

İTÜ



İTÜ DERGİSİ



İTÜ Çevre, İklim ve
Sürdürülebilirlik

İÇİNDEKİLER

Makale Adı	Makale Türü	Yazarlar	Sayfa Numarası
1. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Kurumsal Sürdürülebilirlik Çerçevesinde "Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım Paneli" Doküman Analizi	Araştırma Makalesi	Canan Gamze Bal Gökçen Avcu*	1-14
2. Arıtılmış Atıksuların Çevresel Akış için İkame Amaçlı Kullanımı: Tampon Bölge olarak Yapay Sulak Alanların Rolü	Derleme Makalesi	Mahmut Ekrem Karpuzcu, Fatma Nihan Doğan*, İzzet Öztürk	15-22
3. Sürdürülebilir Üretim ve Yaşamda "Yapağı"	Derleme Makalesi	Mehmet Koyuncu*	23-36
4. Türkiye'de Elektrikli Araçlarda Kullanılan Tahrik Bataryalarına Yönelik Geri Dönüşüm Yaklaşımları	Derleme Makalesi	Orhan Topal*	37-46
5. Katı Atık Sızıntı Suyu Yönetiminde Karşılaşılan Sorunlar ve Güncel Arıtma Yöntemleri	Derleme Makalesi	Cansu Delibaş*, Serra Selin Övez, Filiz Daşkiran, İzzet Öztürk	47-58

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Kurumsal Sürdürülebilirlik Çerçevesinde “Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım Paneli” Doküman Analizi

Yazışma yazarı:

Gökçen AVCU,
avcugokcen@gmail.com

Referans: Avcu, G. ve Bal, C.G. (2024). Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Kurumsal Sürdürülebilirlik Çerçevesinde “Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım Paneli” Doküman Analizi, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 25(1), 1–14.

Makale Gönderimi : 15 OCAK 2023
Online Kabul : 15 OCAK 2024
Online Basım : 18 NISAN 2024

Gökçen AVCU¹, Canan Gamze BAL²

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Yönetim ve Organizasyon, Kahramanmaraş, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-6857-6140

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Yönetim ve Organizasyon, Kahramanmaraş, Türkiye.
ORCID: 0000-0003-1031-2588

Özet “Gezegeneimizi hayatta tutmak adına sürdürülebilirlik bu kadar önemliyken uygulamada yanlış olan ya da eksik kalan ne?” sorusu cevaplanması gereken en temel soru olarak karşımıza çıkmaktadır. İşte bu noktada sürdürülebilirlik adına hem uygulayıcı hem örnek teşkil edici olan işletme yöneticilerinin ve akademisyenlerin kavrama bakışı önem arz etmektedir. Araştırmanın amacı, iş dünyasından uygulayıcıların ve akademisyenlerin Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri’nden en çok hangileri hakkında görüşlerinin olduklarını tespit etmek ve bu konuda çözüm geliştirmektir. Nitel araştırmamızın verileri, Harvard Business Review Türkiye dergisinin “27 Nisan 2021 tarihindeki Sürdürülebilirlik: Değer Odaklı Yaklaşım Paneli”ndeki katılımcılardan elde edilmiş olup verilerin çözümlenmesinde içerik analizi kullanılmıştır. Tematik analizler MAXQDA nitel veri çözümleme programı kullanılarak çözümlenmiştir. Genel olarak baktığımızda Birleşmiş Milletler Sürdürülebilirlik Hedefleri kapsamında yapılan kodlamada araştırma kapsamındaki panel katılımcılarının üzerinde en fazla durdukları kodlar; “barış, adalet ve güçlü kurumlar”, “amaçlar için ortaklıklar”, “karasal yaşam” ve “insana yakışır iş ve ekonomik büyüme”dir. Bu sonuç sürdürülebilirlik kavramının ruhuyla birebir örtüşmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Kurumsal sürdürülebilirlik, Sürdürülebilir kalkınma

Sustainability Summit: Value-Focused Approach Panel” Document Analysis in the Framework of Sustainable Development Goals and Corporate Sustainability

Abstract “While sustainability is so important to keeping our planet alive, what is wrong or missing in practice?”. This is the most fundamental question that needs to be answered. At this point, the concept perspective of business managers and academics, who are both practitioners and exemplary in the name of sustainability, is important. The research aims to determine which of the business world practitioners and academicians have the most opinions about the United Nations Sustainable Development Goals and to develop solutions in this regard. The data of our qualitative research was obtained from the participants in the “Sustainability: Value-Focused Approach Panel” of the Harvard Business Review Turkey magazine on April 27, 2021, and content analysis was used to analyze the data. Thematic analyzes were analyzed using the MAXQDA qualitative data analysis program. When we look at it in general, in the coding made within the scope of the United Nations Sustainability Goals, the most emphasized by the panel participants within the scope of the research are; “peace, justice and strong institutions”, “partnerships for the goals”, “life on land” and “decent work and economic growth”. This result fully coincides with the spirit of the concept of sustainability.

Keywords: Sustainability, Corporate sustainability, Sustainable development

bakış açılarını ortaya koymaktadır ve eksiklikler konusunda öneriler sunmakta olup literatüre katkı sunacağı düşünülmektedir.

1. Giriş

Brundtland Konferansı'nda oluşturulan "Ortak Geleceğimiz" raporunda ilk kez sürdürülebilir kalkınmanın kurumsal anlamda tanımı yapılmıştır. Sürdürülebilir Kalkınma; gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden, bugünün ihtiyaçlarını karşılayan bir gelişme olarak tanımlanmıştır (World Commission on Environment and Development, 1987).

1997'de Elkington (1997) tarafından geliştirilen "Triple Bottom Line" (TBL) üçlü sorumluluk kavramı literatüre kazandırılmıştır. Elkington'a göre üçlü sorumluluk; kuruluşların iş hedeflerinin içinde faaliyet gösterdikleri toplumlardan ve çevrelerden ayrılamaz olduğunu öne sürer ve kurumsal performansın ekonomik, sosyal ve çevresel parametrelerle ölçülmesi ve raporlanması anlayışı üzerine kurulmuştur (Elkington, 1997).

Eylül 2015'te, Birleşmiş Milletler'de (BM) düzenlenen özel bir zirvede 193 ülke tarafından yeni bir dizi kalkınma hedefi kabul edilmiştir. Bunlar, 2030 yılına kadar dünyanın her köşesinde yoksulluğu sona erdirmeyi, cinsiyet eşitliğini sağlamayı ve gıda güvenliğini sağlamayı amaçlayan "Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri" olarak adlandırılmaktadır.

Günümüzde firmalar açısından rekabetin bir göstergesi olarak kurumsal sürdürülebilirlik kavramı da yaygınlaşmaktadır. Commission of the European Communities (2001)'e göre kurumsal sürdürülebilirlik; şirketlerin sosyal ve çevresel kaygılarını ticari faaliyetleriyle birleştirmesi ve paydaşlarının da gönüllü olmalarına olanak sağlayan bir kavramdır.

Tartışmalar, sürdürülebilirlik girişimlerinin ve stratejik yönelimin, maliyet azaltma (Stead ve Stead, 2009), itibar etkileri (Falkenberg ve Brunsael, 2011), yenilikçilik (Santos vd., 2009) ve ekonomik performans gibi diğer faktörlerle doğrudan bağlantılı olduğunu göstermektedir.

Araştırmanın amacı, iş dünyasından uygulayıcıların ve akademisyenlerin Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nden en çok hangileri hakkında görüşlerinin olduğunu tespit etmek ve bu konuda çözüm geliştirmektir. Bu genel amaca bağlı olarak hazırlanan araştırma sorusu, "Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım Paneli'ndeki işletme yöneticilerinin ve akademisyenlerin sürdürülebilirlikle ilgili kullandıkları anahtar kavramlar nelerdir?" şeklinde belirlenmiştir. Bu çalışma için Harvard Business Review dergisinin düzenlediği, "Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım", paneline katılmak suretiyle panelin video kaydı alınmıştır. Araştırmada 23 konuşmacının ses kaydından toplanan veriler, nitel araştırma çözümleme tekniklerinden betimsel çözümleme tekniği ve MAXQDA nitel veri çözümleme programı kullanılarak çözümlenmiştir. "Gezegenimizi hayatta tutmak adına sürdürülebilirlik bu kadar önemliyken uygulamada yanlış olan ya da eksik kalan ne?" sorusu cevaplanması gereken en temel soru olarak karşımıza çıkmaktadır. İşte bu noktada sürdürülebilirlik adına hem uygulayıcı hem örnek teşkil edici olan işletme yöneticilerinin ve akademisyenlerin kavrama bakışı önem arz etmektedir. Çalışma sonucunun bu noktada farkındalık yaratacağı düşünülmekte olup çalışma, uygulayıcıların sürdürülebilirlik kavramı ile ilgili

Makalenin yapısı şu şekildedir: 1. Bölüm; "Giriş", 2. Bölüm "Sürdürülebilir Kalkınma ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları" ve "Kurumsal Sürdürülebilirlik" ile ilgili literatür incelemesi sunmaktadır. Bölüm 3; araştırmanın amacını, yöntemini içermekte ve iş dünyasından uygulayıcıların ve akademisyenlerin Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden en çok hangileri hakkında görüşlerinin olduklarını tespit etmek adına bir inceleme sunmaktadır. Bölüm 4; bulgular ve yorumları içermekte olup belirlenen hedefleri detaylandırarak açık bir şekilde sağlam bir temel oluşturmaktadır. Son olarak, bölüm 5; bazı sonuçları ve önerileri kapsamaktadır.

2. Literatür Taraması

2.1 Sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir kalkınma amaçları

Çevre-kalkınma münakaşasında dikkat çekici bir dönüşüm görülmesi ile birlikte önceden sorulmakta olan "Kalkınma ve çevresel kaygılar birbiriyle çelişiyor mu?" sorusu "Sürdürülebilir kalkınma nasıl sağlanabilir?" sorusuna dönüşmüş olup "Sürdürülebilir Kalkınma" ifadesinin yaygın hale getirilmiş olduğu görülmektedir (Lele, 1991: 607). Sürdürülebilir kalkınma, iyi yaşam koşulları sağlarken uzun vadede var olabilen ve çoğalabilen bir insan yaşam biçimini ifade etmektedir. En temel anlamda, sürdürülebilir kalkınma, insanların gelecekte uzun bir süre hayatta kalmalarına ve iyi hayatlar sürmelerine izin veriyorsa, "Bu ne anlama gelmektedir?" sorusunun cevabıdır (Borowy, 2014: 2). Sürdürülebilir kalkınma, çağımız için merkezi bir kavramdır. Hem dünyayı anlamının hem de küresel sorunları çözmenin bir yöntemidir. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin, gelecek nesilde dünyanın ekonomik diplomasisine rehberlik edeceği düşünülmektedir (Sachs, 2015: 1). Sürdürülebilir kalkınma, dünyayı ekonomik, sosyal, çevresel ve politik sistemlerin karmaşık bir etkileşimi olarak anlamının bir yoludur. Bu aynı zamanda normatif veya etik bir dünya görüşüdür, iyi işleyen bir toplumun hedeflerini tanımlamanın bir yolu, bugünün vatandaşları ve gelecek nesiller için refah sağlayan bir yoldur. Sürdürülebilir kalkınmanın temel noktası, iyi bir toplumun nasıl olması gerektiğine dair bütünsel bir vizyona sahip olmamızı teşvik etmesidir (Sachs, 2015: 11).

Kurumların, günümüz pratiğinin temel sorunlarına veya kavramların açmazlarına değinmek yerine, genellikle sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınmayı sorunsuz olarak ele almayı tercih ettikleri görülmektedir. Ancak en çarpıcı bulgu, şirketlerin birçoğunun artık sürdürülebilirliğe doğru bir "yolculuk" yaptıklarını değil, sürdürülebilirlik ilkelerini zaten entegre ettiklerini ve yıllardır bu şekilde çalıştıklarını iddia etmeleridir (Ihlen ve Roper, 2014: 42). Kurumsal Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi, kuruluşu sürdürülebilir uygulamalara doğru yönlendiren ve aynı kuruluşun küresel sürdürülebilir kalkınmaya nasıl katkıda bulunduğunu gösteren araçların bir çerçevesidir. Birleşmiş Milletlerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ni raporlamaya dahil etme ihtiyacı sürdürülebilirlik topluluğu tarafından savunulmaktadır. Sürdürülebilirlik, yönlendirilmiş bir değişim süreci olarak görülmektedir (Moldavska ve Welo, 2019: 53-54).

Sürdürülebilir kalkınmanın gerekliliklerine uymak, iş dünyası için çok yüksek bir önceliklidir. (Tsalis vd., 2020: 1617). Sürdürülebilir kalkınma, şirketler için bir başarı, yenilik ve karlılık kaynağı olabilir. Bu kaynağı kullanmak ve

sürdürülebilirliğin zorluğuyla başa çıkmak için şirketlerin, fırsatları ve tehditleri belirlemeye ve daha sürdürülebilir kurumsal sürdürülebilirlik stratejilerini geliştirmek, uygulamak, kontrol etmek ve iyileştirmek için güvencebilecekleri bir çerçeveye ihtiyaçları vardır (Baumgartner, 2014: 258). Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, sürdürülebilir kalkınmanın istenen sonucunu ifade eden 17 geniş kapsamlı hedeften oluşan bir dizidir. Türkiye dahil tüm Dünya'da insanların karşı karşıya kaldığı ana sorunların çözümünün hedeflendiği, birbiri ile bağlantılı on yedi hedef; "1 Yoksulluğa son, 2 Açlığa son, 3 Sağlık ve kaliteli yaşam, 4 Nitelikli eğitim, 5 Toplumsal cinsiyet eşitliği, 6 Temiz su ve sanitasyon, 7 Erişilebilir ve temiz enerji, 8 İnsana yakışır iş ev ekonomik büyüme, 9 Sanayi, yenilikçilik ve altyapı, 10 Eşitsizliklerin azaltılması, 11 Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar, 12 Sorumlu üretim ve tüketim, 13 İklim eylemi, 14 Sudaki yaşam, 15 Karasal yaşam, 16 Barış, adalet ve güçlü kurumlar, 17 Amaçlar için ortaklıklar" olarak belirlenmiştir. Özel sektör, kurumsal sürdürülebilirlik eylemleri yoluyla bu hedeflere ulaşmada kilit bir faktördür. Ancak, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin firma düzeyinde uygulanmasına ilişkin bir araştırma eksikliği vardır ve özel sektörün kurumsal sürdürülebilirlik yoluyla hedeflere nasıl ulaşabileceği belirsizliğini korumaktadır. Her Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi eşit öneme sahip olarak kabul edilirken, bunların uygulanmasını yorumlamak ve önceliklendirmek bireysel olarak firmaların sorumluluğundadır (Ike vd., 2019: 117). Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin yakın zamanda tanıtılması, işletmelerin sürdürülebilir iş uygulamalarıyla nasıl ilişki kurduğuna ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin nasıl daha iyi uygulanabileceğine dair bir anlayış gerektirmektedir. İşletmeler, sürdürülebilirlik konularının ve hedeflerinin neler olduğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Topple vd., 2017: 61).

Birçok şirket sürdürülebilirlik yönetimini araştırıp sürdürülebilirlik raporları yayınlarsa da, bu çabadaki ana odak noktaları belirsizliğini korumaktadır. Çoğu zaman, sürdürülebilirlik konularının net bir stratejiden ziyade tesadüfi bir şekilde takip edildiği görülmektedir. Bir yandan sürdürülebilirliğin ekonomik, ekolojik ve sosyal boyutlarıyla ilgili farklı yönlerinin belirlenmesi için araştırmalar yapılmaktadır. Çeşitli sürdürülebilirlik stratejilerinin özellikleri ile ilgili olarak tanımlanmış sürdürülebilirlik hedeflerine verimli bir şekilde ulaşmak için uygulanması gereken temel sürdürülebilirlik konuları belirlenmektedir (Baumgartner ve Ebner, 2010: 76). Kurumsal stratejiler ile "Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri" arasındaki uyum, uzun vadeli sürdürülebilirlik başarısının bir göstergesi olabilir (Zanten ve Tulder, 2021: 2396).

2.2 Kurumsal sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik için bir plan üzerinde bir fikir birliği olmamasına rağmen, sürdürülebilirlik literatürünün çoğunda geleceğe yönelik hedefler bazı ortak temalar (mutlak yoksulluk ve açlığın ortadan kaldırılması, sağlık ve eğitim gibi temel sosyal hizmetlere evrensel hak sağlanması, her yerde yaşam kalitesini iyileştirmek ve yerine getirme olanaklarını genişletmek, ekonomik ve sosyal eşitsizliklerin azaltılması, biyolojik kaynakların ve ekosistemlerin korunmasıyla çevre kalitesinin artırılması, kirliliğin ve iklim istikrarının azaltılması, şiddetin ve silahlı çatışmaların azaltılması, küresel nüfusun dengelenmesi) etrafında toplanmaktadır (Gallopın and Raskin, 2016: 30).

Kalkınma Komisyonu tarafından yayımlanan "Ortak Geleceğimiz" başlıklı raporda sürdürülebilirlik kavramı; gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye

atmadan bugünkü nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilirlik faaliyetleri, tüm dünyada geniş bir uğraş alanı oluşturmasına rağmen bu toplu uğraşın bir parçası olan işletme sürdürülebilirliği ise arz ve talep zincirini de kapsayacak biçimde işletme etkinliklerinin dünya ekosistemine olan etkilerinin azaltılması ve yok edilmesi biçiminde ifade edilebilir (UN WCED, 1987; Høgevold ve Svensson, 2012). Kurumsal sürdürülebilirlik ise daha özellikli, işletmenin kurumsal kimliğine yerleşen ve işletmenin kültürünü oluşturan bir norm haline dönüştüğü bir olgudur. Kurumsal sürdürülebilirlik kavramı; finansal, çevresel ve sosyal boyutlardan oluşmaktadır. Bazı çalışmalarda ekonomik sürdürülebilirlik, bazı çalışmalarda sosyal sürdürülebilirlik, bazı çalışmalarda da çevresel sürdürülebilirlik konuları üzerinde durularak karşımıza çıkmaktadır. (Peteraf, 1993; Porter, 1985; Sharma ve Ruud, 2003; Linnenluecke vd., 2009). Ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik olmak üzere üç sütun üzerine kurulmuş olan (Besler, 2009: 10) kurumsal sürdürülebilirliğin temel ilkelerini ortaya koyma bakımından Elkington'un geliştirdiği "Üçlü Kar Hanesi (Triple Bottom Line)" şeklinde isimlendirilen gezegen, insan ve kar boyutlarından oluşan model ele alınmalıdır (Besler, 2009: 3; Elkington, 1999). Elkington, gezegen, insan ve kar olmak üzere bu üç unsuru kurumsal sosyal sorumluluk çerçevesinde ele almıştır.

İş ve toplum arasındaki ilişki gelişmekte olup bir yandan, Birleşmiş Milletler "2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi" kapsamında yer alan sosyal, çevresel ve uzun vadeli ekonomik konular, hükümetler arası kuruluşlara, hükümetlere, sivil toplum kuruluşlarına, vakıflara ve sivil topluma; kurumsal davranışları daha büyük bir endişe doğrultusunda yasama ve düzenleme konusunda grupların, bölgelerin veya tüm toplumların refahı için ilham vermektedir. Bir öz düzenleme biçimi olarak kurumsal sorumluluk, işletmelerin topluma karşı sahip olduğu karmaşık sorumluluklarla ilgilenir. Bununla birlikte, günlük iş operasyonlarına entegre edilmesi veya ulusal veya kurumsal kültürler arasında tercüme edilmesi zor olan teoloji ve felsefeye dayalı iş etiğine yapılan vurgu tarafından engellenme eğilimindedir. Kurumsal sürdürülebilirlik, bir firmanın ekonomik olarak motive edilmiş tüm davranışlarının tüketicilerin, çalışanların ve sahiplerin veya hissedarların çıkarına olan uzun vadeli sosyal ve çevresel etkilerini dikkate alan sistematik bir iş yaklaşımı ve stratejisini ifade etmektedir. Ekonomik, sosyal ve çevresel kaygıların artık ayrı ve bağımsız olarak ele alınmayacağı zamanlarda yaşamaktayız. Sürdürülebilir Kalkınma için Birleşmiş Milletler 2030 Gündemi ve bunun ile bağlantılı 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'ne yönelik konum ne olursa olsun, hükümetlerin yürütme, yasama ve yargı organlarına gireceği; sivil toplum kuruluşlarını, vakıfları ve hükümetler arası kuruluşları finanse edeceği ve onlara ilham vereceği ve de tüm dünyada seçmenler, tüketiciler, sivil toplum ve sivil toplumlar arasında artan bir duyarlılığın parçası olacağı düşünülmektedir. Dikkatle kavramsallaştırılan ve stratejik olarak uygulanan kurumsal sürdürülebilirliğin bu açıdan faydalı olacağı ortaya çıkmaktadır. Kurumsal sürdürülebilirliğin, iş ve toplum için daha sürdürülebilir bir gelecek yaratmak amacıyla değişim odaklı ve politikayla ilgili araştırma ve uygulamaları geliştireceği ve teşvik edeceği düşünülmektedir (Bergman, Bergman ve Berger, 2017). Sürdürülebilir kalkınma, yalnızca ülkeleri ve bu ülkeleri yönetenleri kapsayan bir kavram olarak sınırlandırılmamaktadır. Kurumlar düzeyinde dikkate ele alınması gereken bir kavram olarak karşımıza çıkmasında daha fazla bilinçlenen, hem kendisi hem de içinde yaşadığı toplum için daha iyisini talep eden tüketiciler etkindir. Sürdürülebilirlik, şirketlerin yalnızca ekonomik değil, çevresel ve sosyal konuları da iş yapış şekillerine

eklemelerine zorunluluk getirmektedir. Hesap verilebilirlik çağı olarak isimlendirilen bu yüzyılda teknolojinin gelişmesi, tüketicinin daha da bilinçlenmesi ve kurumlardan taleplerinin artması, bu gelişmelere bağlı olarak yoksulluğun artması, paydaşların söz sahibi olması ve yatırımcıların beklentileri sebebi ile de sürdürülebilirlik kavramı, kurumlarda uygulanması zorunlu bir duruma dönüşmektedir (Engin ve Eker Akgöz, 2013: 88).

3. Materyal ve Metodoloji

3.1 Araştırmanın amacı

Araştırmanın amacı, iş dünyasından uygulayıcıların ve akademisyenlerin Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden en çok hangileri hakkında görüşlerinin olduğunu tespit etmek ve bu konuda çözüm geliştirmektir. Bu genel amaca bağlı olarak hazırlanan araştırma sorusu şu şekildedir: “İş dünyasından uygulayıcıların ve akademisyenlerin görüşlerine göre, en çok üzerinde durulan alt hedefler hangileridir?”.

3.2 Yöntem

“Gezegemizi hayatta tutmak adına sürdürülebilirlik bu kadar önemliken uygulamada yanlış olan ya da eksik kalan ne?” sorusu cevaplanması gereken en temel soru olarak karşımıza çıkmaktadır. İşte bu noktada sürdürülebilirlik adına hem uygulayıcı hem örnek teşkil edici olan işletme yöneticilerinin ve akademisyenlerin kavrama bakışı önem arz etmektedir. Bu nedenle araştırma sorusu: “Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım Paneli’ndeki işletme yöneticilerinin ve akademisyenlerin sürdürülebilirlikle ilgili kullandıkları anahtar kavramlar nelerdir?” şeklinde belirlenmiştir. Bu çalışmada, işletme yöneticileri ile akademisyenlerin sürdürülebilirlik konusundaki görüşlerini anlamak için bir nitel araştırma yapılmıştır. Araştırmanın amacı, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri’ne ilişkin katılımcıların görüşlerini belirlemek ve analiz etmektir. Bu çalışma için Harvard Business Review dergisinin düzenlediği “Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım” paneli doküman analizinde kullanılmıştır. Nitel araştırmanın örneklem büyüklüğü genellikle 5 ile 50 katılımcı arasında olmasına rağmen, bu çalışmanın amaçlarına bağlıdır (Castillo-Montoya, 2016: 21). Çalışmamızın amacı doğrultusunda paneldeki 23 konuşmacının kayıtları analize tabi tutulmuştur. Sürdürülebilirlik Zirvesi’ne katılan işletme yöneticilerinin ve akademisyenlerin görüşlerinin elde edilmesinin en etkin yolunun video kayıt değerlendirmesi olacağı düşünüldüğünden çalışmamız doküman analizi yöntemiyle yapılmıştır. Bilimsel bir araştırma yöntemi olan doküman analizi, araştırma verilerinin birincil kaynağı olarak çeşitli dokümanların toplanması, gözden geçirilmesi, sorgulanması ve analizidir (Sak vd., 2021: 228). Bu çalışma için Harvard Business Review dergisinin düzenlediği, “Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım”, paneline katılmak suretiyle panelin video kaydı alınmıştır. Sonrasında Harvard Business Review dergisi, panelin videosunu web sayfasından da ulaşılabilir kılmıştır (URL-1). Bu da çalışmamızdaki dokümanların orijinal olup olmadığını kontrol edilmesini sağlamıştır. Sak vd. (2021) bu durumu doküman analizinin önemli noktalarından biri olarak belirtmiştir (Sak vd., 2021: 235). Yapılan çalışmada Merriam ve Tisdell (2015)’in, uygun dokümanları bulma, dokümanların orijinalliğini kontrol etme, kodlama ve kataloglama konusunda bir sistematik oluşturma (Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3) ve veri analizi yapma şeklinde tanımladığı aşamalar temel alınmıştır. Geray (2006),

dokümanları niteliklerine ve buldukları ortama göre sınıflamıştır. Çalışmamızda bu sınıflandırmadan, görsel işitsel temelli olanlardan (belgeseller, TV programları, videolar, sinema filmleri gibi) video kullanılmaktadır. “Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım” videosu araştırmaya zengin bilgiler sunabilecek nitelikte amaçlı bir seçimdir. Nitel çalışmalarda amaçlı seçim; araştırmacının, incelediği olguya uygun olarak birey, mekân ve durumları seçmesidir (Baltacı, 2018: 266). Ayrıca nitel araştırmada kullanılan örneklem büyük gruplar yerine, araştırmacının amaçlarını karşılayan, detaylı veri sunabilecek en zengin bilgi içeren örneklerini kapsamalıdır (Coyne, 1997, Morgan ve Morgan, 2008). Araştırmamızda kullanılan 23 ses kaydının bu içeriği kapsadığı düşünülmektedir. Kodlama konusunda temel tanımlayıcı kategoriler oluşturmak, araştırmacının analiz ve yorumlama sürecinde bilgiye kolay ulaşabilmesinde kolaylık sağlayacaktır (Merriam ve Tisdell, 2015). Kodlama, tümevarımsal veya tümdengelimli olabilir. Tümdengelimli kodlama, iyi tanımlanmış veya önceden tanımlanmış bir dizi ilgi alanına sahip araştırma analistleri tarafından kullanılan yaklaşımdır. Buna karşılık, tümevarımsal kodlama, araştırmacı verileri okurken ortaya çıkan genel temaların ve fikirlerin tanımlanmasıyla başlar. Bu işleme açık kodlama da denir (Palys ve Atchison, 2014: 304-305). Birleşmiş Milletler’in Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri kapsamındaki çalışmada tümdengelimli kodlamadan yararlanılmıştır. Araştırma verilerinin çözümlenmesinde içerik analizi kullanılmıştır. Çalışmanın güvenilirliği için video, sürdürülebilirlik konusuyla ilgili çalışan iki farklı araştırmacı tarafından ayrı ayrı izlenerek kodlanmıştır ve ortak kodlanan anahtar kelimeler baz alınmıştır. Bu oran %87 ile Miles ve Huberman (1994)’ın %80 olmasının güvenilirlik için yeterli olacağını ifade ettiği orandan yüksek ve araştırmanın güvenilir olduğu ifade edilebilir. Araştırmada toplanan veriler, nitel araştırma çözümlene tekniklerinden betimsel çözümlene tekniği ve MAXQDA nitel veri çözümlene programı kullanılarak çözümlenmiştir.

İnsanlık için kritik öneme sahip ve 5P (People, Planet, Prosperity, Peace, Partnership) olarak tanımlanan “insanlar, gezegen, refah, barış ve ortaklıklar” (www.sdgs.un.org) çekirdek ilkeleri etrafında Sürdürülebilir kalkınmanın 17 amacı şekillenmiştir. Bu beş ana tema ve “Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri” temel alınarak “kod, kategori ve temalar” hazırlanmıştır. İki farklı araştırmacı tarafından videolar ayrı ayrı izlenmiştir. Verilerin anlamlı parçalara ayrılmasına ve parçalar arasındaki anlam bütünlüğünü korumaya dikkat edilerek konuşmalarda sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında olan kelime / kelime grupları kodlanmıştır ve ortak kodlanan anahtar kelimeler baz alınmıştır. Anahtar kelimeler doğrultusunda oluşturulan kodların incelenmesi ile ortak fikirlerden oluşan kodları içeren kategoriler belirlenmiştir. Kategoriyi temsil eden anahtar kelimeler / ortak kodlanan kelimeler kategorilerle eşleştirilmiş olup kategorilerde; “Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri” olan 17 hedef, temel alınmıştır. İnsanlık için kritik öneme sahip çekirdek ilkeler kapsamında temalar belirlenerek temalarda “Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri” temel alınmıştır. Kodlara göre kategoriler ve kategorilere göre de temalar oluşturulmuştur. Toplanan veriler kodlara ayrılarak belirli kategoriler oluşturulmuştur. Birbiri ile bağlantılı kodlar aynı kategori altına alınmış olup sonrasında temalar elde edilmiştir.

Araştırmada toplanan veriler, nitel araştırma çözümlene tekniklerinden betimsel çözümlene tekniği ve MAXQDA nitel veri çözümlene programı kullanılarak çözümlenmiştir.

Tablo 1. Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedefleri temel alınarak hazırlanan kodlar.

KOD NO	KOD
1	Yoksulluğu sona erdirmek
2	Açlığı bitirmek
3	Gıda güvenliği
4	Sürdürülebilir tarımı desteklemek
5	İyi beslenme
6	İstikrarlı, kapsayıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyüme
7	Tam ve üretken istihdam
8	İnsana yakışır işleri desteklemek
9	Karşılabilir
10	Güvenilir
11	Sürdürülebilir
12	Modern enerji
13	Sürdürülebilir üretim kalıpları
14	Sürdürülebilir tüketim kalıpları
15	Okyanusları korumak
16	Denizleri ve deniz kaynaklarını ve sürdürülebilir kullanmak
17	Karasal ekosistemleri korumak
18	Sürdürülebilir orman yönetimini
19	Çölleşme ile mücadele
20	Arazi bozunumunu durdurmak
21	Biyolojik çeşitlilik kaybını engellemek
22	Dayanıklı altyapılar tesis etmek
23	Sürdürülebilir sanayileşmeyi desteklemek
24	Yenilikçiliği güçlendirmek
25	Kapsayıcı şehir
26	Güvenli şehir
27	Dayanıklı şehir
28	Sürdürülebilir şehir
29	Eyleme geçmek
30	Uygulama araçlarını güçlendirmek
31	Küresel ortaklığı canlandırmak
32	Her yaşta kaliteli yaşam
33	Her yaşta sağlıklı yaşam
34	Nitelikli eğitimi
35	Herkes için yaşam boyu öğrenim
36	Toplumsal cinsiyet eşitliğini sağlamak
37	Tüm kadınlar ile kız çocuklarını güçlendirmek
38	Herkes için erişilebilir su
39	Atık su hizmetleri
40	Sürdürülebilir su yönetimini güvence altına almak
41	Ülkeler içinde eşitsizlikleri azaltmak
42	Ülkeler arasında eşitsizlikleri azaltmak
43	Barışçıl toplumlar tesis etmek
44	Adalet erişimi sağlamak
45	Etkili kurumlar oluşturmak
46	Hesap verebilir kurumlar oluşturmak
47	Kapsayıcı kurumlar oluşturmak

Tablo 2. Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedefleri temel alınarak hazırlanan kategoriler.

KATEGORİ NO	KATEGORİ	İÇERDİĞİ KOD
A	Yoksulluğa son	1
B	Açlığa son	2,3,4,5
C	İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme	6,7,8,
D	Erişilebilir ve temiz enerji	9,10,11,12
E	Sorumlu üretim ve tüketim	13,14
F	Sudaki yaşam	15,16
G	Karasal yaşam	17,18,19,20,21
H	Sanayi, yenilikçilik ve altyapı	22,23,24
I	Sürdürülebilir şehir ve topluluklar	25,26,27,28
J	İklim eylemi	29
K	Amaçlar için ortaklıklar	30,31
L	Sağlık ve kaliteli yaşam	32,33
M	Nitelikli eğitim	34,35
N	Toplumsal cinsiyet eşitliği	36,37
O	Temiz su ve sanitasyon	38,39,40
P	Eşitsizliklerin azaltılması	41,42
R	Barış, adalet ve güçlü kurumlar	43,44,45,46,47

Tablo 3. Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedefleri temel alınarak hazırlanan temalar.

TEMA	TEMA ADI	İÇERDİĞİ KATEGORİ
1	YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ	A,B,C
2	ÇEVRENİN KORUNMASI	D,E,F,G
3	İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI	H,I,J,K
4	REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI	L,M,N,O,P,R

4. Bulgular ve Yorum

Maxqda'da oluşturulan kod bulutu Şekil 1'de gösterilmiştir. Kodlara ait frekanslar Tablo 4'te yer almaktadır. Kod bulutuna ait görsel, en çok kullanılan ilk on kodun

“sürdürülebilir”, “çölleşme ile mücadele”, “eyleme geçmek”, “modern enerji”, “kapsayıcı kurumlar oluşturmak”, “küresel ortaklığı canlandırmak”, “tam ve üretken istihdam”, “yenilikçiliği güçlendirmek”, “istikrarlı, kapsayıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyüme” ve “sürdürülebilir tüketim kalıpları” olduğunu ortaya çıkarmıştır.



Şekil 1. Sürdürülebilir kalkınma kod bulutu.

Tablo 4. Sürdürülebilir kalkınma kod frekansları.

	f	%	Derece
Sürdürülebilir	395	39,46	1
Çölleşme ile mücadele	109	10,89	2
Eyleme geçmek	105	10,49	3
Modern enerji	83	8,29	4
Kapsayıcı kurumlar oluşturmak	35	3,50	5
Küresel ortaklığı canlandırmak	35	3,50	5
Tam ve üretken istihdam	27	2,70	7
Yenilikçiliği güçlendirmek	27	2,70	7
İstikrarlı, kapsayıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyüme	26	2,60	9
Sürdürülebilir tüketim kalıpları	25	2,50	10
Sürdürülebilir üretim kalıpları	21	2,10	11
Toplumsal cinsiyet eşitliğini sağlamak	21	2,10	11
Güvenilir	17	1,70	13

Adalete erişimi sağlamak	14	1,40	14
Karşılabilir	11	1,10	15
Atık su hizmetleri	9	0,90	16
Karasal ekosistemleri korumak	8	0,80	17
Herkes için yaşam boyu öğrenim	6	0,60	18
Sürdürülebilir şehir	5	0,50	19
Kapsayıcı şehir	4	0,40	20
Sürdürülebilir sanayileşmeyi desteklemek	4	0,40	20
Sürdürülebilir tarımı desteklemek	4	0,40	20
Güvenli şehir	3	0,30	23
Sürdürülebilir su yönetimini güvence altına almak	3	0,30	23
Açlığı bitirmek	2	0,20	25
Barışçıl toplumlar tesis etmek	1	0,10	26
Uygulama araçlarını güçlendirmek	1	0,10	26

Araştırma kapsamındaki HBR panel katılımcılarının sürdürülebilir kalkınma konusu hakkındaki ifadelerinin belge temelli frekans tablosunda (Tablo 5); sürdürülebilir kalkınma teması altında yer alan kategoriler ve kategorileri oluşturan kodlar ve frekanslar ayrı ayrı yer almaktadır. Tüm

katılımcıların en çok üzerinde durdukları kod çölleşme ile mücadele, eyleme geçmek, modern enerji ve kapsayıcı kurumlar oluşturmak ve küresel ortaklığı canlandırmak şeklinde devam etmektedir.

Tablo 5. Kod sistemi belge temelli frekans tablosu.

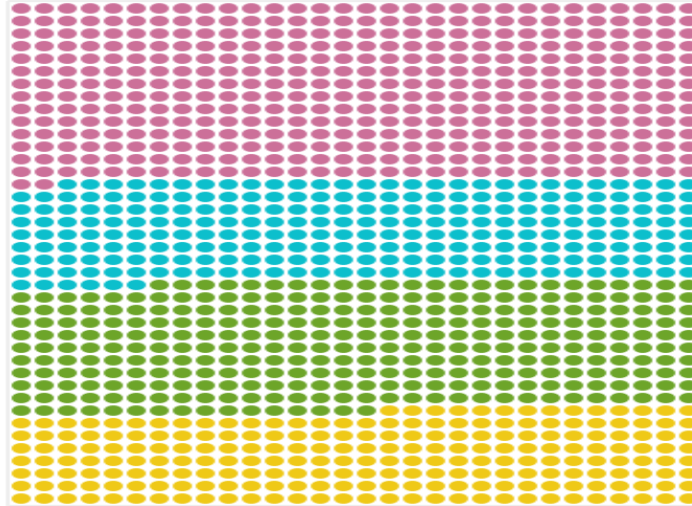
Kod Sistemi	Frekans
Kod Sistemi	278
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ	41
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ\Yoksulluğa son	1
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ\Açlığa son	9
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ\Açlığa son\iyi beslenme	2
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ\Açlığa son\sürdürülebilir tarımı desteklemek	4
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ\Açlığa son\gıda güvenliği	3
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ\Açlığa son\Açlığı bitirmek	0
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ\İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme	31
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ\İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme\İnsana yakışır işleri desteklemek	9
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ\İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme\tam ve üretken istihdam	10
sürdürülebilirlik\YOKSULLUĞUN SONA ERDİRİLMESİ\İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme\İstikrarlı, kapsayıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyüme	12
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI	66
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI \Erişilebilir ve temiz enerji	1
sürdürülebilirlik\ ÇEVRENİN KORUNMASI \Erişilebilir ve temiz enerji\modern enerji	12
sürdürülebilirlik\ ÇEVRENİN KORUNMASI\Erişilebilir ve temiz enerji\sürdürülebilir	0
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Erişilebilir ve temiz enerji\güvenilir	3
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Erişilebilir ve temiz enerji\karşılabilir	2
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Sorumlu üretim ve tüketim	17

sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Sorumlu üretim ve tüketim\Sürdürülebilir tüketim kalıpları	11
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Sorumlu üretim ve tüketim\Sürdürülebilir üretim kalıpları	6
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Sudaki yaşam	2
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Sudaki yaşam\denizleri ve deniz kaynaklarını ve sürdürülebilir kullanmak	2
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Sudaki yaşam\Okyanusları korumak	0
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Karasal yaşam	29
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Karasal yaşam\biyolojik çeşitlilik kaybını engellemek	7
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Karasal yaşam\arazi bozunumunu durdurmak	0
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Karasal yaşam\çölleşme ile mücadele	16
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Karasal yaşam\sürdürülebilir orman yönetimini	2
sürdürülebilirlik\ÇEVRENİN KORUNMASI\Karasal yaşam\Karasal ekosistemleri korumak	4
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI	75
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Sanayi, yenilikçilik ve altyapı	25
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Sanayi, yenilikçilik ve altyapı\yenilikçiliği güçlendirmek	11
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Sanayi, yenilikçilik ve altyapı\sürdürülebilir sanayileşmeyi desteklemek	10
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Sanayi, yenilikçilik ve altyapı\Dayanıklı altyapılar tesis etmek	4
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Sürdürülebilir şehir ve topluluklar	0
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Sürdürülebilir şehir ve topluluklar\sürdürülebilir şehir	2
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Sürdürülebilir şehir ve topluluklar\Dayanıklı şehir	1
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Sürdürülebilir şehir ve topluluklar\Güvenli şehir	0
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Sürdürülebilir şehir ve topluluklar\Kapsayıcı şehir	1
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\İklim eylemi	15
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\İklim eylemi\eyleme geçmek	15
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Amaçlar için ortaklıklar	33
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Amaçlar için ortaklıklar\küresel ortaklığı canlandırmak	21
sürdürülebilirlik\İKLİM KRİZİNE KARŞI ÖNLEM ALINMASI\Amaçlar için ortaklıklar\Uygulama araçlarını güçlendirmek	12
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI	96
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Sağlık ve kaliteli yaşam	13
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Sağlık ve kaliteli yaşam\her yaşta sağlıklı yaşam	5
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Sağlık ve kaliteli yaşam\Her yaşta kaliteli yaşam	8
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Nitelikli eğitim	13
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Nitelikli eğitim\herkes için yaşam boyu öğrenim	3
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Nitelikli eğitim\nitelikli eğitimi	10
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Toplumsal cinsiyet eşitliği	23
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Toplumsal cinsiyet eşitliği\tüm kadınlar ile kız çocuklarını güçlendirmek	10
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Toplumsal cinsiyet eşitliği\Toplumsal cinsiyet eşitliğini sağlamak	13

sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Temiz su ve sanitasyon	8
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Temiz su ve sanitasyon\sürdürülebilir su yönetimini güvence altına almak	4
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Temiz su ve sanitasyon\atık su hizmetleri	4
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Temiz su ve sanitasyon\Herkes için erişilebilir su	0
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Eşitsizliklerin azaltılması	2
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Eşitsizliklerin azaltılması\Ülkeler arasında eşitsizlikleri azaltmak	0
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Eşitsizliklerin azaltılması\Ülkeler içinde eşitsizlikleri azaltmak	2
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Barış, adalet ve güçlü kurumlar	37
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Barış, adalet ve güçlü kurumlar\kapsayıcı kurumlar oluşturmak	9
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Barış, adalet ve güçlü kurumlar\hesap verebilir kurumlar oluşturmak	8
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Barış, adalet ve güçlü kurumlar\etkili, kurumlar oluşturmak	15
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Barış, adalet ve güçlü kurumlar\adalet erişimi sağlamak	5
sürdürülebilirlik\REFAHIN ADİL PAYLAŞIMI VE BARIŞI \Barış, adalet ve güçlü kurumlar\barışçıl toplumlar tesis etmek	0

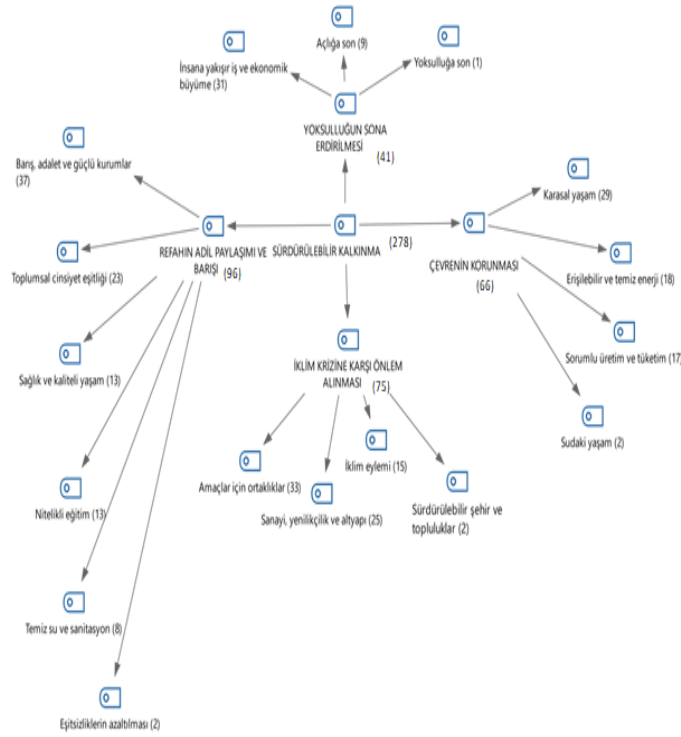
Araştırma kapsamındaki Harvard Business Review panel katılımcılarının sürdürülebilir kalkınma konusu hakkındaki ifadelerinin belge portresinde (Şekil 2); Yoksulluğun sona erdirilmesi, Sarı; Çevrenin korunması, Turkuaz; İklim krizine karşı önlem alınması, Yeşil; Refahın adil paylaşımı ve barış,

Mor renklerle belirtilmiştir. Belge portresi incelendiğinde refahın adil paylaşımı ve barış kategorisinin ilk sırada, iklim krizine karşı önlem alınması kategorisinin ikinci sırada ve devamında çevrenin korunması ve yoksulluğun sona erdirilmesi kategorilerinin yer aldığı görülmektedir.



Şekil 2. Sürdürülebilir kalkınma belge portresi.

Yoksulluğun sona erdirilmesi = Sarı; Çevrenin korunması = Turkuaz; İklim krizine karşı önlem alınması = Yeşil; Refahın adil paylaşımı ve barış = Mor



Şekil 3. Sürdürülebilir kalkınma hiyerarşik kod modeli.

Araştırma kapsamındaki Harvard Business Review panel katılımcılarının sürdürülebilir kalkınma hakkındaki görüşlerinin kodlu bölüm temelli hiyerarşik kod alt kod modeli Şekil 3'te gösterilmiştir.

Araştırma bulguları-çıkarımlar

Nitel araştırmamızın verileri Harvard Business Review dergisinin "Sürdürülebilirlik: Değer Odaklı Yaklaşım Paneli"ndeki katılımcılardan elde edilmiştir ve tematik analizler Maxqda 2020 ile analiz edilmiştir. Birleşmiş Milletler sürdürülebilirlik amaçlarına dayalı olarak elde edilen dört ana tema; yoksulluğun sona erdirilmesi, çevrenin korunması, iklim krizine karşı önlem alınması ve refahın adil paylaşımı ve barışı şeklindedir. İki farklı araştırmacı tarafından panel katılımcılarının görüşlerini içeren videoların ayrı ayrı izlenerek kodlanması ile ve ortak kodlanan anahtar kelimeler baz alınmıştır. Katılımcıların görüşleri ile şekillenen kodlar; kategorilerle eşleştirilmiş olup kategorilerde "Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri" olan 17 hedef temel alınmıştır. İnsanlık için kritik öneme sahip çekirdek ilkeler kapsamında temalar belirlenerek "Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri" temel alınmıştır. Araştırma kapsamındaki Harvard Business Review panel katılımcılarının sürdürülebilir kalkınma konusu hakkındaki ifadelerinin belge temelli frekans tablosunda (Tablo 5); sürdürülebilir kalkınma teması altında yer alan kategoriler ve kategorileri oluşturan kodlar ve frekanslar ayrı ayrı yer almaktadır. Yoksulluğun sona erdirilmesi üç kategoriye ayrılmıştır: (1) Yoksulluğa son, (2) Açılığa son ve (3) İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme. Üç kategorinin altında toplam sekiz kod oluşturulmuştur. Daha sonra çevrenin korunması dört kategoriye ayrılmıştır: (1) Erişilebilir ve temiz enerji, (2) Sorumlu üretim ve tüketim, (3) Sudaki yaşam ve (4) Karasal yaşam. Dört kategorinin altında toplam on üç kod oluşturulmuştur. İklim krizine karşı önlem alınması dört kategoriye ayrılmıştır: (1) Sanayi, yenilikçilik ve altyapı, (2) Sürdürülebilir şehir ve topluluklar, (3) İklim eylemi ve (4) Amaçlar için ortaklıklar. Dört kategorinin altında toplam on kod oluşturulmuştur. Refahın adil paylaşımı ve barışı altı kategoriye ayrılmıştır: (1) Sağlık ve kaliteli yaşam, (2) Nitelikli eğitim, (3) Toplumsal cinsiyet eşitliği, (4) Temiz su ve

sanitasyon, (5) Eşitsizliklerin azaltılması ve (6) Barış, adalet ve güçlü kurumlar. Altı kategorinin altında toplam on altı kod oluşturulmuştur.

Birleşmiş Milletler sürdürülebilirlik amaçlarına dayalı olarak elde edilen dört ana temanın frekansları sırasıyla, refahın adil paylaşımı ve barışı (96), iklim krizine karşı önlem alınması (75), çevrenin korunması (66) ve yoksulluğun sona erdirilmesi (41) şeklindedir. Bu noktada yoksulluğun son sırada yer alması yoksulluk kavramının birleşmiş milletler hedeflerinde de diğer birçok kavramla iç içe geçmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Yoksulluk, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasını olumsuz yönde etkileyebilecek tek sorun değildir. Aksine, iklim değişikliğinin beraberinde getirdiği karmaşık bir etki yaratmaktadır (Nilsson, Griggs ve Visbeck, 2016). Yoksulluğun sona erdirilmesi için, yoksul insanları eğitmek ve eğitmek için kaynakların sağlanması, daha fazla fırsat için kapasitelerin oluşturulması (Sanz, Peris ve Escámez, 2017), iklim değişikliği, aşırı olaylar veya diğer afetlerle ilgili hassas koşullarda olanlar için dayanıklılık oluşturulması (Hallegatte ve Rozenberg, 2017), yoksullukla mücadele programlarının uygulanması için mali kaynakların seferber edilmesi (Antoniades vd., 2020), risk, kırılganlık ve eşitsizliği önlemek için uygun sosyal koruma sistemlerinin varlığı gereklidir (Fiszbein, Kanbur ve Yemstov, 2014). Bulgularımız içerisinde yoksulluğun sona erdirilmesi temasının alt kategorilerinden en yüksek frekansa sahip olan "İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme" kategorisidir. Bu bulgu da araştırmamızdaki katılımcıların yoksulluğa bakış açılarını anlamlı bir şekilde ortaya koymaktadır. Yoksulluğun çok boyutlu bir kavram olduğu gerçeğini (Sanz, Peris ve Escámez, 2017) doğrulamaktadır.

Katılımcı frekanslarında ilk sırada yer alan tema ise refahın adil paylaşımı ve barışıdır. Bu noktada araştırmamızdaki katılımcılar ilk sırada "barış, adalet ve güçlü kurumlar" kategorisinin önemini vurgulamışlardır. Bu kategori; devletin her düzeyinde hukukun üstünlüğü, şeffaflık, hesap verebilirlik, iyi yönetim ve ayrımcılık yapmamayı teşvik etmesi, herkes için adalete eşit erişimin sağlanması ve herkesin temel özgürlüklerinin korunması, şiddet içeren ölümleri, işkenceyi, istismarı, sömürüyü, ayrımcılığı, insan ticaretini, yolsuzluğu ve

organize suçları, her türlü şiddeti önemli ölçüde azaltmayı ve barışı teşvik etmeyi içermektedir (www.sustainabledevelopment.un.org). Bu açıdan incelendiğinde katılımcıların frekans sıralamasında ilk sırada "barış, adalet ve güçlü kurumlar" in yer alması, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin uygulayıcılar ve akademisyenler tarafından öncelikli olarak hukukun üstünlüğü, adalet, demokrasi, insan hakları ve eşitliğin teşvik edilmesi, toplumun ve devletin güçlendirilmesi şeklinde ele alındığını göstermektedir (Dasandi ve Mikhaylov, 2019: 1; Edwards ve Romero 2014). İklim krizine karşı önlem alınması temasında "amaçlar için ortaklıklar" kategorisi ilk sırada yer almaktadır. Bu kategori; finans, teknoloji, kapasite geliştirme, ticaret, politika ve kurumsal tutarlılık, çok paydaşlı ortaklıklar, veri denetim ve hesap verebilirlik uygulama araçlarını güçlendirmek ve sürdürülebilir kalkınma için küresel ortaklığı canlandırmak konularını içermektedir (URL-2). Katılımcılar aynı amaçları paylaşan küresel ortaklıklar konusunda gereken önemin farkındadırlar.

Genel olarak baktığımızda Birleşmiş Milletler Sürdürülebilirlik Hedefleri kapsamında yapılan kodlamada araştırma kapsamındaki panel katılımcılarının üzerinde en fazla durdukları kodlar; "barış, adalet ve güçlü kurumlar", "amaçlar için ortaklıklar", "karasal yaşam" ve "insana yakışır iş ve ekonomik büyüme"dir. Bu sonuç sürdürülebilirlik kavramının ruhuyla birebir örtüşmektedir. Bu, gezegenimizin varlığı, barış ve adaletin tesisi için ortak amaçlarda birleşen insanların güçlü kurumlar kurduğu, insana yakışır işlerde çalışılan bir ekonomik büyüme modeli olarak ifade edilebilir.

Mevcut nitel çalışmanın bazı doğal sınırlamaları vardır. Nitel araştırma, tüm verilerin ve sonuçların geçerliliğini sağlamak için dikkatli planlama ve beceriler gerektirir. Bulgular, tek başına nicel veya matematiksel modelleme yoluyla doğrulanamaz ve küçük örneklem boyutu nedeniyle bulgular başka bağlamlara genelleştirilemez.

5. Sonuç ve Öneriler

Araştırmanın amacı, iş dünyasından uygulayıcıların ve akademisyenlerin Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile ilgili görüşlerini tespit etmek ve bu konuda çözüm geliştirmektir. Amaca bağlı olarak hazırlanan araştırma sorusu şu şekildedir: "Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım Paneli'ndeki işletme yöneticilerinin ve akademisyenlerin sürdürülebilirlikle ilgili kullandıkları anahtar kavramlar nelerdir?" olarak geliştirilmiştir. Bu çalışma için Harvard Business Review dergisinin düzenlediği, "Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım", panelindeki 23 konuşmacının ses kaydından toplanan veriler, nitel araştırma çözümlene tekniklerinden betimsel çözümlene tekniği ve MAXQDA nitel veri çözümlene programı kullanılarak çözümlenmiştir. "Gezegenimizi hayatta tutmak adına sürdürülebilirlik bu kadar önemliyken uygulamada yanlış olan ya da eksik kalan ne?" sorusu cevap bulması gereken temel bir soru olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada sürdürülebilirlik adına hem uygulayıcı hem örnek teşkil edici olan işletme yöneticilerinin ve akademisyenlerin kavrama bakışı ve görüşleri önemlidir. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin uygulanmasını yorumlamak ve önceliklendirmek bireysel olarak firmaların sorumluluğundadır ve işletme yöneticilerinin görüşleri önemlidir. İşletmeler, sürdürülebilirlik konularının ve hedeflerinin neler olduğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sürdürülebilirlik bilincinin yaygınlaştırılması açısından farklı kitleleri etkilemeleri bakımından uygulayıcıların ve akademisyenlerin görüşleri önem arz etmektedir. Çalışma sonucunun bu noktada farkındalık yaratacağı düşünülmektedir.

Birleşmiş Milletler sürdürülebilirlik amaçlarına dayalı olarak elde edilen dört ana tema; yoksulluğun sona erdirilmesi,

çevrenin korunması, iklim krizine karşı önlem alınması ve refahın adil paylaşımı ve barışı şeklindedir. Katılımcı frekanslarında ilk sırada yer alan tema ise refahın adil paylaşımı ve barışıdır. Bu noktada araştırmamızdaki katılımcılar ilk sırada "barış, adalet ve güçlü kurumlar" kategorisinin önemini vurgulamışlardır. Genel olarak baktığımızda Birleşmiş Milletler Sürdürülebilirlik Hedefleri kapsamında yapılan kodlamada araştırma kapsamındaki panel katılımcılarının üzerinde en fazla durdukları kodlar; "barış, adalet ve güçlü kurumlar", "amaçlar için ortaklıklar", "karasal yaşam" ve "insana yakışır iş ve ekonomik büyüme"dir. Bu sonuç sürdürülebilirlik kavramının ruhuyla birebir örtüşmektedir. Bu, gezegenimizin varlığı, barış ve adaletin tesisi için ortak amaçlarda birleşen insanların güçlü kurumlar kurduğu, insana yakışır işlerde çalışılan bir ekonomik büyüme modeli olarak ifade edilebilir. Katılımcıların görüşleri, sürdürülebilirlik kapsamında önem verilmesi gereken konuları işaret etmektedir.

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ne ulaşmak için i) dünyanın sürekli olarak barışçıl olması gerektiği, ii) dünya ekonomik yapısında önemli ve adil reformların yapılması gerektiği, iii) yoksul ülkelerdeki yoksulluk verilerinin uluslararası karşılaştırılabilirliğinin önemli ölçüde iyileştirilmesinin gerektiği ve iv) yoksul ülkelerde gerekli yatırım konusundaki belirsizliğin titizlikle ele alınması gerektiği özellikle vurgulanmıştır (Kamruzzaman, 2016: 1). Güçlü bir sahiplenme duygusu ve hükümet, özel sektör ve sivil toplum kuruluşları arasındaki işbirlikleri sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin başarısında büyük bir güç kaynağı olabilir. Ayrıca bu başarıyı dini kuruluşların katılımı da etkileyebilir (Rassanjani, 2018: 120). Nicolai vd. (2015), sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde nispeten kısa bir sürede kayda değer ilerleme kaydetmenin her ülkenin hayali olduğunu ancak bunun büyük olasılıkla diğer ulusların deneyimlerinden öğrenilerek başarılabilirliğini vurgulamaktadır. Kanun koyucular, üniversiteler, uzmanlar, iş dünyası, sivil toplum kuruluşları ve medya sürdürülebilirlik konusunda birlikte hareket ettikleri müddetçe başarılı olabileceklerdir. Çünkü sürdürülebilirlik, felsefesine inanıldığı takdirde uygulanabilecek ancak kanunlarla da mutlaka desteklenmesi gereken bir kavramdır.

Çalışma, sonucu ile sürdürülebilirlik ile ilgili hem uygulayıcı hem de örnek teşkil etmekte olan işletme yöneticileri ve akademisyenlerin kavrama bakış açılarını net bir şekilde ortaya koymuş olması ile birlikte eksiklikler konusunda öneriler sunması ile önem taşımaktadır. Çalışmada temel alınan kodlamanın tekrarlanabilir çalışmaları için literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Gelecekteki çalışmalar, karma yöntemler kullanarak sürdürülebilirlik kavramı ile ilgili farklı yönleri keşfedebilir. Farklı yıllarda yapılan Sürdürülebilirlik Zirvesi verileri ile karşılaştırmalı çalışmalar yapılabilir.

6. Bilgi

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

7. Kaynaklar

- Antoniades, A., Widiarto, I. & Antonarakis, A. S. (2020). Financial Crises and the Attainment of the SDGs: An Adjusted Multidimensional Poverty Approach. *Sustainability Science*, 15(6): 1683-1698.
- Baltacı, A. (2018). Nitel Araştırmalarda Örneklem Yöntemleri ve Örnek Hacmi Sorunsalı Üzerine Kavramsal Bir

- Inceleme. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(1): 231-274.
- Baumgartner, R. J. (2014). Managing Corporate Sustainability and CSR: A Conceptual Framework Combining Values, Strategies and Instruments Contributing to Sustainable Development. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 21(5): 258-271.
- Baumgartner, R. J. & Ebner, D. (2010). Corporate Sustainability Strategies: Sustainability Profiles and Maturity Levels. *Sustainable Development*, 18(2): 76-89.
- Bergman, M. M., Bergman, Z. & Berger, L. (2017). An Empirical Exploration, Typology, and Definition of Corporate Sustainability. *Sustainability*, 9(5): 753-765.
- Besler, S., (2009). Kurumsal Sürdürülebilirlik, Yönetim Yaklaşımlarıyla Kurumsal Sürdürülebilirlik, Ed.: S. Besler, Beta Basım, İstanbul, ss. 1-18.
- Borowy, I., (2014). Defining Sustainable Development for Our Common Future. Routledge Taylor and Francis Group, London and Newyork.
- Castillo-Montoya, M. (2016). Preparing for Interview Research: The Interview Protocol Refinement Framework. *The Qualitative Report*, 21(5): 811-831.
- Coyne, I. T., (1997). Sampling in Qualitative Research. Purposeful and Theoretical Sampling; Merging or Clear Boundaries?. *Journal of Advanced Nursing*, 26(3): 623-630.
- Dasandi, N. & Mikhaylov, S. J. (2019). All for SDG 16 on Peace, Justice, and Strong Institutions: Tracking Progress and Assessing Impact. In Position Paper for the IJCAI Workshop on Artificial Intelligence and United Nations Sustainable Development Goals. 1-3.
- Edwards, M. S. & Romero, S. (2014). Governance and the Sustainable Development Goals. *The SAIS Review of International Affairs*, 34(2): 141-150.
- Elkington, J., (1999). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. New Society, Philadelphia.
- Elkington, J., (1997). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone Publishing, Ltd, Oxford.
- Engin, E., & Eker Akgöz, B. (2013). Sürdürülebilir Kalkınma ve Kurumsal Sürdürülebilirlik Çerçevesinde Kurumsal Sosyal Sorumluluk Kavramının Değerlendirilmesi. *Selçuk İletişim*, 8(1), 85-94.
- Falkenberg, J. & Brunsæl, P. (2011). Corporate Social Responsibility: A Strategic Advantage or a Strategic Necessity?. *Journal of Business Ethics*, 99(1): 9-16.
- Fiszbein, A., Kanbur, R. & Yemtsov, R. (2014). Social Protection and Poverty Reduction: Global Patterns and Some Targets. *World Development*, 61: 167-177.
- Gallopin, G. C. & Raskin, P. D., (2016). *Global Sustainability*. Routledge, New York.
- Geray, H. (2006). *Toplumsal Araştırmalarda Nicel ve Nitel Yöntemlere Giriş İletişim Alanından Örneklerle*. Siyasal Kitabevi.
- Hallegette, S. & Rozenberg, J. (2017). *Climate Change Through a Poverty Lens*. *Nature Climate Change*, 7(4): 250-256.
- Høgevold, N. M. & Svensson, G., (2012). A Business Sustainability Model: A European Case Study. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 27(2): 142-151.
- Ihlen, Ø. & Roper, J. (2014). Corporate Reports on Sustainability and Sustainable Development: We Have Arrived. *Sustainable Development*, 22(1): 42-51.
- Ike, M., Donovan, J. D., Topple, C. & Masli, E. K. (2019). The Process of Selecting and Prioritising Corporate Sustainability Issues: Insights for Achieving the Sustainable Development Goals. *Journal of Cleaner Production*, 236: 117-661.
- Kamruzzaman, P. (2016). A Critical Note on Poverty Eradication Target of Sustainable Development Goals. *European Journal of Sustainable Development*, 5(2): 87.
- Lele, S. (1991). Sustainable Development: A Critical Review. *World Development*, 19(6): 607-621.
- Linnenluecke, M. K., Russell, S.V. & Griffiths, A., (2009). Subcultures and Sustainability Practices: The Impact on Understanding Corporate Sustainability. *Business Strategy and the Environment*, November, 18(7): 432-452.
- Merriam, S. B. & Tisdell, E. J. (2015). *Qualitative Research: A Guide to Design and Implementation*. John Wiley & Sons.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook*. London: Sage Publications.
- Moldavska, A. & Welo, T. (2019). A Holistic Approach to Corporate Sustainability Assessment: Incorporating Sustainable Development Goals into Sustainable Manufacturing Performance Evaluation. *Journal of Manufacturing Systems*, 50: 53-68.
- Morgan, D. L. & Morgan, R. K. (2008). *Single-case Research Methods for the Behavioral and Health Sciences*. Sage Publications.
- Nicolai, S., Hoy, C., Berliner, T. & Aedy, T. (2015). *Projecting Progress: Reaching the SDGs by 2030*. London: Overseas Development Institute.
- Nilsson, M., Griggs, D. & Visbeck, M. (2016). Policy: Map the Interactions between Sustainable Development Goals. *Nature*, 534(7607): 320-322.
- Palys, T. S. & Atchison, C. (2014). *Research Decisions: Quantitative, Qualitative and Mixed Approaches*. Canada Toronto: Nelson Education.
- Peteraf, M. A., (1993). The Cornerstones of Competitive Advantage: A Resourcebased View. *Strategic Management Journal*, 14(2): 179-191.
- Porter, M. E., (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Collier Macmillan, London.
- Rassanjani, S. (2018). Ending Poverty: Factors that Might Influence the Achievement of Sustainable Development Goals (SDGs) in Indonesia. *Journal of Public Administration and Governance*, 8(3): 114-128.

- Sachs, J. D., (2015). *The Age of Sustainable Developments*. Columbia University Press, United States of America.
- Sak, Ramazan, Şahin Sak, İ. T., Öneren Şendil, Ç. & Nas, E., (2021). Bir Araştırma Yöntemi Olarak Doküman Analizi. *Kocaeli Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 4(1): 227-256.
- Santos, R., Wennersten, R., Oliva, E. B. & Leal Filho, W. (2009). Strategies for Competitiveness and Sustainability: Adaptation of a Brazilian Subsidiary of a Swedish Multinational Corporation. *Journal of Environmental Management*, 90(12): 3708-3716.
- Sanz, R., Peris, J. A. & Escámez, J. (2017). Higher Education in the Fight Against Poverty from the Capabilities Approach: The Case of Spain. *Journal of Innovation & Knowledge*, 2(2): 53-66.
- Sharma, S. & Ruud, A. (2003). On the Path to Sustainability: Integrating Social Dimensions into the Research and Practice of Environmental Management. *Business Strategy and the Environment*, 12(4): 205-214.
- Stead, J. G. & Stead, W. E., (2009). *Management for A Small Planet: Strategic Decision Making and the Environment*. Sage Publications, Thousand Oaks CA.
- Tople, C., Donovan, J. D., Masli, E. K. & Borgert, T. (2017). Corporate Sustainability Assessments: MNE Engagement with Sustainable Development and the SDGs. *Transnational Corporations*, 24(3): 61-71.
- Tsalis, T. A., Malamateniou, K. E., Koulouriotis, D. & Nikolaou, I. E. (2020). New Challenges for Corporate sustainability reporting: United Nations' 2030 Agenda for sustainable development and the sustainable Development Goals. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 27(4): 1617-1629.
- URL-1: <https://hbrturkiye.com/video/surdurulebilirlik-zirvesi-deger-odakli-yaklasim> adresinden alınmıştır. (Erişim Tarihi: 25.02.2022)
- URL-2: <https://turkey.un.org/tr/sdgs/17> adresinden alınmıştır. (Erişim Tarihi: 02.03.2022)
- UNWCED (United Nations World Conference on Environment and Development), 1987. "Our Common Future", http://conspect.nl/pdf/Our_Common_FutureBrundtland_Report_1987.pdf
- United Nations (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*
- van Zanten, J. A. & van Tulder, R. (2021). Analyzing Companies' Interactions with the Sustainable Development Goals Through Network Analysis: Four Corporate Sustainability Imperatives. *Business Strategy and the Environment*, 30(5): 2396-2420.

DERLEME MAKALESİ

Arıtılmış Atıksuların Çevresel Akış için İkame Amaçlı Kullanımı: Tampon Bölge olarak Yapay Sulak Alanların Rolü

Yazışma yazarı:
Fatma Nihan DOĞAN,
doganf15@itu.edu.tr

Referans:
Karpuzcu, M.E., Doğan, F.N. ve Öztürk İ. (2024). Arıtılmış Atıksuların Çevresel Akış için İkame Amaçlı Yapay Sulak Alanların Rolü, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(1), 15-22.

Makale Gönderimi : 13 EYLÜL 2023
Online Kabul : 13 ŞUBAT 2024
Online Basım : 18 NİSAN 2024

Mahmut Ekrem KARPUZCU¹, Fatma Nihan DOĞAN², İzzet ÖZTÜRK¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye. ORCID: 0000-0001-6832-2151

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye. ORCID: 0000-0002-6245-9621

³İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye. ORCID: 0000-0002-8274-5326

Özet Uzun süren kuraklıklar, artan nüfus, iklim değişikliğinin muhtemel etkileri nedeniyle özellikle son yıllarda arıtılmış atıksuların çevresel akışı ikame amaçlı kullanımı önem kazanmıştır. Bu etkenler tüm dünyada akarsuların kalitesi ve miktarını artırmaya yönelik tedbirleri zorunlu hale getirmiştir. Atıksuların zirai ve peyzaj sulama amaçlı kullanımı giderek yaygınlaşmakla birlikte nehir ekosistemlerinde çevresel akış veya ekolojik ihtiyaç debisi olarak atıksuyun yeniden kullanımına dair örnekler de artmaktadır. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusunda dikkat edilmesi gerekli en önemli iki husus atıksuyun nehir ekosistemini tehdit eden kirleticilerden arındırılmış olması ve nehrin doğal habitatının korunmasıdır. Bu amaçla, yapay sulak alanlar iyi bir nihai arıtım seçeneği olmaktadır. Bu çalışma ile arıtılmış atıksuların akarsulara deşarjının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için deşarj öncesi bir tampon arıtma bölgesi olarak yapay sulak alanların etkinliği incelenmiştir. Saha çalışmaları, yapay sulak alanların kalıcı organik madde gideriminde etkinliğini göstermektedir. Nehir ekosistemlerinde bulunması muhtemel endokrin bozucular, pestisitler, mikro-plastikler gibi öncelikli kirleticilerle ilgili çalışmaların daha yaygınlaşması gerekmektedir. Önümüzdeki 50 ila 100 yıl boyunca, nüfus artışı, ekonomik kalkınma ve iklim değişikliğinin akarsuları özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde daha da fazla baskı altına alacağı düşünüldüğünde, arıtılmış atıksuların çevresel akışı ikame amaçlı kullanılmasının kaçınılmaz hale geleceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel akış, ekolojik ihtiyaç debisi, yapay sulak alanlar, atıksu geri kazanımı, kalıcı organik kirleticiler

Reuse of Treated Wastewater to Sustain Environmental Flow: The Role of Constructed Wetlands as Buffer Zones

Abstract The reuse of treated wastewater to sustain environmental flows has gained importance due to prolonged droughts, increasing population, and the potential impacts of climate change widely across the globe. The stresses on water sources calls for a long-term ecological integrity of river systems in terms of water quantity and quality. While the use of wastewater for agricultural and landscape irrigation is becoming more widespread, there are also increasing examples of the reuse of wastewater to sustain environmental flow in river ecosystems. There are still many concerns regarding the adequacy of treatment especially for micropollutants found in wastewater and protection of natural habitats. Field studies demonstrate the effectiveness of constructed wetlands in removing most of the commonly encountered persistent organic pollutants in wastewater. Hence, constructed wetlands can be implemented for the elimination of micropollutants from wastewater as a final treatment step and treatment buffer zone before discharge to rivers. More studies are needed to evaluate removal efficiencies of persistent organic pollutants such as endocrine disruptors, pesticides, and microplastics in constructed wetlands. Given that over the next 50 to 100 years, population growth, economic development, and climate change are expected to put more pressure on rivers, especially in arid and semi-arid regions, recycled water has the potential to serve as a viable resource for renewal of water-stressed streams.

Keywords: Environmental flow, ecological flow requirement, constructed wetlands, wastewater reuse, persistent organic pollutants

1. Giriş

Akarsular, dünyada en çok değişime ve tahribata uğramış ekosistemler arasındadır. Antropojenik kaynaklı girişimler bu sistemlerde düşük su kalitesi ve ekolojik habitatın bozulmasına yol açmaktadır. İklim değişikliği modelleri ile tahmin edilen yoğun kuraklık beklentileri önümüzdeki yıllarda havzalarda yeraltı suyu kullanımının artarak akiferlerin tükenmesi ve dolayısıyla akarsu rejimlerinin değişime uğraması yönündedir (Wu vd. 2020). Araştırmalar, 2050 yılına kadar yeraltı suyu çekiminden etkilenen havzaların %42-79'unda akarsu akışının ekolojik sınırlarına ulaşmış olacağını göstermektedir (de Graaf vd. 2019). İklim değişikliği, kuraklık ve nüfus artışı gibi etkenler tüm dünyada akarsuların kalitesi ve debisini arttırmaya yönelik yeni tedbirleri zorunlu hale getirmiştir.

Akarsularda, iklim değişikliği ve insan kaynaklı tüketime karşı su miktarını korumaya yönelik uygulamalardan biri de arıtılmış atıksuların akarsulara deşarjıdır. Atıksuların tarım ve peyzaj sulaması amaçlı kullanımının giderek yaygınlaşması ile birlikte nehir ekosistemlerinde ekolojik ihtiyaç debisi olarak atık suyun yeniden kullanımına dair örnekler artmaktadır. Mevsimsel değişkenlikler, atıksuyun nehre karışmadan önce geçirdiği aşamalar ve özellikle kurak dönemlerdeki nehrin akış geçmişi gibi faktörler göz önünde bulundurularak, nehirler arıtılmış atıksular ile beslenebilir. Buradaki amaç nehri sabit bir debide tutmak (düz bir hidrograf değil, nehrin doğal seyirindeki akış rejimini taklit etmek ve habitatı korumaktır (Luthy vd. 2015). Bu amaçla, nehre beslenen arıtılmış atıksular ile nehir taşkın yatağındaki habitatın canlılığı korunarak yerli türlerin devamlılığı sağlanır ve doğal akış durumu simüle edilebilir (Bischel vd. 2013). Atıksu deşarjları, nehirleri doğal akış şartlarına geri döndürmek, nesli tükenen türlerin devamlılığını sağlamak ve doğal koşullarda oluşmayacak yeni ekosistemler kurmak için kullanılabilir (Wolfand vd. 2022). Örneğin, doğal olarak kesikli akışa sahip, Kaliforniya'daki Calera Deresi'nde, arıtılmış atık suların ikame debisi olarak kullanılmasıyla sürekli akış hali oluşturulmuş ve bu durum nesli tükenmekte olan ve nadir görülen türlerin artmasını sağlamıştır (Halaburka vd. 2013). Arıtılmış atıksular, Kaliforniya'nın su tedarikinin önemli bir bileşeni olup eyaletin kentsel su taleplerinin %9'undan fazlası rezervuar, yeraltı suyu ve doğal su kaynaklarına beslenmiş atıksulardan karşılanmaktadır (WateReuse California 2019). Bir ekosistem hizmetleri değerlendirme çalışması, geri kazanılmış atıksuyun çevresel akış için kullanılmasının ekosistem servisleri açısından fayda sağlayacağını fakat bu durumun arıtma tesislerinin işletme maliyetlerini artıracak ve dolayısıyla su faturalarındaki su arıtma ücretinin yaklaşık 2 katına çıkacağını işaret etmektedir (Alcon vd. 2011).

Arıtılmış atıksular ile nehirlerin beslenmesi, bahsedilen potansiyel faydalarına rağmen su kalitesi ve su habitatına etkisi açısından tartışılmalı bir konudur. Geçmişte arıtma tesislerinin yetersiz oluşu, ileri arıtmanın gerçekleştirilememesi ve seyreltmenin bir arıtma yöntemi olarak benimsenmesi ile neredeyse ham denilecek atıksular nehirlere deşarj ediliyordu. Günümüzde ise birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkenin çevre mevzuatında atıksuların arıtılması ve arıtma tesislerinin iyileştirilmesine dair şartlar getirilmiştir. İleri düzeyde arıtma ile organik madde, nütrientler, ağır metaller, pestisitler gibi kirlenimci giderilerek atıksu, önemli bir çevresel akış kaynağı olabilmektedir (Luthy vd. 2015; Bischel vd. 2013). Arıtılmış atıksuların çevresel akış kaynağı olarak kullanılmasının yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri, sucul ekosistemler üzerindeki uzun dönem etkilerinin yeterince ortaya konulmamış olmasıdır. Bunun yanı sıra, atıksu arıtma tesislerinde tam olarak giderilemeyen kalıcı organik kirlenimci varlığı da endişe konusudur (Plumlee, Gurr, ve Reinhard 2012). Kalıcı organik kirlenimci giderimi için bir yaklaşım, ters ozmos, ozonlama gibi (çoğu kalıcı organik

kirlenimcinin %99'dan fazlasını giderebilir) ileri arıtma sistemlerinin kullanılmasıdır. Ancak bu tür teknolojiler yüksek maliyet nedeniyle belirlenen proje faydalarına bağlı olarak uygulanabilir olmayabilir. Kalıcı organik kirlenimci giderimi için alternatif ve daha az maliyetli bir yöntem olarak yapay sulak alanların kullanımı son yıllarda öne çıkmış ve bu konudaki bazı başarılı uygulamalar literatürde yer almıştır (Hijosa-Valsero vd. 2010; Yan vd. 2022; Llorens vd. 2009; Jasper vd. 2013).

Ülkemizde yapay sulak alan uygulamaları ekolojik ihtiyaç debisini karşılamak amacıyla kullanılmamasına rağmen, özellikle atıksu arıtımı için kullanıldığı örnekler mevcuttur (Gunes vd. 2021). Genellikle sistem performansları organik karbon, azot, fosfor, askıda katı madde açısından incelenmiştir. Daha ileri performans değerlendirmeleri ile (kalıcı organik kirlenimci, pestisitler, ilaç ve kişisel bakım ürünleri gibi), mevcut yapay sulak alanlar, atıksuların arıtımını sağlayarak ekolojik ihtiyaç debisini karşılamak amacıyla kullanılabilirler.

Bu çalışmanın amacı, arıtılmış atıksuların ekolojik ihtiyaç debisinin sağlanması amacıyla (ikame debisi olarak) akarsulara deşarjının incelenmesi ve bu deşarjların güvenli bir şekilde yapılabilmesi için deşarj öncesi bir tampon arıtma bölgesi olarak yapay sulak alanların etkinliğinin ortaya konulmasıdır.

2. Çevresel Akışın Belirlenmesi

Çevresel akış (ÇA) terimi, birçok ülkede barajdan bırakılan minimum akış uygulamasının günümüzdeki karşılığı olarak kullanılmaktadır. Çevresel akış, bir akarsu ekosisteminin sağlıklı kalabilmesi ve ekolojik işlevlerini sürdürebilmesi için gerekli su akışının ve seviyesinin miktarı, zamanlaması ve kalitesi olarak tanımlanır. Çevresel akış (ekolojik ihtiyaç debisi) çalışmalarında, çalışılan su kütlesi hidroloji, biyoloji, su kalitesi, bütünlük ve jeomorfolojik açıdan incelenmelidir. Akarsu rejimlerinde debilerin değişkenlik göstermesi, ekosistem için gerekli olan farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlevleri sağlayarak, periyodik olarak ekosistemin kendini yenilemesine imkân verir.

Çevresel akış veya ekolojik ihtiyaç debisi hesaplamalarında dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekildedir (Williams vd. 2019):

- Aynı bölgede dahi olsa ekolojik debi ihtiyacı havzadan havzaya, nehirde nehrine değişebilir. Bazı nehirlerde insan kaynaklı etki, kentleşmenin etkisi ya da baraj gibi yapıların varlığı söz konusu olabilir; bu yüzden her nehir ayrı ayrı incelenmeli, genelleştirmeye gidilmemelidir.
- Olaya sadece hidrolojik açıdan bakmak, hidrolojiden etkilenen biyolojik değişimlerin göz ardı edilmesine yol açabilir.
- Nehirler sularla birlikte sediment, ağaç parçaları, sucul canlıları ve nütrientleri de taşır. Ekolojik ihtiyaç debisi belirlenirken tüm bu faktörler birlikte düşünülmelidir.
- Çevresel akış ayarlamaları ve nehir ağı çıkışındaki rezervuar kapasitesi, akım yönünü ve miktarını ayarlayabilen kanallar gibi yapay uygulamalar ile kontrol altında tutulmalıdır. Çevresel akışın belirlenmesi için hidrolojik, hidrolik, habitat benzeşimini esas alan ve bütünlük yöntemleri gibi çeşitli hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Tablo 1'de bu yöntemlere ait kullanılan veriler ve modellere örnekler verilmiştir. Kuzey yarımkürenin ekonomik olarak gelişmiş ülkelerinde çevresel akış, habitat benzeşimini esas alan yöntemler kullanılarak hesaplanmaktadır. IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) gibi habitat modelleri, deşarj gibi çevresel değişkenler ile seçilen hedef türler ve sucul canlılar arasında ampirik ilişkiyi tanımlamaya yaramaktadır. Gelişmekte ve çevre yasaları görece yeni ülkelerde hidrolojik senaryoları içeren ve havza genelinde akış gereksinimlerini simüle edebilen bütünlük yöntemleri kullanılmaktadır (Gopal 2013). İkame debisi olarak kullanılacak atıksuyun sadece

miktari ve hızı dikkate alındığında, atıksuyun deşarj edildiği nehirde ne gibi ekolojik değişikliklere yol açacağı göz ardı edilmektedir. Sağlık, sucul yaşam, nehir çevresi ekosistemi açısından birçok potansiyel tehlike taşıyan atıksu

deşarjlarında, su kalite parametreleri deşarj edilen bölgenin yapısına göre özelleştirilmelidir.

Tablo 1. Çevresel akış debisinin belirlenmesi için kullanılan yöntemler (Operacz vd. 2018).

ÇA yöntemi	Girdi verisi	Model örnekleri
Hidrolojik	Uzun yıllara ait günlük akım verileri	Tennant, 7Q10, Tessmann, IHA, RVA, DRM, ABF
Hidrolik	Akım hızları, nehir kesitleri	R2Cross method,
Habitat benzeşimli	Akım hızları, nehir kesitleri, balık türleri	PHABSIM, IFIM
Bütünleşik	Hidrolojik, hidrolik, ekolojik ve sosyal bilimler	BBM, ELOHA, DRIFT

Hidrolojik yöntemlerden olan Tennant yöntemi ile hidrolojik kayıtlar ve ortalama akımlar temel alınarak ekolojik olarak ihtiyaç duyulan su miktarı (çevresel akış) tahmin edilmeye çalışılır (Balbay 2011). Bu yöntemde göre, bir yıllık süre, kurak-az yağışlı dönem (Ekim-Mart) ve yağışlı dönem (Nisan-Eylül) olarak ikiye ayrılmaktadır. Burada, Tennant'ın esas aldığı kurak-az yağışlı dönem (Ekim-Mart) ile yağışlı dönem (Nisan-Eylül) bölgeden bölgeye ve ülkeden ülkeye değişim gösterecektir. Bu yüzden bu tür yöntemlerin uygulandığı coğrafyaya uygunluğunun araştırılması ve gerektiğinde revize edilmeleri gerekmektedir. Bir başka istatistiksel yöntem olan 7Q10 yöntemi, belli bir döneme ait günlük akış esas alınarak, her yıla ait minimum 7 günlük ortalama akımlar ile oluşturulan örnekte; akarsuda zamanın %90'ında mevcut olan minimum haftalık akış olarak tanımlanır (Köle 2015). Aralarında İngiltere, Bulgaristan, Tayvan ve Avustralya'nın da bulunduğu bazı ülkelerde aşılma ihtimali %5 olan veya zamanın %95'inde akarsuda mevcut olan debi (Q95); Brezilya (bazı eyaletler), Kanada ve İngiltere'de (bazı havzalar) zamanın %90'ında akarsuda mevcut günlük debi (Q90) ve çoğu Avrupa ülkesinde ise zamanın %99'unda akarsuda mevcut günlük debi (Q99) esas alınarak çevresel akış hesaplanmaktadır (TÜBİTAK 2013).

Ülkemizdeki mevcut mevzuata göre nehirler üzerine inşa edilen hidroelektrik santral (HES) tesislerinde doğal hayatın devamı için mansaba bırakılacak su miktarı projeye esas alınan son on yıllık ortalama akımın en az %10'u kadar olmak zorundadır (Tarım ve Orman Bakanlığı 2019). ÇED (Çevresel Etki Değerlendirme) sürecinde ekolojik ihtiyaçlar göz önüne alındığında bu miktarın yeterli olmayacağı belirlenmesi durumunda bu debi artırılabilir. Nehirler üzerinde kurulan su yapılarından can suyu olarak adlandırılan sabit bir minimum akış bırakılmasının ekolojik açıdan yeterli olmadığı, bu sistemlerde dinamik bir akışa ihtiyaç olduğu aşikardır. Ekolojik ihtiyaç debisi kavramı su kaynaklarında taban akış şartlarını sağlayacak can suyu olarak değil, iklim değişikliği etkili uzun kuraklık dönemlerinde, tarımsal sulama için aşırı su kullanıldığında ve nehrin morfolojisi değiştiğinde nehrin ve içindeki sucul yaşamın devamlılığını sağlayacak kaynak olarak görülmelidir.

3. Artırılmış Atıksu Deşarjının Çevresel Etkileri

Artırılmış atıksuların nehir kollarına doğrudan verilmesi durumunda, ilgili nehir havzalarının bütüncül bir yaklaşımla yönetilmesi gerekmektedir. Atıksu deşarjı, sadece nehir debisinde bir değişikliğe yol açmamakta, tüm sucul yaşamı ve dolaylı olarak insan ve çevre sağlığını da etkilemektedir. Atıksularla beslenen akarsulardaki başlıca sorunlar; değişen hidrograflar, artan besi ve kirlenici konsantrasyonları, değişen şartlara toleranslı türlerin artan baskınlığı ile azalan biyoçeşitlilik, sucul canlıların biyolojisinde ve popülasyonunda değişimler olarak sıralanabilir (Violin vd. 2011; Walsh, Fletcher, ve Ladson 2005). Geleneksel arıtma tesisleri ileri arıtım ünitelerine sahip olsa bile, endokrin bozucular, ilaçlar, pestisitler, kişisel bakım ürünleri ve yüzey aktif maddelerin giderimini sağlamakta yetersiz kalabilmektedir (Gorito vd. 2018; Matamoros ve Rodríguez 2017). Bazı çalışmalarda, artırılmış atıksular ile beslenen nehirlerde yaşayan balıklarda daha yüksek

oranda ilaç kalıntılarının olduğu tespit edilmiştir (Grabicova vd. 2015; Schultz vd. 2010).

İnsani tüketim amaçlı kullanılan ve kullanılmayan su kaynaklarında artırılmış suların tekrar kullanımı farklı açılardan değerlendirilmelidir. Kuraklığın yoğun yaşandığı ve aşırı su çekiminin olduğu bölgelerde, artırılmış atıksu deşarjlarının sucul ekosistem üzerine olumsuz etkisi olabilmektedir. Örneğin, artırılmış atıksu deşarjı su sıcaklığının artmasına yol açmakta, bu durum da bazı sucul canlılarda cinsiyet, parazitlik, büyüme oranları ve popülasyon dağılımını etkileyebilmektedir (Bonada ve Resh 2013; Brooks, Riley, ve Taylor 2006). Atıksu deşarjlarının sürekli ya da ani olması da akarsu habitat kalitesi üzerinde olumlu ya da olumsuz etki bırakabilir.

Aralıklı (kesikli/mevsimlik) akışa sahip olan akarsularda, artırılmış atıksu deşarjı ile bu akarsular yüksek debili akarsulara dönüştürülebilir, ancak akış değişimi, fauna ve flora yapısını etkileyerek istilacı türlerin artmasına yol açabilir (Luthy vd. 2015). Yıllık akış durumu ıslak/kuru döngüsünde olan nehirlerde atıksu deşarjlarına dikkat edilmelidir. Nehir kıyısı ve su biyotası bu döngüye dayanacak şekilde uyum sağlamıştır. İnsani tüketim amaçlı kullanılacak sularda ise artırılmış su kullanımında su kalitesine yönelik parametrelerin takibinin yapılması gerekmektedir. Artan sıcaklık, nütrient miktarları, çözülmüş oksijen seviyesi, ilaç maddeleri, endokrin bozucular ve pestisitler gibi su kalitesi parametreleri ile mikro kirlenitler, artırılmış atıksu deşarj edilen nehirlerde sorun oluşturabilmektedir (Hamdhani, Eppehimer, ve Bogan 2020; Chen vd. 2009; Hur vd. 2007). Atıksu deşarjlarının gerçekleştiği mansap noktasında daha düşük çözünmüş oksijen seviyesi görülmekte, bu durum balık ölümleri ve toksik fitoplankton patlamalarına yol açabilmektedir (Carey ve Migliaccio 2009; Matamoros ve Rodríguez 2017). İsrail'de gerçekleştirilen bir çalışmada, artırılmış atıksuların verildiği nehrin balık popülasyonu ve çeşitliliğinin atıksu deşarjı verilmeyen nehre göre daha az, fakat biyokütle açısından daha yüksek olduğu görülmüştür (Gafny, Goren, ve Gasith 2000).

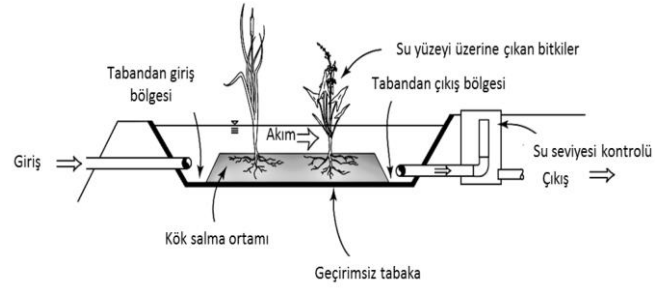
Tüm bu muhtemel ve mevcut olumsuz etkilere rağmen artırılmış suların deşarjı, özellikle kuraklığın yaygın olduğu ve insan kaynaklı su çekiminin çok olduğu bölgelerde çevresel akış debisini sağlayarak ekolojik bütünlüğü korumaya yardımcı olmaktadır. ABD'nin Teksas eyaletinde bulunan Trinity Nehri'nin, Dallas-Fort Worth ile Houston yakınlarındaki Livingston Gölü arasındaki 320 km'lik bölümünde gerçekleştirilen artırılmış atıksu deşarjı ile nehir ekosisteminde iyileşmeler (düzenli akım rejimi) ve yaşayan balık türlerinde artış görülmüştür (Luthy vd. 2015). Trinity Nehri örneği ayrıca su sıkıntısı çeken bölgelerde nehir akışlarının yönetimi ile ilgili zorlukları da göstermektedir. Kentsel gelişimden önce, yarı kurak ve kurak bölgelerdeki diğer birçok nehir gibi, yazın bazı dönemlerinde tamamen kuruyan Trinity Nehri, havzadaki hızlı nüfus artışından sonra, çevresel akışını yıl boyunca Dallas-Fort Worth bölgesinden gelen atıksu deşarjlarıyla sürdürür hale gelmiştir. Diğer kollarından çok az girdi alan (beslenen) Trinity Nehri'nin baz akışı/çevresel akışı neredeyse tamamen artırılmış atıksudan oluşmaktadır. Bir zamanlar artırılmamış atıksu ve mezbaha atıklarıyla yoğun bir şekilde kirlenen bu nehrin su kalitesi, 1972

tarihli ABD Temiz Su Yasası'nın kabul edilmesinin ardından, atıksu arıtma tesislerinin ve diğer altyapının inşa edilmesinin bir sonucu olarak büyük ölçüde iyileştirilmiştir. Nehirde yaşayan balık türlerinin gözlemlenen sayısı 1970'lerin başında 4 iken, 1990'larda 25'e yükselmiştir (Luthy vd. 2015).

4. Tampon Bölge Olarak Yapay Sulak Alan Uygulamaları

Daha önce de belirtildiği gibi, aktif çamur sistemine dayalı biyolojik ve ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri, toplumda endişe yaratan ve artırılmış atıksuyun yeniden kullanımı konusunda engel teşkil eden kalıcı organik kirleticileri gidermek için tam olarak yeterli değildir. Alternatif olarak, fotokataliz (Murgolo vd. 2019), ozonlama (Deng 2020) ve membran bazlı teknolojiler (mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz) (Mansas vd. 2020) gibi ileri arıtma proseslerinin, kalıcı organik kirleticilerin gideriminde etkili olduğu gösterilmiştir. Ancak yüksek maliyetler ve bakım gereksinimleri, özellikle kırsal alanlarda ve merkezi olmayan atıksu arıtma tesisleri (AAT) inşaatlarında bu teknolojilerin kapsamlı uygulamalarını sınırlamıştır (Li vd. 2020). Bu bağlamda yapay sulak alanlar (YSA) umut verici bir alternatif olarak değerlendirilmiştir (Gallego-Schmid ve Tarpani 2019). Saha uygulamalarının yanı sıra birçok çalışma, yapay sulak alanların kalıcı organik kirleticilerin giderimindeki etkinliğini göstermiştir (Yan vd. 2022; Jasper ve Sedlak 2013; Llorens vd. 2009). Yan vd. 2022, sulak alanlarda iz organik kirletici giderimi ile ilgili çalışmada, pH, çözünmüş oksijen, Eh (redoks potansiyeli), kirletici başlangıç konsantrasyonu ve YSA çalışma süresi gibi parametrelerin giderim verimliliğini belirlediğini bulmuştur. İspanya'da evsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyu verilen serbest yüzey akışlı YSA'da 8 adet ilaç ve kişisel bakım ürünlerinin (PPCP) giderimleri incelenmiştir. PPCP'lere ilişkin sonuçlar, sulak alanın bu bileşiklerin büyük bir kısmını giderme konusunda iyi bir kapasiteye sahip olduğunu göstermiştir. Klofibrinik asit (%34) ve karbamazepin (%39) hariç diğer maddeler için (ibuprofen, naproxen, diclofenac, ketoprofen, galaxolide ve tonalide) giderim verimliliği %70'ten yüksek olarak belirlenmiştir (Llorens vd. 2009). Atıksu arıtma tesislerinde ilaç ve kişisel bakım ürünleri (ketoprofen, naproxen, ibuprofen, diclofenac, salicylic acid, klofibrinik acid, furosemide, kafein ve methyl dihydrojasmonate) giderimini, hibrit çalışan yapay sulak alanlardaki giderim ile kıyaslayan bir çalışmada, YSA'ların en az arıtma tesisleri kadar performans gösterdiği bulunmuştur. Genel olarak bu kirleticilerin giderim verimi YSA'larda %70 ve üzerinde olup, biyolojik parçalanma mekanizması ile giderim sağlanmıştır (Hijosa-Valsero vd. 2010). Sulak alanlar, suya doymuş toprak koşullarına uyum sağlamış bitki türlerini barındıran ve bu koşulları sağlamaya yetecek sıklıkta ve süreklilikte yüzey suyu ya da yeraltı suyu tarafından doymuş veya suyla kaplanmış alanlardır. Sulak alanların temel özelliği, sürekli veya periyodik olarak dip yüzeyinde suya doymuluk veya suyla kaplı olma durumu ve bu durumu yansıtan fiziksel, kimyasal ve biyolojik unsurlara sahip olmasıdır. Sulak alan ekosistemlerinin yüksek biyolojik aktiviteye sahip sistemler olması, bu sistemlerde atıksularda rastlanan birçok kirletici maddenin dönüşümünün gerçekleşmesine imkan vermektedir (Kadlec ve Wallace 2008). Yapay sulak alanlar (YSA) ise, sulak alan ekosistemlerinin bu özelliğini öne çıkaran arıtma amaçlı tasarlanmış sistemlerdir (Şekil 1). Yapay sulak alanlarda kalıcı organik kirleticilerin giderim mekanizmaları olarak adsorpsiyon, fotodegradasyon, hidroliz, biyolojik ayrışma ve bitki alımı ön plana çıkmaktadır (Yan vd. 2022). Yapay sulak alanların kullanımının yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri, istenen kirletici giderim performansını sağlayacak büyüklükte uygun arazinin bulunması ve öngörülebilir performansa sahip sulak alanların tasarlanmasının zorluğudur. Sulak alanların arıtım performansında hidrolojik rejime doğrudan bağlı olan bekleme süresi ve hidrolik yükleme hızı, göz önüne alınması gereken iki önemli kriterdir. Küçük yerleşim yerleri için sulak alan boyutlandırılmasında hidrolik yükleme hızının 2-5 cm/gün aralığında tutulması tavsiye edilirken, uygulamada 1-22 cm/gün aralığında değişen hidrolik yüklerle sahip sistemler mevcuttur (Kadlec ve Wallace 2008). Mekanik arıtma sistemleri ile karşılaştırıldığında, yapay sulak alanlarda meydana gelen kirletici

taşınma ve dönüşüm süreçleri daha



Şekil 1. Örnek bir yapay sulak alan (YSA) kesiti (Kadlec ve Wallace 2008).

da karmaşıktır. Bununla birlikte, mekanistik araştırmaların sağladığı bilgiler ışığında yapay sulak alanlar belirli bir kirletici kümesinin giderilmesine yönelik "birim proses" yaklaşımıyla tasarlanabilir (Jasper vd. 2013). Bu yaklaşımın temelini, farklı özelliklere sahip sulak alan hücrelerinin farklı kirleticilerin giderimi için optimize edilerek birbirine seri bağlı şekilde kullanılması oluşturur. Bu tür birim proseslerin farklı özellikteki kalıcı organik kirleticileri içeren bir artırılmış atıksu için nasıl tasarlanabileceğine dair bir örnek vermek gerekirse, ilk adımda sığ olarak (~20 cm su derinliği) tasarlanmış ve açık su yüzeyine sahip bitkisiz bir hücre, fotobozunma reaksiyonlarının verimli bir şekilde gerçekleşmesi amacıyla tasarlanabilir. Bu hücrede direkt ve indirekt fotoliz reaksiyonları ile kirletici dönüşümü gerçekleşir (Jasper vd. 2013). Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya eyaletindeki Discovery Bay pilot ölçekli sulak alan sisteminde bu şekilde tasarlanan hücrelerde direkt ve indirekt fotoliz reaksiyonları sonucu bir dizi kalıcı organik kirleticinin yüksek verim (~%90) ile giderildiği gösterilmiştir (Jasper ve Sedlak 2013). Sığ olarak tasarlanmış hücrenin ardından biraz daha derin (~60 cm su derinliği) ve yoğun bitki içeren diğer tip hücrelerde (reaktörler) çökeltme ve biyolojik ayrışma proseslerinin yanısıra hidrofobik kirleticilerin adsorpsiyonu gerçekleşir. Bitki köklerinin etrafındaki rizosfer denilen bölgede aerobik mikroorganizmalar faaliyet gösterirken, köklerden uzak bölgelerde anaerobik mikroorganizmaların etkinliğiyle zengin bir mikrobiyal faaliyet gerçekleşir. Takip eden hücrelerde farklı bitki türleri kullanılarak giderim performansı optimize edilebilir.

Kaliforniya'daki Santa Ana Nehri yakınlarındaki Prado Sulak Alanları, yapay sulak alanların atıksuyun çevresel akış amaçlı yeniden kullanımında tampon bölge olarak oynayabileceği role güzel bir örnektir (Luthy vd. 2015). Atıksu arıtma tesislerinden yüksek miktarda atıksu deşarjı alan nehir boyunca inşa edilen yapay sulak alanlar, nehir içme suyu kaynağı olarak kullanılan yeraltı suyunu beslemeden önce nitrat giderimini sağlamaktadır. Nitrat giderimi fakültatif heterotrof bakteriler tarafından nitrat azotunun azot gazına indirgenmesi ile tarif edilen denitrifikasyon prosesi ile gerçekleşmektedir. Bu işlem sulak alan sedimentlerinin anaerobik tabakasında gerçekleşir ve işlem sırasında kolay parçalanabilir karbona ihtiyaç duyulur. Atıksu arıtma tesisleri tarafından nehre deşarj edilen atıksular, yapay sulak alan arıtımından geçtikten sonra nehrin mansabında yeraltı sularına beslenmektedir. Yaz mevsiminde, bu sulak alanlar nitrat konsantrasyonlarını yaklaşık 8 mg L⁻¹'den 1 mg L⁻¹'in altına düşürmektedir (Luthy vd. 2015). 1992'de inşa edilen bu sulak alan sistemi 5 milyon dolara mal olurken, mevcut arıtma tesislerine nitrat giderimi için ilave ileri arıtım ünitelerinin eklenmesinin 100-200 milyon dolara denk geleceği tahmin edilmiştir. Bu örnekte yapay sulak alanların maliyet açısından üstünlüğü çarpıcı bir şekilde ortaya konmuştur.

Atıksuyun çevresel akış için uygun hale getirilmesinde kullanılan yapay sulak alanlara bir başka örnek de İsrail'in Yarqon Nehri'dir (Luthy vd. 2015). Yarqon Nehri aynı zamanda, bir nehrin ekolojik koşullarının ve kültürel değerlerinin rehabilite edilmesinde paydaş katılımının iyi bir örneğidir. Nehrin ekolojik ve kültürel

rehabilitasyonuna paydaşların katılımını sağlamak amacıyla 1988 yılında Yarqon Nehri Otoritesi (YRA) oluşturulmuştur. Amonyak azotu toksisitesi ve yüksek biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), yerel kırmızı kuyruklu sazan türü olan *Acanthobrama telavivensis*'in nehirdeki vahşi popülasyonunun yok olmasına neden olmuştur. Nehir ekosistemini koruma amaçlı, 2003 yılında atıksu deşarj standartları yükseltilmiş ve bu standartları sağlayabilmek amacıyla 2008 yılında, Yarqon Nehri'ne deşarj öncesi günde 25.000 m³'e kadar atıksuyu arıtmak için bir yapay sulak alan tasarlanmıştır. Geleneksel bir serbest yüzey akışlı sulak alanda, amonyak azotunu 5 mg L⁻¹'den 1 mg L⁻¹'e düşürmek için yüksek miktarda araziye ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Mevcut durumda alanın yetersiz olması sebebiyle, sulak alan tasarımı revizyon yapılmıştır. Yeni tasarlanan sulak alan, doldur boşalt şeklinde çalışan üç hücreye bölünmüş; bu hücreler sifonlar aracılığıyla ortalama 25.000 m³/gün hızla boşaltılmıştır. Dolma ve boşalma döngüleri sırasında amonyak azotunun oksidasyonu ile nitrifikasyon gerçekleşmekte; denitrifikasyon ise dolu haldeki döngü sırasında yeterli organik karbon olması durumunda gerçekleşmektedir. Yapay sulak alan uygulaması ile nehirdeki amonyak azotu konsantrasyonları azaltılmış, böylelikle sivrisinek kontrolü de sağlayan ve neredeyse yok olmuş endemik balık türü yeniden ortaya çıkmıştır (Garcia ve Pargament 2015).

5. Sonuç ve Öneriler

Birçok nehir havzasında, mevsimsel yağış değişkenlikleri su akışlarında dalgalanmaya sebep olmaktadır. Mevsimsel dalgalanmalarla birlikte sulama amaçlı nehir suyu kullanılması, hidroelektrik santralleri, kuraklık dönemleri, orman yangınları ve iklim değişikliği hidrolojik rejim değişikliklerine yol açmakta; bu durum nehir ekosistemini olumsuz yönde etkilemektedir. Mevsimsel değişkenlikler, suyun nehre girmeden önce geçirdiği serüven ve özellikle kurak dönemlerdeki nehrin akış geçmişi göz önünde bulundurularak, arıtılmış atıksular ile nehirler beslenebilir. Böylelikle bu sular okyanuslara/denizlere deşarj edilmelerine göre daha kısa yoldan yeniden kullanıma ve su döngüsüne girerler. Burada açıklanan vaka çalışmaları, çevresel akışı sağlamak ve yüksek oranda bozulmuş kent içi akarsuları yenilemek için atıksu kullanmanın değerini göstermektedir. Önümüzdeki 50 ila 100 yıl boyunca, nüfus artışı, ekonomik kalkınma ve iklim değişikliğinin kent içi nehirleri özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde daha da fazla baskı altına alacağı düşünülürse, arıtılmış atıksuların çevresel akışı ikame amacıyla kullanılması kaçınılmaz hale gelecektir. Arıtılmış atıksuların çevresel akış için yeniden kullanılmasında dikkat edilecek en önemli hususlar, atıksuyun nehir ekosistemini tehdit eden kirleticilerden arındırılmış olması ve nehrin doğal habitatının korunmasıdır. Atıksularda bulunan mikrokirleticilerin yapay sulak alanlarda arıtımına dair çalışmalarda son yıllarda belirgin bir artış gözlemlense de, nehir ekosistemlerini tehdit eden endokrin bozucular, pestisitler, mikroplastikler gibi kirletici maddelere ait çalışmaların daha da yoğunlaşması gerekmektedir. "Birim proses yaklaşımıyla" inşa edilen yapay sulak alanlarda, arıtılmış atıksular nehre verilmeden önce ilave bir arıtım gerçekleştirilerek, geleneksel arıtma tesislerinde giderilemeyen kirleticilerin giderilebilmesi için sulak alan tasarımı kademelendirme yapılabilmekte ve proses işletimi sağlanabilmektedir.

Ülkemizdeki yapay sulak alan uygulamalarının sayısı son derece yetersizdir ve küçük ölçekli evsel atıksu arıtımı uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Arazi uygunluğunun sağlanabildiği yerlerden başlanarak nehir ekosistemi ölçeğinde çevresel akışı ikame amaçlı serbest yüzey akışlı sulak alan uygulamaları teşvik edilmelidir. Bu projelerin sağlıklı bir şekilde hayata geçirilebilmesi için mevzuattaki boşluklar giderilmeli ve kirleticiler için standartlar ortaya konmalıdır. Tasarlanan sistemler işletmeye alındıktan sonra düzenli izleme çalışmaları ile arıtılmış atıksudaki kirletici parametreler takip edilmeli, nehir ekosistemindeki değişiklikler izlenerek düzenli olarak kayıt altına alınarak değerlendirilmelidir.

6. Teşekkür ve Bilgi

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

7. Kaynaklar

- Alcon, F., Martin-Ortega, J., Berbel, J., & de Miguel, M. D. (2011). Environmental benefits of reclaimed water: An economic assessment in the context of the Water Framework Directive. *Water Policy*, 14(1), 148-159. <https://doi.org/10.2166/wp.2011.001>
- Balbay, Ü. C. (2011). Hidroelektrik Santral Projelerinde Ekosistem Su İhtiyacının Belirlenmesi ve Türkiye'deki Uygulamalar [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Bischel, H. N., Lawrence, J. E., Halaburka, B. J., Plumlee, M. H., Bawazir, A. S., King, J. P., ... Luthy, R. G. (2013). Renewing urban streams with recycled water for streamflow augmentation: Hydrologic, water quality, and ecosystem services management. *Environmental Engineering Science*, 30(8), 455-479. <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0201>
- Bonada, N., & Resh, V. (2013). Mediterranean-climate streams and rivers: Geographically separated but ecologically comparable freshwater systems. *Hydrobiologia*, 719. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1634-2>
- Brooks, B. W., Riley, T. M., & Taylor, R. D. (2006). Water quality of effluent-dominated ecosystems: Ecotoxicological, hydrological, and management considerations. *Hydrobiologia*, 556(1), 365-379. <https://doi.org/10.1007/s10750-004-0189-7>
- Carey, R. O., & Migliaccio, K. W. (2009). Contribution of wastewater treatment plant effluents to nutrient dynamics in aquatic systems: A review. *Environmental Management*, 44(2), 205-217. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9309-5>
- Chen, B., Nam, S-N., Westerhoff, P. K., Krasner, S. W., & Amy, G. (2009). Fate of effluent organic matter and DBP precursors in an effluent-dominated river: A case study of wastewater impact on downstream water quality. *Water Research*, 43(6), 1755-1765. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.01.020>
- Deng, H. (2020). A review on the application of ozonation to NF/RO concentrate for municipal wastewater reclamation. *Journal of Hazardous Materials*, 391. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122071>
- Gafny, S., Goren, M., & Gasith, A. (2000). Habitat condition and fish assemblage structure in a coastal Mediterranean stream (Yarqon, Israel) receiving domestic effluent. *Hydrobiologia*, 422/423, 319-330. <https://doi.org/10.1023/A:1017040017238>
- Gallego-Schmid, A., & Tarpani, R. R. Z. (2019). Life cycle assessment of wastewater treatment in developing countries: A review. *Water Research*, 153, 63-79. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.010>
- Garcia, X., & Pargament, D. (2015). Rehabilitating rivers and enhancing ecosystem services in a water-scarcity context: The Yarqon River. *International Journal of Water Resources Development*, 31(1), 73-87.

<https://doi.org/10.1080/07900627.2014.911147>

- Gopal, B. (2013). Methodologies for the assessment of environmental flows. In *Environmental Flows: An Introduction for Water Resources Managers* (pp. 129-172). National Institute of Ecology, India.
- Gorito, A. M., Ribeiro, A. R., Gomes, C. R., Almeida, C. M. R., & Silva, A. M. T. (2018). Constructed wetland microcosms for the removal of organic micropollutants from freshwater aquaculture effluents. *Science of The Total Environment*, *644*, 1171-1180. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.371>
- Graaf, I. E. M. de, Gleeson, T., van Beek, L. P. H. R., Sutanudjaja, E. H., & Bierkens, M. F. P. (2019). Environmental flow limits to global groundwater pumping. *Nature*, *574*(7776), 90-94. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1594-4>
- Grabičová, K., Grabič, R., Bláha, M., Kumar, V., Cervený, D., Fedorova, G., ... Randák, T. (2015). Presence of pharmaceuticals in benthic fauna living in a small stream affected by effluent from a municipal sewage treatment plant. *Water Research*, *72*, 145-153. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.09.018>
- Gunes, K., Masi, F., Ayaz, S., Tuncsiper, B., & Besiktas, M. (2021). Domestic wastewater and surface runoff treatment implementations by constructed wetlands for Turkey: 25 years of experience. *Ecological Engineering*, *170*, 106369. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106369>
- Haddis, A., Van Der Bruggen, B., & Smets, I. (2020). Constructed wetlands as nature based solutions in removing organic pollutants from wastewater under irregular flow conditions in a tropical climate. *Ecohydrology & Hydrobiology*, *20*(1), 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.03.001>
- Halaburka, B. J., Lawrence, J. E., Bischel, H. N., Hsiao, J., Plumlee, M. H., Resh, V. H., ... Luthy, R. G. (2013). Economic and ecological costs and benefits of streamflow augmentation using recycled water in a California coastal stream. *Environmental Science & Technology*, *47*(19), 10735-10743. <https://doi.org/10.1021/es305011z>
- Hamdhani, H., Eppheimer, D. E., & Bogan, M. T. (2020). Release of treated effluent into streams: A global review of ecological impacts with a consideration of its potential use for environmental flows. *Freshwater Biology*, *65*(9), 1657-1670. <https://doi.org/10.1111/fwb.13519>
- Hijosa-Valsero, M., Matamoros, V., Martín-Villacorta, J., Bécares, E., & Bayona, J. M. (2010). Assessment of full-scale natural systems for the removal of PPCPs from wastewater in small communities. *Water Research*, *44*(5), 1429-1439. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.032>
- Hur, J., Schlautman, M. A., Karanfil, T., Smink, J., Song, H., Klaine, S. J., & Hayes, J. C. (2007). Influence of drought and municipal sewage effluents on the baseflow water chemistry of an upper Piedmont river. *Environmental Monitoring and Assessment*, *132*(1), 171-187. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9513-1>
- Jasper, J. T., Nguyen, M. T., Jones, Z. L., Ismail, N. S., Sedlak, D. L., Sharp, J. O., Luthy, R. G., Horne, A. J., & Nelson, K. L. (2013). Unit process wetlands for removal of trace organic contaminants and pathogens from municipal wastewater effluents. *Environmental Engineering Science*, *30*(8), 421-436. <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0239>
- Jasper, J. T., & Sedlak, D. L. (2013). Phototransformation of wastewater-derived trace organic contaminants in open-water unit process treatment wetlands. *Environmental Science & Technology*, *47*(19), 10781-10790. <https://doi.org/10.1021/es304334w>
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*. CRC Press.
- Köle, M. M. (2015). Boğazköy Baraj Ve Hes'inden Akışaşağıya Bırakılması Gereken Asgari Su Miktarının Bulunmasına Yönelik Bir Değerlendirme: Tennant Ve Akim Süreklilik Yöntemleri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, *0*(32), 326. <https://doi.org/10.14781/mcd.64692>
- Li, X., Li, Y., Lv, D., Li, Y., & Wu, J. (2020). Nitrogen and phosphorus removal performance and bacterial communities in a multi-stage surface flow constructed wetland treating rural domestic sewage. *Science of The Total Environment*, *709*, 136235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136235>
- Llorens, E., Matamoros, V., Domingo, V., Bayona, J. M., & García, J. (2009). Water quality improvement in a full-scale tertiary constructed wetland: Effects on conventional and specific organic contaminants. *Science of The Total Environment*, *407*(8), 2517-2524. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.042>
- Luthy, R. G., Sedlak, D. L., Plumlee, M. H., Austin, D., & Resh, V. H. (2015a). Wastewater-effluent-dominated streams as ecosystem-management tools in a drier climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *13*(9), 477-485. <https://doi.org/10.1890/150038>
- Luthy, R. G., Sedlak, D. L., Plumlee, M. H., Austin, D., & Resh, V. H. (2015b). Wastewater-effluent-dominated streams as ecosystem-management tools in a drier climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *13*(9), 477-485.
- Mansas, C., Mendret, J., Brosillon, S., & Ayrat, A. (2020). Coupling catalytic ozonation and membrane separation: A review. *Separation and Purification Technology*, *236*, 116221. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116221>
- Matamoros, V., & Rodríguez, Y. (2017). Influence of seasonality and vegetation on the attenuation of emerging contaminants in wastewater effluent-dominated streams. A preliminary study. *Chemosphere*, *186*, 269-277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.157>
- Murgolo, S., Franz, S., Arab, H., Bestetti, M., Falletta, E., & Mascolo, G. (2019). Degradation of emerging organic pollutants in wastewater effluents by electrochemical photocatalysis on nanostructured TiO₂ meshes. *Water Research*, *164*, 114920. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114920>
- Operacz, A., Wałęga, A., Cupak, A., & Tomaszewska, B. (2018). The comparison of environmental flow assessment - The barrier for investment in Poland or river protection? *Journal of Cleaner Production*, *193*, 575-592. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.098>

- Plumlee, M. H., Gurr, C. J., & Reinhard, M. (2012). Recycled water for stream flow augmentation: Benefits, challenges, and the presence of wastewater-derived organic compounds. *Science of The Total Environment*, 438, 541-548. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.062>.
- Schultz, M. M., Furlong, E. T., Kolpin, D. W., Werner, S. L., Schoenfuss, H. L., Barber, L. B., Blazer, V. S., Norris, D. O., & Vajda, A. M. (2010). Antidepressant pharmaceuticals in two U.S. effluent-impacted streams: Occurrence and fate in water and sediment, and selective uptake in fish neural tissue. *Environmental Science & Technology*, 44(6), 1918-1925. <https://doi.org/10.1021/es9022706>.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Yönetmelik.
- TÜBİTAK, MAM ÇEVRE ENSTİTÜSÜ. (2013). Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması – Büyük Menderes Havzası.
- Violin, C. R., Cada, P., Sudduth, E. B., Hassett, B. A., Penrose, D. L., & Bernhardt, E. S. (2011). Effects of urbanization and urban stream restoration on the physical and biological structure of stream ecosystems. *Ecological Applications*, 21(6), 1932-1949. <https://doi.org/10.1890/10-1551.1>.
- Walsh, C. J., Fletcher, T. D., & Ladson, A. R. (2005). Stream restoration in urban catchments through redesigning stormwater systems: Looking to the catchment to save the stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 690-705. <https://doi.org/10.1899/04-020.1>.
- WaterReuse California. (2019). California WaterReuse Action Plan. Erişim tarihi (Aralık 2023) <https://waterreuse.org/>.
- Williams, J. G., Moyle, P. B., Webb, A., & Kondolf, G. M. (2019). Environmental flow assessment: Methods and applications. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Wolfand, J. M., Taniguchi-Quan, K. T., Abdi, R., Gallo, E., Irving, K., Philippus, D., Rogers, J. B., Stein, E. D., & Hogue, T. S. (2022). Balancing water reuse and ecological support goals in an effluent-dominated river. *Journal of Hydrology X*, 15, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2022.100124>.
- Wu, W.-Y., Lo, M.-H., Wada, Y., Famiglietti, J. S., Reager, J. T., Yeh, P. J.-F., Ducharme, A., & Yang, Z.-L. (2020). Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. *Nature Communications*, 11(1), 3710. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17581-y>.
- Yan, J., Hu, X., Chen, M., Zhang, J., Guo, F., Vymazal, J., & Chen, Y. (2022). Meta-analysis of the removal of trace organic contaminants from constructed wetlands: Conditions, parameters, and mechanisms. *Ecological Engineering*, 178, 106596. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106596>.

Mehmet KOYUNCU¹

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Bursa, Türkiye.
ORCID: 0000-0003-0379-7492

Yazışma yazarı:
Mehmet KOYUNCU,
koyuncu@uludag.edu.tr

Referans:
Koyuncu, M., (2024), Sürdürülebilir Üretim ve Yaşamda “Yapağı”, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 25(1), 23-36.

Makale Gönderimi : 26 EYLÜL 2023
Online Kabul : 8 MART 2024
Online Basım : 6 MAYIS 2024

Özet

Dünyanın maruz kaldığı iklim değişikliği ve çevre kirliliği nedeniyle birçok farklı sorun yaşanmaktadır. Küresel ısınma, kuraklık, mikroplastikler ve kaynakların tükenmesi bunlardan sadece birkaçıdır. Bugün tekstil ürünlerinin hammadde, üretim şekli ve kullanımının gezegene olumsuz etkileri açıkça ifade edilmektedir. Dolayısıyla sürdürülebilir bir gelecek için çözümlerin geliştirilmesinde tekstil ve moda endüstrisine büyük sorumluluk düşmektedir. Hammaddenin elde edilmesinden son ürün sürecine kadarki çevresel etkileri azaltmak hatta tersine çevirmek için kaynak bulma ve ürün stratejilerini değiştirme arayışlarına girilmiştir. Sürdürülebilir değişimi doğru ve hızlı bir şekilde uygulamaya yönelik küresel arayışta üretimin devamlılığı, kaynak kullanımı ve çevreye olan etkileri noktasında yapağının oynayacağı kilit bir rol bulunmaktadır. İyi tasarlanmış bir ürün koyunların kırılmasından, ürün haline getirilmesi ve kullanım ömrü sonuna kadarki süreçte üretici ve tüketicilerin iklim üzerindeki etkilerini azaltmayı hedefler. Yapağı, su, hava, güneş ve ot karışımı ile yıl boyunca elde edilebilen bir üründür. Mikro parçalara ayrılarak arazi ve su kaynaklarında biriken sentetik liflerin aksine, yapağı hem tatlı hem de tuzlu suda biyolojik olarak parçalanmaktadır. Yünlü ürünler eko-güvenlik, uzun ömürlü olma ve geri dönüştürülmeye uygunluğu ile öne çıkmaktadır. Yünün fiziksel ve kimyasal yapısı, nem ve kokuya karşı dayanıklı, vücut sıcaklığındaki değişikliklere tepki veren bir özellik gösterir. Yün klasik veya spor giyim, iç mekân ürünleri, yalıtım malzemesi ve kompost vb. birçok farklı ürün çeşidiyle kullanılabilen, uygun şekilde üretildiği ve işlendiğinde sürdürülebilir olma özelliğine sahip, doğal, yenilenebilir ve kolayca geri dönüştürülebilir bir elyaftır. Yapağı popüler olarak dünyadaki en sürdürülebilir lif kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Bugün sürdürülebilirlik ve sorumlu kaynak yönetimi yirmi birinci yüzyılın itici güçleri haline gelmiştir. Üretimde malzeme seçimi temelde çevresel etkiler, sürdürülebilirlik, bulunabilirlik ve ekonomi arasındaki bir dizi karşılıklı ilişkiyle karakterize edilebilir. Bu derlemede küresel iklim olaylarını da dikkate alarak, kaynak kullanımı açısından çevresel etkisi az, yenilenebilir ve kırsal ekonomiye önemli katkı sağlayabilecek ürünlere yönelmeyi teşvik noktasında yapağının önemi açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Koyun, yapağı, sürdürülebilir üretim, yenilenebilir kaynak

“Wool” in Sustainable Production and Life

Abstract

Many different problems are experienced due to climate change and environmental pollution that the world is exposed to. Temperature changes, drought, micro plastics and resource depletion are just a few of them. Today, the adverse effects of raw materials, production methods, and the use of textile products on the planet are clearly expressed. Therefore, the textile and fashion industry are responsible for developing solutions for a sustainable future. To reduce or even reverse the environmental effects from the raw material acquisition to the final product process, sourcing and changing product strategies have been sought. In the global quest to implement sustainable change accurately and quickly, fleece has a key role to play in terms of production continuity, resource use and environmental impacts. A well-designed wool product enables producers and consumers to reduce their climate impact, from shearing sheep in the pasture to product processing and end-of-life. Its fleece can be obtained year-round on a mixture of water, air, sunlight, and grass anywhere in the world. Unlike synthetic fibers, which are micro-split and accumulate in fields and water sources, wool fiber biodegrades in fresh and salt water. Wool products stand out with their eco-safety, longevity, and suitability for recycling. The physical and chemical structure of the wool shows a feature that is resistant to moisture and odor and reacts to changes in body temperature. Wool can be used for classic or sportswear, indoor products, insulation material, compost, etc. It is a natural, renewable, and easily recyclable fiber that can be used with many different products and is sustainable when produced and processed correctly. Wool is popularly recognized as one of the world's most sustainable sources of fiber. Today, sustainability and responsible resource management have become the driving forces of the twenty-first century. A set of interrelationships between environmental impacts, sustainability, availability, and economy can mainly characterize the choice of materials in production. In this review, taking into account global climate events, the importance of fleece is explained in terms of encouraging the focus on products that have a low environmental impact in terms of resource use, are edible and can make a significant contribution to the rural economy.

Keywords: Sheep, wool, sustainable production, renewable resource

1. Giriş

Tarımdaki gelişmeler, hayvansal üretim sistemlerinde entansif yetiştirme (yoğun) ve uzmanlaşma sonucunu doğurmuştur. Bununla birlikte, hayvan hastalıklarıyla ilgili sorunlar, işletmelerin verimliliği, hayvan refahı ve çevre üzerindeki etkileri nedeniyle, bu sistemlerin uzun vadeli uygulanabilirliği artık sorgulanmaktadır. Bu tür sistemlerin toplumsal kabulü noktasında daha sürdürülebilir, yani ekonomik açıdan uygun, çevre dostu ve sosyal açıdan kabul edilebilir hayvancılık sistemlerine yönelik bir talep oluşmaya başlamıştır.

Sürdürülebilir tarım ile girdilerin azaltıldığı, belirli bir yetiştiricilik modelinin teşvik edildiği, geleneksel tarım uygulamalarının öne çıktığı ve üretim kaynaklı çevresel etkilerin en aza indirildiği bir üretim modeli tanımlanmaktadır. Farklı bir yaklaşımla, tarımsal sürdürülebilirliğin gerçek anlamı küçük ve büyük ölçekli işletmelerin yetiştiricilik uygulamalarını kapsayan bir sistemin bütüncül görünümüdür (Dalton vd., 2020). Bu ifade ile dünyada hayvancılık işletmelerinin kapasitesinin artırılması mı, yoksa küçük ölçekli işletmeler mi desteklenmeli hipotezleri rekabetinin yerine sürdürülebilirlik açısından her ikisinin birbirini tamamlayıcı sistemler olması gerektiği belirtilmektedir. Hayvansal üretimde ölçekten bağımsız, tarım ile toplum arasındaki karmaşık etkileşimleri içeren, yeterli ve kârlı bir gıda üretimi sistemini tanımlamaktadır. Hayvancılık faaliyetlerinin sürdürülebilirliği bireysel uygulamalar yerine bütüncül bir temelde ele alınmalıdır. Sürdürülebilir olmak için enerji ve besin maddelerinin verimli kullanımı en üst düzeye çıkarılmalıdır. Toplumların sürdürülebilirliğinin büyük ölçüde tarımın sürdürülebilirliğine bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Küresel moda ve tekstil endüstrisindeki sürdürülebilirlik gelişme, koronavirüs salgını ile hızlanmıştır. Yönetimler ya da iktidarlar virüsün yayılmasını durdurmak için harekete geçerken ilk kez insan hayatına ve çevreye ekonomiden daha fazla öncelik vermiştir. Bu insancıl yaklaşım ile iklim değişikliği, sürdürülebilirlik ve kirliliğe çok daha fazla dikkat çekilmeye başlanmış, insan ve çevrenin yeniden önem kazanmaya başladığı çok kırılmalı bir ekosistemde kesinlikle birbirine bağlı olduğunun farkına varılmıştır. Bu düşünce değişikliği ile giysilerin sonu çöplükte bitene kadar sadece birkaç kez giyilen hızlı moda endüstrisini sorgularken, yavaş moda eğilimi ve artan çevre bilinci, yün satışlarının durgunluktan kurtulmasına yardımcı olabileceği tahmin edilmektedir (Graham, 2020). Moda endüstrisinin daha sürdürülebilir bir sisteme geçmesi noktasında oluşan bu baskı, sanayicilerin malzeme stratejilerini değiştirmelerini ve çevre üzerinde daha az etkili olan ürünleri seçmelerini gerekli kılmıştır. Özellikle tekstil sektöründe sürdürülebilir malzeme çözümleri arayan tasarımcılar, markalar ve üreticiler için yapağı, sürdürülebilir malzeme stratejilerine kolayca entegre edilebilen doğal ve teknik bir lifdir. Yapağı sürdürülebilir moda için geleceği olarak %100 doğal ve yenilenebilir, biyolojik olarak parçalanabilir, nefes alabilen ve alerjik olmama vb. birçok özelliğe sahiptir. Suni liflerin önemli bir kısmı ise petrol bazlı, biyolojik olarak parçalanamayan, mikroplastik kirlenici olan ve yenilenemez materyallerdir (Antoniadou, 2022).

Yapağıdan yapılan ürünlerin insana sağladığı sıcaklık ve dayanıklılığı ile yıllar boyunca kullanılan doğanın yarattığı en eski elyaftır. Yapağı hayvan derisinin üstünde binlerce yıl içinde biyolojik olarak mükemmel bir gelişim sağlamıştır. Yıllar boyunca yapağı giyim malzemesi olarak kullanılmasının yanında, ev tekstili, özellikle de yangınla mücadele kapsamında kullanılacak adil, hayvan ve insan sağlığı için daha az risk oluşturacak şekilde

koruyucu ürünlerde, bina yalıtımında, toprak şartlandırıcısı olarak, lanolin sayesinde oto yağlamadan kozmetik ürünlerine kadar hayatın çok farklı alanlarında kullanılan çevre dostu bir ürün olmuştur. Yapağı, insanlar tarafından yüzyıllardır kullanılmaktadır ve muhtemelen yüzyıllar boyunca da kullanılacaktır. Gelinen noktada ilgili bilim kolları ile birlikte daha yoğun çalışmalar ile farklı kullanım alanları olan tıbbi tekstiller, geotekstiller, zirai tekstiller, akıllı materyaller, koruyucu giysiler ve izolasyon konularında daha ciddi çalışmalar yapılarak elde edilen ürünün maliyetini düşürerek kullanılabilirliğini artırmak gerekmektedir (Tüfekçi ve Olfaz, 2014). Bu derlemede yapağı sürdürülebilirlik ve yenilenebilir kaynak kullanımı gibi farklı bakış açılarıyla ele alınmış, geçmişten buyana yapağının insan hayatındaki yeri, gelişimi, sağlık ve güvenli yaşam koşullarında önemi değerlendirilmiştir.

2. Tarımsal Üretimde Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilir yaşam, iklim değişikliğini dengelemek ve çevreye verilen zararı azaltmak için olumlu değişiklikler yaparak insanoğlunun bireysel ve kolektif çevresel etkisini azaltmayı amaçlar. Bu yaklaşım karbon ayak izini azaltmanın ve yaşam tarzı seçimlerinin neden olabileceği çevresel hasarı en aza indirmek için kaynakları daha iyi kullanmanın da bir yoludur. Diğer taraftan sürdürülebilirlik, yarın gezegeni olumlu yönde etkileyecek seçimleri bugünden yapmak anlamına gelmektedir. Bu, gelecek nesillerin yaşayabilecekleri ve gelişebilecekleri güvenli ve sağlıklı bir gezegeni miras almalarını sağlayarak onların ihtiyaçlarını düşünen olarak da yorumlanabilir.

Tarımsal üretimde geçen yıllar içinde yeni teknolojilerin kullanılması, makineleşme, artan kimyasal kullanımı, ihtisaslaşma, üretimi artırmayı ve gıda fiyatlarını düşürmeyi destekleyen politikalar nedeniyle verimlilik artış göstermiştir. Ortaya çıkan bu değişiklikler, yetiştiricilerin düşük fiyatlarla daha fazla üretim yapmasını sağlamıştır. Bu gelişmeler işletmelerde birçok olumlu etki yaratması ve riski azaltmasına rağmen, önemli maliyetler de ortaya çıkarmıştır. Bunlar arasında toprakların fakirleşmesi, yeraltı sularının kirlenmesi, hava kirliliği, sera gazı emisyonları, aile işletmelerinin azalması, biyogüvenlik, entansifleşme ve kırsal nüfustaki değişimler öne çıkmaktadır. Özellikle son kırk yıl içinde toplumların ödemesi gereken yüksek maliyetlerin gerekliliğini sorgulama, yenilikçi alternatifler sunma hedefiyle büyüyen bir hareket ve farkındalık ortaya konmuştur. Bugün, sürdürülebilir tarıma yönelik bu hareket, gıda üretim sistemleri içinde giderek artan bir destek ve kabul görmektedir. Sürdürülebilir tarım ile çevre sağlığı, ekonomik karlılık ve sosyal eşitlik olarak ortaya konan üç ana hedefin bir araya gelmesi sağlanmıştır.

Tarımsal üretimde sürdürülebilirlik, bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kendi gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılama gerekliliği ilkesine dayanmaktadır. Bu nedenle hem doğal hem de beşeri kaynakların uzun ve kısa vadeli kontrolü ekonomik kazanım kadar önemlidir. İnsan kaynakları yönetimi; işçilerin çalışma ve yaşam koşulları, kırsal toplulukların ihtiyaçları, bugün ve gelecekte tüketici sağlığı, güvenliği gibi sosyal sorumlulukların dikkate alınmasıdır (Tedeschia vd., 2015). Doğal kaynakların yönetimi; kaynakları korumayı, geliştirmeyi ve gelecek için yenilenmelerine izin verecek şekilde kullanmayı içerir. Yönetim konuları aynı zamanda işletmelerdeki çiftlik hayvanlarının refah kriterleri noktasındaki beklentileri de ele almalıdır.

Hayvancılık sektörü, küresel gıda sisteminin esasını oluşturur ve yoksulluğun azaltılması, gıda güvenliği ve tarımsal kalkınmaya katkıda bulunur. FAO'ya göre hayvancılık, küresel tarımsal üretim değerinin %40'ına katkıda bulunmakta ve yaklaşık 1,5 milyar insanın geçimini gıda ve beslenme güvenliğini desteklemektedir. Aynı zamanda, hayvansal üretim faaliyetleri sürdürülebilir yaşamı iyileştirmek için önemli fırsatlara sahiptir (FAO, 2022).

3. Yapağının Tarihi

Koyun, insanın ilk evcilleştirdiği hayvanlar arasında yer almaktadır. MÖ 6000 yıllarında koyunun insan yaşamında yer aldığı bilinmektedir. Taş devrinin avcı insanı koyun postunun diğer hayvanların tüylü derilerine göre daha yumuşak ve sıcaklık hissi vermesi ile yapağıyı tanımaya başlamıştır. İnsanların koyun sürülerini otlattıkları ve yünden iplik yaparak basit kumaşlar dokudukları kazılarda elde edilen eserlerden anlaşılmaktadır. MÖ 5.000-3.000 yılları arasında koyun yapağını eğirmeyi (bükmeyi) ve ipliğe dönüştürmeyi öğrenmişler, sonra kumaş yapmak için kullanmışlardır. Yapağı, kumaş dokumalarda ilk defa eski Babilliler tarafından MÖ 4000 yıllarında kullanılmıştır. Kumaştan çadır, battaniye ve giysi gibi ürünler yapılmıştır. Anılan dönemlerde, Küçük Asya'da yapağı ticareti de başlamış, bazı kitabeler Sümerler'in komşu ülkeler ile yapağı ticareti yaptıklarını göstermektedir ki bunlar ülkeler arası ilk ticaret olarak bilinmektedir. MÖ 2500 yıllarında ise Mezopotamya'da yapağı ticareti ve dokumacılık önemli bir endüstri haline gelmiştir. MÖ 2000 yıllarında Orta Asya steplerinden Yakın Doğu'ya göç eden ve buralara koyun yetiştiriciliğini getiren kavimler halı, kilim, gömlek ve pantolon gibi giysileri de tanıtmışlardır. Daha sonraki yüzyıllarda bugünkü Suriye kıyılarında bulunan tüccarlar, yeni kumaşları Akdeniz ülkelerine götürmüşlerdir (İmeryüz ve Sandıkçoğlu, 1968; Sönmez, 1974).

MÖ 800 yılında Anadolu'nun batısı Frikya'da yapağının inceliği ile ünlü koyunlar yetiştirildiği ve bunların daha sonra Romalılar tarafından Yunanistan, İtalya ve Kuzey Afrika yolu ile İspanya'ya götürüldüğü tahmin edilmektedir. İspanya'da Arap hakimiyeti altında ince yapağıya sahip koyun yetiştirilmesine çok önem verilmiş ve asırlar boyu sürdürülmüştür. Bu koyunlar daha sonra Merinos ismini almış ve 18. yy kadar ülke dışına çıkarılması

yasaklanmıştır. Merinos koyunları sonraki yıllarda önce Avrupa daha sonra dünyanın farklı ülkelerine götürülmüştür (Batu, 1962). Koyun ve yapağının uygarlıkların yayılmasında önemli katkısı bulunmaktadır. İnsanlar sıcak tutacak giysiler yapmak için koyun yapağını kullanmayı öğrendikten sonra, daha soğuk iklimlere göç etme ve buralarda yaşama şansı bulmuşlar, koyun sürülerini yanlarına alarak güvenilir bir besin kaynağına da sahip olmuşlardır.

Yapağının tarihi, neredeyse insanın tarihi ile eş zamanlıdır. İnsanların neden giyindiği hakkında pek çok farklı teori vardır. İkel insan, tevezudan çok ısınmak için yapağıya sarılmıştır. Modern insanın giyim alışkanlığı, toplumsal beklentilerden (dekoratif, rahatlık, korunma, özdeşleşme), modayı takip etmeye kadar pek çok etmeden kaynaklanır (Şekil 1). Yapağı, insanın ilk kez giyindiğinden beri denklemin bir parçası olmuştur. En eski yünü dokuma ürünler binlerce yıl öncesine dayanmakta olup, yünün tarihi zengin ve karmaşıktır. Yünlü ürünler çağlar boyunca ticaret, ekonomi ve modada etkili olmuş, tekstil ticareti 15. yy da önemli bir ivme kazanmıştır. Bu dönem, aynı zamanda İspanya ve İngiltere'nin koyun ve yün ihracatını yasaklamaya başladığı dönemdir. Tekstil endüstrisi, 18. yy da sanayi devrimi sırasında evden fabrikalara taşınmış, daha az parayla daha hızlı ve kaliteli kumaş üretebilen makinelerle tekstil endüstrisi ev tezgâhlarından fabrikalarda seri üretime geçmiştir (Anonim, 2022a). Bugün moda tasarımcıları, yapağının doğal faydalarını öne çıkararak kaliteli giysiler üretmek için en yenilikçi yünü kumaşlarla çalışmaktadır. Yünün sadece insanları sıcak tuttuğu efsanesi, Bedevi çöl göçebelerinin kendilerini serin tuttuğu için yünü giysiler giymesine yıkılmıştır. Aslında 20. yy kadar yıl boyunca yünü giysilerin kullanılması oldukça popüler olmasına rağmen, sentetik liflerin ortaya çıkışı ile giyim tercihlerinde önemli değişimler gerçekleşmiştir.



Şekil 1. Yapağının önemine genel bir bakış (Doyle vd., 2021)

4. Yapağı Üretimi ve Talebi

Koyun yetiştiriciliği ve dolayısıyla da yapağı üretimi, dünyanın birçok bölgesinde gerçekleşmektedir. Yapağı, farklı hayvanlardan elde edilen keratin liflerinin üretimi olarak da adlandırılabilir, genel anlamda kaşmir, alpaka, tiftik, yak, geyik ve deve lifleri içinde kullanılabilir. Yapağı, geniş anlamda hayvanlardan kırılarak, taranarak veya yolmak suretiyle elde edilen, bükülüp iplik yapılabilen ve dokumada kullanılan her türlü hayvansal kıllar topluluğudur. Özel anlamda yapağı, koyundan kırılmadan sonra elde edilen kirliliğe haldeki gömlekteki liflerin tümüdür. Yün, kirliliğinin yıkanmış ve yabancı maddelerden arındırılmış halidir. (Sönmez, 1974). Koyun yapağısından elde edilen lif özellikleri, ırk, yaş, çevre ve yerel pazar gereksinimlerine göre değişmektedir.

Sentetik liflerin 19. yy sonlarında başlayan, ancak 1950'lerde uygun şekilde pazarlanabilir hale gelen gelişimi, sadece giyim endüstrisini değil, aynı zamanda koyun yetiştiriciliğinde de bir değişim yaratmıştır. 1980'lere geldiğinde, petrolden elde edilen sentetik kumaşlar tekstil pazarını ucuz, hızlı üretilen giysiler, diğer evsel ve endüstriyel ürünlerle karşıladığı için yapağının ve diğer doğal liflerin kullanımı azalmıştır. Bir zamanlar ülkelerin ulusal zenginliğini oluşturan yapağı, sahip olduğu pazar payını kaybetmiştir. Koyun yetiştiricileri için, dünya pazarında yapağı değerindeki kayıp, yetiştiricilerin elinde tuttukları hayvan sayısını azaltmaya ve yavruları uzun süre elde tutmak yerine, koyun sayısını artırmadan kasaplık kuzu eti üretimine yönelmeyi zorunlu kılmıştır. Bu, Sanayi Devrimi'nin ucuz ve hazır ete ihtiyaç duyan, giderek kentleşen bir nüfus oluşturmasıyla başlayan bir eğilimin hızlanmasını da sağlamıştır. Gelinen noktada yapağı üretimi, bugün küresel tekstil lifi arzının yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır

(Tablo 1). Koyunlardan elde edilen yapağı, bu miktarın yaklaşık yarısına katkıda bulunur. Yapağı üretiminin azalması ve suni elyaf üretiminin neredeyse iki katına çıkması nedeniyle yapağının ekonomiye olan katkısı son 20 yılda yaklaşık %50 azalmıştır. (IWTO, 2019).

Toplam yapağı üretiminin yaklaşık 2 milyon tonu bulmasına rağmen, giyim üretiminde kullanılan lifin sadece yaklaşık %1'i yapağı veya yapağı bazlı olup, üretilen yapağının diğer kullanımı ev tekstili üzerinde yoğunlaşmaktadır. Sürdürülebilir yapağı üretimi, organik olarak sertifikalandırılabilen, yüksek hayvan refahı standartlarında ve doğru arazi yönetimi ile ilişkilendirilmektedir. Yapağı, tüm dünyada koyunlar tarafından üretilen, termal özellikleri ile tanınan doğal, dayanıklı ve uzun ömürlü bir elyaf olarak tanınmaktadır. Bu özelliklerine rağmen hazır giyim sanayinde kullanımı olması gereken seviyenin oldukça altındadır.

2020 yılında yün, toplam 2,5 milyar dolarlık ticaretle dünyanın en çok ticareti yapılan 653. ürünü olmuş ve dünya toplam ticaretinin %0,015'ini oluşturmaktadır. Yapağı, moda, aktif giyim, iç mekân, döşeme, havacılık, inşaat sektörleri gibi çok farklı kullanım alanlarına sahip bir üründür. Araştırma ve geliştirme çalışmaları ile farklı kullanım alanlarında değerlendirilmesi ile her yıl farkındalığı daha fazla artmaktadır. Endüstriyel anlamda, yetiştiricilerden tekstil sanayinde çalışanlarına ve perakende sektörüne kadar farklı düzeyde milyonlarca insanı istihdam etmektedir. Başlıca yapağı üreticileri arasında Çin, Avustralya ve Yeni Zelanda öne çıkmaktadır. 2020 itibarıyla Avustralya %62,9'luk bir pay ile yapağının başlıca ihracatçısı iken (1,58 milyar dolar), en büyük ithalatçı %66,2 ile Çin'dir (1,66 milyar dolar) (Anonim, 2022b). Bu noktada özellikle Çin'in yapağıya dayalı tekstil sanayinde sadece ülkedeki üretimin yanında, ithalat ile de hammadde taleplerini karşılamaktadır.

Tablo 1. Dünya lif üretimi (Anonim, 2021).

Lif çeşidi	Üretim (milyon ton)	Pazardaki payı (%)
Hayvansal lifler		
Yapağı-Koyun	1.1	1.0
Yapağı-Diğer	0.05	0.05
Alt kıl	0.53	0.5
İpek	0.11	0.1
Bitkisel lifler		
Pamuk	26.2	24.0
Diğer	6.5	6.0
Sentetik lifler		
Polyester	57.1	52.4
Poliamid	5.4	5.0
Polipropilen	2.9	2.7
Akrilik	1.7	1.6
Elastan	1.1	1.0
İnsan yapımı selülozik lifler (Viskon, Asetat, Lyocell, Modal, Cupro)	6.5	5.9
Toplam	109.2	

Dünya kirli yapağı üretimi 2020 yılında 1,9 milyon ton civarında olup, son 25 yıl içinde yaklaşık %25'lik bir azalma gerçekleşmiştir. Kirli yapağı üretiminde öne çıkan ilk on ülke Tablo 2'de verilmiştir. Bu ülkeler içinde Avustralya, Yeni Zelanda, Rusya ve Güney Afrika'da yıllar içinde belirgin bir düşüş görülürken, özellikle Çin'deki gelişme dikkate değerdir. Son 25 yıllık dönem içinde Avustralya'nın toplam kirli yapağı üretimindeki payı %28 den %18'e kadar azalmış, buna karşılık, Çin payını %10'dan %17'ye yükseltmiştir. Türkiye'nin bu yıllar arasındaki üretimdeki payı %2-4 arasında bir değişim göstermiştir. Yapağı endüstrisi, bir milyardan fazla koyundan oluşan küresel bir sürüden yılda yaklaşık 1.031.000 ton temiz yapağı (yün) elde etmektedir (IWTO, 2022). Dünya temiz yapağı üretimi kirli yapağı üretimine bağlı olarak son 25 yıl içinde %32 azalmıştır. Dünya temiz yapağı üretimi ile öne çıkan ilk on ülke Tablo 3'te verilmiştir. Temiz yapağı üretimi bakımından Çin, Türkiye, Sudan ve İran dışındaki ülkelerde üretimde azalmalar yaşanmış, özellikle Avustralya ve Yeni Zelanda da azalma %53'e ulaşırken, Çin ise en yüksek artışı elde etmiştir (%15). 2020 yılı itibarıyla toplam temiz yapağı üretiminde Avustralya %22,1 ile ilk sırada yer alırken, bunu Çin %13,5, Yeni Zelanda %9,4 ve Türkiye %3,8 ile izlemiştir.

Yapağı ile ilişkili gelecekteki talepleri gelişmekte olan yeni pazar olanaklarından yararlanma potansiyeli belirleyecektir. Geleneksel pazarlardaki azalan getiri nedeniyle, tenle temas eden giysiler

yapağı için yeni bir büyüme alanı sunmaktadır (Rowe, 2010). Yapağının pazarlaması, yün kullanımını geleneksel olmayan pazarlara yaymaya odaklanmıştır. Bu, tene yakın triko ve aktif spor giyim pazarını içermektedir. Belirtilen pazarlar yünlü ürünlerin kullanılmasının gerekliliğini temel bir katman veya tene dost olarak tanımlanması yanı sıra, düşük lif çapına (18 µm'den az) sahip olması, nefes alabilmesi, kokuya dayanıklı ve nem tutma gibi benzersiz lif özelliklerinden yararlanılmasının gerekliliği üzerinde durmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilirlik konumunu ölçmek için yaşam döngüsü değerlendirmesinde kullanımına göre yünün temiz ve yeşil eko konumu onu, çevreye duyarlı tüketici için cazip kılmaktadır. Tene yakın triko pazarının talep ettiği bazı özellikler öne çıkmaktadır. Yün kumaşa dokunulduğunda yumuşak olmalı ve bir tüketici konforu sağlamak için ağırlıklı olarak kaba liflerin (30 µm'den fazla) neden olduğu tende rahatsızlık hissi yaratmamalıdır. İncelik değerine göre tahmini temiz yapağı üretimi Tablo 4'te verilmiştir. Avustralya dünyanın 19.6 µm'den daha ince olan yapağı üretiminin yaklaşık %95'ini sağlamaktadır (Cottle, 2010). Bir tekstil ürününde yünün yaygın kullanımını sınırlayan en önemli kısıt sentetik elyaf ve pamuk gibi diğer doğal liflere göre, üretilmesi ve işlenmesi yaklaşık 4-7 kata varan yüksek maliyetlidir (Cottle, 2010). Doğal olarak, bu maliyeti karşılayabilmek için yünlü dokumaların satış fiyatının daha yüksek olmasının yanı sıra yünlü ürünlerin niş bir ürün olarak pazarlanabilmesidir.

Tablo 2. Kirlı yapağı üretimi (ton) (FAOSTAT, 2022; IWTO, 2022).

Ülkeler	Yıllar					
	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Avustralya	730.988	666.000	520.000	411.017	427.000	355.878
Çin	277.375	292.502	393.172	386.768	427.464	333.625
Yeni Zelanda	288.535	257.357	215.500	177.900	153.800	136.400
Türkiye	70.000	43.139	43.176	42.823	59.196	79.754
Fas	36.000	40.000	47.065	53.938	60.204	58.839
İran	50.900	75.000	74.568	63.828	56.453	58.372
Sudan	38.000	40.000	64.853	55.000	58.692	57.721
Rusya	93.012	40.088	48.800	53.521	55.644	51.660
Güney Afrika	67.870	45.319	44.191	44.730	45.609	50.661
Hindistan	41.440	48.400	44.900	42.991	43.600	45.844
Diğer ülkeler	902.147	757.133	768.601	725.762	738.120	732.421
Dünya	2.596.267	2.304.938	2.264.826	2.058.278	2.125.782	1.961.175

Tablo 3. Temiz yapağı üretimi (ton) (FAOSTAT, 2022; IWTO, 2022).

Ülkeler	Yıllar					
	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Avustralya	472.510	438.295	332.280	259.763	277.123	221.356
Çin	121.618	127.919	175.089	162.443	179.535	140.123
Yeni Zelanda	213.400	193.300	158.498	131.441	114.658	99.981
Türkiye	36.000	31.000	22.896	21.412	29.598	39.877
Güney Afrika	41.379	28.731	28.024	26.838	27.365	30.128
Sudan	18.000	22.500	22.500	27.500	29.346	28.860
Hindistan	33.152	38.080	35.920	27.944	28.340	27.218
Arjantin	56.566	38.911	49.622	33.630	28.648	26.688
İran	22.905	24.255	24.255	28.723	25.404	26.267
Rusya	41.855	17.658	21.615	26.761	27.822	25.830
Diğer ülkeler	462.852	382.556	348.353	352.369	364.290	391.593
Dünya	1.520.237	1.343.205	1.219.052	1.098.824	1.132.129	1.031.233

Tablo 4. İncelik değerine göre tahmini temiz yapağı (yün) üretim miktarı (ton) (FAOSTAT, 2022; IWTO, 2022)

İncelik değerleri	Yıllar					
	1995	2000	2005	2010	2015	2020
İnce ($\leq 24.5 \mu\text{m}$)	648.317	557.439	465.953	399.889	423.068	381.742
Orta ($24.6-32.5 \mu\text{m}$)	313.362	276.377	259.843	243.968	263.141	226.464
Kaba ($>32.5 \mu\text{m}$)	558.558	509.389	493.257	454.876	445.876	422.830

5. Yapağının Fiziksel Özellikleri

Koyunlar tarafından yıl boyunca geliştirilen yapağı, güneş ışığı, temiz hava, ot ve suyun basit karışımıyla oluşan %100 doğal ve yenilenebilir bir kaynaktır. İnsanoğunun bildiği tüm hava koşullarına karşı korumanın en etkili doğal biçimlerinden olan tekstil ürünleri üretmek için geliştirilmiştir. Koyunlar her yıl yeni bir yapağı üreterek yapağıyı yenilenebilir bir lif kaynağı haline getirir.

Yapağı doğada %100 biyolojik olarak parçalanabilir ve bunu sağlayan insan saçında bulunan proteinin benzeri olan keratin adı verilen doğal bir proteindir. Bu yapağıya direnç ve elastikiyet ayrıca toprakta ayrışma, toprağı zenginleştirme ve yeni yaşanı

besleme yeteneği verir. Oysa sentetik liflerin önemli bir kısmı son derece yavaş bozulur ve toprağa zararlıdır.

Dayanıklısıdır, mikroskobik düzeyde, her bir yapağı lifi, büküldükten sonra doğal şekline dönen sarmal bir yay gibidir. Bu, yünlü giysilere kırışıklara karşı doğal bir direnç kazandırır. Bu özellik takım elbiseler ve egzersiz yaparken giyilen yünlü giysiler vb. önemli bir avantaj sağlar. Yün, sentetik olarak kopyalanamayan keratin proteini sayesinde olağanüstü bir mekanik esneme özelliğine sahiptir. Yün bir yay gibidir, %30'a kadar esnetildikten sonra bile doğal şekline dönmesini sağlayan doğal bir kıvrıma sahiptir. Tek bir elyaf kırılmadan 20.000 kez bükülebilir ve tekrar kendini toplama ve doğal şekline dönme gücüne sahiptir, bu da giysi değiştirme ihtiyacını azaltır ve yünlü ürünlerin uzun süre

görünümleri bozulmaz (Anonim, 2022c). Pamuk yüne göre göre yedi kat daha hızlı kırılır.

Yenilikçidir, moda tasarımcıları ve spor giyim markaları, yünlü giysiler üzerinde benzersiz dokunuşlar için bir dizi yenilikçi işlem ve üretim tekniği arasından seçim yapabilir. Deri üzerinde yumuşaklık hissi verir. Yapağı lifleri son derece ince olup kaba liflere göre daha fazla esneklik özelliğine sahiptir. Bu özellik, yünün deriye temasında yumuşak ve rahat bir his oluşmasını sağlar.

Isı yalıtımı sağlar. Sentetik liflerin aksine yapağı, vücut sıcaklığındaki değişikliklere tepki veren aktif bir elyafır. Yapağıdaki kıvrımlar bunu gerçekleştirerek oluşturulan hava cepleri, yüne doğal bir yalıtım görevi sağlar. Yünün havadaki nemi emme ve vücuttan uzaklaştırma özelliği, deriyi koyunlarda olduğu gibi kuru ve rahat olmasını sağlar. Dikkat çekici bir şekilde, aynı zamanda vücudu serin tutmak için ters yönde de çalışır. Böylece hava soğuk olduğunda sıcak, sıcakken serin kalmaya yardımcı olur. Sıcaklık ve ısıyı koruma kapsamında enerji maliyetlerini azaltmak için evlerin yalıtımında da kullanılır.

Kokuya dayanıklıdır. Sentetik liflerin aksine, yapağı nemi emebilir, bu da vücutta terin daha az görünümünü sağlar. Yapağı, yıkandıktan sonra açığa çıkan koku moleküllerini terden emebilir. Ter birikmesinin bakteriler için bir üreme alanı haline geldiği sentetik kumaşların aksine, yünün gözenekli yapısı ve antimikrobiyal nitelikleri, giysilerin hoş olmayan vücut kokusu alma riskini azaltır.

Hipoalerjeniktir, birçok insanda alerjik reaksiyonları başlatan bakteri ve küfe karşı dayanıklıdır. Havadaki zararlı kirleticileri emer ve tekrar yaymaz. İç mekânlarda kullanılan yünlü ürünlerin 30 yıl boyunca havayı temizlemeye yardımcı olabileceği tahmin edilmektedir. Toz akarları yünü sevmezler ve hayatta kalmak için neme ihtiyaçları vardır. Yün nemi ve sıcaklığı düzenlediği için toz akarları için cazip bir kaynak değildir. Yündeki mikroskobik gözenekler, ev tozu akarlarının üremesi ve büyümesi için oldukça elverişsiz olan nemdeki herhangi bir küçük değişikliğe etkili bir şekilde yanıt verir. Yün, alerji ve astım hastaları için ideal bir üründür. Yün yataklar ve yatak takımları, sadece alerjisi olanlar için değil, aynı zamanda bunu kullananların uyku konforunun daha iyi olduğu ortaya konmuştur.

Bakımı kolay olan yünlü ürünler lekelerin emilmesini önleyen doğal bir koruyucu tabakaya sahip olup, statik dayanıklı oldukları için daha az toz alırlar. Ayrıca yünlü ürünlerin sık yıkamaya ihtiyacı olmayıp, iyi bir havalandırma genelde bu işi yerine getirmektedir.

Çok kullanılan ve geri dönüştürülen elyafır. Yünlü giysiler, ev tekstili ve yalıtım malzemesi gibi yeni uzun ömürlü ürünlere dönüştürülmek için en çok aranan geri dönüştürülmüş tekstil hammaddelerinden biridir.

Suya dayanıklı olup, yün nem damlacıklarını iter. Islaklık hissi vermeden kendi ağırlığının üçte biri kadar nemi emebilir. Sadece kendi ağırlığının %30'u kadar su ile doyduğunda ıslaklık hissi verir.

Yünün doğal kimyasal yapısı, onu aleve dayanıklı hale getirir. Yünün tutuşması, naylon, polyester ve pamuklu ürünlere göre daha zordur. Oteller, uçaklar, hastaneler ve tiyatrolar gibi ortak kullanım alanlarında oldukça güvenilir bir doğal elyafır. Pamuk 255 °C'de tutuşurken, yünün tutuşması için sıcaklığın 570-600 °C'ye ulaşması gerekir; polyester 252-292 °C'de ve naylon 160-260 °C'de erirken, yün alev alırsa, için için yanar, kendi kendine söner ve en önemlisi erimez. Bu nedenle yangın esnasında giyilen yünlü giysiler sentetik olanlar gibi deriye yapışmaz (TWC, 2022).

UV ışınlarına dayanıklıdır. Yünlü giysiler, diğer liflere göre güneşten daha iyi koruma sağlar. Koyunları dış etkenlere karşı korumak için milyonlarca yılda gelişen yapağı, UV radyasyonunu emer ve güneşten koruma sağlar. Bu özellik, çok çeşitli açık hava olaylarına karşı ürünlerde bir üstünlük sağlar (Anonim, 2022c).

6. Yünün Geri Dönüştürülmesi

Yün, döngüsel ekonominin en iyi örneklerinden biridir. Yün, aktif spor giysilerinden klasik olanlara kadar çeşitli giyim ürünleri üretmek için kullanılan çok yönlü, doğal bir liftir (Wiedeman vd., 2020). Kaynak temini, uzun hizmet ömrü ve biyolojik olarak parçalanabilirliği nedeniyle sürdürülebilir bir liftir. Bununla birlikte, yün üretim süreci kirliliğe ve zararlı emisyonlara neden olabilir. Geri dönüştürülmüş yünün pazar payı oldukça düşük olmakla birlikte, kullanımı, saf yünden yapılan kumaşların üretimi ile ilgili olumsuz çevresel etkileri azaltabilir (Opperskalski vd., 2020). Yünün geri dönüşümü, aşağıda belirtilen üç sistem de dahil olmak üzere çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir (IWTO, 2022; Bamonti vd., 2016).

Açık döngü sistemi: Yünlü dokumalar, yeniden kullanım için değerlendirmeye alındığında genellikle kıyafet dışında farklı tekstil ürünlerine dönüştürülür. Daha önce giysi olarak kullanılan ürünler dönüştürülüp ısı yalıtımı, akustik yalıtım ve şilte dolgusu gibi endüstriyel ürünler üretilir.

Kapalı döngü sistemi: Yünlü giysileri ham elyaf durumuna geri çeker ve bir kez daha yeni giysiler üretebilen iplik oluşturur. Bu sistem, benzer kalitede tekstil ürünleri üretimi ve triko gibi orijinal giysilerde kullanılır.

Yeniden mühendislik: Yünlü dokumaların farklı amaçlara sahip yeni ürünlere dönüştürülmesini veya yeni ürünler üretmek için yan akımların ve/veya yün üretim atıklarındaki yan ürünlerin kullanılmasını içerir.

Geride dönüştürülmüş yünün kullanılması ile yeni bir yün giysi üretmek için gereken boya miktarı daha az olacaktır. Özellikle boyama işleminin yüksek enerji tüketimi ve kimyasal kullanımı gerektirdiğinden, kumaş üretiminin çevresel etkisini azaltır. Geri dönüştürülmüş yünün kullanılması, kumaş üretiminde işlenmemiş yünün kullanılmasından kaynaklanan çevresel etkileri de ortadan kaldırır (Wiedemann vd., 2020). Bu olumsuz etkiler, koyunların doğal olarak ürettiği metan emisyonlarını ve işlenmemiş yünün yıkanmasından kaynaklanan su kirliliğini de içerir. Geri dönüştürülmüş yün için başka bir uygulama ise, diğer liflerle harmanlayarak yeni karışık kumaşların üretilmesidir. Bu yararlı bir yaklaşım olarak görülse de karışık kumaşların geri dönüştürülmesi (belirli liflerin çıkarılması ve ayrılması) zorlu bir süreç olduğundan, kumaştaki yünün daha fazla geri dönüştürülme kabiliyetini sınırlar (Ravasio ve Rodewald, 2018). Geri dönüştürülmüş yün kullanmanın olumlu etkileri üretimde hammadde ihtiyacını azaltmanın bu tür doğal liflerin sürdürülebilir kullanımına nasıl yardımcı olabileceğini de göstermektedir.

7. Yünlü Ürünler ve Çevre

Plastik ve sentetik malzemelerin çevre üzerindeki etkisi artmaya devam ederken, yün gibi doğal liflerin kullanılmasının bu etkiyi azaltabilme noktasında iyi bir seçim olup olmadığı yaklaşımı birlikte değerlendirmelidir. Yün lifleri, sentetik liflerden daha iyi performans gösterebilen doğal özelliklere sahiptir. Yünlü ürünler daha uzun süre dayanır, düşük sıcaklıklarda daha az yıkama gerektirir, kolayca geri dönüştürülebilir ve ayrıca hem toprakta hem de suda biyolojik olarak parçalanabilir ve herhangi bir mikro plastik kirliliğine katkıda bulunmaz. Yapılan çalışmalar okyanuslardaki mikro plastiklerin %20-35'inin giysilerden kaynaklandığı ortaya konmuştur. Bunların önemli bir kısmı

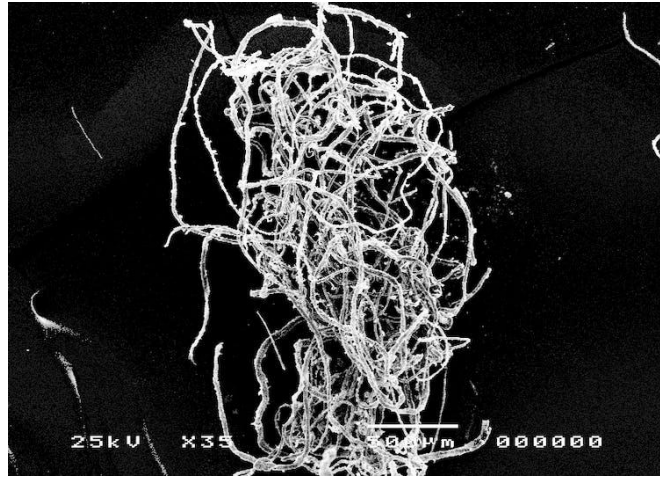
çamaşır yıkama esnasında üretilen ve yıllar içinde endişe verici bir şekilde büyüyen mikro plastik kirliliğidir (Granskog vd., 2020). Her bir yıkamada atık suya 1900'den fazla elyaf bırakan bir polyester giysi ile karşılaştırıldığında, yünlü ürünler daha az yıkama gerektirir ve suyollarına küçük plastik elyaf bırakmazlar. Genel olarak, yünlü giysilerin üretilmesi ve yıkanması için daha az su kullanır. Örneğin, yüz adet yün süveter üretmek için polyesterden %18 daha az enerji ve pamuğa göre yaklaşık %70 daha az su kullanılmaktadır (TWC, 2020).

Sentetik liflerden yapılan ürünlerin bozunması 40 yıla kadar sürebilirken, doğal bir lif olan yün bu sürenin çok küçük bir bölümünde bozulur. Bu durum yünün insan saçındaki proteine benzer doğal bir protein olan ve çevresel bir tehlikeye neden olmadan doğal olarak parçalanabilen keratinden kaynaklanmaktadır. Yün doğal şekilde biyolojik olarak parçalanır, bu nedenle çöplükler, denizler ve okyanuslarda uzun bir kalıcılığı yoktur. Yün, yıkama sırasında elyaf dökmesine rağmen, bu lifler çevreye herhangi bir zararlı etki yaratmadan doğal olarak parçalanmaktadır. Ayrıca yün, değerli besinleri yavaş yavaş toprağa geri salma ve oldukça etkili bir toprak şartlandırıcısı olarak işlev görmesi ile aylar veya yıllar içinde toprakta ayrıştığından atıkların düzenli depolama alanlarına gitmesini de azaltacaktır.

Giysilerdeki sentetik liflerin, su kaynaklarına ve gıda zincirlerine giren iki ana mikro plastik kaynağından biri olduğu belirtilmektedir. Sentetik ürünler her yıkandığında, yüz binlerce mikrolifi kanalizasyonlara bırakır. Yapılan bir araştırma, örneğin sentetik bir ceketin yıkamanın atık sulara yaklaşık bir milyon mikro lif (1.7 g) bıraktığını, bunların yaklaşık %60'ının arıtma tesislerine ve önemli bir kısmının ekim alanlarına yayıldığı, %40'ının ise denizlere ve balıklara ulaştığını belirtmektedirler (Welden, 2017).

Mikroplastik kirliliği, dünyanın en kritik küresel sorunlarından biri olarak kabul edilmektedir. Küresel olarak her yıl 12,2 milyon ton plastiğin denizlere ulaştığı tahmin edilmektedir. Bunun 3,2 milyon tonunun birincil mikroplastik yani doğrudan çevreye salınan 5 mm'den küçük parçacıklar olduğu tahmin edilmektedir (IWTO, 2020). Mikroplastik kaynağı olarak daha az bilinen, küçük plastik lifler oluşturan sentetik kumaşların parçalanmasıdır. Araştırmalar artık bunların tortu ve su örneklerinden elde edilen en yaygın mikroplastik formu olduğunu göstermekte ve büyük çoğunluğu evlerdeki çamaşır yıkama ile ortaya çıkmaktadır. Çamaşır makinesinde giysilerin aşınması ile makinenin filtreleri tarafından yakalanamayacak kadar çok küçük lifler ortaya çıkar. Bu lifler, daha sonra atık suda kanalizasyon sistemine taşınır, ancak diğer katı maddelerin ve kirleticilerin yakalandığı arıtma tesislerinde uzaklaştırılmayacak kadar küçük olduklarından, lifler nehirlere, denizlere ve okyanuslara ulaşır.

Plastikler su ortamında çok yavaş parçalanır, bu nedenle okyanus ve denizlerdeki lif miktarı yıldan yıla artmaktadır. Birçok plastik hareketlidir, yüzer özelliktedir ve sudaki binlerce kilometrelik seyahati sırasında çok çeşitli hayvanları etkileyebilirler. Mikroplastikler çok küçük olduğundan, çeşitli deniz türleri tarafından tüketmek için doğru boyuttadırlar. Balıklar, yengeçler, istakozlar, midyeler, denizhiyarları ve daha pek çok canlının bunları tükettiği bilinmektedir. Bu canlılarının yaşam döngülerini bir şekilde etkilediği hatta ölümlere yol açtığı belirlenmiştir (Welden, 2017). Plastik yiye türlerden bazıları sofralarda yemek tabaklarına gelebilir. Birçok balık türü tüketilmeden önce sindirim sistemi çıkarılmakla birlikte midye gibi omurgasızlar bütün olarak tüketilmektedir (Şekil 2). Geline nokta deniz ürünlerinden mikroplastik transferi ile bağlantılı olumsuz sağlık problemlerine dair henüz bir kanıt bulunmamakla birlikte, lifler kesinlikle su kaynaklarındadır ve plastik alımının etkisi, balıkçılığın geleceğini ve gidaların besin değerini etkileyebilir.



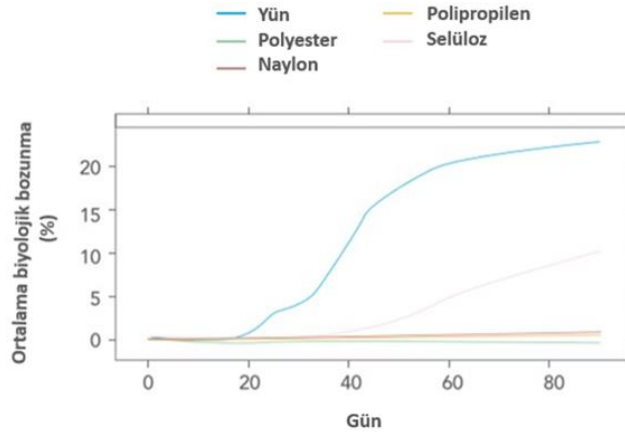
Şekil 2. Kerevitin midesinden çıkarılan plastiklerin elektron mikroskopu görüntüsü (Welden, 2017)

Dünya nüfusu arttıkça, daha fazla sentetik elyaf üretilecek ve yıkanacak, plastik liflerin yıllık salınımı ve çevre üzerindeki etkileri daha da artacaktır. Dolayısıyla önümüzdeki yıllarda deniz canlılarının çok daha fazla bu şekildeki atıklara maruz kalacakları gözden uzak tutulmamalıdır. Soruna karşı bir strateji olarak yün gibi doğal liflerin giyim ve iç mekân tekstillerinde kullanımı artmaya başlamıştır. İlk araştırmalar, yünün suda kolayca biyolojik olarak bozunduğunu ortaya koymuştur (Brown, 1994; Zhao vd., 2016; IWTO, 2020). Bu kapsamda yapılan çalışmalarda; yünün deniz, laboratuvar ve saha testlerinde biyolojik olarak

parçalanabilir olduğu gösterilmiştir. Yeni Zelanda'daki in vitro deneyler, deniz suyunda 21 gün inkübasyondan sonra yün liflerinde yüzey hasarı olduğu ortaya konmuştur. Bakterilerin denizlerin bozunmasında önemli bir rol oynadığı, toprakta ise mantarlar önce yün lifini zayıflattığı ve ardından bakteriler kalan elementleri parçaladığı belirlenmiştir (Tablo 5). 7-8 ay sonunda yün liflerinin bozulması oldukça ilerlemektedir. Yutulması halinde, kuşların sindirim sistemindeki doğal mikroliflerin büyük olasılıkla sindirildikleri belirtilmektedir (IWTO, 2020).

Tablo 5. Tekstil ürünlerinin denizlerde bozunma süresi (Brown 1994; Zhao vd., 2016; NOAA, 2007; OC ve NOAA, 2013)

Ürün	Biyolojik bozunma
Pamuklu gömlek	2-5 ay
Yün çorap	1-5 yıl
Naylon kumaş	30-40 yıl
Deri	50 yıl
Lastik çizme tabanı	50-80 yıl
Tek kullanımlık bebek bezi	450 yıl



Şekil 3. Tekstil liflerinde biyobozunma (Ranford, 2019)

Yünün toprakta 6 ay, denizde ise 1-5 yıl içinde tamamen bozulabileceği, ayrıca kompost yığığında tamamen biyolojik olarak parçalanabilir ve toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilirliği belirtilmektedir (Şekil 3). Bu da, yünlü ürünlerin kullanılmayıp atılsa bile yararlı olmaya devam ettiği anlamına gelir. Daha da önemlisi, tamamen bozduğu için her yıl okyanuslar ve denizlere karışan mikroplastik kirliliğine katkıda bulunmamaktadır (Browne vd., 2011).

8. Yün Yaşam Döngüsünün Değerlendirmesi

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, ürünlerdeki süreç veya hizmetlerin çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılan bir teknik yaklaşımdır (IWTO, 2020). Çiftliklerde koyunlardan sadece yapağı değil aynı zamanda et, süt ve gübre üretilmektedir. Çiftlik verilerinin bu farklı ürünler arasında bölünmesi gerekir. Bu noktada ürünler arasında veri paylaşımı için en kesin yöntemin biyofiziksel tahsis olduğunu belirtilmektedir (Wiedemann vd., 2015). Bu yöntem, her bir ürünü üretmek için gereken protein oranına dayanmaktadır. Tüm ürün yaşam döngüleri için doğru ve dengeli hesaplamalar yapılmasını sağlamak üzere yeni yöntemler geliştirilmektedir. Diğer taraftan koyun ırkları, üretim sistemleri, iklim ve ülkeler gibi farklı değişkenlerin yapağı gibi doğal lifler için bölgesel veriler mevcut değilse, sonuçları yorumlarken ve özellikle karşılaştırmalar yaparken dikkat edilmelidir. Çiftlik temelinde çevresel etkiler; sera gazı emisyonları, fosil enerji kullanımı, çiftlikte su stresi seviyeleri, tatlı su tüketimi, arazi kullanımı ve diğer etkiler olarak sıralanır (FAO, 2015). Yünlü giysiler için yapağı üretimi, çiftlik kaynaklı toplam sera gazı emisyonunun yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır (Thomas vd., 2012). Baskın sera gazı, koyunlar ve diğer geviş getiren hayvanların doğal sindirim sürecinin bir yan ürünü olarak salınan metandır.

Yapağının işleme ve son ürün haline dönüştürülmesinde, önemli etki kategorileri su, sera gazı, enerji ve farklı aşamalarda kimyasal kullanımından kaynaklanan etkilerdir. Taşıma dahil olmak üzere işleme ve üretim aşaması için doğru verilerin elde edilmesi, genellikle birçok farklı sektörlerin dahil olması nedeniyle zordur.

Bu aşamada gerçekleşen işlemler; tarama (tops yapma), bükme, boyama, dokuma, apre, kesme ve dikme olarak sıralanır. Diğer liflerden yapılan giysiler için en büyük sera gazı kaynağının, karbondioksit eşdeğeri birimler cinsinden toplam yaşam döngüsü emisyonlarının üçte birini oluşturan kumaş üretim aşaması (dokuma, örme, işleme vb.) olduğu ortaya konmuştur (Thomas vd., 2012).

Kullanım aşaması ise yünlü ürünü kullanan, giyen ve bakımını yapan tüketicinin çevresel etkilerinin ölçüldüğü aşamadır. Kullanım aşaması, yünün diğer liflere göre düşük çevresel etkiye sahip olmasının beklendiği aşamadır. Yünlü giysilerin daha az ve düşük sıcaklıklarda yıkandığı, havayla kurutulduğu ve diğer liflerden yapılan giysilere göre daha uzun süre dayandığı belirtilmektedir. Kullanıcı alışkanlıkları ülkeler arasında farklılık gösterdiğinden, kullanım aşaması etkilerinin ölçülmesi çok karmaşık olmakla birlikte, genellikle bu aşamada yün için etkiler daha düşüktür. Bunlar; yıkama için kullanılan su miktarı, yıkama sıcaklıkları, kurutma yöntemleri, yıkamadan önceki aşınma sayısı, giysinin ikinci veya sonraki bir sahibi tarafından kullanıldığı durumlar da dahil olmak üzere, giysinin kullanım ömrü olarak sıralanır.

Hayatın veya kullanım ömrünün sonu aşamasına gelindiğinde artık ihtiyaç duyulmayan bir ürüne ne olduğu ile ilgili etkilere bakılır. Yün giysiler oldukça dayanıklı olduğundan, genellikle ikinci ve üçüncü kullanım aşaması için bir başkasına verilir veya yeniden satılır (Russell vd., 2016). Yün, doğal karbon döngüsünün bir parçasını oluşturur. Yünlü kıyafetler, sera gazı olan karbondioksitten gelen karbonu tutarak, giysinin kullanıldığı süre boyunca gazın iklim değişikliğine etkisi yönünde olumlu katkı sağlar (Russell vd., 2016). Tüm bu CO₂, büyüme sırasında otlar tarafından kullanıldığı andan, ürününün kullanım aşamasında koyun üzerinde yapağıya dönüştürüldüğü zamana, atılana ve biyolojik olarak parçalanana kadar, ürünün ömrü boyunca atmosferden uzaklaştırılır. Birçok yünlü giysi için bu süre oldukça uzar çünkü yün çeşitli tekstil ürünlerinde kullanılır veya geri dönüştürülür (Şekil 4).



Şekil 4. Yapağının karbon döngüsü (Anonim, 2022d)

İnsanların moda endüstrisinin çevre kirliliğine etkisinin farkına varmasıyla, daha fazla sayıda tüketici doğal liflerden yapılmış plastik içermeyen giysilere yönelmeye başlamıştır. Bu durumun naylon, polyester ve akrilik gibi sentetik liflere karşı bir yaklaşımın gelişmesini sağlamıştır. Bunun yerine moda endüstrisi pamuk, yapağı, kenevir ve bambu gibi daha sürdürülebilir malzemeler kullanmayı tercih etme eğilimindedirler. Özellikle teknik tasarım, izlenebilirlik ve döngüsellik ile yapağı çok daha fazla fırsata sahiptir. Ancak moda endüstrisinin yarattığı kirliliği çözümenin, sadece sürdürülebilir hammadde kullanılmasından daha karmaşık olduğuna da bilinmektedir (Henry, 2016).

9. Yünün Çevresel Etkileri

Yapağıdan yüne olan geçiş süreci birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Hayvansal kaynaklı liflerden herhangi bir tekstil ürünü üretiminde arazi kullanımı bunlardan biridir. Artan hayvansal üretimin daha fazla ağacın kesilmesi, arazinin otlaklara dönüştürülmesi ve toprak erozyonu meydana getireceği üzerinde durulan en hassas konulardır. Yapılan birçok çalışmada, bu endişeler giderilmeye çalışılmaktadır. Özellikle koyunların otladıkları arazilerin geniş bir alanı kaplamasına rağmen, kullanılan arazilerin çoğunun ekilebilir olmadığı dikkate alınmaktadır. Bu durum, koyunların kullandıkları meraların önemli bir kısmının ürün ve ağaçlar için önemli olan verimli toprakları işgal etmediği anlamına gelmektedir. Koyunları aşırı otlatma ve toprak kalitesini bozulmaya yol açan aynı arazi üstünde uzun süre otlatmak yerine, koyunları meradan meraya serbestçe dolaşmasına izin veren otlatma modellerini uygulama atmosferdeki karbon emisyonlarını azaltmada faydalı olabilir. Meralarda otlatılan sürüler, yeni bir otlama alanına geçmeden önce otladıkları alandaki bitkilerin yeniden gelişimi, toprağın havalandırılması ve gübreleri ile zenginleşme işlevini gerçekleştirirler. Toprak, dünyanın ikinci en büyük karbon havuzudur, bu nedenle otlatma alanında karbonun atmosferden çekilip bunun yerine toprağa verilmesini sağlar.

Yapağı, polyesterin yaptığı gibi suya plastik mikrofiberleri dökmeyen doğal bir elyaftır ve kompostlanabilir. Ama daha önemlisi, yün modayı "iklim açısından faydalı" kılanın anahtarı olabilir. Bu doğru yaklaşım ile yapağı karbon üretmek yerine doğru sürü yönetimi ile aslında karbonu atmosferden toprağa ayırmaya yardımcı olur. Özellikle ekstansif üretim sisteminde ağırlıklı olarak kullanılan koyun yetiştiriciliğinin çayır meralarda otlatmanın sadece yem ihtiyacını karşılamakla kalmadığı, yayıldığı alanın ekosistemine de olumlu etki yapmaktadır. Dolayısıyla koyunları kapalı bir sistemde (entansif-yoğun) yetiştirmek o türün yüzyıllar boyunca geçirdiği değişimi de

görmek anlamına gelmektedir. Sürdürülebilir lif üretim sistemlerinde otlatmanın gerçekleştiği arazileri tanımlamak için yaban hayvanların binlerce yıldır ekosistemlere yardım ettiğini göz önünde tutmak gerekir (Anonim, 2022e).

Yün tedarik zinciri boyunca çevresel etkilerin değerlendirilmesindeki en önemli belirsizlik kaynağı veri kalitesidir. Çeşitli yün üretim ve işleme sistemleri için verilerin toplanması, bazı durumlarda ticari duyarlılık nedeniyle büyük bir zorluk oluşturmaktadır (Thomas vd., 2012). Yünlü ürünlerin yaşam döngüsünün diğer aşamaları için zorluk, son derece kişisel olabilen, sosyal, ekonomik ve kültürel faktörleri yansıtan giysilerin satın alınması, bakımı ve atılmasıyla ilgili çok çeşitli insan uygulamalarına ilişkin verilerin toplanması ve analiz edilmesidir.

Diğer birçok tarım ürünü olduğu gibi yapağı da pestisit madde kalıntıları içerebilir. Yapağı ve pamuk gibi doğal liflerin işlenmesi esnasında ortaya çıkan atık sularında pestisit kalıntıları, balmumu ve mikrobiyolojik kirlenmeler bulunabilir (Shaw, 1994; Kant, 2012). Kirliliği yıkamak için bir solventle birlikte kullanılan trikloroetilen, yeterli arıtma uygulanmadığı takdirde toprak ve yeraltı sularının kirlenmesine yol açar. Çevreye güvenli bir şekilde deşarj edilmesi için atık sudaki deterjan, yüzey aktif maddeler, pestisitler ve diğer kirlenmelerin arıtılması önem taşımaktadır (Demirer ve Alkaya, 2018). Dünyanın en büyük ham yapağı üreticisi olan Avustralya, 'ekolojik etiketler' yoluyla pestisit kullanımını azaltmada başarılı sonuçlar almıştır (Cai vd., 2009). Tekstil ürünlerine yönelik küresel talep arttıkça bunların üretimi, kullanımı ve bertarafından kaynaklanan potansiyel çevresel etkiler de artacaktır. Tatlı su ekosistemleri özellikle risk altındadır. Nehirler genellikle tekstil üretimi sırasında oluşan atıkların birincil alıcıları olarak hareket eder ve bir tekstil ürününün daha geniş yaşam döngüsü boyunca salınan kirlenmelere maruz kalır. Burada küresel teknolojik ve toplumsal süreçlerin üretim, kullanma ve elden çıkarma şeklini nasıl şekillendirdiğini ve bunun çevre kalitesi ve tatlı suların ekolojik sağlığı açısından ne anlama geldiğini önemlidir (Stone vd., 2020).

10. Yapağının Alternatif Kullanım Alanları

Yapağı pazarı daraldıkça yetiştiriciler özellikle tekstil sanayinin talep etmediği kaba karışık yapağıyı değerlendirecek alternatif yollar aramaya başlamıştır. Koyun yapağısı, su tutmayı artıran ve yavaş salınan bir nitrojen kaynağı olarak diğer kompostların turba elementinin yerini almaktadır. Turba önemli bir doğal karbon deposu görevi görür, çıkarılması ve kullanımı çeşitli nedenlerle sorun oluşturabilmektedir. Bu nedenle kaldırılması arazinin karbon depolama kapasitesini azaltırken sel riskini artırır, su kalitesini etkiler ve habitata zarar verir. Bazı çalışmalar yapağı

kompostun, iyi besin profilleri ve su tutma kapasitesi ile turba bazlı formülasyonlara benzer yumuşak ve ufalanmış bir dokuya sahip olduğunu göstermektedir. Yapağı, etkili bir ısı ve ses yalıtkanı olarak yeşil malzeme kullanımı temelinde inşa edilen eko evler için çok uygundur. Biyobozunur, sürdürülebilir ve çevre dostu bir malzeme olarak yapağı, özellikle dünya iklimine yönelik artan endişeler ışığında, tekstil endüstrisinin dışında birçok kullanım alanına sahiptir (Williams, 2021).

Kompost

Yapağı tamamen biyolojik olarak parçalanabilir olsa da bu işlem yapağının yapısı ve dış ortama bağlı olarak 3 ay ile 2 yıl arasında değişen bir zaman alır. Kompost oluşumu büyük bir avantaj sağlayarak toprağa azotun yavaş ve istikrarlı bir şekilde salınmasını sağlar (Şekil 5). Özellikle yapağının, piyasada bulunan bazı kompostlardan daha fazla ortalama %10-11 nitrojen

içermesi daha önemli yapmaktadır. Yapağı, nispeten yüksek seviyelerde potasyum (K), sodyum (Na), demir (Fe) ve fosfor (P) içermektedir. Koyun yapağısındaki çok yüksek K konsantrasyonu, yapağı yağından (lanolin) kaynaklanmaktadır. Seviyeleri N ve K kadar yüksek olmasa da koyun yapağısında bulunan P, gübrelerde bulunan temel besin maddelerinin (N, P ve K) tamamlayıcısıdır. Bazı araştırmalar, yapağının kompostlanmasının gerekemeyebileceğini belirtmektedir. Saksıda yetiştirilen bitkiler kullanılarak yapılan denemelerden elde edilen sonuçlar, ham yapağının bir besin kaynağı ve büyüme ortamı olarak kullanılabilirliğini, köklerin doğrudan ve tercihen yapağı lifleri üzerinde büyüdüğünü göstermektedir (Valtcho, 2005). Yapağının bitki beslenmesinde önemli olan azot, karbon, kükürt açısından zengin bir kaynak ve birçok bitki türünün üretiminde çevre dostu değerli bir toprak şartlandırıcısıdır (Górecki ve Górecki, 2010).



Şekil 5. Yapağı kompostu (Anonim, 2022f)

Malç ve mat

Su ve besin akışını önlemek için bitkilerin altında yapağı kullanılması 1900'lü yıllara dayanan bir yöntemdir. Yapağının dış yüzeyinde lanolin ve diğer mumsu maddelerin bulunması onu su itici yapmaktadır. Bununla birlikte, iç korteks daha hassastır ve suyu çeken ve yapağıyı oldukça emici yapan kükürt açısından zengin proteinlerin bir matrisini içerir ki bu özellikle boyama için önemli bir özelliktir.

Yer üstü bitkileri çevrelemek için malç amacıyla kullanılan yapağı, toprak sıcaklığını düzenlerken yabancı otların büyümesini azaltmaya yardımcı olan gözenekli bir kalkan sağlar ayrıca toprağı yazın serin kışın sıcak tutar (Şekil 6). Çok sayıda çalışma, yabancı ot büyümesini durdurmak için kullanılan yapağı hasırların etkinliğini ortaya koymuştur. Elle yabancı otları ayıklanan ve

standart bir herbisit kullanılan alanlar ile karşılaştırıldığında, yapağılı örtünün çileklerde yabancı ot gelişimini neredeyse tamamen ortadan kaldırdığı, bitki köklenmesini desteklediği ve meyve verimini arttırmıştır. Çileklerde yapağı malç işleminin kullanımını değerlendiren bir çalışmada ise yapağı içermeyenlere göre maksimum sıcaklıkların sürekli olarak daha düşük ve minimum sıcaklıkların sürekli olarak daha yüksek olduğunu belirlenmiştir. Genel olarak, yapağı malçının altındaki toprağın sıcaklık değişimi önemli ölçüde düşüktür. Bu çalışmalar aynı zamanda yapağı malçlarının (tek ve çift katlı) yabancı otlara karşı etkili bir bariyer olduğu ortaya koymuştur. Bazı yapağı liflerinin fiziksel bir bariyer görevi görebilecek mikroskobik dikenleri olduğundan, yapağı malçlarının sümüklü böcekleri ve salyangozları caydırabileceğini gösteren bazı çalışmalarda bulunmaktadır (Williams, 2021).



Şekil 6. Yün mat (Anonim, 2022g)

Isı ve ses yalıtımı

Yapağı, hem ses hem de ısı açısından uzun süredir etkili bir yalıtım olarak kullanılmakta olup, son zamanlarda doğal, sürdürülebilir ve yenilenebilir doğası nedeniyle yeniden ilgi görmeye başlamıştır. İklim değişikliği ve çevreye yönelik artan endişelerle birlikte, bu nitelikler tüketiciler için giderek daha önemli hale gelmiştir. Ayrıca, minimum karbon ayak izine sahip evler tasarlayan ve inşa eden "eko-evlere" olan ilgi her geçen gün daha da artmaktadır (Williams, 2021). Bu yapılarda enerji verimliliği sağlamak için iyi yalıtılmasından hareketle yapağı, kenevir ve saman gibi yenilenebilir ve sürdürülebilir malzemeler üzerinde durulmaktadır. Yapağının kendine özgü doğal çeşitliliği nedeniyle yoğunluğu tutarsız olabilir, yani cam elyafı ile karşılaştırılabilir termal etkiler yaratmak için daha fazla yapağı gerekir, ancak yapağının cam elyafına göre sayısız avantaja sahiptir. Doğal yün yalıtım, dünya çapında kullanılan çevre dostu bir akustik ve termal seçenek olma yolunda hızla ilerlemektedir. Bu doğal ürünle çalışırken herhangi bir koruyucu ekipman giyilmesi gerekmediğinden, montaj yapanlar için de sağlıklı bir malzemedir. Araştırmalar, yapağının titreşimleri etkili bir şekilde yalıtıldığını ve 6 desibele kadar gürültüyü azaltabildiğini ortaya koymuştur (Williams, 2021). Bu kapsamda, kaba, düşük kaliteli yapağının yalıtımda iyi performans gösterdiği ve koyun yetiştiricilerine bu tip yapağılarını değerlendirme potansiyeli bulunmaktadır. Yapağının polyester ile karşılaştırılarak kullanılmasına yönelik bir çalışmada, ikisinin 50:50 karışımının en iyi performansı sağladığı, %70'in üzerinde gürültü emdiği, yüksek nem altında iyi nem direnci ve %65-70 biyolojik bozunma gösterdiği bulunmuştur. 50:50 karışımı, hem %100 polyester elyaftan hem de %100 yapağıdan

daha iyi performans gösterdiği ortaya konmakla birlikte, polyesterin biyolojik olarak parçalanmadığı dikkate alındığında %100 yapağıda yapılan malzemenin en etkili olmasa da daha çevre dostu bir seçenek olduğu dikkate alınmalıdır.

İnşaat uygulamalarının ve malzemelerinin çevresel etkilerine ilişkin toplumsal kaygılar, "yeşil" yapı ürünlerine olan talep, üretim ve kullanımdaki artışla ifade edilmektedir. Yapı endüstrisine daha fazla biyolojik ürün, doğal ve yenilenebilir kaynağı entegre etme arzusu yapağıdan yapılan yalıtım ürünlerinin üretimini teşvik etmiştir (Şekil 7). Yapağının yalıtım özellikleri ve diğer faydaları hakkında önemli kaynaklar bulunmasına rağmen, farklı üretim ölçeklerinde yapağı kullanımının yalıtım ekonomisi ve üretim süreçleri hakkında daha az şey bilinmektedir (Corscadden vd., 2014).

Yapağının diğer farklı kullanım alanları içinde yan ürünü olan lanolin yapıştırıcı banttan oto yağlamaya, kozmetik ve şampuanlara kadar sayısız kullanıma sahiptir. Ayrıca yapılarda tuğlaları güçlendirmek için yün ve deniz yosunu karışımı kullanılmakta, bu da malzemenin daha güçlü ve çevre dostu olmasını sağlamaktadır. Yapağı yalıtımlı ambalaj kutuları üretiminin yanı sıra, büyük petrol sızıntılarını emmek için de başarıyla kullanılmaktadır. Çekiçlerin etkisini yumuşatan piyanolarda bile yün görülebilir. Bu harika elyaf için gelecekte yeni ve yenilikçi kullanım alanlarının artması kaçınılmazdır.



Şekil 7. Yün yalıtım malzemesi (Anonim, 2022h)

11. Sonuç

Yapağı, hazır giyim sektöründeki döngüsel ekonominin en iyi örneklerinden biridir. Yapağı gibi doğal liflerin en büyük faydalarından biri, yenilenebilir kaynaklardan üretilmeleri, biyolojik olarak parçalanabilmeleri, uzun süre kullanılabilmeleri ve işlenmesi için minimum miktarda kimyasal gerektirmeleridir. Bugüne kadar üretilen yapağının önemli bir kısmı giyim için kullanılmakla birlikte, esneklik ve dayanıklılığı, koku ve ateşe dayanıklılık özellikleriyle birleştiğinde, onu hem dekoratif hem de işlevsel olmak üzere sayısız amaç için uygun hale getirmiştir. Bu gelişmeler koyun yetiştiriciliği sürü yönetim uygulamalarında bazı iyileştirmelerin de yapılması gerektiği, koyunların daha bütünsel arazi ve yetiştirme uygulamaları ile karbonu atmosferden ve toprağa emerek modayı "iklim için faydalı" hale getirebildiği bir yaklaşım tartışılmaktadır. Dünyada özellikle yenilenebilir kaynakların kullanımına önem verildiği ve sürdürülebilir bir yaşamın gerekliliklerinin tartışıldığı bir ortamda Türkiye'de koyunlardan elde edilen yapağının insan hayatındaki yerini bilinen kullanım alanları dışında farklı ürün çeşitleri ile zenginleştirilebilecek bir farkındalığın yaratılması gerekmektedir. Bu yaklaşım yapağıya gerçek değerini vermenin ötesinde, koyun yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliği açısından da hayati bir öneme sahiptir.

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır.

12. Kaynaklar

- Anonim, (2018). Wool fibre structure and properties. https://www.sciencelearn.org.nz/image_maps/61-wool-fibre-structure-and-properties (26.09.2022)
- Anonim, (2021). Textile Exchange Preferred Fiber & Materials Market Report 2021. Textile Exchange. https://textileexchange.org/app/uploads/2021/08/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-and-Materials-Market-Report_2021.pdf (12.11.2022)
- Anonim, (2022a). The History of Wool. <https://www.wool.ca/images/uploads/files/care/wool-fact-sheets.pdf>. (19.11.2022)
- Anonim, (2022b). <https://oec.world/en/profile/hs/wool>. (10.12.2022)
- Anonim, (2022c). <https://www.woolmark.com/fibre/> (10.12.2022)

- Anonim, (2022d). <https://www.woolmark.com/industry/research/wool-is-biodegradable/> (15.12.2022)
- Anonim, (2022e). <https://sustainablefoodtrust.org/articles/what-about-wool/> (15.12.2022)
- Anonim, (2022f). <https://www.dalefootcomposts.co.uk/products/wool-compost-for-seeds.p.aspx> (20.12.2022)
- Anonim, (2022g). <https://www.manufactum.com/sheeps-wool-weed-mat-a68563/> (20.12.2022)
- Anonim, (2022h). <https://www.indiamart.com/proddetail/rockwool-insulation-material-16366594130.html> (20.12.2022)
- Antoniadou, K. (2022.) Is Wool Sustainable? Here's What You Need to Know. <https://indiegetup.com/is-wool-sustainable/> (10.11.2022)
- Bamonti, S., Spinelli, R., Bonol, A. (2016). Environmental footprint in the production of recycled wool. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15(9), 1923-1931.
- Batu, S. (1962). Koyunculüğün Esasları. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Yayın No: 136, Ders Kitabı: 56.
- Brown, R.M. (1994). The Microbial Degradation of Wool in the Marine Environment. Thesis for the degree of Master of Science in Microbiology, University of Canterbury, New Zealand.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ. Sci. Technol.* 45, 9175-9179.
- Cai, J., Russel, I., Pierlot, A. (2009). Developing 'Eco-Wool' Compliant Supply Chains for Australian Wool. Australian Wool Innovation, Victoria, Australia.
- Corcadden, K., Biggs, J.N., Stiles, D.K. (2014). Sheep's wool insulation: A sustainable alternative use for a renewable resource?. *Resources Conservation and Recycling*, 86 (4):9-15.
- Cottle, D.J. (2010). Wool preparation and metabolism. In: Cottle, D.J. (Editor), *International Sheep and Wool Handbook*. Nottingham University Press, Nottingham, UK, pp. 581-618.
- Demier, G., Alkaya, E. (2018). Cleaner production guide for the textile sector efficiency in use of resources, a decrease in costs, harmony with the environment. WWF-Turkey.
- Doyle, E.K., Preston, J.W.V., McGregor, B.A., Hynd, P.I. (2021). The science behind the wool industry. The importance and value of wool production from sheep. Creative Commons Attribution License, Vol: 1, N: 2.
- Dalton, H., Fitts, M., Hu, M.M. (2020). Textiles. The New Fashion Initiative. Retrieved from: <https://thenewfashioninitiative.org/wp-content/uploads/2020/12/Textiles.pdf>.
- Górecki, R.S., Górecki, M.T. (2010). Utilization of waste wool as substrate amendment in pot cultivation of tomato, sweet pepper, and eggplant. *Polish J. of Environ. Stud. Vol. 19, No. 5, 1083-1087.*
- Graham, V. (2020). COVID-19 will change the world and wool must change too. <https://newmerino.com.au/covid-19-will-it-change-the-world-for-wool/>
- Granskog, A., Laizet, F., Lobis, M., Sawers, C. (2020). Biodiversity: The next frontier in sustainable fashion. McKinsey.com.
- FAO, (2015). Greenhouse Gas Emissions and Fossil Energy Demand from Small Ruminant Supply Chains: Guidelines for quantification, Version 1. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. FAO, Rome, Italy.
- FAO, (2022). <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-the-2030-agenda-for-sustainable-development/sustainable-agriculture/en/> (08.10.2022)
- Henry, B. (2016). Tbc Environmental Impacts of Wool Textiles Home/Sustainability/ <https://iwto.org/sustainability/tbc-environmental-impacts-of-wool-textiles/>
- IWTO (2019). IWTO market information: statistics for the global wool production and textile industry. Brussels (Belgium): Poimena Analysis & Delta Consultants.
- IWTO, (2020). Wool in Aquatic Environments. https://iwto.org/wp-content/uploads/2020/04/IWTO_Wool-Aquatic.pdf (14.10.2022)
- IWTO (2022). <https://iwto.org/wp-content/uploads/2022/04/IWTO-Market-Information-Sample-Edition-17.pdf> (10.10.2022)
- İmeryüz, F., Sandıkçıoğlu, M. (1968). Koyun Yetiştiriciliğinde Yapağı. Lalahan Zootehni Araştırma Enstitüsü, Yayın No: 22, Ankara.
- Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*, 3(1): 22-26.
- NOAA, (2007). NOAA 101 Clean Guide. National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program, US Department of Commerce
- OC, NOAA. (2013). Talking Trash & Taking Action. Publication of the Talking Trash & Taking Action Educational Program of the Ocean Conservancy and National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program <https://marinedebris.noaa.gov/talking-trash-and-taking-action> (25.10.2022)
- Opperskalski, S., Siew, S., Tan, E., Truscott, L. (2020). Preferred fiber & materials market report 2020. Textile Exchange. https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2020/06/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2020.pdf (19.11.2022).
- Rajaa, A.S.M., Shakyawar, D.B., Kumar, A., Pareek, P.K., Temani, P. (2013). Feltability of coarse wool and its application as technical felt. *Indian Journal of Fibre & Textile Research Vol. 38, pp. 395-399.*
- Ranford, S. (2019). Wool Biodegradation: Presented at 88th

IWTO Congress in Venice.

20(4):463–476.

- Ravasio, P., Rodewald, A. (2018). Recycled wool: A primer for newcomers and discoverers. European Outdoor Group and Greenroom Voice. https://global-uploads.webflow.com/5ed628f951e6c112227290bb/5f3819d90d27c906a6a13208_FINAL%20-%20EOG%20Recycled%20Wool%20Report.pdf (20.11.2022).
- Russell, S., Swan, P., Trebowicz, M., Ireland, A. (2016). Review of wool recycling and reuse. In: Fangueiro R, Rana S (eds) Natural Fibres: advances in science and technology towards industrial applications: from science to market, 1st edn. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 415–428.
- Shaw, T. (1994). Agricultural Chemicals in Raw Wool and the Wool Textile Industry. *Water and Environmental Journal* 8 (3): 287-290.
- Stone, C., Fredric, M.W., Munday, M., Durance, I. (2020). Natural or synthetic – how global trends in textile usage threaten freshwater environments. *Science of the Total Environment*, 718 (2020) 134689.
- Sönmez, R. (1974). Koyunculuk ve Yapağı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 108, İzmir.
- Tedeschia, L.O., Muirb, J.P., Riley, a D.G., Foxc, D.G. (2015). The role of ruminant animals in sustainable livestock intensification programs. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, Vol. 22, No. 5, 452–465.
- Thomas, B., Fishwick, M., Joyce, J., van Santen, A. (2012). WRAP, A Carbon Footprint for UK Clothing and Opportunities for Savings. Environmental Resources Management Limited, UK.
- Tüfekçi, H., Olfaz, M. (2014). Yapağının Alternatif Kullanım Alanları. Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi, (1-2):18-28.
- TWC (2020). Sustainable Material Guide-06Wool. The Woolmark Company. <https://refashion.fr/eco-design/sites/default/files/fichiers/Sustainable%20Material%20Guide%20Wool.pdf> (12.08.2022)
- TWC (2022). Wool is Resistant To Fire. The Woolmark Company. https://www.woolmark.com/globalassets/_06-new-woolmark/_industry/research/factsheets/gd2405-wool-is-fire-resistant.pdf (10.10.2022)
- Valtch, o D.J. (2005). Assessment of Wool Waste and Hair Waste as Soil Amendment and Nutrient Source, *Journal of Environmental Quality*, 34(6), 2310-17.
- Welden, N. (2017). The Conversation. How your pile of laundry fills the sea with plastic pollution <https://theconversation.com/how-your-pile-of-laundry-fills-the-sea-with-plastic-pollution-80109> (07.12.2022).
- Wiedemann, S.G., Ledgard, S., Henry, B., Yan, M., Mao, N., Russell, S. (2015). Application of life cycle assessment to sheep production systems: investigating co-production of wool and meat using case studies from major global producers. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.
- Wiedemann, S.G., Biggs, L., Nebel, B., Bauch, K., Laitala, K., Klepp, I.G., Swan, P.G., Watson, K. (2020). Environmental impacts associated with the production, use, and end-of-life of a woollen garment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 1486-1499.
- Williams, C. (2021). The Use of Wool in Compost and other Alternative Applications. <https://u.osu.edu/sheep/2021/03/23/the-use-of-wool-in-compost-and-other-alternative-applications/> (10.12.2022).
- Zhao, S., Zhu, L., Li, D. (2016). Microscopic anthropogenic litter in terrestrial birds from Shanghai, China: not only plastic but also natural fibers. *Sci. Total Environ.* 550, 1110–1115.

DERLEME MAKALESİ

Türkiye’de Elektrikli Araçlarda Kullanılan Tahrik Bataryalarına Yönelik Geri Dönüşüm Yaklaşımları

Orhan TOPAL

Yazışma yazarı:

Orhan TOPAL,
otopal@aselsan.com.trAselsan A.Ş., Ankara, Türkiye.
ORCID: 0000-0003-3857-5689

Referans:

Topal, O. (2024). Türkiye’de Elektrikli Araçlarda Kullanılan Tahrik Bataryalarına Yönelik Geri Dönüşüm Yaklaşımları, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 25(1), 37-46.

Makale Gönderimi : 14 MART 2024
Online Kabul : 25 HAZİRAN 2024
Online Basım : 1 TEMMUZ 2024

Özet Dünya genelinde artan elektrikli araç kullanımı, tasarımındaki en önemli alt bileşen olan yüksek gerilim tahrik bataryalarına olan ihtiyacı arttırmaktadır. Bu durumun, elektrikli araç tahrik bataryalarına yönelik ikincil ömür ve geri dönüşüm yaklaşımlarını geliştirerek, yakın gelecekte batarya endüstrisinin muhtemel çevresel etkilerine ve alt bileşenlerine yönelik hammadde tedarikine doğrudan katkı sunması beklenilmektedir. Satista tarafından yayınlanan bir raporda, otomotiv endüstrisindeki yaşanan eksen kayması ile birlikte 2025 yılına kadar bataryalı elektrikli araçlar için 45 kWh, plug in hibrit elektrikli araçlarda ise 11 kWh ortalama batarya kapasitesine ulaşılabileceği belirtilmiştir. Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryalarının başta kullanım ömürleri boyunca maruz kaldıkları nominalin dışındaki çalışma koşulları olmak üzere belirlenen yaşam döngüsüne esas şarj/deşarj sayılarının artması, şarj/deşarj döngüsündeki maksimize kullanım vb. hususlar, performans eğrilerinde yıllara sâri azalmalara sebep olmaktadır. Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryaları için toplam kullanılabilir kapasitenin %80’ini koruması ve 24 saatlik bir zaman dilimi içinde en fazla %5’likdeşarj oranı (kullanılmaksızın), kullanılabilir yaşam döngüsü için belirleyici kriterler olarak nitelendirilmektedir. Türkiye’de 2023 Eylül itibari ile trafiğe kayıtlı M1, M2 ve M3 sınıfı elektrikli araçların toplam sayısı 248.756 adet olup, söz konusu bu araçların takribi 4,52 GWh’lik batarya kapasitesine sahip olduğu öngörülmektedir. Bu çalışma ile Türkiye ölçeğinde de elektrikli araç tahrik bataryalarının ikincil kullanımları sonrasını esas alan, geri dönüşüm yaklaşımları ön plana çıkarılmıştır. Bu yaklaşımlar, ikincil ömür uygulamaları sonrası için uygulanabilecek yeni bir konsept ve beraberinde ihtiyaç duyulacak yeni bir iş kolu olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte hammadde ve emtia fiyatlarındaki dalgalanmalar, jeopolitik durumlar ve uluslararası düzenlemeler nikel, manganez ve kobalt gibi yüksek katma değere sahip, yeni nesil batarya üretimleri için kullanılacak baz hammaddeler için geri dönüşümü daha da önemli kılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: elektrikli araçlar, tahrik bataryalarında geri dönüşüm, hidrometalurji ve pirometalurji yöntemleri

Recycling Approaches for Propulsion Batteries on Electric Vehicles in Türkiye

Abstract The increasing use of electric vehicles worldwide is increasing the demand for high voltage traction batteries, which are the main sub-component in their design. This situation is expected to improve the secondary life and recycling approaches for electric vehicle drive batteries and directly contribute to the potential environmental impacts of the battery industry and the raw material supply for its sub-components in the near future. A report published by Satista states that the shift in the automotive industry will lead to an average battery capacity of 45 kWh for battery electric vehicles and 11 kWh for plug-in hybrid electric vehicles by 2025. Issues such as increasing the number of charge/discharge cycles based on the specified life cycle, maximising the use of the charge/discharge cycle, etc., in particular the operating conditions other than the nominal ones that the traction batteries used in electric vehicles are exposed to during their lifetime, cause a decrease in their performance curves over the years. For traction batteries used in electric vehicles, the maintenance of 80% of the total usable capacity and a maximum discharge rate of 5% (without use) within a 24-hour period are considered as the determining criteria for the usable life. In September 2023, the total number of M1, M2 and M3 class electric vehicles registered in Turkey will be 248,756 and it is estimated that these vehicles will have a battery capacity of approximately 4.52 GWh. In this paper, recycling approaches based on the post-use of electric vehicle drive batteries are brought to the forefront in Türkiye. This concept is considered as a new concept that can be applied for after the batteries are used for secondary life applications and a new business line that will be needed. In addition, fluctuations in raw material and commodity prices, geopolitical situations, and international regulations make the recycling of base raw materials with high added value, such as nickel, manganese, and cobalt, even more crucial for the production of next-generation batteries.

Keywords: electric vehicles, recycling on propulsion batteries, hydrometallurgy and pyrometallurgy process

1. Giriş

Dünya genelinde satışı gerçekleştirilen bütün yeni araçların 2020 yılında yaklaşık %5'i, 2021 yılında ise yaklaşık %9'u elektrikli araç olarak kayıtlara geçmiştir. Elektrikli araç pazarı 2022 yılına gelindiğinde bir önceki yıla göre %55 artarak 10 Milyonluk satış hacmine ulaşmış olup, bu değer satılan bütün yeni araçların %14'üne tekabül etmektedir. Küresel elektrikli otomobil satışı 2023 yılında da bir önceki yıla göre %35 artış ile 14 milyona yaklaşarak, satılan tüm otomobillerin %18'ine karşılık gelmiştir. Elektrikli otomobillerin 2024 yılı pazar payı, üreticiler arasındaki rekabet, düşen batarya/otomobil fiyatları ve devam eden politika desteğiyle Çin'de %45'e, Avrupa'da %25'e ve Amerika Birleşik Devletleri'nde %11 seviyesine ulaştığı; bu yönü ile satılan her beş araçtan birinden fazlasının elektrikli olarak kayıtlara geçtiği belirtilmiştir (BloombergNEF, 2024).

Elektrikli mobilite ile birlikte küresel ölçekte kullanımı artan elektrikli araçlar, pazar içerisindeki önemli alt bileşen olan tahrik bataryalarının da pazar hacminde büyümeyi gerektirmektedir. Buna bağlı olarak 2021 yılında 330 GWh olan otomotiv endüstrisinde kullanılan lithium-ion bazlı tahrik batarya talebi, 2022 yılında %65 artarak 550 GWh ulaşmıştır (Topal,2023; Electric Vehicle Outlook, 2023). Bununla birlikte bu çalışmaya esas, önümüzdeki on yıl içinde 100 Milyondan fazla elektrikli araçta kullanılan tahrik bataryasının ömrünü tamamlayarak, kullanılabilir olmaktan çıkmasının beklendiği ifade edilmektedir (Fleischmann vd., 2023).

Özellikle Çin gibi elektrikli araç kullanımının uzun süredir yaygın olduğu pazarlarda, ömrünü tamamlamış elektrikli araç tahrik bataryalarının büyük hacimlere ulaştığı bilinmektedir. Bu suretle elektrikli araç dönüşümünün (kullanımının) önemli oranda gerçekleştirildiği ülkelerde, ömrünü tamamlamış elektrikli araç tahrik batarya kapasitelerinin geri dönüşümü zorunlu kılacak miktarlara ulaştığı; ilgili otoriteler tarafından çeşitli yaptırımları içerisinde barındıracak uygulamaların yakın gelecekte hayata geçirilmesi beklenmektedir. Öyle ki McKinsey tarafından hazırlanan konuya dair raporda, 2030 yılı sonrası tahrik bataryaları üretimi için geri dönüşümü sağlanacak ömrünü tamamlamış tahrik bataryalarının ana kaynak olarak kullanılmasının beklendiği ifade edilmektedir (Fleischmann vd., 2023).

Otomotiv endüstrisi tarafından elektrikli araç üretimine esas belirlenen karbonsuzlaştırma ve etik tedarik zinciri hedefleri, tahrik batarya hücreleri için kullanılacak hammadde ihtiyacının geri dönüşüm marifetiyle elde edilmesi için motivasyon sağlarken; bu yönüyle yeni üretilen tahrik batarya hücreleri için kilovat-saat (kWh) başına %25'ten fazla daha düşük karbon ayak izi oluştuğu belirtilmektedir (Breiter vd., 2023). Beraberinde özellikle belli ülkelerin güdümünde olan tahrik bataryası üretiminde kullanılan hammaddelerin tedariki yerine, bunların lokal bazda geri dönüşüm marifeti ile elde edilmesi sayesinde üretim kaynakları için de avantaj sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Diğer taraftan konu ile ilgili hazırlanacak yasal düzenlemelerin başta ilgili kuruluşlar olmak üzere, elektrikli araçlarda

kullanılan tahrik bataryalarının geri dönüşümü konusunda teşvik sağlaması beklenilmektedir. İklim değişikliği ile mücadele ve yeşil dönüşüm hedefleri kapsamında AB tarafından yayımlanan Fit for 55 hedefleri kapsamında, 28 Temmuz 2023 tarihinde AB nezdinde yürürlüğe konulan 2023/851 sayılı tüzük, 2035 yılı itibarı ile kullanılacak binek ve hafif ticari araçların karbon emisyonlu olmasını amaçlamaktadır (EU Regulation 2023/851,2023). Buna göre hafif taşıma araçları, endüstriyel, elektrikli araç tahrik bataryalarının içeriğine ve geri dönüşüm oranına ilişkin etiketlemenin 2026 yılında; dijital batarya pasaportuna geçişin de 2027 yılında sağlanacağı bildirilmiştir (Ticaret Bakanlığı, AB Batarya Mevzuatı, 2023).

Avrupa Birliği'nin emisyonlarını 2030 yılına kadar en az %55 oranında azaltma yönündeki iklim politika hedefine ulaşmayı yasal bir zorunluluk haline getirmesi; üye ülkeleri hedef doğrultusunda 2050 yılına kadar karbon nötr hale getirmek için yeni mevzuat düzenlemeleri konusunda çalışmaları hızlandırmaktadır (Kettner & Wretschitsch, 2023). Bu kapsamda yürütülen projelerle, elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryaları için karbon ayak izlerinin yayınlanması zorunlu kılınmış ve yeni üretilen elektrikli araç tahrik bataryaları için maksimum geri dönüşüm içeriği sağlanmasına dair gereksinimler ortaya konulmuştur. Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryaları için atık yönetiminde Avrupa Birliği pazarında üretici/ithalatçı/distribütör için Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu kavramı getirilmiş ve yükümlülüklerin yerine getirilmesine yönelik hedefler ortaya konulmuştur. Bu minvalde 2028 yılı sonu itibarı ile elektrikli skuter, elektrikli bisiklet gibi hafif taşıma araçlarındaki atık bataryaların toplanma hedefi için %51, 2031 yılı için %61 olarak belirlenmiştir. Mevzuatta endüstriyel ve elektrikli araç bataryalarının toplanmasına ilişkin hükümler de yer almasına rağmen tarih ve hedef (oran) belirlenmemiştir.

Elektrikli araçlarda kullanılan ve faydalı ömrünü tamamlamış tahrik bataryaları için ikincil kullanımı sonrası geri dönüşüme dair ortaya konulan yaklaşımların derlendiği bu makale ile Türkiye özelinde geri dönüşüm süreçlerini kapsayan yeni bir e-atık konsepti hazırlanması gerektiğine vurgu yapılmaktadır. Bu çalışmada ömrünü tamamlamış tahrik bataryaları için alternatif geri dönüşüm konseptleri çerçevesinde ortaya konulacak yeni iş konseptlerine dair değerlendirmelere de yer verilmektedir.

2. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Tahrik Bataryaları için Yaşam Döngüsüne Yönelik Değerlendirmeler

Elektrikli araç tahrik bataryaları için tüketici elektroniğinde kullanılan bataryalardan farklı olarak, ömrünü tamamlamış şekilde nitelendirilmesi sonrası, ikincil ömür kullanımları söz konusu olabilmektedir. Özellikle gereksinimleri elektrikli araçlardan daha az zorlu olan ve çevrim talepleri düşük, yedek güç kaynağı gibi ikincil ömür uygulamaları giderek yaygınlaşmaktadır. Elektrikli araçların artan kullanımı sonucu, potansiyel olarak büyük miktarlara ulaşması beklenen kullanılmış tahrik bataryaları, geri dönüşüm yapılmadan mevcut hali ile (kimi zaman kısmi revizyonlar gerekli olabilmektedir) ekonomik ve çevresel faktörler gözetilerek, enerji depolama uygulamaları için sürdürülebilir yaklaşım sunabilmektedir.

Elektrikli araç tahrik bataryalarının ikincil ömür kullanımları, geri dönüşüm potansiyellerini geciktirmekte, bu durum geri dönüşüm teknolojilerinde verimliliğin artırılmasını gerekli

kıldığı belirtilmektedir (Xu vd., 2020). Ömrünü tamamlamış elektrikli araç tahrik bataryaları, çevre dostu geri dönüşüm konseptleri marifeti ile ekonomik ve çevresel faydalar sunarken, uygun olmayan yöntemler özellikle çevresel sorunlara neden olabilmektedir (Lang vd., 2022).

Elektrikli araçların artan popülaritesiyle birlikte, bataryalarının geri dönüşümüne yönelik yakın gelecekte yasal zorunluluklar getirileceği belirtilmektedir (Lai vd., 2022). Elektrikli ve hibrit araç tahrik bataryalarının bertarafı ve geri dönüştürülmesi sürecinde kullanılan enerji kaynaklı açığa çıkan emisyon değerinin, tahrik batarya üretiminde kullanılacak hammaddenin tedariki ve batarya üretim süreçleri kapsamında ihtiyaç duyulan enerji kullanımına karşılık gelen emisyon değerinden daha az olduğu ifade edilmiştir. Elektrikli araç tahrik bataryalarının geri dönüşümüne katkı sunması beklenen iyileştirilmelerin başında, yasal çerçevede ortaya konulacak zorunluluklar ve geri dönüşüm maliyetlerinin azaltılmasının geldiğine vurgu yapılmıştır (Garg, 2019).

Elektrikli araç bataryalarının geri dönüştürülmesindeki ekonomik kaygılar, verimli geri dönüşüm yöntemlerine olan ihtiyacı ön plana çıkarmaktadır (Catton vd., 2019). Geçmiş dönemlerde elektrikli araçlardan çıkan yaklaşık 250.000 ton bataryanın büyük ölçüde bertaraf edildiği belirtilmektedir (Jian vd., 2018). Yeni üretilen elektrikli araçların sahip olduğu tedarik zinciri mekanizmalarına yönelik yapılan bir çalışmada, satılan elektrikli araçlardaki tahrik bataryalarının, kullanım ömrünün tamamlanması sonrası geri toplatılarak, geri dönüşümde kullanılmasının tedarik zinciri dinamiklerince dikkatle değerlendirilmesini gerektirdiği belirtilmiştir (Zhang vd., 2022). Mevcut durumda elektrikli araçlarda kullanılan ömrünü tamamlamış tahrik bataryalarının ekonomik gerekçelerle yaygın olarak geri dönüştürülemediği, bu durumun yenilikçi ve uygun maliyetli geri dönüşüm yöntemlerine olan ilgiyi arttırdığı belirtilmektedir (Zou vd., 2013).

Elektrikli araç tahrik bataryalarının geri dönüşümüne dair belirleyici unsur, geri dönüşüm sürecinde elde edilen alt ürünler ile sunulacak katma değer ve ömrünü tamamlayan bataryalar için depolama ve/veya bertaraf prosesi için kaçınılan maliyetlerdir. Ayrıca geri dönüşüm süreçlerinin ekonomik ve çevresel avantajlarının ön plana çıkarıldığı yaklaşımların vurgulanması gerektiği ifade edilmektedir (Foster vd., 2014). Mevcut durumda elektrikli araçlarda yer alan tahrik bataryalarının toplam kapasitesinin belirlenmesi ya da bu verilerin kayıt altında tutulması, gelecekteki malzeme geri dönüşüm akış tahminlerini iyileştirebileceği ve etkili geri dönüşüm stratejileri için kullanılacak yaklaşımlara temel teşkil edeceği vurgulanmaktadır (Cribioli & Gohlke, 2021). Tahrik bataryaları için geri dönüşümünün ana sorumluluğu OEM (Original Equipment Manufacturer) ve/veya batarya üreticilerine ait olması gerektiği belirtilmektedir (Ying-hao vd., 2014). Elektrikli araç üretiminde öncü olan başlıca ülkelerde, etkili geri dönüşüm teknolojileri geliştirmeye yönelik küresel yaklaşımları esas alan, tahrik bataryası geri dönüşümüne ilişkin kılavuzlar oluşturulmuştur (Cheng, 2020). Mevcut durumda herhangi bir geri dönüşüm prosesinin uygulanmadığı, olumsuz çevresel etkiye sahip malzemelerin yeniden üretimi, elektrikli araç tahrik batarya endüstrisinin sürdürülebilir gelişimi için önem arz ettiği dile getirilmektedir (Zhang vd., 2023).

Elektrikli araç satışlarında tahrik bataryaları için üreticiler tarafından 8 ila 10 yıl veya 100.000 ila 150.000 km esas sunulan garanti koşulları yer almaktadır. Öyle ki Türkiye'de piyasaya sürülen yeni bir elektrikli araç modeli için distribütörü tarafından 10 yıl veya 1.000.000 km batarya garantisi sunulmuştur (Ssangyong Türkiye). Buna göre tahrik

bataryaları için kullanılabilir batarya kapasitenin %80 altına düşmesi, garanti koşulları çerçevesinde tahrik bataryaları için ikincil kullanıma geçilmesini gerekli kılmaktadır (Engel vd., 2019). Elektrikli araç tahrik bataryalarının maruz kaldığı zorlu çalışma şartları, özellikle ilk beş yıllık işletme süreleri içerisinde büyük ölçüde bataryalarda bozulmalara (arıza) ve performans kayıpları ile karşı karşıya kalınmasına sebep olmaktadır. Ancak söz konusu duruma dair net bir yönerge ya da ölçülenmesine dair objektif, etkin bir yaklaşım bulunmamaktadır (Topal, 2023).

Bütün dünya ile eşgüdüm halinde Türkiye'de de elektrikli araç kullanımı artmaktadır. Buna göre Ocak-Nisan 2024 döneminde trafiğe kaydı yapılan 343.585 adet otomobilin %7,5'i elektrikli olup, Nisan 2024 sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı 15.562.640 adet toplam otomobilin ise %1,7'si hibrit ve %0,7'si elektrikli olduğu belirtilmektedir (TÜİK, 2024).

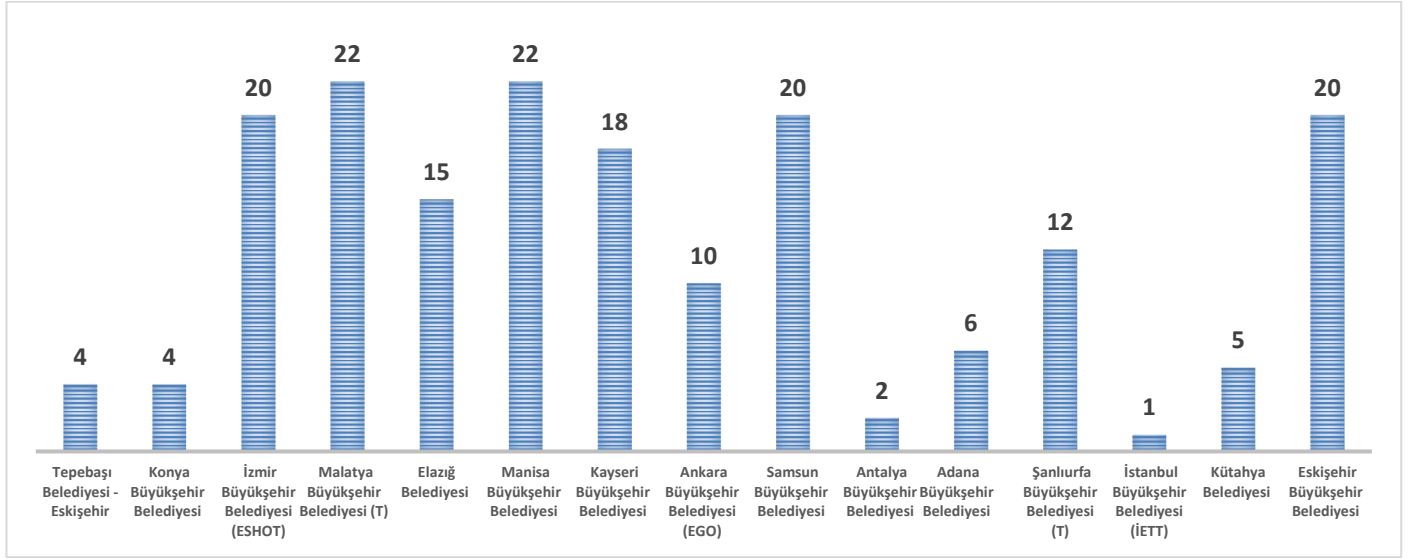
Benzer şekilde toplu ulaşım sistemleri için belirlenen emisyon hedefleri ve sürdürülebilirlik yaklaşımları çerçevesinde kullanımı her geçen gün artan elektrikli otobüsler, küresel ölçekteki toplu ulaşım sistemlerinde 2022 yılı itibarı ile kullanımları 800.000'i aşarak, toplam otobüs sayısının %3'ünden fazlasına karşılık gelmektedir. Dünya genelinde 2022 yılında 54.000 adedi Çin'de olmak üzere yaklaşık 66.000 elektrikli otobüs satışının gerçekleştirildiği, bunun bütün otobüs satışlarının yaklaşık %4,5'ine karşılık geldiği belirtilmektedir. Elektrikli otobüs filolarının 2025 yılında 1.4 Milyon ve 2030 yılında 2.7 Milyon değerlerine ulaşacağı, bu noktada her on otobüsten birinin elektrikli otobüs olacağı öngörülmektedir (BloombergNEF, 2023). Diğer taraftan elektrikli otobüslerde kullanılan tahrik bataryalarının, toplu ulaşım sistemlerinin sahip oldukları ağır hizmet koşulları nedeni ile belirlenen ilk kullanım ömrü sonuna, diğer elektrikli araç konseptlerine göre daha hızlı ulaşacağı değerlendirilmektedir.

Türkiye'de 2016 yılından bu yana çeşitli evsafalarda farklı yerel yönetimler tarafından tedarik edilmeye başlanan elektrikli otobüsler, mevcut durumda toplu ulaşım sisteminde aktif olarak kullanılmaktadır. Buna göre 6 m'den 25 m'ye kadar toplamda 241 adet elektrikli otobüs için sözleşme imzalanmış olup; söz konusu araçlarda yer alan toplam batarya kapasitesinin yaklaşık 47 MWh olduğu hesaplanmıştır. Türkiye toplu ulaşım sistemlerinde 2016 yılı itibarı ile kullanıma başlanan elektrikli otobüsler için üzerinden geçen kullanım dönemleri gözetilerek güncel durumlarının tespit edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Özellikle kamu toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan elektrikli otobüslerde, tedarik sözleşmeleri uyarınca sorumluluk toplu ulaşım işletmelerine bırakılmıştır. Ancak söz konusu tahrik bataryalarının, ömürlerini tamamlanması sonrası nasıl bir yol izleneceğine dair yaklaşımın olmadığı değerlendirilmektedir. Türkiye'de 8 m ve üzeri toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan elektrikli otobüs sayıları ve kullanılan şehirler, Şekil 1'de yer almaktadır (Topal, 2013, 2019a).

Elektrikli araç tahrik bataryası için belirlenen ilk kullanım ömrünün sonuna gelindiğinde değerlendirilebilecek 3 seçenek bulunmaktadır. Bunlar tahrik bataryasının bertaraf edilmesi, ikincil kullanımı veya geri dönüşümüdür. Mevcut durumda Türkiye'de en sık kullanılan yöntem, bataryaların bertaraf edilmesidir. Özellikle batarya paketlerinin hasar görmesi ve geri dönüşümüne dair seçeneklerin olmadığı durumlarda sıklıkla tercih edilen bu yaklaşımdan, konuya dair ortaya konulan yönetmelik/ yaptırımlar marifeti ile- bataryaların içeriğinde yer alan değerli bileşenlerin- yeniden kullanımının artırılabilirliği değerlendirilmektedir. Farklı batarya kimyaları göz önünde bulundurulduğunda nikel, kobalt, manganez gibi çok değerli bileşenleri içermesi ve potansiyel olarak yaşanabilecek olası

batarya üretimindeki hammadde arz kısıtları, geri dönüşüm konseptini daha da etkin kılmaktadır. Ancak geri dönüşüm kapsamında sağlanacak gerekli hammaddeler için ölçek

ekonomisinin oluşturulması, alternatiflerine (madencilikle sağlanacak hammaddelere) göre üretim maliyetlerinin rekabetçi olması gerektiği de değerlendirilmektedir.



Şekil 1. Türkiye'de toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan elektrikli otobüs sayıları.

2.1 Elektrikli Araç Tahrik Bataryaları için Geri Dönüşüm Yaklaşımları

Elektrikli araçlardan kullanılan tahrik batarya üretimi ile ortaya çıkan karbon ayak izinin, genel olarak tipik içten yanmalı motorlu araç bileşenleri üretiminden kaynaklı ortaya çıkan karbon ayak izine kıyasla daha büyük olduğu; bunun temel nedeni olarak tahrik bataryaların üretimi için kullanılan enerjinin, enerji üretiminde karbon yoğunluğunun dünyadaki en yüksek orana sahip Çin'de üretilmesinden kaynaklandığı ifade edilmektedir. Dunn ve arkadaşları tarafından elektrikli araçların yaşam döngüsünde, tahrik bataryalarındaki geri dönüşüm yapılması marifeti ile %51'e kadar kazanım sağlanabileceği ifade edilmiştir (Dunn vd.,2015).

Ekonomi ve tedarik zinciri risk yönetiminin yanı sıra, güvenlik ve çevresel kaygıların, elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryalarının geri dönüşümüne olan ilgiyi artırması beklendiği; böylelikle geri dönüşüm endüstrisinde yeni iş modellerine geçişin hızlanacağı dile getirilmiştir (Beaudet vd.,2020).

Elektrikli araçların tahrik bataryaları için geri dönüşüm süreci, temel manada bataryaların birincil ve ikincil kullanımlarının tamamlanması sonrası gerçekleştirilmektedir. Sektörde 3 ana yöntem ile geri dönüşüm prosesleri yürütülmektedir. Bu çalışmada geri dönüşüm konseptlerine esas ön mekanik ayrıştırma prosesi ile pirometalurjik, hidrometalurjik ve doğrudan geri dönüşüm tekniklerine yer verilecektir. Temel mana da pirometalurjik işlem metal içerikleri eritmek için yüksek sıcaklık kullanılması; hidrometalurjik işlem ise metaller düşük sıcaklıkta kimyasal sıvı ortamda çözündürülmesi esasına dayanan geri dönüşüm yöntemleridir.

Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryalarına esas geri dönüşüm sürecinin ilk adımı söz konusu bataryaların uygun koşullarda toplanılarak, geri dönüşüm tesislerine getirilmesidir. Son derece dikkatli olunmasını gerektiren bu aşama, beraberinde önemli bir maliyet kalemi teşkil etmektedir. Elektrikli araçların tahrik bataryaları için ilgili standartlar gereği uygulanan titreşim testleri kapsamında da kullanılan, olası tehlikeli durumlara önlem amacı ile tedarik

edilecek güvenlik kabini (safety box) kullanılarak taşınması (ilgili geri dönüşüm merkezlerine getirilmesi sırasında) tavsiye edilmektedir. Ömrünü tamamlayan tahrik bataryalarının ikmalî sırasındaki olası maruz kalacağı titreşimler için ise özel darbe emici unsurlarla desteklenmesi de uygun olacaktır. Özellikle kaza, darbe vb. durumlar sonrası deformasyona maruz kalıp, geri dönüşüme tabi tutulacak tahrik bataryaları için de söz konusu bu yaklaşım önem arz etmektedir. Şekil 2'de belirtilen Güvenlik Kabini (Safety Box) ve Darbe Emici Unsurların yer aldığı bir görsele yer verilmiştir. Geri dönüşüm merkezine getirilen bataryaların uygun koşullarda, geçici olarak depolanacağı alanların sağlanması gerekmektedir.



Şekil 2. Bataryaların İkmalî için Kullanılan Güvenlik Kabini (Safety Box) ve Darbe Emici Unsurlar (Volkswagen Group)

Sonrasında tahrik bataryalarının deşarj ve derin deşarj olmak üzere 2 aşamalı bir sürece tabi tutulması gerekmektedir. Burada özellikle bataryalarda yer alan farklı miktarlardaki enerjinin kurulacak/sağlanacak uygun altyapı ile deşarj edilmek suretiyle enerji kazanımına imkân sağlanabilmektedir. Ancak genellikle geri dönüşüme tabi tutulacak tahrik bataryasının iletken bir sıvı çözeltisine daldırılarak, elektrotlar arasındaki oksidasyon-redüksiyon etkileşimi marifeti ile kısa devre yapılmak suretiyle derin deşarjı da sağlanabilmektedir. Bu uygulama ile tahrik bataryalarının ilerleyen geri dönüşüm aşamalarında olası elektriksel ve termal risklerle karşı karşıya kalınmasının önlenmesi amaçlanmaktadır. Pirometalurji yönteminin

kullanıldığı bazı geri dönüşüm proseslerinde, deşarj prosesleri uygulanmadan da süreç ilerletilebilmektedir. Fiziksel deşarj yönteminin aksine, kısa devre edilmek suretiyle derin deşarj sağlanan işbu yöntem ile yüksek verimlilik¹ ve hızlı döngü elde edilmekte; özellikle büyük ölçekli uygulamalarda avantaj sağlanmaktadır. Bu kapsamda tahrik bataryaların etkin deşarjı için en az %5 NaCl çözeltisinde, 24 saat süre ile bekletilmesi sonrasında, hava ile kurutulmaya bırakılması tavsiye edilmektedir.

Sonraki aşamada, tahrik bataryası geri dönüşüm süreçlerinin öncül adımı olan mekanik ön ayırma uygulanmaktadır. Bu teknikte batarya bileşenlerinin boyutlarına, şekillerine ve yoğunluklarına göre uygulanan proses doğrultusunda fiziksel olarak ayırma yapılması söz konusudur. Ana amaç, elektrotlar ve akım toplayıcılar gibi metalik bileşenlerin, plastik muhafazalar ve elektrolitler gibi metalik olmayan bileşenlerden ayrılmasıdır. Mekanik ayırma tekniğinde çok farklı batarya türleri işlenebilmekte ancak batarya alt bileşenlerinin saf hallerinde geri kazanımı sağlanamamaktadır (Toro vd., 2023)

Mekanik ayırma işlemlerine ilk olarak tahrik bataryaların dış kabuğunun açılması/sökülmesi ile temel bileşenlerinin demontajına başlanır. Farklı kimya ve türlere sahip tahrik bataryaları için yürütülen bu süreçte genellikle manuel olarak/el yordamı işlemler gerçekleştirilmektedir. Batarya dış kabuğunun açılması ile özellikle baralar, kablj (elektrik tesisatı), kart/konnektör, soğutma plakaları/tesisatları, dış kabuk, modüller ve separatörler ilk etapta ayrılabilen temel alt bileşenlerdir. Şekil 3'te ilgili aşamaya dair görsel yer almaktadır. Bataryanın fiziksel demontajını esas alarak temel bileşenlerine ayırmasını içeren süreç kapsamında, tek tip batarya paketleri ile yürütülecek uygulamalar avantaj sağlamaktadır.



Şekil 3. Ömrünü tamamlamış batarya paketinin ilk demontajı(Volkswagen Group)

Sonrasında geleneksel hurda tesislerinde yürütülen işlemler sırasında da kullanılan kırıcı marifeti ile bir sonraki aşamaya geçilir. Demontajı gerçekleştirilen genellikle modül (mümkün olması durumunda hücre) bazındaki yapılar, mekanik parçalama işlemine tabi tutulur (Şekil 4). Bir kırıcı marifeti ile çeşitli ölçülerde granül olarak nitelendirilen küçük parçalara ayrıştırılmaktadır. Bu işlem sırasında önceki süreçte, sıvı çözelti içerisinde bekletilmeyen/derin deşarjı sağlanmayan uygulamalar için eş zamanlı olarak sıvı çözeltisi (NaCl) ile proses beslenilmelidir. Zira parçalama işlemi sırasında olası kısa devre ve/veya patlama vb. olumsuz durumların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. İşlem sonrası elde edilen

granüller için benzer şekilde kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir.



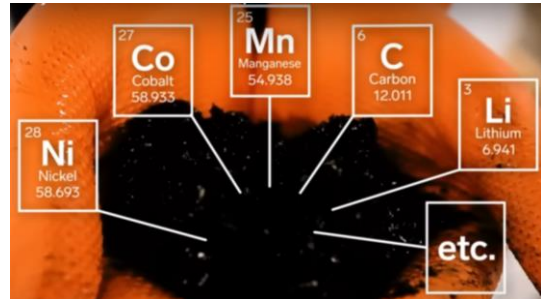
Şekil 4. Ömrünü Tamamlamış Batarya Paketi için Modül Düzeyinde Parçalama Prosesi.

Granüllerin ağırlık, boyut gibi fiziksel farklılıklarından yararlanılarak ve farklı çapta eleklerden geçirilmesi ile yapılan ayırma sonrası, manyetik seperatörler marifeti ile granüller içerisinde yer alan metal olmayan plastik bazlı malzemeler ile alüminyum & bakır vb. alt bileşenlerin tasniflenmek suretiyle ayrılması sağlanır. Söz konusu ön mekanik ayırma prosesi sonrası elde edilen son partikül yapısına (Şekil 5) kara kütle adı verilir. Bu tabir, batarya hücrelerindeki anotlarda bulunan ve siyah renge sahip olan yüksek konsantrasyonlardaki grafitten kaynaklanmaktadır.



Şekil 5. Mekanik ayrıştırma sonrası açığı çıkan metal folyolar ve kara kütle

Elde edilen kara kütle içeriğinde Şekil 6'da görüldüğü üzere geri dönüşümde kullanılan batarya kimyasına bağlı olarak belirli oranlarda kobalt, lityum, nikel, mangan ve karbon vb. malzemeleri bulunmaktadır. Söz konusu bu malzemeler proses sonrası ilerleyen süreçlerde kullanılmak üzere depolanır.



Şekil 6. Kara kütle içeriği.

Ömrünü tamamlamış tahrik bataryaları, gerçekleştirilen mekanik ayrıştırma sonrası elde edilen kara kütle kullanılması ile uygulanabilen ilk geri dönüşüm yaklaşımı pirometalurjik geri dönüşümdür. Elde edilen kara kütle

¹ Enerjinin kazanımı suretiyle bir verimlilik söz konusu olmayıp, tamamen deşarjın sağlanması konusunda verimlilik esas alınmaktadır

yüksek sıcaklıklarda ısı işleme tabi tutulduğu bir prosestir. Özellikle modül bazında indirgenmiş batarya yapıları için ön mekanik ayırma uygulanmaksızın, doğrudan da kullanılabilen bu yöntem, plastik bazlı ve elektrolit gibi malzemelerin yüksek ısı ile yanması suretiyle ayrıştırılmasını esas almaktadır. Tehlikeli emisyon salınımları ve proses sonrası ortaya çıkan atıklarla ön plana çıkan pirometalurjik geri dönüşüm işlemi sırasında yoğun enerji tüketimi gerçekleştirilmektedir.

Pirometalurji yönteminde kullanılan ekstraktif metalurji alt prosesi uyarınca, batarya modüllerine uygulanan termal işlem teknikleri ile zenginleştirilmiş metal içeriklerinin geri kazanılması söz konusudur. Uygulanan ısı ile birlikte açığa çıkan gazların, meydana getirdiği kimyasal reaksiyonlar sonucu, hedeflenen alt bileşenlerin elde edilmekte; böylelikle yanıcı maddelerin güvenli bir şekilde ayrıştırılması ve bataryanın organik bileşenlerinin kontrollü bir şekilde devre dışı bırakılması sağlanmaktadır

Pirometalurjik geri dönüşüm yönteminde ön mekanik ayırma prosesi ile elde edilen kara kütle, hammadde olarak kullanılabilir, ancak diğer geri dönüşüm (hidrometalurjik) yöntemlerinin aksine, zorunlu bir adım değildir. Pirometalurji geri dönüşüm yönteminde elektrolit, grafit, çelik, alüminyum ve lityum vb. alt bileşenler cüruf veya atık gaza dönüşmekte, geri kazanımı yapılamamaktadır. Bununla birlikte pirometalurji yönteminde toksik bileşiklerin havaya salınmasını önlemek için atık gaz arıtma tesislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle LiFePO_4 ve LiMnO_2 gibi batarya kimyaları için bu yöntem kullanılamamaktadır. Zira söz konusu batarya kimyalarında yer alan alt bileşenler cürufa dönüşmektedir (Larouche vd., 2020). Pirometalurjik işleme nikel, kobalt ve bakır geri kazanımları için kullanılmakta; bu kapsamda NMC (Lithium Nikel Mangan Kobalt Oksit) tipi tahrik bataryaları için uygun bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. Birçok batarya yapısındaki alt bileşenlerin yanmak veya cürufa dönüşmek suretiyle kullanılamaması göz önüne bulundurulduğunda, mekanik ön ayırma ile birlikte uygulanacak hidrometalurjik geri dönüşüm yöntemine kıyasla daha düşük verimliliğe (geri kazanım için) sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryalarının geri dönüşümüne ilişkin incelenen literatür çalışmalarında araştırmaların %75'inden fazlasında hidrometalurjik geri dönüşüm süreçlerinin yer aldığı ve birçok şirketin bu amaçla faaliyet yürütülecek tesislerin kurulumuna yatırım yaptığı belirtilmektedir (Melin vd., 2019, 2020). Bu minvalde daha yaygın kullanılan, alternatif geri dönüşüm yaklaşımı olan hidrometalurjik proseste, batarya alt bileşenlerinin geri kazanımı için kimyasal çözeltilerden yararlanılmaktadır. Yüksek metal geri kazanım oranları ile ön plana çıkan yöntemde, kimyasal reaksiyonların kontrolü ve oluşan kimyasal atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesi hususları, ilave maliyet ve zaman getirmektedir. Hidrometalurjik geri dönüşüm süreçlerindeki temel zorluk, farklı kimya/alt bileşenlere sahip tahrik bataryaları için aynı çözeltilerle etkin geri kazanım sağlanamamasıdır. Ortaya konulan kimyasal çözeltiler ile belirli alt bileşenlerin seçici olarak çözünmesini esas alan proses (liç işlemi) doğrultusunda süreç işletilmektedir. Buna göre farklı kimyalara sahip tahrik batarya yapıları için uygulanan liç işlemlerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Batarya türüne göre verimli liç işlemlerinin geliştirilmesi yüksek metal geri kazanım oranlarına ulaşmak için önem arz etmektedir. Hidrometalurjik geri dönüşüm prosesleri kapsamında kullanılan enerji tüketiminin az olması maliyetleri azaltırken; liç işlemlerinde proses parametrelerinin (kimyasal bileşen, sıcaklık ve zaman vb.) ve ayırma tekniklerinin uygun kombinasyonunun tespit edilmesi oldukça kritik öneme sahiptir. Ayrıca hidrometalurjik geri dönüşüm yöntemlerinde farklı çevresel etkilere neden olabilecek, tehlikeli

sınıfa giren kimyasalların kullanılması, proses atıklarının en aza indirgenmesi ve nihayetinde ortaya çıkacak olan atıkların da uygun şekilde arıtılması/bertaraf edilmesi, sürdürülebilir ve çevre dostu geri dönüşüm yaklaşımı için önemlidir.

Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryalarının geri dönüşümünde kullanılan son teknik, doğrudan geri dönüşüm yöntemidir. Bataryalardan değerli metalleri geri kazanmak için kullanan nispeten yeni bir yaklaşımdır. Bu proses, metal geri kazanım oranları ve çevresel sürdürülebilirlik açısından elde edilen sonuçlarla dikkat çekmektedir. Doğrudan geri dönüşüm yönteminde, ömrünün tamamlanmış tahrik bataryalarının tamamen alt bileşenlerine ayırmak yerine, söz konusu temel alt bileşenlerinin işlevselliklerinin geri kazanılması amaçlanmaktadır (Sloop vd., 2018). Bu yöntemde alt bileşenlerin ayrıştırılmadan, başlangıç durumundaki özelliklerine ve elektrokimyasal kapasitelerine ulaşılması esastır. İki aşamalı bir termal işlem dizisinin uygulandığı proseste, literatürde yeniden lityumlaştırma olarak da ifade edilen yöntemde göre, katotun lityum hidroksit ile kaplanması sonrasında; önce düşük, sonrasında da yüksek sıcaklıkta tavlama uygulanması ile orijinal yapısına döndürülmesi söz konusudur. Uygulanan teknik ile tahrik bataryaları için laboratuvar koşullarında başlangıç kapasitelerinin %80-90 oranında potansiyel olarak geri kazanımının sağlanabildiği belirtilirken; ticari uygulanabilirlik başta olmak üzere, söz konusu süreçlerin geliştirilmesi gerektiği ifade edilmektedir (Larouche vd., 2020).

Genel olarak, elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryaları için farklı geri dönüşüm teknikleri olsa da her tekniğin avantajları ve sınırlamaları olduğu; uygulanacak geri dönüşüm yönteminin seçiminde, metal geri kazanım verimliliği, çevresel etki, enerji tüketimi ve ekonomik uygulanabilirlik gibi faktörlere bağlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Pirometalurjik geri dönüşüm yöntemi, yüksek sıcaklıklarda ısı işlem gerektirdiğinden, yüksek enerji tüketimine sebep olmaktadır. Hidrometalurjik geri dönüşüm yönteminde ise alt bileşenleri elde etmek için yoğun kimyasal kullanımı ve sonrasında ortaya çıkan nihai atıklar nedeniyle ciddi çevresel etkiye sebep olmaktadır. Doğrudan geri dönüşüm yönteminde, pirometalurjik ve hidrometalurjik süreçlere kıyasla genellikle düşük çevresel etkiye sahip olan bir yaklaşım sunulurken; kapsamlı kimyasal proseslere veya yüksek sıcaklıktaki ısı işlemlere ihtiyaç duyulmadan, daha az emisyon ve minimum düzeyde tehlikeli yan atık oluşumu söz konusudur. Ancak söz konusu yöntemim henüz geliştirilme aşamasında olduğuna vurgu yapılmaktadır. Nihai olarak kullanılacak geri dönüşüm sürecini belirlemek, geri dönüşüme esas kullanılan batarya kimyası başta olmak üzere, hedeflenen verim değeri ve geri dönüşümün gerçekleştirildiği konsept gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Aşağıda yer alan Tablo 1'de söz konusu geri dönüşüm yaklaşımlarına dair özet bir değerlendirme sunulmuştur.

Tablo 1. Tahrik batarya geri dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması.

	Verimlilik	Enerji Tüketimi	Çevresel Etki	Maliyet
Pirometalurjik Dönüşüm	+++	+++	++	+++
Hidrometalurjik Dönüşüm	+++	++	++	++
Doğrudan Geridönüşüm	++	+	+	+

2.2 Türkiye’de Elektrikli Araçların Tahrik Bataryaları Geri dönüşümüne dair Mevcut Durum

Ömrünü tamamlamış bataryalar için geri toplama işleminden, değerli metal geri kazanımına kadarki süreçte yer alan batarya geri dönüşüm değeri zinciri, ağırlıklı olarak ilgili alt bileşenlerin, süreç içerisinde referans alınan tahrik batarya kimyasına bağlı olarak kaydı ile tedarik zincirleri için elde edilecek katma değer 2040 yılına kadar küresel bazda 95 Milyar \$/yıl üzerine çıkması beklenilmekte, elde edilen batarya alt bileşenleri için 2025 yılı için yaklaşık 600 \$/ton mali değere yaklaşabileceği belirtilmektedir (Breiter vd., 2023). İleriye dönük sağlanacak teşvik mekanizmaları ile potansiyel anlamda elde edilecek gelişmelere bağlı olarak, geri dönüşüm süreçlerinde elde edilen kazanımların, tahrik bataryaları için kullanılan birincil hammadde endüstrisi ile benzer mali değerlere ulaşacağına da beklenildiği ifade edilmektedir.

Elektrikli araç batarya endüstrisinin gelişen dinamik yapısı sayesinde tasarım, üretim ve performans parametrelerinde sağlanan iyileştirmeler, batarya standartlarının düzenli olarak gözden geçirilmesini gerektirmekte; bu doğrultuda orta-uzun vadede elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryaları için sahiplik modellerinde de değişikliğe gidilmesi öngörülmektedir. Günümüzde, otomotiv sektöründe yer alan üreticiler, elektrikli araçlarda kullanılan, ömrünü tamamlamış bataryaların mülkiyetini tamamen son kullanıcıya devretmektedir. Söz konusu duruma özellikle Türkiye’de gerçekleştirilen kamu toplu ulaşım sistemlerindeki elektrikli otobüs alım ihalelerinde sıklıkla karşılaşılmaktadır. Öyle ki bugüne kadar gerçekleştirilen bütün elektrikli otobüs alım ihalelerinde, ömrünü tamamlamış tahrik bataryaların tehlikeli atık sınıfında yer almasına rağmen, faydalı kullanım ömrü sonunda geri dönüşüm yaklaşımı bulunmamakta; bertaraf edilmesine dair sorumluluklar da İdarelerin yükümlülüğüne bırakılmaktadır (Topal,2019b). Bu nedenle Türkiye’de elektrikli araç tahrik bataryaları için ortaya konulması gereken özel bir yönergeye ihtiyaç duyulduğu değerlendirilmektedir. Özellikle farkındalık sağlama potansiyeli yüksek, toplu ulaşım işletmeleri için söz konusu elektrikli otobüslerde kullanılan ömrünü tamamlamış tahrik bataryalarına esas batarya ve/veya araç üreticilerine şartname boyutunda uygun gereksinimlerin sunulması ve tahrik bataryaları için ikincil ömür piyasalarında istikrar kazandırılması gerektiği değerlendirilmektedir. Böylelikle otomobil ve batarya üreticileri için ömrünü tamamlamış tahrik bataryalarına esas ikinci gelir akışı imkanı ile elektrikli araçlarda kullanılan batarya mülkiyetinin devredilmeden; kiralama modeline yönelik katma değer sunulabileceği öngörülmektedir.

2.3 Tahrik Bataryaları İçin Yaşlanma/ Bozunma Etkisinin Değerlendirilmesi

Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryaları için ömrünü tamamlama ya da yaşlanma kavramı, nominal koşullarda bataryanın standart çevrimlerinin ve/veya raf ömrünü tamamlaması (kullanılmaksızın depolanması) nedeni ile meydana gelebilen, kaçınılmaz bir süreçtir. Ayrıca kaza, çarpma vb. koşullarda karşılaşılabilecek darbelere maruz kalması sonucu meydana gelen deformasyon durumlarında da benzer süreçler işletilmesi gerekmektedir. Belirtilen durumlar elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryaları için başta kapasite kaybı olmak üzere farklı bozulma/yaşlanma etkilerinin görülmesi ile kullanım dışı kalmalarına neden olmaktadır (Barré vd., 2013).

Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryalarda yaşlanma etkisi zamana/kullanımına bağlı olarak genellikle takvimsel ve dögüsel olarak ikiye ayrılır. Temel manada takvimsel

yaşlanma etkisi için depolama sıcaklığı ve şarj/deşarj sayısı etkili iken, dögüsel yaşlanmada daha fazla değişken etkisi söz konusudur (Dubarry vd., 2018; 2012; Wikner & Thiringer, 2018). Bunlar SoC (State of Charge) seviyesinin düşük/yüksek değerlerde işletilmesi, yüksek şarj vedeşarj akım değerleri, yüksekdeşarj derinliği (DoD) ve yüksek/düşük sıcaklıktaki çalışma koşulları ile birlikte bu koşullardaki soğutma/ısıtma (batarya için) sistemlerinin kapasite yetersizliği, nihai anlamda batarya performansını olumsuz etkilemektedir (Martel vd., 2016;).

Elektrikli araç tahrik bataryaları için yaşlanma etkisinin ölçümü konusunda, geçmişe dair işletme koşulları önem teşkil etmektedir. Özellikle geçmiş kullanım koşullarına dair bilgi sahibi olunamaması bu anlamda dezavantaja sebep olurken özellikle kullanılan BMS (Battery Management System) yapıları marifeti ile tahrik bataryalarının yaşlanma etkisinin ölçümlenmesinin gerektiği değerlendirilmektedir.

Tahrik bataryaların ömrünü tamamlaması/bozulması nominal koşullarda doğrusal olmayan bir süreçte gerçekleşmektedir. Buna göre özellikle tahrik bataryasının kullanıldığı aracın maruz kaldığı fiziksel koşullar (ortam sıcaklık ve nem) ve kullanıcıların sürüş ve şarj işletme döngüleri, tahrik bataryaların yaşlanma/bozulma sürecine dair yaklaşım sunulmasını oldukça karmaşık hale getirmektedir (Basia vd., 2021). Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryasının mevcut durumdaki kapasitesinin, nominal kapasiteye oranı olarak tanımlanan, SoH (State of Health) değeri, bu kapsamda değerlendirme sunabilmek için kullanılan bir parametredir. Ancak elektrikli araçlarda yer alan tahrik bataryalarına esas, ömür faktörüne etkileyen hususlar kimi zaman görecelilik arz etmektedir. Bu kapsamda aynı marka ve modele ait iki elektrikli araçtan, yüksek menzil değerine ihtiyaç duyan ve taksicilik hizmeti için kullanılan örneklem ile sadece günlük kısa mesafeli sürüşler sırasında kullanılan örneklem esas alındığında; %10'luk batarya kapasite azalması ilgili kullanıcılar için farklı değerlendirilebilmektedir. Taksicilik hizmeti için düşen menzil değerine dair hassasiyet, her iki durumda da SoH değeri %90' a karşılık gelmesine rağmen çok daha etkindir. Bu nedenle elektrikli araçlara esas işletme döngüsünü referans alan farklı değerlendirme parametrelerinin kullanılması gerekmektedir (Topal, 2023).

Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryaları için yaşlanma/bozunma etkisine dair laboratuvar ortamında ve belirli koşulları altında tamdeşarj/şarjı gerçekleştirilerek yaklaşım sunulabilir. Sistem seviyesinde, özellikle araç üzerinde bu konuda etkin sonuç almak oldukça zordur zira doğru bir değerlendirme sunulabilmesi için gerekli dış ortam koşulların da sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışma da araç seviyesinde, tahrik bataryaları için yaşlanma/bozunma etkisinin değerlendirilmesine yönelik, kamu toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan elektrikli otobüsler nezdinde de yaklaşım sunulmuştur. Sektörel bazda, elektrikli otobüs alımlarında temel referans teşkil eden teknik şartnameler doğrultusunda, özellikle tahrik bataryalarına dair garanti koşullarının nasıl işletileceğine de yer verilmiş, ilgili hitap kitleleri için farkındalık sunulması amaçlanmıştır.

Öncelikle toplu ulaşım sistemlerinde yer alan otobüs filolarında kullanılan filo izleme mekanizmaları marifeti ile (kimi zaman manuel tutulan kayıtlar da kullanılabilir) ortalama koşullardaki menzil değerlerinin - belirlenen hat, yolculuk, trafik ve farklı iklimlendirme koşulları altında- kayıt altına alınması gerekmektedir. Elektrikli otobüslerin tedarik sürecinde referans alınan teknik şartnameler gereği, tahrik bataryaları için yıllık, belirtilen oranlarda kapasite kayıplarına izin verilmektedir (Topal O., & Ateş Y.,2021). Bu değer tahrik

bataryaları için takvimsel yaşlanma etkisine karşılık gelmektedir. Buna göre elektrikli otobüslerin özellikle ilk tedarikine müteakip belirlenecek referans hat ve maksimum işletme koşulları altında elde edilen performans sonuçları, toplu ulaşım işletmeleri için baz alınacak temel referans değer niteliği taşımaktadır. İlerleyen yıllar için, yapılacak yeni ölçümler de baz alınacak bu değer için, öngörülen temel zorluk, dış ortam koşullarının eş seviyeye getirilmesidir. Bu bakımdan mümkün olduğu kadar aynı dönemleri esas alan (yaz ve kış iklim koşulları altında) testler ile etkin değerlendirme sunulabilir. Toplu ulaşım işletmelerin bu doğrultuda yürütecekleri garanti koşullarına esas işletilecek performans test süreçlerine ilişkin hazırlanacak teknik şartnameler kritik öneme sahiptir.

Uygulaması göreceli kolay olan bu yaklaşıma alternatif olabilecek diğer bir değerlendirme konsepti -garanti koşullarına dair olası işletmeci (İdare) & OEM arası itilaf durumunda da başvurulabilecek bir yöntemdir- tedarik edilen elektrikli otobüs filosu içerisinde seçilecek örnekleme dair harici testler yürütülmesidir. Özellikle kayıt altında tutulan menzil değerlerinde beklentinin ya da filonun ortalamasının altında seyir eden, elektrikli otobüse ait tahrik bataryasının deplase edilerek, laboratuvar ortamında ölçülmesini bu suret ile elde edilecek verilerin değerlendirmesini esas alan bir yaklaşımdır. Gerekli ve yeterli laboratuvar koşulları altında gerçekleştirilecek şarj/deşarj testleri (gerçek işletme koşullarında ihtiyaç duyulan akım kapasiteleri baz alınarak) uygulanarak, tahrik bataryasına esas yaşlanma etkisi ölçümlenebilir. Burada dış ortam koşullarının gerçekleşmesi de gerekmekte, harici olarak tahrik bataryası kontaktörlerinin anahtarlamasına (BMS üzerinden) ihtiyaç duyulmaktadır. Daha etkin ve objektif sonuçlar elde edilebilecek söz konusu ölçümlerin, mutlaka araç üreticisi ve/veya batarya üretici desteği ile yürütülebileceği, beraberinde örnekleme otobüslere ait işletme süreksizliği ve ilave maliyete neden olabileceği de değerlendirilmektedir. Ayrıca OEM/batarya üreticisinde destek alınamayan koşullarda ise aracın şasi dinamometresi üzerinde alınarak ve iklimlendirme test kabini içerisinde belirlenen koşullara esas batarya performans değerlendirmesi sağlanabilir (Topal, 2024).

3. Elektrikli Araçların Tahrik Batarya Geri dönüşümüne Yönelik İş Modelleri

Elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryasına yönelik yapılacak değerlendirmeler sonrası özellikle işletilen filolar nezdinde, sistemde artacak ömrünü tamamlamış tahrik bataryaları için yeni nesil iş modellerine de ihtiyaç duyulacağı değerlendirilmektedir. Bu kapsamda ilk olarak sunduğu ölçek ekonomisi nedeni ile kamu toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan elektrikli otobüslerin tahrik bataryalarına yönelik iş modeli ele alınacaktır. Bu doğrultuda beklenen performans gereksinimlerin sağlayamadığı koşullar için ilgili OEM'ler ya da batarya üreticileri tarafından söz konusu tahrik bataryalarının toplatılmasını, test edilmesini, sınıflandırmasını kapsayan; yapılacak değerlendirme sonrası ikincil bir uygulamada yeniden kullanılabilmesi yaklaşımını esas alan konsepttir. Bu iş modelinde OEM'ler nezdinde batarya üreticisi kanalı ile kullanılan tahrik bataryalarının mülkiyeti devredilmeden, kullanım hizmeti sunulması esastır. İş modelindeki temel motivasyon, OEM ve/veya tahrik batarya üreticisinin, tahrik bataryasının faydalı ömür kullanımı sonrası bütün süreçlerden sorumlu kılınarak, nihai anlamda ikincil ömür kullanımına ve sonrası için geri dönüşümüne dair sorumluluğunun devam ettirilmesi yönündedir. Model, tahrik bataryasına yönelik özellikle tasarımsal ve teknolojik bilgi birikiminin korumasını ön planda tutarken, şirketler için tercih edilecek, belirlenen batarya ikincil ömür ve geri dönüşüm

konseptlerine yönelik ilave yatırım yapılmasını ya da iş birliği kurulmasını gerektirmektedir.

Bir diğer iş modelinde, elektrikli otobüslerde kullanılan ömrünün tamamlamış bataryaların, kullanılacak şarj istasyonları ile doğrudan entegre edilmesi esas alınmaktadır. Bu yaklaşımda şarj istasyon işletmecileri ya da doğrudan şarj istasyonunu kendi bünyesinde tedarik ederek kullanan toplu ulaşım işletmecileri ile yürütülmesi esas alınmaktadır. Modelde tahrik bataryaların başta ikincil ömür, sonrasında da geri dönüşüme dair sorumluluğunun OEM ya da batarya üreticisinden alınması ile farklılaşmakta; şarj istasyon işletmecisine veya toplu ulaşım işletmecisine devredilmektedir. Mevcut durumda Türkiye'deki işleyiş ile uyumluluğun en kolay sağlanacağı konsept olarak değerlendirilmektedir. İş modelinde özellikle geri dönüşüme esas yeni iş kollarının ve ilgili faaliyet alanında yer alan şirketlerin de dahil edilmesi gerekmektedir.

Söz konusu bu iş modelleri kapsamında, elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryalarına yönelik ikincil ömür kullanımına dair belirsizlikler, özellikle kullanılan bataryanın geçmiş kullanım koşullarına dair veri eksikliği, bataryaların test edilmesi için gerekli maliyetler ön plana çıkmaktadır. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalarının ikincil ömür yaklaşımları için performans, kalite, dayanıklılık ve güvenlik konularında garanti sunulabilmesi sektöre önemli motivasyon sağlayacaktır. Bataryalara ilişkin geçmiş verilerinin korunması ve bu verilerin değiştirilemez, doğrulanabilir ve güvenli bir şekilde saklanabilmesine imkân sağlanması, ilgili iş modellerine yönelik uygulamalara katma değer sunacaktır.

Bu doğrultuda yakın gelecekte, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de ömrünü tamamlamış tahrik bataryaların geri dönüşüm süreçlerine dair müstakil bir hizmet sektörünün doğması beklenilmektedir. Özellikle OEM'lerin geri kazanılan hammaddeler üzerindeki kontrolünü de imkân sunacak iş modellerinin, ömrünü tamamlamış tahrik bataryaları için geliştirilecek politikalar marifeti ile ödül-ceza ve depozito-iade konseptlerini esas alan yenilikçi yaklaşımlarla ön plana çıkması beklenmektedir.

Elektrikli araç tahrik bataryalarının geri dönüşümü için kullanılacak farklı iş modelleri çerçevesinde, değer zinciri adımlarını kısmi olarak sağlayan -örneğin sadece batarya paketinden hücre seviyesine demontajı prosesini kapsayan- şirketlerden, ömrünü tamamlamış bataryanın tersine lojistiğinden, batarya alt bileşenlerinin geri dönüşümüne kadarki tüm değer zinciri adımlarının tamamını kapsayan entegre şirketlere kadar farklı faaliyet alanlarında iş kollarının ortaya çıkması öngörülmektedir (Lin vd., 2023). Son dönemde küresel otomotiv sektöründe değer zincirindeki kısmi çözümlerle süreci yönetmek yerine, uçtan uca geri dönüşüm konseptlerine dair yaklaşımların benimsendiği görülmektedir. Bu kapsamda batarya geri dönüşümüne dair farklı konseptlerde (tersine lojistikten, geri kazanımına kadar) çözüm sunabilen değer zincirinde yer alan şirketlere örnek olarak Umicore, Veolia & Solvay ortaklığı, Licycle, Heritage Battery Recycling, Retrieval Technologies ve Battery Solutions gösterilebilir (Júnior vd., 2023).

4. Değerlendirme ve Sonuç

Elektrikli araçlarda kullanılan ömrünü tamamlamış tahrik bataryaları için ortaya konulacak geri dönüşüm süreçleri kapsamında çeşitli zorluklar yer almaktadır. Bunların başında otomotiv endüstrisinde kullanılan batarya hücrelerine dair boyut, kimya, yapısal ve konfigürasyon farklılıkları gelmektedir. Mevcut durumda elektrikli araç sektöründe tahrik bataryaları, OEM'ler ve batarya üreticileri tarafından belirli bir

yaklaşım gözetilerek, araç modelline özel tasarlanmaktadır. Bu konuda standardizasyondan uzak olan sektörde, 2025 yılına kadar 15'ten fazla üreticinin bataryaları kullanılarak, 250'ye yakın yeni elektrikli araç modelinin piyasaya sürülmesinin beklendiği ifade edilmiştir (Gao vd., 2023).

Diğer taraftan yeni batarya maliyetlerinde yaşanan düşüş eğilimi, geri dönüşüm konusunda önemli bir dezavantajı beraberinde getirmektedir. Doğadaki hammaddeler kullanılarak üretilen batarya maliyetleri, geri dönüşüm marifeti ile yeniden üretilen bataryalar için rekabetçi ve maliyet etkin çözümlere odaklanılmasını zorunlu kılmaktadır. Her iki konsept arasında oluşan maliyet farkının orta vadede azalmasının beklendiği ifade edilirken; geri dönüşüm yolu ile elde edilen hammaddelerin kullanılarak üretilen elektrikli araç tahrik bataryaları için standartlar ve performans kaygılarına dair ortaya konulacak yenilikçi yaklaşımların –standartlar, batarya yönetim sistemleri ve batarya sağlık durumu özelinde- ortaya konulması gerektiği değerlendirilmektedir. Özellikle elektrikli araçlara esas tahrik bataryalarında geri dönüşüm sonrası temel gereksinim olan performans kriterlerine dair ölçülebilir, niceliksel kriterlerin belirlenmesi sektöre özgü muhtemel arz/talep dengesi için olumlu katkı sunması öngörülmektedir.

Mevcut durumda elektrikli araçlarda kullanılan tahrik bataryaları için OEM/batarya üreticisi ile son kullanıcı arasında yer alan sorumluluğa dair sınırların yeterince belirlenemediği değerlendirilmektedir. Buna dair Türkiye'de en detaylı gereksinimlerin yer aldığı kamu toplu ulaşım sistemleri için tedarik edilen elektrikli otobüslere yönelik hazırlanan teknik şartnameler de dahil olmak üzere; bataryaların performans ölçümleri ve geri dönüşümüne dair etkin izleme/ölçüm ve yaklaşımı bulunmamakta, ömrünü tamamlamış tahrik bataryaları için önerilen bertarafa ilişkin sorumluluk da İdarelere bırakılmaktadır. Konu özelinde yasal düzenleme eksikliği OEM/batarya üreticileri için avantaj sunarken; potansiyel/ mevcut son kullanıcılar için ise ilave sorumluluk, daha da önemlisi belirsizlikleri beraberinde getirmektedir. Öte yandan Türkiye'de ortaya konulacak yasal düzenlemeler çerçevesinde tedarikçilerin, son kullanıcıların ve kanun düzenleyicilerin sürdürülebilir hedefe yönelik yapıcı adımların atılmasına imkân ve ortam sağlanacak, elektrikli araç son kullanıcılarına, kullandıkları tahrik bataryalarının henüz ömrünü tamamlamadan önce, potansiyel bir gelir akışına da imkân sağlayacaktır. Sürdürülebilir iş modellerince ortaya konulacak batarya geri dönüşüm konseptleri ile yeniden üretim süreçleri için ölçek ekonomisi sağlanarak, maliyet etkin çözümlerle elektrikli araç sektörü için fırsatlar sunulması öngörülmektedir.

Son olarak geleceğe yönelik araştırmalarda, kaynak geri kazanımını en üst düzeye çıkararak, çevresel etkiyi en aza indirgeyen, birden fazla tekniği birleştiren, bütünleşmiş geri dönüşüm konseptlerinin geliştirilmesine odaklanılması; beraberinde elektrikli araç endüstrisinde sürdürülebilir tahrik batarya geri dönüşümüne yönelik oluşması muhtemel talebi karşılamak üzere süreçlerde verimliliği ve maliyet etkinliğinin artırılması gerektiği değerlendirilmektedir. Son kullanıcı tarafında ise ilk alım sırasında, tahrik bataryalarına dair geri dönüşümün göz önünde bulundurulması; buna dair uygun batarya türü/konseptinin tercih edilmesine yönelik bütünsel yaklaşımların, sunulacak kapsayıcı yönetmelik ve teşvik mekanizmalarının ortaya konulması uygun olacaktır.

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır.

5. Kaynaklar

- Barré, A., Deguilhem, B., Grolleau, S., Gérard, M., Suard, F., & Riu, D. (2013). A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications. *Journal of power sources*, 241, 680-689.
- Basia, A., Simeu-Abazi, Z., Gascard, E., & Zwolinski, P. (2021). Review on State of Health estimation methodologies for lithium-ion batteries in the context of circular economy. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 32, 517-528.
- Beaudet, A., Larouche, F., Amouzegar, K., Bouchard, P., & Zaghib, K. (2020). Key challenges and opportunities for recycling electric vehicle battery materials. *Sustainability*, 12(14), 5837.
- Bloomberg New Energy Finance Global Electric Vehicle Outlook 2024 Report, Bloomberg New Energy Finance, 2024.
- Breiter A., Linder M., Schuldt T., Siccario G, and Vekić N. (2023) Battery recycling takes the driver's seat, McKinsey Battery Insights,
- Catton, J. W., Walker, S. B., McInnis, P., Fowler, M., Fraser, R. A., Young, S. B., & Gaffney, B. (2019). Design and analysis of the use of re-purposed electric vehicle batteries for stationary energy storage in Canada. *Batteries*, 5(1), 14.
- Cheng, Y., Xiao, X., Pan, K., & Pang, H. (2020). Development and application of self-healing materials in smart batteries and supercapacitors. *Chemical Engineering Journal*, 380, 122565.
- Dubarry, M., Qin, N., & Brooker, P. (2018). Calendar aging of commercial Li-ion cells of different chemistries—A review. *Current Opinion in Electrochemistry*, 9, 106-113.
- Dunn, J. B., Gaines, L., Kelly, J. C., James, C., & Gallagher, K. G. (2015). The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling's role in its reduction. *Energy & Environmental Science*, 8(1), 158-168.
- Engel, H., P. Hertzke and G. Siccario (2019), "Second-life EV batteries: The newest value pool in energy storage", McKinsey & Company Insights, McKinsey & Company, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/second-life-ev-batteries-the-newest-value-pool-in-energy-storage> (accessed on 27 October 2023).
- Fleischmann, J., Hanicke, M., Horetsky, E., Ibrahim, D., Jautelat, S., Linder, M., ... & van de Rijjt, A. (2023). Battery 2030: Resilient, sustainable, and circular. McKinsey & Company, 2-18.
- Foster, M., Isely, P., Standridge, C. R., & Hasan, M. M. (2014). Feasibility assessment of remanufacturing, repurposing, and recycling of end of vehicle application lithium-ion batteries. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 7(3), 698-715.
- Gao, Z., Xie, H., Yang, X., Zhang, L., Yu, H., Wang, W., ... & Chen, S. (2023). Electric vehicle lifecycle carbon

- emission reduction: A review. *Carbon Neutralization*, 2(5), 528-550.
- Garg, A., Wei, L., Goyal, A., Cui, X., & Gao, L. (2019). Evaluation of batteries residual energy for battery pack recycling: Proposition of stack stress-coupled-AL approach. *Journal of Energy Storage*, 26, 101001.
- Gohlke, D. and M. Criboli, 2021. "Distributions of Real-World Vehicle Travel: Variations in vehicle scrappage by powertrain and size class", unpublished manuscript, Argonne National Laboratory, Argonne, IL, September
- Júnior, C. A. R., Sanseverino, E. R., Gallo, P., Koch, D., Kotak, Y., Schweiger, H. G., & Zanin, H. (2023). Towards a business model for second-life batteries—barriers, opportunities, uncertainties, and technologies. *Journal of Energy Chemistry*.
- Kettner, C., & Wretschitsch, E. (2023). Taxes and subsidies in EU energy policy: Fit for 55? (No. 656). WIFO Working Papers.
- Lai, X., Yao, J., Jin, C., Feng, X., Wang, H., Xu, C., & Zheng, Y. (2022). A review of lithium-ion battery failure hazards: Test standards, accident analysis, and safety suggestions. *Batteries*, 8(11), 248.
- Larouche, F., Tedjar, F., Amouzegar, K., Houlachi, G., Bouchard, P., Demopoulos, G. P., & Zaghbi, K. (2020). Progress and status of hydrometallurgical and direct recycling of Li-ion batteries and beyond. *Materials*, 13(3), 801.
- Lin, Y., Yu, Z., Wang, Y., & Goh, M. (2023). Performance evaluation of regulatory schemes for retired electric vehicle battery recycling within dual-recycle channels. *Journal of Environmental Management*, 332, 117354.
- Martel, F., Dubé, Y., Kelouani, S., Jaguemont, J., & Agbossou, K. (2016). Long-term assessment of economic plug-in hybrid electric vehicle battery lifetime degradation management through near optimal fuel cell load sharing. *Journal of Power Sources*, 318, 270-282.
- Melin, H. E. (2019). State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries—A research review. *Circular Energy Storage*, 1, 1-57.
- O. Topal and Y. Ateş, "Innovative Financial Approaches for Procurement on Electric Buses in Sustainable Public Transportation Systems," 2021 10th International Conference on Power Science and Engineering (ICPSE), Istanbul, Turkey, 2021, pp. 41-49, doi: 10.1109/ICPSE53473.2021.9656868.
- Regulation (EU) 2023/851 of the European Parliament and of the Council. of 19 April 2023 amending Regulation (EU) 2019/631 as regards the strengthening of CO₂ emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles
- SSANGYONG Türkiye Yetkili Distribütörü, Şahsuvaroğlu Dış Tic. Ltd. Şti TORRES EVX Batarya Garanti Kapsamı <https://www.ssangyong.com.tr/satis-sonrasi/garanti>
- Sloop, S. E., Trevey, J. E., Gaines, L., Lerner, M. M., & Xu, W. (2018). Advances in direct recycling of lithium-ion electrode materials. *ECS Transactions*, 85(13), 397.
- T.C. Ticaret Bakanlığı, AB Batarya Mevzuatı, AB Döngüsel ve Sürdürülebilir Sanayi Politikaları erişim linki: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/avrupa-yesil-mutabakati>
- Topal, O. (2019a) Türkiye Toplu Ulaşım Sisteminde Elektrikli Otobüsler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 15:155–167.
- Topal, O. (2019b) Türkiye Toplu Ulaşım Sisteminde Elektrikli Otobüsler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*; 15:155–167.
- Topal, O. (2024). *Elektrikli Araçlarda Kullanılan Yüksek Gerilim Tahrik Bataryaları için Performans ve Garanti Koşullarının İşletilmesine Yönelik Kullanılabilecek Yenilikçi Bir Yaklaşım* (TürkPatent Başvurusu)
- Toro, L., Moscardini, E., Baldassari, L., Forte, F., Falcone, I., Coletta, J., & Toro, L. (2023). A Systematic Review of Battery Recycling Technologies: Advances, Challenges, and Future Prospects. *Energies*, 16(18), 6571.
- Türkiye Statistical Institute Electric and Hybrid Cars Registered in Traffic. Available online: www.tuik.gov.tr (accessed on 09 May 2024).
- Volkswagen Group EV Battery Recycling Available online: <https://www.youtube.com/watch?v=LABwwX960mk> accessed on 18 November 2023).
- Wikner, E., & Thiringer, T. (2018). Extending battery lifetime by avoiding high SOC. *Applied Sciences*, 8(10), 1825.
- Xu, P., Dai, Q., Gao, H., Liu, H., Zhang, M., Li, M., ... & Chen, Z. (2020). Efficient direct recycling of lithium-ion battery cathodes by targeted healing. *Joule*, 4(12), 2609-2626.
- Ying-hao, X., Yu, H. J., & Li, C. D. (2014). Present situation and prospect of lithium-ion traction batteries for electric vehicles domestic and overseas standards. In 2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific).
- Zhang, G., Yuan, X., Tay, C. Y., He, Y., Wang, H., & Duan, C. (2023). Selective recycling of lithium from spent lithium-ion batteries by carbothermal reduction combined with multistage leaching. *Separation and Purification Technology*, 314, 123555.
- Zhang, Y., Zheng, X., Wang, N., Lai, W. H., Liu, Y., Chou, S. L., ... & Wang, Y. X. (2022). Anode optimization strategies for aqueous zinc-ion batteries. *Chemical Science*, 13(48), 14246-14263.
- Zou, H., Gratz, E., Apelian, D., & Wang, Y. (2013). A novel method to recycle mixed cathode materials for lithium ion batteries. *Green Chemistry*, 15(5), 1183-1191.

Katı Atık Sızıntı Suyu Yönetiminde Karşılaşılan Sorunlar ve Güncel Arıtma Yöntemleri

Remziye Cansu DELİBAŞ¹, Serra Selin ÖVEZ², Filiz DAŞKIRAN³ ve İzzet ÖZTÜRK⁴

Yazışma yazarı:

R. Cansu DELİBAŞ,
delibas@itu.edu.tr

Referans:

Delibaş, R., C., Övez, S., S., Öztürk-Daşkıran, F. ve Öztürk, İ. (2024). Katı Atık Sızıntı Suyu Yönetiminde Karşılaşılan Sorunlar ve Güncel Arıtma Yöntemleri, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 25(1), 47-58.

Makale Gönderimi : 1 ŞUBAT 2024
Online Kabul : 4 TEMMUZ 2024
Online Basım : 5 TEMMUZ 2024

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye. ORCID:0000-0002-0381-3088

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye. ORCID:0009-0007-1256-323X

³İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye. ORCID:0009-0002-7736-3136

⁴İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye. ORCID:0000-0002-8274-5326

Özet Kentsel katı atık sızıntı suları, depo yaşına göre büyük değişimler gösteren, yüksek KOİ, TKN, TÇKM, ağır metaller ve mikrokirletici içeriği dolayısıyla atıksu mühendisliğinde arıtılması en problemli atıksulardan biridir. Bu çalışmada öncelikle katı atık sızıntı sularının oluşumu ile miktar ve karakterizasyonu, uygulanan atık yönetim stratejileri de gözetilerek, kapsamlı şekilde incelenmiştir. Bu kapsamda sızıntı suyu miktarının azaltımı ile ilgili Düzenli Depolama Tesisi İyi İşletim Pratikleri de değerlendirilmiştir. Düzenli Depolama Tesisleri'ne giden biyobozunur atıkların azaltımı ile ilgili yönetim stratejilerinin, sızıntı suyu karakterizasyonunu ne ölçüde etkilediği, uluslararası uygulama örneklerine dayalı olarak ortaya konulmuştur. Ayrıca, sızıntı suyu arıtımında yaygın olarak kullanılan kanıtlanmış arıtma teknolojileri de geniş bir çerçevede değerlendirilerek uygulama sınırlarına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sızıntı suyu yönetimi, sızıntı suyu karakterizasyonu, sızıntı suyu arıtımı, düzenli depolama tesisi

Problems Encountered in Solid Waste Leachate Management and Current Treatment Methods

Abstract Municipal solid waste leachate is one of the most problematic wastewaters to treat in wastewater engineering due to its high COD, TKN, TDS, heavy metals and micropollutants content, which varies greatly depending on the age of landfill. In this study, first of all, the formation of solid waste leachates, their quantity and characterization were examined comprehensively by taking into account the applied waste management strategies. In this context, Sanitary Landfill Good Operating Practices were also evaluated regarding to reduce the amount of leachate. The extent to which management strategies for reducing biodegradable waste going to Sanitary Landfill Facilities affect leachate characterization has been demonstrated based on international application examples. In addition, proven treatment technologies commonly used in leachate treatment were evaluated in a broad framework and suggestions were made regarding their application limits.

Keywords: Leachate management, leachate characterization, leachate treatment, landfill

1. Giriş

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2020 atık istatistikleri bültenine göre, Türkiye'de belediyeler tarafından 2020 yılında toplanan 32,3 milyon ton atığın ~ %67'si doğrudan düzenli depolama tesislerine sevk edilmiştir (TÜİK, 2020). TÜİK 2022 verilerine göre ise düzenli depolama, yakma ve atık işleme tesislerine gönderilen atıkların 2022 yılında belediye tarafından toplanan toplam atıklara oranı %86 olmuştur. (TÜİK, 2022). İkinci sınıf depolama tesislerinde depolanan atıklardan kaynaklanan sızıntı sularının neredeyse tamamı, yine bu tesislerde kurulan sızıntı suyu (SS) arıtma tesislerinde arıtılmaktadır (TÜİK, 2020). Katı atık sızıntı sularının niceliği ve niteliği, atık kompozisyonu, iklim, sosyo-ekonomik durum, bulunduğu ülke ve depolama sahasının yaşına göre değişiklik göstermektedir. Çıkan sızıntı suyunun karakteristiğine ve miktarına bağlı olarak arıtma proses konfigürasyonu ile tesis ölçeği değişebilmektedir.

Sızıntı suyu muhtevasında çok sayıda inorganik, yavaş ve zor

biyobozunur maddeler bulundurmaktadır. Sızıntı suyunda bulunan moleküler ağırlığı yüksek ve uzun zincirli çözünmüş organik maddeler (hümik asit, fülvik asit vb.), biyolojik arıtma veriminin düşmesine neden olmaktadır. Bu tür çözünmüş organik maddeler, kararlı ve büyük moleküler yapıları olduklarından, biyolojik olarak giderim verimleri düşüktür. Depo sahaslarının yaşı arttıkça, sızıntı suyu miktarında da düşüş meydana gelmektedir; aynı zamanda kararlı yapıdaki ayrışması zor maddelerin oluşumu da arttığından biyolojik arıtım verimi düşmektedir. Genç depolardaki sızıntı suları kuvvetli organik atıksu karakterine sahip olup, evsel atıksuya kıyasla oldukça (100 kat) yüksek Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) konsantrasyonu içerebilir (Youcai, 2018).

Düzenli depolama tesisine (DDT) gelen atıkların yapısında bulunan ve sızıntı suyu arıtma tesisinde tam olarak arıtılmayan; ağır metal, ilaç ve kişisel bakım ürünlerinden kaynaklanan maddeler ile mikroplastikler gibi mikrokirleticiler;

sızıntı suları iyi yönetilemediğinde doğrudan su kaynaklarına geçebilmekte ve doğal yaşamda sorunlara yol açabilmektedir (Godvin Sharmila vd., 2023). Bu nedenle, atık depolama tesisleri, taşkın alanlarından ve akiferlerden yeterince uzakta konumlandırılmalıdır. Depolama tesislerinin fiziksel yapıları yönetmeliklere uygun şekilde yapılandırılmalı ve tabanları sızdırmaz olmalıdır. Sızıntı suyu ve depo gazı toplama sistemleri, detay mühendislik tasarımına uygun olarak gerekli uzmanlar tarafından yerinde denetlenerek inşa edilmelidir. Bu hususlar, çevre koruma açısından hayati önem taşımaktadır (Öztürk, 2015).

Bu makalede kentsel katı atık sızıntı sularının miktar ve karakterizasyonunun, geniş bir yelpazede ele alınarak, uygulanan atık yönetim ve bertaraf stratejisinden ne ölçüde etkilenebileceği değerlendirilmiştir. Sızıntı suyu miktarını en aza indirilebilmek için uygulanabilecek tasarım ve işletme seçenekleri üzerinde durulmuş, ayrıca döngüsel ekonomi ve biyobozunur atık azaltım stratejilerinin sızıntı suyu miktar ve karakterizasyonuna etkileri incelenmiştir. Daha sonra sızıntı suyu arıtma seçenekleri, kanıtlanmış teknoloji seçenekleri üzerinden incelenmiş ve uygulama sınırları değerlendirilmiştir. Son olarak sızıntı suyu yönetimi sürecinin döngüsel atık yönetimi çerçevesinde yakın gelecekte nereye evrilebileceği ile ilgili değerlendirme ve önerilere yer verilmiştir.

2. Sızıntı Suyu Oluşumunun Nitelik ve Nicelik Yönünden İncelenmesi

Belediye atıkları veya evsel nitelikli katı atık düzenli depolama sahalarında (ikinci sınıf DDT) açığa çıkan sızıntı sularının miktarını ve kirlilik yükünü en aza indirecek iyi yönetim ve arıtma uygulamaları, bu tür tesislerden toprak, akifer ve yüzey sularına gelebilecek olumsuz çevresel etkilerin sürdürülebilir yönetimi bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu durumda, mevcut yönetim sistemlerinden en önemlisi oluşabilecek sızıntı suyunun miktarını azaltmaktır. Depolanacak atığın muhtevasına, depo sahasının bulunduğu çevreye ve iklim şartlarına uygun olarak tahmin edilen sızıntı suyu miktarı, hem dünya genelindeki mevcut tesisler ve yönetim uygulamaları ile karşılaştırma yapmaya hem de sürdürülebilir yönetim uygulamalarının mevcut tesise doğru şekilde uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca sızıntı suyu karakterinin belirlenmesi de arıtma performansının yükseltilmesi ve gereken ek arıtma uygulamalarının tespiti açısından oldukça mühimdir.

2.1 Sızıntı suyu miktarının azaltımı

Katı atık düzenli depolama sahalarında oluşabilecek sızıntı suyu miktarını azaltmak üzere başlıca aşağıdaki seçeneklerin uygulanması önerilebilir (Öztürk, 2011):

- DDT tasarım ve işletimi olabildiğince küçük ($\leq 2\text{--}3$ ha) hücrelerle (bölüm/lot) yürütülmelidir.
- Boş hücrelerden gelen yağış suları ayrıca toplanıp uzaklaştırılmalı, bu sular aktif ve kapalı hücrelerin sızıntı sularıyla hiçbir şekilde karıştırılmamalıdır.
- Dolan hücrelerin üzerinin vakit geçirmeksizin, tekniğine uygun şekilde, eğimli nihai örtü tabakası ile kapatılması sağlanmalıdır.
- Su muhtevası yüksek ($\geq \%85$) atıklar (özellikle lokanta, kantin ve yemekhane atıkları) ayrı toplanarak Atıktan Biyometan Üretim Tesislerine veya Kentsel AAT çamur çürütücülerine yönlendirilmelidir.
- İkinci sınıf DDT'ye kabul edilebilir nitelikteki arıtma çamurları da ön işlemlerle katı madde içeriği $\geq \%40$ 'a getirilmeden, tesise alınmamalıdır.
- Yukarıdaki iyi tasarım, yönetim ve işletim pratiklerinin

hayata geçirilmesi ile DDT'de oluşacak sızıntı suyu miktarının en aza indirilmesi sağlanabilir.

2.2 Sızıntı Suyu Miktarı Hesap ve Tahmin Yaklaşımları

Türkiye'de DDT'lerde oluşacak SS miktarı (Q_{SS}) için, yıllık yağış yüksekliğine (P) bağlı olarak;

- Üstü açık (aktif) hücrelerde $Q_{SS} \approx P_{top}$ (mm/m².yıl)
- Kapalı hücrelerde $Q_{SS} = 0,15 \sim 0,40 \times P_{top}$ (mm/m².yıl)

değerlerinin esas alınması önerilebilir.

İstanbul ve Bursa'daki DDT'leri için, $Q_{SS} \approx 10 \sim 12$ m³/ha.gün değerleri esas alınmıştır. İstanbul'un Asya yakasındaki Kömürcüoda DDT için $30 \sim 40$ L/Nüfus.gün kriterinin de kullanılabileceği görülmüştür.

Fadel vd., (2002)'ye göre Akdeniz İklim Kuşağındaki DDT'ler için $0,15 \sim 0,20$ m³ SS/ton atık değeri esas alınabilmektedir. İngiltere'deki DDT'de oluşan SS miktarı için $Q_{SS} = 0,24 \sim 0,60 \times P_{top}$ (mm/m².yıl), Çin'deki Yakma tesisleri önündeki ~ 7 günlük atık kabul havuzunda oluşacak çok genç SS hacmi için ise $Q_{SS} = 0,10 \sim 0,40 \times W_{top}$ (ton atık/gün) kriterinin esas alınabileceği önerilmektedir (Youcai, 2018).

Sızıntı suyu hacminin yukarıdaki pratik ve ampirik kriterler yerine veya onlarla birlikte, EPA HELP Modeli vb. hidrolojik modeller yardımıyla tahmini de mümkündür (Öztürk, 2011).

2.3. Sızıntı Suyu Karakterizasyonu

Belediye atıklarının kabul edildiği düzenli depolama tesislerinde oluşan sızıntı suları, özellikle bu tür tesislerin çevresel etkilerinin izlenmesi ve değerlendirilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, sızıntı suyu karakterizasyonu, atık depolama tesislerinin sürdürülebilir yönetimi ve çevresel etkilerinin kontrolü için gereklidir.

Sızıntı suyu karakterizasyonu, atıksulardaki belirli parametrelerin düzenli ve sistematik ölçümünü içerir. Bu parametreler, atıksuların içerdiği kirleticilerin tespiti ve izlenmesi için temel göstergelerdir. Özellikle belediye atıklarının depolandığı tesislerden kaynaklanan sızıntı sularının karakterizasyonunda, pH, alkalinite, KOİ, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ), Amonyak Azotu (NH₄-N), TKN, Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM), Özgül İletkenlik, Toplam Fosfor (TP), Askıda Katı Madde (AKM) ve ağır metaller gibi konvansiyonel (geleneysel) kirlilik parametrelerinin ölçümü önem taşır. Bu tür kirleticilere ek olarak özellikle son 20 yıllık dönemde mikrokirleticilerin de izlenmesi yönünde bir eğilim giderek güçlenmektedir (Godvin Sharmila vd., 2023).

2.3.1. Konvansiyonel Kirleticiler

DDT'ler, yaşlarına göre üç kategoriye ayrılmaktadır: (1) Genç (5 yıldan az süreli işletilen), (2) Orta yaşlı (5 ile 10 yıllar arasında işletilen), ve (3) Yaşlı (10 yıldan fazla süreli işletilen). DDT sızıntı suyu karakterizasyonu depo yaşına göre önemli ölçüde değişmektedir (Tablo 1).

Genç hücrelerden açığa çıkan sızıntı sularında, asidik pH seviyelerinde ağır metallerin daha fazla oranlarda çözünerek sızıntı sularına geçmesi söz konusu olabilir. Bu husus, özellikle metal içeriği yüksek endüstriyel arıtma çamurlarının da kabul edildiği atık depolama tesislerinde, atık kabulü

öncesi özel tedbirler (ön arıtma, bu tür çamurlara stabilizasyon-katılaştırma uygulanması vb.) alınmasını gerektirebilir.

Türkiye'nin 4 büyük şehrinde faaliyet gösteren DDT sızıntı sularının konvansiyonel parametrelerle karakterizasyonu Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Düzenli atık depolama tesisi sızıntı suları karakterizasyonunun depo yaşı ile değişimi (Wang vd., 2018).

Parametre	Düzenli Depolama Tesisinin Yaşı (yıl)		
	Genç(<5)	Orta(5-10)	Yaşlı (>10)
pH	<6,5	6,5-7,5	>7,5
KOİ (mg/L)	>10.000	4000-10.000	<4000
BOİ (mg/L)	10.000-25.000	1000-4000	<1000
TÇM (mg/L)	10.000-25.000	5000-10.000	<1000
BOİ:KOİ oranı	>0,5	0,1-0,5	<0,1
Amonyak Azotu (mg/L)	>400	-	<400
Ağır Metaller	Düşük veya Orta	Düşük	Düşük
Biyolojik Olarak Parçalanabilme	Yüksek	Orta	Düşük
Organik Madde Bileşimi	%80 UYA*	5-30 UYA*, FA ve HA	FA ve HA

*UYA: Uçucu Yağ Asidi, FA: Fülvik Asit, HA: Hümkik Asit

Tablo 2. Türkiye'nin 4 büyük şehrindeki DDT sızıntı sularının karakterizasyonu ((Öztürk, 2015¹),(Gulhan vd., 2022²),(Delibaş, 2022³)).

Parametre	Düzenli Depolama Tesisinin Yaşı					
	Bursa Hamitler ¹ DDT	İzmir Harmandalı ¹ DDT	İstanbul Odayeri DDT ¹		İstanbul Kömürcüoda DDT ²	İzmit İZAYDAŞ DDT ³
Yaşı	-	-	Y*	O*	-	O
pH	8,2	8,3	8,0	7,8	7,8	8,3
KOİ (mg/L)	7.480	14.100	3.150	10.470	12.840	9.960
BOİ (mg/L)	4.690	7.340	126	5.240	8.410	4.980
BOİ/KOİ oranı	0,63	0,52	0,04	0,5	0,65	0,5
Amonyak Azotu (mg/L)	1.015	1.850	2.780	1.960	2.020	2.400
TKN (mg/L)	1.160	1.935	3.150	2.325	2.370	2.640
PO ₄ ⁻³ (mg/L)	11	18	106	31	40	-
TP (mg/L)	-	25	-	-	-	27
Alkalinite (mg/L)	4.460	8.780	14.400	12.200	9.400	13.600
TKM (mg/L)	335	652	126	907	850	~500
UKM (mg/L)	242	479	105	773	625	-
TÇM (mg/L)	6.500	15.160	19.360	17.100	12.160	-
Klorür (mg/L)	3.300	5.450	5.600	5.560	4.250	-
Sülfat (mg/L)	122	68	14	17	13	-
Sülfür (mg/L)	0,2	0,4	0,6	1,5	0,4	-
İletkenlik (mS/cm)	9.840	23.000	28.600	25.600	18.310	-

(*) O: orta yaşlı, Y: yaşlı DDT.

Renou vd., (2008) ile Dhamsaniya vd., (2023) tarafından derlenen veriler yeniden düzenlenerek farklı ülkelerdeki sızıntı sularının depo yaşına göre özellikleri, konvansiyonel parametreler bağlamında Tablo 3'te topluca verilmiştir. Atık hücrelerinde depolanan atıklar yaşlandıkça, sızıntı suyunun pH değeri artarken, KOİ, BOİ, ağır metal konsantrasyonları ve BOİ/KOİ oranı (biyobozunurluk) ise azalmaktadır. Biyobozunur atıkların düzenli depolama tesislerine kabulünün büyük ölçüde sınırlandırıldığı ülkelerde, sızıntı suları orta ve kuvvetli kirlilikte evsel atıksulara yakın karakter göstermektedir. Tablo 3'te, aynı depo yaşı sınıfında yer almalara rağmen, karakterizasyon açısından önemli farklılıklar gösteren sızıntı suyu örnekleri sunulmaktadır. Bu durumun temel nedeni, tabloda verilen ülkelerin atık yönetiminde izledikleri farklı yaklaşımlar, atık karakterizasyonları, sosyo-ekonomik durum ve iklim vb. etkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Zhang vd., (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, kış aylarında dokuz tipik Kentsel Katı Atık Depolama ve Atık Yakma Tesisinden (atık kabul havuzu) sızıntı suyu örnekleri toplanmıştır. Belirtilen parametrelerin değişiminin etkisini ele almak amacıyla, çalışmaya Çin genelinde ekonomik seviyeleri ve iklimleri değişen Kuzey, Güneybatı, Güneydoğu ve Kuzeybatı bölgeleri dahil edilmiştir. Alınan, sızıntı suyu örnekleri üç sınıfa ayrılmıştır:

(1) Genç sızıntı suyu (uzun süreli depolama ve işleme süreçlerinin öncesinde toplanmıştır.); (2) Karışık sızıntı suyu (10 yıldan fazla süredir işletilen ve sürekli olarak yeni kentsel atık kabulünün yapıldığı tesislerden toplanmıştır.); (3) Yaşlı sızıntı suyu (10 yıldan fazla süredir kapalı haldeki atık depolama tesislerinden toplanmıştır.). Söz konusu sızıntı suyu örneklerinin özellikleri Tablo 4'te topluca verilmiştir.

Tablo 3. Farklı ülkelerde DDT yaşına göre sızıntı suyu karakterizasyonu ((Renou vd., 2008), (Dhamsaniya vd., 2023)).

Ülke	Yaş	pH	BOİ	KOİ	TKM	TKN	NH ₃ -N
Yunanistan	G*	6,2	26.800	70,900	950	3.400	3.100
	O*	7,9	1.050	5.350	480	1.100	-
İtalya	G	8,0	4000	19.900	-	-	3.917
	O	8,3	1.270	5.050	-	1.670	-
Güney Kore	G	7,3	10.800	24.400	2.400	1.766	1.682
	Y*	8,5	62	1.409	404	141	1.522
Türkiye	G	7,3-7,8	10.800-11.000	16.200-20.000	-	-	1.120-2.500
	O	8,1	-	9.500	-	1.450	1.270
	Y	8,6	-	10.000	1.600	1.680	1.590
Almanya	O	-	1.060	3.180	-	1.135	-
Polonya	O	8,-	331	1.180	-	-	743
Finlandiya	Y	-	62	556	-	192	159
Fransa	Y	7,5	7,1	500	130	540	430

(*) G: genç, O: orta yaşlı, Y: yaşlı DDT.

Tablo 4. 9 Farklı yaşlardaki DDT sızıntı suyu örneklerinin karakterizasyonu (Zhang vd., 2023).

DDT Yaşı	No	pH	ORP (mV)	İletkenlik (S/cm)	TOK (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)
Genç	1	6,60	81,5	26.074	21.764	1.738	2,09
	2	6,89	-38,9	13.095	20.241	878	0,00
	3	7,15	58,3	21.668	15.162	2.066	0,00
	4	6,65	113,5	35.417	4.544	1.250	61,35
Karışık*	5	7,92	24,5	22.590	3.676	2.387	5,08
	6	7,75	-370,7	29.384	4.220	2.601	0,00
Yaşlı	7	7,95	18,4	33.327	4.084	3.579	4,93
	8	8,15	-347,5	33.183	3.114	3.269	0,00
	9	8,20	-0,1	39.853	2.228	5.325	0,55

(*) 10 yıldan fazla süredir işletilen ve sürekli olarak yeni kentsel atık kabulünün yapıldığı tesislerden toplanmıştır.

2.3.2. Mikroirleticiler

Mikroplastikler: Mikroplastikler (MP), atık depolama sahalarına kabul edilen atıklar ile atıksu arıtma tesislerinden gelen yağ - gres içeren kalıntılar ve çamurlardan kaynaklı olarak sızıntı suyuna ulaşabilmektedir. Godvin Sharmila vd., (2023)'ne göre, küresel olarak plastik atıkların ancak %10'u geleneksel yöntemler ile geri dönüştürme işleminden geçirilmektedir. Dünya genelinde atık depolama sahalarına gönderilen plastiklerin oranı %20 olarak kaydedilmiştir (Godvin Sharmila vd., 2023). Atık depolama sahalarına gelen ilaçlar, tekstil atıkları, kozmetik ürünleri ve MP içeren diğer maddelerden kaynaklanan kirleticilere birincil MP, karışık atıkların depolanması sürecinde parçalanarak mikro boyutlara ulaşan plastik atıklara ise ikincil MP'ler denilmektedir (Kumar vd., 2023). İkincil MP'ler zamanla mikro boyutlara kadar küçülerek sızıntı suyuna kadar ulaşabilmektedir. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi çamurlarında da 1 kg kuru madde başına 100'den fazla MP parçacığına rastlanabilmektedir (Godvin Sharmila vd., 2023). Çin'de bulunan 6 farklı evsel katı atık bertaraf tesisinin sızıntı sularında 0,4 ~ 24,6 adet/L MP olduğu tespit edilmiştir. Atık depolama alanı yakınındaki bir yüzeysel suda ise tahmin edilenden fazla seviyede (6 adet/L) MP'ye rastlanmıştır (Godvin Sharmila vd., 2023).

MP'lerin atıksu arıtma süreçlerine birtakım olumsuz etkileri

söz konusudur. Örneğin birincil arıtma adımında, toksik maddeler yüzeye tutunabilir; MP'nin hidrofobik yapılarının yol açtığı bu durum, aynı zamanda reaktiflerin tutunmasına ve gerekli reaktif dozajının artmasına sebep olabilmektedir. İkincil arıtma kademesinde MP'lerin azot giderimine olumsuz etkileri bulunduğu, amonyum birikimine yol açarak, denitrifikasyon prosesini olumsuz etkilediği belirtilmektedir. Ayrıca, MP içeren atıksularda daha yüksek BOİ, Çözünmüş Oksijen (ÇO), Toplam Azot (TN) ve TP seviyeleri gözlemlenmektedir (Zhang ve Chen, 2020). MP'ler, çöktürme prosesi uygulanan atıksularda, negatif yüzey yükü sayesinde daha fazla yumaklaştırıcı sarfiyatına neden olmakta; Membran kullanılan proseslerde ise, düzensiz ve pürüzlü şekillerinden dolayı membranların aşınmalarına yol açarak membran performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedirler. MP'lerin neden olduğu; membran performansını düşüren, ek olarak membran içi basıncı artıran bir diğer etmen de tıkanma olayıdır. Polisülfon membranlarda yapılan bir çalışmaya göre; boyutu 10 µm'den küçük olan MP'ler membranda tıkanmaya yol açarken, büyük olanlar ise filtre keki oluşumuna sebep olmaktadır. MP'ler dezenfeksiyon adımında da olumsuz etkilere sahiptir. Mikroorganizmalar için koruyucu ortam oluşturarak dezenfeksiyonun etkilerinin azalmasına neden olurlar. Ozonlama sırasında MP'ler oksidasyona uğradığından, ozon dozajının yetersiz kalması durumu görülebilmektedir (Zhang ve Chen, 2020).

Mikroplastikleri atıksulardan uzaklaştırmak için kullanılan proseslere örnek olarak; 500 µm boyutundaki tüm MP'lerin

Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik

uzaklaştırıldığı ve döner filtrelerin kullanıldığı üçüncül arıtma prosesi; %99,9 verime sahip membran biyoreaktör (MBR) sistemi; >%99 verime sahip AnMBR ve dinamik membranlar; >%98 verime sahip A²O, Ardışık Kesikli Reaktör (SBR), Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktörü (MBBR) ve geleneksel aktif çamur prosesleri sayılabilir (Zhang ve Chen, 2020), (Lares vd., 2018), (Minteni vd., 2017).

İlaçlar ve kişisel bakım ürünleri: Son yıllarda yaygın kullanımlarıyla hayatımıza giren ve atık olarak karşımıza çıkan kozmetik ürünleri ile ilaç malzemeleri de atık depolama sahalarında sıkça görülmektedir. İnsan ve evcil hayvanlar için kullanılan ilaçlar; örneğin ağrı kesiciler ve antibiyotikler, endokrin bozucu ve gen transformasyonuna neden olan kimyasallar içermektedirler. İnsanların günlük hayatlarında sıkça kullandıkları sabun, deterjan, parfüm, çamaşır suları, boyalar, deodorantlar, şampuan, saç kremi, vücut bakım ürünleri gibi kozmetik ürünleri de çokça endokrin bozucu kimyasal barındırmaktadır. Bu tür maddelerin DDT'lerde diğer atıklarla birlikte topluca biriktirilmesi, vektörlerin de yardımıyla çevreye yayılmalarına ve zarar vermelerine neden olmaktadır. DDT'lerden sızıntı suyuna geçen ilaç ve kozmetik maddeleri, arıtma tesisleri çıkış sularının verildiği alıcı ortamlara ulaşmaktadır. Sucul ortamlarda kalıcı ve biyolojik olarak aktif olan bu maddeler, hasat bitkilerinde biyobirikime sebep olmaktadır (Ohoro vd., 2019), (Wang vd., 2020).

İlaçlarda bulunan kimyasallardan bazıları; uyarıcılarda bulunan kafein, ağrı kesicilerde bulunan ibuprofen, diclofenak, parasetamol, ketoprofen ve naproksen, psikiyatri ilaçlarında bulunan karbamazepin, primidon, antibiyotiklerde bulunan sülfametokzol, kloramfenikol, trimotoprin, ciprofloksasin, yağ regülatörlerinde bulunan gemfibrozil ve antipiretiklerdir. Kozmetik ve günlük bakım ürünlerinde ise; parfümler, antimikrobiyal maddelerden triklosan, Ultraviyole (UV) koruyucular, antioksidanlar, fenol ve paraben gibi koruyucular, DEET gibi böcek ilaçları ve hormonlar bulunmaktadır. Bu kimyasalların hepsi biyolojik olarak aktif olup, canlılarda birikime yol açabilen maddelerdir (Ohoro vd., 2019).

Çin'in Shandong bölgesinde bulunan bir kentsel DDT'de, sızıntı suyundan alınan örneklerde endokrin bozucu kimyasalların konsantrasyonunun 2 ~ 5080 ng/L arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu tür kimyasallar arasında sülfonamidler, florokinolonlar ve mikrolitlerin de bulunduğu 9 çeşit antibiyotik ile yumuşatıcı, yüzey aktif maddeler ve steroid hormonlarının bulunduğu 4 çeşit endokrin bozucu madde yer almaktadır. En yüksek konsantrasyona sahip kimyasal, ortalama 3500 ng/L ile Bifenol A (BPA) olup, onu ortalama 826 ng/L ile sülfadezamin ve 596 ng/L ile sülfadiazin izlemektedir. Ayrıca yapılan sıklık tespiti testine göre, bu iki antibiyotik ve koruyucu kimyasal, iki ayda alınan 12'şer örneğin (24 örnek) hepsinde de bulunmaktadır. Atık depolama tesisi civarında yetiştirilen hasat bitkilerinde gözlemlenen sülfonamid miktarlarının, günlük alım limitinin (50 µg/kg.gün) altında olduğu ancak endokrin bozucu kimyasalların eklenik riskinin, çevreyi ve canlı organizmaları etkileyecek düzeyde olduğu belirtilmektedir (Wang vd., 2021).

Argun vd., (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kömürcüoda Atık Depolama Tesisi'nde açığa çıkan sızıntı suyundaki mikrokirleticiler incelenmiştir. Yapılan analizler sonucu sızıntı suyunda; tarım ilaçları, ftalat esterleri, fenolik yüzey aktif maddeler (alkilfenoller), Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PHA), Uçucu Organik Bileşikler (UOB) ve ağır metaller bulunduğu gözlemlenmiştir. Sözü edilen mikrokirleticilerin, ardışık kesikli reaktör, Ultrafiltrasyon (UF) ve Nanofiltrasyon (NF) birimlerindeki giderim verimleri incelenmiştir. Anılan

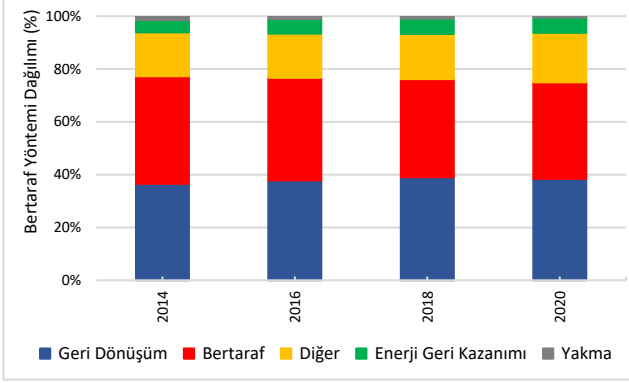
çalışmaya göre UOB'ların en çok giderildiği proses anoksik/aerobik proseslerde UOB'ların %81 ile %100'ü giderilebilmektedir. BTEX bileşiklerinin (benzen, tolüen, etilbenzen ve ksilen) ağırlıkta bulunduğu UOB'ların, çamurda birikimi ihmal edilebilecek düzeydedir. BTEX'ler arasında biyolojik reaktörde en fazla giderilen mikrokirleticiler etilbenzenlerdir. UF ünitesinde en fazla giderim verimine sahip bileşik ise, tarım ilaçlarında yaygın bir şekilde kullanılan 1,3-Dikloropropen'dir. Yarı-uçucu Organik Bileşikler (YUOB) içerisinde sızıntı suyundan en fazla bulunan bileşikler; 7171 µg/L ile tıbbi cihazlarda yaygın olarak kullanılan DEHP bileşiği ve 8598 µg/L ile endüstriyel bir kimyasal olan nonilfenol bileşiğidir. Nonilfenol plastik işlemede, reçine ve boya endüstrisinde, antioksidan üretiminde ara ürün olarak ve metal işleme yapan malzemelerde kullanılan bir kimyasaldır. YUOB'in en çok giderildiği prosesler aerobik biyolojik arıtma ve membran prosesleridir. %100 giderilen YUOB'ler, PHA'lerden naftalin, tarım ilaçlarında kullanılan kimyasallardan klorfenvinfos ile alkilfenollerdir. Çalışmada gözlenen, literatür verilerinden daha yüksek YUOB giderim verimleri biyolojik proseslerdeki yüksek çamur yaşı ile açıklanmıştır (Argun vd., 2020).

2.4. Atık Yönetim Stratejisinin, DDT'ye Gelen Atık Miktar ve Bileşimi ile Sızıntı Suyu Karakterizasyonuna Etkisi

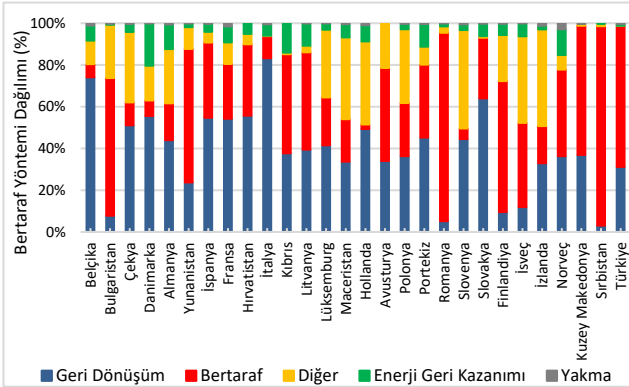
Atık yönetimi stratejisi, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve çevresel etkileri minimize etmek açısından büyük öneme sahiptir. Karışık toplanmış atıkların depolanmasıyla, ayrı toplanan atıkların döngüsel atık yönetiminin gerektirdiği geri dönüşüm/geri kazanım işlemlerinin uygulanması sonucu geriye kalan kalıntıların depolandığı sahalardan gelen sızıntı sularının miktar ve karakterizasyonları arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır.

Avrupa Birliği (AB) ülkelerinin, Avrupa Komisyonu Atık Çerçeve Direktifindeki son güncellemeye göre; belediye atıklarının 2025'e kadar en az %55'ini, 2030'a kadar %60'ını ve 2035'e kadar %65'ini geri dönüştürmeleri gerekmektedir. Onaylanan diğer hedefler arasında 2035'e kadar çöp depolama alanlarına gidecek atık miktarında %10'luk bir üst sınır belirtilmektedir ve biyoatıkların zorunlu olarak ayrı toplanması bu direktifte yer almaktadır. Doğrudan düzenli depolama alanlarına gidecek atık miktarı, Türkiye'de ise %40 ile sınırlandırılmıştır (Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2021). 28 Avrupa Ülkesinde uygulanan (2014-2020 dönemi için) ortalama atık bertaraf yönetimi dağılımını gösteren grafik Şekil 1 ile verilmiştir. Şekilde yer alan 28 Ülkenin 4 yıllık atık yönetimi sistemi incelendiğinde bertaraf yöntemleri dağılımı bakımından belirgin bir değişiklik olmadığı, atık depolama yönteminin ağırlığını koruduğu görülmektedir.

Şekil 2'den anlaşıldığı üzere Direktiflerin etkisiyle Avrupa Birliği Ülkeleri'nde doğrudan düzenli depolamaya giden atık oranı 2014-2020 yılları arasında %40'tan %34'e düşmüştür. Düzenli depolama yerine atık geri dönüşüm, yakma ve kompost gibi yöntemler daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 2'de de 28 Avrupa Ülkesinin 2020 yılındaki katı atık bertaraf yöntemlerinin dağılımı verilmiştir. Eurostat'taki en güncel veriye göre, 2020 yılı için bertaraf yöntemleri incelendiğinde; İtalya ve Belçika'nın Geri Dönüşüm oranının, diğer ülkelere göre oldukça fazla olduğu görülmektedir. Düzenli Depolama Yöntemini en az kullanan ülkelerin başında ise Hollanda, Slovenya, Danimarka ve Belçika gelmektedir.



Şekil 1. 28 Avrupa Ülkesinin 2014-2020 dönemi için, ortalama atık bertaraf yöntemi dağılımı (Eurostat, 2023).



Şekil 2. 2020 yılında 28 Avrupa Ülkesi için uygulanan atık bertaraf yöntemi dağılımı (Eurostat, 2023).

TÜİK verilerine göre 2002 yılında, toplam işlenen atık miktarının yaklaşık %1,5'inin kompost tesislerine gönderildiği görülmektedir. Bu oran 2010 yılında %1, 2022 yılında ise %0,1'in altına düşmüştür. Düzenli depolama tesisine giden belediye atıklarının oranı 2002 yılında ~%28, 2010 yılında ~%54 ve 2022 yılında ise ~%61 olarak verilmiştir (TÜİK, 2022). Bu artışta DDT sayılarındaki artışın etkili olduğu bilinmektedir.

Türkiye'deki sızıntı suyu kirlilik düzeyinin, döngüsel atık yönetimini uzun süreden beri etkin biçimde uygulayan bazı ülkelere göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir ((Renou vd., 2008), (Dhamsaniya vd., 2023)). Bunun ana sebebi; Türkiye'deki yönetmeliklerdeki atıkların zorunlu geri dönüştürülme oranlarının Avrupa Birliği'ndekilere göre daha az olması olarak gösterilebilir. Ayrıca Türkiye'de 2020 yılında doğrudan düzenli depolamaya gelen belediye atıklarının toplam oluşan atık miktarına oranı %61 iken 28 Avrupa Ülkesi'nde bu oran ortalama %37'dir (Eurostat, 2020).

2019 yılında yayınlanan Sıfır Atık Yönetmeliği ile ham madde ve doğal kaynakların etkin yönetimi amaçlanmaktadır. Tüm kaynaklarla birlikte insan ve çevre sağlığının korunması amacıyla getirilen Yönetmelikte, sıfır atık yönetim sistemi kurulmasının ilkeleri belirlenmektedir. Yönetmeliğe göre, sıfır atık sistemini kurmak isteyen birimlerin, atıklarını ayrı toplaması, atık türüne göre ayrı biriktirilmesi ve israfı önlemesi esastır. Yayınlandığı yıldan bu yana bu Yönetmeliğin içeriği ve esasları geliştirilmiştir. 2021 yılında Atık Getirme Merkezleri kurulması kararlaştırılmış, 2022 yılında ise bağımsız atık toplayıcıların sisteme dahil edilmesi amacıyla Atık Toplayıcı Genelgesi yayımlanmıştır.

Sıfır Atık Yönetmeliği'nden sonraki değişmelere bakılacak olursa; 2018 yılında düzenli depolama ve geri dönüşüm tesislerinde atık miktarı belediyeler tarafından toplanan atık

miktarının %79,5 iken 2020 yılında bu oran ~%82,6 olarak kaydedilmiştir (TÜİK, 2022). 2022 yılında ise aynı oran %85,9'a çıkmıştır (TÜİK, 2022). Tablo 2 ve Tablo 3 incelendiğinde; farklı yıllarda yayımlanmış kaynaklardan alınan sızıntı suyu karakterizasyonlarında biyobozunur KOİ(BOİ) oranlarının benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bunun yanında KOİ konsantrasyonlarında belirgin bir azalış görülmektedir. Bunun nedeni, düzenli depolamanın nihai bertaraf olarak ağırlık taşıdığı Türkiye ve benzeri ülkelerde, depo sahalarına gelen organik atıklarca zengin yeni atık miktarından kaynaklanan taze sızıntı suyu miktarı artışı, diğer bir ifade ile biyobozunur atıkların düzenli depolama tesisleri dışına yönlendirilmesi stratejisinin yeterince uygulanamaması olarak ifade edilebilir. TÜİK Atık İstatistiklerine göre 2022 yılında kompostta giden atık miktarının %1 civarında olması da bu durumu desteklemektedir (TÜİK, 2022).

Litvanya için yapılan bir çalışmada (Kalvas ve Gusca, 2021), 2016 yılı atık verileri ve atık yönetimi stratejileri ile Litvanya ve Avrupa Birliği Atık Yönetimi Yönetmeliği 2030 yılı atık yönetimi hedefleri karşılaştırılmıştır. Avrupa Birliği atık yönetimi stratejilerinin uygulanması halinde plastik ambalaj kullanımının düşeceği, fakat atık karakterizasyonu için net bir öngörde bulunulamayacağı belirtilmiştir, Litvanya'nın 2016 ve 2030 yılları için ortalama atık karakterizasyonunun aynı olacağı kabul edilmiştir. Gerçekleştirilen yaşam döngü analizi çalışmasının sonucuna göre; sızıntı suyu miktarının Litvanya için kişi başı 0,014 ton'dan 0,009 ton'a düşeceği öngörülmektedir. Bu değişimde, 2030 yılında depolama tesislerine gelen atık miktarındaki düşüşün etkili olacağı belirtilmiştir (Kalvas ve Gusca, 2021).

3. Sızıntı Suyu Arıtma Yöntemleri

Kentsel atıkların depolandığı II. Sınıf Düzenli Depolama Tesisleri veya Açık (Düzensiz, Vahşi) Atık Döküm Sahalarından açığa çıkan sızıntı suları çok yüksek seviyelere ulaşabilen ve depo yaşı ile değişen KOİ, AKM, Azot, TÇM, Fe ve Mn içerikleri ile düşük KOİ/TKN oranı dolayısıyla Atıksu Mühendisliği'nde "artılması en zor atıksular" sınıfında yer almaktadır.

Katı atık sızıntı sularının arıtılmasında karşılaşılan başlıca zorluklar aşağıdaki gibi özetlenebilir (Wang vd., 2018):

- Sızıntı suları, kuvvetli organik atıksu sınıfından olup çok sayıda biyolojik inhibitör ve inorganik kirleticiler içermektedir. Bu yüzden biyolojik veya fizikokimyasal arıtma proseslerinden biri uygulanarak deşarj standartları sağlanamaz; ancak birden fazla arıtma prosesi ile istenen kalitede çıkış suyu elde edilebilir.
- Amonyak içeriği çok yüksek ve KOİ/TKN oranı (görel) düşük/dengesiz olduğu için, sızıntı sularının tam nitrifikasyonu mümkün olmakla birlikte, dışardan karbon ilavesi olmadan istenen oranda denitrifikasyon mümkün değildir. Bu yüzden çıkıştaki Nitrat ağırlıklı TN seviyesi genellikle 10~15 mg/L'nin önemli oranda üzerinde kalır.
- Sızıntı sularının biyolojik arıtımındaki önemli diğer bir sorun, açığa çıkan yüksek reaksiyon ısısının bastırılmasıdır. Bu yüzden genellikle yaz aylarında ön-soğutma ile aerobik reaktördeki sıcaklığın $\leq 33\sim 35$ °C altında tutulması gerekir.
- Sızıntı suyu miktarı ve kirliliğinin depo yaşı ve mevsimlere göre önemli ölçüde değişkenlik gösterebilmesi, kararlı ve istikrarlı bir çıkış suyu elde edilmesini güçleştirmektedir. Özellikle yaşlı depo sızıntı sularında, nitrifikasyon dolayısıyla alkalinite eksikliği sorunuyla karşılaşılabilir.
- Sızıntı suyu arıtma prosesleri oldukça kompleks ve arıtma maliyeti pahalıdır (8~15 \$/m³). Deşarj standartlarını sağlamak için, biyolojik arıtma proseslerinin

nanofiltrasyon ve ters osmoz sistemleriyle desteklenmesi gerekebilir.

3.1. Deşarj Standartları

Artırılmış sızıntı sularının dolaylı (atıksu kanal şebekesine) ve doğrudan (alıcı su kütlelerine) deşarjı için, aralarında Türkiye'nin de olduğu bazı ülkelerde geçerli deşarj standartlarında, Tablo 5'te de görüldüğü üzere, artırılmış sızıntı sularının kanalizasyona deşarjında (genellikle) NH₄-N için herhangi bir sınır değer bulunmamaktadır. Doğrudan alıcı ortama deşarj durumunda ise TN yerine NH₄-N için limit verilmektedir. Alıcı ortama deşarj halindeki KOİ limiti de ülkeler itibarı ile 100~600 mg/L aralığında değişmektedir (Wehrle Umwelt GmbH, 2011). Bu durum çözünmüş inert KOİ'yi gidermek üzere, genellikle biyolojik arıtma çıkış suyunun tamamı veya bir kısmına NF uygulanmasını gerektirebilmektedir.

3.2. Sızıntı Suyu Arıtma Seçenekleri

Karışık kentsel atıkların depolandığı tesislerde açığa çıkan sızıntı sularının arıtımı için başlıca; (1) Kentsel atıksularla birlikte arıtma, (2) Klasik (Geleneksel) Biyolojik Arıtma, (3) MBR Arıtma (4) MBR'a ilaveten NF ve TO sistemiyle arıtma ve (5) Doğrudan Ters Ozmoz (TO) ile arıtma seçenekleri, başarısı kanıtlanmış uygun yöntemler olarak bilinmektedir.

3.2.1 Kentsel atıksularla birlikte arıtma

Katı atık düzenli depolama tesisinin kent merkezine yakın (20~30 km) ve sızıntı suyu miktarının az (<100 m³/gün) olduğu durumlarda; sızıntı sularının doğrudan (ön arıtma uygulanmaksızın veya TO uygulanıp hacmi %50~60 oranında azaltıldıktan sonra tankerlerle taşınarak kentsel AAT'lerde evsel atıksularla birlikte arıtımı mümkündür. Bu tür bir seçenekte, sızıntı sularının kentsel AAT'ye (kentsel atıksu debisinin nispeten düşük olduğu) gece saatlerinde verilmesi tercih edilmelidir. Konuyla ilgili bilimsel çalışmalar ve saha uygulamaları, sızıntı suyu debisinin kentsel atıksu debisinin %2'sini aşmadıkça, birlikte arıtma dolayısıyla merkezi AAT'de belirgin bir işletme sorunu veya performans kaybı yaşanmadığını göstermektedir ((Henry, 1985), (Pohland ve Harper, 1985)). Ancak sızıntı sularının toksik ve inhibitör kirlenimler içermesi halinde, basit (havalandırmalı lagün türü) bir ön arıtma sonrası taşıma önerilmektedir. Bu tip suların birlikte arıtılması durumunda, sızıntı suyu ile gelecek KOİ ve TKN yüklerini arıtmak için kentsel AAT'nin hidrolik ve biyolojik kapasitesinin yeterli düzeyde olması gerekmektedir. Örnek olarak, 300.000 nüfuslu (KOİ=600 mg/L, TKN=40 mg/L) bir şehrin 60.000 m³/gün kapasiteli kentsel AAT'de; KOİ=25.000 mg/L, TKN=2500 mg/L ve Q_{ss}=90 m³/gün debili sızıntı sularının arıtılması dolayısıyla gelecek ilave kirlilik yükleri ve debisi;

- $KOİ=2,5 \times 90 / (0,6 \times 60.000) = 0,063$ (%6,3 artış)
- $TKN=2,5 \times 90 / (0,04 \times 60.000) = 0,094$ (%9,4 artış)
- $Q_{ss}/Q_{AAT} = 90 / 60.000 = 0,0015$ (%0,15 artış)

gibi tesisin tasarım güvenliği için de rahatlıkla tolere edilebilecek düzeylerde (<%10'luk) kalmaktadır. Dolayısıyla bu seçenek, ilgili Su Kanalizasyon ve Katı Atık İdareleri arasında düzenlenecek bir protokolle, sızıntı suyuyla ortaya çıkan ilave işletme maliyeti bedeli karşılığınarak, kolayca hayata geçirilebilir. Bu tür bir uygulama ~15 yıldan bu yana Sakarya Büyükşehir Belediyesi'nce başarıyla sürdürülmektedir.

Dereli vd. (2020)'ye göre; İrlanda'daki DDT'lerde açığa çıkan sızıntı sularının %51'i (2013 yılı itibarı ile 560.000 m³/yıl) doğrudan atıksu kanalizasyon şebekesine verilmekte, kalan %49'u ise biriktirilerek arıtılmak üzere Merkezi AAT'lere taşınmaktadır. Fransa'da da kentsel atıksular ile birlikte arıtılan sızıntı suyu oranı %21 olarak belirtilmektedir (Dereli vd., 2020).

Yapılan laboratuvar ve tam ölçekli çalışmalarda, sızıntı suyunun kentsel atıksular ile birlikte anaerobik olarak arıtılabileceği de gösterilmiştir. Sızıntı suyu sayesinde kentsel atıksuların metan üretimi ve enerji geri kazanımı artış göstermektedir (Avrupa Komisyonu, 2001). Özellikle genç depolardan gelen sızıntı sularının yüksek kirlilik yükü ve biyolojik arıtılabilirliği ile düşük askıda katı madde oranı, anaerobik granüler çamur yataklı proseslerin uygulanmasına olanak sağlamaktadır (Luo vd., 2015). Genç sızıntı suyu eklenen sentetik atıksularda KOİ giderim verimi %67 ile %90 arasında değişmekteyken, yaşlı sızıntı suyu ile yapılan deneylerde bu oran %35'e düşmektedir (Singh ve Mittal, 2012). Yapılan çalışmalara göre, hacimce %5 oranında ve 2,84 kg KOİ/m³.gün yük ile kentsel atıksulara karıştırılan sızıntı sularında KOİ giderim verimi yaklaşık %70 olmaktadır (Torres vd., 2009). Aynı şekilde sızıntı sularının hacimce %2 oranında ve 0,63 kg KOİ/m³.gün yük ile kentsel atıksulara eklendiğinde, mevcut atıksuyun KOİ giderimi %58 olurken, oranın %2,5'a ve yükün 2 kg KOİ/m³.gün'e çıkarılmasıyla giderim verimi de %85'e çıkmıştır (Yangin vd., 2002).

3.2.2 Klasik (geleneksel) biyolojik arıtma

Sızıntı sularının biyobozunur KOİ(BOİ) ve NH₄-N giderimi sonrası dolaylı deşarjının mümkün olduğu, inert KOİ ile ilgili bir kısıtlamanın olmadığı durumlarda, Ardışık Kesikli Reaktör sistemi olarak uygulanacak klasik biyolojik arıtma seçeneği en uygun çözüme karşı gelir. Ardışık Kesikli Reaktör (AKR) sistemi, tercihen derin (h_{su} = 6-8 m) ve jet havalandırıcılarla karıştırılıp havalandırılan çelik/betonarme tanklar halinde tasarlanıp işletilerek BOİ₅<100 mg/L ve NH₄-N>50 mg/L içeren çıkış suyu kalitesine ulaşılabilir. Sızıntı suları için AKR uygulamalarında, soğuk iklim ve NH₄-N giderim verimiyle atık (depolama) hücresi yaşına bağlı olarak büyük reaktör hacimleri gerekebilir (Robinson vd., 1997). Bu yöntem atıksu kanal şebekesine deşarj öncesi ön arıtma maksadıyla da kullanılabilir.

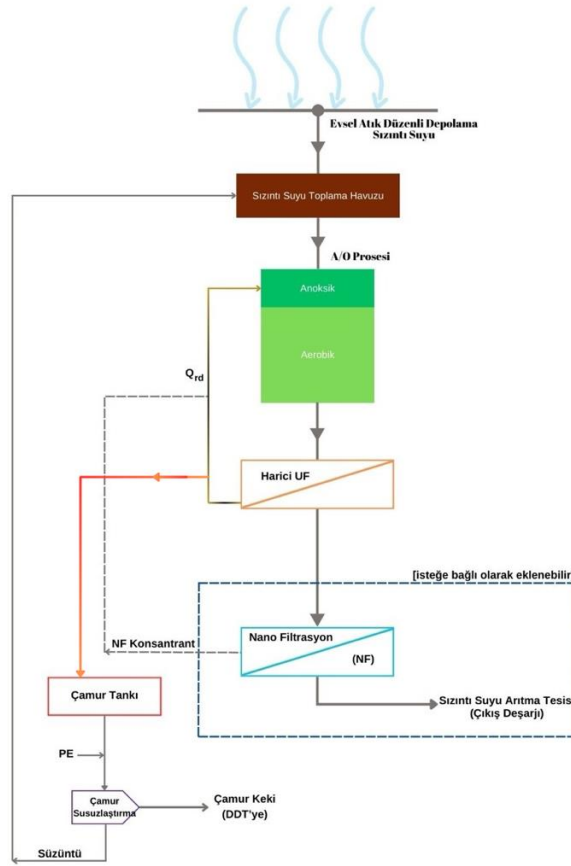
3.2.3 Membran biyoreaktörlerde (MBR) arıtma

Artırılmış sızıntı sularının alıcı ortamlara deşarjında; NH₄-N <10 mg/L, TKN giderimi ≥ %90 ve KOİ_{top} < 600 mg/L gibi sıkı limitlerin sağlanmasının istendiği durumlarda "Anoksik / Oksik (A/O) + Harici Ultrafiltrasyon (UF)" dizimli MBR prosesinin uygulanması zorunlu olabilir (Şekil 3). Tipik bir MBR sistemi iki ana üniteden oluşur: Besi maddesi (Azot) giderimli biyolojik arıtma sistemi (A/O prosesi) ve katı (biyokütle) – sıvı ayırımının gerçekleştirildiği Membran (Ultrafiltrasyon – UF) birimi, MBR sistemi; atıksuya alıştırılmış ve konsantrasyonu 10~15 g AKM/L ulaşan biyolojik çamuru ile neredeyse tam (%100) nitrifikasyon ve BOİ₅ giderimi ile çok üstün bir performans göstermektedir.

Genç ve orta yaşlı sızıntı sularını arıtmak için bilimsel ve teknik gerekliliklere uygun şekilde tasarlanıp işletilen, AO prosesli MBR (Harici UF ± NF) sistemlerinde; X= 10~18 mg AKM/L, ÇO= 2-2,5 mg/L, T≤ 30-32 °C, P_{UF}= 1 bar (P_{NF}= 15 bar), θ_x= 20-30 gün olmak üzere ≥ %98'lik KOİ, ~%100'lük NH₄-N giderimleri elde edilebilmektedir. Tipik işletme ve bakım maliyetleri de UF+NF'li halde ~7 \$/m³, NF olmaksızın ~5 \$/m³ civarında seyretmektedir (Hamle İnşaat, 2023).

Tablo 5. Bazı ülkelerdeki sızıntı suyu deşarj standartları (Wehrle Umwelt GmbH, 2011).

	KOİ			NH ₄ -N		
	Sızıntı Suyu	Kanala Deşarj	Alıcı Ortama Deşarj	Sızıntı Suyu	Kanala Deşarj	Alıcı Ortama Deşarj
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(%)	(mg/L)
Almanya (Kuzey Avrupa için örnek teşkil etmektedir)	2.000-5.000	400	200	500-1.200		
İspanya (Güney Avrupa için örnek teşkil etmektedir)	5.000-15.000	1.500	160	1.000-2.000	0-95	10-50
Çin (Asya için örnek teşkil etmektedir)	10.000-25.000	1.000	100	1.500-3.000		
Türkiye	5.000-25.000	4.000	600	1.000-2.500	Limit yok	<40



*PE: Polielektrolit; Q_{rd}: Geri devir akımı

Şekil 3. Anoksik / Oksik (A/O) + Harici Ultrafiltrasyon (UF) sistemi.

Sızıntı sularının MBR sisteminde arıtımıyla ilgili olarak Türkiye’de çok önemli tasarım ve işletme tecrübesi bulunmaktadır. İstanbul’da kurulu sızıntı suyu arıtan başarılı bir MBR tesisinin tipik performans verimleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Kömürçüoda tipik sızıntı suyu arıtma tesisi verimleri (Öztürk, 2023).

Parametreler	Giriş (Ham Sızıntı Suyu)	UF + NF Çıkış	Verim (%)
KOİ (mg/L)	13.500	220	98
TN	2.500	140	94
NH ₄ -N	2.000	8	99
TP	12	1	90

3.2.4 MBR ile birlikte NF ve TO destekli arıtma

Arıtılmış sızıntı sularının doğrudan akarsu, deniz vb., sucul ortamlara deşarjının gerekmesi halinde, KOİ ≤ 200 mg/L, NH₄-N ≤ 10 mg/L gibi çok düşük seviyelerde çıkış suyu üretilmesi zorunlu olabilmektedir. Deşarj limitlerinin oldukça düşük olduğu bu gibi durumlarda, MBR sisteminin NF ve TO sistemleriyle güçlendirilmesi gerekmektedir. Deşarj standartlarında öngörülen KOİ, NH₄-N, renk ve tuzluluk (iletkenlik) seviyelerine göre, MBR çıkışının belli bir kısmı veya tamamına NF ± TO uygulanabilmektedir. Bu kapsamda başlıca aşağıdaki seçenekler söz konusudur (Wehrle Umwelt GmbH, 2011);

- (i) Konsantratin düzenli depolama tesisi (DDT) kapalı hücrelerine geri verilmesine (sızdırılmasına) izin verilmemesi hali

Bu durumda;

Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik

- MBR sonrası granüler aktif karbon (GAK) filtrasyonu uygulanarak,
- MBR + NF sonrası GAK filtrasyonu uygulandıktan sonra doğrudan alıcı ortamlara deşarj söz konusu olabilir. NF konsantrisi en yakın kentsel AAT'ye taşınıp orada kentsel atıksularla birlikte ilave arıtıma da tabi tutulabilir.

(ii) Konsantrenin DDT kapalı hücrelerine geri verilmesinin mümkün olması hali

Bu durumda;

- MBR + NF sonrası konsantre DDT'ye geri verilebilir,
- MBR + TO (tek geçişli) sonrası konsantre DDT'ye geri verilebilir,
- MBR + TO (çift geçişli) sonrası konsantre giriş akımının ~%35'ine düşürüldükten sonra DDT'ye geri verilebilir,
- TO konsantresinin DDT'ye geri verilmesi dolayısıyla; sızıntı suyunda TÇM artışı, biyogaz üretiminde (NO3 beslenmesine bağlı) düşme, NF ve TO birimlerinde işletme sorunları yaşanabilir.

3.2.5 Doğrudan TO uygulaması

Sızıntı suyu debisinin 100 m³/gün ve altında olması dolayısıyla, MBR sistemi ile arıtımın fizibil olmadığı durumlarda; Asitleştirme ve Mikrofiltrasyonlu ön arıtma sonrası doğrudan TO uygulanarak konsantre miktarı giriş akımının ~%35'i seviyesine çekilebilir (Youcai, 2018). Genç ve orta yaşlı DDT sızıntı sularının arıtıldığı durumlarda, TO konsantrisi KOİ, TÇM, NH₄-N, klorür ve diğer parametreler bakımından çok yüksek seviyede kirlilik içerdiği için tanklerle en yakın kentsel AAT tesisine taşınarak birlikte arıtma seçeneği kullanılabilir. Böyle bir seçeneğin mümkün olmadığı durumlarda, depo gazından enerji sistemi atık ısı ile buharlaştırma ve sonrası kalan bakiyenin katılaştırma ve stabilizasyonu da bir diğer konsantre yönetim uygulamasıdır. TO konsantrenin hacmi minimize edilip uçucu kül ve çimento ile katılaştırılması da yönetim seçeneklerindedir (York vd., 1999); (Hunce vd., 2012)).

Yaşlı depo sızıntı sularının doğrudan TO ile arıtımı sonrası oluşacak konsantrenin ise kapatılan hücrelerin üzerine geri çevrilerek, (atık kütesinin su muhtevası artırmak suretiyle) biyogaz üretimi canlandırılıp atık stabilizasyonunun hızlanması sağlanabilir.

4. Değerlendirme ve öneriler

Mutfak ve park-bahçe atıkları ile, arıtma çamuru vb. biyobozunur atıkların yüksek oranlarda (≥ %40) olduğu karışık belediye atıklarının depolandığı Düzenli Depolama Tesis veya Sahalarında açığa çıkan sızıntı suları (SS), depo yaşına da bağlı olarak, içindekileri çok yüksek seviyelerde KOİ, TKN, TÇM, AKM ve bazı metaller ile mikroplastikler gibi kirlenimci dolayısıyla atıksu sektöründe "arıtılması en zor atıksular" sınıfında yer almaktadır. Döngüsel atık yönetiminin tam olarak uygulanmadığı ülkelerde; belediye atıkları içindeki ambalaj atıkları ve biyobozunur atıklar, ayrı toplama ile DDT'ler dışına ancak sınırlı oranda yönlendirilebildiği için, açığa çıkan SS miktar ve kirlilik yükü dolayısıyla önemli bir sorun teşkil etmektedir.

Ayrı toplama ile döngüsel atık yönetimini (Sıfır Atık Yaklaşımı) 1990'lı yıllardan bu yana etkin biçimde uygulayan Almanya, İskandinav ülkeleri, İsviçre ve Japonya gibi ülkelerde DDT'ye kabul edilen atık miktarı çok büyük oranda (>%90) inert yapıda olup ağırlıklı olarak kül, cüruf ve atık (ön) işleme tesislerinin bakiyelerinden oluştuğu için, sızıntı suları da büyük ölçüde orta veya yüksek kirlilikte evsel atıksulara benzer karakterdedir (Tablo 4). Dolayısıyla DDT sızıntı sularının miktar ve karakterizasyonu, ülkelerin uyguladığı atık yönetim stratejileriyle çok kuvvetli bir etkileşim gösterir; bu bağlamda

Delibaş vd.

yüksek oranlarda ambalaj atıkları geri kazanım ve biyobozunur atık azaltım hedefleri ile atık azaltımını teşvik edici ekonomik araçların (atık kabul ücreti, düzenli depolama vergisi vb.) etkin biçimde uygulandığı durumlarda, DDT'ler dışına yönlendirilen atık miktarının ağırlıkça >%70'lere ulaşabileceği görülmektedir.

Sızıntı suyu yönetiminde kritik derecede önemli bir diğer husus, DDT'de iyi tasarım ve işletim pratiklerinin ne ölçüde uygulandığıdır. Bu bağlamda; 5 yıldan daha kısa sürelerde dolan küçük hücrelerle çalışılması, dolan hücrelerin üzerinin tekniğine uygun olarak eğimli ve az geçirimli nihai örtü tabakası ile kapatılması ile boş hücrelerden gelecek yağış sularının sızıntı sularından ayrılması vb. hususlar öne çıkmaktadır. İyi tasarım ve işletim pratikleriyle yönetilen DDT'lerde sızıntı suyu miktarı en aza indirilerek arıtma ile ilgili sorunlar daha kolay çözülebilir.

Döngüsel atık yönetimi ile DDT'lerde iyi tasarım ve işletim pratiklerine öncelik verilmekle birlikte, kaçınılmaz olarak açığa çıkan sızıntı sularının ilgili deşarj standartlarına uygun seviyede arıtımı için Bölüm 4'te değinilen çeşitli "kanıtlanmış" teknoloji seçenekleri mevcuttur. Sızıntı suyu debi ve kirlilik seviyesine göre, genellikle MBR ± (NF + TO) veya Doğrudan TO gibi arıtma teknolojilerinin yaygın olarak tercih edilmekte olduğu gözlemlenmektedir (Bölüm 3.2.). Membran teknolojileri sayesinde çok iyi kalitede çıkış suyu elde edilerek yüzeysel ve yeraltı sularının kirlenmeye karşı korunması sağlanabilmektedir. Ayrı arıtma yanında, ilgili su kanalizasyon İdaresi ile özel protokol yapılarak; kentsel AAT'ye fazla uzakta yer almayan (<30-40 km) DDT'lerinde açığa çıkan sızıntı sularının, bağlantı (iletim) ve taşıma maliyetleri de gözetilmek suretiyle kentsel atıksularla birlikte arıtımı da, DDT'nin işletmeye alınmasını izleyen dönemde (belli süreyle), diğer bir seçenek olarak kullanılabilir.

5. Teşekkür ve Bilgi

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

6. Kaynaklar

Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (RG Tarihi: 26.06.2021, No: 38745, Tür: 7, Tertip: 5). Resmî Gazete, 31523., <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=38745&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

Argun, M.E., Akkuş, M., and Ateş, H. (2020), Investigation of micropollutants removal from landfill leachate in a full-scale advanced treatment plant in Istanbul city, Turkey, *Science of The Total Environment*, 748, 141423, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141423>.

Avrupa Komisyonu. (2001). Atık depolama alanları hakkında 26 Nisan 1999 tarihli 1999/31/EC Konsey Direktifi. Avrupa Komisyonları Resmi Gazetesi, 16.7.1999, L 182/1.

Delibas, R.C., Gulhan, H., Ulutas, A. and Ozturk, I. (2023), Dynamic modelling of a full scale mbr treating sanitary landfill leachate: effect of ammonia stripping, 7th MEMTEK International Symposium on Membrane Technologies and Applications, pp. 65-72, October 17-19, 2023, Istanbul, Türkiye.

Delibaş, R.C. (2022). Modelling of A Leachate Treatment Plant with Membrane Bioreactor Process, İTÜ, Lisansüstü Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi.

- Dereli, R. K., Giberti, M., Liu, Q., & Casey, E. (2020). Modeling co-treatment of leachate in municipal wastewater treatment plants in the context of dynamic loads and energy prices. In *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions, Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability: Proceedings of the 2nd Water Energy NEXUS Conference, November 2018, Salerno, Italy*, pp. 493-496. Springer International Publishing.
- Dereli, R.K., Clifford, E. & Casey, E. (2021) Co-treatment of leachate in municipal wastewater treatment plants: Critical issues and emerging technologies, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(11): 1079-1128, DOI:10.1080/10643389.2020.1745014
- Dhamsaniya, M., Sojitra, D., Modi, H., Shabimam, M.A., and Kandya, A. (2023), A review of the techniques for treating the landfill leachate, *Material Today: Proceedings*, 2023, 77(1): 358-364, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.496>.
- Eurostat (2023), Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations EU 2014-2020. Erişim tarihi: Mayıs 2024. Erişim Adresi: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/b0146e61-8785-421e-a442-9e3a42de4e85?lang=en>
- Fadel M, Bou-Zeid E, Chahine W, Alayli B. (2002), Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management*. 22(3): 269-282, doi: 10.1016/s0956-053x(01)00040-x.
- Godvin Sharmila V., Shanmugavel S.P., Tyagi V. K., and Banu J. R. (2023), Microplastics as emergent contaminants in landfill leachate: Source, potential impact and remediation technologies, *Journal of Environmental Management*, 343, 118240, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118240>.
- Gulhan, H., Dereli, R.K., Ersahin, M.E., and Koyuncu, I. (2022), Dynamic Modeling of a full-scale membrane bioreactor performance for landfill leachate treatment, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 45:345–352, <https://doi.org/10.1007/s00449-021-02664-x>.
- Hamle İnşaat AŞ. (2023), Şahsi görüşme ile alınan, Türkiye'deki uygulamalı veriler.
- Henry, J.G. (1985), New developments in landfill leachate treatment, proceedings of international conference on new directions and research in waste treatment and residual management, University of British Columbia, pp. 1-139.
- Hunce, S., AKGÜL, D., DEMİR, G., & MERTOĞLU, B. (2012), Solidification/stabilization of landfill leachate concentrate using different aggregate materials, *Waste Management*, vol.32, no.7, 1394-1400.
- Kavals, E. & Gusca, J. (2021), Life Cycle Assessment-Based Approach to Forecast the Response of Waste Management Policy Targets to the Environment. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1) 121-135. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0008>
- Fadel M, Bou-Zeid E, Chahine W, Alayli B. (2002), Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Manag.* 22(3):269-82. doi: 10.1016/s0956-053x(01)00040-x. Ambalaj
- Kumar, V., Sharma, N., Umesh, M., Chakraborty, P., Kaur, K., Duhan, L., Sarojini, S., Thazeem, B., Pasrija, R., Vangnai, A.S., and Maitra, S.S. (2023), Micropollutants characteristics, fate, and sustainable removal technologies for landfill leachate: A technical perspective, *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103649, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103649>.
- Lares, M., Ncibi, M. C., Sillanpää, M., and Sillanpää, M. (2018), Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology, *Water Research*, 133, 236-246, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.049>.
- Luo, J., Qian, G., Liu, J., & Xu, Z. P. (2015). Anaerobic methanogenesis of fresh leachate from municipal solid waste: A brief review on current progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 21–28. doi:10.1016/j.rser.2015.04.053
- Mintenig, S.M., Int-Veen, I., Löder, M.G.J., Primpke, S., and Gerdt, G. (2017), Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging, *Water Research*, 108, 365-372, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015>.
- Ohoro C.R., Adeniji A.O., Okoh A.I., and Okoh O.O. (2019), Distribution and chemical analysis of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the environmental systems: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(17):3026, <https://doi.org/10.3390/ijerph16173026>.
- Öztürk, F. (2011). Katı atık sızıntı suyu miktarını azaltıcı yönetim stratejileri (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=rbcWnuqW6HxCZ_98ARapgvsh9dRvOPQHytJj-DMcOoo3y4KsT41vLU4qz1ch4
- Öztürk, İ. (2015), Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, İSTAÇ Teknik Kitaplar Serisi Yayını.
- Öztürk, İ. (2023), The Significance of membrane technologies on the management of sanitary landfill leachate. 7th MEMTEK International Symposium on Membrane Technologies and Applications, İstanbul, Türkiye.
- Pohland, F.G., and Harper, S.R. (1985), Critical review and summary of leachate and gas production from landfills, Report to EPA, WERL, Coop. Aggrement CR809997, Cincinnati, Ohio.
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., and Moulin P. (2008), Landfill leachate treatment: Review and opportunity, *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>.
- Robinson, H.D., Last, S.D., Raybould, A., Savory, D. & Walsh, T.C. (1997), State of the Art Landfill Leachate Treatment Schemes in the United Kingdom, Proceedings of

- Sardinia 97 Sixth Landfill Symposium, Italy, pp. 191-209.
- Scarlat, N., Fahl, F., and Dallemard, J.F. (2019), Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe, *Waste Biomass Valorization*, 10, 2425–2444, <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0297-7>.
- Singh, V., & Mittal, A. K. (2012). Toxicity and treatability of leachate: Application of UASB reactor for leachate treatment from Okhla landfill, New Delhi. *Water Science and Technology*, 65(10), 1887–1894. doi:10.2166/wst.2012.864
- Torres, P., Rodriguez, J. A., Barba, L. E., Marmolejo, L. F., & Pizarro, C. A. (2009). Combined treatment of leachate from sanitary landfill and municipal wastewater by UASB reactors. *Water Science and Technology*, 60(2), 491–495. doi:10.2166/wst.2009.365
- TÜİK (2018), Belediye Atık İstatistikleri 2018, Türkiye İstatistik Kurumu TÜİK Haber Bülteni, TS 30666, Erişim Tarihi: Ocak 2024 Erişim Adresi: <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=306663>
- TÜİK (2020), Belediye Atık İstatistikleri 2020, TÜİK Haber Bülteni, TS 37198, Erişim Tarihi: Ocak 2024 Erişim Adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>
- TÜİK (2022), Belediye Atık İstatistikleri 2022, Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, TS 49570, Erişim Tarihi: Ocak 2024 Erişim Adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2022-49570>
- Wang, J.Y., An, X.L., Huang, F.Y., and Su, J.Q. (2020), Antibiotic resistome in a landfill leachate treatment plant and effluent-receiving river, *Chemosphere*, 242, 125207, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125207>.
- Wang, K., Li, L., Tan, F., and Wu, D. (2018). Treatment of landfill leachate using activated sludge technology: A review, *Hindawi, Volume 2018*, 1039453, <https://doi.org/10.1155/2018/1039453>.
- Wang, K., Reguyal, F., and Zhuang, T. (2021), Risk assessment and investigation of landfill leachate as a source of emerging organic contaminants to the surrounding environment: A case study of the largest landfill in Jinan City, China, *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 18368–18381, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10093-8>.
- Wehrle Umwelt GmbH (2011), Treatment of leachate from landfills - example from Europe & Asia , unpublished technical study.
- Yangin, C., Yılmaz, S., Altınbaş, M., & Oztürk, I. (2002). A new process for the combined treatment of municipal wastewaters and landfill leachates in coastal areas. *Water Science and Technology*, 46(8), 111–118. doi:10.2166/wst.2002.0156
- York, R. J., Thiel, R. S., & Beaudry, E. G. (1999), Full-scale experience of direct osmosis concentration applied to leachate management, In S. Margherita di Pula, Cagliari, Sardinia, Italy: Sardinia '99 Seventh International Waste Management and Landfill Symposium.
- Youcai, Z. (2018), Leachate generation and characteristics. In: ZhaoYoucai (Ed.), Pollution Control Technology for Leachate from Municipal Solid Waste, Elsevier, pp. 1–30.
- Zhang, L.Y., Tang, C., Li, M.C., Wang, H.J., Zhang, S.J., Wang, J.C., Dong, X.W., Fang, D., Bai, H., Sun, Y., and Yue, D.B. (2023), Identification of key surfactant in municipal solid waste leachate foaming and its influence mechanism, *Water Research*, 231, 119487.
- Zhang, Z., and Chen, Y. (2020), Effects of microplastics on wastewater and sewage sludge treatment and their removal: A review, *Chemical Engineering Journal*, 382, 122955, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122955>.

