudan Rektörlüğe bağlı bir ofistir. Komisyonlar, İTÜ akademik ve idari personeli ile birlikte öğrenci temsilcilerinden oluşur. Bu yöntem, SKA bazlı çalışma alanlarında uzman personelin ve öğrencilerin etkileşim içinde olmasını destekleyen bir platform oluşturmuş ve sürdürülebilir bir kampüs için sayısız yeni fırsatın ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur. Komisyonlar, çevresel ve sosyal temalı olmak üzere iki başlığa ayrılmıştır. Atık, su ve enerji yönetimi ile ilgili SKA’lara yönelik komisyonlar çevresel etki teması altına alınırken, gıda, erişilebilirlik ve ekonomi ile ilgili SKA’lar üzerinde çalışan komisyonlar sosyal etki teması altında toplanmıştır. Komisyonlar kendi içlerinde çalışmalarını yürütürken aynı zamanda SKA 17’ye uygun şekilde iş birlikleri de yapmaya çalışmaktadırlar. İTÜ Sürdürülebilirlik Ofisi ve Komisyon yapısı Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Sürdürülebilirlik Ofisi ve Komisyonlar.

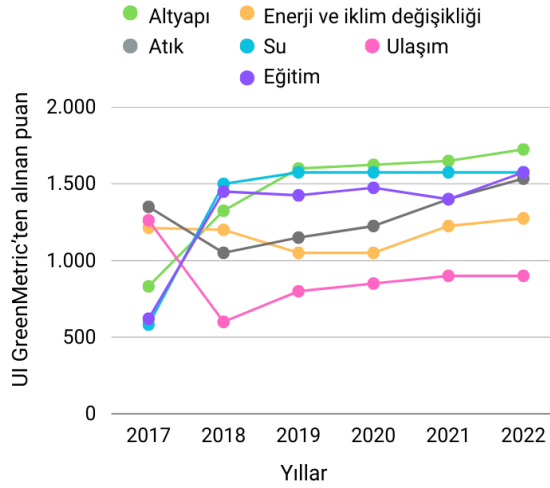
Sürdürülebilirlik Ofisi'nin faaliyetleri arasında sürdürülebilirlik raporlarının hazırlanması ve yayınlanması bulunmaktadır. Sürdürülebilirlik Raporları, kurumların faaliyetlerini ve etkilerini açıklayan kaynaklardır. 1997 yılında yayınlanan Global Reporting Initiative (GRI) sürdürülebilirlik raporlarını düzenlemek için yazılmış en eski standarttır. Ancak GRI Standartları üniversiteler için bir metodoloji sunmamaktadır. THE Etki Sıralama metodolojisi ise üniversitelerin sürdürülebilirlikteki performanslarını ve etkilerini ölçmek için kapsamlı bir kaynak sağlamaktadır. Bu nedenle İTÜ, GRI Standartlarını ve THE Etki Sıralama Metodolojisini göstergeler bazında her iki sisteme yönelik olacak şekilde hibrit bir yöntem kullanarak II. Sürdürülebilirlik Raporunu yayınlamıştır. Raporda THE Etki Sıralamasında sunulan göstergeler/metrikler ve GRI göstergeleri arasında eşleştirme yapılarak hazırlanan matrisler sunulmuştur.

Sürdürülebilirlik Ofisi'nin etkinlikleri, gerçekleştirilen toplantılar, öğrencilere ve yerel topluma yönelik faaliyetler ve diğer sürdürülebilirlik temalı çalışmalar kamuya açık olarak web sitesinde yayınlanmaktadır. SKA'lar ile ilgili olarak sürdürülebilirlik temalı yönerge ve politikalar geliştirilmekte ve yayınlanmaktadır. İlk olarak, SKA 16 barış, adalet ve güçlü kurumlar, SKA 10 eşitsizliklerin azaltılması ve SKA 5 toplumsal cinsiyet ayrımlarıyla mücadele ile ilgili yönergeler

yayınlanmıştır. Bu, üniversitenin her öğrenciye eğitime erişim haklarını sağlama konusundaki kararlılığını göstermektedir. 2015 ve 2018 yılları arasında SKA 3 sağlıklı ve kaliteli yaşam, SKA 12 sorumlu tüketim ve üretim ve SKA 13 iklim eylemi ile ilgili yönergeler yayınlanmıştır. Bu durum, kampüste sürdürülebilirliği taahhüt etmeye yönelik faaliyetlerin sayısının arttığına bir göstergesidir. Bunları 2021 yılına kadar çeşitli SKA'larla bağlantılı birçok yönergenin yayınlanması izlemiştir. 2021 yılında yönergelerin çoğu yenilenmiş ve gözden geçirilmiştir.

Uluslararası bazda, UI GreenMetric 2010 yılından bu yana dünya üniversitelerini sürdürülebilir uygulamalarına göre sıralamaktadır (Maçın vd., 2020). İTÜ, UI GreenMetric sistemine ilk kez 2017 yılında katılmıştır. 2022 yılında İTÜ dünya genelinde 47., Türkiye’de ise 1. sırada yer almıştır (UI GreenMetric, 2022). 2017 yılından bu yana sıralamada bulunan altyapı, enerji ve iklim değişikliği, atık, su, ulaşım ve eğitim başlıklarının tamamında İTÜ’nün aldığı puanlarda genel olarak bir yükselme söz konusudur. Ancak enerji ve iklim değişikliği ve eğitim başlıklarında geçtiğimiz yıllarda hafif puan düşüşleri de meydana gelmiştir. Atık ve ulaşım başlıklarında ikinci yıl yaşanan ani düşüş bir sonraki yıllarda artırılmıştır.





Şekil 6. İTÜ'nün yıllara göre UI GreenMetric başlıklarından kazandığı puanlar.

İTÜ, tüm SKA'ları kapsayan THE Etki Sıralamasına 2020 yılında ilk defa katılmıştır. İTÜ, 2023 sıralamasına göre SKA-4 (Nitelikli Eğitim) ve SKA-8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) amaçlarında dünya çapında ilk ona (10'a) girerken, tüm amaçları kapsayan genel sıralamada dünyada 58. olmuştur (Şekil 7). Şekilden de görülebileceği gibi bir başarı örneği olarak SKA-6 (Temiz Su ve Sanitasyon) başlığında 2022 yılında 99. sırada iken, yağmur suyu hasadı uygulaması gibi sürdürülebilirlik temalı projelerle 2023'te 32. sıraya yükselmiştir (THE Impact, 2023).

İTÜ'nün THE Etki Sıralama Sistemi Performansı (bkz. Şekil 7.) incelendiğinde 2020-2023 yılları arasındaki SKA'larda gözlemlenen iyileşmenin etki faktörleri aşağıda sıralanmaktadır;

- İlgili konularda politika ve yönergelerin hazırlanması
- İyileştirme stratejilerinin oluşturulması
- Komisyon yapılanmasıyla uzmanların ve SKA'ların eşleştirilmesi
- Kurum içi veri toplama sistematığının oluşturulması, veri ve görsel kalitesinin artması
- Verilerin açık kaynaklı olması.



Şekil 7. İTÜ'nün THE Etki Sıralama Sistemi Performansı.

\*SKA-3 Sağlık ve Kaliteli Yaşam başlığındaki gerileme, İTÜ'nün teknik üniversite olup sağlık fakültesinin bulunmaması ve istatistik göstergelerde (mezun sayısı, yayın sayısı gibi) diğer SKA'lara göre düşük performans göstermesidir.

#### 4. SWOT Analizi

Sürdürülebilir üniversite hedefine erişmek ve devamlılığını sağlamak için politika geliştirme, uygulama ve değerlendirme aşamalarından sonra optimizasyon aşamasında ilerlemeler, engeller ve sistem iyileştirmeleri (yenilikler) incelenmelidir. Tablo 1'de görüldüğü üzere İTÜ'nün mevcut sürdürülebilirlik uygulamalarında optimizasyon aşamasında gelişime açık noktalar bulunmaktadır.

Bu nedenle, güçlü ve zayıf yönler ile fırsatlar ve tehditler ortaya konduğu "mevcut durum" analizi ve gelecekte oluşabilecek durumların tespitine yönelik "gelecek durum" analizi olarak da adlandırılan SWOT analizi yöntem olarak tercih edilmiştir (Qaiser, 2022; Surat ve Dinç, 2020). SWOT, genellikle bir kurumun stratejik konumunu doğrulamak için

kurumsal bir iş stratejik planında gerçekleştirilen bir yönetim aracıdır (Helms ve Nixon, 2010).

Bu analizde güçlü yönler SKA'ların hedeflerine yönelik olumlu konular, zayıf yönler ise SKA hedeflerine göre üzerinde iyileştirmeler yapılması gereken konular olarak belirlenmiştir. Fırsatlar ve tehditler, SKA hedeflerine ulaşmak adına yürütülmekte olan ve/veya yürütülecek faaliyetler için ileriye dönük yeni yönleri gösteren konular olarak belirtilmiştir (Bonfante, vd., 2021). SWOT analizi açık kaynaklı İTÜ Faaliyet Raporu, Sürdürülebilirlik Raporu, İklim Eylem Planı ve Cinsiyet Ayrımıyla Mücadele Planındaki veriler kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca sürdürülebilir üniversitelerin değerlendirilmesinde önemli rol oynayan THE Etki Sıralama ve UI GreenMetric göstergelerindeki performans değişimleri de SWOT analizinde kullanılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. İTÜ'nün sürdürülebilirlik adımlarının SWOT analizi.

SWOT analizi sonuçlarına göre; sırasıyla eğitim, sürdürülebilir kampüs uygulamaları ve araştırma İTÜ'nün güçlü yanlarını oluştururken topluma katkı konusu görece olarak zayıf yönünü oluşturmaktadır. Daha spesifik örnekler vermek gerekirse Şekil 7'te açıklandığı gibi SKA-7 (THE Etki Sıralama) ve Enerji ve İklim Değişikliği (Şekil 6, UI GreenMetric) göstergelerinde iyileştirmeler söz konusuyken 2022 yılında 18,510,212 kWh elektrik tüketimine karşın yenilenebilir enerji kaynaklarının kapasitesi 330 kWh'tır. Bu yüzden temiz enerjide yatırımların az olması bir zayıf yön olarak düşünülebilir. Buna ek olarak, İTÜ'nün sürdürülebilirlik faaliyetleri için ayırdığı ortalama yıllık bütçe son 4 yıl içinde TL olarak benzer miktarda olmasına rağmen döviz kurundaki son yıllarda gözlenen dalgalanmalardan dolayı dolar bazında bir azalış söz konusudur. Ayrıca, ulusal literatür incelendiğinde, enerji yönetiminin tüm üniversitelerimiz için görece düşük başarı gösterdiği bir çevresel sürdürülebilirlik parametresi olduğu görülmektedir. Ardalı ve Köksal'ın yayınında da üniversitenin göstergeler yönüyle 2021 yılı değerlendirme sonuçlarının yüzdesel dağılımlarında en düşük paya sahip alanın %17,86 ile enerji ve iklim değişikliği olduğu gözlemlenmiştir (Ardalı ve Köksal, 2022). Enerji yönetiminde geride kalınmasının sebeplerinin çok yönlü ve detaylı olarak incelenmesi gerekir.

Fırsatlarda ise sırasıyla araştırma, topluma katkı ve eğitim ön plana çıkarken tehditler ise sürdürülebilir kampüs uygulamaları ve araştırma odaklıdır. Bu şekilde gerçekleştirilen detaylı karşılaştırma sonucunda üniversite içinde ve ulusal bazda geleceğe yönelik kısa, orta ve uzun vadeli plan ve strateji oluşturulmuştur.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada açıklanan, üniversitelerin sürdürülebilirlik adımları, İTÜ'nün çalışmaları ve SWOT analizi göz önünde bulundurulduğunda, sürdürülebilir üniversite kültürüne sahip olabilmek için üniversite bazında ve ulusal düzeyde dikkate alınması gerekli olan konular aşağıda listelenmiştir;

### Üniversite bazında:

- İTÜ'nün sürdürülebilir üniversiteler arasında devamlılığını sağlayabilmesi için **kısa ve orta vadede** sürdürülebilirlik raporlarının düzenli yayınlamaya

devam ederek yıllık veri takibini yapması, stratejik planlarla araştırmaları ve uygulamalarını planlaması, sürdürülebilirlik yüksek lisans programının devamlılığının yanı sıra doktora programının açılması ve bu süreçte tüm üniversite paydaşları ile etkileşim içinde olması gereklidir.

- Halihazırda üniversite yönetimi tarafından (yukarıdan aşağıya) ve/veya yerleşke yaşayanları (aşağıdan yukarıya) tarafından başlatılan ve/veya yürütülen topluma yönelik eğitim projeleri (hibrit metot), başarılı kurumsal kültür değişiminin önemli bir bileşeni olarak kabul edilmeli ve sayıları **orta vadede** artmalıdır.
- **Kısa ve orta vadede** Fosil yakıt kullanmayan araçların teşvik edilmesi için otopark ücretlerinin indirilmesi.
- **Kısa ve orta vadede** sürdürülebilirlik odaklı ve SKA'lara yönelik BAP, TÜBİTAK, HORIZON vb. projelerin önceliklendirilmesi.
- **Orta ve uzun vadede** elektrikli şarj noktalarının artırılması.
- **Orta ve uzun vadede** yeni binalar ve inşaat aşamasındaki binaların yenilenebilir enerji entegrasyonu düşünülerek planlaması.
- **Orta ve uzun vadede** personelin sürdürülebilirlik bilgi birikimi ve bilincinin artması ve bazı personelin değişimi benimseme konusundaki direncini kırmak için üniversite stratejisi kapsamında sürdürülebilirlik eylemleri devam etmelidir.
- **Orta ve uzun vadede** ulusal ve uluslararası üniversiteler ile ilgili sektör temsilcisi kurumlar/kuruluşlar ile SKA'lar için iş birliğine gidilmelidir. (İş birliği çeşitliliğine ve kapsamına örnekler linkte sunulmaktadır: <https://sustainability.itu.edu.tr/tr/is-birlikleri>)

### Ulusal düzeyde:

- Ulusal düzeyde (YÖK İzleme ve Değerlendirme Göstergeleri) üniversiteler için sürdürülebilirlik

göstergeleri belirlenmelidir. Böylelikle **kısa ve orta vadede** ulusal üniversitelerin sadece kurumsal bazda sürdürülebilirlik alanında durum değerlendirmeleri ve gelişmeleri desteklenmekle kalmayacak, konu ile ilgili derecelendirme sistemlerinde ülkemizi temsil gücü yükselecektir.

- **Kısa vadede** bu göstergeler tasarlanırken SKA'lar ilişkilendirmeli ve sadece çevresel sürdürülebilirliğe etki eden SKA'lar değil sosyal ve yönetim ile ilgili SKA'lar ve göstergeleri dikkate alınmalıdır.
- **Orta ve uzun vadede** finansal tehdit unsurları aşılmaya çalışılmalıdır. Sürdürülebilirlik girişimleri için ek fonlar ve kaynaklar tahsis edilmelidir. Örneğin; ulusal (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Kalkınma Ajansları ve yerel yönetimler) ve uluslararası iş birliklerine (European Engineering Learning Innovation and Science Alliance – EELISA, EU, United Nations Development Programme -UNDP, Dünya Bankası) gidilerek iyi örnek oluşturabilecek yeni projeler oluşturulmalıdır.

Sonuç olarak, başta iklim krizinin neden olduğu problemlerin dünya genelinde çözümü için küçük birer şehir olan üniversite yerleşkeleri pilot uygulama alanlarıyla çözüm önerileri getirebileceği gibi; eğitim, araştırma ve topluma katkı konularındaki sürdürülebilirlik süreçleriyle de topluma örnek olabilecek kurumlar olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Literatürde de değinildiği üzere üniversiteler içerisinde de sürdürülebilirlik ve sürdürülebilirlik faaliyetleri hakkında yeterli bilgiye sahip olunmadığı (Demirkol ve Birişçi, 2020) ve bilgilendirici çalışmaların yapılması gerektiği önerilmektedir.

## 6. Teşekkür ve Bilgi

Yazarlar Öğr. Gör. Faik Keskin'e "Şekil 7. İTÜ'nün THE Etki Sıralama Sistemi Performansı" görsel hazırlığındaki katkılarından dolayı teşekkür etmektedir.

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 7. Kaynaklar

- AASHE. (2006). (Erişim tarihi 01.09.2023) <https://stars.aashe.org/about-stars/history/>
- Ağı Günerhan, S., Günerhan, H. (2016). TÜRKİYE İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜNİVERSİTE MODELİ. Mühendis ve Makina, 57 (682), 54-62. (Erişim Tarihi 26.09.2023) <https://dergipark.org.tr/en/pub/muhendismakina/issue/48845/622289>
- Alshuwaikhat, H., M., Abubakar, I. (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices, Journal of Cleaner Production, 16, (16), 1777-1785. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.12.002>
- Ardalı, Y., Köksal, Ö. (2022). Yeşil ölçüm göstergeleri kapsamında sürdürülebilir üniversite modelinin performans değerlendirilmesi. OMÜ Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi, 2(1), 49-66.

Bal, P., Ayas, M. Ö., Bozaykut Buk, T., Yavuz Tiftikçigil, B., Afacan Fındıklı, M. (2022). Sürdürülebilir kalkınma bağlamında uluslararası üniversite sıralama indeksleri ve Türkiye'deki üniversiteler.

Benliay, A., Gezer, N. B. (2019). Üniversite Yerleşkeleri İçin Çevresel Sürdürülebilirlik Dizinleri: Akdeniz Üniversitesi Örneği. PEYZAJ, 1 (2), 40-49. (Erişim Tarihi 26.09.2023) <https://dergipark.org.tr/en/pub/peyzaj/issue/51771/645933>

BM. (1973). Stockholm Deklarasyonu, Report of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 5-16 June 1972. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/NL7/300/05/PDF/NL730005.pdf?OpenElement>

BM. (1987). Brundtland Commission, Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>

BM. (1992). United Nations Conference on Environment & Development. Rio de Janeiro, Brazil, 3-14 June 1992. AGENDA 21. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>

BM. (2012). United Nations Conference On Sustainable Development, Rio+20.

BM. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement>

Bonfante, M., C., Raspini, J., P., Fernandes, I., B., Fernandes, S., Campos L., M., S., Alarcon, O., E. (2021) Achieving Sustainable Development Goals in rare earth magnets production: A review on state of the art and SWOT analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 137, 110616. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110616>

Filho, W. L., Will, M., Salvia, A., L., Adomşent, M., Grahl, A., Spira, F. (2019) The role of green and Sustainability Offices in fostering sustainability efforts at higher education institutions. Journal of Cleaner Production, 232, 1394-1401. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.273>

Fissi, S., Romolini, A., Gori, E., Contri, M. (2021). The path toward a sustainable green university: The case of the university of Florence. Journal of Cleaner Production, 279, 123655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123655>

Güngör Tanç, Ş., Tanç, A., Çardak, D., Yağlı, İ. (2022) Türkiye'deki üniversitelerin sürdürülebilirlik çalışmalarının incelenmesi. Muhasebe ve Denetim Bakış, 66, 83-100. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2213926>

Helms, M.M., Nixon, J. B. (2010) Exploring SWOT analysis – where are we now?: a review of academic research from the last decade. Journal of Strategy and

- Management, 3, 3. <https://doi.org/10.1108/17554251011064837>
- İTÜ. (2021) (Erişim tarihi 05.09.2023) <https://sustainability.itu.edu.tr/tr>
- Karcı Demirkol, A., Birişçi, T. (2020). Sürdürülebilir Yerleşke Kavramı Farkındalığının Ege Üniversitesi Yerleşkesi Örneğinde İrdelenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 57 (3), 367-379. DOI: 10.20289/zfdergi.638112
- Kayapınar Kaya, S., Dal, M., Aşkın, A. (2019). Türkiye'deki devlet ve vakıf üniversite kampüslerinin sürdürülebilir-ekolojik parametreleri açısından karşılaştırılması. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (1), 106-125. DOI: 10.25092/baunfbed.532420
- Lauder, A S, Suwartha R.F., Tjahjono N. and Gunawan. (2015). Critical review of a global campus sustainability ranking:GreenMetric. Journal of Cleaner Production. 108, Part A, 852-863. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.080>
- Maçın, K., E., Arıkan, O., A., Demir, İ. (2020) The UI GreenMetric Ranking System:Analyzing Impacts of Categories on Overall Results. VI International Conference on Sustainable Development, 04-08, 2020. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://research.ebsco.com/c/6k2lrh/results?q=AN%20159593894>
- Maçın, K., E. (2021). UI GreenMetric Ranking Performance Analysis of Universities in Turkey: Suggestions Towards to Becoming Green Campuses. 7th International Conference on Sustainable Development, Ekim 13-17, 2021. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://research.ebsco.com/c/6k2lrh/results?q=AN%20159593899>
- Kaiser, I. (2022). A comparison of renewable and sustainable energy sector of the South Asian countries: An application of SWOT methodology. Renewable Energy, 181, 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.066>
- Ramísio, P. J., Pinto, L. M. C., Gouveia, N., Costa, H., & Arezes, D. (2019). Sustainability Strategy in Higher Education Institutions: Lessons Learned from A Nine-Year Case Study. Journal of Cleaner Production, 222, 300-309. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.257>
- Surat, H., Dinç, C. (2020). Gevaş İlçesinin Kırsal Turizm Potansiyelinin SWOT Analizi ile Değerlendirilmesi. ACU International Journal of Social Science, 6, 2, 33-36. DOI: 10.22466/acusbd.751398
- Tan H., Chen S., Qian Shi, Wang L. (2014) Development of green campus in China. Journal of Cleaner Production, 64,646-653.
- T.C. Resmî Gazete. (2022).19 Temmuz 2022, Salı, Sayı : 31897. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/07/20220719.pdf>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019) On Birinci Kalkınma Planı. (Erişim Tarihi 01.09.2023) [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On\\_Birinci\\_Kalkinma\\_Plani-2019-2023.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Plani-2019-2023.pdf)
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2022) (Erişim Tarihi 01.09.2023) <http://www.surdurulebilirlikkalkinma.gov.tr/#top>
- THE Impact. (2023). Impact Rankings 2023. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://www.timeshighereducation.com/impactrankings>
- UI GreenMetric, (2023). (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://greenmetric.ui.ac.id/about/welcome>
- UI GreenMetric, (2022). (Erişim Tarihi 10.09.2023) <https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/ranking-by-country-2022/Turkey>
- UNESCO. (1990). Talloires Bildirgesi.
- UNESCO. (1994). The Salamanca Statement and Framework for Action on Special Needs Education. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000098427>
- YÖK. (2022) Kurum iç değerlendirme raporları. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://yokak.gov.tr/raporlar/kurum-ici-degerlendirme-raporlari>
- YÖK. (2023) Üniversite izleme ve değerlendirme raporları. (Erişim Tarihi 01.09.2023) <https://www.yok.gov.tr/universiteler/izleme-ve-degerlendirme-raporlari>