

2024  
Mart

Mühendislik  
Alanında  
Araştırmalar ve  
**DEĞERLENDİRMELER**

**EDİTÖRLER**

Prof. Dr. ořkun ÖZALP

**İmtiyaz Sahibi • Yaşar Hız**  
**Genel Yayın Yönetmeni • Eda Altunel**  
**Yayına Hazırlayan • Gece Kitaplığı**  
**Editörler • Prof. Dr. Çoşkun ÖZALP**

**Birinci Basım • Mart 2024 / ANKARA**

**ISBN • 978-625-425-578-6**

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.  
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan  
hiçbir yolla çoğaltılamaz.

**Gece Kitaplığı**

**Adres:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt

**No:** 22/A Çankaya/ANKARA Tel: 0312 384 80 40

[www.gecekitapligi.com](http://www.gecekitapligi.com)  
[gecekitapligi@gmail.com](mailto:gecekitapligi@gmail.com)

**Baskı & Cilt**  
Bizim Buro  
**Sertifika No:** 42488

# Mühendislik Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler

Mart 2024

Editörler:  
Prof. Dr. Çoşkun ÖZALP



# İÇİNDEKİLER

## BÖLÜM 1

### SIFIR ATIK YÖNETİMİ VE UYGULAMALARI: TÜRKİYE VE DÜNYA'DAN ÖRNEKLER

*Sadiye Yüce TAVUKÇU, Gökhan Önder ERGÜVEN,*  
*Numan YILDIRIM..... 1*

## BÖLÜM 2

### TARİHİ YAPI MALZEMELERİN KARAKTERİZE EDİLMESİNDE MİNERALOGİK VE PETROGRAFİK İNCELEMELERİN ÖNEMİ

*Özge BOSO HANYALI, Sabah YILMAZ ŞAHİN..... 31*

## BÖLÜM 3

### SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNALAR İÇİN BETONDA ALTERNATİF BAĞLAYICI BİLEŞENLERİN POTANSİYEL KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

*Arife AKIN..... 61*

## BÖLÜM 4

### ENVIRONMENTAL HAZARDS IN THE MERIC RIVER PROPOSED SOLUTIONS

*Birce BÜYÜKDUMANLI, Gökhan Önder ERGÜVEN,*  
*Numan YILDIRIM..... 79*



# BÖLÜM 1

## SIFIR ATIK YÖNETİMİ VE UYGULAMALARI: TÜRKİYE VE DÜNYA'DAN ÖRNEKLER

*Sadiye Yüce TAVUKÇU<sup>1</sup>*

*Gökhan Önder ERGÜVEN<sup>2</sup>*

*Numan YILDIRIM<sup>3</sup>*

---

<sup>1</sup> Sadiye YÜCE TAVUKÇU, Munzur Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, TR62000, Tunceli, Türkiye, [sadiyeyuce@gmail.com](mailto:sadiyeyuce@gmail.com)

ORCID: 0009-0004-3598-2830

<sup>2</sup> Doç.Dr Munzur Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Kentleşme ve Çevre Sorunları ABD, TR62000, Tunceli, Türkiye, [gokhanondererguven@gmail.com](mailto:gokhanondererguven@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-1573-080X

<sup>3</sup> Prof.Dr., Munzur University, Tunceli Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Organic Agriculture Programme, TR62000, Tunceli, Turkey,

[numanyildirim44@gmail.com](mailto:numanyildirim44@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-1109-8106

## GİRİŞ

Atıklar, doğrudan veya dolaylı olarak zarara neden olabilen, üretim ve tüketim faaliyetlerinin sonucunda ortaya çıkan katı, sıvı, gaz ve enerji atıklarıdır. Bu atıklar, bırakıldıkları ortamların doğal niteliklerini ve kullanım potansiyelini değiştirebilirler; çünkü fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklere sahiptirler (Ünal vd., 1998). Türkiye’de, 2872 sayılı Çevre Kanunu’nun 2 nci maddesinde ise atık; “Herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan veya bırakılan her türlü maddeyi” olarak tanımlanmaktadır.

Atık yönetimi, atıkların oluşum sürecinden başlayarak çevrenin, insan sağlığının ve doğal kaynakların korunması amacına yönelik bir kontrol sürecidir. (Pongrácz ve Pohjola, 2004). Tchobanoglous ve Kreith’e (2002) göre atık yönetimi, atıkların halk sağlığı ilkelerine uygun olarak üretilmesi, depolanması, toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertaraf edilmesinin kontrolü ile ilişkili ve aynı zamanda ekonomiye ve halkın tutumlarına duyarlı olan bir disiplindir.

Sıfır atık kavramının ilk olarak 1970’lerde Amerikalı kimyager Paul Palmer tarafından kullanıldığı kabul edilmektedir (Warner vd., 2015; Nizar vd., 2018). P. Palmer’in sıfır atık anlayışı, maddelerin tek kullanımlık olmaktan ziyade tekrar kullanılması veya yeniden kullanılması ve yakma veya depolama yerine geri kazanılması fikrine dayanmaktadır. (Mauch, 2016). 30829 sayılı ve 12 Temmuz 2019 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanan Sıfır Atık Yönetmeliği’nin 4 üncü maddesinde ise sıfır atık; “Üretim, tüketim ve hizmet süreçlerinde atık oluşumunun önlenmesi/azaltılması, yeniden kullanıma öncelik verilmesi, oluşan atıkların ise kaynağında ayrı biriktirilerek toplanması ve geri dönüşüm ve/veya geri kazanımının sağlanarak bertarafa gönderilecek atık miktarının azaltılması suretiyle çevre ve insan sağlığının ve tüm kaynakların korunmasını hedefleyen yaklaşımı” olarak ifade edilmektedir.

Bu çalışmada; çeşitli veri tabanlarından, yayınlanmış makalelerden alınan sıfır atık yönetimi, atık yönetimi literatürü değerlendirilerek atık kavramının tarihsel gelişimi ile birlikte sıfır atık yaklaşımının ortaya çıkışı incelenmiştir. Sıfır atık kavramının oluşumunda Amerikalı kimyager Paul Palmer, P. L. Simmonds, George Washington Carver ve Henry Ford gibi isimlerin katkılarına değinilmiştir. Japonya’da ki toplam kalite yönetimi felsefesinden sıfır atığa uzanan adımlar, Amerika Birleşik Devletleri’ndeki çöp yakma eylemleri, entegre atık yönetimi anlayışı, geri dönüşüm ve atık yönetimi sistemlerine ait çalışmalardan bahsedilmiştir. Dünya’da başlayan sıfır atık adımları, Dünya’da ve Avrupa Birliği’ndeki sıfır atık uygulama projeleri, Avrupa Birliği üye ülkelerinde yapılan çalışmalar, sıfır atık şehirler programı, öncü belediyelerdeki atık yönetimi uygulamalarına (kapıdan



kapıya toplama sistemi, KAYT Modeli ve RFID Teknolojisi, Collections Blueprint Modeli) yer verilmiştir. Günümüzde sıfır atık ve sıfır atık hiyerarşisi ve sıfır atık yöntemleri incelenmiş; Türkiye’de sıfır atık gelişim süreci, uygulama takvimi, sıfır atık sisteminin kurulumu aşamaları ve kriterleri ile sıfır atık uygulamaları, iyi uygulama örnekleri, hedefler ve kazanımlara yer verilmiştir.

## 2. ATIK VE TARİHSEL GELİŞİMİ

### 2.1. Atık ve Atık Yönetimi Kavramı

Atık ve atık yönetimi kavramları, ulusal ve uluslararası birçok düzenleme ve çalışmada farklı şekilde tanımlanmakta ve belirtilmektedir. Bu tanımlar arasındaki ortak nokta, atığın üreticisi tarafından “istenmeyen bir malzeme” olarak algılanması üzerinedir. İstenmeyen malzemeler, bir üretim sürecinin yan ürünleri olabileceği gibi mevcut sahibi açısından içsel değeri tüketilmiş ürünler de olabilmektedir. Yani tüketicilerin bakış açısına göre orijinal içsel değerlerini yitirdikleri sürece hepsi benzerdir (Çalışkan, 2023). Bu bağlamda atık, “üreticisi olan kişi veya kuruluş tarafından gereksiz ve istenmeyen olarak atılan insan ve hayvan faaliyetlerinden kaynaklanan malzemeler” olarak tanımlanabilir (Mishra vd., 2020). Türkiye’de, 2872 sayılı Çevre Kanunu’nun 2 nci maddesinde ise atık; “Herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan veya bırakılan her türlü madde” olarak tanımlanmaktadır. Atık, esasında dünya ekonomilerinin çoğunu yönlendiren tüketici temelli yaşam tarzlarının bir yan ürünüdür. Çoğu şehirde, atık hacimlerini azaltmanın en hızlı yolu ekonomik faaliyeti azaltmaktır, ancak bu genellikle çekici bir seçenek değildir. Katı atık, kaynak yoğun, tüketici temelli ekonomik yaşam tarzının en görünür ve zararlı yan ürünüdür. Sera gazı emisyonları, su kirliliği ve endokrin bozucular, kentsel yaşam tarzlarımızın benzer yan ürünleridir. Dolayısıyla atıklar, yönetilmesi zorunlu olan temel sorunlardan biridir. Bu durum da konuyu atık yönetimine çekmektedir (Çalışkan, 2023).

Atık yönetimi, atıkların oluşum sürecinden başlayarak çevrenin, insan sağlığının ve doğal kaynakların korunması amacıyla yönelik bir kontrol sürecidir. (Pongrácz ve Pohjola, 2004). Tchobanoglous ve Kreith’e (2002) göre atık yönetimi, atıkların halk sağlığı ilkelerine uygun olarak üretilmesi, depolanması, toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertaraf edilmesinin kontrolü ile ilişkili ve aynı zamanda ekonomiye ve halkın tutumlarına duyarlı olan bir disiplindir (Rushton, 2003).

Atıklar kaynaklarına göre; evsel (belediye atıkları) katı atıklar, inşaat (hafriyat) atıkları, tehlikeli atıklar, tehlikesiz atıklar, tıbbi atıklar, ambalaj atıkları, elektronik atıklar, atık yağlar, bitkisel atık yağlar, atık pil ve akü-

mülatörler, ömrünü tamamlamış lastikler ve ömrünü tamamlamış araçlar gibi kategorilerle sınıflandırılabilir.

## 2.2. Atık Kavramına Tarihsel Yaklaşım

Atık kavramı, insanlık tarihi kadar eskidir. Sanayi öncesi tarım kökenli hayat tarzında, insanlar için nadiren endişe yaratan çoğu organik nitelikli yemek artığı ve kül gibi evsel atıklar, hayvan yemi ya da gübre olarak ekonomiye kazandırılmaktaydı (Bilgili, 2021). O dönemin atıkları günümüz atıkları gibi inorganik olmadığından halk sağlığına etkisi de günümüzde üretilen atıklara göre kısıtlıydı. Ancak tarım toplumundan Sanayi Devrimi'ne kadar üretim kapasitesindeki artış ile paralel biçimde üretilen atık miktarı da artmıştır (Çeken, Yiğitbaşıoğlu 2018).

## 2.3. Sıfır Atık Kavramının Oluşumu

Sıfır atık kavramı, ilk olarak 1970'lerde Amerikalı kimyager Paul Palmer tarafından kullanıldı (Warner vd., 2015; Nizar vd., 2018). Palmer, Silikon Vadisi'nde işletmelerin yeniden kullanılabilir temiz ve değerli kimyasalları atıkladığını fark ederek, 1973'te bu maddelerin ticaretini yapan Sıfır Atık Sistemleri Anonim Şirketini kurdu ve bu kavramın daha geniş kitleler tarafından duyulmasını sağladı (Mauch, 2016). P. L. Simmonds, 1862'de yayımladığı "Atık Ürünler ve İşlenmemiş Maddeler: Veya İhmal Edilen Alanlarda Girişimcilik İpuçları" adlı kitabında, çöp tenekesine atılan elbiselerden kağıt, kemiklerden el yapımı bıçak, hayvansal yağlardan sabun, yapıştırıcı ve jelatin üretimi gibi konuları ele almıştır. Sıfır atık anlayışının öncüleri olarak George Washington Carver ve Henry Ford kabul edilebilir. Carver, 1893'te lisans öğrencisiyken yayımladığı bir makalede, doğanın atıklar için herhangi bir enerji harcamadığını, ancak yaratılan her şeyin büyük bir bütünün vazgeçilmez bir parçası olduğunu belirtmiş ve atıkları "kılık değiştirmiş bir başka kaynak" olarak tanımlamıştır (Ferrel, 2002). Carver'in görüşlerini H. Ford'a aktarmasıyla birlikte, Ford otomobil üretiminde kullanılan malzemelerden daha fazla değer yaratmanın yollarını aramıştır. 1930'a gelindiğinde, New York Times'ta yayımlanan bir makalede, Ford'un ürettiği otomobillerin bazı parçalarında atık olarak değerlendirilebilecek malzemeler kullandığı ve üretim tesislerinde hiçbir şeyin atılmadığı belirtilmiştir (Ferrel, 2002). Carver'in atık konusundaki görüşlerini endüstri sektöründe uygulamaya koyan H. Ford, çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmış, mali tasarruflar sağlamış ve endüstriyel tasarım ve üretim için bir model olmuştur. Daha sonra Toshiba, Toyota, Honda, Nike ve Xerox gibi şirketler sıfır atık hedefini benimsemiş ve üretim süreçlerinde bunu uygulamıştır (Mauch, 2016; Murray, 2002). 1950'lerden itibaren Japonya'da uygulanmaya başlanan toplam kalite yönetimi anlayışı, sıfır hata düşüncesiyle birlikte, üreticilerin sosyal ve çev-

resel riskleri sıfırlama yönünde hareket etmeye başlamıştır. 1980'lerden itibaren bu yönetim felsefesi dünya çapında yayılmaya başladı, endüstrilerde atık yönetimi önem kazanmıştır (Demirkaya, 2002). 1980'lerde Amerika Birleşik Devletleri'nde çöp yakmanın çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin ortaya çıkmasıyla birlikte, çöp yakma karşıtı eylemler sıfır atık yaklaşımının gelişimine katkı sağlamıştır. 1986'da Büyük Çöp Yakma Tesislerine Karşı ve Güvenli Alternatifler Ulusal Koalisyonunun kurulmasıyla bu eylemler doruğa ulaşmıştır (Connett, 2013). Koalisyon, dünya çapında birçok ülkede bulunan çöp yakma tesisleriyle ilgili çalışmalar yapmıştır (Connett, 2013). Bu alternatifler, sıfır atık yaklaşımının günümüzdeki anlamını belirlemiştir (Bilgili, 2021). 1988-1989'da Seattle'da, konutlardan geri dönüştürülebilir ve kompostlanabilir malzemelerin toplanmasını sağlamak için "Atığını Öde" (PAYT) yaklaşımı benimsenmiştir (Connett, 2013). 1989'da California'da, entegre atık yönetimi yaklaşımı yasal süreçlerle resmileştirilmiştir (Connett, 2013). 1990'da T. Lindhqvist, İsveç ve diğer ülkelerde geri dönüşüm ve atık yönetimi sistemlerine ilişkin yaptığı çalışmalar sonucunda, genişletilmiş üretici sorumluluğu kavramını resmi olarak kullanmıştır (Lindhqvist, 2000). OECD, genişletilmiş üretici sorumluluğunu, üreticinin ürünün yaşam döngüsü boyunca ve tüketiciden sonraki aşamayı da kapsayacak şekilde sorumlu olmasını sağlayan bir çevre politikası yaklaşımı olarak tanımlamıştır (OECD, 2001). Genişletilmiş üretici sorumluluğu, üreticilerin ürün tasarımını ve üretimini atıkları azaltacak şekilde yönlendirmelerine olanak sağlar (Bilgili, 2021).

#### 2.4. Dünya'da Sıfır Atık Adımları

1996'da, sıfır atık kavramının belediyelere aktarılması Canberra (Avustralya)'da gerçekleşti. 2010 yılında, sıfır atık hedefine ulaşmak için gerekli adımların yasal zemine oturtulması açısından bu şehir önemli bir rol oynadı (Connett, 2013; Nizar vd., 2018; Murray, 2002). 2004 yılına gelindiğinde, Canberra atıklarının %70'ini dönüştürmeyi başardı (Nizar vd., 2018).

1997'de, Yeni Zelanda Sıfır Atık Vakfı (Zero Waste New Zealand Trust) kuruldu ve bu vakıf, Yeni Zelanda'nın sıfır atık yaklaşımını benimseyen ilk topluluk olması için çeşitli girişimlerde bulundu (TennantWood, 2003; Snow ve Dickinson, 2003). Bu girişimlerin sonucunda, 2002'de Yeni Zelanda'nın dünyada sıfır atık hedefi koyan ilk ülke olması önemli bir adım olarak kaydedildi (Snow ve Dickinson, 2003).

1997'de, California Kaynak Geri Kazanım Birliği (California Resource Recovery Association) sıfır atık konferansı düzenledi. Ardından 1998'de, Seattle ve Washington gibi Amerika Birleşik Devletleri şehir ve eyaletleri sıfır atık yaklaşımını atık yönetiminin bir ilkesi olarak benimsemeye başladı (Connett, 2013).

1999’da, P. Connett’in de yer aldığı “Sıfır Atık: İdealist Rüya Mı Gerçekçi Hedef Mi?” adlı video kaydı yayımlandı. Bu kayıt, atıkların depolanarak veya yakılarak bertaraf edilmesine karşı çıkan teorisyenlerin geri dönüşüm, yeniden kullanım, sürdürülebilirlik ve sıfır atık gibi konuları ele aldı (Connett ve Sheehan, 2001).

1999’da, Robin Murray tarafından “Atıktan Zenginlik Yaratmak” adlı kitap yayımlandı (Connett ve Sheehan, 2001).

2000’de, Sıfır Atık Kanada (Target Zero Canada) kampanyası başlatıldı (Connett ve Sheehan, 2001).

2000’de, Amerika Birleşik Devletleri’ndeki ilk kapsamlı “Sıfır Atık Planı” Del Norte kasabası tarafından devreye alındı ve 2001’de Kaliforniya Entegre Atık Yönetimi Kurulu stratejik atık yönetimi planlarında sıfır atık hedeflerini benimsedi (Connett, 2013; Zaman, 2015).

2002’de, dünya çapında sıfır atık yaklaşımını destekleyen standartların oluşturulması amacıyla Uluslararası Sıfır Atık Birliği (Zero Waste International Alliance-ZWIA) kuruldu. Aynı yıl, Yeni Zelanda dünyada sıfır atık hedefi belirleyen ilk ülke unvanını aldı ve ilk Sıfır Atık Zirvesi’ne ev sahipliği yaptı (Nizar vd., 2018).

2002’de, Robin Murray’ın “Sıfır Atık” adlı kitabı yayımlandı (Connett, 2013; Murray, 2002).

2002’de, William McDonough ve Michael Braungart’ın “Beşikten Beşiğe: Bir Şeyler Yapma Şeklimizi Yeniden Biçimlendirmek” adlı kitabı basıldı (Nizar vd., 2018).

2003’te, Japonya’nın Tokushima şehrine bağlı Kamikatsu kasabasının “hiç atık üretmeyen kasaba” olma hedefi belirlendi. Kasaba, çöplerin yakılmasının yasaklandığı 1997’den itibaren sıfır atık deklarasyonunu yayımladı. Kasabada 45 farklı türde atık toplanmakta ve atıkların %80’i geri dönüştürülmektedir (Kizuna, 2021).

2004’te, Uluslararası Sıfır Atık Birliği uluslararası hakemli sıfır atık yaklaşımına ilişkin bir tanımlama yaptı. Buna göre sıfır atık, atıkların başkaları tarafından kullanılabilir birer kaynak olarak tasarlanması ve atıkların yakılması veya depolanması gibi zararlı uygulamalardan kaçınılması olarak kaynakların korunmasını hedefleyen bir yaklaşım olarak tanımlandı (<http://zwia.org/zero-waste-definition>).

2012’de, Candida Brady tarafından yazılan ve yönetilen “Çöp” adlı belgesel film Cannes Film Festivali’nde gösterime girdi. Bu belgesel, tüketim miktarının azaltılması ve sürdürülebilir bir düzeye getirilmesi için sıfır atık hedefine ulaşmanın önemini vurgulayan bir çağrı niteliği taşıdı (Connett, 2013; Nizar vd., 2018).

## 2.5. Avrupa' da sıfır atık yaklaşımı

Avrupa belediyelerini bir araya getiren, uluslararası kâr amacı gütmeyen yerel sıfır atık gruplarının da katılımıyla sürdürülebilirliği, ekonomik dayanıklılığı ve sosyal uyumu iyileştirmek amacıyla atığı, kademeli olarak ortadan kaldırmak için oluşturulan bir harekettir. Ayrıca Sıfır Atık Avrupa, Uluslararası Sıfır Atık İttifakı üyesidir (Zero Waste Europe, Introducing Zero Waste Europe-the main principles, 2013).

Sıfır Atık Avrupa (Zero Waste Europe), israfın yok edilmesi için kuruluşların, yerel liderlerin ve uzmanların bir araya geldiği bir Avrupa ağı olarak tanımlanmaktadır. İnsanların ve gezegenin yararı için sıfır atığa doğru bir geçiş sağlamak amacıyla sürdürülebilir sistemlerin ve kaynaklarla ilişkilerin yeniden tasarlanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. 2014 yılında kurulan Sıfır Atık Avrupa; ürün tasarımından, yeniden kullanılabilirliğe ve belediyelerin sıfır atık stratejilerine kadar zaman içerisinde faaliyet alanını genişletmiştir (Zero Waste International Alliance, Our Journey and Values).

Sıfır Atık Avrupa'nın 2022-2024 yıllarını kapsayan Stratejik Çerçeve 2022-2024 (Strategic Framework 2022-2024) belgesinde yenileyici, insan odaklı, örnek teşkil eden ve sıfır atığa doğru küresel bir geçiş için katalizör görevi görebilecek bir Avrupa yaratmanın amaçlandığı belirtilmiştir. Belgede, Avrupa'yı sıfır atık haline dönüştürmek için vatandaşların kaynaklarla ve kendisiyle olan ilişkisini dönüştürmenin gerekli olduğu vurgulanmaktadır. Kaynak yönetimini değiştirmek, tüketici davranışını etkilemek, yeni iş modellerini desteklemek ve bu geçişi sağlamak için uygun yasal çerçeveyi ve ekonomik teşvikleri yaratmak gereklidir. Stratejik Çerçeve belgesi, 3 sütun kapsamında ve bu 3 sütunu birbirine entegre ederek sıfır atıklı bir Avrupa haline dönüştürmeyi hedeflemektedir.

1. sütun ile şehirleri, işletmeleri ve yatırımları harekete geçirerek sahada sıfır atık çözümleri uygulamak,

2. sütun ile politika ve finansman enstrümanlarını kullanarak mümkün kılan koşullar yaratmak,

3. sütun ile organizasyon içinde ve dışında yer alan grupları organize ederek hareket oluşturmak istenmektedir.

1. sütunun 2024 yılı hedeflerinde toplam belediye atığı üretiminin her yıl azaltılması, ambalaj atıklarının azaltılması, sıfır atık ile ilgili çözümlerin giderek daha yaygın hale gelmesi yer almaktadır. 2. sütunun 2024 yılı hedeflerinde yeni yasal ve mali düzenlemelerin geri dönüşüm yerine önleme ve yeniden kullanıma öncelik vermesi, Avrupa Birliği ve ulusal yönetmeliklerin daha iyi geri dönüşümünü kolaylaştırması, yasal ve finansman etmenlerin sıfır atığa geçiş için en iyi uygulama çözümlerine

öncelik vermesi ve ambalajın yeniden kullanımına ve geri dönüşümüne izin verilerek en tehlikeli kimyasalların yasaklanması yer almaktadır. 3. sütunun 2024 yılı hedeflerinde ise; daha iyi eğitim, kaynaklar, bağlantılar ve organize yaklaşımlar yoluyla daha büyük etki yaratması, Ulusal Sıfır Atık İttifakı (National Zero Waste Alliances)'nin dögüsel ekonomi ve sıfır atık konusunda stratejik ulusal mevzuatların birlikte oluşturulmasında önemli bir paydaş rolüne sahip olması yer almaktadır (Zero Waste Europe, Strategic Framework 2022-2024).

Sıfır Atık Avrupa ağının iddiası, AB politika yapımında etkili olma konusunda güçlü bir sicile sahip oldukları; kurumlara ve medyaya iyi erişebildikleri, katkıda buldukları ve bu anlamda güvenilir bir aktör oldukları; dögüsel ekonomi ve iklim gündemi alanında baskı grupları, politika yapımcılar ve paydaşlar tarafından büyük saygı gördükleri yönündedir. Dahası, yerel ve bölgesel düzeyde sıfır atık stratejilerinin uygulanmasında uzman olduklarını iddia eden bu ağ, sıfır atık yolunda yürümek isteyenlere uzmanlık, teknik rehberlik ve kolaylaştırma sağladıklarını ifade etmektedir. Bunlarla birlikte 35 Avrupa üye kuruluşundan oluşan bir ağı koordine etmekte olan Sıfır Atık Avrupa; koordinasyon, hareket oluşturma ve süreç kolaylaştırma konusundaki uzmanlıklarıyla öne çıktıklarını açıklamaktadır (Zero Waste Europe, 2021).

## 2.6. Sıfır Atık Şehirler Programı

Sıfır Atık Şehirler (Zero Waste Cities), şehirlerin sıfır atığa geçişine yardımcı olmak için oluşturulmuş bir program olmakla beraber yerel paydaşların sıfır atıkla ilgili en iyi uygulamaları gerçekleştirmeleri için Avrupa çapında uzman bir bilgi birikimini bir araya getirmeyi sağlamaktadır. Programın amaçları arasında; şehirler düzeyinde sıfır atığa geçişi hızlandırmak ve her ölçekten belediyeyi destekleyerek atık üretiminde önemli bir azalmanın, ayrı toplamanın ve vatandaşların yaşam kalitesinin iyileştirilmesinin sağlanması için Avrupa Birliği mevzuatlarına dayalı yerel iş birliğini gerçekleştirmek yer almaktadır. Sıfır atık şehirler, geri dönüşümün ötesine geçerek atığın oluşmasını en baştan önleyen sistemlere odaklanmaktadır. Örneğin bebek bezlerinin yeniden kullanımına öncelik veren politikaların geliştirilmesi vb. Sıfır atık şehir düşüncesi Avrupa'da 2007 yılında bir ilkokul öğretmeni olan Rossano Ercoli'nin liderliğinde oluşan bir topluluk hareketi yerel bir çöp yakma fırınının inşasını durdurarak Avrupa'da sıfır atık şehir hareketinin doğmasına sebep olmuştur. 2011 yılına gelindiğinde ise Avrupa çapındaki kuruluş ve aktivistler iş birliği yapmaya başlamış ve öylece Sıfır Atık Avrupa'nın kurulmasına giden yolu oluşturmuşlardır. 2014 yılında Slovenya'nın başkenti olan Ljubljana, Avrupa'nın ilk sıfır atık başkenti olmasıyla bu durum sıfır atık konusunda önemli bir dönüm noktası olmuştur. Sıfır Atık stratejilerini benimseyen Sloven belediyelerinin sayı-

sındaki artış, Slovenya'yı Avrupa Birliği içindeki en yüksek geri dönüşüm oranına sahip ülkelerden biri haline getirmiştir. (Zero Waste Europe, The State of Zero Waste Municipalities 2020).

2010'ların ikinci yarısından itibaren sıfır atık şehir hareketi İtalya ve Slovenya'da yaygınlık kazanırken, Romanya ve Hırvatistan'da da benzer politikalar benimsenerek bu ülkelerde de atıkların azaltılması, atık önleme konusunda farkındalığın artması yönünde çalışmalar sürdürülmüştür. 2018 yılında ise Avrupa Birliği, atıklarla ilgili mevzuat değişikliğini kabul ederek Avrupa içinde döngüsel ekonomiyi sağlayacak önemli adımlar atmıştır. Atıklarla ilgili gözden geçirilmiş yasal çerçeve Temmuz 2018 tarihinde yürürlüğe girerek atıkların azaltılması ile ilgili net hedefler belirlenmiş ve önümüzdeki 15 yıl boyunca atık yönetimi ve geri dönüşüm için bir yol haritası oluşturulmuştur. Bununla birlikte 2019 yılında Avrupa Birliği tarafından çevre ve suya karşı plastik akışını durdurmak için tek kullanımlık plastikleri aşamalı bir şekilde kaldırmayı öngören bir direktif (Directive on the Reduction of the Impact of Certain Plastic Products on the Environment) oluşturulmuştur (Zero Waste Europe, The State of Zero Waste Municipalities 2020). Ancak Break Free From Plastic tarafından 2020 yılında yürütülen çalışma doğrultusunda şu ana kadar Avrupa Birliği ülkelerinden sadece birkaçının direktifi uygulamak için çalışmalar başlattığı, öte yandan Bulgaristan, Hırvatistan ve Polonya'nın ise çalışmalara hiç başlamadığı belirtilmiştir (Break Free for Plastic, 2020).

Sıfır atık bir şehirde malzeme akışı döngüsel olmalı ve kaynaklar verimli kullanılmalıdır. Bu nedenle atık yönetim sisteminin performansı, sıfır atık performansını yansıtmaktadır (Zaman, Lehmann, 2013). Gelecekte daha az atık üreterek ve tüm atıkları şehirden toplayarak %100 geri dönüşümün gerçekleştiği ve kaynak geri kazanımı sağlayarak ve sürdürülebilir kaynak kullanımlarının sağlandığı sıfır atık şehirleri planlanmaktadır. Sıfır atık şehirlerde mevcut şehirlerin daha sürdürülebilir hale gelmesi için yeniden yapılandırılması gereklidir. Yüksek karbonlu fosil yakıt kullanımından düşük karbon emisyonu teknolojilere kadar binaları inşa etme, geri dönüştürme yöntemlerinin yeniden şekillendirilmesi gereklidir. Sürdürülebilir tüketim konusunda vatandaşların bilinçlenmesi önemlidir. Sürdürülebilir tüketim için ise eğitim, bireylerin ve sosyal grupların daha sürdürülebilir tüketim toplumuna doğru değişiminin itici gücü olmalarını sağlamak açısından önemlidir. (Zaman, Lehmann, 2011).

Bugün, 9 farklı Avrupa ülkesinden yaklaşık 400 belediye, sıfır atık stratejisi geliştirmeyi ve uygulamayı taahhüt ederek Sıfır Atık Avrupa Şehirleri Programına katılmış ve şu anda atık üretimlerini azaltmak için çalışmaktadır (Mission Zero Academy, 2021). Bu bağlamda Avrupa belediyelerini sıfır atığa doğru yönlendirmek için daha sağlam ve resmi bir sisteme olan bu ihtiyacın farkında olan "Mission Zero Academy (MİZA)",



Sıfır Atık Avrupa (ZWE) ile birlikte dünyanın ilk “Sıfır Atık Şehirler Sertifikasyonu”nu tasarlamıştır (Mission Zero Academy, 2021). Sıfır Atık Şehirler Sertifikasyon süreci 5 temel adımdan oluşmaktadır (Mission Zero Academy, 2021):

- **Beyan:** Belediyenin yerel Sıfır Atık Avrupa (ZWE) üyelerine veya Mission Zero Akademi’ye beyanını iletmesi.
- **Taahhüt:** Belediyenin Sıfır Atık Aday Şehir statüsünü alması ve burada belirtilen özel gereksinimler kapsamında kendi sertifikasyon yol haritasını oluşturması ve sunması.
- **Uygulama:** Belediyenin en fazla 2 yıla kadar, puan kartının oluşması için ve belgelendirmek üzere, süreçteki faaliyetleri ve sonuçlarıyla ilgili resmi denetçiye kanıtlarını sunması.
- **Sertifikasyon:** Performans düzeyine ve etkiye odaklanan başarılı bir üçüncü taraf değerlendirmesinin ardından uygun görülen Aday Belediyenin Sıfır Atık Sertifikalı Şehir olması.
- **Yıllık İyileştirmeler:** Sertifikasyonunu takiben, bir Belediye elde edilen sonuçları izlemek ve geliştirmek için yıllık iyileştirmeler yapması. Belediyenin sertifikasyon durumunun teyit edilmesi için her 3 yılda bir yeni denetim süreçlerine tabi tutulması ve 5 yıldızlı bir sistem altında seviye atlama imkanına sahip olması.

Böylece Sıfır Atık Şehirler programı ve Mission Zero Akademisi sertifikasyon uygulaması birbirini tamamlayarak, Avrupa’nın döngüsel bir geleceğe geçişini hızlandırmaktadır (Çalışkan, 2023).

### **2.6.1. Öncü belediyelerdeki atık yönetimi uygulamaları**

#### **2.6.1.1. İtalya Bitetto Belediyesi: KAYT Modeli ve RFID Teknolojisi**

PAYT (Pay-As-You-Throw) (Attığın Kadar Öde) ve KAYT (Know-As-You-Throw) (Attığın Kadar Bil) isimli atık yönetimi modelleri, son birkaç yıldır dünyada yerel atık yönetimi politikalarının ayrılmaz bir parçası olmuştur. Daha az atık üreten vatandaşları daha düşük ücretlerle ödüllendiren PAYT, ayrıştırılmış biyo-atıkların kompost malzemesi olarak kullanılanlara sunulan ücretlerde büyük bir indirim ile evde kompostlaştırmanın alımını teşvik etmek için özel olarak tasarlanmış bir modeldir. KAYT, bilgi ve ikna odaklı bir yaklaşımla belediye atıklarını azaltmak ve ayrı toplama-yı artırmak için yenilikçi bir kavramdır (Plastic Action Centre, 2021).

Bitetto, atık yönetiminde KAYT modelini benimseyen ve bu modeli etkinleştirmek için Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID) teknolojisini kullanan örnek bir belediyedir. Bitetto, atıkların kaynağından ayrılması



için kampanya mesajlarının nasıl kullanılacağına ve “Attığın Kadar Bil” (KAYT) kampanyası aracılığıyla kompostlaştırmanın nasıl teşvik edileceğine dair en iyi uygulama örneği olarak kabul edilmektedir (Plastic Action Centre, 2021). Bitetto Belediyesi, yalnızca kapıdan kapıya ayrı toplamanın yüksek yüzdesi için değil, her şeyden önce kentsel atığın zamanında fiyatlandırılmasına ilişkin yenilikçi model için de iyi bir model temsil etmektedir.

Bitetto, vatandaşların atık üretimi ve ayrıştırma konusunda daha fazla bilgiye erişmesi ve onları evde kompost yapmaya teşvik etmesi ve dolayısıyla atıkların giderek azalmasını sağlayan bir iyi örnektir. Bitetto, iki temel faktör nedeniyle çok kısa bir süre içinde etkileyici atık azaltma sonuçları elde etmiştir (Plastic Action Centre, 2021). Söz konusu faktörlerden ilki, daha az atık üretmeye yönelik sağlanan ekonomik teşviklerdir. Diğeri ise vatandaşların atık üretimini ve bunun nasıl azaltılacağını daha iyi anlamaları için çok çeşitli erişilebilir bilgilere sahip olmalarını sağlayan sistemdir (Çalışkan, 2023).

### 2.6.1.2. Galler: Collections Blueprint Modeli

Yapılan son araştırmalara göre ev atıklarının geri dönüştürülme oranları açısından dünyada üçüncü sırada yer alan Galler, daha geniş bir sıfır atık stratejisinin parçası olarak, biyo-atıkları etkili bir şekilde toplamak ve yönetmek için ulusal ve yerel yönetimlerin nasıl birlikte ve etkili bir şekilde çalışabileceğinin mükemmel bir örneğini sunmaktadır (Zero Waste Europe, 2021). Galler’in “Collections Blueprint” modeli, önemli atık akışlarının ayrılmasına dayanan ve ülkenin 2020 için %65,4'lük bir geri dönüşüm oranına ulaşmasına yardımcı olan bu sistemin başarısının merkezinde yer alır. Evlerden atıkların toplanması için tavsiye edilen bu model, kuru geri dönüştürülebilir maddelerin ‘kaldırım kenarında ayırma’ yoluyla haftalık olarak ayrı toplanmasıdır. Malzemeler ayrı ayrı kutularda ve/veya yeniden kullanılabilir çuvallarda toplanmakta, hane başına iki veya daha fazla kutu sağlanmakta ve geri dönüştürülebilir maddeler tasnif edilerek, toplama aracında ayrı bölmelere yerleştirilmektedir. Bu uygulama, hem geri dönüşüm performansının iyileştirilmesi hem de maliyetin düşürülmesi açısından evsel atık kapasitesinin kısıtlanmasına odaklanan politikaları destekleyen güçlü kanıtlar sunmakta ve böylece Galler’e ekonomik, sosyal ve çevresel açılardan iyi çözümler sağlamaktadır (Perchard, 2016).

### 3. GÜNÜMÜZDE SIFIR ATIK VE SIFIR ATIK HİYERARŞİSİ

#### 3.1. Günümüzde Sıfır Atık

2002 yılında, sıfır atık yaklaşımının gelişimine küresel ölçekte rehberlik edecek standartların oluşturulması amacıyla kurulan Uluslararası Sıfır Atık Birliği, sıfır atık yaklaşımını çeşitli güncellemelerle 2018’de “ürün, ambalaj ve malzemelerin, yakma yoluna gidilmeden, çevre ve insan sağlığını tehdit eden toprağa, suya ve havaya bırakılmadan, sorumlu üretim, tüketim, yeniden kullanım ve geri kazanım yoluyla tüm kaynakların korunması” şeklinde tanımlamıştır (<http://zwia.org/zero-waste-definition>).

Geleneksel atık yönetim sistemlerinde, atık genellikle kaynak tüketim sürecinin son aşamasında ortaya çıkan ve ömrünü tamamlamış bir ürün olarak kabul edilir. Ancak, sıfır atık yaklaşımında atık, kaynak tüketiminin orta aşamasında gerçekleşir ve atığın kaynağa dönüşümünü teşvik eden bir anlayışı benimser (Uz Zaman, 2014). Sıfır atık, atıkların yönetilmesi yerine tamamen ortadan kaldırılmasını hedefleyen bütüncül bir yaklaşım olarak değerlendirilir. Ayrıca, atıkların yakılması veya depolanmasıyla ortaya çıkan olumsuz etkileri önlemek için tedarik zincirinin her aşamasında atıkların azaltılması ve ortadan kaldırılması üzerine kurulu bir tasarım felsefesidir (Curran ve Williams, 2012).

Diğer bir ifadeyle, sıfır atık, toplum tarafından kullanılan malzemelerin döngüsünde büyük bir değişim yaratmayı amaçlayan bütüncül bir sistem yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, atıkların ayrıştırılması, yeniden işlenmesi ve kompostlama gibi yöntemlerle çeşitli sektörlerle destek sağlar. Bu şekilde, yeni hammadde üretimini ve işlenmesini azaltarak atıkların tüketim malzemelerine yeniden dönüştürülmesini sağlar. Sıfır atık hedefi ve bu hedefe ulaşmayı amaçlayan model, mevcut endüstriyel atık sistemini yeniden tasarlayarak atıkların çoğunun depolama alanlarına veya yakma tesislerine gitmek yerine geri kazanılmasını sağlar (Edgerly ve Borelli, 2007). Sonuç olarak, sıfır atık, atıkların kaynağında azaltılması, içerdikleri malzemelerin geri kazanılması ve %100 geri dönüşüm oranının hedeflenmesine dayanan bir atık yönetim sistemidir (Uz Zaman ve Lehmann, 2011).

#### 3.2. Sıfır Atık Hiyerarşisi

Sıfır atık idealine ulaşılabilmesi için atıkların yönetiminde kullanılan yöntemlerin, en çok tercih edilenlerin en üstte ve en az tercih edilenlerin en altta yer aldığı atık hiyerarşileri önemli bir kılavuz niteliğindedir (Gharfalkar vd., 2015). Sıfır atık yönetiminin en çok tercih edilen seçenekten, en az tercih edilmesi gereken seçeneğe doğru hiyerarşik yapısı Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Sıfır Atık Hiyerarşisi

Kaynak: Simon (2019) ve ZWIA (2022)'den türetilmiştir.

Sıfır atık hiyerarşisi, atığın kaynağında önlenmesini, yeniden kullanılmasını ve atık miktarının azaltılmasını önceliklendirirken, enerji kazanma amaçlı yakma yöntemini ise dioksin emisyonları gibi çevresel ve insan sağlığına zararlı etkilerinden dolayı en son seçenek olarak kabul eder (Bilgili, 2021).

Bu hiyerarşinin ilk adımı olan sıfır atık ürün tasarımı, ürünlerin ömrünü uzatmak için tamir edilebilirlik, yeniden kullanılabilirlik ve ikincil ürünlerin imalatı için kaynak olabilme gibi özelliklere odaklanır. Aksi takdirde, atığın çevreyi kirletmeden geri dönüşümü, geri kazanımı ve doğal süreçlerle kolayca ayrıştırılabilir olması sağlanmalıdır (Uz Zaman, 2014; Kahraman ve Sarı, 2017). Bu nedenle, sıfır atık ürün tasarımı, üreticilerin ve tasarımcıların üretim süreçlerini ve ürünleri bütünsel bir bakış açısıyla değerlendirmesi gerektiğinin atık yönetim sistemlerine yansımaları olarak görülmektedir (Carrico ve Kim, 2014).

### 3.3. Sıfır Atık Yöntemleri

Sıfır atık, çağımızın atık sorununun çözümüne yönelik atılmış en önemli adım olmakla beraber, atıkların tamamen sıfırlanması fiziksel, kimyasal ve biyolojik kanunlar nedeniyle mümkün değildir. Sıfır atık hedefine ulaşabilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmektedir.

### 3.3.1. Beşikten Beşiğe / Beşikten Mezara (C2C / CDG)

Beşikten Beşiğe (Cradle to Cradle) kavramı, Beşikten Mezara (Cradle to Grave) kavramının yerine kullanılan ve bir ürünün yaşam döngüsünü, sonsuz kullanım üzerine tasarlayan bir yaklaşımdır. Prof. Dr. Michael Braungart tarafından geliştirilen yaklaşım, tıpkı tabiattaki biyolojik çevrim gibi üretimde de teknolojik bir çevrimin olmasını ve hiçbir malzemenin israf edilmemesini savunmaktadır.

Sıfır atık yaklaşımı öncesinde kullanılan Beşikten Mezara (C2G) yaklaşımı, malzemelerin hammaddeden, bertaraf gerektiren atıklara kadar tek yönlü akışını tanımlamak için kullanılan bir yaklaşımdır. Beşikten beşiğe (C2C) kavramında ise malzemeler bertaraf edilmeyerek kapalı bir döngü içerisinde geri dönüştürülmeli ve yeniden kullanılmalıdır (McDonough ve Braungart, 2002).

### 3.3.2. Yeşil Mühendislik (GE)

Yeşil mühendislik, bilim ve teknoloji yoluyla sürdürülebilirliği sağlamaya odaklanan bir yaklaşımdır. Kirliliği kaynağında azaltmayı ve yeni ürünler, malzemeler, süreçler ve sistemler tasarlarken insanların ve çevrenin karşılaştığı riskleri en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Yeşil mühendislik ürünün yeniden kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkarmak için yeniden tasarlanmasını ve iyileştirilmesini, endüstriyel süreçlerde yeniden kullanılabilmesi için malzeme ve süreçlerin tasarlanmasını amaçlayan ilkelere dayanmaktadır (Yazgan, 2022).

### 3.3.3. Eko-Verimlilik

Eko-verimlilik, belirli gelişmelerin, faaliyetlerin veya süreçlerin çevresel ve ekonomik boyutlarını entegre etmeye odaklanır ve daha az etkiyle değer oluşturulmasını teşvik eder. Eko-verimlilik, atıkları yönetmek için kullanılacak özel bir yönetim sistemi değildir. Çevresel ve ekonomik performansı ölçmek için diğer yaklaşımlarla birlikte kullanılabilen bir yönetim felsefesidir. Eko-verimlilik matematiksel olarak şu şekilde tanımlanabilir:

$$\text{Eko-verimlilik} = \text{Katma değer} / \text{Çevresel etki}$$

Eko-verimlilik kavramının 3 amacı vardır:

- Malzeme girdilerini en aza indirerek ve malzeme döngülerini kapatarak kaynak tüketimini azaltmak;
- Kirliliği en aza indirerek ve kaynakların sürdürülebilir kullanımını teşvik ederek çevresel etkiyi azaltmak,

- Daha az malzeme ve kaynak kullanarak tüketici ihtiyaçlarını karşılayan ürünler sunarak, ürün ve hizmetlerin değerini artırmaktır (Bohne ve ark., 2008).

#### **3.3.4. Endüstriyel Ekoloji (IE)**

Endüstriyel ekoloji, endüstriyel ürünlerin ve süreçlerin tasarımını, ürün rekabetçiliği ve çevresel perspektiflerle ele alan bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. IE, faaliyetlerin ve süreçlerin ekonomik ve çevresel yönlerini incelediği için eko-verimliliğe benzer. Ancak üretim proseslerini daha sürdürülebilir olacak şekilde yeniden tasarlamaya, entegre etmeye ve uyarlamaya yönelik güçlü bir mühendislik bakış açısına sahiptir. IE disiplini, eko-sanayi parkların geliştirilmesi ile atık yönetiminde kullanılan bazı özel araçlara ve tekniklere sahiptir. Bir eko-sanayi parkı, planlanan malzemeler ve enerji değişimleri yoluyla enerji ve hammadde kullanımını en aza indirerek ekonomik ve çevresel performansı iyileştirmek için birbirleriyle iş birliği yapan firmalardan oluşan bir ağdır (Graedel & Allenby, 2010).

#### **3.3.5. Çevre İçin Tasarım (DFE)**

Tasarımcılar tarafından başlatılan ve çevre dahil tüm maliyetlerin tasarım aşamasında kabul edilerek benimsenmesini içeren yeni bir yaklaşım modelidir. Çevre İçin Tasarım, bir ürünün, sürecin veya hizmetin genel insan sağlığını ve çevresel etkisini azaltmaya yönelik ve etkilerin yaşam döngüsü boyunca dikkate alındığı bir tasarım yaklaşımıdır. Tasarımcıların optimize edilmiş ürünler veya süreçler / hizmetler bulmalarına yardımcı olmak için farklı yazılım araçları geliştirilmiştir. Çevre İçin Tasarım ayrıca, 1992 yılında oluşturulan, çevre kirliliğinin insanlara ve çevreye sunduğu riski önlemek için çalışan bir ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) programının orijinal adıdır (Yazgan, 2022).

#### **3.3.6. Sökülmeye Uygun Tasarım (DFD)**

Eski parçaların yeni ürünlere yeniden monte edilebilmesi ve malzemelerin geri dönüştürülebilmesi için ürünlerin sökülme kolaylığı sağlayacak şekilde tasarlanmasını amaçlayan bir tasarım disiplini. Sökülmeye uygun tasarım bir bina veya makina söküldüğünde veya yenilendiğinde ürünlerin, parçaların ve malzemelerin kolayca geri kazanılmasını sağlayan bir tasarım sürecidir. Sürecin amacı, ekonomik değeri en üst düzeye çıkarmak ve yeniden kullanım, onarım, yeniden üretim ve geri dönüşüm yoluyla çevresel etkileri en aza indirmektir (Yazgan, 2022).

#### **3.3.7. Yeniden Üretim**

Yeniden üretim, bir ürünün, yeniden kullanılan, onarılan ve yeni parçaların bir kombinasyonunu kullanarak üretilen ürünün orijinal özellikleri-

ne göre yeniden oluşturulmasıdır. Yıpranmış veya eskimiş bileşenlerin ve modüllerin onarılmasını veya değiştirilmesini gerektirir. Performansı veya ürünün beklenen ömrünü etkileyen bozulmuş parçalar değiştirilir. Yeniden üretim, bütünlüğü bakımından diğer geri kazanım işlemlerinden farklı olan bir ürün geri kazanım süreci biçimidir (Yazgan, 2022).

### **3.3.8. Faktör 4**

Bir ürünün veya hizmetin iki katını, kullanılan kaynakların yarısını kullanarak yapmaya çalışmak demektir. Faktör 4 kavramı, mevcut metodolojileri kullanarak kaynak verimliliğinde dört kat artış olmasını amaçlar. Başka bir deyişle, şu anda kullandığımız kaynaklardan dört kat daha fazla üretim elde edebilmektedir (Yazgan, 2022).

### **3.3.9. Temiz Üretim**

Üretimin çevre üzerindeki etkilerini azaltmak için esas olarak işletmeler tarafından kullanılan bir verimlilik kavramıdır. Günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır. Oldukça kısa süreler içinde önemli tasarrufların yapılabildiği birçok başarı hikayesi olan bir yaklaşımdır (Yazgan, 2022).

### **3.3.10. Demateryalizasyon**

Demateryalizasyon, kullanılan malzemelerin miktarındaki ve/veya üretilen atık miktarındaki mutlak veya göreceli azalmayı ifade eder. Endüstriyel ekolojiyi toplumsal düzeyde geliştirmek için önemli bir strateji olarak kabul edilir (Yazgan, 2022).

### **3.3.11. Dinamik Modülerlik**

Ürünlerin modüller halinde üretildiği, böylece ürünün ömrünü uzatmak için yalnızca bazı modüllerin değiştirilmesinin yeterli olduğu bir üretim yaklaşımıdır. Modülerlik, ürün mimarisini fiziksel olarak bağımsız birimlere bölmeyi amaçlar. Modüler bir ürün mimarisi ile çevresel hedeflere daha kolay ulaşılabilir. Modülerlik, ürünün montajı ve demontajını kolaylaştırır, ürün çeşitliliğini artırır, ölçek ekonomisi sağlar ve üretim süresini azaltır (Yazgan, 2022).

### **3.3.12. Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR)**

Üreticilerin ürünlerin ve ambalajların tüm yaşam döngüsü için sorumluluğunu aldığı bir yaklaşımdır. Diğer bir ifadeyle, bir ürünle ilişkili tüm çevresel maliyetleri o ürünün piyasa fiyatına ekleme stratejisidir. Genişletilmiş üretici sorumluluğu, yeniden üretim girişimlerinin benimsenmesinin arkasındaki itici güçtür. Çünkü tüketici ürünlerinin kullanım sonu işleme

odaklanır ve öncelikli amacı, ürün geri kazanımının miktarını ve derecesini artırmak ve atık malzemelerin çevresel etkilerini en aza indirmektir (Yazgan, 2022).

### **3.3.13. Tersine Lojistik**

Perakende zincirlerinin, kırılan ve satılamayan tüm malların onarımı, yeniden kullanımı veya geri dönüşümü için merkezi konumlara geri gönderilmesi için dağıtım sistemlerini tersine kullandıkları yöntemdir. Tersine lojistik, üreticiler ürün arızaları hakkında geri bildirim aldıkça yeniden tasarımı daha etkin çözümler bulabilmektedirler (Yazgan, 2022).

### **3.3.14. Ürün Yerine Hizmet Satışı**

Çoğu fotokopi makinesi, bazı bilgisayarlar ve elektrikli ev eşyaları satılmak yerine müşterilere kiralanmaktadır. Sonuç olarak, üreticinin daha kaliteli, daha uzun ömürlü ürünler üretme konusunda bir çıkarı söz konusu olmaktadır. Böylece kullanıcılar daha az malzeme kullanmaktadırlar (Yazgan, 2022).

### **3.3.15. Sadelik Hareketi**

Daha yüksek yaşam kalitesi karşılığında materyalizmin etkisini azaltmayı amaçlayan ve hızla büyüyen bir harekettir. ABD’de kariyer odaklı yaşam tarzlarından ziyade, aile hobileri ve kişisel gelişim için daha fazla zaman harcayarak daha basit yaşamak için ipuçları veren 40’tan fazla dergi bulunmaktadır (Yazgan, 2022).

## **3.4. Avrupa Birliği Ülkelerinde Atık Yönetimi ve Sıfır Atık Uygulamaları**

Avrupa Birliği, atığı kaynağa dönüştürme ve sürdürülebilir atık yönetimlerini teşvik etme konusunda önemli ilerleme kaydetse de üye ülkeler arasında önemli farklılıklar da bulunmaktadır. Örneğin 2014 yılında bazı üye ülkeler belediye atıklarının depolanmasına son verirken, bazı üye ülkelerde belediye atıklarının % 90’ından fazlası depolanmaktadır (European Commission, COM (2014)398).

Avrupa Birliği ülkeleri içinde çevre koruma ve sürdürülebilirlik açısından İsveç, sıfır atık hedefine ulaşma yakınlığıyla Avrupa Birliği’nin örnek ülkelerinden biridir. Bu noktada İsveç’in yıllar öncesinden gelen çevreye yönelik sürdürülebilir yaşam tarzının büyük bir rolü bulunmaktadır. İsveç, 1984 yılından beri metal kutuları depozito karşılığında iade etme sistemini uygulamaktadır. Benzer bir uygulamayı plastik şişeler için 1994 yılından beri uygulamaktadır. İsveç’in Eskilstuna şehrinde kullanılmış ürünler için dünyanın ilk alışveriş merkezi bulunmaktadır. Böylece

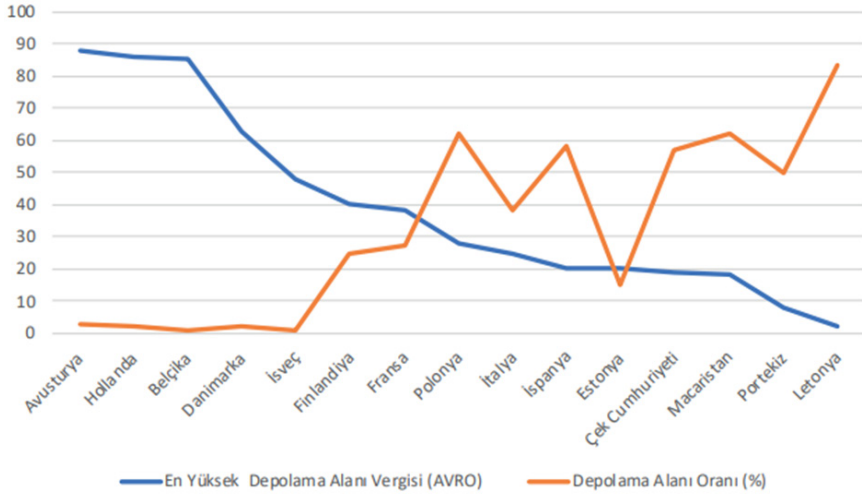
ürünler burada satılarak döngüsel ekonomiye katkı sağlamaktadır. 2017 yılında İsveç hükümeti, vatandaşların kullanılmış ürünlerin ömrünü uzatmak amacıyla vergi sisteminde reform gerçekleştirmiştir. Ayrıca İsveç yerel olarak ürettiği atıkların yaklaşık % 99'unu geri dönüştürmektedir. Geri dönüştürülen evsel atık oranı 1975 yılında % 38 iken 2019 yılında % 99 olmuştur (ESG, 2023).

Fransa, Avrupa'nın en fazla atık üreten ülkeleri arasında yer almaktadır. İspanya, İtalya atıklarının yaklaşık % 40'ını geri dönüştürürken, Fransa ise atıkların yaklaşık dörtte birini geri dönüştürmektedir. Ancak buna rağmen Fransa, geri dönüştürülmüş atıklarının oranını 2040 yılına kadar % 100'e yükseltmeyi ve tek kullanımlık plastiklerin yasaklanmasını planlamaktadır. Ancak Fransa'nın bu hedefleri belirlenen sürede yerine getirip getiremeyeceği de tartışma konusudur (Euronews, 04.06.2021).

Slovenya'daki Bled ve Gorje belediyeleri, Avrupa Birliği'nde sıfır atık taahhüdünde bulunan 462 yerel yönetim arasında sıfır atık sertifikası alan ilk belediyeler olmuştur. Sıfır atık sertifikası ise Sıfır Atık Avrupa'nın Avrupa şehirlerinde sıfır atığa geçişi hızlandırmak için başlatmış olduğu bir girişimin çıktısıdır (Balkan Green Energy News, 13.04.2022).

Sıfır atık depolama, atık depolama alanlarından kaynak geri kazanımı ve sera gazı emisyonları konusunda artan farkındalık nedeniyle önem kazanmıştır. Örneğin Stockholm, şehir atıklarının düzenli depolama alanlarından % 100 oranda elden çıkarılmasının üzerinde çalışmalar yapmaktadır (Zaman, Lehmann, 2022). Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat)'nin 2010 yılı verilerine göre Almanya ve Hollanda, katı atık sahasını sıfırlamış ve böylece Avrupa Birliği üyeleri arasında sıfır depolama hedefini gerçekleştiren ilk ülkelerden olmuştur. Avusturya, Belçika ve İsveç ise; sıfır depolama alanlarına ulaşmak üzeredir. Ancak öte yandan Bulgaristan, Romanya, Litvanya ve Letonya gibi ülkelerde katı atık sahası oranı % 90'dan fazladır. Geri dönüşüm oranları açısından % 70 ile Avusturya ilk sırayı alırken % 0 ile Bulgaristan son sırada yer almaktadır (CEWEP, 12.04.2012). 2017 yılının verilerine göre atıktan enerji elde etme konusunda en başarılı Avrupa Birliği üyesi ülke % 57 oran ile Finlandiya olmuştur. Finlandiya'yı % 53 ile İsveç takip etmektedir. Hırvatistan, Letonya gibi ülkelerde ise bu oran % 1'den azdır. Avrupa Birliği'nin genel ortalaması ise % 28 civarındadır (CEWEP, 2018). Avrupa Birliği ülkeleri arasında atık yönetimi açısından homojen bir dağılım bulunmamaktadır (Şekil 2).





Şekil 2. Avrupa Birliği Üye Ülkelerinin Depolama Alanı Vergisi (Avro) ve Depolama Atık Oranı (%) (OECD Library).

Avrupa Birliği üye ülkeleri arasında atık depolama vergisi ve depolama alanına giden atık miktarları farklılık göstermektedir. Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü (The Organisation for Economic Co-operation and Development-OECD)nün dünyadaki belli başlı ülkelerin atık depolama vergisini ve depolama alanına giden atık miktarlarının 2013 yılına ait çalışması bulunmaktadır. Grafik 1’de Avrupa Birliği üye ülkelerinin verilerine yer verilmiştir. Grafığe göre Avusturya, Hollanda ve Belçika ülkelerinde depolama alanı vergisinin yüksek miktarlarda olmasına karşın depolama alanına giden atıkların yüzdesi düşük miktarlardadır. Öte yandan Letonya’da depolama alanı vergisi son derece düşükken, depolama alanına giden atıkların yüzdesi bir hayli yüksektir. Bu durumda vergi miktarının yüksek olması, depolama alanına giden atık miktarı için caydırıcı bir unsur olabilmektedir.

Avrupa Birliği ülkeleri arasında 2021 yılında da ton cinsinden depolama alanı vergisi Avusturya, Yunanistan, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Macaristan, İtalya, Litvanya, Lüksemburg, Letonya, İrlanda, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, İsveç, Slovenya ve Slovakya ülkelerinde yer almaktadır. Almanya, Güney Kıbrıs, Hırvatistan ve Malta’da depolama vergisi bulunmamaktadır. Öte yandan Avusturya, Belçika, Almanya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Macaristan, Hırvatistan, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Polonya, İsveç, Slovenya ve Slovakya depolama alanı kısıtlamalarını uygulamaktadır. Bulgaristan, Güney Kıbrıs, Çekya, Yunanistan, İspanya, İtalya, İrlanda, Letonya, Romanya, Malta ve Portekiz ülkelerinin ek kısıtlamaları bulun-

mamaktadır (CEWEP, 2021). Sonuç olarak, Avrupa Birliği üye ülkelerinin atık konusunda farklı yaklaşımları olduğunu söylemek mümkündür.

#### 4. TÜRKİYE’DE SIFIR ATIK

Atık oluşumunu en aza indirmeyi ve ayrıca oluşan atığı kaynağında ayırıp geri dönüşümünü sağlamayı amaçlayan Sıfır Atık Projesi Türkiye’de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın 26 Eylül 2017 tarihindeki tanıtım toplantısında ilk kez gündeme gelmiştir. Sıfır Atık Projesi Kamu kurum ve kuruluşları başta olmak üzere havaalanları, okullar, üniversiteler ve hastanelerde uygulamaya konulmuş, rehber kılavuzların hazırlanması ve bu konuda farkındalık oluşturulması hedeflenmiştir. Proje özendirilip yaygınlaştıkça konutlar da dahil olmak üzere Türkiye’de uygulanması için yola çıkmıştır (Sıfır Atık Projesi Faaliyet Raporu, 2018). Eğitim ve farkındalık çalışmalarına da ayrıca önem verilmiş, bu kapsamda uluslararası sıfır atık zirveleri, ulusal, bölgesel ve yerel bazda zirve ve konferansların yanında her yaş kategorisi ve paydaş bazında etkinlikler ile sistemin tanıtımı yapılmıştır (Birpınar ve Gürtepe, 2022).

Bu proje kapsamında, ilk etapta “Sıfır Atık El Kitapçığı” yayınlanmıştır. Bu kitapçıkta, sıfır atığın odağını “israfın önlenmesi, atığın azaltılması ve atıkların geri dönüştürülmesi” oluşturmaktadır. Ayrıca adı geçen kitapçıkta, sıfır atık projesinin hedeflerinden, elde edilebilecek kazançlardan, bir kurumda hangi aşamalar üzerinden uygulanabileceğine yer verilmektedir. Yine kitapçıkta, uygulayıcılar tarafından hazırlanacak Sıfır Atık Yönetimi Eylem Planı kapsamında 2018 yılı itibarıyla öncelikle kamu kurumları ve yoğun kullanımı olan diğer örgütlerde, 2023 yılında ise ülke genelinde hayata geçirileceği hedeflerine yer verilmektedir. Öncesinde bir proje olarak başlayan sıfır atık çalışmaları, 2019 yılında çıkarılan Sıfır Atık Yönetmeliği (SAY) ile resmi bir nitelik kazanmıştır. Yönetmelik incelendiğinde, ambalaj atıklarının ortaya çıktığı farklı mekânlar dikkate alınarak kaynağında ayrıştırma odaklı geri dönüşüme yoğunlaşıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca sıfır atık sisteminin basamakları, sıfır atık sistemine geçiş takvimi gibi hususlara yer verilmiştir. Geliştirilen bilgi sistemi ile de sıfır atık sistemine geçen kurum/kuruluşlar kayıt altına alınmış ve ayrı toplanarak kendi döngüsü içerisinde tekrar değer zincirine dâhil edilmek üzere ilgili alanda geri kazanım faaliyetini icra eden tesislere verilen atıklar tür ve miktar bakımından izlenmesi sağlanmıştır. Sistem esas itibarı ile tüm atık üreticilerini kapsamaktadır. Sıfır atık sistemlerini kuran sisteme geçişi teyit edenlerin sıfır atık belgeleri düzenlenmektedir. Mevzuatla tanımlanan sistemi kuran; restoran, kafe, otel, okul, kamu binası, işyerleri, hatta belediyelere dahi sıfır atık belgesi verilmektedir. Ayrıca sisteme geçişi teşvik etmek üzere atık üreticilerine kendi faaliyetleri sonucu oluşan atıkları satış vb gibi değerlendirme imkânı sunulmuştur (Birpınar ve Gürtepe, 2022).

SAY'ın yayınlanmasında sonra Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği (AAKY) de güncellenmiş, sıfır atık yönetimi yaklaşımına ve depozito sistemine entegrasyon sağlanmaya çalışılmıştır. Bu yönetmelik (AAKY) incelendiğinde, ambalaj atıklarının önlenmesi, yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve geri kazanımı aşamalarının etkinliğini artırarak sıfır atık politikasına katkı sağlama amacı güdüldüğü anlaşılmaktadır. Bu kapsamda farklı tarafların sorumluluklarına, görev ve yetkilerine, yükümlülüklerine ve hedeflerine yer verilmektedir. Diğer taraftan yer verilen düzenlemelerle birlikte sıfır atık politikası On Birinci Kalkınma Planı'na dahil edilmiştir. Ayrıca 2021 yılında "Atık Getirme Merkezlerinin Kurulması ve İşletilmesi ile Sıfır Atık Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar" yayınlanmıştır (<https://sifiratik.gov.tr/kutuphane/kilometre-taslari>).

Sıfır Atık Projesi kapsamında belirlenen hedeflere ulaşmak için, çevrenin korunması ve çevre kirliliğinin önlenmesine yönelik düzenlemeler yapılarak 2872 sayılı Çevre Kanunu revize edilmiştir. Bu düzenlemeler doğrultusunda;

2019 yılında başlatılan "Plastik Poşetlerin Ücretlendirilmesi" uygulamasıyla 2019, 2020 ve 2021 yıllarında plastik poşet kullanımında yaklaşık %65 oranında azalma gözlemlenmiştir. Bu azalma sayesinde plastik poşet kaynaklı 550.000 ton plastik atığın oluşumu engellenmiş ve ülkemizde plastik poşet üretimi için gerekli plastik hammadde ithali önlenmiştir. Bu durum yaklaşık 3,8 milyar Türk Lirası tasarruf sağlamış ve 22.746 ton sera gazı salımının engellenmesine katkı sağlamıştır. Ayrıca, bu uygulama ile vatandaşlar arasında konuya ilişkin bilgi ve farkındalık düzeyi artmış, ciddi bir davranış değişikliği gerçekleşmiş ve çok kullanımlık taşıma ekipmanlarının (bez çanta, file vb.) kullanımı yaygınlaşmıştır.

- Ambalaj atıkları ile diğer özel atıkların kaynağında ayrı toplanması, taşınması, geri kazanımı, geri dönüşümü ve bertaraf edilmeleri ve bunlara yönelik gerekli harcamaların karşılanması ve atık oluşumunun azaltılmasının yanı sıra oluşan atıkların da yönetimi alt yapısının geliştirilmesine finansman sağlanması amacını taşıyan "kirleten öder" prensibi ve "genişletilmiş üretici sorumluluğu" ilkelerinin bir yansıması olan Geri Kazanım Katılım Payı uygulamasına 1/1/2020 tarihinden beri uygulanmaktadır.
- 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda yapılan değişikliklerle atıkların veya atıklardan elde edilen geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı zorunlu hale getirilmiştir.
- 29.11.2018 tarihli ve 7153 sayılı Kanun ile 2872 sayılı Çevre Kanunu'na eklenen Ek 12'nci Madde ile 1/1/2022'de Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca belirlenecek olan ambalaj-

lar için zorunlu depozito uygulamasının başlaması hüküm altına alınmıştır.

İl düzeyinde mahalli idareler ile bina ve yerleşkeler tarafından uygulanacak sıfır atık yönetim sisteminin gerek yerel gerekse de ulusal ölçekte stratejik bir bütünlük içinde sürdürülebilirliğini ve verimliliğini sağlamak için bir çerçeve oluşturması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, 81 İl nezdinde İl Sıfır Atık Yönetim Planı hazırlanmıştır (Karabulut, 2022)

Önemli düzenlemelerden biri Türkiye Çevre Ajansı'nın kurulmasıdır. 2020 yılında çıkarılan bir Kanun ile düzenlenen Ajansın temel görevi, depozito sisteminin etkin işlemlerini sağlayarak geri dönüşüm sistemine katkı sağlamak olarak anlaşılmaktadır. Diğer taraftan Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı bünyesinde bulunan Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü altında Sıfır Atık Uygulama Dairesi Başkanlığı kurulmuştur. Ayrıca yerel yönetimler bağlamında da yeni düzenlemeye gidilmiştir. Bu noktada 2020 yılında Belediye ve Bağlı Kuruluşları ile Mahalli İdare Birlikleri Norm Kadro İlke ve Standartlarına Dair Yönetmelik'te yapılan düzenlemeyle büyükşehir belediyelerinde sıfır atık dairesi başkanlığı, il ve ilçe belediyelerinde ise sıfır atık şube müdürlüğünün oluşturulmasına imkân tanınmıştır. (Memiş, 2023)

Diğer taraftan sıfır atık politikasının uygulamada karşılık bulması için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından farklı sektörlerde yer alan atık üreticilerini kapsayacak şekilde uygulama kılavuzları yayınlanmıştır.

#### **4.1. Türkiye'de Sıfır Atık Uygulamaları**

Sıfır atık uygulaması bir proje olarak ilk kez Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nda uygulanmaya başlanmıştır. Ardından Cumhurbaşkanlığı Külliyesi ve takip eden süreçte de Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde uygulamaya geçilmiştir (Birpınar ve Gürtepe, 2022).

İlk olarak Cumhurbaşkanlığı, TBMM ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nda başlayan dönüşüm sürecinde temel amaç ofislerde, yemekhanelerde ve diğer alanlarda oluşan her türlü atığı (organik, yemek artıkları, plastik, kâğıt, metal, cam, piller, bitkisel atık yağlar, madeni yağlar, elektrikli ve elektronik atıklar vb) kendi kategorisi içerisinde değerlendirmek üzere ayrı toplamak, bu noktada geçici bir toplama alanı oluşturmak ve alanında yetki almış lisanslı firmalara teslim ederek tekrar ekonomiye kazandırılmasını sağlamak olmuştur (Birpınar ve Gürtepe, 2022). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından sıfır atık yönetim sisteminde kullanılan renk skalası mevcuttur.

Ortak koridor alanlarına ve yemekhane gibi ortak kullanımlara ilgili sayıda ve türde atıklara hizmet sunmak üzere ayırma ünitelerini yerleştirilmiş, personelin sisteme dahli için ofislerde bulunan çöp kovaları kaldırılmış, gelişmelerin izlenmesi için de her bir katta atık sorumlusu tayin edilerek günlük bazda oluşan atık türü ve miktarının çizelge altına alınması sağlanmıştır (Birpınar ve Gürtepe, 2022).

Diğer taraftan, tek kullanımlık ambalajlı su tüketiminden ziyade yemekhane bölümlerine sebiller yerleştirilmiş, personele çok kullanımlık mataralar dağıtılarak yeni alışkanlık edinimi hızlandırılmıştır (Birpınar ve Gürtepe, 2022).

Kuru bazda bulunan ve türlerine göre ayrılan atıklar geçici depolama sahasında biriktirilmelerine müteakip ilgili alanda faaliyet gösteren lisanslı geri kazanım firmalarına teslim edilirken yaş olarak tabir edilen sebze-meyve gibi mutfak atıkları ile bahçe atıkları gibi yeşil atıkları ve oluşan yemek atıkları için de farklı yönetim metotları geliştirilmiştir. Bu kapsamda park-bahçe atıkları ile sebze-meyve atıklarının toprak iyileştirici malzeme olan kompost yapımında değerlendirilmesi sağlanmış, yemek artıklarının da işlenerek hayvan dostlarımıza sunulması için hayvan bakım merkezlerine teslimi gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde, külliyelerde oluşan organik atıkların işlenmesi için kompost cihazları temin edilmiş, üretilen kompost malzemesinin bir kısmı yine külliye yeşil alanlarında kullanılırken bir kısmı da ziyaretçilere hediye edilmiştir (Birpınar ve Gürtepe, 2022).

Ayrıca ulusal ve uluslararası boyutta düzenlenen sıfır atık zirveleri ile hareketin bilinirliği, önemi, iyi uygulamaların tanıtımı ve ödüllendirilmesine yönelik büyük çaplı organizasyon gerçekleştirilmiştir (Birpınar ve Gürtepe, 2022).

Sıfır atık projesi Türkiye genelinde bütün kesimler tarafından benimsenmiş ve uygulamalar başlatılmıştır. Uygulamaların başladığı Haziran 2017 tarihinden 2021 yılına kadar geçen süreçte, Cumhurbaşkanlığı Külliyesi, Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM) ve 81 ildeki Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri başta olmak üzere Türkiye genelinde 130.000'den fazla kurum ve kuruluş binasında sıfır atık yönetim sistemi uygulanmasına başlanmıştır. (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2021).

#### **4.2. Sıfır Atık Hedefleri**

Ülkemizin atık yönetim stratejisinin belirlenmesi amacıyla, doğal kaynaklarımızın ve ekosistemlerin korunması ve geliştirilmesi ile mevcut ve gelecek nesiller için sağlıklı ve yaşanabilir bir çevre oluşturulması hedeflenmektedir. Bu amaçla, sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde uluslararası normlar ve ulusal öncelikler dikkate alınarak, atık yönetimi konusunda

strateji ve mevzuat geliştirme faaliyetleri yürütülmektedir. Bu çerçevede, atıkların kaynağında en aza indirilmesi, sınıflandırılması, toplanması, taşınması, geçici depolanması, geri kazanılması, bertaraf edilmesi, yeniden kullanılması, artırılması, enerjiye dönüştürülmesi ve nihai depolanması gibi konularda politika ve strateji belirleme sorumluluğu çerçevesinde 2016-2023 yıllarını kapsayan Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı hazırlanmıştır.

Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı, 2023 yılına kadar yapılması planlanan atık yönetim faaliyetlerine odaklanmakta ve tüm atık türleri için bölgesel olarak geri kazanım, ön işlem, ara depolama ve bertaraf yöntemleri ile ihtiyaç duyulan tesis kapasitesi ve yatırımlarını belirlemektedir (Karabulut, 2022). Bu plan çerçevesinde atık yönetimi alanında yapılması gereken adımlar ve hedefler belirlenmekte ve uygulanması için çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu şekilde atık yönetimi alanında sürdürülebilir ve etkili bir strateji izlenerek, çevrenin korunması ve atıkların yönetimi konusunda önemli adımlar atılmaktadır.

Söz konusu planın sıfır atık yönetim sistemi projesi uyumlu hale getirilmesi, kaynaktan ayrı toplama veriminin artırılması ve yaygınlaştırılması, atıkların geri kazanım oranlarının artırılması, bölgesel bazda geri kazanım ve bertaraf yöntemlerinin belirlenmesi ve ilgili tesis kapasitelerinin ortaya konması ve 2023-2035 yılları için sürdürülebilir atık yönetim planlaması yapılması amacıyla Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı (2016-2023)'nin revize edilerek 2023-2035 yıllarını kapsayacak şekilde Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı hazırlık çalışmaları İstanbul Teknik Üniversitesi koordinasyonunda sürdürülmektedir (Karabulut, 2022).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nca hazırlanan Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı (UAYP)-(2016-2023) çalışmaları kapsamında, 2017 yılında atık toplama ve taşıma hizmeti verilen belediyelerde toplanan atığın yaklaşık % 60'ının düzenli depolama sahalarında bertaraf edildiği, % 13'ünün ise geri kazanıldığı görülmüştür (Karabulut, 2022).

## 5. SONUÇLAR

Dünya üzerindeki uygulamalarda genel olarak atığı kaynağında ayrı toplamak için; kapıdan kapıya toplama sistemi, atığın kadar öde ve çeşitli depozito sistemleri uygulandığı görülmektedir. Ayrıca toplanan atıkların; geri dönüşüm, kompost, yakma, depolama gibi yöntemlerde değerlendirildiği/bertaraf edildiği sonuçlarına ulaşılmaktadır.

Özellikle kapıdan kapıya toplama ile birlikte «Atığın kadar öde» sisteminin verimli şekilde çalıştığı, hane başına toplanan ücretin, hane sakinlerini daha az atık üretmeye ve kaynaktan ayrıştırmaya teşvik ettiği görülmektedir. Böylece üretilen kişi başı atık miktarının azaldığı, toplanan atıkların

daha temiz olduğu, geri kazanım oranlarının yükseldiği ve depolama alanlarına olan ihtiyacın azaldığı söylenebilir. Ayrıca bu sistemdeki önemli hususlardan birisi ücretin insanları düzensiz depolamaya itecek kadar da yüksek olmamasıdır.

Bazı ülkelerde uygulanan depozito-geri ödeme sistemleri genel olarak; yeniden kullanılabilir, geri kazanılabilir ya da özel yöntemlerle bertaraf gerektiğinden ayrı toplanması gereken ürün ve maddeler için uygulanmaktadır. Bu sistemler de ürün geri kazanımı ve geri dönüşüm oranlarını arttırmaktadır. Bu sistemde iade ücreti için uygulama noktalarının sayısı artırıldığında sisteminde veriminin arttığı gözlemlenmiştir.

Türkiye’de atıklarla ilgili gerçekleştirilen düzenlemelerde, farklı atık türlerine (ambalaj atıkları, bitkisel yağlar, piller, elektronik cihazlar, araç lastikleri, madeni yağ, tıbbi atıklar gibi) yönelik veya oluşan atıkların çevreye zararını azaltmaya yönelik yeni adımlar atıldığı görülmektedir. Atılan adımlardan birini de sıfır atık politikası oluşturmaktadır. Öncesinde bir projeye başlayan çalışma sonrasında resmi bir politikaya dönüşmüştür. Bu noktada bir yönetmelik yayınlanmış, ilişkili yönetmelikler güncellenmiş, yeni örgütlenmelere giderek atık yönetiminin iyileştirilmesine yönelik çabalar gösterilmiştir. Sıfır atık politikası, proje aşamasından itibaren tüketiciler üzerinden ortaya çıkan atığın yönetilmesinde farkındalık oluşturmuş ve kazanımlar ortaya çıkarmaya başlamıştır.

Türkiye’de de genel olarak toplanan atıkların; depolama, geri dönüşüm, kompost ve yakma gibi yöntemlerde değerlendirildiği/bertaraf edildiği sonuçlarına ulaşılmaktadır.

Sıfır atık sistemi ile birlikte;

- Plastik poşetlerin ücretlendirilmesi, (Plastik poşet kullanımı yaklaşık yüzde 65 azalmıştır.)
- Geri kazanım katılım payı uygulaması,
- Depozito-iade sistemine yönelik düzenlemeler yapılmıştır. (2023’ün sonuna kadar 2 bin depozito iade makinesi, 5 bin manuel toplama noktasıyla birlikte toplam 7 bin depozito iade noktası hizmete geçecektir.)

Türkiye’de ki uygulamalarda haneler dışında kalan atık üreticileri, 2872 sayılı Çevre Kanunu ve bağlı yönetmelikler ile belirlenen mevzuata uyum sağlamak ve takibi yıllık veriler ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yürütülmektedir.

Aynı zamanda haneler dışında kalan atık üreticileri ürettikleri atıklar için toplama ve bertaraf yükümlülüklerini kendileri sağlamak ve «Kirleten Öder» politikası uygulanmaktadır. Atık üreticileri, yasal mevzuata

uymadığında yüksek tutarlarda idari yaptırıma uğramakla bununla birlikte faaliyetten men, hukuki yargılama vb. yaptırımlar uygulanmaktadır.

Türkiye’de ki uygulamalarda özellikle hanelerden kaynaklanan atığı kaynağında ayrı toplamak için net bir politika olmadığı görülmektedir. Ancak bazı yerel idarelerin kendi sınırları içerisinde uyguladığı yöntemler/projeler bulunmaktadır.

Dünya’da uygulanan yöntemlere benzeyen örnek uygulamalarda hanelerden toplanan atıklar için genellikle ödüllendirme sistemi kullanılmakta olup, incelenen uygulamaların genel politikaya oranla başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

Türkiye’deki sıfır atık yönetiminde özellikle hanelerden atıkların ayrı toplanması (kaynakta ayırma) için uygun sistemlerin oluşturulması elzemdir. Hanelerde çıkan atıkların kontrol altına alınmaması, düzenli depolama sahalarının aktif şekilde kullanılmasına ve depolama alanlarının dolmasına sebebiyet vermektedir.

Ayrıca, her ne kadar eski depolama (vahşi depolama) yöntemlerinden vazgeçilmiş olsa da, düzenli depolama tesisleri sıfır atık sistemi için yetersizdir. Sıfır atık sistemini daha etkin hale getirmek için düzenli depolama tesislerinin entegre tesisler olarak planlanması, tesise gelen atık miktarını azaltmaya da geri dönüşüm oranına yüksek katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Genel çerçevesi çizildiği gibi Türkiye’de sıfır atık politikası uygulamaya çalışılmaktadır. Ancak aksayan bazı noktalara da çözüm bulunması gerekmektedir. Bunlardan bazıları; Belediyelerin atık yönetimini kapsayacak şekilde kapasite geliştirmemesi, farklı aktörler arasında iş birliği ve katılım eksikliği, sıfır atık politikasının ambalaj atıklarına odaklanması ve geri dönüşümle sınırlandırılması, geri dönüşüm sisteminin ve özelde depozito sisteminin işlememesi, gerçekleştirilen geri dönüşümün uygun şartlarda gerçekleşmemesi ve başka sorunlara yol açması, geri dönüşüm mekanizmasının finansmanının etkinsizliği, sıfır atıkta uygulama detaylarının iyi anlatılmaması ve bu nedenle meselenin toplum tarafından sahiplenilmemesi, ödül sisteminin göz ardı edilmesi, denetim/izleme mekanizmasının etkin şekilde işletilmemesi, etkin bir veri yönetiminin gerçekleştirilmemesi, geri dönüşüm sistemin kent odaklı kurulmaya çalışılması, kırsalın ihmal edilmesidir.



## KAYNAKLAR

- Bilgili, Y. (2021). “Sıfır Atık Yaklaşımının Kökenleri ve Günümüzdeki Anlamı”, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 20(40), ss. 683-703.
- Birpınar, M. E. ve Gürtepe E. (2022). “Sıfır Atığa Giden Yol : Türkiye Örneği”, Sıfır Atık Kitabı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.
- Bohne, R. A., Brattebø, H., & Bergsdal, H. (2008). Dynamic Eco-Efficiency Projections for Construction and Demolition Waste Recycling Strategies at the City Level. *Journal of Industrial Ecology*, 12(1), 52-68.
- Break Free for Plastic. (2020). Midway assessment of EU countries transposition of single-use plastics Directive.
- Carrico, M. ve Kim, V. (2014). Expanding zero-waste design practices: A discussion paper. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 7(1), 58-64.
- CEWEP. (2012). Waste-to-Energy in Europe.
- CEWEP. (2018). Municipal Waste Treatment in 2018.
- CEWEP. (2021). Landfill-taxes-and-restrictions-overview.
- Connett, P. & Sheehan, B. (2001). A citizens agenda for zero waste: A United States/Canadian perspective. GrassRoots Recycling Network,
- Connett, P. (2013). The zero waste solution: Untrashing the planet one community at a time. Vermont:Chelsea Green Publishing.
- Curran, T. ve Williams, I. D. (2012). A zero waste vision for industrial networks in Europe. *Journal of Hazardous Materials*, 207-208, 3-7.
- Çalışkan, S. (2023). “Atık Sorununa Yenilikçi Ve Yerel Çözümler: Avrupa'nın Öncü Sıfır Atık Belediyelerinin Uygulamaları”, Türkiye’de Sıfır Atık: Tespitler, Beklentiler Ve Fırsatlar Ulusal Kongresi, İstanbul.
- Çeken, G., Yiğitbaşoğlu, H. (2018). “Sanayi Devrimi Öncesi Çöp ve Atık Yönetimi”, Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 6 (1), ss. 46-49.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2010). İklim Değişikliği Eylem Planı (2011-2023).
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2014). Düzenli depolama tesisleri saha yönetimi ve işletme kılavuzu.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). “Ulusal Atık Yönetimi Eylem Planı 2016-2023”. Ankara.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021). “Sıfır Atık Sistemi Nasıl Kurulur?”
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021). Çevresel Göstergeler. Ankara. Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). Çevresel Göstergeler. Ankara. Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü.

- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). “Sıfır Atık Kitabı”. Ankara.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). Sıfır Atık İyi Uygulamaları. Ankara. Sıfır Atık Uygulamaları Dairesi Başkanlığı.
- Demirkaya, H. (2002). Toplam kalite yönetimi felsefesinin siyasette uygulanabilirliği. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7(2), 169-187.
- Edgerly, J. & Borrelli, D. (2007). Moving toward zero from waste management to resource recovery. Montpelier: Toxic Action Center.
- ESG. (2023). Examples of Europe: Sweden’s Zero Waste Target.
- Euronews. (2021). Sıfır Plastik Atık Mücadelesinde Fransa Örneği: Hedefler Gerçekçi Mi?.
- European Commission. (2014). Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. COM(2014) 398 final, Brussels.
- Ferrel, J. (2002). George Washington Carver and Henry Ford: Pioneers of zero waste.
- Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z. & Hillier, G. (2015). Analysis of waste hierarchy in the European Waste Directive 2008/98/EC. Waste Management, 39, 305-313.
- Graedel, T., & Allenby, B. (2010). Industrial Ecology and Sustainable Engineering (p. 352). Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Kahraman, C. & Sarı, İ. U. (2017). Introduction to Intelligence Techniques in Environmental Management. In Kahraman C., & Sari İ. (Eds), Intelligence Systems in Environmental Management: Theory and Applications (pp. 1-18). Cham: Springer.
- Karabulut, S. B. (2022). “Türkiye Ve Sıfır Atık Projesi Uygulamaları: 2053 Hedefi”, Sıfır Atık Kitabı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.
- Kizuna (2021). A Small Town Asks Why? Toward a Zero-Waste World.
- Lindhqvist, T. (2000). Extended producer responsibility in cleaner production: policy principle to promote environmental improvements of product systems. Lund University.
- Mauch, C. (2016). Introduction: The call for zero waste. Mauch, C. (Eds), A Future Without Waste? Zero Waste in Theory and Practice (pp. 5-12). Munich: Rachel Carson Center Perspectives.
- McDonough, W. & Braungart, M. (2002). Cradle to cradle: Remaking the way we make things. New York: North Point Press.
- Memiş, L. (2023). “Türkiye’de Sıfır Atık Politikasının Aşılması Gereken Eşikleri”, Türkiye’de Sıfır Atık: Tespitler, Beklentiler Ve Fırsatlar Ulusal Kongresi, İstanbul.

- Mishra, K., Banerjee, A., Ranga, M. M., Jhariya, M. K., Yadav, D. K. & Raj, A. (2020). Solid waste management scenario in Ambikapur, Surguja, Chhattisgarh: A sustainable approach. In Raj, A., Jhariya, M. K., Yadav, D. K. & Banerjee, A. (Eds.), *Climate Change and Agroforestry Systems; Adoption and Mitigation Strategies* (pp. 297-336). Ontario-Florida: Apple Academic Press.
- Mission Zero Academy (2021). *The Zero Waste Cities Certification*.
- Murray, R. (2002). *Zero waste*. London: Greenpeace Environmental Trust.
- Nizar, M., Munir, E., Munavar, E., Irvan, M. (2018). "Implementation of zero waste concept in waste management of Banda Aceh City", *Journal of Physics: Conference Series*, 1116(5).
- OECD. (2001). *Extended producer responsibility a guidance manual for governments*. Paris: OECD Publications Service.
- Perchard, Edward (2016). *Welsh Collections Blueprint Still Presents Best Option*.
- Pietzsch, N., Ribeiro, J. L. D. ve Medeiros, J. F. (2017). Benefits, challenges and critical factors of success for Zero Waste: A systematic literature review. *Waste Management*, 67, 324-353.
- Plastic Action Centre (2021). *Story 5: Small Community of Bitetto in Southern Italy: a Best Practice for Zero Waste Europe Cities Initiative*.
- Pongrácz, E. ve Pohjola, V. J. (2004). Re-defining waste, the concept of ownership and the role of waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 40, 141-153.
- Rushton, L. (2003). Health hazards and waste management. *British Medical Bulletin*, 68, 183-197.
- Sıfır Atık Projesi 2017 Faaliyet Raporu. (2018). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Sıfır Atık Kütüphanesi. (2023). *Sıfır Atık ile Geri Kazanım Oranı*, Ankara.
- Simon, J. M. (2019). *A zero waste hierarchy for Europe new tools for new times: From waste management to resource management*.
- Snow, W. & Dickinson, J. (2003). *Getting there! The road to zero waste*. Auckland: Envision New Zealand Ltd.
- Tchobanoglous, G., Kreith, F. & Williams, M. E. (2002). Introduction, waste generation and management in a technological society. In Tchobanoglous, G & Kreith, F (Eds.), *Handbook of Solid Waste Management* (pp. 1.1-1.27). Second Edition, McGraw-Hill Handbooks.
- Tennant-Wood, R. (2003). Going for zero: A comparative critical analysis of zero waste events in Southern New South Wales. *Australasian Journal of Environmental Management*, 10(1), 46-55.
- Uz Zaman, A. & Lehmann, S. (2011). Challenges and opportunities in transforming a city into a zero waste city. *Challenges*, 2, 73-93.

- Uz Zaman, A. (2014). Identification of key assessment indicators of the zero waste management systems. *Ecological Indicators*.
- Uz Zaman, A. (2015). A comprehensive review of the development of zero waste management: Lessons learned and guidelines. *Journal of Cleaner Production*, 91, 12-25.
- Ünal, E., Duygulu, F., & Bolat, E. Z. (1998). İmar terimleri. Ankara: Yorum Matbaası.
- Warner, C., Phillips, P., Santos, A. & Pimenta, B. (2015). Evaluation of zero waste places projects 2009–2010 in England. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management*, 168(1), 14-25.
- Yazgan, M. S. (2022). “Dünyada ve Türkiye’de Atık Potansiyeli ve Sıfır Atık Trendi”, *Sıfır Atık Kitabı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı*, Ankara.
- Zaman, U.A., Lehmann, S. (2011). Challenges and Opportunities in Transforming a City into a “Zero Waste City”. *Challenges*, Vol: 2, 73-93.
- Zaman, U.S., Lehmann, S. (2013). The Zero Waste Index: A Performance Measurement Tool for Waste Management Systems in a ‘Zero Waste City’. *Journal of Cleaner Production*, No: 50, 123-132.
- Zero Waste Europe. (2013). *Introducing Zero Waste Europe-the main principles*.
- Zero Waste Europe. (2020). *The State Of Zero Waste Municipalities*.
- Zero Waste Europe. (2021). *The State Of Zero Waste Municipalities Report*.
- Zero Waste Europe. (2021). *Our journey and values*.
- Zero Waste Europe. (2022). *Strategic Framework 2022-2024*.
- Zero Waste International Alliance. (2014). *Our Journey and Values*.
- Zero Waste International Alliance. (2018) *Zero Waste Definition*.
- Zero Waste International Alliance. (2018). *Zero waste hierarchy of highest and best use 7.0*.
- Zero Waste International Alliance. (2022). *Zero waste hierarchy of highest and best use 8.0*.
- Atık Yönetimi Yönetmeliği. (2015).
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik. (2019).
- Belediye ve Bağlı Kuruluşları ile Mahalli İdare Birlikleri Norm Kadro İlke ve Standartlarına Dair Yönetmelik. (2007).
- Çevre Kanunu. (1983).
- Sıfır Atık Yönetmeliği. (2019).

# BÖLÜM 2

## TARİHİ YAPI MALZEMELERİN KARAKTERİZE EDİLMESİNDE MİNERALojİK VE PETROGRAfİK İNCELEMELERİN ÖNEMİ

*Özge BOSO HANYALI<sup>1</sup>*

*Sabah YILMAZ ŞAHİN<sup>2</sup>*

1 Öğr. Gör. Özge BOSO HANYALI, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Yüksekokulu, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü, ORC-ID:0000-0003-0440-3213

2 Prof. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Yatakları-Jeokimya ABD, ORC-ID: 0000 0002 6928 0923

## 1. GİRİŞ

Çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yapmış olan ülkemizde, günümüze dek ulaşan ve tarihi izler taşıyan çok sayıda yapı ve eserler bulunmaktadır. Geçmişten günümüze ulaşan bu yapı ve eserlerin korunması ve onarılması kültürel ve mimari mirasın yaşatılması ve sürekliliği açısından son derece önemlidir.

Tarihi yapılarda kullanılan temel yapı malzemeleri genellikle harç, sıva, tuğla ve taş malzemelerden oluşmaktadır. Camii, medrese, kilise, hamam gibi tarihi yapılarda ya da çeşme, heykel, köprü gibi anıtsal yapılarda kullanılan bu yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal, mekanik deneyler ve mineralojik-petrografik analizler ile karakteristik özelliklerini ortaya koymak, üretim teknolojilerini belirlemek temelde yapılacak ilk çalışmalardır. Bu çalışmalar sonucu elde edilen veriler, daha sonraki restorasyon sürecinde onarımda önerilecek malzemenin, özgün malzeme ile uyumlu olması açısından değerlendirileceğinden önemli bir yere sahiptir. Uygun olmayan malzeme kullanımı, tarihi yapının estetik ve mimari nitelikleri açısından olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Yapı malzemelerin niteliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan analizlerden biri olan petrografik analizler, koruma çalışmalarında onarım için önerilecek yapı malzemelerinin niteliklerine ışık tutmaktadır. Petrografik analizler ile sıva ve harç örneklerinin; bağlayıcı/agrega oranları, içeriğinde bulunan agregaların tür ve özellikleri, taş malzemelerin; türü, dokusal özellikleri, tuğla örneklerinin; içeriğinde bulunan tanelerin dağılımı, tür ve oranları stereo ve polarizan mikroskop kullanılarak belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada öncelikle tarihsel süreçte bazı tarihi yapılarda kullanılmış temel yapı malzemelerinin genel özellikleri açıklanmış, daha sonra bu malzemelerden seçili örnekler üzerinde mineralojik petrografik tanımlamalar yapılmıştır. Bu kapsamda kullanılan malzemelerin iç yapısal özellikleri, düzlemsel kesit (kalın kesit) ve ince kesitleri hazırlanarak, stereo ve polarizan mikroskop altında incelenmiş ve petrografik olarak değerlendirilmeleri yapılmıştır.

## 2. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN TEMEL YAPI MALZEMELERİ

### 2.1. Harç ve Sıvalar

Harç ve sıvalar kireç ve çimento gibi bir bağlayıcı ile, su, taş kırığı, kum gibi agregaların, puzolan ve çeşitli katkı maddelerinin birbiriyle belli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen inorganik esaslı yapı malzemeleridir. Tarihsel süreç içerisinde Mezopotamya, Uzak Doğu, Güney Amerika gibi çeşitli uygarlıklarda çimentonun bulunmasına kadarki geçen sürede kireç bağlayıcı kullanılarak üretilen harç ve sıvalar, tarihi yapılarda en temel malzemeleri oluşturmuştur. Konu ile ilgili yapılmış birçok çalışmada ifade edildiği gibi, harçlar, yapılarda taş ve tuğla malzemeler arasında adhezyon özelliğinden dolayı birleştirici olarak, sıvalar ise, yüzey kaplaması olarak ve tarihi bazı yapıların döşemelerinde dolgu malzemesi olarak kullanım alanı bulmaktadır.

Yukarıda belirtildiği gibi, Tarihi harç ve sıvaların kompozisyonunu oluşturan ana bileşenler, bağlayıcı olarak kireçten, dolgu olarak doğal ve yapay agregalardan, mineral katkısı olarak puzolan ve çeşitli organik maddelerden oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Harçları oluşturan ana malzemeler

Harç ve sıvaların kompozisyonuna giren temel bileşenler aşağıda genel olarak anlatılmıştır.

### 2.1.1. Bağlayıcılar

Bağlayıcılar harç ve sıva gibi temel yapı malzemelerin ana bileşenlerinden biridir. Bağlayıcılar, katılma özelliklerine göre üç grupta toplanmaktadır. Bunlardan birincisi, havada bulunan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ile katılma özelliğinde olan bağlayıcılardır. Bu gruba hava kireci örnek verilebilir. İkincisi su kireci, puzolan ilaveli kireç ve çimento gibi su içinde dahi, reaksiyona girerek katılma özelliği gösteren bağlayıcılardır. Üçüncüsü ise, kerpiç harcı gibi su kaybı ile priz yapan bağlayıcı malzemelerdir (Torraca, 1982; Ashurst ve Ashurst, 1990b; Borrelli, 1999; Kozlu, 2010).

Bağlayıcı türlerinden biri olan kerpiç, kum ile kilin suyla karıştırılıp, oluşan çamurun kalıplanıp şekillendirildikten sonra kurutulmasıyla elde edilen bir yapı malzemesi iken, alçı, alçıtaşının çeşitli derecelerde pişirilmesi sonucu elde edilen, su ile karıştırıldığında ise, katılma özelliği gösteren inorganik esaslı bir bağlayıcı türüdür (Gürdal, 1976; Borrelli, 1990; Kozlu, 2010). Kireç (hidrolik özellikte olmayan), kireçtaşı (CaCO<sub>3</sub>) veya dolomitin (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) 850-1400 °C’de pişirilmesi ile elde edilen, su ile bir araya geldiğinde suda veya havada katılma özelliği gösteren bir bağlayıcı türüdür (Torraca, 1982; Kozlu, 2010). Kirecin üretildiği kireçtaşı, yaklaşık 850-950 °C bir sıcaklığa maruz kaldığında kalsiyum oksit (sönmemiş kireç) haline dönüşür. Bu işlem sırasında karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı açığa çıkar. Aşağıda verilen bağıntıda ifade edildiği gibi, bu işlem kalsinasyon olarak adlandırılmaktadır (1.1)



CaCO<sub>3</sub>: Kalsiyum karbonat

CaO: Kalsiyum oksit

CO<sub>2</sub>: Karbondioksit

Sönmemiş kirece suyun katılmasıyla birlikte, sönme işlemi meydana gelir. Söndürme işlemi sırasında su, kirece yavaş eklenmekte ve bu sırada çok yüksek ısı ve buna bağlı olarak da buharlaşma meydana



gelmektedir. Eklenen su miktarı yeterli seviyeye ulaştığında, kireç genişleşip ayrışır ve “hidrate kireç” ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (kalsiyum hidroksit) oluşur (1.2) (Swallow ve Carrington 1995; Işık, 2019).

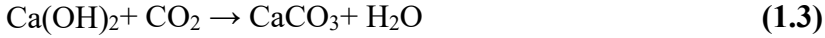


CaO: Kalsiyum oksit

H<sub>2</sub>O: Su

Ca(OH)<sub>2</sub>: Kalsiyum hidroksit (Hidrate kireç) (Işık, 2019)

Sönmüş kirecin sertleşmesi ise, kalsinasyon sırasında kaybettiği karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazını tekrar bünyesine alarak, kalsiyum karbonata (CaCO<sub>3</sub>) dönüşmesi şeklinde olmaktadır. Bu süreçte bünyedeki su buharlaşmaktadır (1.3) (Holmes ve Wingate, 1997; Borrelli, 1999; Kozlu, 2010).



Ca(OH)<sub>2</sub>: Sönmüş kireç

CO<sub>2</sub>: Karbondioksit

CaCO<sub>3</sub>: Kireçtaşı

H<sub>2</sub>O: Su

Su kireci (hidrolik kireç), puzolan ilaveli kireç ve portland çimentosu da diğer bağlayıcı malzemeleri oluşturmaktadır. Su kireci, alümina, demiroksit ve silika içeren marnlı kireçtaşlarının sinterleşme sınırının altında pişirildikten sonra su, buhar ya da öğütme yoluyla toz haline getirilmesi ile üretilmektedir. Katılması ise, su ile karıştırıldıktan sonra belirli sürelerde havada veya su altında sertleşmesi ile meydana gelmektedir (Torraca, 1982; TS 30, 1993; Kozlu, 2010).

### 2.1.2. Puzolanlar

Puzolanlar harçların içeriğinde kullanılan ve harçlara hidrolik özellik kazandıran malzemelerdir. Puzolanlar, tek başlarına herhangi bir bağlayıcılık özelliği göstermemekle birlikte, su ile temas ettiklerinde, fiziksel bir değişiklik ve kimyasal bir reaksiyon göstermezler. Değişiklikler ve bağlayıcılık ancak su ve sönmüş kireçten ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) oluşan karışımla muamele edildikten sonra

meydana gelmektedir. Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki grup altında değerlendirilmektedir. Doğal puzolanlar volkanik ve sedimanter kökenli olmak üzere iki alt grup altında toplanmaktadır. Volkanik kökenli puzolanlar gevşek yapıda camsı pumis ve küllerden oluşan piroklastik malzemelerdir. Diğeri ise zeolitik tüfler gibi alterasyona uğramış piroklastik malzemelerdir.

Sedimanter kökenli puzolanlar ise,

- a) Kimyasal sedimanterler: Diyatomeli topraklar, camsı hidrotermal birikintiler
- b) Ayrışık sedimanterler: Doğal pişmiş killer
- c) Diğerkarma kökenli malzemeler (Snellings vd., 2012; Müller, 2005; Kurugöl, 2017).

Doğal puzolanların kireç harçlarına katılmasıyla meydana gelen reaksiyonla karışımın su altında sertleşmesi anlaşılınca, Güney Amerika'dan Avrupa'ya ve Japonya'ya kadar dünyanın pek çok yerinde bu harçların kullanımları yaygınlaşmıştır (Kurugöl, 2017).

Yapay puzolanlar ise, uçucu küller, yakılmış bitkilerin külleri, cam atıkları, yüksek fırın cürufu, silis dumani, çelik endüstrisi cürufu, kentsel katı atıkların külleri, petrokimya rafineri, katalizör atıkları gibi çeşitli sanayi yan ürünler, kalsine edilmiş boksit, kil ve şistler gibi doğal maddelerin termal etkiyle reaktif hale getirilmiş olanlarından meydana gelmektedir (Kurugöl, 2017).

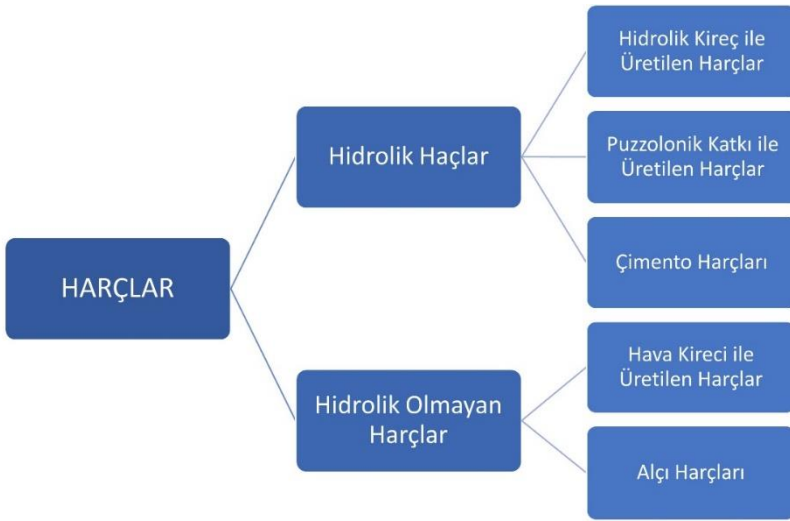
### **2.1.3. Agregalar**

Harçların en önemli bileşenlerinden biridir. Harç malzemenin içeriğinde bağlayıcı ile kullanılan kum, çakıl veya kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Agregalar doğal ve yapay agregalar olmak üzere iki grup altında toplanmaktadır. Her iki tür agrega, tarihi yapı harçlarında kullanılmıştır. Doğal agregalar, akarsuların meydana getirdiği dere kumu ya da denizlerin oluşturduğu deniz kumundan elde edilir. Yapay agregalar ise, kırılmış, öğütülmüş, pişmiş torak esaslı malzemelerden oluşmaktadır. Günümüzde kullanılması söz konusu olduğunda harçlarda kullanılacak olan agregaların temiz, mukavemetli, uygun tane büyüklüğü ve şekline sahip olmaları gerekmektedir.

### 2.1.4. Katkı Maddeleri

Harcın taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini iyileştirmek amacıyla harç karışımına eklenen maddelerdir. Bu amaçla antik Mısır'da harçlarda yumurta beyazı, öküz kanı, meyve suyu, keratin ve kazeinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Daha sonraki dönemlerde katkı malzemelerinin kullanımı artmış, bakliyat, meyve ve sebzeler, yumurta, yağlar, kan, süt, gübre, hayvan kılı gibi yerel tarım ürünleri kullanılmaya başlanmıştır (Tekin ve Kurugöl 2012).

Harçlar, “hidrolik harçlar” ve “hidrolik olmayan harçlar” olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Şekil 2).



**Şekil 2:** Harçların katılma özelliğine göre sınıflaması

Hidrolik olmayan harçlar, saf kireç ve puzolanik özellik taşımayan agregaların karışımı ile elde edilmektedir. Hidrolik kireç harçları ise, hidrolik kireç kullanılarak veya saf kireç ile puzolanik agregaların karıştırılması ile elde edilmektedir (Lea, 1940; Boynton, 1965; Çizer vd., 2004). Puzolanik agrega kullanılmasıyla elde edilen hidrolik harçlarda ise kirecin puzolanlardaki silikat mineralleri ile reaksiyonu sonucunda kalsiyum-silikat-hidrat ve kalsiyum-alüminat-hidratlar oluşmaktadır. Oluşan bu ürünlerden dolayı hidrolik harçlar, hidrolik olmayan harçlara göre daha yüksek dayanıklılığa sahiptirler (Lea, 1940; Çizer vd., 2004).

**Hidrolik kireç ile üretilen harçlar**, tarihi yapılarda en yaygın kullanılan harç türüdür. Bu harçların genel özellikleri, suya dayanıklı

ve mukavemetli olmalarıdır. Roma yapıların inşasında kullanılan temel harçlardır.

**Puzolonik katkı ile üretilen harçlar**, hidrolik özellik gösteren, puzolonik katkı ile elde edilmektedir.

Böke vd., 2007 yılında yapmış oldukları çalışmalarında Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde yapılan yapılarda yaygın olarak kullanılmış Horasan Harçlarını, kiremit kırığı ve benzeri malzemelerin kireç ile karıştırılmasıyla elde edildiklerini belirtmiştir (Şekil 3). Horasan Harçları, Roma döneminde “Cocciopesto” (Massazza ve Pezzuoli, 1981), Hindistan’da “Surkhi” (Spence, 1974), Arap ülkelerinde “Homra” (Lea, 1940) olarak adlandırılmaktadır. (Böke vd., 2007). Harçların içeriğinde agrega olarak bol miktarda kullanılan tuğla parçacıklarının yoğunlukları; kireçtaşı, granit, bazalt vb. doğal taş parçacıklardan daha düşük olduğu için, horasan harçları, daha hafif ve daha yüksek çekme dayanımına sahiptir (Livingston, 1993; Moropoulou vd., 2002a; Böke vd., 2007).

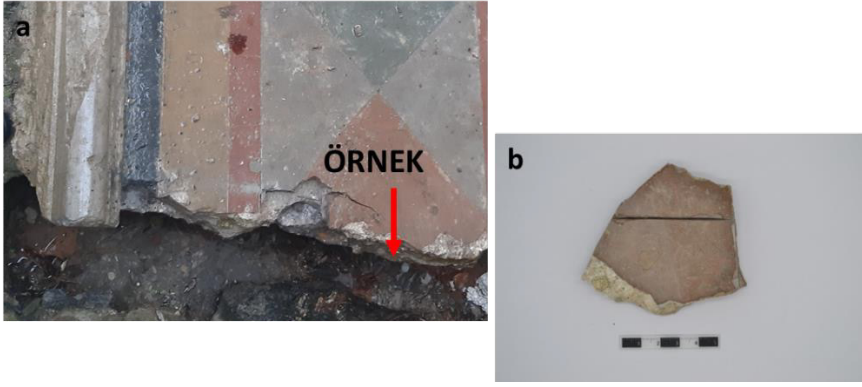


**Şekil 3:** Horasan Harcı Örneği

**Çimento Harçları**, çimento bağlayıcılı, hidrolik özellik gösteren malzemelerdir. Yapay taşlar bu harç grubuna örnek verilebilir.

Yapay taşlar, diğer harçlar gibi bağlayıcı, agrega ve katkılardan oluşmaktadır (Şekil 4). Yapay taşlar, dış cephelerde sıklıkla kullanılmış, doğrudan yüzeylere uygulanan ya da kalıplara

dökülerek hazırlandıktan sonra yüzeylere sabitlenen, bir kaplama ve bezeme malzemesi tekniğidir (Baturayoğlu ve Ersen, 2010). Kurugöl 2017 yılında yazmış olduğu kitap çalışmasında, bu tekniğin, 19. Yüzyılın ikinci yarısından, 20. Yüzyılın ilk çeyreğinde kadar tuğla-kagir olarak inşa edilen yapılarda basit kesme taş sıvalardan üç boyutlu ön döküm elemanlara kadar uygulama alanı bulunduğunu ifade etmiştir (Kurugöl, 2017).



**Şekil 4:** Yıldız sarayı zemin döşemede kullanılan yapay taş örneği

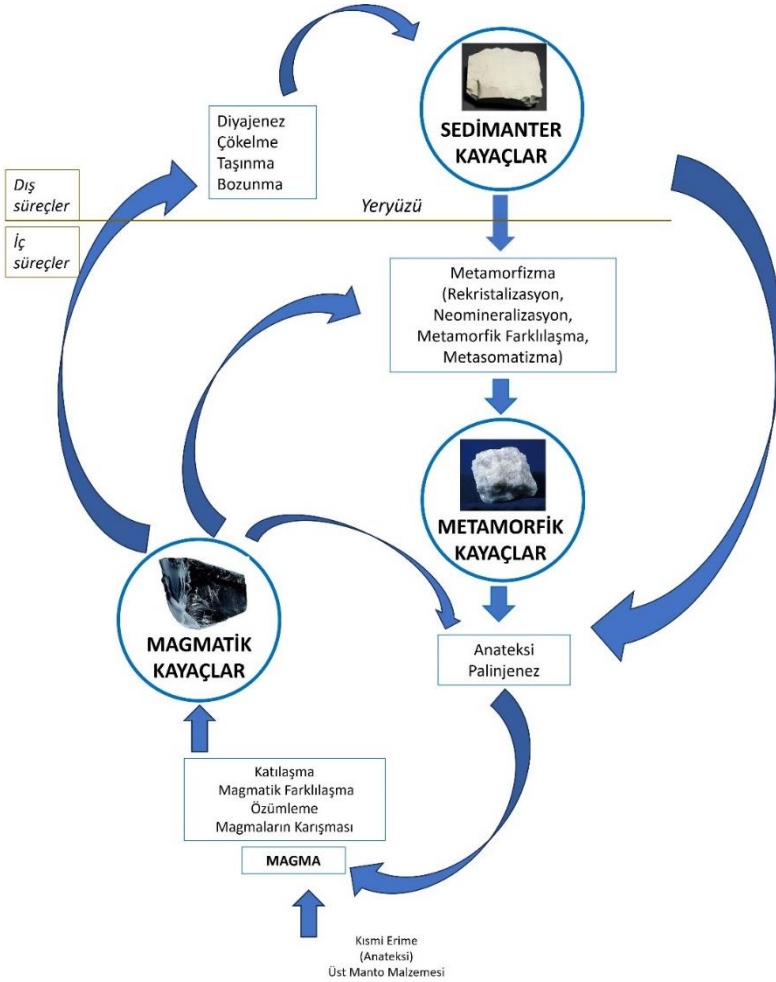
Hava kireci ile üretilen harçlar, kireç ve kum karışımından oluşmakta, uygulandıktan sonra atmosfer şartlarına dayanıklı olmayan, zamanla su içinde çözünebilir, mukavemeti daha az olan bir harç türüdür. Tarihi yapılarda daha çok iç mekanlarda kullanılmaktadır. Örneğin dolgu şeklinde Bağdadi sıvaların üretiminde en fazla kullanılmış olan harç türüdür. Aynı zamanda tuğla duvar örgülerinde de bu harç kullanılmıştır.

**Alçı Harçları,** Alçı taşının (Jips:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) çeşitli derecelerde pişirilmesi sonucu elde edilmektedir. Bu harç, dış etkenlere dayanıklı ve hidrolik özellik göstermeyen harç türü olup, günümüzden 3400 yıl kadar önce Mısır firavunu Amenhotep II'nin inşa ettiği Karnak Tapınağı'nda kullanılan taşlar olup bu taşlar anhidrit alçı ile yerleştirilmiştir (Grün, 1951; Straub vd., 1964; Kinder vd., 1964; Akman, 2003).

## 2.2. KAYAÇLAR (DOĞAL TAŞLAR)

Kayaçlar (doğal taşlar), kalıcı, sağlam, geri dönüşülebilir, çevre dostu bir malzeme olarak, antik çağlardan beri birçok tarihi yapı ve eserlerde temel bir malzeme olarak kullanılmıştır. Çeşitli atmosferik şartların etkisiyle birlikte ülkemizde yaşanan doğal afetler zaman içerisinde bu taşların bozunmalarına neden olmakta, yapılarda ve eserlerde hasarlar meydana getirmektedir. Bunun sonucunda restorasyon veya onarım sırasında tarihi bir yapıda kullanılmış olan taşın özgünü ile ya da eşdeğer doğal taşlarıyla yenilenmesi gerekmektedir. Tarihi yapılarda kullanılan doğal taşların petrografi analizleri ile doğal taşı oluşturan mineralleri saptanarak ve ayrıntılı dokusal analizler yapılarak türü belirlenmektedir.

Jeoloji biliminde kayaçlar (doğal taşlar) oluşum şartlarına ve kökenine göre üç gruba ayrılmaktadırlar. Yerkabuğunun bileşimini meydana getiren bu kayaçlar (doğal taşlar), kayaç çevrimi içerisinde birbirlerine değişip, dönüşebilirler. Magmatik kayaçlar, mantodan türeyen ve yerkabuğundan yukarı doğru çıkan magmanın basınç ve sıcaklığın giderek azalması ile, yerkabuğunun derinlerinde ya da yüzeyde katılaşması sonucu oluşmaktadır. Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlar, yüzeysel koşullar altında (atmosfer, hidrosfer ve biyosfer) fiziksel ve kimyasal bozunmaya maruz kalırlar. Bozunma ürünlerinin değişik sebepler ile taşınması ve biriktirilmesi sonucunda sedimanlar oluşurlar. Bu sedimanlar üzerlerine biriken diğer sedimanlar, sıcaklığın artmasıyla birlikte sıkışır ve “Diyajenez/Taşlaşma” adı verilen süreçle fiziksel ve kimyasal değişiklikler sonucu sedimanter kayaçları oluşturur. Sedimanların, mevcut magmatik ve metamorfik kayaçların değişik nedenlerle kabuğun derin kısımlarına inmeleri ya da yerkabuğunun bazı yerlerinde meydana gelen bölgesel sıcaklık/basınç yükselmeleri ve tektonizma olayları sonucu bu kayaçlarda katı halde bazı değişimlerin gelişmesi söz konusu olmaktadır. Bu değişimler, kayaçların (doğal taşların) mineralojik bileşimlerinin, yapı ve doku özelliklerinin değişmesidir ki, bu olaya metamorfizma, oluşan kayaçlara da metamorfik kayaçlar denilmektedir (Şekil 5), (Erkan, 2006).



**Şekil 5:** Yerkabuğunu oluşturan kayaçların (doğal taşların) birbiri ile olan ilişkilerini gösteren kayaç çevrimi (Erkan, 2006'dan derlenerek alınmıştır).

**Magmatik kayaçlar**, magmanın, derinlerde yavaş yavaş veya yüzeyde lav akıntıları şeklinde soğuması ve katılaşması sonucu oluşan kayaçlardır. Magmatik kayaçlar kendi içinde üç gruba ayrılır. Plütonik kayaçlar (Derinlik kayaçları) magmanın derinlerinde uzun sürede katılaştıran kayaçlardır. Bu kayaçların taneleri genellikle gözle görülebilir ya da çok ince taneli olabilir. Magmanın soğuması ve katılaşması yüzeyde meydana gelirse bu grup kayalara da Volkanik kayaçlar (Yüzey kayaçları) denir. Magmanın derinlerden yeryüzüne doğru yükselirken yeryüzüne yakın kesimlerde soğumasıyla oluşan

kayaçlar ise, yarı derinlik (damar) kayaçları olarak adlandırılırlar. Diyabaz bu gruba örnek gösterilebilir.

Magmatik kayaçların hem derinlik kayaçları hem de yüzey kayaçlarının kantitatif sınıflamasında modal mineralojik bileşimler dikkate alınarak Streckesien (1968)'e göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflamada açık renkli mineraller esas alınmıştır. Ancak, diyagramın kullanılabilmesi için koyu renkli minerallerinde (M), %90'dan az olması gerekmektedir (Şekil 6), (Erkan, 2006).

**K:** Kuvars

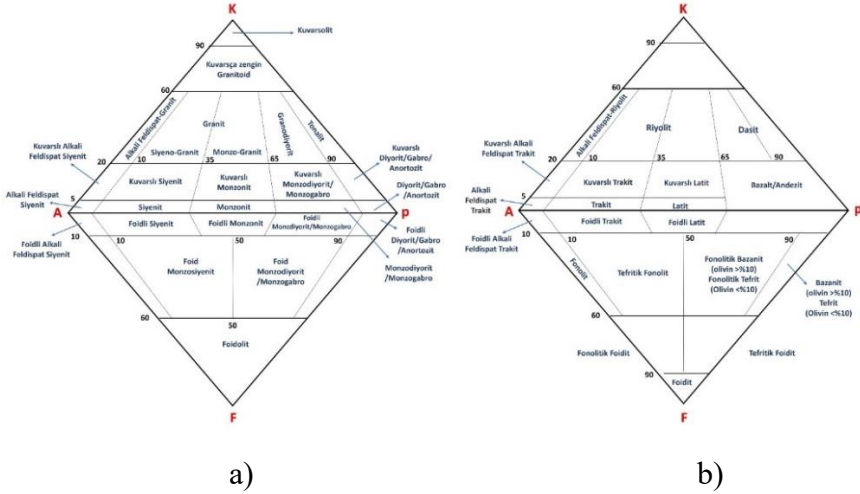
**A:** Alkali Feldispatlar (Sanidin, Mikroklin, Otaklaz, Pertit, Anotoklaz)

**P:** Plajiyoklaz

**F:** Felispatoidler (Lösit, Analsim, Sodalit, Nefelin, vb)

**M:** Koyu renkli mineraller (Piroksen Grubu, Mika grubu, Olivin, Amfibol, grubu mineraller, Opak

Mineraller, Apatit, Zirkon, Titanit vb gibi tali mineraller, Montisellit ve Melilit gibi birincil karbonatlar vb)



**Şekil 6:** Magmatik Kayaçların modal mineralojik bileşimlerine göre a) Derinlik (plütonik) kayaçların; b) Yüzey (volkanik) kayaçların sınıflandırılmaları (Streckeisen, 1976, 1979; Erkan, 2006'dan alınmıştır)



Magmatik kayalar diğer kayaç gruplarından farklı dokusal ve mineralojik özellikler sunarlar. Magmatik derinlik kayaları, magmanın derinlerde yavaş yavaş kristalleşmesi ile oluştuğundan taneli (granüler) dokulu olurlar ve mineraller genellikle özşekilli-yarı-özşekilli olurlar. Oysa yüzeyde aniden soğuyarak kristallenirse ya çok ince taneli (afanit dokulu) ya da camsı/kristalin ya da her ikisinin yer aldığı bir hamur içerisinde bazı kristallerin iri taneler şeklinde bulunduğu porfirik dokulu olarak ya da tamamı aniden soğuma sonucu camsı dokuda katılırlar. Mineralojik bileşimlerinde ise genellikle açık renkli minerallerden (felsik) kuvars+feldspat mineralleri ile bazı kayalarda yaygın olmayan minerallerden feldspatoidler (nefelin + sodalit + lösit + analim + psödosit + haüyn); koyu renkli minerallerden (mafik) ise olivin+amfibol+piroksen+mika+opak mineralleri içerilebilir. Magmatik kayaların plütonik ve volkanik türlerine en güzel örnek olarak, derinlik kayalarından doğada en yaygın görülen Granit, yüzey kayalarından ise Bazalt verilebilir.

**Metamorfik Kayalar**, önceden oluşmuş kayaların kendi oluşum koşulları dışında farklı ısı ve basıncın etkisiyle, katı halde mineralojik ve dokusal değişime uğramalarına metamorfizma, oluşan kayalara ise metamorfik kayalar denilir. Bu durumda yeni oluşan kayacın kimyasal bileşimi, ilksel kayacın kimyasal bileşimi ile aynıdır veya benzerdir. Gnays, Fillit, Mermer ve Şist bu gruba örnek gösterilebilir. Bu kayalar hem dokusal hem de mineralojik olarak sınıflandırılabilir.

Dokusal sınıflamada, metamorfik kayaların yönlü doku-foliasyon içerme durumuna göre;

- **Yönlü Doku-Foliasyon içeren kayalar;**

Fillit

Şist,

Gnays

- **Yönlü Doku-Foliasyon içermeyen kayalar;**

Kuvarsit

Mermer

Amfibolit

Epidozit vb.

Metamorfik kayalar, magmatik kayalar gibi kristalin kayalardır ve yenden kristalleşme (rekristalizasyon), yeni mineral oluşumu (neomineralizasyon), metamorfik farklılaşma (metamorfik

diferansiyasyon), kısmi erime (anateksi) ve metasomatizma gibi süreçlerin etkisiyle oluşurlar. Kendi içerisinde Bölgesel (Bölgesel dinamo-termal ve dalma batma metamorfizması) ve lokal (dinamik, kontakt, hidrotermal, pirometamorfizma) metamorfizma olarak iki türde metamorfizmaya ayrılırlar. Metamorfik kayaçlar, farklı sıcaklık ve basınç koşullarını temsil eden dört farklı metamorfizma derecesinde gerçekleşir. Bunlar çok düşük dereceli, düşük dereceli, orta dereceli ve yüksek dereceli metamorfizmadır (Winkler, 1976; Erkan, 2006).

**Sedimenter kayaçlar**, doğada bulunan kayaçların aşınıp parçalanması ile oluşan sedimanların, taşınması, çökme ortamında birikip, taşlaşmasıyla oluşan kayaçlardır. Bazı sedimenter kayaçlar ise farklı çökme ortamlarında kimyasal çökme ile oluşurlar. Genellikle tabakalı ve fosil içeren kayaçlardır. Bu grup kayaçlar, Kırıntılı, Kimyasal ve Organik sedimenter kayaçlar olmak üzere üç gruba ayrılır. Sedimenter kayaçlar çok çeşitlidir ancak bunlardan doğada yaygın gözlenenlerden, kırıntılı olanlara çakıtaşı, kumtaşı, kiltası, kimyasal olanlara kireçtaşı, çört, siderit; organik olanlara ise kömür örnek olarak verilebilir.

Ülkemiz jeolojik yapısından dolayı farklı renk ve dokusal çeşitlilikte doğal taşları barındıran zengin bir ülkedir. Geçmişle günümüz arasında köprü olan, kalıcılığın, sağlamlığın, görkemin, estetiğin simgesi doğal taşlar, ülkemizdeki tarihi yapıların farklı dönemlerinde en çok kullanılan temel yapı malzemesi olmuştur. Karahan 2018 yılında yapmış olduğu çalışmada farklı dönemlerde kullanılan doğal taşların bazılarını belirtmiştir. Bu doğal taşlardan Eski Mısırlılar Aswan granitlerini, Urartular volkanik tüfleri, Hititliler bazaltı kullanmışlardır. Mermer, Helenistik dönem uygarlıklarında kullanılmıştır. Kommagene Krallığı döneminde Adıyaman Nemrut Dağı'nda bulunan heykellerde, Göbeklitepe'de bulunan tapınaklarda Kireçtaşları kullanılmıştır. Selçuklu döneminde Mermer, Volkanik Tüfler ve yumuşak Kalkerler, Andezit ve Bazalt kullanılmıştır.

İstanbul'daki Roma, Bizans ve Osmanlı dönemi eski tarihi yapılarda Bakırköy Küfeki taşı, bademli Küfeki taşı, Hereke Pudingi, Marmara Adası Mermeri, Çanakkale Kestanbol Graniti, Kapıdağ Graniti, Bilecik Taşkesen Tektonik Breşi, Gülümbe Oolitli Kalkeri, Afyon Menekşe Mermeri ve Oniks ile İtalya'dan getirilen Serpantin Breşi, eski yeşil Porfir, Mısır'dan getirilen eski kırmızı

Porfir ve Aswan Granit'inin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir

Cumhuriyet döneminin ilk yıllarında yapılan kamu binalarında Ankara Andezitleri kullanılmıştır. Gazi Mustafa Kemal Atatürk için yapılan Anıtkabir'de çeşitli renk ve dokuda Mermer, Traverten, Kireçtaşı ve Serpantin kullanılmıştır.

### 2.3. Tuğlalar

Geçmişten günümüze tarihi kagir yapılarda taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanılan diğer malzemeler tuğla, kiremit vb. yapı malzemeleridir.

Kerpicin güneş altında kurutulmasıyla elde edilen tuğlanın, kullanılması ilk olarak MÖ 13. yüzyıl dolaylarında Mezopotamya'da olmuştur (Adam vd., 2005; Uğurlu ve Sağın, 2014). Mezopotamya'dan yüzlerce yıl sonra, pişmiş tuğlaların yapım faaliyetlerinde yaygın olarak kullanımı Roma İmparatorluğu döneminde başlamıştır (Schalenghe vd., 2015; Uğurlu ve Sağın, 2014).

Akyol ve Eroğlu 2017 yılında yapmış oldukları çalışmalarında tuğlanın kullanımında bölgesel şartlar da önemli olduğuna dikkat çekmişlerdir. Buna göre Anadolu, Kafkaslar, Girit ve Kıbrıs'ta taş kaynaklarının yoğunluğu nedeniyle taş ile yapılmış yapılar dikkati çekerken; Mezopotamya, İran, Orta Asya ve Mısır'da ise taşın sınırlı olmasından dolayı onun yerini tuğla almıştır (Bakırer, 1981; Akyol ve Eroğlu, 2017).

Binlerce yıllık üretim geleneksel metotlar ile basit fırınlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fabrikasyon üretim tuğlaları, 19. yy'dan sonra üretilmeye başlanmıştır. Tarihi yapılarda sıklıkla kullanılmış olan tuğlalar harman tuğlalardır.

Tuğlalar yapılarda temeller, beden duvarları, volta döşemeler, kapı ve pencere kemerleri ile sövelerde kullanılmıştır. Yapılarda hafifletilmesi gereken kısımlar ise delikli tuğla ile örülmektedir (Çiftçi ve Yergün, 2012). Atikoğlu ve Tavukçuoğlu, 2018 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, Tarihi yapıların onarımlarında kullanılan tuğlaların, temel (kimyasal, mineralojik, fiziksel ve mekanik) özelliklerinden oluşan karakteristik özellikleri ile uyumlu olmasının, tarihi yapıların uzun dönemde gösterdikleri dayanıklılık

özelliklerini devam ettirebilmeleri bakımından önemli olduğunu belirtmiştir.

### **3. PETROGRAFI ARAŞTIRMALARININ YAPI MALZEMELERİ ÜZERİNDEKİ ÖNEMİ**

Petrografi bir kayaç bilimidir. Petrografi kayaçların mineralojik bileşimlerini, yapı ve dokusal özelliklerini inceleyen, kayaçları (doğal taşları) oluşum şekillerine, kimyasal ve mineralojik bileşimlerine, yapı-doku ilişkilerine göre sınıflandıran bir bilim dalıdır (Erkan, 2006).

Bir petrografi çalışmasında bir yapı malzemesinin petrografik özellikleri, öncelikle el örneğinde yapısal özellikleri ve mineralojik bileşimi bakımından tanımlanır. Daha sonra malzemelerin daha ayrıntılı petrografik özelliklerini belirlemek için, hazırlanan düzlemsel kesit (kalın kesit) ve ince kesitleri üzerinden, stereo ve polarizan mikroskopları kullanılarak değerlendirilmesi yapılır.

Petrografi çalışmalarında özellikleri belirlenecek örnek bir kayaç (doğal taş) ise, kayacı (doğal taşı) oluşturan minerallerin, mikroskop altında optik özelliklerinden faydalanarak mineral tayini yapılır, ayrıntılı doku analizi ve mineralojik tayinler ile doğal taşın türü belirlenir. Petrografi çalışmalarında özellikleri belirlenecek örnek; harç ve sıva örnekleri ise, stereo ve polarizan mikroskop birlikte kullanılmaktadır. Stereo mikroskop ile örneklerin bağlayıcı-agrega oranları, harçların üretilmesinde kullanılan agregaların tür ve özellikleri, diğer katkı maddelerinin içerikleri ve oranları, polarizan mikroskop ile karakteristik mineralleri ve genel dokusal özellikleri belirlenir. Harç ve sıva örnekleri üzerinde yapılan bir diğer petrografik analiz de örneklerin asit sonrası elek altında kalanları üzerinden stereo mikroskop kullanılarak asitle reaksiyona girerek çözeltiliye geçen karbonatlı agregaların dışında kalan silikathı agregaların tür ve özelliklerinin, bu agregaların dağılım ve oranlarının belirlenmesidir. Harç ve sıvalar üzerinde yapılan kesit analizleri ve asit sonrası analizler birbirlerini destekler nitelikte olup, örneklerin bütüncül değerlendirilmesini sağlamaktadır. Yapılan Petrografik analizler TS 5694 EN 12670/Şubat 2004 ile ilgili diğer standartlar esas alınarak yapılmaktadır.

İnce kesit veya el örneğinde yapılan petrografik tanımlamaların, yanında X-Işınları difraksiyonu yöntemi ile (XRD), harç, sıva, tuğla

ve taş gibi yapı malzemelerinin içeriğindeki mineraller saptanmaktadır. Harç ve sıva örneklerinin bağlayıcısı üzerinden çekilen X-Işınlari difraksiyonu (XRD) yöntemi ile bağlayıcının türü ve mineral içeriği belirlenmektedir.

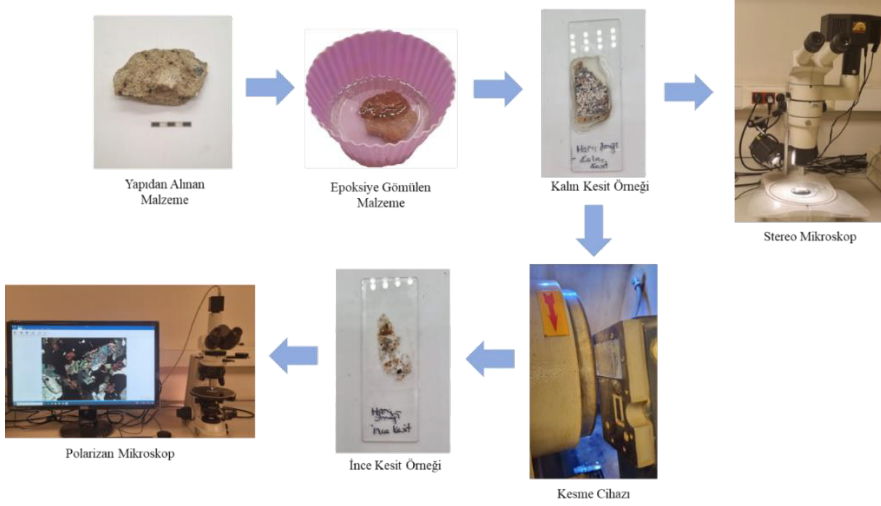
Pişmiş killerden üretilen tuğla malzemeler de tarih boyunca neredeyse dünyada ve ülkemizde birçok yapıda kullanılan malzemelerdir. Tuğla içindeki bağlayıcı-agrega oranları, agrega türü, agrega dağılım ve özellikleri stereo ve polarizan mikroskop kullanılarak belirlenmektedir. X-Işınlari difraksiyonu yöntemi (XRD) kullanılarak tuğla malzemelerin içeriğinde bulunan mineraller saptanarak pişme sıcaklıkları ve buna bağlı olarak üretim teknolojileri ortaya konmaktadır. XRD yöntemi ile tuğlalarda tespit edilen ana mineral fazı silikatlar olup, genelde kalsit, kuvars, klorit, ortoklaz, albit, biyotit, anortit, rutil, hematit, dolomit, sanidin, diopsit ve ojit gibi mineraller de belirlenmektedir. Örneğin tuğla malzemelerde tanımlanan albit minerali, tuğla üretiminde plajiyoklaz türü feldispat minerali içeren hammadde kaynağının kullanıldığını göstermekte, hem de tuğla malzemelerin pişme sıcaklığı hakkında bilgi vermektedir.

Arkeolojik çalışmalarda da petrografik analizler yapılmaktadır. Kazıda çıkan malzemelerin, rengi, türü, dokusu, mineral türleri, boşlukları ve bozunmuşluk durumları Polarizan mikroskop kullanılarak belirlenmektedir.

#### **4. YAPI MALZEMELERİNİN KALIN VE İNCE KESİTLERİNİN HAZIRLANMASI**

Tarihi yapıların restorasyon öncesi yapının karakteristik yerlerinden alınan harç, sıva, taş ve tuğla gibi yapı malzemelerinin petrografik özelliklerini belirlenmeden önce, düzlemsel kesit (kalın kesit) ve ince kesitleri hazırlanmaktadır. Taş, tuğla ve çimento harcı gibi daha dayanıklı örnekler, kesildiğinde dağılmayacak özellikte ise, örneklerin parlak ve ince kesitleri doğrudan hazırlanmaktadır. Eğer harç ve sıva gibi dağılgan özellikte ise, yaklaşık kırılma indeksi 1,54 olan epoksi reçinesi, tercihen vakum altında örneğe emdirilmesiyle örneğin dayanıklı hale getirilmesi sağlanır. Epoksiden çıkan örnekler ince levhalar halinde kesilerek özel camdan yapılmış lamlara yapıştırılır. Yapıştırılan örnekler kesme aleti cihazında kesici disk ile

yaklaşık 1 mm kalınlığa gelecek şekilde kesilir. Düzlemsel (kalın) kesitleri hazırlanan örnekler stereo mikroskop altında incelenir. Daha sonra örnekler kesme aleti cihazında bulunan elmas disk ile aşındırılarak ışığı geçirecek kalınlığa kadar inceltilir. İnceltilecek örneklerin üzeri daha parlak ve net görünmesi için 0,0030-0,0050 mm kalınlığında lamel ile kaplanır. Hazırlanan örnekler stereo ve polarizan mikroskop altında incelenir (Şekil 7).



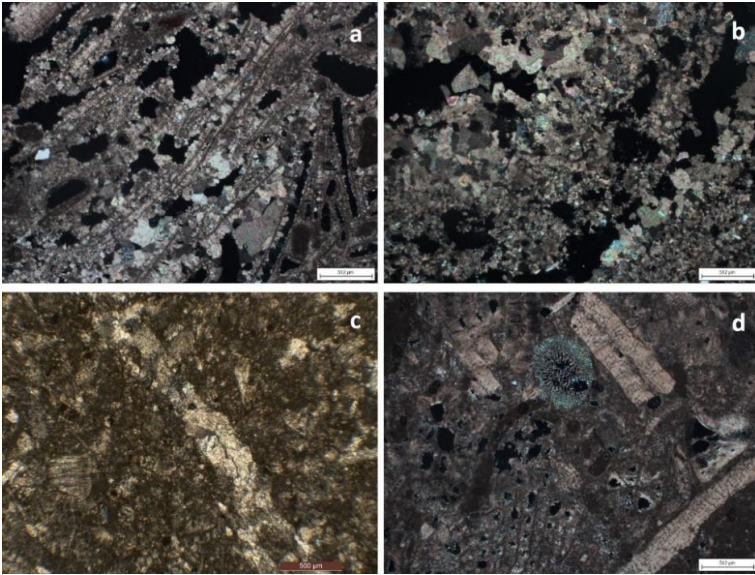
Şekil 7: Örneklerin kalın ve ince kesit hazırlamasını gösteren akış şeması

## 5. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN FARKLI YAPI MALZEMELERİNİN PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Tarihi yapılarda kullanılmış olan yapı malzemelerinin petrografik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- ❖ Mimar Sinan'ın İstanbul ve yakın çevresindeki yapılarında en çok kullandığı yapı malzemesi küfeki taşıdır. Edirne'de ise bademli küfeki taşı sıklıkla kullanılmıştır. Yapılarında yöresel yapı taşlarını değerlendiren Sinan, olanaklara göre daha büyük boyutlu ve nitelikli taş kullanmaya özen göstermiştir (Ahunbay, 1988). Şekil 8'de tarihi yapılarda sıklıkla kullanılmış olan farklı kireçtaşlarının petrografik

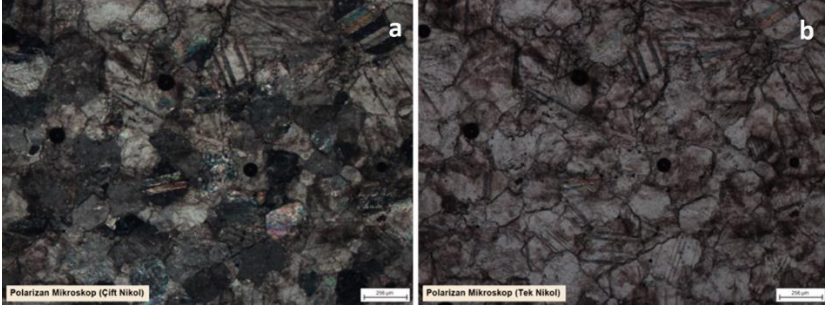
özellikleri anlatılmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre; **a**: Mimar Sinan'ın eserlerinde kolay işlenebilme özelliğinden dolayı en çok tercih ettiği **Küfeki taşı** örneği; mineralojik bileşim olarak, büyük oranda karbonatlı minerallerden (kalsit ve dolomit) olmak üzere, az miktarda kuvars ya da feldispat gibi detritik malzeme ve killi seviyeler ile bir miktar makrofosil kavrıkları ya da mikrofosil içermektedirler. Genellikle sparitik kalsit bileşiminde, kristalin yapıda, yer yer boşluklu ve Folk (1962)'e göre "Biyosparit" olarak isimlendirilen bir kireçtaşıdır. **b**: Mimar Sinan'ın yapılarda kullandığı **Süloğlu taşı** diğer adıyla **Bademli Küfekisi** örneği; çok az oranda mikritik kavkı izleri içeren kristalin yapıda, yer yer kuvars ve çok küçük boyutlu detritik malzeme bulunduran "lito-sparit" olarak tanımlanan kireçtaşıdır. **c**: Üst Kretase yaşlı Rudistli kireçtaşı örneği, İstanbul'da Bizans ve Osmanlı dönemlerinde bir çok yapıda kullanılmıştır. **d**: Sazlıbosna kireçtaşı örneği, çok az oranda kuvars içeren, kristalin yapıda "İntrabiyosparit" olarak tanımlanan kireçtaşıdır. Mikritik kısmında çok az kil bulunmaktadır. Mercan ve Nummulit fosilleri içermektedir.



**Şekil 8:** Tarihi yapılarda kullanılan farklı kireçtaşı örneklerinin, polarizan mikroskop altındaki çift nikol görüntüleri.



- ❖ Diğer bir örnek, oldukça dayanıklı olma özelliğinden dolayı, Antik çağdan beri en çok tercih edilen Marmara mermeridir. Örnek, orta-iri kristalli mermerdir. Örnekte iri, ikizlenmeli ve iki yönde dilinimleri olan Kalsit mineralleri bulunmaktadır (Şekil 9).

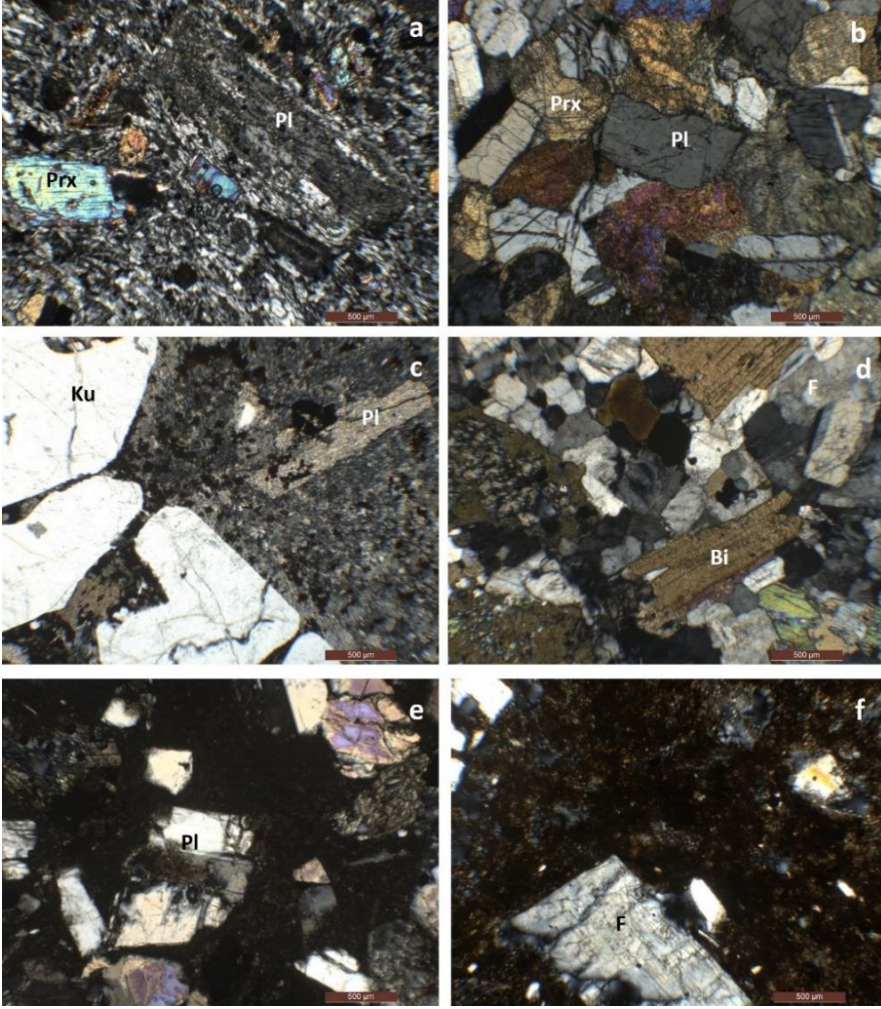


**Şekil 9:** Marmara Mermeri örneğinin polarizan mikroskop altındaki a: Çift Nikol, b: Tek Nikol görüntüleri

- ❖ Erken Bizans ve Geç Osmanlı dönem yapılarında kullanılmış olan, halk arasında “**Od taşı**” olarak bilinen tüf taşları, yapılarda pencere sövesi, cephe kaplama taşı olarak kullanılmıştır. Bunların dışında Topkapı Sarayı’nda, Süleymaniye Camii’nde; Hereke pudingi, breş, serpantin türü taşların kaplama malzemesi olarak, granit ve mermer gibi taşların da taşıyıcı ayaklarda kullanıldığı bilinmektedir. **Ankara taşı** olarak bilinen Andezit, tarihsel yapılarda kullanıldığı gibi, Cumhuriyet döneminde; Sümerbank, İş Bankası, İller Bankası, Ziraat Bankasının binaları gibi eski yapılarda da kullanılmıştır. Diyarbakır ve Şanlıurfa arasında yer alan volkanik bir kütle olan Karacadağ’ın oluşturduğu “Bazalt” Diyarbakır kalesinde ana malzeme olarak kullanılmıştır. Nemrut volkanizması ürünü Bitlis ignimbiritleri düşük yoğunlukları, yüksek dayanımları, kolaylıkla şekillendirilebilmeleri ve mükemmel yalıtım özelliklerine sahip olmaları nedeniyle Anadolu Selçukluları ve Osmanlı dönemi tarihi yapılarında yaygın olarak kullanılmıştır. Urartu mimarisinde Van gölü ve civarındaki kale yapılarda Bazalt ve Gabro gibi magmatik kökenli



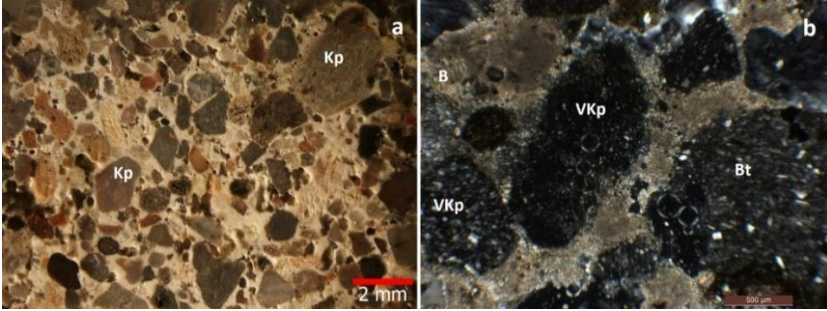
kayaçlar (doğal taşlar) ana yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Şekil 10'da gösterilen farklı petrografik özelliklerdeki magmatik kayaçların polarizan mikroskop altında değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu değerlendirmelere göre; **a:** Örnek bileşiminde piroksen (ojit), plajiyoklaz fenokristalleri olan, holokristalin-porfirik dokulu Bazalt örneğidir. **b:** Örnek içerisinde plajiyoklaz ve piroksen (ojit) fenokristalleri olan, ofitik taneli dokulu Gabro örneğidir. **c:** Örnek içerisinde plajiyoklaz, kuvars ve piroksen fenokristalleri olan, Porfir-Riyolit örneğidir. **d:** Örnek bileşiminde plajiyoklaz, ortoklaz, çok az kuvars, amfibol, biyotit ve kalıntı piroksen fenokristalleri olan, Kestanbol Monzogranit örneğidir. **e:** Örnek bileşiminde kristaller (feldispat, amfibol), volkanik kayaç parçaları (andezit, bazalt, pomza) ve volkan camı bulunan Andezitik-Kristal Tüf örneğidir. **f:** Örnek bileşiminde feldispat, (plajiyoklaz), kuvars, volkanik kayaç parçaları bulunan İgnimbiritik piroklastik kayaç örneğidir. Petrografik olarak tüf/tüfit ya da lapillitaşı olarak tanımlanmakta ve bileşiminde kristaller (feldispat, amfibol, biyotit), volkanik kayaç parçaları (andezit, bazalt) ve hamurunda volkan camı bulunmaktadır.



**Şekil 10:** Yapılarda sıklıkla kullanılmış olan magmatik kayaç örneklerinin polarizan mikroskop altındaki çift nikol görüntüleri (Ku: Kuvars, Pl: Plajiyoklaz, Bi: Biyotit, Prx: Piroksen)

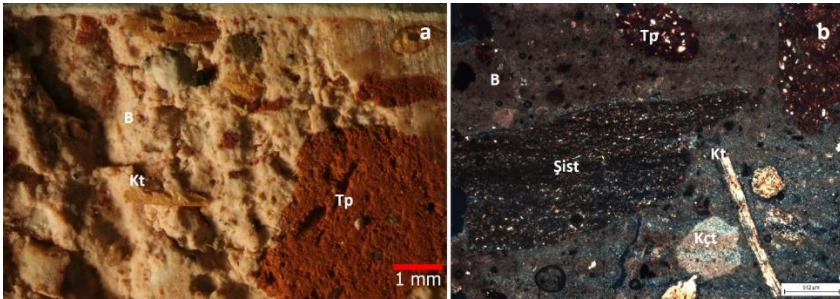
- ❖ Şekil-11’de gösterilen örneğin petrografik değerlendirmelerine göre; kireç harcı örneğinin bağlayıcı alanı % 20 civarında olup, örneğin bağlayıcısının kendi içinde ve agrega ile olan fazının iyi durumda olduğu görülmektedir. Örneğin içerisinde % 0,5’ten az oranda biyotit, opak mineraller, piroksen, %2-3 oranında plajiyoklaz bulunmaktadır. Örneğin kalan agregaları bazalt bileşiminde olup, içerisinde silisleşmiş, opasitleşmiş volkanik kayaç

parçaları bulunmakta ve örneğin kaynak alanının volkanik kökenli kara kumu olduğu düşünülmektedir.



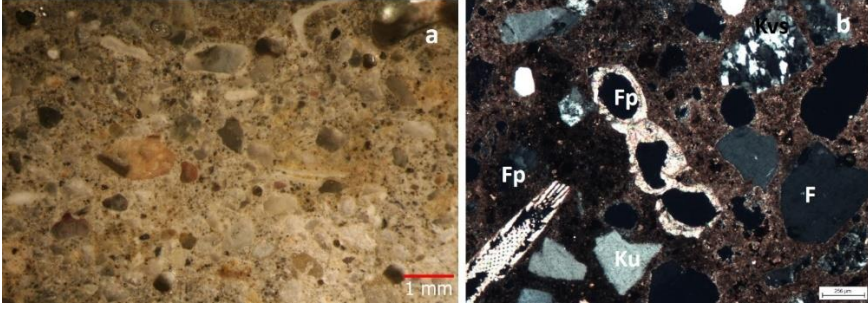
**Şekil 11:** Kireç harcı örneğinin farklı kesimlerinden çekilmiş; a: Stereo mikroskop, b: Polarizan mikroskop altındaki çift nikol görüntüleri (Vkp, volkanik kayaç parçası; Bt: Bazalt, Kp: Kayaç parçası)

- ❖ Şekil-12’de gösterilen, petrografik değerlendirmelerine göre Horasan harcı olarak tanımlanan örneğin bağlayıcı alanı %30-35 oranında olup, bağlayıcısının kendi içindeki ve agrega ile olan fazının zayıf durumda olduğu görülmektedir. Örneğin içerisinde %0,5-1 oranında kuvars, %1-2 oranında kırıntı (bitkisel lif), %2-3 oranında feldispat, %2-3 oranında kayaç parçaları ve %3-5 oranında kireçtaşı parçaları şeklinde karbonatlı agregalar bulunmaktadır. Örneğin kalan kısmı ise, köşeli formda tuğla parçalarından oluşmaktadır. Örneğin üzerinde beyaz renkli ince bir sıva tabakası bulunmaktadır.



**Şekil 12:** Horasan Harcı örneğinin farklı kesimlerinden çekilmiş a: Stereo mikroskop, b: Polarizan mikroskop altındaki çift nikol görüntüleri (Tp: Tuğla parçası; Kt: Kırıntı, Kçt: Kireçtaşı parçası, B: Bağlayıcı kısım).

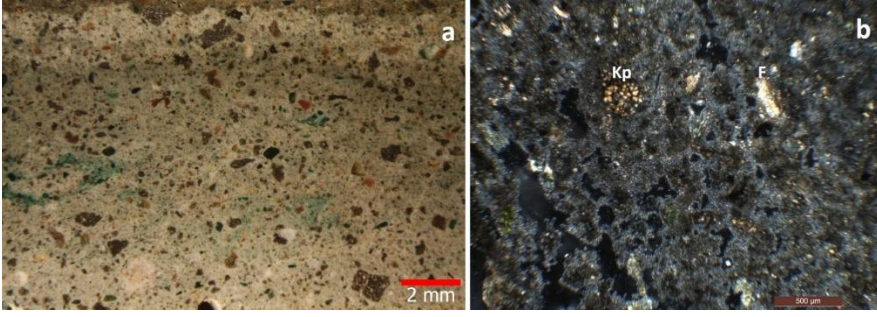
- ❖ Çimento harç örneğinin bağlayıcı alanı %20 civarında olup, bağlayıcının kendi içerisindeki ve agrega ile fazı iyi durumdadır. Örnek içerisinde %1 oranına kadar biyotit, %3-5 oranında kireçtaşı parçaları, %5-10 oranında feldispat, %10-15 oranında fosil parçaları ve %15-20 oranında kayaç parçaları bulunup, örneğin kalan kısmı kuvarstan oluşmaktadır. Kayaç parçaları kuvarsit, metakumtaşı şeklinde olup, örnekte metamorfik bir beslenme olduğu düşünülmektedir (Şekil 13).



**Şekil 13:** Çimento Harcı örneğinin farklı kesimlerinden çekilmiş a: Stereo mikroskop, b: Polarizan mikroskop altındaki çift nikol görüntüleri (Kvs: Kuvarsit; Fp: fosil parçası, F: Feldspat).

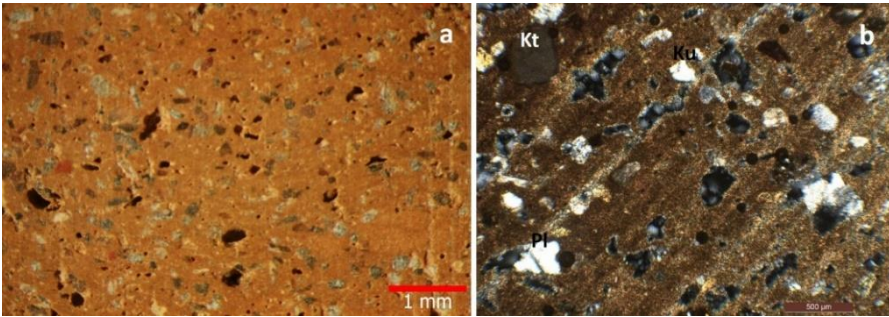
- ❖ Yıldız sarayı zemin döşemelerinde kullanılan örnek, yeşil boya içeriğinde çimento harcıdır. Örneğin bağlayıcı alanı %20-25 oranında olup, bağlayıcının kendi ve agrega ile fazı oldukça iyi durumdadır. Örnek içerisinde %0,5-1 oranında kuvars, %2-3 oranında kireçtaşı parçaları bulunup, örneğin kalan kısmı köşeli formda kayaç parçalarından oluşmaktadır. Örnek içerisinde boşluk dolguları bulunmaktadır. Harçlarda gelişen reaksiyon sonucunda minerallerin yapısı değişerek mineraller lifsi özellik kazanmıştır. Boşluk dolguları içerisinde bu mineraller bulunmaktadır (Şekil 14).





**Şekil 14:** Çimento Harcı örneğinin farklı kesimlerinden çekilmiş a: Stereo mikroskop, b: Polarizan mikroskop Altındaki çift nikol görüntüleri (Kp: Kayaç parçası; F: Feldispat).

- ❖ Demir çağı döneminde kullanılmış olan seramik örneği açık turuncu renkli, bağlayıcı agrega oranı %35-40 oranında olup, içerisinde kiltası parçaları, opak mineraller, feldispat (plajiyoklaz), kuvars, kireçtaşı ve diğer kayaç parçaları bulunmaktadır. Örneklerin agregaları ince taneli olup, nispeten homojen bir dağılım sunmaktadır. Hamuru oluşturan kısım hafif yönlenmiş gibi gözlenmektedir.



**Şekil 15:** Urartu Krallığı'nın başkenti Van Kalesi'nden kazılan Orta Demirçağı Dönemi'ne ait seramik örneğinin farklı kesimlerinden çekilmiş a: Stereo mikroskop, b: Polarizan mikroskop altındaki çift nikol görüntüleri (Ku:Kuvars, Pl: Plajiyoklaz, Kt: Kiltası).

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Tarihi yapıların restorasyon çalışmalarında, harç ve sıva malzemelerinin çoğunlukla yeniden üretilmesi, doğal taşların ise yerinde sağlamlaştırılması ya da eğer ulaşılabiliriyorsa güncel örnekleri ile taş değişimi söz konusu olmaktadır. Tarihi yapıların koruma ve onarım çalışmalarında uygun malzeme seçimi önemli bir kriterdir. Seçilecek yeni malzemenin, yapıda kullanılmış olan özgün malzeme ile benzer özellikler taşıması, özgün yapısı ile uyumlu olması gerekmektedir. Tarihi yapıların karakteristik bölgelerinden alınan harç, sıva, taş ve tuğla gibi malzemeler üzerinde kimyasal fiziksel, mekanik mineralojik ve petrografik analizler yapılarak, bu malzemelerin dönemsel olarak ayırt edici özellikleri belirlenebilmektedir. Tarihi yapı malzemeleri üzerinde yapılan mineralojik ve petrografik analizler ile;

-Tarihi yapı taşlarının mineralojik bileşimi ve dokusal özellikleri belirlenerek, taşın türü tespit edilmektedir.

- Tuğlaların içeriğinde bulunan minerallerin tespit edilmesi sonucunda, tuğlaların üretim teknolojileri ve pişme sıcaklıkları belirlenebilmektedir.

-Harç ve sıvaların bağlayıcı/agrega oranı, içeriğinde kullanılan agrega türleri ve katkı maddeleri tespit edilmekte, harç ve sıvaların üretim teknolojileri ortaya konmaktadır.

Tarihi yapı malzemeleri ait oldukları dönem ile ilgili teknolojik, mimari, tarihsel ve sanatsal bilgileri içermektedir. Bu sebeple tarihi yapılarda kullanılan bu malzemelerin özelliklerinin ve üretim teknolojilerinin doğru ve bilimsel bir şekilde belirlenmesi, yapının kültürel miras olarak belgelenmesine katkı sağlamaktadır. Tarihi yapıların korunması için restorasyon sırasında kullanılacak olan yapı malzemeleri üzerinde yapılacak mineralojik-petrografik analizler son derece gereklidir ve bu sürece önemli katkı sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

Adam J.P. (2005). Roman building materials and techniques (First published in 1937), Çeviri: Anthony Mathews, Routledge, Londra&New York, İngiltere&A.B.D.

Ahünbay, Z. (1988). Mimar Sinan yapılarında kullanılan yapım teknikleri ve malzeme

Akman, M. S. (2003). Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi, TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426, 30-36.

Ashurst, J. and Ashurst, N. (1990). Mortars, plaster and renders, practical building conservation, *English Heritage Technical Handbook*, vol. 3, Gowwer Technical Press, s. 1-15, 27-28.

Atikoğlu, C., Tavukçuoğlu, A. (2017). Nitelikli tarihi tuğlalar ile ilişkili olarak günümüz harman tuğlalarının performans özelliklerinin incelenmesi, *4. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Yapı Sektöründe Yenilikçi Yaklaşımlar*, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi ve Antalya Şubesi, 1-18.

Baturayoğlu Yöney, N., Ersen, A. (2010). Yüzyıl dönümünde İstanbul'da yapı dış cephelerinde kullanılan yapay taşların mimari değerlendirmesi, *İTÜ Dergisi/Mühendislik* Cilt:9, Sayı:1, 91-103 Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık- Restorasyon Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul.

Boynton R. S. (1966). Chemistry and technology of lime and limestone, John Wiley & Sons, New York.

Borelli, E. (1999). Binders, Conservation of architectural heritage, historic structures and materials: Porosity, *ARC Laboratory Handbook*, vol. 4, ICCROM, S.p.A., Roma.

İpekoğlu B., Böke H., Çizer, Ö. (2007). Assessment of material use in relation to climate in historical buildings, *Building and Environment*, 42(2): 970-978. Doi: 10.1016/j.buildenv.2005.10.029

Çiftçi, A., Yergün, U. (2012). Osmanlı mimarlığının modernleşme sürecinde temel bir yapı malzemesi: Tuğla, esenler belediyesi, Şehir Düşünce Merkezi Şehir Yayınları, Modernite ve Mimari, 8. Bölüm, 179-191.

Çizer, Ö. Böke H., İpekoğlu B. (2004). “Bazı Osmanlı dönemi hamam yapılarının kubbe ve duvarlarında kullanılan kireç harçların özellikleri”, *II. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi*, TMMOB Mimarlar Odası Büyükkent Şubesi, 1-13.

Erkan, Y. (2006). Magmatik petrografi, TMOOB Jeoloji Mühendisi Odaları, Isbn:9944-89-062-6, Ankara.

Eroğlu, M., Akyol, A. A. (2017). Antik yapı malzemesi olarak tuğla ve kiremit: Boğsak adası Bizans yerleşimi örnekleme, e-ISSN 2149 – 6595, 141-163.

Folk, R.L. (1962). Spectral subdivision of limestone types. In W.E. Ham (ed), *Classification of carbonat rocks*; Amer. Assoc. Petroleum Geologist Mem.,1, 62-84.

Grün, R. (1951). İnşaat mühendisleri ve mimarlar için kimya, Serdaroğlu N. tercümesi, İTÜ 279 No. Yayın, İstanbul.

Işık, N. (2019). Aspendos'ta tarihi yapılarda kullanılan harçların özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.

Karahan, D. S. (2018). Dünyada ve Türkiye’de doğal taşlar, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, MTA.

Kinder, H., Hilgemann, W. (1964). D.T.V. Atlaszur Weltgeschichte, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH, München.

Kozlu, H. H. (2010). *Kayseri* yöresindeki tarihi harçların karakterizasyonu ve onarım harçlarının özellikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, s. 11-27.

Kurugöl, S. (2017). Puzolan, özellikler, puzolonik aktivite ve deney yöntemleri, Birsan Yayınevi, İstanbul.



Lea, F.M. (1940). "Investigations on pozzolanas", *Building Research, Technical Paper No.27*, s.1-63.

Livingston, R. (1993). "Materials analysis of the masonry of the hagia sophia basilica", structural repair and maintenance of historic buildings, II, s.15-32. (ed. C.A. Brebbia, R.J.B Frewer), *Computational Mechanics Publications*, Southampton, U.K.

Massazza, F., Pezzuoli, M. (1981). "some teachings of a roman concrete mortars, cement and grouts used in the conservation of historic buildings", *Proceedings of Symposium In Rome*, s. 219-245.

Moropoulou, A., Cakmak, A., Polikreti, K. (2002) b. Provenance and technology investigation of agia sophia bricks, Istanbul, Turkey, *Journal Of American Ceramic Society*, 85(2), s.366-372.

Müller, C.J. (2005). Pozzolan activity of natural clay minerals with respect to environmental geotechnics. Zurich University of Karlsruhe Doctor of Technical Science.

Sağın, E. U. (2014). Anadolu'da Roma dönemi yapı tuğlalarının özellikleri, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 32:1 205-214

Schalenghe R., Barello F., Saiano F., Ferrara E., Fontaine C., Caner L., Olivetti E., Boni I., Petit, S. (2015). Material sources of the Roman brick-making industry in the I and II Century A.D. from Regio IX, Regio XI and Alpes Cottiae, *Quat. Int.*, 357, 189-206.

Snellings, R., Mertens, G., Elseb, L. (2012). Supplementary cementitious materials. reviews in mineralogy and geochemistry. Vol. 74, s.211-278.

Spence, R. (1974). Lime and surkhi manufacture in india, *Appropriate Techonology*, 1 (4), s.6-8.

Straub H. (1964). History of Civil Engineering, MIT Press, Cambridge MA.

Swallow, P. and Carrington, D. (1995). Limes and lime mortars. *journal of architectural conservation*, 3(1): 2-25.

Tekin, Ç. ve Kurugöl, S. (2012). Çeşitli organik katkıların kirecin karbonizasyonu üzerindeki etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4: 717-728.

Temizel, K. E. (1998). Samsun ili Bafra ilçesi Kızılırmak havzasındaki doğal agrega ocaklarından alınan agregaların ve bu agregalardan üretilen betonun bazı özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 69 s.

Torraca, G. (1982). Porous building materials materials science for architectural conservation, *ICCROM*, Roma.

TS 30, (1993). Kireçler-söndürülmemiş-yapılarda *kullanılan*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 5694 EN-12670, 2004. Doğal taşlar-terimler-tarifler

Winkler, H.G.F. (1966). Metamorfik kayaçların oluşumu, İTÜ Müh. Mimarlık Fak. Yayınları No:118, 223s.

# BÖLÜM 3

## SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNALAR İÇİN BETONDA ALTERNATİF BAĞLAYICI BİLEŞENLERİN POTANSİYEL KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

*Doç. Dr. Arife AKIN<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,

e-mail: aakin@ktun.edu.tr

Orcid ID: 0000-0002-8062-2891

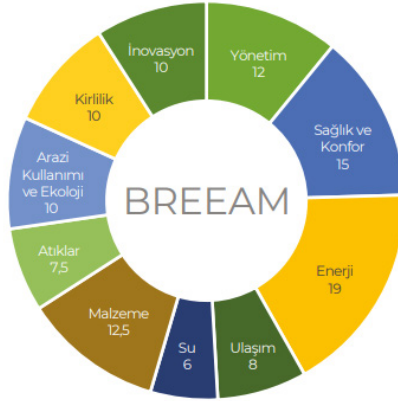
## 1. Giriş

Sürdürülebilirlik sözlükte, “kaynağın tüketilmeyecek veya kaynağa sürekli zarar verilmeyecek şekilde değerlendirilmesi veya kullanılması” olarak tanımlanmaktadır (Kımillı, 2006). 1987’de Brundtland komisyonunun yaptığı genel bir tanımda ise, “Sürdürülebilirlik, mevcut insan ihtiyaçlarının, gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme kabiliyetini riske atmadan yani gelecek kuşakların yaşamlarına zarar vermeden bugünkü ihtiyaçlarımızı karşılayabilme yeteneğidir” anlamına gelir. Sürdürülebilirlik kavramı, çevresel, ekonomik ve sosyal faktörleri kapsar. Bu fikir, doğal kaynakların korunması, çevre dostu politikaların uygulanması, ekonomik büyümenin adil ve dengeli olması ve toplumsal refahın artmasıdır.

Günümüzde ortaya çıkan pek çok sorunun kaynağı, 1970’lerde sanayi devrimi ile ortaya çıkan sistemlerin uzun vadeli olmamasıdır. Sanayi devriminden önce, savaşlardan kaynaklı olarak nüfusun az olması gibi nedenlerle ortaya çıkan sorunlar belirgin olmamakla birlikte, kısa bir süre sonra çeşitli sanayi kollarının artması, hızlı nüfus artışı, doğal kaynakların azalması ve yenilenemeyen malzemelerin ve enerjilerin kullanılması, küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Tufan & Özel, 2012). Dünyada yaşanan bu değişiklikler, Birleşmiş Milletler’in yerel, ulusal ve uluslararası araştırma ve konferansları düzenlenmesine yol açmıştır. Bunlardan ilk olarak 1972 yılında Stockholm’de gerçekleştirilen “İnsan ve Çevre Konferansı”nda çevresel konular ele alınmış ancak gelişmekte olan ülkelerde, çevrenin korunması ve kalkınma ihtiyacı iki ayrı konu olarak ele alındığı için konferansın etkisi sınırlı kalmıştır. 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından “Ortak Geleceğimiz” başlığı ile bir rapor yayınlanmıştır (Brundtland Raporu). Bu raporda ilk defa sürdürülebilir kalkınma kavramından bahsedilmiş ve uluslararası toplumun ekonomi, sosyal ve çevresel konulara karşı tutumu değişmiştir. Ardından çeşitli yıllarda gerçekleştirilen konferanslar ve toplantılar ile sürdürülebilir kalkınma başlığı farklı bakış açılarıyla ele alınmıştır.

İnşaat sektörünün hızla geliştiği günümüzde, çevresel etkileri en aza indirme ve doğal kaynakları verimli bir şekilde kullanma ihtiyacı önem kazanmıştır. Bu bağlamda, sürdürülebilir yapı malzemeleri kavramı önemli bir yere sahiptir. Sürdürülebilir yapı malzemeleri, inşaat ve tasarım süreçlerinde çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla seçilen ve kullanılan malzemeleri tanımlar. Bu malzemelerin seçiminde, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak, doğal kaynakları dengeli bir şekilde tüketmeyi ve çevresel etkileri en aza indirmeyi hedefler. Bu, hem yapıların inşa edilmesi aşamasında hem de işletilmesi sürecinde enerji tasarrufu, su yönetimi ve çevre dostu uygulamaların benimsenmesi anlamına gelir.

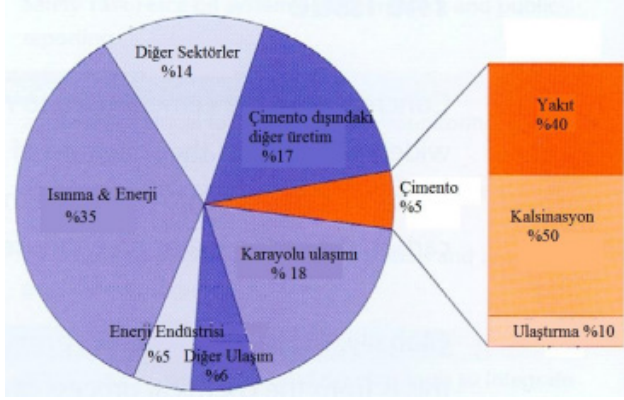
Son on üç yılda, ülkemiz yapı sektöründe sürdürülebilirlik ile ilgili olarak önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Amerika Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) tarafından geliştirilen LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ve İngiliz Araştırma Enstitüsü (BRE) tarafından geliştirilen BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) yeşil bina değerlendirme sistemleri, Türkiye’de 600’e yakın yeni ve mevcut bina için uygulanmıştır. Değerlendirme sistemlerinde enerji verimliliği önemli bir paya sahiptir. BREEAM değerlendirme sistemlerinde yeni yapılar kategorisindeki kriterler önem derecesine bağlı olarak puanlanmaktadır (Şekil 1). Özellikle binalarda, tehlikeli ve zehirli içeriğe sahip olmayan, düşük içerikli enerjiye sahip malzemelerin tercih edilmesi ve bu malzemelerin etkin kullanılması da önemli konu başlıkları arasında yer almaktadır.



Şekil 1. Yeni yapılar kategorisindeki kriterlerin puan dağılımı (Küçükil, 2021)

Enerji tüketimimizin %80’inden fazlası, doğal gaz, petrol, kömür ve fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen ve kirlenilen enerji kaynaklarına bağlıdır. Bu malzemeler bol miktarda, kolayca erişilebilir ve ucuzdur (Nasr et al., 2023). İnşaat malzemesi üretiminin, fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan doğal kaynakların tükenmesi ve sera gazı emisyonları üzerinde büyük etkisi vardır, dolayısıyla küresel iklim değişikliğini ve ozon tabakasının incelmelerini etkilemektedir. Öte yandan yapı malzemeleri, binalardaki enerji tüketimini büyük ölçüde belirlemekte ve çevresel etkilere neden olmaktadır (Stevulova et al., 2022). Çevreye duyarlı bir kültür yaratmak için enerji verimliliği sağlayan politikalar, uygulamalar ve davranışlar benimsenmelidir. Bu, sera gazı emisyonu ayak izinin birincil nedeni olduğu için karbona odaklanmayı gerektirmektedir (Jin et al., 2012). İnşaat sektörü, yaklaşık %80’i fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının %40’ına neden olmaktadır. Çimento endüstrisi bu emisyonların büyük bir kısmından sorumludur ve dünyadaki karbondioksit salınımının

%5'ini oluşturur (Şekil 2). Üretilen her bir ton çimento 0,6 ton karbondioksit salınımına neden olmaktadır (Pizoń, 2023).



Şekil 2. Dünya çapında çimento üretiminin CO<sub>2</sub> salınım oranı (Gönen et al., 2012)

Bu çalışmada, çimento üretimi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının çevreye olan olumsuz etkilerini azaltabilme amacıyla, çimentoya alternatif bağlayıcı bileşen olarak atık malzemelerin potansiyel kullanımları literatürden yola çıkılarak değerlendirilmiştir.

## 2. Atık Malzemelerin Çimento İkame Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi

Atık malzemelerin çimento üretiminde ikame malzemesi olarak kullanılması, hem doğal kaynakların korunmasına katkı sağlamak hem de atık yönetimi sorunlarına çözüm bulmak adına önemli bir adımdır. Beton üretiminde genellikle kum, çakıl ve çimento gibi doğal kaynaklar kullanılır. Ancak, bu kaynakların sınırlı olması ve çimento üretiminin çevresel etkileri göz önüne alındığında, atık malzemelerin kullanılması çevre dostu bir yaklaşım sunar.

Beton endüstrisinde kullanılan atık malzemeler yapay ve doğal atıklar olarak iki başlık altında sınıflandırılabilir. Geçmişten günümüze yapılan çalışmalar incelendiğinde puzolanik karakterde olan yapay atık malzemelerden uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi endüstriyel atıkların beton üretiminde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu malzemelerin yaygın kullanım şekli, çimentonun belirli bir yüzdesi ile yer değiştirilerek betona ilavesi şeklindedir. Bunun dışında betonda ince taneli malzeme ile yer değiştirilerek dolgu malzemesi olarak ve çimento üretiminde klinker ile birlikte kullanılarak katkı çimento türlerinin üretimi de mevcuttur. Betonda kum yerine geri dönüştürülmüş atık malzemelerin kullanılması, doğal kaynakların tükenmesini azaltır ve çevre üzerindeki etkileri en aza indirir. Ayrıca, atıkların çimento üretiminde ikame malzemesi olarak de-

ğlendirilmesi, depolama alanlarındaki atık miktarını azaltarak çevresel kirliliği azaltır. Bu yöntem aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlar, çünkü atık malzemelerin yeniden kullanılması, yeni çimento üretimi için gereken enerjiyi azaltmaktadır. Alüminli ve silisli veya sadece silisli maddeler içeren, az miktarda kendi kendine bağlayıcılığı olan ya da hiç olmayan, buna karşılık oda sıcaklığında su ve kireç ile birlikte kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcı özelliğe sahip ürünler oluşturan toz halindeki malzemelere puzolan adı verilmektedir (U. Özcan & Güngör, 2019). Bilimsel çalışmalar puzolanik endüstriyel atıkların beton üzerindeki etkisine ilişkin çalışmalar açısından zengindir (Asa et al., 2020; Beycioğlu et al.; Ferraris et al., 2001; Hashmi et al., 2021; P. K. Mehta, 1989; Papadakis, 1999).

## 2.1. Uçucu Küller

Dünyada en yaygın ve en çok kullanılan yapay puzolanlardan biri uçucu küllerdir. Pulverize yakıt külleri, özellikle elektrik üretim tesislerinin pulverize kömür ile işleyen fırınlarının toz tutma ünitelerinden sağlanan uçucu küller, toprak kirliliği, hava kirliliği, yüzey ve yeraltı su kirliliği, tarımsal arazi ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri olduğu bilinmektedir (U. Özcan & Güngör, 2019). Uçucu külün bileşenleri büyük ölçüde değişir, ancak kömürün kaynağı ve bileşimine göre çoğunlukla önemli miktarda silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ), alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ve kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ) içerir. Uçucu kül, 10 ile 100 mikron arasında değişen tanecik boyutları ile Portland çimentosuna nazaran daha ince bir yapıya sahiptir (Şekil 3). Uçucu küller değişen oranlarda kullanıldığında betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini etkilerler. Kimyasal ve tanecik özellikleri ile puzolanik karakterleri betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli unsurlardır. Uçucu küller genel olarak taze betonun işlenebilirliğini artırır, hidrasyon ısısını ve termal çatlakları azaltır ve çoğunlukla ileri yaşlarda kompozitin dayanım ve dayanıklılık özelliklerini geliştirirler (Li et al., 2022). Şahmaran ve çalışma ekibi tarafından gerçekleştirilen pek çok bilimsel çalışmada ECC (Mühendislik özellikleri geliştirilmiş beton) olarak tanımlanan içerisinde yüksek oranda uçucu kül bulunan kompozitin dayanım ve dayanıklılık özellikleri ele alınmıştır (Özbay et al., 2013; Sahmaran et al., 2015; Şahmaran & Li, 2009; Şahmaran et al., 2012). Son dönemlerde sürdürülebilirlik ve çevre bilincinin etkileriyle birlikte yoğun ilgi gören ve özel bir beton çeşidi olan jeopolimer betonlarda ise uçucu küller ve diğer puzolanik atık malzemeler portland çimentosu kullanılmaksızın alkali aktivatörlerle birlikte bağlayıcı olarak kullanılabilir (Meesala et al., 2020; Nuaklong et al., 2016; Taha et al., 2023).



Şekil 3. Uçucu kül

## 2.2. Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Cüruflar çeşitli metalurji tesislerinden elde edilen atık malzemelerdir (Dorum et al., 2009) Elde edildiği sanayi kuruluşlarının ürettiği ana üretim yöntemine bağlı olarak kimyasal kompozisyonları birbirlerinden çok farklılıklar göstermektedir (Tokyay & Erdoğan, 2002). Demir-çelik tesislerindeki yüksek fırınlarda, demir üretimi sırasında ortaya çıkan yan ürün, yüksek fırın cürufu (YFC) olarak bilinir (Şekil 4). Havada soğutma yöntemi, YFC'yi minerolojik olarak iri kristalli bir madde haline getirir ve camsı fazı düşük bir madde elde edilir. Bu şekilde kırılarak beton ve asfalt agregası veya stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilir. Basınçlı hava ve buhar etkisiyle kontrollü miktarda su ile soğutulduğunda gözenekli yapıda iri kristal taneli bir malzeme oluşur. Bu malzeme hafif olduğu için hafif beton yapımında kullanılabilir. Daha fazla su kullanılarak yapılan ani soğutma işleminde, kuma benzer amorf (camsı) bir yapıya sahip granüle bir malzeme oluşur. Değirmende öğütülen bu madde “öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu” olarak elde edilir (Bilim & Atış, 2011). Kimyasal bileşimi esas olarak  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 'den oluşmaktadır (Erdoğan et al., 2021). Puzolanik karakterde olan YFC'nun, tek başına bağlayıcılık özelliği çok az olup, kireç ve suyun varlığında bağlayıcılık özelliği kazanabilmektedir. Uçucu küle benzer şekilde kullanım oranı ve inceliğine bağlı olarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini önemli derecede etkiler (Özkan, 2006). Taze halde betonun; işlenebilirlik ve pompanabilirliğin artması, terlemenin azalması, hidrasyon ısısının düşmesi gibi özelliklerini olumlu yönde etkilerken, priz süresinin uzaması ve buna bağlı olarak kür süresinin uzaması gibi olumsuz etkileri de olabilmektedir. Sertleşmiş betonda daha boşluksuz bir beton bünyesi elde edilmesiyle nihai dayanımda artış, sülfat ve asit etkisine karşı dayanıklılık gibi olumlu etkileriyle beraber, erken dayanımın düşük olması, alkali silika reaksiyon riskinin ve korozyonun artması gibi olumsuz etkileri de olabilmektedir. Sahip olduğu özellikleriyle betonda mineral katkı malzemesi olarak kullanımı ile birlikte yaygın olarak katkı



çimento üretiminde de kullanım alanı bulunmaktadır. Her iki yöntemde de betonda yer alan çimento miktarının azalmasına katkıda bulunmaktadır. YFC kullanımı, farklı amaçlarla üretilen özel betonlarda da tercih edilebilmektedir. Bunlar; kendiliğinden yerleşen betonlar (Dumangöz, 2014; Sönmez, 2008; Şeker, 2019), ECC (Keskin & Keskin, 2019; Kına & Türk, 2017; Lim et al., 2012), geopolimer betonlar (A. Mehta & Siddique, 2018; A. Özcan & Karakoç, 2019; Reddy et al., 2018).

Yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel atıkların yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi çevreye olumlu etkilere sahip bir ürün olarak öne çıkmalarını sağlamıştır. Yüksek fırın cürufu betonlar daha az çimento içerdiğinden daha az CO<sub>2</sub> ve daha az zararlı gaz emisyonuna neden olur (Topçu & Karakurt, 2007). Endüstriyel bir atık olduğu için üretiminde elektrik sarfiyatı oldukça düşük, fosil yakıt kullanımı ve kalsinasyona ise ihtiyaç duyulmamaktadır (Yuksel, 2018).



a) Genleştirilmiş YFC

b) Granüle YFC

c) Ögütülmüş YFC

Şekil 4. Elde edilmişlerine göre farklı boyutlarda yüksek fırın cürufu (Engin, 2015)

### 2.3. Silis Dumanı

Silis dumanı, Silisyum ve alaşımlarının üretiminde ortaya çıkan bir yan ürün olup amorf yapıda bir tozdur (Şimşek et al., 2004). Ortalama 150 nanometre partikül çapına sahip küresel partiküllerden oluşur (Şekil 5). Yukarıda anılan diğer endüstriyel atıklar gibi betonda mineral dolgu malzemesi olarak ve puzolanik malzeme olarak kullanılabilir. Çimentonun suyla reaksiyonu sonucu yan ürün olarak açığa çıkan Ca(OH)<sub>2</sub> ile tepkimeye girerek ilave C-S-H jelinin oluşmasını sağlar. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufuna göre daha reaktif bir puzolanik malzemedir (Biniçi et al., 2013). Betona silis dumanı katkısı, çimento ile suyun arasındaki hidratasyon reaksiyonunu kimyasal olarak etkilediği gibi aynı zamanda fiziksel yönde de etkiler. Çok ince olmasından dolayı yüzey alanı çok yüksektir. Bu sayede kimyasal reaksiyonu hızlandırarak betonun dayanım kazanma hızını artırır. Karışım tasarımında süperakışkanlaştırıcı kullanılması önemlidir (Sümer & Sarıbiyık, 2013). Çimento ile ikame yönteminde uçucu kül ve cürufa göre daha düşük oranlarda karışıma dahil edilmektedir. Silis dumanı, agrega ile çimento hamuru arasındaki geçiş bölgesinin özellikleri üzerinde önemli derecede etkilidir. Aralarındaki geçiş fazının kalınlığı, sadece portland çimentosu ile hazırlanan karışımlara göre daha kalındır (M. I. Khan & Siddique, 2011). Bu sayede silis dumanı katkılı be-

tonların basınç dayanımı arttığı gibi çevresel etkilere karşı dayanıklılığı da artar (Binici et al., 2013). Silis dumanının betonun basınç dayanımını önemli derecede arttırması, özellikle yüksek performanslı betona ihtiyaç duyulan uygulamalarda tercih edilmesine sebep olmaktadır. Uygulama alanları arasında, yüksek dayanımlı veya erken dayanımlı prefabrik beton elemanların üretilmesi, yol kaplamaları, aşınma etkilerine ve zararlı çevresel etkilere maruz kalan yapılar, deniz yapıları ile onarım ve güçlendirme işleri sayılabilir.



Şekil 5. Silis Dumanı

#### 2.4. Cam Tozu

Cam tozu, temiz cam malzemelerinin öğütülmesi ile elde edilir (Şekil 6). Amorf bir yapıya sahip ve içeriğindeki silis oranı %70'in üzerindedir. Yapılan araştırmalar tanecik boyutunun 75 mikronun altında olması durumunda puzolanik bir özellik gösterdiğini kanıtlamıştır (Raju & Kumar, 2014; Uzun et al.; Yücel, 2018). Laboratuvar ölçeğinde, cam tozunun farklı incelik ve çimento ile değişim oranlarında, betonun basınç dayanımına, işlenebilirliğe ve farklı çevresel etkilere karşı dayanıklılığa etkilerinin sunulduğu çok sayıda başarılı çalışma mevcuttur (Idir et al., 2010; A Tagnit-Hamou, 2013; Arezki Tagnit-Hamou et al., 2016; Zheng, 2016; A Zidol, 2009; Ablam Zidol et al., 2017). Bununla birlikte sınırlı olmakla birlikte saha uygulamalarına yönelik deneysel çalışmalara da rastlamak mümkündür (Omran & Tagnit-Hamou, 2016; Shayan & Xu, 2006). Cam tozunun çimento ikame malzemesi olarak kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, düşük su emme özelliği sayesinde taze halde betonun işlenebilirliğini arttırdığı, sertleşmiş halde kılcallığı azalttığı, ilk günlerde katkısız betona göre artan cam tozu oranlarında dayanımın düşme eğiliminde olduğu, ancak 28 ve sonrası günlerde bu düşüşün giderek azaldığı gözlenmiştir (Hasgül & Bıçakçoğlu, 2022; Jain et al., 2020; Vijayakumar et al., 2013).



Şekil 6. Cam tozu

### 2.5. Mermer Tozu

Her yıl, mermer işleme tesislerinde ortaya çıkan tonlarca mermer tozu atığının değerlendirilmesi, çevre kirliliğini azaltmak için hayati önem taşımaktadır (Yazıcıoğlu & Kara, 2017). Mermer atıkları, parça boyutu nedeniyle işleme tesisinden iki farklı ürün olarak çıkabilir. İri boyutlu parça mermer atıkları ilk ürün olarak kullanılırken, ikinci ürün, koloidal yapıda büyük miktarı 150 mikronun altında olan ve maksimum parça boyutu 2 mm olan kesim tozu atığıdır (Şekil 7). İri boyutlu parça atıklar inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılabilirken, ince boyutlu olanlarında betonda ince malzeme olarak kullanıldığını gösteren araştırmalar mevcuttur. Birçok ülkede, mermer tozları ve toz atıkları çimento, boya, seramik, cam gibi çeşitli malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır (Erdem & Öztürk, 2012). Yapılan çalışmalarda genel olarak mermer tozunun çimentolaşma kabiliyetinin zayıf olduğu, bununla birlikte su talebinin gerekli miktarda akışkanlaştırıcı ile karşılanması durumunda, ince taneli yapısı sayesinde gözenekleri doldurma etkisiyle betonun durabilite özelliğine katkı sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Andre et al., 2014; Binici et al., 2007; Ergün, 2011; Manpreet Singh et al., 2017).



Şekil 7. Mermer tozu

## 2.6. Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç kabuğu, tohumları fiziksel hasardan ve büyüme mevsimi boyunca patojenlerin, böceklerin ve haşerelerin saldırılarından korumak için pirinç bitkisinin tohumlarının veya tanelerinin kaplamasıdır ve öğütme işlemi sırasında tanelerden ayrılır (Endale et al., 2022) (Şekil 8a). Pirinç kabuğu külü, çeşitli özellikleri nedeniyle birçok uygulama alanına sahiptir. İyi bir yalıtıcıdır ve bu özelliği ile çelik dökümhaneler, refrakter tuğlaların üretimini içeren endüstriyel süreçlerde uygulamaları vardır (-Ramezianpour, 2014). Aktif bir puzolandır, böylece çimento ve beton endüstrisinde de kullanıma elverişlidir (Marangu et al., 2020). Pirinç kabuğunun kimyasal bileşiminin; çeltik türü, mahsul yılı, iklim ve coğrafi koşullardaki farklılıklar nedeniyle değiştiği görülmüştür. Kabuğun 800 °C'nin altında kontrollü sıcaklık altında yakılması ile esas olarak amorf formda silika içeren kül üretebilir (Chandrasekhar et al., 2003) (Şekil 8b). Yapılan çalışmalar neticesinde, pirinç kabuğu külünün farklı oranlarda çimento ile ikame edilmesiyle, ince taneli olması ve dolayısıyla yüzey alanındaki artışa bağlı olarak betonun su talebini arttırdığı, bu durumun süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımını zorunlu kıldığı, diğer puzolanik malzemelerde olduğu gibi çimentoya göre daha yavaş reaksiyona girebildiği için betonun erken yaş dayanımını düşürdüğü, kimyasal saldırılara maruz kalan betonlarda ise dayanıklılığı arttırdığı gözlenmiştir (R. Khan et al., 2012; Soni & Ojha, 2021).



a) Kalsinasyon öncesi



b) Kalsinasyon sonrası

Şekil 8. Pirinç kabuğu külü (Bagcı et al., 2023)

## 2.7. Kırmızı Çamur

Kırmızı çamur, bayer prosesi ile boksit cevherinden alümina elde edilmesinde ortaya çıkan bir atık üründür. Boksit cevherinin yaklaşık %40'ı kırmızı çamur olarak ortaya çıkar. İçerisindeki demir oranı yüksek olduğu için rengi kırmızıya yakındır. Boksit cevheri kaynağına göre kimyasal ve mineralojik bileşimi değişkenlik gösterebilir. Tane boyutu yaklaşık 80 µm civarındadır. İnşaat sektöründe; çimento üretimi, tuğla, seramik ve hafif yapı malzemelerinin üretimi, toprakların geliştirilmesi ve yol inşaatlarında kullanım alanları bulunmaktadır. Kırmızı çamurun yapı malzemesi

olarak geri dönüştürülmesi, diğer endüstriyel atıklarda olduğu gibi depolanmasından kaynaklanan çevresel yükün azaltılmasında etkili bir yöntem olarak düşünülmektedir. Çeşitli araştırmacılar %5'e kadar kırmızı çamur ilavesiyle çimentonun, sıradan portland çimentosuyla karşılaştırılabilecek basınç dayanımına ulaşabildiğini rapor etmişlerdir (Vangelatos et al., 2009). Singh ve ark. ise %20-%50 civarında kırmızı çamur kullanılarak çimento üretilebileceğinin mümkün olduğunu, ancak çimento kalitesini garanti edebilmek için çeşitli dengeleyici bileşenlere ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir (Maneesh Singh et al., 1997). Literatürde kırmızı çamur bazlı tuğla üretiminin potansiyeli araştırılmıştır. %40'a kadar kırmızı çamur içeren tuğlaların iyi mekanik özellikler sergileyebildiği, artan oranlarda ise dayanımda düşüşler gösterdiği gözlenmiş, ancak radyoaktivitesi yüksek olan kırmızı çamurun yüksek oranda geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılmasını önermişlerdir (H. He et al., 2012). Son dönemlerde araştırmacılar arasında yoğun ilgi gören jeopolimerlerin hazırlanmasında da kırmızı çamurun kullanımı değerlendirilmiştir (Kumar & Kumar, 2013). Yapılan çalışmada özel bir jeopolimer geliştirerek %5 kırmızı çamur kullanım durumunda dayanımda artış gözlenirken, daha yüksek oranlarda ise dayanımın düştüğü sonucuna varmışlardır. Kırmızı çamurun diğer puzolanik geri dönüşüm malzemelerinin kısmi ikamesi olarak jeopolimer kompozitlerde kullanımı ile kabul edilebilir basınç dayanımlarına ulaşabildiği rapor edilmiştir (J. He et al., 2013; Hu et al., 2018; Yang et al., 2019). Ayrıca kırmızı çamurun çimento esaslı kompozitlerde çimento yerine kullanılabilirliği de araştırılmış, ancak jeopolimer esaslı malzemelere göre kırmızı çamur oranındaki artışa paralel olarak mukavemette belirgin düşüşler olduğu gözlenmiştir (Ghalehnovi, Roshan, et al., 2019; Ghalehnovi, Shamsabadi, et al., 2019; Venkatesh et al., 2020). Bu şekilde kullanımında kırmızı çamurun kalsinasyon işlemine tabi tutulmasıyla %30 oranında kırmızı çamur kullanımının katkısız referans numuneyle yakın dayanım değerleri verdiği de elde edilen sonuçlar arasındadır (Luo et al., 2019).

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada günümüzün artan bir problemi olan çevre kirliliği karşısında daha sürdürülebilir bir yapılaşmayı destekleyici, literatürde yer alan çeşitli yapı malzemelerinin kullanım performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yukarıda bahsi geçen malzemeler sıklıkla beton üretiminde çeşitli şekillerde ve/veya aşamalarda kullanılarak çimento kullanımını kısıtlamayı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte bazı malzemeler yine beton üretiminde yüksek hacimlerde kullanılan doğal agregalar yerine de tercih edilebilmektedir. Ayrıca konu edilen ve bunların dışında kalan çeşitli geri dönüştürülebilir malzemeler, inşaat sektöründe çeşitli amaçlarla (örneğin tuğla, seramik, yalıtım malzemesi, çeşitli kaplama malzemeleri vs.) değerlendirilebilmektedir.

Atık malzemelerin inşaat sektörü ve diğer endüstriyel alanlarda değerlendirilmesi çevresel sürdürülebilirliği artıran ve doğal kaynakları koruyan bir stratejidir. Bu yaklaşım, atık yönetimi sorunlarına çözüm sunarken, aynı zamanda enerji tasarrufu ve çevre dostu uygulamaların teşvik edilmesine katkıda bulunur. Bu amaçla yapılan akademik çalışmalar ve üretilen fikirler, çevresel olumsuz etkilerin azaltılmasında ve bu sayede gelecek nesillere daha sürdürülebilir bir çevre bırakma noktasında önemli adımlardır.

## Kaynaklar

- Andre, A., de Brito, J., Rosa, A., & Pedro, D. (2014). Durability performance of concrete incorporating coarse aggregates from marble industry waste. *Journal of Cleaner Production*, 65, 389-396.
- Asa, E., Shrestha, M., Baffoe-Twum, E., & Awuku, B. (2020). Development of sustainable construction material from fly ash class C. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(6), 1615-1640.
- Bagcı, C., Karacif, K., Alkan, B., & Arık, H. (2023). Pirinç Kabuğu Külü Esaslı SiC Parçacıkların Geopolimer Kompozitlerde Takviye Elemanı Olarak Kullanımı. *Politeknik Dergisi*, 1-1.
- Beycioğlu, A., Başıyigit, C., & Subaşı, S. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması.
- Bilim, C., & Atiş, C. D. (2011). Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren harçların aşınma ve mukavemet özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 101-107.
- Binici, H., Eken, M., & Dinçer, A. (2013). Silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı betonların bazı durabilite özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 11-21.
- Binici, H., Kaplan, H., & Yılmaz, S. (2007). Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete. *Scientific Research and Essay*, 2(9), 372-379.
- Chandrasekhar, S., Satyanarayana, K., Pramada, P., Raghavan, P., & Gupta, T. (2003). Review processing, properties and applications of reactive silica from rice husk—an overview. *Journal of materials science*, 38, 3159-3168.
- Dorum, A., Koçak, Y., Yılmaz, B., & Uçar, A. (2009). Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine ve Hidratasyona Etkileri. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*(019), 47-58.
- Dumangöz, M. (2014). Mermer tozu ve yüksek fırın cürufu katkılı kendiliğinden yerleşen betonların reolojik ve kalıcılık özellikleri. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*,
- Endale, S. A., Taffese, W. Z., Vo, D.-H., & Yehualaw, M. D. (2022). Rice husk ash in concrete. *Sustainability*, 15(1), 137.
- Engin, Y. (2015). Yüksek Fırın Cürufu ve Yüksek Fırın Cürufu Çimento Üretimi, Özellikleri, Etkileri. Retrieved from [www.betonvecimento.com](http://www.betonvecimento.com)
- Erdem, R. T., & Öztürk, A. U. (2012). Mermer tozu katkısının çimento harcı donma-çözünme özellikleri üzerine etkisi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 85-91.
- Erdoğan, Ş., Kurbetci, Ş., Kandil, U., Nayır, S., & Nas, M. (2021). Yüksek Fırın Cürufu Betonların Bazı Mekanik ve Durabilite Özellikleri. *Hazır Beton*(167).



- Ergün, A. (2011). Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete. *Construction and building materials*, 25(2), 806-812.
- Ferraris, C. F., Obla, K. H., & Hill, R. (2001). The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. *Cement and concrete research*, 31(2), 245-255.
- Ghalehnovi, M., Roshan, N., Hakak, E., Shamsabadi, E. A., & De Brito, J. (2019). Effect of red mud (bauxite residue) as cement replacement on the properties of self-compacting concrete incorporating various fillers. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118213.
- Ghalehnovi, M., Shamsabadi, E. A., Khodabakhshian, A., Sourmeh, F., & De Brito, J. (2019). Self-compacting architectural concrete production using red mud. *Construction and building materials*, 226, 418-427.
- Gönen, T., Onur, O., Cemalgil, S., Yilmazer, B., & Altuncu, Y. T. (2012). Beton teknolojisi için yeni atık malzemeler üzerine bir inceleme. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 36-43.
- Hasgül, U., & Bıçakçıoğlu, N. (2022). Ultra yüksek performanslı betonda çimento yerine cam tozu ve/veya yüksek fırın cürufunun kullanılabilirliği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(4), 2241-2258.
- Hashmi, A. F., Shariq, M., & Baqi, A. (2021). An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 283, 122772.
- He, H., Yue, Q., Su, Y., Gao, B., Gao, Y., Wang, J., & Yu, H. (2012). Preparation and mechanism of the sintered bricks produced from Yellow River silt and red mud. *Journal of Hazardous materials*, 203, 53-61.
- He, J., Jie, Y., Zhang, J., Yu, Y., & Zhang, G. (2013). Synthesis and characterization of red mud and rice husk ash-based geopolymer composites. *Cement and Concrete Composites*, 37, 108-118.
- Hu, W., Nie, Q., Huang, B., Shu, X., & He, Q. (2018). Mechanical and microstructural characterization of geopolymers derived from red mud and fly ashes. *Journal of Cleaner Production*, 186, 799-806.
- Idir, R., Cyr, M., & Tagnit-Hamou, A. (2010). Use of waste glass in cement-based materials. *Environnement, Ingénierie & Développement*, 10.
- Jain, K. L., Sancheti, G., & Gupta, L. K. (2020). Durability performance of waste granite and glass powder added concrete. *Construction and Building Materials*, 252, 119075.
- Jin, X., Zhang, X., Cao, Y., & Wang, G. (2012). Thermal performance evaluation of the wall using heat flux time lag and decrement factor. *Energy and Buildings*, 47, 369-374.



- Keskin, B. S., & Keskin, K. Ö. (2019). Tane Boyutu Optimizasyonunun Lif Donatılı Yüksek Performanslı Çimentolu Kompozitlerin Mekanik Ve Kendiliğinden İyileşme Davranışına Etkisi.
- Khan, M. I., & Siddique, R. (2011). Utilization of silica fume in concrete: Review of durability properties. *Resources, Conservation and Recycling*, 57, 30-35.
- Khan, R., Jabbar, A., Ahmad, I., Khan, W., Khan, A. N., & Mirza, J. (2012). Reduction in environmental problems using rice-husk ash in concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 360-365.
- Kımillı, Z. (2006). Depreme Duyarlı Bölgelerde Sürdürülebilir Mimari Tasarım; Isparta/Mavikent Örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Isparta.
- Kına, C., & Türk, K. (2017). Mikromekanik Olarak Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitin (ECC) Kendiliğinden İyileşmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22(3), 115-126.
- Kumar, A., & Kumar, S. (2013). Development of paving blocks from synergistic use of red mud and fly ash using geopolymerization. *Construction and Building Materials*, 38, 865-871.
- Küçükil, Ö. (2021). İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Yeşil Bina Uygulamaları. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
- Li, G., Zhou, C., Ahmad, W., Usanova, K. I., Karelina, M., Mohamed, A. M., & Khallaf, R. (2022). Fly ash application as supplementary cementitious material: a review. *Materials*, 15(7), 2664.
- Lim, I., Chern, J.-C., Liu, T., & Chan, Y.-W. (2012). Effect of ground granulated blast furnace slag on mechanical behavior of PVA-ECC. *Journal of Marine Science and Technology*, 20(3), 11.
- Luo, S., Liu, M., Yang, L., Chang, J., Yang, W., Yan, X., Yu, H., & Shen, Y. (2019). Utilization of waste from alumina industry to produce sustainable cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 229, 116795.
- Marangu, J. M., Muturia M'thiruaine, C., & Bediako, M. (2020). Physicochemical properties of hydrated portland cement blended with rice husk ash. *Journal of Chemistry*, 2020, 1-10.
- Meesala, C. R., Verma, N. K., & Kumar, S. (2020). Critical review on fly-ash based geopolymer concrete. *Structural Concrete*, 21(3), 1013-1028.
- Mehta, A., & Siddique, R. (2018). Sustainable geopolymer concrete using ground granulated blast furnace slag and rice husk ash: Strength and permeability properties. *Journal of cleaner production*, 205, 49-57.
- Mehta, P. K. (1989). Pozzolanic and cementitious by-products in concrete--another look. *Special Publication*, 114, 1-44.

- Nasr, Y., El Zakhem, H., Hamami, A. E. A., El Bachawati, M., & Belarbi, R. (2023). Comprehensive Review of Innovative Materials for Sustainable Buildings' Energy Performance. *Energies*, 16(21), 7440.
- Nuaklong, P., Sata, V., & Chindapasirt, P. (2016). Influence of recycled aggregate on fly ash geopolymer concrete properties. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2300-2307.
- Omran, A., & Tagnit-Hamou, A. (2016). Performance of glass-powder concrete in field applications. *Construction and Building Materials*, 109, 84-95.
- Özbay, E., Şahmaran, M., Lachemi, M., & Yücel, H. E. (2013). Self-Healing of Microcracks in High-Volume Fly-Ash-Incorporated Engineered Cementitious Composites. *ACI Materials Journal*, 110(1).
- Özcan, A., & Karakoç, M. B. (2019). The resistance of blast furnace slag and ferrochrome slag-based geopolymer concrete against acid attack. *International Journal of Civil Engineering*, 17, 1571-1583.
- Özcan, U., & Güngör, S. (2019). Sürdürülebilir Bir Yöntem/Betonda Puzolan Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(15), 176-182.
- Özkan, Ö. (2006). Çelikhane ve yüksek fırın cürufu katkılı portland çimentosunun özellikleri. *Teknik Dergi*, 17(83), 3893-3902.
- Papadakis, V. G. (1999). Effect of fly ash on Portland cement systems: Part I. Low-calcium fly ash. *Cement and concrete research*, 29(11), 1727-1736.
- Pizoń, J. (2023). Fresh, Mechanical, and Thermal Properties of Cement Composites Containing Recycled Foam Concrete as Partial Replacement of Cement and Fine Aggregate. *Materials*, 16(22), 7169.
- Raju, S., & Kumar, P. (2014). Effect of using glass powder in concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 31, 21-427.
- Ramezani-pour, A. A. (2014). Rice husk ash. *Cement Replacement Materials: Properties, Durability, Sustainability*, 257-298.
- Reddy, M. S., Dinakar, P., & Rao, B. H. (2018). Mix design development of fly ash and ground granulated blast furnace slag based geopolymer concrete. *Journal of Building Engineering*, 20, 712-722.
- Sahmaran, M., Yildirim, G., Noori, R., Özbay, E., & Lachemi, M. (2015). Repeatability and pervasiveness of self-healing in engineered cementitious composites. *ACI Materials Journal*, 112(4).
- Shayan, A., & Xu, A. (2006). Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: A field trial on concrete slabs. *Cement and concrete research*, 36(3), 457-468.
- Singh, M., Choudhary, K., Srivastava, A., Sangwan, K. S., & Bhunia, D. (2017). A study on environmental and economic impacts of using waste marble powder in concrete. *Journal of Building Engineering*, 13, 87-95.

- Singh, M., Upadhyay, S., & Prasad, P. (1997). Preparation of iron rich cements using red mud. *Cement and concrete research*, 27(7), 1037-1046.
- Soni, S., & Ojha, D. (2021). A study on use of rice husk ash in concrete. *Journal of Mechanical and Construction Engineering (JMCE)*, 1(1), 1-4.
- Sönmez, H. T. (2008). Yüksek fırın cürufunun kendiliğinden yerleşen betonlara etkileri. *Sakarya Üniversitesi (Turkey)*,
- Stevulova, N., Baltakys, K., Estokova, A., Vaclavik, V., & Dimter, S. (2022). Sustainable Building Materials and Technologies 2020. *Advances in materials science and engineering*, 2022, 1-2.
- Sümer, B., & Sarıbyık, M. (2013). Betonda silis dumanı ve polipropilen lif kullanımının beton özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 17(2), 217-224.
- Şahmaran, M., & Li, V. C. (2009). Durability properties of micro-cracked ECC containing high volumes fly ash. *Cement and Concrete Research*, 39(11), 1033-1043.
- Şahmaran, M., Özbay, E., Yücel, H. E., Lachemi, M., & Li, V. C. (2012). Frost resistance and microstructure of Engineered Cementitious Composites: Influence of fly ash and micro poly-vinyl-alcohol fiber. *Cement and Concrete Composites*, 34(2), 156-165.
- Şeker, O. (2019). Granüle yüksek fırın cürufunun kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisi. *Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*,
- Şimşek, O., Dur, A., & Yaprak, H. (2004). Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Harçların Özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 7(2), 169-179.
- Tagnit-Hamou, A. (2013). Alternative cementitious materials-effect of glass powder on concrete sustainability. Paper presented at the International Congress on Materials & Structural Stability (CMSS), Rabat in Maroc.
- Tagnit-Hamou, A., Soliman, N., & Omran, A. (2016). Green ultra-high-performance glass concrete. Paper presented at the International Interactive Symposium on Ultra-High Performance Concrete.
- Taha, A. R., Al-Attar, A. A., & Ahmed, H. M. (2023). The Effect of Different Design Ratios on the Compressive Strength of Geopolymer Concrete: A Parametric Study Using the Taguchi Method. *NTU Journal of Engineering and Technology*, 2(4).
- Tokyyay, M., & Erdoğan, K. (2002). Cüruflar ve cüruflu çimentolar: TÇMB.
- Topçu, İ. B., & Karakurt, C. (2007). Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun çimento üretiminde katkı olarak kullanımı. 7. Ulusal Beton Kongresi, 395-404.
- Tufan, M. Z., & Özel, C. (2012). Sürdürülebilirlik kavramı ve yapı malzemeleri için sürdürülebilirlik kriterleri. *Uluslararası sürdürülebilir mühendislik ve teknoloji dergisi*, 2(1), 6-13.

- Uzun, M., Çöğürçü, M. T., & Keskin, Ü. S. Cam Tozunun Beton Basınç Dayanımına Etkisi. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2), 42-51.
- Vangelatos, I., Angelopoulos, G., & Boufounos, D. (2009). Utilization of ferro-alumina as raw material in the production of Ordinary Portland Cement. *Journal of Hazardous Materials*, 168(1), 473-478.
- Venkatesh, C., Nerella, R., & Chand, M. S. R. (2020). Comparison of mechanical and durability properties of treated and untreated red mud concrete. *Materials Today: Proceedings*, 27, 284-287.
- Vijayakumar, G., Vishaliny, H., & Govindarajulu, D. (2013). Studies on glass powder as partial replacement of cement in concrete production. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(2), 153-157.
- Yang, Z., Mocadlo, R., Zhao, M., Sisson Jr, R. D., Tao, M., & Liang, J. (2019). Preparation of a geopolymer from red mud slurry and class F fly ash and its behavior at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 221, 308-317.
- Yazıcıoğlu, S., & Kara, C. (2017). Betonda atık mermer tozu kullanımının karbonatlaşmaya etkisi. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 369-376.
- Yuksel, I. (2018). Blast-furnace slag. In *Waste and supplementary cementitious materials in concrete* (pp. 361-415): Elsevier.
- Yücel, H. E. (2018). Uçucu kül yerine kullanılan atık cam tozunun kendiliğinden yerleşen betonların taze, mekanik ve durabilite özellikleri üzerine etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 153-164.
- Zheng, K. (2016). Pozzolanic reaction of glass powder and its role in controlling alkali-silica reaction. *Cement and Concrete Composites*, 67, 30-38.
- Zidol, A. (2009). Optimization of the fineness of glass powder in binary cementitious systems. MS thesis, University of Sherbrooke, Sherbrooke, QC, Canada,
- Zidol, A., Tognonvi, M. T., & Tagnit-Hamou, A. (2017). Effect of glass powder on concrete sustainability. *New Journal of Glass and Ceramics*, 7(02), 34.



# BÖLÜM 4

## ENVIRONMENTAL HAZARDS IN THE MERİC RIVER PROPOSED SOLUTIONS

*Birce BÜYÜKDUMANLI<sup>1</sup>*

*Gökhan Önder ERGÜVEN<sup>2</sup>*

*Numan YILDIRIM<sup>3</sup>*

---

1 Environmental Engineer, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Munzur University, Department of Environmental Engineering

TR62000, Tunceli, Türkiye, bircebuyukduman26@gmail.com

ORCID: 0009-0008-9999-5146

2 Assoc. Prof. Dr, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Munzur University

Department of Urbanization and Environmental Issues

TR62000, Tunceli, Türkiye, gokhanondererguven@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1573-080X

3 Prof. Dr., Munzur University, Tunceli Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Organic Agriculture Program,

TR62000, Tunceli, Turkey, numanyildirim44@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1109-8106

## 1. INTRODUCTION

The Meric-Ergene Basin is located in the Marmara Region of Turkey. To the north, it encompasses Bulgaria and the Strandzha Mountains, and to the east, it includes the districts of Vize, Saray, and Çerkezköy. Extending from the north to the south of the Çorlu district in the Tekirdağ province, it continues along the borders of Greece and Bulgaria to the west. The Ergene River merges with the Meric River and flows into the Saroz Gulf. Covering 1.8% of Turkey's total area, the basin has a total area of 14,500 km<sup>2</sup>, with 65% located in Bulgaria, 28% in Turkey, and 7% in Greece (Ministry of Forestry and Water Affairs, 2015). Being one of the 26 topographic water basins in Turkey, the Meric Basin is one of the weakest in terms of water potential, yet it frequently experiences flood issues, causing significant damage (Akin and Akin 2007).

The Meric Basin serves as both a transboundary and boundary-forming water body among Bulgaria, Greece, and Turkey. After originating in Bulgaria, the Meric River enters Turkey near Edirne, where it merges with the Arda and Tunca rivers originating from Bulgaria. It then continues from the Turkey-Greece border and finally flows into the sea after being joined by the Ergene River originating in Turkey.

In recent years, due to human activities, surface and groundwater resources that have been providing life to ecosystems for thousands of years are being heavily consumed for energy production, industry, drinking, domestic use, and agricultural irrigation purposes. Per capita water consumption, which is also an indicator of development, is increasing day by day. As a result, both surface and groundwater resources are gradually decreasing over time. Industrial waste, fertilizer and pesticide use in agriculture, domestic waste, significantly degrade the quality of surface and groundwater, adversely affecting aquatic life as well as soil and the environment. Water pollution, a current global issue, has also increased in the Thrace Region parallel to industrialization, urbanization, and population growth and continues to rapidly increase (Cebi et al., 2008). Furthermore, intense and unregulated water consumption leads to a gradual depletion of surface and groundwater resources in the region (İstanbuluoğlu et al., 2006).

This study examines recent studies on water quality in the Meric-Ergene Basin and analyzes the emphasis placed on pollution problems in the basin and the measures that can be taken.

## 2. MERIÇ- ERGENE BASIN

The Meriç-Ergene Basin is located in the Thrace region of Turkey. It is bordered by Bulgaria and the Strandzha Mountains to the north, encompassing the districts of Vize, Saray, and Çerkezköy to the east, and extending

from the north to the south of the Çorlu district in the Tekirdağ province. It continues along the borders of Greece and Bulgaria to the west. The Ergene River, originating from the Strandzha Mountains, merges with the Meriç River and flows into the Saroz Gulf. The total area of the basin, covering 1.8% of Turkey's land area, is 14,500 km<sup>2</sup>.

The Meriç River, which forms the border between Greece and Bulgaria before crossing into Turkey, takes in the Kızıldağ from the right side south of Dimetoka, and then takes in the Ergene River from the left side north of İpsala, ultimately flowing into the Aegean Sea via the Saroz Gulf. Due to its flat and rugged topography, there are not many natural lakes in the Tekirdağ province. Similarly, there are no large lakes in the Kırklareli province. Edirne province has several lakes, the most important of which is Gala Lake. In the same region, there is also Pamuklu Lake (Ministry of Agriculture and Forestry, 2018).

The Meriç Basin covers an area of 52,600 km<sup>2</sup>. 65% of this basin is in Bulgaria, 28% in Turkey, and 7% in Greece (ORSAM, 2014). Despite being one of the weakest basins in terms of water potential, the Meriç Basin frequently experiences flooding issues, leading to significant damage (Akin, M. and Akin, G., 2007). The Meriç Basin consists of the drainage areas of transboundary rivers such as the Meriç, Arda, Tunca, as well as the national river Ergene (Figure 1).



Şekil 1. Meric Basin (ORSAM, 2014).

## 2.1. Meric River

The Meriç River originates from the Rila Mountains in Bulgaria, specifically from the Rila Peak. Rapidly expanding, it passes through

significant settlements and industrial areas in Bulgaria, such as Pazardık, Plovdiv, Dimitrovgrad, and Mustafa Pasha. After covering approximately 200 kilometers in Bulgaria, the Meriç River enters Turkish territory at the Marash Bridge north of the Karaağaç station near Edirne. Near Edirne, it first merges with the Arda River and then with the Tunca River. Flowing southward from Edirne, it receives the Kopkino River from Greece near Dimetoka, then continues southwest for a while before turning south again. It merges with the Ergene River near the village of Balabancık. From there, it meanders more, flowing southwestward, and finally empties into the Aegean Sea from the Enez district (Edirne Provincial Environmental Status Report, 2019).

The Meriç River originates from the Rila Mountains in Bulgaria (ORSAM, 2011). The total length of the river is 490 kilometers, with approximately 200 kilometers of its course within Bulgarian borders (ORSAM, 2011; Emir, 1990). After leaving behind significant wetlands, some of which are within Greek borders and some within Turkish borders, it flows from the Saros Gulf into the Aegean Sea (Emir, 1990). Flowing approximately 175 kilometers within our borders, the Meriç River forms a significant part of the Meriç-Ergene basin, making it crucial for agricultural activities in the region.

## **2.2. Ergene Basin**

Ergene, a tributary of the Meriç River, originates from Mount Karatepe in the Istranca Mountains, north of the Saray district in Tekirdağ. It passes through the Pehlivan köy district of Kırklareli and enters the territory of Edirne. Passing through Uzunköprü, it merges with the Meriç River near the village of Balabancık. Uzunköprü waters a portion of the Meriç and İpsala lands, and the Ergene River, which overflows in spring and winter months, decreases in water flow during the summer (Edirne Provincial Environmental Status Report, 2019).

## **3. Impacts of Human Activities on Water Status**

Strategic Environmental Assessment (SEA) for surface waters requires identifying significant pressures arising from the following:

- Point source pollution
- Non-point source pollution
- Changes in flow regimes due to water abstractions or regulations
- Morphological changes
- Other pressures



- The concept of a threshold value has been used to determine whether a pressure is significant.

Pressures exceeding the threshold value are considered significant. A pressure may be considered significant under the following circumstances: when it has a direct impact, when its effects accumulate due to the accumulation of similar pressures, and when different types of pressures converge (Ministry of Agriculture and Forestry, 2018).

### 3.1. Pressures on Surface Waters

#### 3.1.1 Point source pressures

Point source pressures in a water body arise as a result of discharges. For example: urban wastewater; industrial wastewater (including biodegradable and non-biodegradable wastewater from activities covered by the Industrial Emissions Directive (IED) and wastewater from activities not covered by the IED); sludge disposal from wastewater treatment plants; fish farms; mining discharges; heat discharges (cooling water from power plants or thermal discharges); disposal of salts from mining or desalination plants; and disposal of salts from regular and irregular solid waste disposal sites (Ministry of Agriculture and Forestry, 2018).

The main results of the inventory of significant point source pressures are presented in Table 1

**Table 1.** Significant Point Source Pressures in Surface Water Bodies (Ministry of Agriculture and Forestry, 2018).

Pressure type		Important pressure number
Urban discharges	Urban direct discharges	4
	Urban wastewater treatment plant discharges	12
Industrial discharges	Wastewater from activities covered by the EED (Industrial Emissions Directive)	18
	Non-biodegradable wastewater from activities not covered by the EED	225
	Biodegradable wastewater	12
Solid waste disposal sites	Regular disposal sites (non-hazardous solid waste)	0
	Regular disposal sites (toxic and hazardous solid waste)	2
	Irregular solid waste disposal sites	57

Geothermal	Geothermal power plants	0
	Geothermal areas	0
Mining discharges		2
Stormwater floods		6
Fish farm discharges		17
Olive oil factories		0

### 3.1.2. Diffuse pressures

Diffuse source pressures arise from a wide range of activities. These may stem from rural and urban land use activities spread across a catchment area and, individually insignificant, but collectively may create significant environmental impacts. Examples of diffuse pollution include the transport of nutrients and sediments from agricultural lands into groundwater and surface waters, as well as the contamination of groundwater and surface waters by surface runoff contaminated with pollutants from vehicle emissions in urban areas. Diffuse pollution typically occurs as a result of pollutants being transported to waterways due to heavy rainfall (Ministry of Agriculture and Forestry, 2018).

The primary land use activities with the potential to be considered significant pressures (based on information obtained from CORINE Land Cover data) are dry farming and irrigation areas. The high number of significant situations related to land use arises from dry farming areas (affecting 69 water bodies), irrigation areas (affecting 50 water bodies), and mining areas (affecting 37 water bodies).

There are a total of 108 gas stations, of which only 49 are considered significant (45%). In total, there are 21 water bodies (17.6% of the total) that constitute significant pressures in the catchment area.

Regarding livestock farming activities, 85 water bodies (71.4% of the total) represent significant pressures for this catchment area.

In summary, there are 111 water bodies (93% of the total) where significant diffuse source pressures are present (Ministry of Agriculture and Forestry, 2018).

## 4. BASIC PRESSURES EXPERIENCED IN THE BASIN

The main pressures experienced in the basin are:

- Floods
- Water Pollution
- Drought.

#### 4.1. Floods

Especially in the province of Edirne within the Meric River basin, floods have been a significant problem causing loss of life and property from the past to the present. These floods also lead to soil erosion and environmental pollution (Tombul, 2014).

The main causes of floods are the filling of dam volumes in Bulgaria due to excessive rainfall in the basin and the lack of displacement volume in the dams, leading to the opening of dam gates and the release of water into the Meric River. In February and March 2005, 12,000 hectares of agricultural land were submerged, and two bridges collapsed. In March 2006, 40,000 hectares of agricultural land were flooded (Malkarali, et al. 2008).

Figure 2 illustrates the dams used for energy and irrigation purposes in the Meric River Basin, which contribute to floods by releasing uncontrolled flows (Tombul, 2014).



**Figure 2.** Dams causing floods by releasing uncontrolled flows in the Meric River Basin (Tombul, 2014).

#### 4.2. Water Pollution

According to the Surface Water Pollution Control Regulation, rivers classified under the continental inland surface water category are divided into 4 main classes:

Class I: High-Quality Water

Class II: Slightly Polluted Water

Class III: Polluted Water

Class IV: Heavily Polluted Water

Whether a water body is polluted or not is determined by its biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS) content, pH acidity value, electrical conductivity value, temperature, phosphorus content, nitrogen content, chloride content, volume of wastewater in the process, and oil and grease content (Environment Canada, Environmental Protection Fraser Pollution Abatement North Vancouver, 1997; Kocaman et al., 2011).

Parameters such as BOD, COD, TSS, oil and grease, pH, chloride, nitrogen, phosphorus, sulfur, toxic compounds (copper, lead, silver, boron), heavy metals (nickel, lead, chromium, cadmium, zinc, mercury), gases (nitrogen, oxygen, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dissolved oxygen), etc., are examined to define water pollution.

### **4.3. Drought**

The storage and irrigation use of water in the dams located on the Meric River and its tributaries in Bulgaria cause a decrease in water flow to Turkey in spring and summer months, leading to water scarcity for irrigation. As freshwater decreases in the summer months, seawater reaches the Meric River, increasing the salt content in the water.

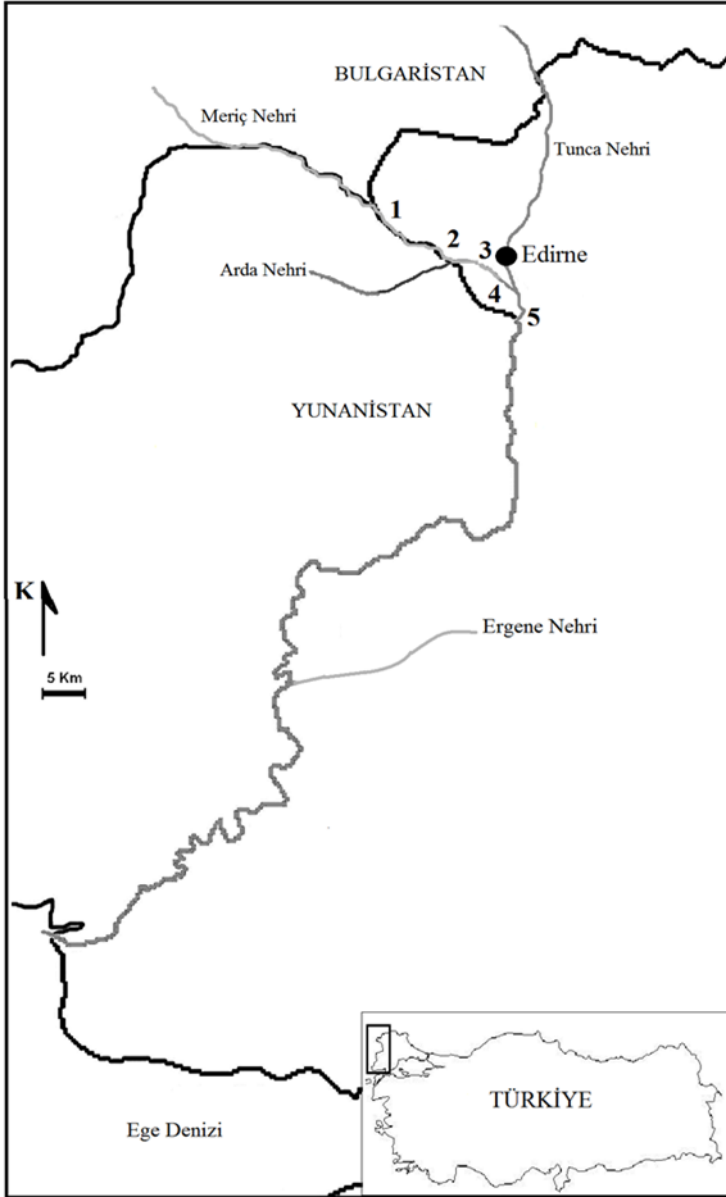
## **5. STUDIES ON WATER QUALITY IN THE MERIC-ERGENE BASIN**

### **5.1. Evaluation of Some Bacteriological Characteristics of the Meric River (Edirne) and Their Relationships with Environmental Factors**

This study aimed to determine some bacteriological characteristics of the Meric River within the borders of Edirne province and identify environmental factors that could affect their distributions. Towards this goal, water samples were collected from selected stations along the river to analyze total mesophilic aerobic bacteria (TMAB), total coliform (TC), fecal coliform (FC), and *E. coli* bacteria, as well as certain physicochemical properties (water temperature, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity, total hardness, magnesium, calcium, salinity, chloride, total phosphate, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N. Additionally, based on the obtained data, the water quality of the Meric-Ergene River Basin, one of the significant water sources in the basin, was evaluated bacteriologically. Recommendations were also made for the sustainable use of the Meric River (Bulbul, 2013).

This research aimed to determine some bacteriological characteristics in the Meric River, which is one of the most important water sources of the Meric-Ergene Basin within the borders of Edirne province, and identify environmental factors that could influence their distribution (Bulbul,

2013). The study was conducted in the segment of the river located within the borders of Edirne province, where the Meric River enters Turkey from Bulgaria and forms a border between Turkey and Greece before flowing into the Aegean Sea. Sampling was conducted monthly from selected stations along the river to fulfill the objectives of the study. The research was carried out in two phases: fieldwork and laboratory analysis. While some physicochemical parameters were determined during fieldwork, chemical and bacteriological analyses were conducted in the laboratory.



**Figure 3.** *Geographical Location of the Meric River and Sampling Stations*

## **5.2. Water Management Research in the Meric Basin Within the Framework of International Treaties**

This study focuses on water management in the Meric basin within the scope of international treaties from the past to the present. Various agreements have been made over time to address the most significant issues

of the Meric River, namely flooding and pollution; however, a definitive solution has not yet been achieved. This research examines the agreements and international regulations regarding water management in the basin (Tombul, 2014).

The main pressure problems in the basin, namely pollution and flooding, have been highlighted. Among the primary causes of flooding is the opening of the gates of dams located on the Bulgarian side. It is suggested that this issue could be mitigated by operating the Bulgarian dams optimally and implementing an appropriate dam management plan. This would not only address the problem of flooding but also prevent it from contributing to pollution.

### **5.3. Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Kırklareli (18.12.2018) Sonuç Raporu**

Three sampling points were selected in Gala Lake, and physical, chemical, and bacteriological analyses were conducted over a period of 12 months. The sampling points were chosen to represent the water quality of the lake adequately. Gala Lake is located in the province of Edirne, where the Maritsa River merges with the Aegean Sea. The lake is surrounded by numerous agricultural areas where rice cultivation is practiced (Cebi et al., 2018).

In the scope of the project aimed at determining the water quality in Gala Lake, water samples were collected from three different points. Samples were taken at monthly intervals, totaling 12 months of sampling (Cebi et al., 2018).

The following physical, chemical, and biological analyses were conducted on the collected water samples:

- Total Dissolved Solids (TDS)
- Oxidation-Reduction Potential (ORP)
- Dissolved Oxygen (DO)
- Turbidity (NTU)
- Chlorophyll
- BGA-PC (green alga)
- Biological Oxygen Demand (BOD)
- Chemical Oxygen Demand (COD)
- Ammonium Nitrogen (NH<sub>4</sub>-N)
- Nitrate Nitrogen (NO<sub>3</sub>-N)

- Nitrite Nitrogen (NO<sub>2</sub>-N)
- Phosphorus (P)
- pH
- Electrical Conductivity (EC)
- Total Suspended Solids (TSS)
- Oil and Grease
- Fecal Coliform
- Trace elements and inorganic parameters (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Co, Pb, Ni, Cd)
- Anions and cations (CO<sup>-2</sup>, HCO<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>)

When evaluating Gala Lake in terms of water quality, the results obtained at all three points were similar. Salinity values showed an increase during the summer months. Oxidation parameters were not problematic. However, there was a concern regarding NH-N among the nutrients. Fecal coliform contamination was detected in the lake water. Since the sampling was conducted at the lake shore, the presence of human and animal activities led to some fluctuations in the values during certain months. Pollution of Mn, Fe, and Pb was observed in some months, while Zn, Cu, Cr, Co, Ni, and Cd pollution was not detected (Cebi et al., 2018). According to the results obtained, Gala Lake is surrounded by intense agricultural activities, including rice cultivation and extensive livestock farming. The lake water is also a valuable resource for drinking for these animals (Cebi et al., 2018).

Gala Lake is exposed to significant organic and inorganic pollution due to intensive agricultural activities in the vicinity, the discharge of water from rice fields into the lake, and the mixing of water from the Ergene River to some extent. It was noted that considerable amounts of chemically derived composite fertilizers are used in rice production around the lake, leading to high levels of available phosphorus. The presence of excessive lead (Pb) in the lake water in some months is attributed to the use of agricultural machinery during rice cultivation and traffic on local roads.

Despite being prohibited, the burning of rice harvest residues during winter and spring months via illegal means in the rice cultivation areas surrounding the lake deteriorates air quality. To mitigate the impact on water quality, the excessive use of water-soluble nitrogen and phosphorus fertilizers in rice cultivation should be prevented, and fertilizer usage should be optimized based on soil analysis in rice fields in the region. Additionally, agricultural enterprises should be provided with necessary training on good agricultural practices to prevent nitrate pollution. Regulations should be



implemented for farm operations around the lake, and measures should be taken to prevent farm waste from entering the lake. Continuous monitoring studies should be conducted to ensure the continuity of monitoring activities and to evaluate water quality changes. The existing management plan should be made effective, and basin-wide management and coordination efforts should be undertaken to preserve water quality (Cebi et al., 2018).

#### **5.4. Research on the Biological Accumulation of Toxic Metals in Fish of the Meric River Delta (Edirne)**

The study aimed to determine and evaluate the levels of toxic metals accumulated in the tissues of fish, which are the most important biotic components of the system, captured from Gala Lake and the Meric River. The bioburden of cadmium (Cd), lead (Pb), arsenic (As), boron (B), chromium (Cr), nickel (Ni), zinc (Zn), and copper (Cu) was identified in the muscle, gill, and liver tissues of fish, and the results were evaluated in terms of fish and human health (Tokatlı et al., 2016).

The study found that the bioburden of toxic elements detected in fish tissues was significantly high, and in general, the levels of Cd, Pb, Ni, and Cr detected in muscle tissues exceeded the limits considered safe for human consumption (Tokatlı et al., 2016).

Monoculture-based agricultural practices in Ipsala District and surrounding villages have led to soil depletion in terms of certain minerals. To compensate for this mineral deficiency, inorganic and phosphate fertilizers are extensively used in all agricultural production areas. It is believed that the significantly high levels of Cd and Pb detected in fish in the region are primarily attributed to the phosphate fertilizers and pesticides used in agricultural activities. As it is known, the main sources of nickel and chromium are industrial wastes, and it is thought that the high levels of Ni and Cr detected in fish in our study are primarily sourced from the Ergene River, which indirectly affects the system (Tokatlı et al., 2016).

#### **5.5. Studies on Pesticide Residues in Rice Fields Irrigated with Meric River (Edirne) Water**

This study aimed to assess whether the use of agricultural pesticides in rice fields irrigated with water from the Meric River (Edirne) exceeded legal limits, posing risks to human and environmental health. Edirne is a major rice-producing region in Turkey, contributing 44% of the country's total production, amounting to around 410,000 tons in 2018. Given that rice is submerged in water throughout its growth cycle, pesticides are commonly used to manage weeds and pests. Moreover, considering rice cultivation in the Meric basin in Bulgaria, there's a potential for pesti-

des transported with water from this region to contaminate rice fields in Edirne. Legal regulations have been established to address the potential adverse effects of pesticide residues in food, including setting maximum residue limits for each pesticide active substance or banning some of them.

The study was conducted in three stages. Initially, rice samples were collected from 25 different points along the Meric River in Edirne in 2018. Subsequently, the collected rice was processed to remove husks, dried, and stored under suitable conditions until analysis. Results indicated that pesticide residue levels in the analyzed rice samples were below the limits stipulated in the Turkish Food Codex and relevant pesticide residue regulations of the European Union.

Pesticide residues were detected in rice grains obtained after husking at four different points. Five distinct pesticide active substances were identified in rice samples. Notably, active substances used for rice blast disease were found in both rice and paddy, albeit at lower levels in rice compared to paddy.

The detection of pesticides at five points in this study suggests potential non-compliance by farmers with recommended intervals between pesticide application and harvest, or possible overuse of pesticides beyond recommended doses (Kulaksiz et al., 2019).

## 6. RESULTS AND DISCUSSION

In recent studies on the water quality of the Meric River, samples were collected from specific stations to examine bacteriological findings, oxidation parameters, nutrient parameters, trace elements, and inorganic parameters.

In a study conducted by Bulbul (2013), aimed to determine certain bacteriological characteristics in the Meric River, one of the most important water sources in the Meric-Ergene Basin within the borders of Edirne province, and to identify environmental factors that could affect their distribution. It was found that *E. coli* was present in all samples, indicating restrictions on the use of water due to its presence. While the physicochemical properties did not exceed Class I and II water quality values, bacteriological findings exceeded the good water quality values of the river. The presence of certain bacteriological findings, known as pollution indicators, suggested the need for control over the pollutants entering the river. It was noted that bacteria entering the river due to occasional floods would further increase water pollution. Hence, besides preventing uncontrolled discharge into the water, resolving the flood problem was emphasized.

Tombul (2014) discussed water management in the Meric basin within the framework of international agreements. Pollution and flooding were highlighted as the main problems in the basin. It was stated that the opening of dam gates on the Bulgarian side was among the main causes of flooding, and this issue could be eliminated with an appropriate dam operation plan, thereby preventing floods from causing pollution. It was concluded that the three states with territories in the Meric Basin should prepare and implement an international river basin management plan within the scope of water management to address the problems.

In a study by Cebi et al. (2018), water samples were collected from three sampling points in Gala Lake over 12 months, and physical, chemical, and bacteriological analyses were conducted. The obtained results were evaluated according to the quality criteria of Continental Inland Surface Water Resources by Quality Classes specified in the Surface Water Quality Management Regulation. It was observed that the results obtained at all three points were similar, and although oxidation parameters were not problematic, fecal coliform pollution was detected in lake water. It was noted that the values increased in some months due to intense human and animal activities near the lake shore. Additionally, contamination with Mn, Fe, and Pb was identified in some months, while Zn, Cu, Cr, Co, Ni, and Cd pollution was not encountered. Gala Lake was reported to be significantly exposed to organic and inorganic pollution due to intense agricultural activities in its vicinity, the flow of water from rice fields to the lake, and the mixing of water from the Ergene River. High levels of lead (Pb) in the lake water in some months were attributed to the use of agricultural machinery during rice cultivation and traffic on the roads in the region.

Tokatlı et al. (2016) investigated the levels of toxic metals in fish, the most important biotic elements of the system, caught from Gala Lake and the Meric River. Cadmium (Cd), lead (Pb), arsenic (As), boron (B), chromium (Cr), nickel (Ni), zinc (Zn), and copper (Cu) bioburdens were detected in the muscle, gill, and liver tissues of fish species caught. It was found that the levels of Cd, Pb, Ni, and Cr in fish tissues exceeded human consumption limits. It was suggested that the high levels of Cd and Pb detected in fish in the region were mainly due to the use of phosphorus fertilizers and pesticides in agricultural activities, and the high Ni and Cr levels detected in fish were thought to originate from the Ergene River indirectly affecting the system.

Kulaksiz et al. (2019) aimed to determine the degree of pesticide residue contamination in rice produced by irrigation from the Meric River and to investigate whether the legal values for human and environmental health were exceeded. It was observed that the active substances used for rice blast disease were found in both rice and paddy, but the levels in rice were

lower. The detection of pesticides at five points suggested that farmers may not adhere to the recommended time interval between the last pesticide application and harvest or may use more pesticide than the recommended dose. However, it was emphasized that all values obtained were below the maximum residue limits.

Under the Water Measures Program of the General Directorate of Water Management of the Ministry of Agriculture and Forestry, examinations were conducted in the parts of the Meric-Ergene basin in 2022. Monitoring results and environmental objectives tables were obtained, and measures to be taken were emphasized as the creation of green buffers (to prevent the flow of agricultural runoff into surface water bodies) along watercourses around agricultural areas, flood prevention, construction of wastewater treatment plants for facilities without wastewater treatment plants, prevention of direct discharge of animal manures into surface and groundwater, inclusion of certain pollutants in industrial discharge standards, construction of impermeable waste dams and containment channels for open mining activities, secondary treatment construction for urban wastewater treatment, flood prevention, closure of unregulated waste disposal sites, and inclusion of discharge standards in the legislation for certain pollutants and priority substances.

In summary, it is observed from the compilation of studies that the Meric River, referred to as the “Transboundary Water Problem,” is classified in the category of water that can be used as irrigation water in different soils and various crops. The presence of certain bacteriological findings as pollution indicators necessitates control over the pollutants entering the river. It was highlighted that bacteria entering the river due to occasional floods would further increase water pollution. Therefore, besides preventing them.

## REFERENCES

- Akin M. ve Akin G. (2007), “Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları Ve Su Kirliliği” Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 47, 2 105-118
- Bulbul G. (2013). Meric Nehrinin (Edirne) Bazı Bakteriyolojik Özellikleri ve Çevresel Faktörlerle İlişkilerinin Değerlendirilmesi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı.
- Cebi, Ü., Bakanoğulları, F., Gürbüz, M. A., Aydın, B. (2018). Atatürk Toprak Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Sonuç Raporu, Kırklareli
- Cebi Ü, Gidirişlioğlu A, Çakır R. (2008). Ergene nehri ve kollarının evsel ve endüstriyel atık parametrelerinin belirlenmesi. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü. Atatürk Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Kırklareli.
- Emir, B. D. (1990). Meric Havzası ve Çevre Sorunları Araştırma Projesi (Ön Rapor). T.Ü. Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi.
- Environment Canada. (1997). Environmental Protection Fraser Pollution Abatement North Vancouver.
- Kulaksız, Ç., Akgün, A. (2019). “Merik Nehri (Edirne) Boyunca Nehir Suyuyla Sulanan Çeltiklerde Pestisit Kalıntıları” Araştırma Makalesi.
- Malkaralı, S. Korkmaz, S. M. ve Sezen, N. (2008). “Merik Nehri Taşkını ve Taşkınlar ile İlgili Geliştirilen Uluslararası Projeler” Taşkın Konferansı, 19-20 Haziran 2008, Edirne.
- ORSAM. (2011). “Merik Nehri Havzası Su Yönetiminde Uluslararası İşbirliği Zorunluluğu” Su Araştırmaları Programı Rapor No: 4, 47.
- ORSAM. (2014). “Merik Havzası’nda Uluslararası Su Yönetimi” Su Araştırmaları Programı Rapor No: 2, 34.
- Tarım Orman Bakanlığı. (2018). Meric- Ergene Nehir Havzası Yönetim Planı
- Tarım Orman Bakanlığı. (2022). Meric Ergene Havzası Yerüstü Suyu Tedbirler Programı
- T.C. Edirne Valiliği. (2019). Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü İl Çevre Durum Raporu, Edirne.
- Tombul F. (2014), “Uluslararası Antlaşmalar Çerçevesinde Merik Havzasında Su Yönetimi Araştırma Makalesi” Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik 15, 2-2014, 147-155
- Tokatlı, C., Emiroğlu, Ö., Çiçek, A., Köse, E., Başkurt, S., Aksu, S., Uğurluoğlu, A., Şahin, M., Başatlı, Y. (2016). “Merik Nehri Deltası (Edirne) Balıklarında Toksik Metallerin Biyolojik Birikimlerinin Araştırılması” Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 5,1, 1-11

