11.ULUSAL KATI ATIK YÖNETİMİ KONGRESİ (UKAY 2023) GENİŞLETİLMİŞ BİLDİRİ ÖZETLERİ

18 – 21 EKİM 2023

ARDAHAN ÜNİVERSİTESİ

AŞIK ŞENLİK KÜLTÜR MERKEZİ

İçindekiler

SIFIR ATIK VE DÖNGÜSEL EKONOMİDE DÜŞÜK KARBON 1

TIBBi ATIKLARIN BERTARAFINA İLiŞKiN NİTEL BiR DEĞERLENDiRME 3

DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ YAPAN TESİS ATIK SULARININ ARITIMI İÇİN YENİLİKÇİ ARITIMIN (ENZİMATİK FENTON) UYGULANMASI 7

MARMARA DENİZİ'NDEKİ BALIKLARDA ÖNCELİKLİ KİRLETİCİLERİN BULUNURLULUĞU VE İNSAN SAĞLIĞI RİSK DEĞERLENDİRMELERİ 9

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KAPSAMINDA KONUTLARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR SU, ENERJİ VE ATIK YÖNETİMİ 11

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE ATIKSU YÖNETİMİ 15

METAL KAPLAMA ENDÜSTRİLERİNDE ATIKSU YÖNETİMİ 21

BOROJIPS ATIĞININ GÜBRE ÜRETIM POTANSIYELI IÇIN BOR IÇERIKLI HAMMADDE OLARAK KULLANILABILIRLIĞININ ARAŞTIRILMASI 27

YERALTINDA URANYUMUN BIYOJEOKİMYASAL REAKTİF TAŞINIM MODELLEMESİ 31

KÜRESEL ÇAPTA SIZINTI SUYU ÖZELLİKLERİNİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMESİ 37

ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE ATIK YÖNETİMİ UYGULAMALARI 43

POLIETILENIN ATIKSU ARITMA TESISLERINE ETKILERI VE BIYOLOJIK YAŞLANMASI 47

MİKRO ATIKLAR VE MİKRO KİRLETİCİLER: POLİETİLEN MİKROPLASTİKLERIN UV İLE YAŞLANDIRILMASI VE ÇEŞİTLİ ORGANİK KİRLETİCILER İLE ETKİLEŞİMLERİNIN INCELENMESİ 52

AFET VE ACIL DURUM ZAMANLARINDA ATIK YÖNETIMI: 6 ŞUBAT KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERI ÖRNEĞI 59

TERMAL DEZENTEGRASYON İŞLEMININ AKTİF ÇAMURUN ANAEROBİK ÇÜRÜTME SÜRECİNE ETKİSİ 61

ÖĞÜTÜLMÜŞ ARAÇ LASTIKLERININ BIYOLOJIK DESÜLFÜRIZASYONU IÇIN OTOTROFIK DENITRIFIKASYON BAKTERILERININ KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI 65

ASİTLE AKTİVE EDİLEN TARIMSAL ATIK KULLANILARAK SULU ÇÖZELTİLERDEN ZN (II) İYON ADSORPSİYONU 70

PANKREATIN ENZIMI ILE DEZENTEGRASYON İŞLEMININ ARITMA ÇAMURUNA ETKISI 75

ATIK AKTİF ÇAMURUN ALKALİ-TERMAL İŞLEMLE PARÇALANMASI VE BİYOGAZ ÜRETİMİNİN ARTIRILMASI 80

PLASTİK ENDÜSTRİSİNDEN KAYNAKLANAN MİKROPLASTİKLERİN MALZEME AKIŞ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ 87

TAMPONLARIN SIĞIR GÜBRESİNİ İŞLEYEN ANAEROBİK ÇÜRÜTME - MİKROBİYAL ELEKTROLİZ HÜCRESİ ENTEGRASYON SİSTEMLERİ ÜZERINDEKİ ETKİSİ 94

SIĞIR GÜBRESI ILE BESLENEN ANAEROBIK ÇÜRÜTÜCÜ-MIKROBIYAL ELEKTROLIZ HÜCRESI (AÇ-MEH) SISTEMINDE KATOT POTANSIYELININ METAN VE HIDROJEN ÜRETIMI ÜZERINDEKI ETKISININ ARAŞTIRILMASI 102

YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ DESTEKLİ BİR ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ MODELİ 109

ARDAHAN İL MERKEZİNDE KATI ATIK TOPLAMA VE TAŞIMA OPTİMİZASYONU 117

TÜRKİYE'DE TEHLİKELİ ATIK ÜRETİM ORANINI BELIRLEMEYE YÖNELIK BİR TAHMİN MODELİ 121

TÜRKİYE'DE İNŞAAT MALZEMELERİNİN YAYGIN YAŞAM SONU YÖNETİMİ ÜZERİNE BİR 123İNCELEME .. 123

AGRO-EKOLOJİK KOMPOST ÜRETİMİ 137

ARDAHAN İLİ HAYVANSAL ATIKLARINDAN BİYOKÖMÜR ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ..... 139

PEYNİR ALTI SUYUNUN MANYETİK NANOPARTİKÜL (MNP) İLE ARITILMASINDAN ELDE EDİLEN ÇAMURUN, GIDA VEYA YEM OLARAK KULLANIM POTANSİYELİ 144

DÖNGÜSEL EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE TÜRKİYE VE AB ÜLKELERİNDE ATIK YÖNETİM SÜRECİNİN İNCELENMESİ..... 149

TIBBİ ATIKLARIN TOPLANMASI, TAŞINMASI VE BERTARAFINDA İSTANBUL ÖRNEĞİ.....153

AKILLI ŞEHİRLER..... 163

BÖLGESEL BAZDA KARAÇI ŞEHRININ (PAKISTAN) BELEDIYE KATI ATIKLARIN KARAKTERIZASYONU 16767

LABORATUVARLARDA ATIK YÖNETİMİ İÇİN İZLENECEK YOL..... 173

SIFIR ATIK VE DÖNGÜSEL EKONOMİDE DÜŞÜK KARBON

İlker Hakan Terzioğlu

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yeşil Mutabakat ve Sürdürülebilirlik Çalışma Grubu Yeşil Finansman ve Karbon Fiyatlama Danışmanı - Mimar, e-mail: hakan.terzi3461@gmail.com, architecilkerhakan@gmail.com tel: 05535488334

Avrupa Birliği (AB), 2020 AB Döngüsel Ekonomi Eylem Planı kapsamında en kaynak ve enerji yoğun sektörlerden başlayarak yeni bir döngüsel ürün politikası geliştirmeyi taahhüt etmiştir. Plan, yalnızca AB'de üretilen ürünleri değil, aynı zamanda tüm ithalatı da kapsayacak zorunlu geri dönüştürülmüş içerik gereklilikleri ve standartları da dahil olmak üzere yeni düzenlemeler öngörüyor. Ticaret, daha sürdürülebilir bir geleceğe değerli bir katkı sağlayabilir. İkincil malzemelerde ortaya çıkan ticaret akışları ancak yakın gelecekte artacaktır. Yeni iş modelleri, mevcut doğrusal yaklaşımları daha döngüsel olanlarla değiştirecek: onarım, yeniden kullanım, yenileme, yeniden üretim olacaktır. Ve böylece hizmet ticareti daha yaygın hale gelecektir. Tüm söylenenler, ulusal hükümetlerin politikalarını desteklemesi hayati önem taşımaktadır. İkili ve bölgesel ticaret anlaşmaları ile sürdürülebilir mal ve hizmetleri ölçeklendirmek için eşit bir oyun alanı yaratan iklim dostu kurallar ve hükümler hakkında bir DTÖ anlaşması ile ilerlemek için bu kadar önemli bir pencere olmamıştır. Düşük karbonlu döngüsel ekonomi hükümlerine ilişkin maddeler, sıfır emisyonlu, adil ve eşitlikçi bir topluma giden yol, ticaret camiasının daha fazla katılımını, desteğini ve yenilikçiliğini gerektirir.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel ekonomi, sıfır atık, sıfır emisyon

ZERO WASTE AND LOW CARBON IN A CIRCULAR ECONOMY

İlker Hakan Terzioğlu

Environment Ministry of Urbanization and Climate Change Green Reconciliation and Sustainability Working Group, Green Finance and Carbon Pricing Consultant –Architect, e-mail: hakan.terzi3461@gmail.com-architectilkerhakan@gmail.com

Within the scope of the 2020 EU Circular Economy Action Plan, the European Union (EU) has committed to developing a new circular product policy, starting with the most resource- and energy-intensive sectors. The plan envisages new regulations, including mandatory recycled content requirements and standards, which will cover not only products manufactured in the EU, but also all imports. Trade can make a valuable contribution to a more sustainable future. The emerging trade flows in secondary materials will only increase in the near future. New business models will replace the existing linear approaches with more cyclical ones: there will be repair, reuse, renovation, remanufacturing. And so the trade in services will become more widespread. All that being said, it is vital that national governments support their policies. There has never been such an important window to move forward with bilateral and regional trade agreements and a WTO agreement on climate-friendly rules and provisions that create a level playing field for scaling sustainable goods and services. The articles related to the provisions of the low-carbon circular economy, the path to a zero-emission, fair and egalitarian society requires greater participation, support and innovation of the business community.

Keywords: Circular economy, zero waste, zero emissions

TIBBi ATIKLARIN BERTARAFINA İLİŞKiN NİTEL BiR DEĞERLENDiRME

İlaha İsmayılova[1], Nuray Çağlar[2]

[1] Azerbaycan Devlet Petrol ve Sanayi Universitesi, Kimya ve Teknoloji Fakültesi, Ekoloji Mühendisliği, https://orcid.org/0009-0009-2293-5564 iliismayil00@gmail.com

[2] İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı, orcid: 0000-0001-7608-6339, nbal@istanbul.edu.tr

ÖZ

Türkiye'de özellikle büyük şehirlerde sanayileşme hızla büyüyor. Bunun yanında kentleşme, göç ve hızlı nüfus artışı insan ve çevre sağlığını tehditi arttırmaktatır. Atıklar, bilinçsiz kullanılmış, ihtiyaç duyulmayan ve çevre için zarar oluşturan nitelendirebileceğimiz her türlü madde olarak tanımlanır. Atık konusunda sağlık kurumlarının çıktısı olan tıbbi atıkların miktarı hızlı bir şekilde artarak çevre için sorun haline gelmektedir.

Hastane, klinik və muayenehanelerdeki işlemler sırasında ortaya çıkan tıbbi atıklar (enfeksiyöz, patolojik ve kesici-delici) sağlık açısından riskler oluşturmaktadır. Gerek çevre ve toplum sağlığı açısından risklerin minimum düzeye düşürülmesi, gerekse ekonomik kayıpların indirilmesi için sağlık kuruluşlarında ortaya çıkan tıbbi atıklar konusunda gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

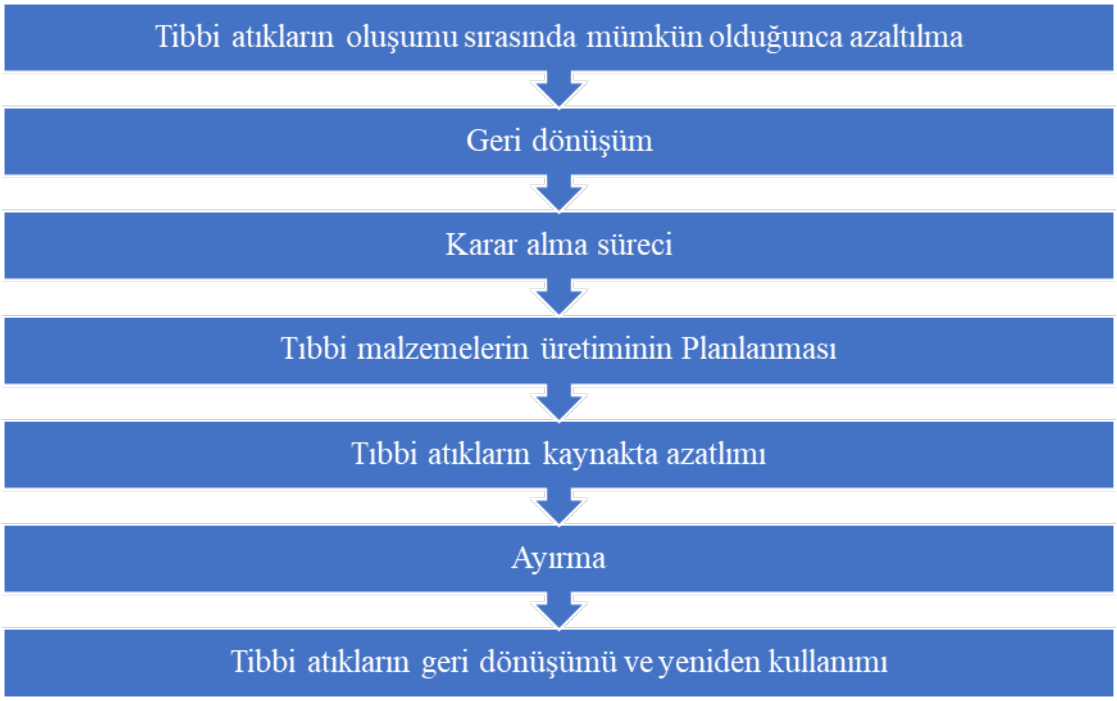
Bu çalışmanın çıkış noktasının nedeni tıbbi atık konusuna literatürde çok sınırlı çalışmada değinilmiş olmasıdır. Çalışmamızda tıbbi atıkların bertarafının incelenmesi, durumun belirlenmesi, değerlendirilmesi ve yeni bakış açılarının hayata geçirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada güncel literatür bilgilerine dayanılarak nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Çalışmamız derleme şeklinde yürütülmüştür. Tıbbi atıkların bertaraf edilmesi gerek dünyada, gerekse Türkiye'de önemli sorunlardan bir tanesidir. Sağlık kurumlarının çıktısı olan tıbbi atıkların üretiminden bertarafına kadar olan süreç oldukça karmaşık bir süreçi oluşturmaktadır. Çalışmamızda sağlık kuruluşlarının ürettikleri atık miktarlarına göre ölçekli gruplaması, kaynağında ayrı toplanması ve zararsız hale getirilmesi belirtilmektedir. Sağlık ünitelerinde tıbbi atıkların bertaraf edilmesi yöntemlerinin bilinmesi ve geri dönüşümüne dayalı yeni malzeme geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atık, hastane, tıbbi atık, bertaraf, tıbbi atık yönetimi

Atık, esasen ürünlerin kullanımdan sonra ekonomik açıdan fayda sağlamayan kısmı olarak kabul edilir. Ancak atıkların önemli bir kısmı yeniden işlenebilmektedir (Yılmaz, 2012). Azerbaycan'da sanayileşmenin özellikle büyük şehirlerde hızla gelişmesi, kentleşme, göç ve nüfus artışı atık sorununu gündeme getirmiştir. Özellikle sanayi işletmelerinin üretim atıkları doğaya ve yer altı sularına karışarak ekosistem, çevre ve insan sağlığı açısından ciddi sorunlara yol açmaktadır. Çevre sorunlarının ortaya çıkmasıyla birlikte bilim insanları atık yönetimi konusunda çeşitli çalışmalar yapmış ve çeşitli çözümler geliştirmişlerdir (Koç, 2017).

Çağımızın önde gelen çevre sorunlarından biri atıkların düzenli olmayan şekilde bertaraf edilmesidir. Bu atıklar arasında özel bir yere sahip olan tıbbi atıklar, hacimsel olarak çok önemli olmasa da bulaşıcı etkilerinden dolayı insan sağlığı açısından ciddi bir tehdit olarak değerlendirilmektedir. Sağlık kuruluşlarının (hastane, klinik ve laboratuvar) faaliyetleri sonucu ortaya çıkan tıbbi atıklar (bulaşıcı, patolojik ve kesici-delici) patojenik özelliklerinden dolayı potansiyel bir tehlike kaynağıdır. Tıbbi atıklarla ilgili en önemli riskler; Tıbbi atıkların toplanması, ayrıştırılması, taşınması ve bertarafı sırasında ortaya çıkması nedeniyle tıbbi atıkların doğru yönetimi önemlidir.

Tıbbi atıklar evsel atıklarla birlikte bulunsa da büyük bir kısmı hastaneler tarafından üretiliyor. Hastane personelinin tıbbi atıklar konusunda yeterince bilinçlendirilmemesi, sürekli eğitimin olmayışı ve tıbbi atıklara karşı ilgisizlik bu atıkların aşırı üretimine yol açmaktadır. Ayrıca hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmadan doğrudan çöp depolama sahasına gönderilmesi, tıbbi atıkların yönetimine gerekli özenin gösterilmemesi insan sağlığı ve çevre açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu riskler göz önüne alındığında tıbbi atıkların kontrolünün önemli olduğu düşünülmektedir. Atık yönetiminin temel amacı bunların oluşumunu önlemek veya en aza indirmektir (Çetinbaş, 2017). Dünya Sağlık Örgütü tıbbi atıkların en aza indirilmesi için bir takım öneriler sunmaktadır. Bu süreçler şu şekilde sıralanmaktadır.



Tıbbi atıkların geri dönüştürülmesinin temel nedeni, insanları ve çevreyi atıkların zararlı etkilerinden korumak ve mümkün olduğunca güvenli hale getirmektir. Tıbbi atıkların özelliklerine göre farklı bertaraf yöntemleri kullanılmakta ve aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

Kimyasal dekontaminasyon yöntemi: Kimyasal dekontaminasyon yönteminde çözünmüş klor dioksit, ozon gazı, sodyum hipoklorit, hidroperoksit, kalsiyum oksit gibi kimyasallar kullanılarak parçalama ve öğütme işlemleri gerçekleştirilir. Kesici ve delici aletlerin dezenfeksiyon protokolüne göre kan ve vücut sıvılarıyla arındırılmasında çoğunlukla kimyasal yöntemler kullanılmaktadır.

Böylece tıbbi atıklardan mikroorganizmalar ayrıştırılmakta, atıklar zararlı etkilerinden arındırıldığı için enfeksiyonun yayılması da önlenmektedir (WHO 2013).

Termal dezenfeksiyon yöntemleri: Yaygın olarak kullanılan termal dezenfeksiyon yönteminde patojenler düşük ve yüksek ısı olmak üzere iki yol izlenerek yok edilir. Düşük sıcaklıklı proseslerde atıklar mikroorganizmalardan temizlenir, yüksek sıcaklıklı proseslerde ise yakma gerçekleşir. Düşük sıcaklıktaki işlemler kuru ve ıslak olmak üzere iki şekilde uygulanır. Islak sistem, buhar kullanılarak otoklavda gerçekleştirilir ve kuru ısıtma sistemi, dirençli termal radyasyon veya kızılötesi emisyon işlemiyle gerçekleştirilir (WHO 2013).

Mekanik işlemler: Bu yöntem, aslında bir imha yönteminden çok, geri dönüşüme ikincil bir işlem olarak uygulanır. Uygulama yöntemi sıkıştırma, karıştırma ve parçalamayı içerir, atık fiziksel etkilere maruz kaldığından patojenler yok edilmez, sadece miktarlarının azalmasına yol açar.

Işınlama yöntemleri: Bu yöntemde patojenlerin yok edilme hızı verilen elektromanyetik radyasyon dozuna göre değişmektedir. Atık ultraviyole radyasyona maruz kaldığı için çevre açısından yüksek risk içermektedir. Bu nedenle işgücünün korunmasına dikkat edilmesi gerekmektedir (WHO 2013).

Biyolojik Proses: Biyolojik proseste çeşitli organik atıkların detoksifikasyonunu hızlandırmak için enzimler kullanılır. Patolojik organik atıklara solucan gübresi ve kompostlama uygulanarak patolojik ve organik atıkların biyolojik işlemlerle ayrıştırılması sağlanır (WHO 2013).

Yakma: Son kullanma tarihi geçmiş, tekrar kullanılamayan ve depolamaya uygun olmayan tıbbi ve tehlikeli atıkların oksidasyonla bertarafıdır. Yanma 1000°C ila 2000°C arasındaki yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Bu zamanda tehlikeli kimyasal olayların oluşması kaçınılmaz olduğundan sürecin sürekli izlenmesi gerekmektedir (Ertaş, 2019).

Tıbbi atık düzenlemesinin amacına baktığımızda, onu insan sağlığına veya doğal çevreye risk oluşturacak her türlü etkiden korumak olduğu anlaşılmaktadır. Yönetmelik çerçevesinde sağlık tesisleri tıbbi atıkların ayrı toplanması, gerekli talimat ve yöntemlerin geliştirilmesi, bu işle doğrudan ilgilenen personele bilgi ve koruyucu kıyafet sağlanması, atıkların ekonomik açıdan ucuz bir şekilde bertaraf edilmesi, geçici depolama tesislerinin oluşturulması ve araçlarla taşınması (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği 2017).

Atıklarla teması önlemek için sağlık tesisi içindeki geçici depolama tesislerinde toplanıp en kısa sürede bertaraf edilmelidir. Özellikle araçlara yükleme açısından tıbbi atıkların giriş ve çıkışlarında mevcut iklim koşullarına uygun ısıtma ve soğutma sistemleri kullanılmalıdır (Çetinbaş 2017).

Tıbbi atıkların kaynağında azaltılması için gerekli önlemler alınmalı, en basit ve kısa yoldan daha az atık üretme yöntemleri geliştirilmeli ve geri dönüşümü esas alınarak yeni malzemeler geliştirilmelidir. Ayrıca ilaç ve kimyasalların üretimi sırasında iyi yönetim ve uygun kontrol atıkların en aza indirilmesini sağlayacaktır.

A QUALITATIVE EVALUATION OF DISPOSAL OF MEDICAL WASTES

İlaha İsmayılova[1], Nuray Çağlar[2]

[1]Azerbaijan State Petroleum and Industry University, Faculty of Chemistry and Technology, Ecological Engineering, https://orcid.org/0009-0009-2293-5564, iliismayil00@gmail.com

[2]Istanbul University, Institute of Marine Sciences and Management, Department of Chemical, orcid: 0000-0001-7608-6339, nbal@istanbul.edu.tr

ABSTRACT

Industrialization is growing rapidly in Turkey, especially in big cities. In addition, urbanization, migration and rapid population growth threaten human and environmental health. Waste is defined as any substance that is used unconsciously, that is not needed and that we can describe as harmful to the environment. The amount of medical waste, which is the output of health institutions, is rapidly increasing and becoming a problem for the environment.

Medical wastes (infectious, pathological and penetrating) generated during procedures in hospitals, clinics and practices pose health risks. Necessary precautions should be taken regarding the medical wastes generated in health institutions in order to minimize the risks in terms of environment and public health and to reduce economic losses.

The reason for the starting point of this study is that the subject of medical waste has been mentioned in very limited studies in the literature. In our study, it is aimed to examine the disposal of medical wastes, to determine the situation, to evaluate it and to put new perspectives into practice. In this study, qualitative research method was used based on current literature information. Our study was conducted as a compilation. Disposal of medical wastes is one of the important problems both in the world and in Turkey. The process from the production to disposal of medical waste, which is the output of health institutions, is a very complex process. In our study, it is stated that health institutions are grouped according to the amount of waste they produce, collected separately at the source and rendered harmless. It is important to know the disposal methods of medical wastes in health units and to develop new materials based on their recycling.

Keywords: Waste, hospital, medicalwaste, elimination, medical waste management.

DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ YAPAN TESİS ATIK SULARININ ARITIMI İÇİN YENİLİKÇİ ARITIMIN (ENZİMATİK FENTON) UYGULANMASI

Nagihan Korkmaz

İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Kimyasal Oşinografi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye, ORCİD: 0000-0002-9492-5105, nagihan.ersoy@istanbul.edu.tr

Endüstriyel atık sular, sanayide üretim aşaması sonucunda ortaya çıkan atık sulardır. Bu atık sular çok karmaşık yapıya sahip olup arıtımları en zor olan atık sularından biridir. Demir çelik sanayi atık suları içerdikleri yoğun metal kirlilikleri sebebiyle kanalizasyon sistemine verilmeden önce arıtımlarının yapılması gerekmektedir. Arıtım için kullanılacak yöntemler mevzuatlara uygun olacak şekilde uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, galvanizli çelik üretici fabrikasına ait atık su arıtma tesisindeki Tersinir Soğuk Haddeleme ve alkali karakterli Sıcak Daldırma Galvanizleme ünitelerinden alınan yoğun kimyasal oksijen ihitacı (KOİ) atık suların arıtımları için Enzimatik Fenton arıtım yöntemi uygulanmıştır. Enzimatik fenton ile arıtım için pH 5'e ayarlanıp 1,2 g/L Fe^{2+} ve 0,76 g/L H_2O_2 ve 2,5 g/L lakkaz enzimi kullanılmıştır. Bu arıtım yöntemi art arda iki kez uygulanmıştır. Arıtım sonunda KOİ, renk ve çamurdaki toplam organik karbon (TOK) parametreleri incelenmiştir. Tersinir Soğuk Haddeleme ve alkali karakterli Sıcak Daldırma Galvanizleme ünitelerindeki atık sularında art arda iki kez uygulanan bu arıtma yönteminde KOİ arıtım verimleri sırasıyla % 80 ve 95 tespit edilmiştir. Renk giderim verimleri ise Tersinir Soğuk Haddeleme ünite atık suyu için % 87 ve Sıcak Daldırma Galvanizleme ünite atık suyu için % 96 olarak hesaplanmıştır. Arıtım için kullanılan lakkaz enzimi sayesinde toksik H2O2 miktarı azaltılmış olup çevre dostu bir arıtım uygulanmıştır. Yapılan bu çalışma ile demir çelik endüstrisi atık sularının arıtımı için yenilikçi Enzimatik Fenton arıtım yönteminin iyi bir başarı elde ettiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel atık sular, Enzimatik Fenton, İleri oksidasyon prosesi

Teşekkür: Atık su numunelerini temin edildiği Borçelik'e teşekkür ederim.

APPLICATION OF INNOVATIVE TREATMENT (ENZYMATIC FENTON) FOR THE REMOVAL OF IRON AND STEEL PRODUCTION FACILITY WASTEWATER

Nagihan KORKMAZ

Istanbul University, Institute of Marine Sciences and Management, Department of Chemical Oceanography, Istanbul, Turkiye, ORCİD: 0000-0002-9492-5105, nagihan.ersoy@istanbul.edu.tr

ABSTRACT

Industrial wastewater is the discarded water that emerges from the manufacturing process in the industry. These wastewaters have a very complex structure and are one of the most difficult wastewaters to treat. Due to the heavy metal pollution, they contain, the iron and steel industry wastewater must be treated before being given to the sewage system. The methods to be used for treatment are applied in accordance with the legislation.

In this study, the Enzymatic Fenton treatment method was applied for the treatment of intensive chemical oxygen demand (COD) wastewater input from Reversed Cold Milling (RCM) and Alkaline Continuous Galvanising Line (CGL) units in the wastewater treatment plant of the galvanized steel producer factory. pH was adjusted to 5 and 1.2 g/L Fe^{2+} and 0.76 g/L H_2O_2 and 2.5 g/L laccase enzyme were used for treatment with Enzymatic Fenton. This treatment method was applied twice in succession. The COD, color, and total organic carbon (TOC) parameters in the sludge were examined. COD treatment efficiencies of 80 and 95%, respectively, were determined in this treatment method, which was applied twice in succession to the wastewater of the Reversible Cold Rolling and Alkaline Hot Dip Galvanizing units. Color removal efficiencies were calculated as 87% and 96 % for RCM and CGL units wastewater, respectively. With the laccase enzyme used for treatment, the amount of toxic H_2O_2 has been reduced and an environmentally friendly treatment has been applied. With this study, it has been concluded that the innovative Enzymatic Fenton treatment method has achieved good success for the treatment of iron and steel industry wastewater.

Keywords: Industrial wastewater, Enzymatic Fenton, Advanced Oxidation process

Acknowledgments: The author would like to thank Borcelik for providing the wastewater samples.

MARMARA DENİZİ'NDEKİ BALIKLARDA ÖNCELİKLİ KİRLETİCİLERİN BULUNURLULUĞU VE İNSAN SAĞLIĞI RİSK DEĞERLENDİRMELERİ

Nagihan Korkmaz[1], Nuray Çağlar Balkıs[1], , Abdullah Aksu[1], Tuba Ünsal[1], Esra Billur Balcıoğlu[1], Hande Çavuş Arslan[2], Nazlı Demirel[3]

[1]İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Kimyasal Oşinografi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye, nbal@istanbul.edu.tr

[2]Haliç Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

[3]Istanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Fiziksel Oşinografi ve Deniz Biyolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Öncelikli kirleticiler, insan sağlığı veya çevre için potansiyel veya gerçek bir tehdit olarak algılanan kimyasallar veya malzemelerdir. Farmasötik bileşikler bu öncelikli kirleticiler sınıfına girmektedirler. Farmasötikler atık su arıtma tesislerinde arıtımı tam olarak gerçekleştirilemediği ve alıcı ortamlara ulaştığı için sucul ekosistem için dünyada da genel bir problem haline gelmeye başlamıştır. Bu bileşikler ve kalıntıları, su ortamına çoğunlukla atık su arıtma tesisleri, evsel, hastane ve endüstriyel atık suları yoluyla ulaşabilmektedir. Bu nedenle, bu bileşikler, yeraltı suları, denizler, nehirler, göller vb. gibi su ortamlarında yaygın olarak tespit edilmektedirler. Bir milyardan fazla insanın gıda ihtiyacını ve geçimini sağlayan denizler birçok canlıya ev sahipliği yapmaktadır. Denizsel ortamlarda farmasötik bileşiklerin varlıkları, deniz ekosistemlerindeki organizmaların sağlıkları için ciddi risklere neden olabilmektedir. Marmara Denizi, antropojenik baskıların (evsel, endüstriyel, vb.) deniz ekosistemleri üzerindeki etkilerinin bulunduğu bir bölge olması nedeniyle bu tür mikrokirleticilerin bulunma ihtimali yüksek olması nedeniyle araştırma alanı olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada, Marmara Denizi'ndeki balık kas dokularında insanlar tarafından yaygın olarak kullanılan 11 farmasötik bileşiğin (karbamazepin, ibuprofen, diclofenac, ketoprofen, naproksen, fenoprofen, klofibrik asit, gemfibrozil, 17β-estradiol, estrone, 17α-etinilestradiol) varlığı ve bu ürünlerin tüketimi yoluyla oluşabilecek insan sağlığı risk değerlendirmeleri araştırılmıştır. 2019 yılı ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde Marmara Denizi beş istasyondan beş balık türü (Trachurus meditterraneus, Spratus sprattus, Pomatomus saltatrix, Merlangius merlangus, Serranus hepatus) toplanmıştır. Numuneler ultrasonik ekstraksiyon metodu ile ekstrakte edilmiş ve daha sonra katı faz ekstraksiyon metodu ile saflaştırılmıştır. Ardından yüksek performanslı sıvı kromotografisi ile analiz edilmiştir. Balık kas dokularında en sık saptanan farmasötik bileşikler ibuprofen (<3,0–1225 ng/g), gemfibrozil (<3,2–480 ng/g), 17α-ethynylestradiol (<2,0–462 ng/g) olmuştur. Tehlike katsayılarına göre 17β-estradiol, 17α etinilestradiol ve estron bu deniz ürünlerinin tüketimi yoluyla insanlar için bir sağlık riski oluşturabilir.

Anahtar Kelimeler: Balık kas dokuları, Marmara Denizi, Oşinografi, Öncelikli kirleticiler, risk değerlendirmesi.

OCCURRENCE AND HUMAN HEALTH RISK ASSESSMENT OF EMERGING CONTAMINANTS IN FISH TISSUE IN THE SEA OF MARMARA, TÜRKİYE

Nagihan Korkmaz[1], Nuray Çağlar Balkıs[1], , Abdullah Aksu[1], Tuba Ünsal[1], Esra Billur Balcıoğlu[1], Hande Çavuş Arslan[2], Nazlı Demirel[3]

[1] Istanbul University, Institute of Marine Sciences and Management, Department of Chemical Oceanography, Istanbul, Turkey, nbal@istanbul.edu.tr

[2] Halic University, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Turkey

[3] Istanbul University, Institute of Marine Sciences and Management, Department of Physical Oceanography and Marine Biology, Istanbul, Turkey

Emerging contaminants are chemicals or materials that are perceived as a potential or real threat to human health or the environment. Pharmaceutical compounds belong to this class pollutans. Since the pharmaceuticals cannot be completely removed from the wastewater treatment plants and reach the receiving environments without being treated, it has become a general problem for the aquatic ecosystem of the world. These compounds and their residues can reach the aquatic environment mostly through wastewater treatment plants, domestic, hospital and industrial wastewater. Therefore, these compounds are commonly detected in aquatic environments such as groundwater, seas, rivers, lakes, etc. The seas, which provide food and livelihood for more than a billion people, are home to many living organisms. The presence of pharmaceutical compounds in marine environments can cause serious risks to the health of organisms in marine ecosystems. The Sea of Marmara has been chosen as a research area due to the high probability of the presence of such micropollutants, as it is a region where anthropogenic pressures (domestic, industrial, etc.) have effects on marine ecosystems.

In this study, the occurrence of eleven pharmaceutical compounds (carbamazepine, ibuprofen, diclofenac, ketoprofen, naproxen, fenoprofen, clofibric acid, gemfibrozil, 17β-estradiol, estrone, 17α-ethnylestradiol), commonly used by humans, in fish muscle tissues in the Sea of Marmara and human health risk assessments that may occur through the consumption of these products were investigated. Five fish species (Trachurus meditterraneus, Spratus sprattus, Pomatomus saltatrix, Merlangius merlangus, Serranus hepatus) were collected from five stations in the Marmara Sea in the spring and autumn seasons in 2019. The samples were extracted by ultrasonic extraction method and then clean-up by solid phase extraction method. It was then analyzed by high performance liquid chromatography. The most frequently detected target compounds in fish muscle tissues were ibuprofen (<3.0–1225 ng/g), gemfibrozil (<3.2–480 ng/g), 17α-ethynylestradiol (<2.0–462 ng/g). According to their hazard coefficients 17β-estradiol, 17α ethinylestradiol, and estrone may pose a health risk to humans through consumption of these products.

Keywords: Fish muscle tissues, Sea of Marmara, Oceanography, Emerging contaminants, risk assessment

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KAPSAMINDA KONUTLARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR SU, ENERJİ VE ATIK YÖNETİMİ

Melis ERDOĞAN[1], Ayşe FİLİBELİ[2]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tınaztepe Yerleşkesi, 35390 Buca-İZMİR, melis.erdogan23@gmail.com

[2]Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, 35390 Buca-İZMİR, ayse.filibeli@deu.edu.tr

Bugün karşılaşılan en büyük çevre sorunlarından birisi iklim değişikliğidir. 18 ile 19. yüzyıllarda başlayan sanayi devrimi, dünyanın çehresinin değişmesine sebep olmuştur. O yüzyıllara kadar karbon kaynakları kararlı bir seviyede kalırken, 19. yüzyıla gelindiğinde sanayi devriminin etkisi ile aşırı bir artış göstermiş ve bu da atmosferin dengesini bozarak sera etkisini ortaya çıkarmıştır. Sera etkisi, güneş ışınlarının karbondioksit, metan ve su buharı gibi atmosferde bulunan gazlara tutunması ve dünya yüzeyinin de ısınması anlamına gelir. Bu ısınma durumu ise iklimi etkileyerek, artık dünyanın birçok yerinde hissedilen iklim değişikliğine neden olmaktadır ve şehirlerde yaşayan insanlar için büyük bir sorun haline gelmiştir.

İklim değişikliği ile ilgili resmi raporlara göre, Türkiye iklim değişikliğinin etkileri açısından riskli ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye'de iklim değişikliğinin; özellikle su kaynaklarının azalması, taşkınların artması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ve bunlara bağlı ekolojik bozulmalar gibi olumsuz etkilere neden olacağı öngörülmektedir. Türkiye'de son zamanlarda şiddetli yağış, fırtına, sıcak hava dalgası, orman yangınları ve sel gibi doğal afetlerin sayısı artmıştır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2012).

IPCC'nin Küresel İklim Modelleri ile oluşturduğu projeksiyonlara göre;

- 2030 yılında Türkiye'nin büyük bir kısmı oldukça kuru ve sıcak bir iklimin etkisine girecek.
- Türkiye'deki sıcaklıklar kışın 2 derece, yazın ise 2 ile 3 derece arasında bir değerde artacak.
- Yağışlar kışın %10'luk bir artış gösterirken, yaz mevsiminde %5 – 15 azalacak.
- Yazın toprak nemi %15 – 25 arasında bir değerde azalacak.
- Akdeniz havzasındaki su seviyesinde 2030 yılına kadar 12 – 18 cm'lik; 2050 yılına kadar 14 – 38 cm'lik ve 2100 yılına kadar da 35 – 65 cm'lik bir yükselme görülecek (IPCC, 2000).

Bu çalışmanın amacı, her geçen yıl etkisinin fazlasıyla hissedildiği iklim değişikliğine karşı kırılgan olan konutların, sürdürülebilir su yönetimi, enerji verimliliği ve atık yönetimi açısından dayanıklı hale getirilmesidir. Özellikle kentlerde suyun sürdürülebilir bir şekilde yönetiminin sağlanması, enerji verimliliği konusunun incelenmesi ve atık yönetimi için planlamaların yapılması ve bu sorunların iklim değişikliği bağlamında ele alınması, kentlerde etkilenmiş veya etkilenebilecek alanların belirlenmesi ve uygulanması için gereken stratejileri planlamaktır.

Bu çalışma kapsamında, seçilen bir bölge için tasarımı yapılan konut genelinde sürdürülebilir su yönetimi, enerji verimliliği ve atık yönetiminin etkin kullanımının sağlanması için 'etkin kullanım önerileri' ortaya konulmuştur.

Kişi başına kullanılabilir su potansiyeline bakıldığında, Türkiye su baskısı yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Konut bazında en göze çarpan sürdürülebilir su yönetimi uygulamaları, yağmur suyunun yönetimidir. Bu yönetimin içinde yağmur bahçeleri, geçirimli döşemeler, yağmur varili ve çatı suyu hasadı olmak üzere birçok uygulama bulunmaktadır. Sürdürülebilir su yönetimi kapsamında bu uygulamaların incelenmesi bu çalışma için önemli bir yeri kapsamaktadır.

Dünyanın 21. yüzyılda karşılaştığı en büyük sorunlardan bir diğeri ise güvenli enerjinin elde edilmesidir. Günümüzde, ülkelerin enerjiyi üretme ve kullanma biçimi artık sürdürülebilir değildir. Karbon salınımını ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak amacıyla sürdürülebilir yöntemler kullanılarak enerji elde etmek adına yenilenebilir enerji sistemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir. Konut bazından düşünülecek olursa, yararlanılabilecek en uygun yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgardır. Bu çalışma içerisinde de güneş kollektörlerinin kullanımıyla yenilenebilir enerjiden faydalanılarak etkin bir enerji yönetiminin sağlanması konusunda yapılan uygulamalar incelenmiştir.

Katı atıkların bertaraf edilmesinde kullanılan yöntemlerin bazıları atmosfere sera gazı yayılmasına neden olmaktadır. Sera gazlarının %3,5'i atıklardan meydana gelmekte ve tahminen küresel antropojenik kaynakların 1/5'ine denk gelmektedir. Özellikle depolama alanlarında oluşan metan gazlarının toplam sera gazı emisyonlarının %15' ine eşit olduğu belirtilmektedir. Küresel ısınmaya büyük ölçüde katkıda bulunan sera gazlarının en önemlileri CO2, CH4 ve N2O'dur ve bu üç kirletici atık yönetiminin her aşamasında meydana gelmektedir (Demirarslan, 2020).

Katı atık yönetiminin en önemli aşamalarından birisi, sürdürülebilir bir yönetim sağlamak adına hiyerarşiyi izleyebilmektir. Bu sıralama önleme, azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve bertaraf şeklindedir. Bu sebeple atık yönetiminde ise geri kazanım/dönüşüm, atık yağ toplama sistemi ve kompostlama uygulamaları detaylı olarak araştırılmıştır.

Sonuç olarak, bu 'etkin kullanım önerileri' ile konutun en verimli şekilde iklim değişikliğine dayanıklı 'Yeşil Bina' özelliğine ve LEED standartlarına uyumu için yapılması gerekenler tartışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında incelenen sürdürülebilir su yönetim sistemleri ile iklim krizi nedeniyle tehlike altında olan su kaynaklarının korunmasına yönelik ve konutlarda yenilenebilir enerji kullanımı sayesinde enerji tasarrufu için sağlanan katkılar belirlenmiştir. Ayrıca ısınma ve diğer ihtiyaçlar için fosil yakıt kullanımına gerek olmadığı, böylelikle atmosferde fazlasıyla bulunan sera gazı salınımlıların konut bazında ele alınarak azaltılabileceği görülmektedir. Katı atık yönetiminde yapılacak uygulamalar ile su kaynakları üzerindeki etkilerin büyük ölçüde giderilerek, sürdürülebilir bir yaşama dönüşüm aşamasındaki kazanımlar üzerinde durulmuştur.

Bu bildiri kapsamında uygulanan yöntemler Çevre Mühendisliği bakış açısıyla değerlendirilmiş olup, önerilerin bu alanda yapılacak çalışmalar için iklim krizine karşı dayanıklı konutların inşasında yeni bir bakış açısı kazandıracağı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında özellikle katı atık yönetimi uygulamaları detaylı olarak ele alınmış, sürdürülebilir atık yönetiminin önemi tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: iklim değişikliği/krizi, sürdürülebilir su yönetimi, sürdürülebilir atık yönetimi, enerji verimliliği

SUSTAINABLE WATER, ENERGY AND WASTE MANAGEMENT IN RESIDENCES WITHIN THE SCOPE OF CLIMATE CHANGE

Melis ERDOĞAN[1], Ayşe FİLİBELİ[2]

[1]Dokuz Eylul University The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Tınaztepe Campus 35390 Buca-İzmir, melis.erdogan23@gmail.com

[2]Dokuz Eylul University Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, Tınaztepe Campus, 35390 Buca-İzmir, ayse.filibeli@deu.edu.tr

Climate change is one of the biggest environmental problems faced today. The industrial revolution, which started in the 18th and 19th centuries, caused the face of the world to change. While carbon resources remained at a stable level until those centuries, they increased excessively in the 19th century with the impact of the industrial revolution, which disrupted the balance of the atmosphere and revealed the greenhouse effect. The greenhouse effect means that the sun's rays attach to gases in the atmosphere such as carbon dioxide, methane and water vapor, and the earth's surface warms. This warming situation affects the climate, causing climate change that is now felt in many parts of the world, and has become a big problem for people living in cities. According to official reports on climate change, Türkiye is among the risky countries in terms of the effects of climate change. Climate change in Türkiye; It is predicted that it will cause negative effects, especially the decrease in water resources, increase in floods, forest fires, drought, desertification and related ecological disruptions. Recently, the number of natural disasters such as heavy rain, storms, heat waves, forest fires and floods has increased in Türkiye.

According to the projections created by IPCC's Global Climate Models;

- In 2030, most of Türkiye will be affected by a very dry and hot climate.
- Temperatures in Türkiye will increase by 2 degrees in winter and 2 to 3 degrees in summer.
- While precipitation will increase by 10% in winter, it will decrease by 5 – 15% in summer.
- In summer, soil moisture will decrease by 15 - 25%.
- The water level in the Mediterranean basin will increase by 12 - 18 cm by 2030; There will be an increase of 14 - 38 cm by 2050 and 35 - 65 cm by 2100.

The aim of this study is to make the residences that are vulnerable to climate change, the impact of which is felt every year, resilient in terms of sustainable water management, energy efficiency and waste management. Especially, ensuring the sustainable management of water in cities, examining the issue of energy efficiency and making plans for waste management, and addressing these problems in the context of climate change, determining the areas that are or may be affected in the cities and planning the necessary strategies for their implementation.

Within the scope of this study, ‘recommendations for effective use’ have been put forward to ensure the effective use of sustainable water management, energy efficiency and waste management throughout the house designed for a selected region.

Considering the usable water potential per capita, Türkiye is among the countries experiencing water stress. The most prominent sustainable water management practices on a residential basis are the management of rainwater. This management includes many applications, including rain gardens, permeable pavements, rain barrels and roof water harvesting. Examining these practices within the scope of sustainable water management is an important part of this study.

Another of the biggest problems the world faces in the 21st century is obtaining safe energy. Today, the way countries produce and use energy is no longer sustainable. In order to reduce carbon emissions and the effects of climate change, renewable energy systems should be preferred to obtain energy using sustainable methods. Considering the residences basis, the most suitable renewable energy sources that can be used are solar and wind. In this study, the applications made to ensure effective energy management by utilizing renewable energy through the use of solar collectors were examined.

Some of the methods used to dispose of solid waste cause the release of greenhouse gases into the atmosphere. 3.5% of greenhouse gases come from waste and are estimated to account for 1/5 of global anthropogenic resources. It is stated that methane gases, especially those formed in landfills, are equal to 15% of total greenhouse gas emissions. The most important greenhouse gases that contribute greatly to global warming are CO2, CH4 and N2O, and these three pollutants occur at every stage of waste management. One of the most important stages of solid waste management is to follow the hierarchy in order to ensure sustainable management. This order is prevention, reuse, recycling, recovery and disposal. For this reason, recycling/recovery, waste oil collection system and composting practices in waste management have been investigated in detail.

As a result, with these ‘recommendations for effective use’, what needs to be done to ensure that the house complies with the 'Green Building' feature that is resistant to climate change and LEED standards in the most efficient way is discussed.

With the sustainable water management systems examined within the scope of this study, the contributions made for the protection of water resources that are in danger due to the climate crisis and for energy saving through the use of renewable energy in residences have been determined. In addition, it is seen that there is no need to use fossil fuels for heating and other needs, so that greenhouse gas emissions, which are abundant in the atmosphere, can be reduced by considering them on a residential basis. With the applications to be made in solid waste management, the effects on water resources have been eliminated to a large extent and the gains in the transformation stage to a sustainable life have been emphasized.

The methods applied within the scope of this paper have been evaluated from the perspective of Environmental Engineering, and it is thought that the suggestions will provide a new perspective in the construction of residences resistant to climate crisis for the studies to be done in this area. Within the scope of the study, especially solid waste management practices were considered in detail and the importance of sustainable waste management was discussed.

Keywords: climate change, sustainable water management, sustainable waste management, energy efficiency

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE ATIKSU YÖNETİMİ

Esra Billur BALCIĞLU İLHAN[1], Fatih İLHAN[2], Uğur KURT[2]

[1] İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı, Vefa, İstanbul, Türkiye, ebillur@istanbul.edu.tr, ORCID:0000-0003-1235-9101

[2] Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa, İstanbul, Türkiye, filhan@yildiz.edu.tr, ORCID:0000-0003-3037-2713

Tekstil endüstrisi, insanların en temel ihtiyacı olan gıda temininden sonra en önemli ihtiyaçlarından biri olan giyeceklerin üretildiği sektördür. Tekstil endüstrisi, birden fazla hammaddenin kullanımı ile yün ve pamuk gibi kumaşların elde edilmesinde kullanılan liflerden tekstil ürünleri haline gelmesini sağlayan bir endüstri türü olarak tanımlanabilir. Tekstil endüstrisi kendine daha çok gelişmekte olan ülkelerde daha yaygın kullanım alanı bulmuştur. Türkiye, dünya tekstil piyasasında önemli bir konuma sahip olmuştur. Ülkemizin toplam ihracat gelirlerinin %40' a yakını tekstil ürünlerinden sağlandığı bilinmektedir. Ayrıca ülkemizin toplam endüstriyel işgücünün %10' u bu sektörde çalışmaktadır.

Tekstil, Türkiye'nin en önemli sektörlerinden biri olması nedeniyle, atık üretiminin de en fazla olduğu sektörlerin ilk sıralarında olduğu bilinmektedir. Üretim için, farklı proseslerde çok fazla su kullanılmaktadır. Bu nedenle büyük miktarda atık su oluşmaktadır. Tekstil sektöründe kullanılan kimyasallar ve boyar maddeler genellikle çevre ve halk sağlığı açısından toksik maddeler içermektedir. Tekstil sanayinin çevre için oluşturduğu bu zararlı etkilerin minimizasyonu için, ham madde kullanımını azaltmak, geri dönüşüm ve yeniden kullanımlarını artırmak gerekmektedir. Türkiye istatistik kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde en fazla su tüketen endüstrilerin başında Tekstil endüstrisi gelmektedir. Çok farklı türlere sahip olan tekstil endüstrisi ülkemizde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği) SKKY kapsamında yedi farklı alt başlık şeklinde değerlendirilmiştir. Farklı tekstil endüstrisinde kullanılan su ve atıksu kirletici parametrelerine ait değerler Tablo 1' de verilmektedir.

Firmalarda, atıksu minimizasyonu için tesis içinde proseslerde kullanılan suyun makineleri soğutma amacıyla tekrar kullanılması %10-15 oranında su tasarrufu sağlanabilir (Başkılıç, 2023). Ayrıca soğutma suyu olarak yağmur suları da yağış olan bölgelerde kullanılabilir. Bu da oluşması muhtemel ve kullanılması muhtemel suların azalması anlamı taşır (Bisschops ve Spanjers, 2003).

Bu amaçla ülkemizde yeni yeni yaygınlaşan karbon ayak izinin farklı bir fraksiyonu olan su ayak izi hesabı ve minimizasyonu da yeni yeni gündeme gelmektedir (Alper, 2015; Coşkun ve Doğan, 2021). Özellikle dünyamızın su kıtlığı çektiği bu dönemde su kullanımı ve minimizasyonu oldukça önemlidir (Yeşil ve diğerleri, 2023).

Tablo 1. Farklı tekstil proseslerinde kullanılan su ve oluşan atıksu kirletici parametreleri (Bisschops ve Spanjers, 2003)

Parametre	Elyaf türü	Haşıl Sökme	Yıkama	Ağartma	Boyama	Baskı
KOİ (mg/L)	Yün Pamuk Sentetik	- 950-2000 -	5000-90000 8000 -	- 288-13500 -	8000 1100-4600 620	- - 1500
$BOİ_5$ (mg/L)	Yün Pamuk Sentetik	- - -	2300-60000 100-3000 500-2800	400 100-1700 -	400-2000 1000-1450 530	- - 600
Renk (ADMI)	Yün Pamuk Sentetik	- 65-1900 -	2000 700 -	- 150 -	2225 1450-4750 1750	- - -
AKM	Yün Pamuk Sentetik	- 20-800 -	1000-26000 180-17400 600-3300	900 130-25000 -	- - -	- - 150-250
NH_4-N	Yün Pamuk Sentetik	- 10-20 -	600 - -	- 8-20 -	- - -	- - 130
pH	Yün Pamuk Sentetik	- 8,8-9,2 -	7,6-10,4 7,2-13 8-10	6 6,5-13,5 -	4,6-8 9,2-10,1 11,7	- - -
Su Kullanımı L/kg kumaş	Yün Pamuk Sentetik	- - -	5-80 2,5-45 15-70	- 30-50 -	40-150 40-140 40-140	300-500

Tablo 2: Tekstil sektörü için atıksu arıtma yöntemleri ve elde edilen giderim verimleri

Atıksu tipi	Proses	Giderim verimleri	Kaynak
Reaktif boya	Oksidasyon (UV/H2O2)	%63 TOK	(Holkar ve diğ, 2016)
Asit boya	Akustik ve hidrodinamik	%50-60 Boya giderimi	(Gogate ve Bhosale, 2013)
Boya (CV)	Fungi	>%95 Renk giderimi	(Chen ve Ting, 2015)
Tekstil	AKR+Foto Fenton	%97 KOİ, %95 TOK	(Blanco ve diğ, 2014)
Tekstil	AKR + Fenton	%99 Renk, %97 KOİ	(Azizi ve diğ, 2015)
Tekstil	MBR	%95 KOi, %97 Renk	(Lubello ve Gori, 2004)
Tekstil	Elektrooksidasyon	%93 Renk	(Bakaraki Turan ve diğ, 2022)
Tekstil	Elektrokoagülasyon	%86 KOİ, %61 TOK, %89 Renk	(Kubra ve diğ, 2021)
Tekstil	Oksidasyon- Fenton	%83 KOİ, %96 Renk, %76 KOİ	(Ilhan ve diğ, 2019)
Tekstil	Membran (NF)	%60 KOİ	(Ellouze ve diğ, 2012)
Tekstil	MBR+ NF MBR+ TO	%97 KOİ, %99 BOİ %99 KOİ, %99 BOİ	(Cinperi ve diğ, 2019)

Yukarıdan da görüleceği gibi farklı prosesler ile sular ister kanala deşarj edilebilir ister üretimde istenilen proseslerde kullanılabilir ister bölgede farklı amaçlar ile kullanılabilir, isterse de alıcı ortama deşarj edilebilir.

Ayrıca kombine proseslerin de (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) kullanımı arıtma tesisleri için oldukça önemli bir adımdır. Tüm bu proseslerin kendi içinde avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle arıtılabilirlik ve değerlendirme çalışmalarının yapılması zorunludur.

Anahtar Kelimeler: Tekstil endüstrisi, atıksu yönetimi, arıtılabilirlik

WASTEWATER MANAGEMENT IN THE TEXTILE INDUSTRY

Esra Billur BALCIĞLU İLHAN[1], Fatih İLHAN[2], Uğur KURT[2]

[1] Istanbul University Institute of Marine Sciences and Management, Chemical Oceanography Department, Vefa, İstanbul, Türkiye, ebillur@istanbul.edu.tr, ORCID:0000-0003-1235-9101

[2] Yıldız Technical University Civil Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Davutpaşa, İstanbul, Türkiye, filhan@yildiz.edu.tr, ORCID:0000-0003-3037-2713

The textile industry is the sector where clothing is produced, which is one of the most important needs of people after the most important need of food supply. The textile industry can be defined as a type of industry that enables textile products to be made from fibres used to obtain fabrics such as wool and cotton with the use of more than one raw material. The textile industry has found itself more widely used in developing countries. Türkiye has an important position in the world textile market. It is known that nearly 40% of our country's total export revenues are provided from textile products. In addition, 10% of the total industrial labour force of our country works in this sector. Farklı tekstil endüstrisinde kullanılan su ve atıksu kirletici parametrelerine ait değerler Tablo 1' de verilmektedir.

Table 1. Pollutant parameters of water and wastewater used in different textile processes (Bisschops and Spanjers, 2003)

Parameter	Fiber type	Desizing	Washing	Bleaching	Dying	Printing
COD (mg/L)	Wool	-	5000-90000	-	8000	-
	Cotton	950-2000	8000	288-13500	1100-4600	-
	Synthetic	-	-	-	620	1500
BOD_5 (mg/L)	Wool	-	2300-60000	400	400-2000	-
	Cotton	-	100-3000	100-1700	1000-1450	-
	Synthetic	-	500-2800	-	530	600
Colour (ADMI)	Wool	-	2000	-	2225	-
	Cotton	65-1900	700	150	1450-4750	-
	Synthetic	-	-	-	1750	-
Suspended solids	Wool	-	1000-26000	900	-	-
	Cotton	20-800	180-17400	130-25000	-	-
	Synthetic	-	600-3300	-	-	150-250
NH_4-N	Wool	-	600	-	-	-
	Cotton	10-20	-	8-20	-	-
	Synthetic	-	-	-	-	130
pH	Wool	-	7,6-10,4	6	4,6-8	-
	Cotton	8,8-9,2	7,2-13	6,5-13,5	9,2-10,1	-
	Synthetic	-	8-10	-	11,7	-
Water use L/kg fabric	Wool	-	5-80	-	40-150	300-500
	Cotton	-	2,5-45	30-50	40-140	
	Synthetic	-	15-70	-	40-140	

Since textile is one of the most important sectors in Türkiye, it is known to be one of the sectors with the highest waste production. For production, a lot of water is used in different processes. Therefore, a large amount of waste water is generated. Chemicals and dyestuffs used in the textile industry generally contain toxic substances for the environment and public health. In order to minimise these harmful effects of the textile industry on the environment, it is necessary to reduce the use of raw materials and increase recycling and reuse. According to the data of Turkish Statistical Institute (TUIK), textile industry is one of the most water consuming industries in our country. The textile industry, which has many different types, is evaluated under seven different sub-headings within the scope of Water Pollution Control Regulation in our country.

In companies, 10-15% water saving can be achieved by reusing the water used in the processes in the plant for cooling the machines for wastewater minimization (Başkılıç, 2023). In addition, rainwater can also be used as cooling water in areas with rainfall. This means a decrease in the water that is likely to be formed and likely to be used (Bisschops and Spanjers, 2003).

For this purpose, water footprint calculation and minimisation, which is a different fraction of the carbon footprint, which has recently become widespread in our country, is recently coming to the agenda (Alper, 2015; Coşkun and Doğan, 2021). Especially in this period when our world is suffering from water scarcity, water use and minimisation is very important (Yeşil et al., 2023).

Since the wastewaters formed have different contents, it is possible to treat them with different methods. These processes can be treated by physical treatment (membrane processes, sedimentation, flotation etc.), chemical treatment (chemical coagulation, neutralisation, advanced oxidation processes etc.) and biological methods (membrane bioreactor, aerobic anaerobic biological treatment etc.). The values of water and wastewater pollutant parameters used in different textile industries are given in Table 2.

Table 2: Wastewater treatment methods and removal efficiencies obtained for textile sector

Wastewater type	Process	Removal efficiency	Reference
Reactive dye	Oxidation (UV/H_2O_2)	%63 TOC	(Holkar et al., 2016)
Acid dye	Acoustics and hydrodynamics	%50-60 Dye removal	(Gogate and Bhosale, 2013)
Dye	Fungi	>%95 Colour removal	(Chen and Ting, 2015)
Textile	SBR+Photo Fenton	%97 COD, %95 TOC	(Blanco et al., 2014)
Textile	SBR + Fenton	%99 Colour, %97 COD	(Azizi et al., 2015)
Textile	MBR	%95 COD, %97 Colour	(Lubello and Gori, 2004)
Textile	Electrooxidation	%93 Colour	(Bakaraki Turan et al., 2022)
Textile	Electrocoagulation	%86 COD, %61 TOC, %89 Colour	(Kubra et al., 2021)
Textile	Oksidasyon- Fenton	%83 COD, %96 Colour, %76 COD	(Ilhan et al., 2019)
Textile	Membrane (NF)	%60 COD	(Ellouze et al., 2012)
Textile	MBR+ NF MBR+ RO	%97 COD, %99 BOD %99 COD, %99 BOD	(Cinperi et al., 2019)

As can be seen from the above, water can be discharged to the canal with different processes, or can be used in the desired processes in production, or can be used for different purposes in the region, or can be discharged to the receiving environment.

In addition, the use of combined processes (physical, chemical and biological) is a very important step for treatment plants. All these processes have their own advantages and disadvantages. Therefore, it is mandatory to carry out treatability and assessment studies.

Keywords: Textile industry, wastewater management, treatability

METAL KAPLAMA ENDÜSTRİLERİNDE ATIKSU YÖNETİMİ

Fatih İLHAN[1], Esra Billur BALCIOĞLU İLHAN[2], Yaşar AVŞAR[1]

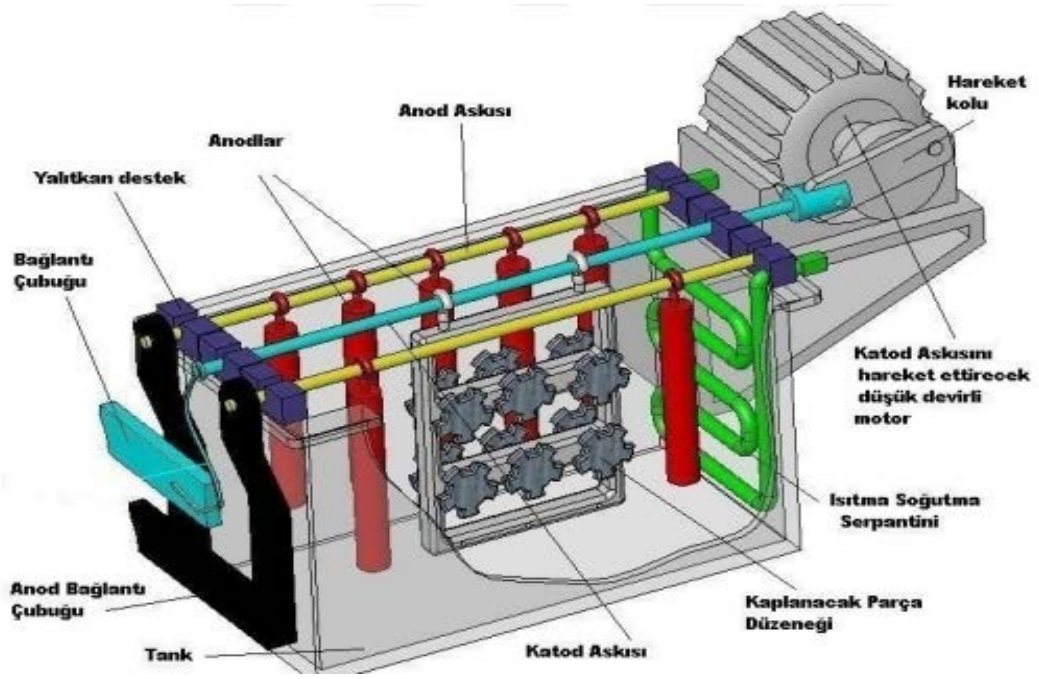
[1] Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa, İstanbul, Türkiye, filhan@yildiz.edu.tr, ORCID:0000-0003-3037-2713

[2] İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı, Vefa, İstanbul, Türkiye, ebillur@istanbul.edu.tr, ORCID:0000-0003-1235-9101, avsar@yildiz.edu.tr, ORCID: 0000 0002 4189 5512

Metaller çok farklı alanlarda kullanılan hammadde ve ürünlerdendir. Metal kaplama estetik ve korozyona karşı önlem açısından önemli bir yöntemdir. Kaplama, korozyonu önleme, dekoratif ve yüzey kalitesini arttırma amaçlı yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. Metallerin üretim esnasında yüzeyde yağ ve gres bulunur. Metal kaplama sanayiinde çok farklı pH larda atıksu çıkışı olmaktadır. Metal sanayi atıksuyu temizlemek için kullanılan alkali ve kaplama yöntemleri nedeniyle yüksek pH, askıda katı maddeler, metal parçacıkları, sabunlar, nitrür, sülfit, klorür, gres, yağ vb. özelliklere sahiptir. Yağdan arındırıldıktan sonra malzemeler kaplama banyolara gönderilir. Durulama ve yıkama atıkları genellikle alkalindir. Kaplama banyoları asidiktir ve sülfürik asit, hidroklorik asit veya nitrik asit içerir. Alkali banyolarda karbonat, hidroksit ve siyanür kullanılır. Kaplama yapıldıktan sonra malzemeler kaplama banyolarının arkasındaki durulama ünitesine gönderilir. Bu banyolarda bulunan çözelti, belirlenen limitlerin üzerinde kirletici maddeler içerdiğinden atık su olarak deşarj edilemez. Ancak durulama suyu alıcı ortama deşarj edilebilir. Kaplama banyolarından salınan atık sudaki katılar yüksek hacimde olmayıp önemli toksik kimyasal maddeler içerebilir. Büyük miktarlarda metalle kirlenmiş atık suyun deşarjı nedeniyle, krom, çinko, bakır, nikel, kalay ve siyanür gibi ağır metal taşıyan endüstriler, kimyasal yoğun endüstriler arasında en tehlikeli olanlardır.

Metal kaplama endüstrisi ülkemizde ve dünyada hızla gelişen endüstri dallarından birisidir. Çok farklı türlerde metal kaplama yapılabilir. Elektrolitik kaplamaya ait bir görsel Şekil 1'de verilmiştir.

Metal kaplama endüstrisi, sahip olduğu önemin yanında, sebep olduğu kirliliklerden ötürü de önem verilmesi gereken bir endüstri dalıdır. Metal kaplama endüstrisinden kaynaklı ortaya çıkan bakır, nikel, demir, krom, siyanür ve çinko gibi ağır metaller çevre ve insan sağlığına olan zararlarından ötürü hassasiyetle giderimi sağlanması gereken ağır metal bileşikleridir. Ülkemizde de metal kaplama endüstrisi yaygın olarak bulunmaktadır. Bu sebeple endüstriden kaynaklanan atıksu miktarı da fazla olacaktır. Oluşan atıksuda bulunan ağır metallerin giderim standartları Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilmektedir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre atıksuların deşarjı için gerekli parametreler bulunmaktadır. Metal kaplama endüstrisinden çıkan atıksuların arıtılarak yönetmelikte belirtilen sınır değerleri aşmayacak şekilde deşarj edilmesi veya tekrar kullanılacaksa da kullanım alanına bağlı olarak uygun kirlilik gideriminin sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada metal kaplama atıksularının arıtılabilirliği ve atıksu yönetimi hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.



Şekil 1. Elektrolitik Metal Kaplama (Saraç, 1995)

Metal Kaplama Endüstrisi Atıksuları

Endüstriyel atıksular çok farklı sektör ve içerdikleri yoğun kirleticiler nedeniyle çevre açısından son derece önemlidir. Kirleticiler genelde organik ve inorganik kirleticiler olarak ikiye ayrılır. Organik kirleticiler genel olarak biyolojik arıtım ile arıtılabilir iken inorganik kirleticiler kendi içinde çok farklı parametrelere ayrılmaktadır. Çevre ve halk sağlığı açısından en önemlilerden biri de ağır metallerdir. Ağır metallerin en fazla bulunduğu atıksuların kaynaklandığı sektör de metal kaplama sektörüdür. Tipik bir metal kaplama sektörü atıksu karakteristiği Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1: Metal kaplama endüstrisi atıksu karakteristiği (ppm)

Cu	Ni	Zn	Cr	Kaynak
8	14	3	42	(Yalcin ve Apak, 2004)
30	150	25		(Abdel-Shafy ve diğ, 2022)
45	394		45	(Akbal ve Camcidotless, 2011)
33	58	20	94	(Al-Shannag ve diğ, 2015)
35	78		231	(Ozaki ve diğ, 2002)

Metal Kaplama Endüstrisi Atıksu Arıtımı

Fiziksel ve kimyasal olmak üzere birçok farklı yol ile arıtılabilirlik mümkündür. Aşağıdaki tabloda konu ile ilgili bir literatür özeti bulmak mümkündür.

Tablo 2: Çeşitli proseslere ait giderim verimleri

Proses	Cr Giderimi	Cu Giderimi	Ni Giderimi	Kaynak
UF	% 93	%98	%99	(Barakat ve Schmidt, 2010)
NF		%96		(Qdais ve Moussa, 2004)
TO	%99	%99	%99	(Ozaki ve diğ, 2002)
Elektrokoagülasyon	>%99	%99	%98	(Al-Shannag ve diğ., 2015)
Elektrokoagülasyon	<%99	>%99	%98	(Akbal ve Camcidotless, 2011)
Kim. çökürme (pH)	<%98	>%98	>%95	(Meunier ve diğ., 2006)
Adsopsiyon	%98	%90	%84	(Lee ve diğ., 2017)

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi en uygun yöntemler uygun verim ve ekonomiye göre seçilebilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntem pH ayarlama ile çöktürme fakat her bir metal için uygun pH değerlerindeki farklılık, genellikle atıksuyun son derece asidik olmasından dolayı pH yükselmesi ile oluşan maliyet ve çökelen çamur miktarı da fazla olacaktır. Ayrıca arıtım sonrası deşarj edebilmek için tekrar pH ı düşürmek gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Metal kaplama, atıksu yönetimi, arıtılabilirlik

WASTEWATER MANAGEMENT IN METAL COATING INDUSTRIES

Fatih İLHAN[1], Esra Billur BALCIOĞLU İLHAN[2], Yaşar AVŞAR[1]

[1] Yıldız Technical University Civil Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Davutpaşa, İstanbul, Türkiye, filhan@yildiz.edu.tr, ORCID:0000-0003-3037-2713

[2] Istanbul University Institute of Marine Sciences and Management, Chemical Oceanography Department, Vefa, İstanbul, Türkiye, ebillur@istanbul.edu.tr, ORCID:0000-0003-1235-9101, avsar@yildiz.edu.tr, ORCID: 0000 0002 4189 5512

Metals are raw materials and products used in many different fields. Metal coating is an important method for aesthetics and corrosion prevention. Coating is a widely used method for corrosion prevention, decorative and surface quality enhancement. During the production of metals, oil and grease are present on the surface. In the metal coating industry, wastewater is discharged at very different pH levels. Metal industry wastewater has high pH, suspended solids, metal particles, soaps, nitrides, sulfides, chlorides, grease, oil, etc. due to the alkali and coating methods used to clean it. After degreasing, the materials are sent to coating baths. Rinsing and washing wastes are usually alkaline. Coating baths are acidic and contain sulfuric acid, hydrochloric acid or nitric acid. Carbonate, hydroxide and cyanide are used in alkaline baths. After coating, the materials are sent to the rinsing unit behind the stationary baths. The solution in the coating baths cannot be discharged as wastewater as it contains pollutants above the set limits. However, rinse water can be discharged to the receiving environment. The solids in wastewater released from coating baths are not in high volumes and may contain significant toxic chemicals. Heavy metal-bearing industries such as chromium, zinc, copper, nickel, tin and cyanide are the most hazardous among chemical-intensive industries due to the discharge of large quantities of metal-contaminated wastewater.

Metal coating industry is one of the rapidly developing industries in our country and in the world. Many different types of metal coatings can be performed. A visual of electroplating is given in Figure 1.

In addition to its importance, the metal coating industry is also an industry that should be given importance due to the pollution it causes. Heavy metals such as copper, nickel, iron, chromium, cyanide, zinc, nickel, iron, copper, nickel, iron, chromium, chromium, cyanide and zinc are heavy metal compounds that need to be removed sensitively due to their harm to the environment and human health. Heavy metals such as copper, nickel, iron, chromium, cyanide and zinc are heavy metals originated from metal coating industry that need to be removed sensitively due to their harm to the environment and human health. The metal coating industry is also widespread in our country. The removal standards of heavy metals in the wastewater are specified in the Water Pollution Control Regulation. According to the Water Pollution Control Regulation, there are parameters required for the discharge of wastewater. Wastewater from the metal coating industry should be treated and discharged in such a way that it does not exceed the limit values specified in the regulation, or if it is to be reused, appropriate pollution removal should be

provided depending on the area of use. In this study, detailed informations about the treatability of metal coating wastewater and wastewater management are given.

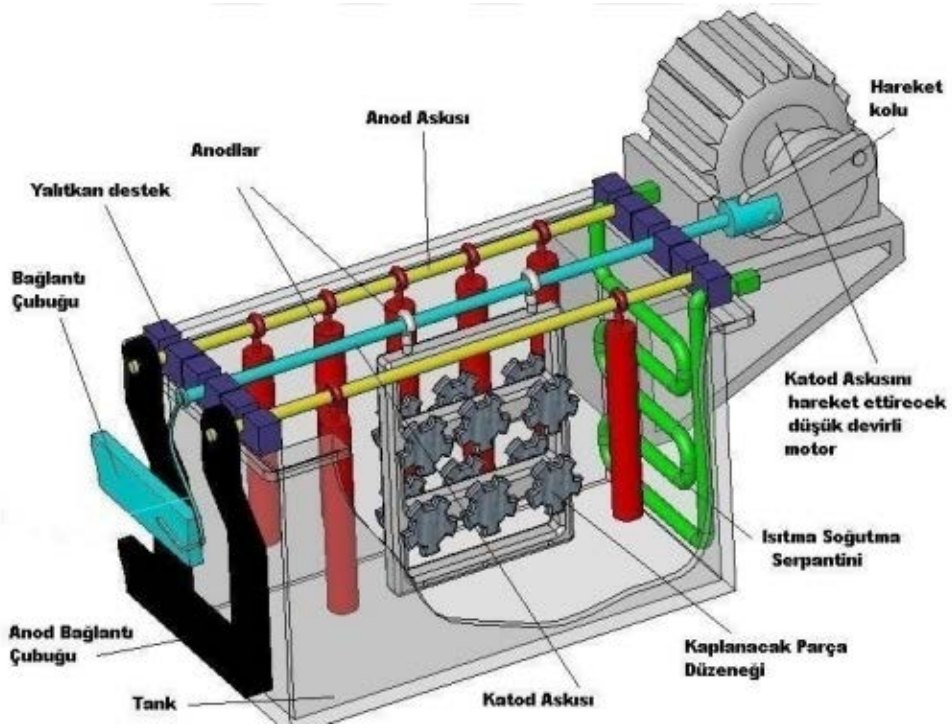


Figure 1. Electrolytic Metal Plating (Sarac, 1995)

Metal Coating Industry Wastewater

Industrial wastewaters are extremely important for the environment due to the many different sectors and the intense pollutants they contain. Pollutants are generally divided into organic and inorganic pollutants. While organic pollutants can generally be treated by biological treatment, inorganic pollutants are divided into many different parameters. One of the most important in terms of environment and public health is heavy metals. The sector where the wastewater with the highest amount of heavy metals originates is the metal coating sector. A typical metal coating industry wastewater characterization is given in Table 1.

Table 1: Heavy metal characteristics in metal coating industry wastewater (ppm)

Cu	Ni	Zn	Cr	References
8	14	3	42	(Yalcin and Apak, 2004)
30	150	25		(Abdel-Shafy et al., 2022)
45	394		45	(Akbal and Camcidotless, 2011)
33	58	20	94	(Al-Shannag et al., 2015)
35	78		231	(Ozaki et al., 2002)

Metal Coating Industry Wastewater Treatment

It is possible to be treated in many different ways, both physical and chemical. A summary of the literature on the subject is given in the table below.

Table 2: Removal efficiencies of various processes

Proses	Cr Removal	Cu Removal	Ni Removal	References
UF	% 93	%98	%99	(Barakat and Schmidt, 2010)
NF		%96		(Qdais and Moussa, 2004)
TO	%99	%99	%99	(Ozaki et al., 2002)
Electrocoagulation	>%99	%99	%98	(Al-Shannag et al., 2015)
Electrocoagulation	<%99	>%99	%98	(Akbal and Camcidotless, 2011)
Chemical precipitation (pH)	<%98	>%98	>%95	(Meunier et al., 2006)
Adsoption	%98	%90	%84	(Lee et al., 2017)

As can be seen in the table above, the most appropriate methods can be selected according to the appropriate efficiency and economy. The method commonly used today is precipitation by pH adjustment, but due to the difference in pH values suitable for each metal and the fact that the wastewater is generally highly acidic, the cost and the amount of sludge precipitated by pH increase will be high. It is also necessary to make decrease the pH again to be able to discharge after treatment.

Keywords: Metal coating, wastewater management, treatability

BOROJIPS ATIĞININ GÜBRE ÜRETIM POTANSIYELI IÇIN BOR IÇERIKLI HAMMADDE OLARAK KULLANILABILIRLIĞININ ARAŞTIRILMASI

Havva Mumcu Şimşek, Rövşen Guliyev

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Kimya Mühendisliği,ORCID : 0000-0002-2270-3642, havvamumcu@osmaniye.edu.tr

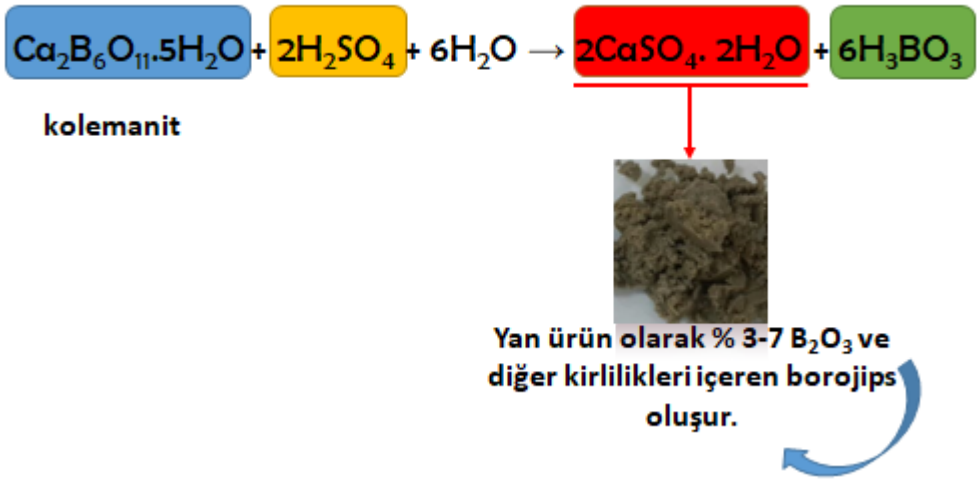
Ardahan Üniversitesi Çevre Mühendisliği,ORCID : 0000-0003-2396-8201, rovsenguliyev@ardahan.edu.tr

Borik asit işletme tesislerinin katı atığı olan borojips, atık barajlarında stoklanmaktadır. Çevre için sorun oluşturan bu atık yığınlarından gübre hammadesi üreterek, borojipsin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir.

Bor kimyasalları B2O3 içeriğine göre adlandırılmaktadır. Bor bileşiklerinin içindeki B2O3 oranına "tenör" adı verilmektedir ve B2O3 içeriği arttıkça ürün değeri de artmaktadır. Dünya çapında bor maden ve mineralleri üreten ülke sayısı 10 civarındadır. Türkiye dünyanın en büyük bor maden üreticisidir. 2015 yılında dünya bor üretim kapasitesi 2,744 milyon ton seviyesine ulaşmıştır .

Şekil 1.Türkiye'de Bor Minerali Bulunan İl ve İlçeler

Bu ürünlerin üretiminde çeşitli atıklar oluşmaktadır. Konsantre kolemanitten üretilen borik asidin tonu başına yaklaşık 3 ton borojips oluşmaktadır. Balıkesir'in Bandırma ilçesinde ve Kütahya'nın Emet ilçesindeki Eti Maden İşletmeleri Tesislerinde borik asit fabrikaları bulunmakta ve yılda 385 bin ton borik asit üretilmektedir. 385 bin ton borik asit üretimi esnasında yaklaşık olarak 1155 bin ton borojips oluşmaktadır. Göründüğü gibi her yıl yaklaşık 35-80 bin ton B2O3 borojipsin içeriğinde atık olarak atılmaktadır.



Çalışmanın amacı

Bu çalışmanın amacı, atık borojipsin bor içerikli gübre üretiminde nasıl kullanılabileceğini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda, diamonyum fosfat gibi bir gübre malzemesi kullanılmıştır. Laboratuvar koşullarında, diamonyum fosfat ile borojips atığı 1.0:1.0, 1.0:1.2, 1.0:1.4, 1.0:1.6 ve 1.0:2.0 mol oranlarında karıştırılmıştır. Karışım esnasında K/S oranı 0.5, sıcaklık 50°C, karışma süresi 60 dakika, çözeltinin pH aralığı 5.5-6.5 ve karışma hızı 400 devir/dakika olarak ayarlanmıştır. Oluşan üründe X-ray difraktometresi (XRD), Fourier transform infrared (FT-IR), UV (ultraviyole ışınları) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Deneysel çalışmalarda kullanılan borojips, Emet Borik Asit Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan di-amonyum fosfat çözeltisi (moleküler ağırlığı: 132,05 g/ mol %99,0 saflıkta) Merck üretimidir.

Çalışmalarda kullanılacak olan borojips;

- Laboratuvar ortamından nemli numuneler ön kurutmaya tabi tutulmuş ve öğütülmüştür. Elekten geçirilmiştir Etüvde 100°C sıcaklıkta sabit tartıma ulaşıncaya kadar kurutulmuştur.Çözündürme işlemi 500 mL'lik cam reaktörde ve atmosferik basınçta yapılmıştır. Çözünme işlemi sonunda reaktör içeriği oda sıcaklığına soğutulmuştur.

Tablo 1. Borojipsin Kimyasal Bileşimi

Bileşik	B_2O_3	SiO_2	SO_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	Na_2O	SrO	As_2O_3	H_2O
% (w)	4.00	7.50	35.40	22.90	1.30	0.82	0.93	0.12	0.30	0.10	26.63

Tartışma ve Sonuç

- Bir gübre tipi ancak, bitki besin maddelerini etkin bir şekilde sağlıyorsa, ilgili numune alma ve analiz yöntemleri uygulanabiliyorsa, normal kullanım şartlarında, insan, hayvan, bitki

ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkilemiyorsa,bu şartları karşıladığı zaman TS 2832 Kompoze gübre kapsamına dahil edilir.

- Yapılan analizler sonucunda N, P, S, Ca ve B besi maddelerini içinde bulundurduğu görülmüştür.
- TS 2832 gübre yönetmeliğine göre numune alma ve analiz yöntemleri uygulandı.
- Normal kullanım şartlarında, insan, hayvan, bitki ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkilemediği görülmüştür.
- Depoloma alanlarına gönderilecek atık miktarında azalma olacaktır.
- Çalışmamız kapsamında önerilen borojibsten gübre üretilmesidurumunda katı atığın stoklanmasında, sarf edilen masrafların azalması sağlanacaktır.
- Türkiye'deki Borik asit tesislerindeki katı atık-borojibsin gübre olarak değerlendirilmesi konusunda bilgi üretimi sağlayacaktır.
- Çalışmamız bilimsel olmakla birlikte teknoloji geliştirmeye ve direk uygulamaya yöneliktir.

Anahtar Kelimeler: Borojips, Katı atık, Çözünme

INVESTIGATION OF THE FEASIBILITY OF USING BORON-RICH WASTE AS A BORON-CONTAINING RAW MATERIAL FOR FERTILIZER PRODUCTION

Havva Mumcu Şimşek, Rövşen Guliyev

Osmaniye Korkut Ata University Department of Chemical Engineering, ORCID : 0000-0002-2270-3642, havvamumcu@osmaniye.edu.tr

Ardahan University Department of Environmental Engineering, ORCID: 0000-0003-2396-8201, rovsenguliyev@ardahan.edu.tr

In the evolving world, controlling industrial pollution and evaluating the generated waste hold significant importance. Waste valorization is an approach within the waste management process that aims to reduce environmental impacts, utilize resources efficiently, and recycle waste. It involves minimizing waste generation, maximizing reuse, recycling materials, and recovering value from waste." Our country possesses the world's largest boron reserves and produces 385 thousand tons of boric acid annually. For each ton of boric acid obtained from concentrated colemanite, approximately 3 tons of borogypsum (solid waste) are generated. Borogypsum typically contains a B2O3 content ranging from 3% to 7%.

The aim of this study is to investigate the potential utilization of waste borogypsum in the production of boron-containing fertilizers. In line with this objective, a fertilizer material such as diammonium phosphate has been utilized. Under laboratory conditions, diammonium phosphate and borogypsum waste were mixed at molar ratios of 1.0:1.0, 1.0:1.2, 1.0:1.4, 1.0:1.6, and 1.0:2.0.During the mixing process, the K/S ratio was set at 0.5, temperature at 50°C, mixing time at 60 minutes, solution pH range at 5.5-6.5, and mixing speed at 400 revolutions per minute. The resulting product was subjected to X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FT-IR), ultraviolet (UV), and scanning electron microscopy (SEM) analyses.

Keywords: Borogypsum,Solid Waste, Dissolution

YERALTINDA URANYUMUN BİYOJEOKİMYASAL REAKTİF TAŞINIM MODELLEMESİ

Selin Gökçe[1], Sema Sevinç Şengör[2]

[1] Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye, selin.gokce@metu.edu.tr, ORCID NO: 0000-0002-0669-466X

[2] Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye ssengor@metu.edu.tr, ORCID NO: 0000-0003-3944-1172 (Corresponding author)

ÖZET

Uranyum (U), yüksek çözünürlük, hareketlilik ve toksisite seviyelerine sahip olması nedeniyle önemli bir çevresel sorun haline gelmiştir. Uranyumla ilgili farklı çözüm yöntemleri bulunsa da, mikrobiyal temelli çözüm teknolojileri umut vadeden bir yaklaşımdır. Uranyumun oksitlenmiş formu olan U(VI), uzun yarı ömrü ve toksisitesi nedeniyle önemli bir çevresel endişe kaynağıdır. U(VI)'in daha az çözünür U(IV) durumuna indirgenmesi, genellikle mineral uraninit (UO2) formunda gözlemlenir ve indirgenme koşullarında termodinamik olarak desteklenmektedir. Öte yandan, uranyumun immobilizasyonu için metal indirgeyen bakteriler kullanılarak biyo-indirgenmesi, birçok uranyum kirlenmiş sahada olası bir iyileştirme teknolojisi olarak kabul edilmiştir. Ancak, elektron vericisi tamamen tükenir tükenmez çözünmez uraninit, Fe-oksitlerin varlığında tekrar çözünür, U(VI)'ye yeniden oksitlenebilir ve uranyum kirliliğinin temizleme çabalarını engelleyebilir. Bu çalışmanın temel amacı, heterojen yer altı ortamlarında uranyumun biyojeokimyasal süreçlerini dikkate alan iki boyutlu (2D) modelleme çerçevesi içinde, fiziksel ve kimyasal heterojenliğin etkisi altında taşınımını incelemektir.

GİRİŞ

Yeraltı suyu, genellikle "gizli kaynak" olarak adlandırılan, yüzey suyuna kıyasla erişilmesi ve izlenmesi zor olan bir kaynaktır, bu da onun kirliliğini ve etkilerini karakterize etmeyi ve anlamayı zorlaştırır. Yeraltı suyu modellemesi, kirleticilerin yeraltında nasıl hareket ettiğini anlamak için değerli bir araçtır. Bu modeller gerçek koşulları tam olarak temsil etmese de, yeraltı suyunun akışı hakkında değerli bilgiler sağlar. Heterojenlik, yeraltı suyunun yüzey akış modelleri üzerinde önemli etkilere sahip olan yer altı jeolojik özelliklerinin değişkenliğidir ve izleme maliyetinin yüksek olması ve basit kavramların eksikliği nedeniyle, heterojenlik şimdiye kadar birçok saha taşımasına tam olarak entegre edilmemiştir.

Uranyum, kayalarda, sedimanlarda ve topraklarda doğal olarak bulunan en yaygın radyonüklittir ve madencilik, nükleer işlemler ve fosfat gübre üretimi gibi insan faaliyetlerinden etkilenir. Uranyum kirliliği, toprak, su ve sediment kirliliğine neden olarak çeşitli çevrelerde ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Türkiye'de, kömür yakma ve termal tesislerden kaynaklanan radyonüklit kirliliği yeraltı suyu kalitesini olumsuz etkilemektedir. U(VI), uranyumun oksitlenmiş formudur, oldukça hareketlidir, toksiktir ve insan sağlığına ve ekosistemlere risk oluşturur. Mikrobiyal kaynaklı U(VI) indirgenmesi de dahil olmak üzere remediasyon yöntemleri umut verici ve uygun maliyetli çözümler sunmaktadır. Uranyumun uraninite'e biyolojik olarak indirgenmesi, elektron vericinin varlığında metal indirgeyici bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Sani v.d (2004) çalışmasına göre,

elektron verici tükenmişse, yüzeylerdeki kristal Fe(III)-hidroksitlerin indirgenmesi, U(IV)'ün kısmi olarak U(VI) türlerine yeniden oksidasyonuna yol açabilir. Bu, temizleme ve iyileştirme çabalarını engeller.

Bu çalışmanın temel amacı, fiziksel ve kimyasal olarak heterojen olan yeraltının, sırasıyla değişken hidrolik iletkenlik ve Fe(III) dağılımına sahip olduğu bir ortamda biyotik ve abiyotik reaksiyon ağını dikkate alarak kirleticilerin akışını ve taşınmasını simüle etmek için 2D sayısal bir model geliştirmektir. Araştırma, heterojenlik verilerinin analizini, bir biyojeokimyasal reaksiyon veritabanını kullanmayı ve yeraltı suyu akışı ile birlikte reaktif taşıma modeli oluşturmayı içerir. Heterojenliğin farklı seviyelerini içeren senaryolar, kirleticilerin taşınmasında etkilerini değerlendirmek için simüle edilmiştir. Bu çalışmada, yeraltı akışı ve reaktif kirletici taşınmasına uranyum reoksidasyon süreçlerinin etkileri gösterilmekte olup, model simülasyonları uranyum reoksidasyonlu ve reoksidasyonsuz olarak çalıştırılmıştır. Sonuçlar, biyotik ve abiyotik reaksiyon ağlarını dikkate aldığınızda yüzeyaltı ortamlarda karışım sınırlamaları olan kirletilmiş bölgeler için etkili biyoremidasyon stratejilerini belirlemeye yardımcı olur.

YÖNTEM

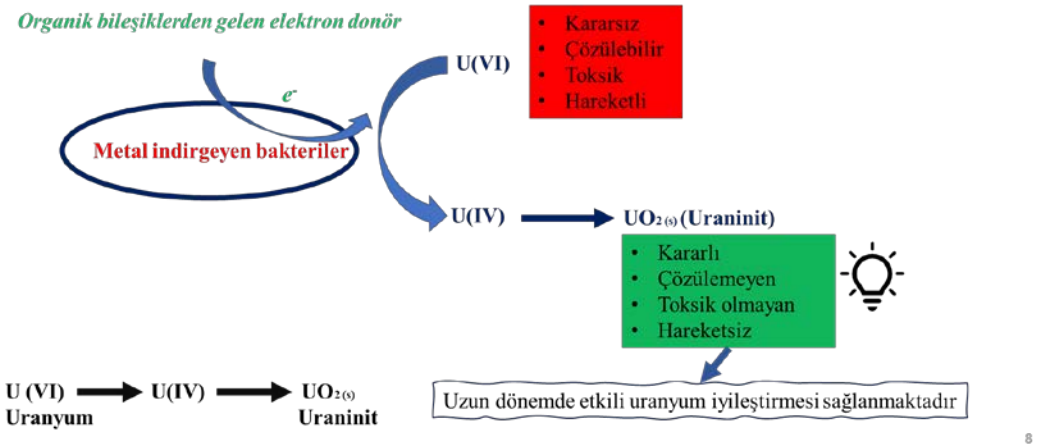
Bu çalışma, fiziksel ve kimyasal heterojenliğin, uranyum kontaminasyonu örneği üzerinden biyojeokimyasal reaksiyonlar içinde yeraltı kirleticilerinin akışı ve taşınmasını nasıl etkilediğinin analizini sunmaktadır. Bu analiz, 2D reaktif taşıma modeli kullanılarak gerçekleştirilir ve Spycher v.d, (2011) ile Sengor v.d (2015) önceki çalışmaları üzerinden örneklerle desteklenir. Bu çalışma, uranyum biyoredüksiyonu ve reoksidasyonuna odaklanmıştır. Spycher v.d (2011), Sani v.d (2004) tarafından gerçekleştirilen uranyum indirgeme ve reoksidasyonu için önemli reaksiyon süreçlerini yakalayan laboratuvar deneylerinin biyojeokimyasal simülasyonlarına odaklanmıştır. Bu simülasyonlar, çözünür U(VI) 'nin metal indirgeyici bakteriler tarafından uraninite çöktürülmesi yoluyla çözünmez U(IV) 'e indirgenmesi ve elektron vericiler tükendiğinde uraninitin tekrar çözünür U(VI) 'e yeniden oksidasyonu gibi ana biyojeokimyasal reaksiyonları yakalamıştır (Şekil 1). Sengor v.d (2015), bu simülasyonları daha da genişleterek karmaşık reaksiyon kinetiği ile fiziksel taşıma kombinasyonunu ele alan farklı reaktif taşıma simülatörlerinin performansını değerlendirmek için homojen ortamlarda 1D ve 2D reaktif taşıma modelleri geliştirmiştir. Ancak, akifer özelliklerinin mekânsal değişkenliği ve heterojenite, yerinde remediyasyon faaliyetlerini önemli ölçüde etkileyebilir ve özellikle karışım sınırlamaları devreye girdiğinde taşıma ve remediyasyon süreçlerinin dinamiği üzerinde büyük bir kontrol sağlayabilir.

Bu çalışmadaki model alanı, doğu Virginia'da bulunan ve Scheibe v.d (2006) tarafından yeraltı araştırmasının heterojenliği açısından kapsamlı bir şekilde karakterize edilmiş olan South Oyster sahasına dayanmaktadır. Bu çalışma için, yeraltı hidrolik iletkenliği ve Fe(III) dağılımının oldukça detaylı bir 2D temsili, Scheibe v.d (2006)'dan elde edilerek fiziksel ve kimyasal heterojenliği modele dahil etmek üzere kullanılmıştır.

2D model alanının uzunluğu 11.9 m, kalınlığı 5.4 m'dir ve toplamda 119 x 54 hücre (toplamda 6426 hücre) kullanılmıştır. Bu çalışmadaki model alanının, 1µM birim konsantrasyonunda uranyum ile kontamine olduğu varsayılmıştır. Sürekli bir giriş, yukarı akış sınırından belirli bir belirtilmiş konsantrasyon olarak tanımlanmış olup bu konsantrasyon 1µM olarak kabul edilmiştir. Elektron verici olarak laktat, model alanının ortasında (x=6m) derinliğin tümünde homojen bir şekilde 0.03

M konsantrasyonunda enjekte edilmiş ve tüm çalışmaların simülasyon döneminin ilk 8 gün boyunca günde 0.02 m3 hızla enjekte edilmiştir.

Biyojeokimyasal reaksiyon veritabanı, Spycher v.d (2011) ve Sengor v.d (2015) tarafından belirtilen biyojeokimyasal reaksiyon ağı kullanılarak derlenen biyotik ve abiyotik reaksiyonlardan oluşmaktadır, denge ve kinetik olarak kontrol edilen reaksiyonları içermektedir. Kinetik olarak kontrol edilen reaksiyonlar arasında laktat ile sülfat biyoredüksiyonu, laktat ile Fe(III) biyoredüksiyonu, U(IV) biyoredüksiyonu, Fe(III) ile U(IV) reoksidasyonu, sülfürün Fe(III) tarafından yeniden oksidasyonu ve kükürtün çökmesi/ çözünmesi gibi reaksiyonlar yer almaktadır (Şekil 1'de gösterildiği gibi). Bao v.d (2015) laboratuvar, yerel ve saha ölçeğinde verileri derlemişlerdir ve laboratuvar ve saha ölçeğinde deneyler arasında iki üs kadarlık bir fark bulunmaktadır, bu nedenle Sengor v.d (2015) deki deneysel kinetiği düşünerek reaksiyon hızları saha ölçeği ile uyumlu olması için 100'e bölünmüştür.



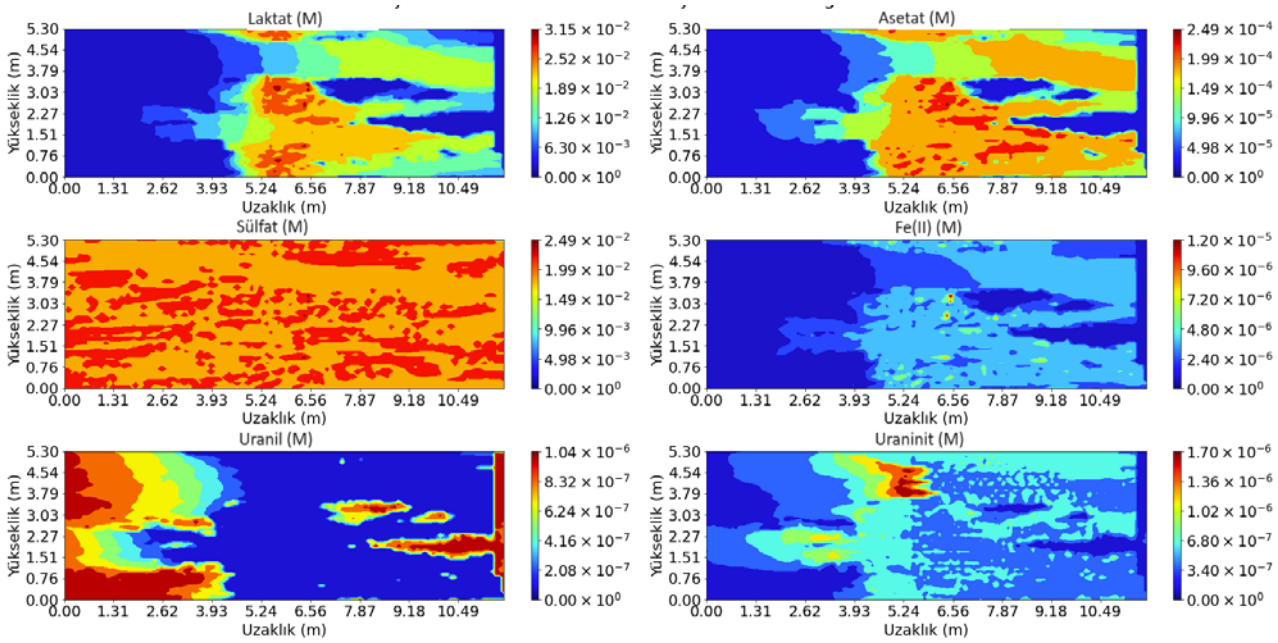
Şekil 1 Uranyumun indirgenmesi diagramı

Modelleme simülasyonları, reaktif taşınım için PHT3D kodu (Appelo ve Rolle, 2010) ve yeraltı suyunun akışı için MODFLOW 2005 kodu (Harbaugh, 2005) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma, biyojeokimyasal süreçlerin konsantrasyonunu ve reaksiyon hızlarını izleyerek yeraltı ortamlarındaki uranyum davranışı hakkında bilgiler sunmaktadır.

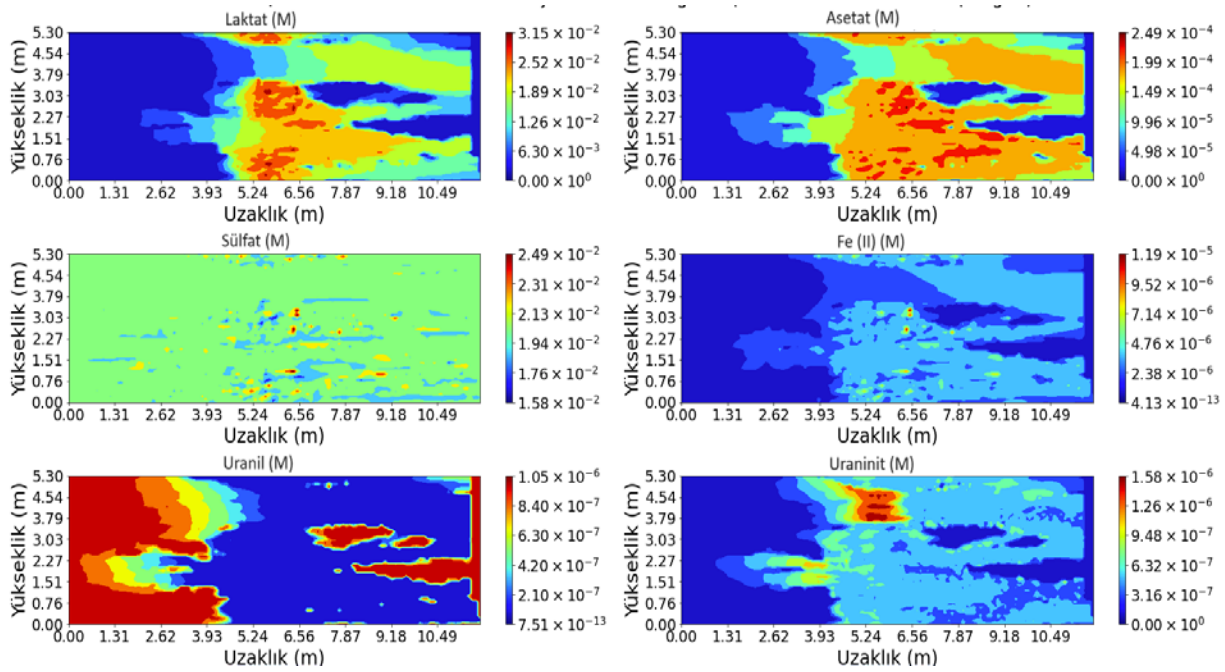
BULGULAR

Bu bölümde, uranyumun örnek olarak alındığı ve heterojeneitenin biyojeokimyasal reaksiyon ağı ile birlikte yeraltı suyunda kirletici taşınmasına etkisinin sonuçları incelenmektedir. Model, yer altı değişkenliğinin mekansal değişkenlik açısından uranyum reoksidasyonu içeren ve içermeyen senaryolarda simüle edilmiştir. Şekil 2-3'te gösterildiği gibi, model simülasyonları, model alanındaki taşınması ile birlikte karmaşık biyojeokimyasal reaksiyon kinetiğini yakalamaktadır. Kimyasal heterojenliğin dikkate alınmadığında adsorpsiyon olmadığı durumlarda kimyasal heterojenlik senaryosu ile fiziksel heterojenlik arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Uranyum reoksidasyonu olmayan senaryoları karşılaştırırken, uranil (U(VI)) konsantrasyonunda hafif bir artış gözlenmiştir. Sani v.d (2004)'e göre, bir elektron verici olmadığında uranyum yeniden oksitlenebilir, ancak Şekil 2 ve 3 karşılaştırıldığında, U(IV) reoksidasyonunun olmadığı durumda Fe(III) hidroksitlerinin HS- oksitlendiği ve artan U(VI) konsantrasyonu ile daha az U(VI)

biyoredüksiyonuna yol açtığı görülmektedir. Bu, U-Fe-S sistemi arasında hassas bir denge olduğunu göstermektedir. U-Fe-S sistemi içindeki biyojeokimyasal reaksiyonlar, fiziksel ve kimyasal olarak heterojen çevrelerde çeşitli biyotik ve abiyotik reaksiyonlar arasındaki karmaşık etkileşimleri içermektedir.



Şekil 2 Heterojen Hidrolik İletkenlik ve Heterojen Hematit Dağılımı (20. gün)



Şekil 3 Heterojen Hidrolik İletkenlik ve Heterojen Hematit Dağılımı (Reoksidasyon olmadan) (20. gün)

SONUÇLAR

Bu çalışmada, biyojeokimyasal süreçlerin etkileşimini göz önünde bulundurarak kontaminantların heterojen çevrelerde nasıl taşındığını anlamak için 2D sayısal bir reaktif taşıma modeli oluşturulmuştur. Uranyum, bir örnek olarak ele alınmış ve yeraltındaki davranışı ve yeniden oksidasyon potasiyeli değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın başlıca bulguları aşağıda özetlenmiştir:

- Fiziksel heterojenlik, kimyasal heterojenlikle karşılaştırıldığında daha belirgin bir rol oynamaktadır.
- Fiziksel ve kimyasal heterojenliğin varlığında U-Fe-S sistemi arasında önemli bir denge bulunmaktadır.
- Oksidasyon ve indirgeme reaksiyonlarının etkisi sistemdeki farklı hidrolik iletkenlik bölgeleri içindeki reaksiyon potansiyellerine göre uranyumun taşınımı üzerinde belirgin etkiye yol açabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Heterojeneite, Reoksidasyon, Biojeokimyasal Reaksiyonlar, Uranyum, Reaktif Taşınım Modellemesi

REFERANSLAR

Appelo, C. A. J., & Rolle, M. (2010). PHT3D: A reactive multicomponent transport model for saturated porous media. In Ground Water (Vol. 48, Issue 5, pp. 627–632). https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2010.00732.x

Harbaugh, A.W., 2005, MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.

Sani, R. K., Peyton, B. M., Amonette, J. E., & Geesey, G. G. (2004a). Reduction of uranium(VI) under sulfate-reducing conditions in the presence of Fe(III)-(hydr)oxides. Geochimica et Cosmochimica Acta, 68(12), 2639–2648. https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.01.005

Scheibe, T. D., Fang, Y., Murray, C. J., Roden, E. E., Chen, J., Chien, Y. J., Brooks, S. C., & Hubbard, S. S. (2006). Transport and biogeochemical reaction of metals in a physically and chemically heterogeneous aquifer. Geosphere, 2(4), 220–235. https://doi.org/10.1130/GES00029.1

Şengör, S. S., Mayer, K. U., Greskowiak, J., Wanner, C., Su, D., & Prommer, H. (2015a). A reactive transport benchmark on modeling biogenic uraninite re-oxidation by Fe(III)-(hydr)oxides. Computational Geosciences, 19(3), 569–583. https://doi.org/10.1007/s10596-015-9480-0

Spycher, N. F., Issarangkun, M., Stewart, B. D., Sevinç Şengör, S., Belding, E., Ginn, T. R., Peyton, B. M., & Sani, R. K. (2011a). Biogenic uraninite precipitation and its reoxidation by iron(III) (hydr)oxides: A reaction modeling approach. Geochimica et Cosmochimica Acta, 75(16), 4426–4440. https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.05

BIOGEOCHEMICAL REACTIVE TRANSPORT MODELING OF URANIUM IN SUBSURFACE

Selin Gökçe[1], Sema Sevinç Şengör[2]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye, selin.gokce@metu.edu.tr ORCID NO: 0000-0002-0669-466X

[2]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye, ssengor@metu.edu.tr ORCID NO: 0000-0003-3944-1172 (Corresponding author)

Uranium (U), due to its significant solubility, mobility, and toxicity, has emerged as a noteworthy environmental concern. Uranium which is highly prevalent in the environment, results in a lasting legacy of soil and groundwater contamination, posing risks to human health. While various methods exist for addressing uranium-related issues, microbial-based remediation technologies present a promising avenue owing to their cost-effectiveness, durability, and substantial attention garnered by this approach. The oxidized form of uranium, U(VI), poses a significant environmental concern due to its long half-life and toxicity. The reduction of U(VI) into the less soluble U(IV) state, often observed in the form of the mineral uraninite (UO2), is thermodynamically favored under reducing conditions. Conversely, the bioreduction of U(VI) using metal-reducing bacteria for U immobilization has been considered a plausible remediation technology at numerous uranium-contaminated sites. However, once the electron donor is entirely consumed, insoluble uraninite may undergo reoxidation back to soluble U(VI) in the presence of Fe-oxides, hindering the clean-up efforts for uranium contamination. The primary objective of this study is to investigate the subsurface fate and transport of uranium within a 2D modeling framework that considers the biogeochemical processes of U under the influence of physical and chemical heterogeneity. The concept and role of aquifer heterogeneity have been received attention in understanding the behavior of contaminant transport in the subsurface environment. As heterogeneity has been shown to exert significant control over the quantification of processes, the investigation of the extent of this effect is highly important. This study is particularly focused on uranium behavior in the subsurface, specifically examining coupled bioreduction reactions with the uranium reoxidation process in the presence of physical and chemical aquifer heterogeneity.

Model simulation results have shown that neglecting spatial heterogeneity might lead to an overestimation of uranium bioremediation in the subsurface environment. Furthermore, when adsorption of uranium is included in the model simulations, the significance of chemical heterogeneity compared to physical heterogeneity becomes more pronounced. The impact of oxidation and reduction reactions on the overall uranium transport is observed to be enhanced in different hydraulic conductivity zones in the system based on the reaction potential. The final results of the research are expected to be used in modeling efforts aimed at establishing bioremediation approaches for uranium in sites with heterogeneous distribution.

Keywords: Heterogeneity, Reoxidation, Biogeochemical Processes, Uranium, Reactive Transport Modeling

KÜRESEL ÇAPTA SIZINTI SUYU ÖZELLİKLERİNİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMESİ

Didar Ergene[1], Ayşegül Aksoy[1], F.Dilek Sanin[1]

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye, d.ergene@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-8810-9769

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye, aaksoy@metu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-0099-348X

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-1376-8700

GİRİŞ

Sızıntı suyu, katı atık depolama sahalarından kaynaklanan, yüksek miktarda organik ve inorganik kirleticiler içeren bir atık sudur. Çöp sızıntı suyunun kalite ve miktarını etkileyen başlıca faktörler: katı atık kompozisyonu, bertaraf teknikleri, işletme koşulları, depolama yaşı, iklim ve yağış özellikleridir. Sızıntı suyu sürekli değişkenlik gösteren içeriği, toksisitesi, ve biyolojik yapısı nedeni ile yönetimi zor bir atık sudur.

Sızıntı suyunun özelliklerini anlamak için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu çalışmalar birkaç sahayla veya aynı sahada farklı zamanlarda yapılan çalışmalarla sınırlıdır. Bu çalışma, dünya genelindeki farklı katı atık depolama sahalarından derlenen sızıntı suyu verilerinin istatistiksel analizini içermektedir.

METODOLOJİ

Depolama sahası işletmesi, sızıntı suyu yönetimi vb. şartların nispeten benzer olduğu koşullarda veri toplanması amacıyla, sadece düzenli depolama sahalarından alınan sızıntı suyu verilerini içeren ve aşağıdaki kriterleri karşılayan referanslar seçilmiştir. Bu şekilde, toplam 360 sızıntı suyu verisi toplanmıştır.

- Ana içeriğini evsel, ticari ve bahçe atıklarının oluşturduğu belediye atıklarının düzenli depolandığı,
- Sahada sızıntı suyu geri devrinin olmadığı,
- Atıkların düzenli depolama öncesinde ön işleme tabi tutulmadığı,
- Önemli miktarda kül, çamur vb. gibi özel atıkların bertaraf edilmediği,
- Sızıntı suyunun diğer atık sularla karıştırılmadığı tesisler.

Bu çalışmada tanımlayıcı istatistik sonuçları verilmiş olup, daha detaylı analizler Ergene (2022)'de yer almaktadır. Sızıntı suyu verileri, düşük yağış oranı (<1200 mm) ve yüksek yağış oranı (>1200 mm) olmak üzere iki yağış grubu altında analiz edilmiştir. Depolama yaşı ise <5 yıl, 5-10 yıl ve 10-15 yıl olmak üzere üç kategori altında gruplandırılmıştır. Depolama yaşı, depolama sahasının başlangıç tarihi ile sızıntı suyu örnekleme tarihi arasındaki fark olarak hesaplanmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Nem oranı ve depolama yaşı, çöp sahalarındaki biyolojik aktiviteler için önemli parametrelerdir ve bu nedenle depolama alanındaki stabilizasyon derecesi üzerinde büyük etkiye sahiptir (Bhatt ve diğerleri, 2017). Yağmur suyunun fazla miktarda gelmesi, depolama sahasında sızıntı suyunun seyrelmesine neden olur ve dolayısıyla birçok bileşenin konsantrasyonu azalır (Tsarpali ve diğerleri, 2012). Ayrıca, yağışın yüksek olduğu bölgelerde, atıktaki organik maddeler biyolojik aktivitelere yeterli düzeyde maruz kalmadığı için stabilizasyon süreci tamamlanamamaktadır.

Farklı depolama yaşı ve yağış oranı gruplarına göre sızıntı suyunun temel fiziko-kimyasal özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistik bilgileri Tablo 1'de sunulmaktadır. Aynı yaş veya yağış gruplarında bile parametrelerin çoğunun, yüksek standart sapma oranlarının da gösterdiği üzere, çok değişken konsantrasyonlara sahip olduğu görülmektedir. Bir takım parametrelerin ise bazı gruplarda net bir eğilim gösterdiği fark edilmektedir. Örneğin organikler zamanla azalma eğilimi gösterirken bazı inorganikler (örn. NH4-N, Cl, alkalinite) zamana bağlı belirgin bir eğilim göstermez. Ziyang ve diğerleri (2009), iletkenliğin 10 yıl sonra bile yüksek seviyelerde olduğunu, bu durumun depolama sahalarının ömrü boyunca sızıntı suyunda tuzların problem yaratabileceğini belirtmiştir. Yağış etkisi açısından bakıldığında organik içeriğin yanı sıra diğer parametrelerin de düşük yağış grubunda daha yüksek konsantrasyonda bulunduğu görülmüştür (Tablo 1).

Düzenli depolama sahalarına sürekli yeni atık ilavesinin sızıntı suyundaki organik konsantrasyonu artırmadığı ifade edilmiştir (Hussein ve diğerleri, 2019). Bu durum ya önceden depolanmış olan atık miktarının yeni gelen atıklara göre daha fazla olması ya da organik asitlerin yüksek giderim oranı ile bağlantılı bulunmuştur. Sonuçlar, 5 yıl sonra çöp depolama alanlarında pH'ın 7,5-8,0 civarında sabit kaldığını göstermektedir. Bu, depolama sahalarının alt kısımlarında oluşan metanojenik koşulların, yeni çöplerden gelen yüksek konsantrasyonlu sızıntı suyunu arıtabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, 5 veya 10 yıl sonra pH, KOİ, BOİ gibi parametreler için daha sabit değerler elde edilebilmektedir (Tablo 1). Bu bulguyu doğrulayan kapsamlı çalışmaya Ergene (2022)'de yer verilmiştir.

İnorganik maddeler, yağmur suyunun atıkların içine süzülmesi sonucu atıklardan sızıntı suyuna transfer olur. Örneğin Cl gibi inert maddelerin taşınması esas olarak sahadaki akıntılar tarafından kontrol edilir. Tablo 1’de sunulan depolama sahalarına ilişkin verilerden de görüldüğü üzere, depolama sahasının ömrü boyunca sızıntı suyundaki Cl konsantrasyonu nispeten yüksek olacaktır. Benzer şekilde, sızıntı suyunun NH4-N içeriği de zamanla dalgalı bir seyir gösterir. Lee ve diğerleri (2010) ve Yusof ve diğerleri (2009), depolama alanlarında anaerobik koşullar nedeniyle NH4-N konsantrasyonunun zamanla herhangi bir azalma eğilimi göstermediğini ve sızıntı suyunda biriktiğini bildirmiştir. Zhao ve diğerleri (2019), benzer iklim koşullarına sahip (yağış oranı<1200 mm) aynı bölgedeki genç (<5 yaş) ve yaşlı (>20 yaş) depolama sahası sızıntı sularını analiz etmiş ve sızıntı suyundaki amonyak içeriğinin zamanla arttığını göstermiştir. Bu çalışmada da benzer eğilimler elde edilmiş ancak NH4-N konsantrasyonu çok değişken olduğundan gruplar arasında istatiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Sızıntı suyundaki NH4-N konsantrasyonu her iki iklim grubu için de aşağı yukarı benzer olup depolama sahası yaş grupları arasında da önemli bir fark görülmemiştir (Tablo 1).

Tablo 1 Düşük yağışlı (<1200 mm) ve yüksek yağışlı (>1200 mm) alanlarda farklı depolama yaş gruplarına göre sızıntı suyunun temel fiziko-kimyasal özellikleri

	Yağış oranı<1200 mm								
Yaş grupları	0-4 yıl			5-10 yıl			10-15 yıl		
Parametreler	Ortalama	Medyan	SS	Ortalama	Medyan	SS	Ortalama	Medyan	SS
pH	7.1	7.2	0.8	7.7	7.9	0.8	8.0	8.1	0.5
COD	19688	14194	18415	7965	4851	7781	8713	4267	8398
BOD	10838	5500	10492	4023	2170	5186	3646	931	4790
BOD/COD	0.49	0.50	0.15	0.42	0.41	0.18	0.32	0.32	0.22
NH_4-N	1381	909	1401	1384	1274	1301	1587	1934	932
Cl	3624	1805	3442	3536	2519	3047	3990	3850	1781
EC	22.7	21.1	17.3	19.8	15.0	13.3	22.6	22.8	10.9
TA	6672	5823	5048	6596	5868	3767	8746	9363	3798
Fe	93.9	18.4	148.6	106.0	18.2	197.6	13.1	7.6	14.8
	Yağış oranı>1200 mm								
Yaş grupları	0-4 yıl			5-10 yıl			10-15 yıl		
Parametreler	Ortalama	Medyan	SS	Ortalama	Medyan	SS	Ortalama	Medyan	SS
pH	7.6	7.8	0.9	7.9	8.2	0.6	7.8	7.8	0.5
COD	8972	3491	15784	3967	2800	3680	5790	3000	5673
BOD	5102	967	11379	815	381	1430	1711	396	2877
BOD/COD	0.30	0.20	0.25	0.15	0.14	0.08	0.17	0.09	0.18
NH_4-N	1123	962	1303	1530	1418	939	1462	1845	956
Cl	2381	2331	1128	2664	2503	1732	2349	1281	2418
EC	20.2	18.9	7.3	21.2	19.8	10.9	14.6	9.2	10.7
TA	6483	6093	4258	7647	6794	5312	9479	10094	4032
Fe	62.7	11.0	143.6	11.9	5.5	18.2	9.7	9.6	7.9

Birimler, Toplam Alkalinite (TA) mg/L CaCO3, İletkenlik (EC) mS/cm, diğer parametreler ise mg/L'dir. SS Standart Sapma

SONUÇ

Ayrıntılı literatür taraması, sızıntı suları ile ilgili çalışmaların genellikle aynı depolama sahası veya benzer yerlerdeki sahaları kapsadığını göstermiştir. Bu çalışmada ise dünya genelinde toplam 46 ülkeden sızıntı suyu verileri analiz edilmiştir. Esas amaç, sızıntı suyundaki bileşenlerin temel özelliklerini ve değişimlerini araştırmaktır.

Yağış miktarının sızıntı suyu kalitesini önemli ölçüde değiştirdiği istatiksel olarak gösterilmiştir. Bu nedenle, iklim faktörü sızıntı suyu arıtma tesislerinin tasarım ve işletme aşamasında dikkate alınması gereken önemli bir husustur. Depolama yaşı etkisi açısından bakıldığında ise sızıntı suyunda organik maddeler özellikle düşük yağışlı bölgelerde zamanla önemli ölçüde değiştiğinden, mevcut sızıntı suyu arıtma tesisinin yeni şartlara göre revizyonu gerekecektir. Öte yandan bazı parametreler zamanla azalmamakta ve sızıntı suyu yönetimi sırasında sorun

olabileceği değerlendirilmektedir. Örneğin, amonyak, tuz ve iletkenlik gibi inorganik bileşiklerin çoğunluğu, depolama devam ettiği sürece 15 yıl sonra bile sızıntı suyunda yüksek miktarda bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sızıntı suyu, depolama yaşı, sızıntı suyu özellikleri, tanımlayıcı istatistik

REFERANSLAR

Bhatt, A.H., Karanjekar, R.V., Altouqi, S., 2017. Estimating landfill leachate BOD and COD based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: exploration of a MARS statistical approach. Environ. Technol. Innovat. 8, 1-16.

Ergene, D., 2022. Comprehensive Meta Analysis Of Worldwide Landfill Leachate. Environmental Engineering, Middle East Technical University, Ph.D. Thesis.

Hussein, M., Yoneda, K., Zaki, Z.M., Othman, N.A., Amir, A., 2019. Leachate characterizations and pollution indices of active and closed unlined landfills in Malaysia. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 12, 1-9.

Lee, A.H., Nikraz, H., Hung, Y.T., 2010. Influence of waste age on landfill leachate quality. Int. J. Environ. Sci. Dev. 1(4), 347-350.

Tsarpali, V., Kamilari, M., Dailianis, S., 2012. Seasonal alterations of landfill leachate composition and toxic potency in semi-arid regions. J. Hazard. Mater. 233-234, 163–171.

Yusof, N., Haraguchi, A., Hassan, M.A., Othman, M.R., Wakisaka, M., Shirai, Y., 2009. Measuring organic carbon, nutrients and heavy metals in rivers receiving leachate from controlled and uncontrolled municipal solid waste (MSW) landfills. Waste Management. 29(10), 2666-2680.

Zhao, R., Wang, X., Chen, X., 2019. Impacts of different aged landfill leachate on PVC corrosion. Environ Sci Pollut Res. 26, 18256-18266.

Ziyang, L., Youcai, Z., Tao, Y., Yu, S., Huili, C., Nanwen, Z., Renhua, H., 2009. Natural attenuation and characterization of contaminants composition in landfill leachate under different disposing ages. Science of the Total Environment. 407, 3385-3391.

STATISTICAL ASSESSMENT OF THE WORLDWIDE LANDFILL LEACHATE CHARACTERISTICS

Didar Ergene[1], Ayşegül Aksoy[1], F.Dilek Sanin[1]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye, d.ergene@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-8810-9769

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye,aaksoy@metu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-0099-348X

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-1376-8700

Leachate, a wastewater with high concentrations of organic and inorganic compounds, is produced as a consequence of waste disposal in landfills. Leachate quality and quantity in landfills fluctuate significantly mainly due to composition of waste, disposal techniques, landfill operations, age of the landfill, climate, and rainfall patterns. Leachate management can be a complicated task due to the variations in its strength, biodegradability, and toxicity. In that sense, leachate treatment plants need to be designed and upgraded accordingly requiring well understanding of leachate characteristics throughout the lifespan of a landfill.

Characteristics of leachate are mostly represented by pH, chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), suspended solids (SS), ammonium nitrogen (NH4-N), total Kjeldahl nitrogen (TKN), alkalinity, conductivity, and heavy metals. Organic composition of leachate (mostly measured as COD, BOD, and TOC) originates from the soluble parts of wastes and decomposition by-products. Nitrogen originates from the biodegradation of proteins and amino acids in waste and measured mostly as NH4-N and TKN. Conductivity being extremely high in leachate consists of major ions like Ca, Mg, Cl, Na, and K.

In this study, landfill leachate data compiled from 220 different landfills from 46 countries were analyzed by a multivariate statistical approach. Findings of the analyses supplied valuable information about the specific properties of landfill leachate. Correlation analysis reinforced by regression modeling showed that many leachate parameters are well-correlated with each other. The highest correlations are for organic parameters (BOD and COD), as well as TKN and NH4-N. Parameters grouped under salt component (Cl, Na, and K) are strongly correlated with each other, as well as with alkalinity. Conductivity and K emerged to be correlated very well with NH4-N, TKN, and alkalinity. Beside that, a notable divergence was observed between inorganic and organic components of leachate. The organic portion (BOD, COD) and associated parameters like Ca, Mg, and Fe appeared to be co-existed in high or low concentrations in leachate without any relationship to inorganics. This finding is crucial to understand the variation in leachate characteristics as higher concentrations of EC, alkalinity, and monovalent ions in leachate were associated with samples from aged landfills. On the other hand, divalent ions and organics had higher concentrations in leachate samples from landfills of early operational life. This leads to the inference that concentrations of particular inorganic substances like salts, NH4-N, and alkalinity

in leachate may not be directly affected by the state of biodegradation but other mechanisms like dissolution, dilution, etc.

Keywords: Landfill leachate, leachate composition, multivariate analysis, leachate characteristics

ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE ATIK YÖNETİMİ UYGULAMALARI

Rıfat Ozan KEDEK[1], Ayşe FİLİBELİ[2], Taylan Özgür PEK[3]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tınaztepe Yerleşkesi, 35160 Buca-İzmir/Türkiye, rozankedek@gmail.com

[2]Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 35160 Buca-İzmir/Türkiye, ayse.filibeli@deu.edu.tr

[3]Selvilitepe OSB Mahallesi, 1299 Cadde, No:3, Turgutlu Birinci Organize Sanayi Bölgesi, 45400 Turgutlu-Manisa/Türkiye

Ülkemizde ve dünyada hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme ile birlikte çevre sorunları belirgin bir şekilde artış göstermektedir. Aynı zamanda, temiz ve yenilenebilir kaynaklarımızda günden güne azalma meydana gelmektedir. Bu nedenle, doğal kaynaklardaki kıtlığın üstesinden gelebilmek ve ekosistemin korunabilmesi için sürdürebilir çözümler ve çevre dostu yeni teknolojiler geliştirmek gerekmektedir.

Organize Sanayi Bölgeleri, ülkemizde bu anlamda çarpık sanayileşme ve çevre sorunlarını önlemeyi hedefleyen, kentleşmeyi yönlendiren tüzel kişilikler olarak karşımıza çıkmaktadır. Organize Sanayi Bölgeleri, sanayileşmenin uygun görüldüğü alanlarda, belirli bir planlama/sistem dâhilinde sanayi türlerinin yerleşimi ve geliştirilmesi amacıyla, rasyonel kaynaklar kullanarak verimliliği hedefleyen hizmet üretim bölgelerimizdir.

Bu çalışmanın amacı, Ege Bölgesi'nde karma bir organize sanayi bölgesi örnek olarak seçilerek, OSB içerisinde meydana gelen/oluşan atıklar ve atıksuların yönetimi ile ilgili sürdürülebilir, ülkemiz mevzuatlarına uygun çevre dostu yeni stratejiler/atık yönetim sistemleri önermek ve uygulamaktır. Bu çalışma kapsamında OSB yönetimi ile birlikte atık yönetim faaliyetleri/uygulamaları belirlenecektir. Sanayicilerin meydana getirmiş olduğu atığın kaynağında öncelikle mümkünse azaltılması hedeflenmektedir. Bununla birlikte, meydana gelen atık niteliğine ve niceliğine göre sınıflandırılacak, sektörel olarak atık türleri/karakteri belirlenecektir. Atığın toplanması, taşınması, geçici olarak depolanması, geri kazanımı, bertarafı, yeniden yararlı kullanılması, arıtımı, enerjiye dönüştürülmesi ve nihai olarak depolanması konusunda yöntemler/uygulamalar geliştirilecek ve atık türlerine göre bu faaliyetlere yapılan literatür taramaları ile birlikte karar verilecektir.

Bu araştırmanın atıksu yönetimi kapsamında; OSB merkezi arıtmasına gelen karışık atıksuyun karakterini belirlemeye yönelik ulusal/uluslarası standart metotlara uygun kompozit numuneler alınacak ve analiz çalışmaları yapılacaktır. Bulunan analiz sonuçları Çevre Kanunu uyarınca çıkarılan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" Kapsamında deşarj kritleri değerlendirilecektir. Bununla birlikte numune alma ve analiz çalışmaları sektörel olarak da yapılacak olup, sanayicilerin kirletici kaynakları da aynı metodoloji ile belirlenecektir. Sektörel olarak sanayicilerden alınan numunelerin analiz sonuçları OSB'nin Merkezi Arıtma Tesisinin kabul edebileceği deşarj kriterlerine göre değerlendirilecek ve atıksu yönetim planlamaları yapılacaktır.

Yenilenebilir kaynaklarımızın günden güne azaldığı bu zamanlarda, sürdürülebilir çözüm önerileri bulabilmek adına, OSB'de sanayilerin faaliyetleri sonucu meydana gelen atık/atıksulara değer katacak yeni metotlar geliştirmek bu çalışmanın hedefleri arasında yer almaktadır.

Atığı deşarj edebilecek, bertaraf edilecek bir materyal olarak değil bir kaynak olarak görebileceğimiz, geri kazanım/yeniden kullanım olanaklarının yer aldığı yönetim sistemleri geliştirmek de çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Üretilen atığın/atık suyun yeniden kullanımına yönelik alternatiflerin uygulanabilirliği araştırılarak OSB içerisinde yer alan sanayi kuruluşları için sektör bazında endüstriyel olarak faydalı kullanım alanı yaratılabilecek sistemlerin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Geleneksel kaynaklar yerine, atığa/atıksuya kazandıracağımız değer ile OSB'de atık yönetimi açısından birçok işletme maliyetinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: atık, katı atık, atık yönetimi, organize sanayi bölgesi, yararlı kullanım, geri kazanım

WASTE MANAGEMENT IMPLEMENTATIONS IN ORGANIZED INDUSTRIAL DISTRICTS

Rıfat Ozan KEDEK[1], Ayşe FİLİBELİ[2], Taylan Özgür PEK[3]

[1]Dokuz Eylul University The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Tınaztepe Campus 35390 Buca-İzmir, rozankedek@gmail.com

[2]Dokuz Eylul University Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, Tınaztepe Campus, 35390 Buca-İzmir, ayse.filibeli@deu.edu.tr

[3]Turgutlu Organized Industrial District, 45400 Turgutlu-Manisa/Türkiye

Environmental problems are increasing significantly in our country and in the world with rapid population growth, urbanization and industrialization. At the same time, our clean and renewable resources are decreasing day by day. Therefore, it is necessary to develop sustainable solutions and environmentally friendly new technologies to overcome the scarcity of natural resources and protect the ecosystem. Organized Industrial Districts purpose is preventing distorted industrialization and environmental problems and guide to urbanization in our country. In addition to this, Organized Industrial Districts are industrial service production districts that aim efficiency by using rational resources for the settlement and development of industrial types within a certain system in areas where industrialization is considered appropriate.

The main objective of this study is to propose and implement sustainable, environmentally friendly new strategies/waste management systems for the management of wastes and wastewater produced within the OID in accordance with the legislation of our country by selecting a mixed organized industrial district in the Aegean Region as a pilot. Within the scope of this research, waste management implementations will be determined together with the OID Management. Firstly, we aimed to reduce the waste proced by industrialists at the source, if possible. In addition, the waste will be classified according to its quality and quantity, and sectoral waste types/characteristics will be determined. Methods will be developed for the collection, transportation, temporary storage, recovery, disposal, reuse, treatment, conversion to energy and final storage of waste and these activities will be decided according to the types of waste together with the literature reviews.

Within the context of wastewater management of this investigation; composite samples will be taken and analyzed in accordance with national/international standard methods to determine the character of the mixed wastewater coming to the OID central wastewater treatment plant. The results of the analysis will be evaluated for discharge criteria within the scope of the "Water Pollution Control Regulation" issued in accordance with the Environmental Law. In addition, sampling and analysis studies will also be carried out sectorally and the contaminant sources of manufacturers will be determined by the same methodology.

The analysis results of the samples taken from waste manufacturers on a sectoral basis will be evaluated according to the discharge criteria acceptable by the OID's Central Treatment Plant and wastewater management plans will be” made. Our renewable resources are decreasing day by

day. One of the objectives of this investigation is to develop new methods to add a value/potential to the waste/wastewater produced as a result of industrial activities in OID.

It is also one of the objectives of the research to develop management systems where we can consider waste as a resource, not as a material to be discharged or disposed of, and where recovery/reuse possibilities are included. The alternatives for the reuse of the waste/wastewater produced will be investigated. It is aimed to develop systems that can create an industrially beneficial use area for industrial organizations located in the OID; and also to reduce many operatiational costs in terms of waste management in OID with the value/potential we will add to waste/wastewater instead of traditional resources.

Keywords: waste, solid waste, waste management, organized industrial district, reuse, recovery

POLİETİLENİN ATIKSU ARITMA TESİSLERİNE ETKİLERİ VE BİYOLOJİK YAŞLANMASI

Maha Dassouki Dit Tahan[1], Leena Zaineh[2], Melek Özdemir[3], İpek İmamoğlu[4], F. Dilek Sanin[5]

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye, maha.dassouki@metu.edu.tr, 0009-0001-5422-9324

[2]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye, leena.zaineh@metu.edu.tr

[3]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye, ozmelek@metu.edu.tr, 0000-0003-0037-1955

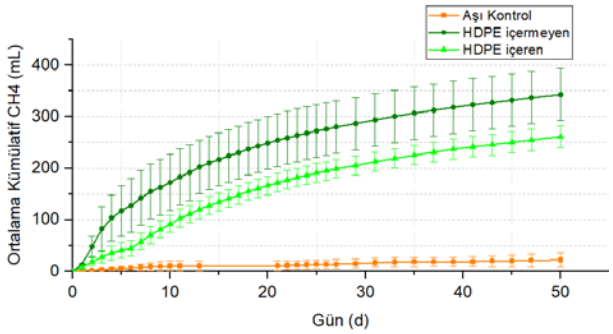
[4]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye, ipeki@metu.edu.tr, 0000-0001-6913-7054

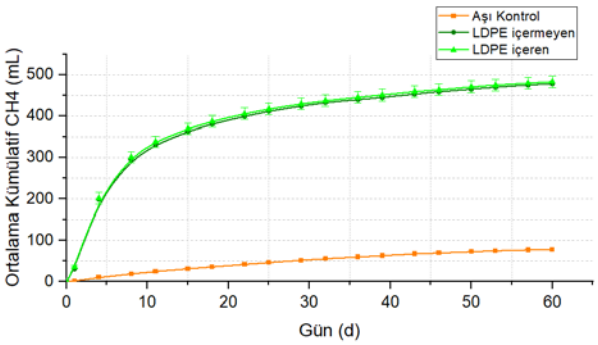
[5]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr, 0000-0002-1376-8700

Mikroplastikler (MP'ler) çeşitli kaynaklardan gelen plastik kalıntılardır. Pek çok kaynaktan atıksu girişi olan atıksu arıtma tesisleri (AAT'ler) MP'lerin önemli birikim noktalarını oluştururlar. Girişteki MP'lerin %90'ından fazlasını giderebilmelerine rağmen, AAT'ler MP'lerin çevreye yayılmasında transfer merkezi işlevi görmeye devam etmektedir. Su kütlelerine deşarj edilen MP'lere ek olarak, gübre olarak kullanılabilen arıtma çamurlarında tutulan MP'ler çevresel kirlenme riski oluşturmaktadır. Dahası, MP'lerin arıtma çamuru içinde biyolojik yaşlanma süreci yoluyla özelliklerini değiştirdikleri bilinmektedir. MP'lerin biyolojik yaşlanması ve arıtma çamurlarının araziye uygulanmasının çevre üzerinde tam olarak araştırılmamış ciddi etkileri olabilir. Buna ek olarak, çalışmalar MP'lerin sadece çürütme sırasında biyolojik olarak yaşlanmadığını, aynı zamanda mikrobiyal topluluğu inhibe ettiğini ve yüksek dozlarda mevcut olduğunda metan üretim seviyelerini düşürebileceğini göstermiştir. Bu da MP'lerin dozları artmaya devam ettikçe AAT'ler ve çevre için ek endişeler yaratmaktadır. Bu nedenle, bu araştırma yüksek ve düşük yoğunluklu polietilen (HDPE, LDPE) MP'lerin mezofilik anaerobik ve aerobik çürütütülerde biyolojik yaşlandırma potansiyelini araştırmayı ve MP'lerin AAT'ler ve çevre üzerindeki etkilerinin yanı sıra biyolojik yaşlandırma sonrasında MP'lerin değişen özelliklerini incelemeyi amaçlamaktadır.

Bu amaçla, 425-500 µm boyut aralığında yüksek dozlarda HDPE ve LDPE içeren anaerobik ve aerobik çürütücüleri temsilen işletilen laboratuvar ölçekli reaktörler, MP içermeyen reaktörlerle birlikte çalıştırılmıştır. Anaerobik reaktörler, ikincil işletime sahip bir AAT'den toplanan atık-aktif çamur (AAÇ) ve çürütülmüş çamur (aşı) kullanılarak kurulmuştur. Aerobik reaktörler ise sadece AAÇ kullanılarak kurulmuştur. Biyogaz hacimleri ve metan içeriği anaerobik reaktörlerde bir su yer değiştirme düzeneği ve bir gaz kromatografi (GC-TCD) cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Çürütme sürecinin sonunda biyolojik olarak yaşlandırılmış ve bozulmamış MP'ler, PE'nin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişiklikleri karşılaştırmak için FTIR, DSC ve SEM kullanılarak karakterize edilmiştir. Sonuçlara göre (Şekil 1), HDPE MP eklenmemiş anaerobik reaktörler, HDPE MP içerenlere kıyasla daha yüksek biyogaz ve metan üretimi göstermiştir, ancak LDPE reaktörleri için

durum böyle değildir. HDPE reaktörlerinde biyogaz ve metan üretimindeki düşüşün, yüksek miktardaki MP'lerin neden olduğu mikrobiyal topluluğun engellenmesinin yanı sıra HDPE'de LDPE'de bulunmayan katkı maddelerinin varlığından kaynaklanıyor olabileceği düşünülmüştür.

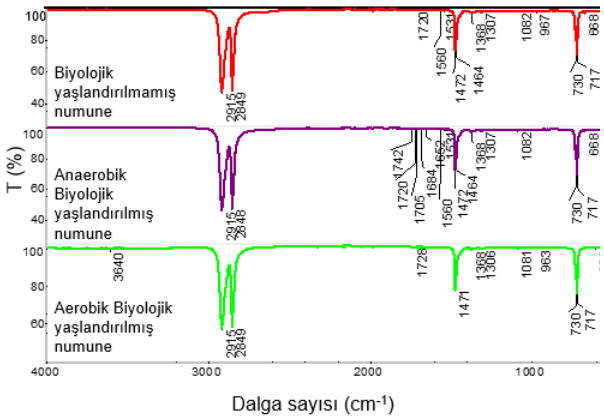


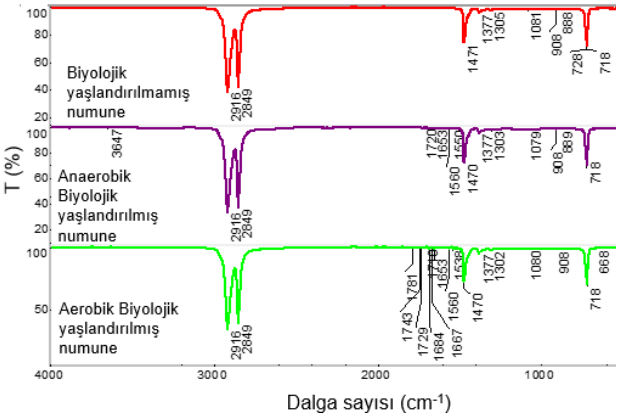


Şekil 1a. HDPE Biyo-yaşlanma Kümülatif Metan

Şekil 1b. LDPE Biyo-yaşlanma Kümülatif Metan

Literatürde sıklıkla kullanılan yaşlanma göstergelerinden biri olan karbonil indeksi (CI), FTIR karakterizasyon çıktısından hesaplanmıştır. FTIR'a göre (Şekil 2), bu çalışmada elde edilen tüm PE numuneleri sıfır CI değerleri vermiştir. Buna rağmen, FTIR spektrumları, oksidasyonu gösteren birçok pikin (ester ve keton (C=O) gerilme titreşimleri gibi) varlığı yoluyla polimer yapısındaki değişimi göstermektedir. Bu pikler biyofilm oluşumu ve PE yapısındaki proteinlerin varlığı ile eşleşmektedir. Ayrıca, DSC sonuçları çürütücülerden alınan MP'lerin kristalinitesinin her iki PE MP türünün biyolojik yaşlanmasıyla azaldığını ortaya koymuştur.



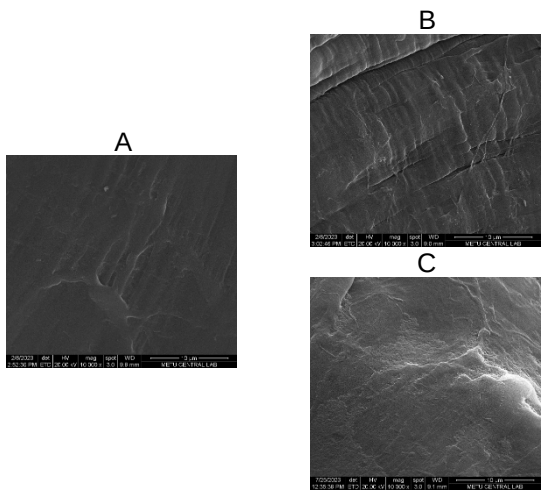


Şekil 2a. Yaşlandırmadan önce, anaerobik yaşlandırmadan sonra ve aerobik yaşlandırmadan sonra HDPE'nin FTIR spektrumları.

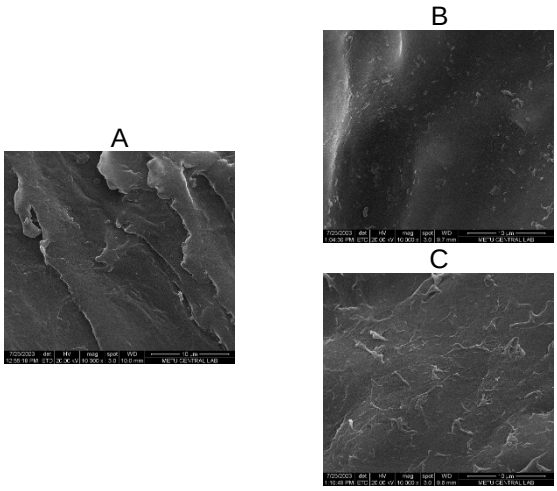
Şekil 2b. Yaşlandırmadan önce, anaerobik yaşlandırmadan sonra ve aerobik yaşlandırmadan sonra LDPE'nin FTIR spektrumları.

Son olarak, yüzey morfolojisinin karşılaştırılmasına olanak tanıyan SEM görüntüleri (Şekil 3), PE yüzeyinin her modifikasyonla değiştiğini ortaya koymuştur. Bozulmamış MP'ler pürüzsüz bir yüzey

gösterirken, yıkamadan sonra bozulmamış MP'lerin dokusu daha pürüzlü görünmektedir. Benzer şekilde, yıkamanın ardından çürütücülerden geri kazanılan biyolojik olarak yaşlandırılmış MP'lerin en pürüzlü dokuya sahip oldukları görülmüştür ve bunun nedeni MP'lerin dış tabakası üzerindeki mikrobiyal etki olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 3a. Biyolojik yaşlandırma öncesi (A), anaerobik yaşlandırma sonrası (B) ve aerobik yaşlandırma sonrası (C) HDPE için SEM görüntüleri



Şekil 3b. Biyolojik yaşlandırma öncesi (A), anaerobik yaşlandırma sonrası (B) ve aerobik yaşlandırma sonrası (C) LDPE için SEM görüntüleri

Genel olarak çalışma, anaerobik çürütücülerdeki PE varlığının biyogaz üretimini olumsuz etkileyebileceğini ve MP'lerde katkı maddesi bulunup bulunmamasına bağlı olarak kontrol reaktörlerine kıyasla önemli farklılıklar gösterebileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, MP'ler atıksu ve çamur arıtımı sırasında biyolojik olarak yaşlanıp kimyasal ve fiziksel olarak değişime uğrayabilir. Bu değişim MP'lerin davranışlarını (örneğin kirletici biriktirme ya da biyofilm oluşturma potansiyeli) farklılaştırıp, onları arıtma çamurlarının toprakta kullanımı sırasında bir kirlilik faktörü haline getirebilir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, polietilen, anaerobik çürütücü, aerobik çürütücü, biyolojik yaşlanma

Teşekkür: Bu çalışma TÜBİTAK Proje No: 220N044 tarafından desteklenmiştir.

THE EFFECTS OF POLYETHYLENE ON WASTEWATER TREATMENT PLANTS AND THEIR BIO-AGING PROCESS

Maha Dassouki Dit Tahan[1], Leena Zaineh[1], Melek Özdemir[1], İpek İmamoğlu[1], F. Dilek Sanin[1]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800 Ankara, Türkiye, maha.dassouki@metu.edu.tr, 0009-0001-5422-9324

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800 Ankara, Türkiye, leena.zaineh@metu.edu.tr

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800 Ankara, Türkiye, ozmelek@metu.edu.tr, 0000-0003-0037-1955

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800 Ankara, Türkiye, ipeki@metu.edu.tr, 0000-0001-6913-7054

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800 Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr, 0000-0002-1376-8700

Microplastics (MPs) are plastic residues originating from various sources. Wastewater treatment plants (WWTPs), which receive wastewater from many sources, are important accumulation points for MPs. Despite being able to remove more than 90% of the upstream MPs, WWTPs continue to serve as transfer centers for the dispersion of MPs into the environment. In addition to MPs discharged into water bodies, MPs retained in sewage sludge, which can be used as fertilizer, pose a risk of environmental contamination. Moreover, MPs are known to change their properties through the process of bio-aging in sewage sludge. Bio-aging of MPs and land application of sewage sludge can have serious impacts on the environment that have not been fully investigated. In addition, studies have shown that MPs not only bio-age during digestion, but also inhibit the microbial community and can reduce methane production levels when present at high doses. This creates additional concerns for WWTPs and the environment as doses of MPs continue to increase. Therefore, this research aims to investigate the bioaging potential of high and low density polyethylene (HDPE, LDPE) MPs in mesophilic anaerobic and aerobic digesters and to study the effects of MPs on WWTPs and the environment as well as the changing properties of MPs after bioaging.

For this purpose, laboratory-scale reactors representative of anaerobic and aerobic digesters containing high doses of HDPE and LDPE in the size range 425-500 µm were operated together with reactors without MPs. Anaerobic reactors were set up using waste-activated sludge (WAS) and digested sludge (digestate) collected from a WWTP with secondary operation. Aerobic reactors were installed using only WAS. Biogas volumes and methane content were measured in the anaerobic reactors using a water displacement setup and a gas chromatography (GC-TCD) instrument. At the end of the digestion process, biologically aged and intact MPs were characterized using FTIR, DSC and SEM to compare the changes in the physical and chemical properties of PE. According to the results, anaerobic reactors without HDPE MP addition showed

higher biogas and methane production compared to those with HDPE MP, but this is not the case for LDPE reactors. The decrease in biogas and methane production in HDPE reactors was thought to be due to the inhibition of the microbial community caused by the high amount of MPs as well as the presence of additives in HDPE that are not present in LDPE.

Carbonyl index (CI), one of the aging indicators frequently used in the literature, was calculated from the FTIR characterization output. According to FTIR, all PE samples obtained in this study gave zero CI values. Nevertheless, the FTIR spectra show the change in the polymer structure through the presence of many peaks indicating oxidation (such as ester and ketone (C=O) stretching vibrations). These peaks match the biofilm formation and the presence of proteins in the PE structure. Furthermore, DSC results revealed that the crystallinity of MPs from the digesters decreased with the bio-aging of both types of PE MPs. Finally, SEM images, which allowed the comparison of surface morphology, revealed that the PE surface changed with each modification. While the intact MPs show a smooth surface, after washing the texture of the intact MPs appears rougher. Similarly, bio-aged MPs recovered from digesters after washing were found to have the roughest texture, which could be due to microbial impact on the outer layer of the MPs.

Overall, the study revealed that the presence of PE in anaerobic digesters can negatively affect biogas production and show significant differences compared to control reactors depending on the presence or absence of additives in MPs. Furthermore, MPs can biologically age and chemically and physically change during wastewater and sludge treatment. This change may alter the behavior of MPs (e.g. the potential to accumulate pollutants or form biofilms), making them a pollution factor during land use of sewage sludge.

Keywords: Microplastics, polyethylene, anaerobic digester, aerobic digester, biological aging

Acknowledgement: This study was funded by TÜBİTAK through the project grant 220N044.

MİKRO ATIKLAR VE MİKRO KİRLETİCİLER: POLİETİLEN MİKROPLASTİKLERIN UV İLE YAŞLANDIRILMASI VE ÇEŞİTLİ ORGANİK KİRLETİCİLER İLE ETKİLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Ülkü Dide Türkeli[1], Kübra Tapan[2], Meriç Uygur[3], Melek Özdemir[4], İpek İmamoğlu[5]

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, dide.turkeli@metu.edu.tr +905380387602, https://orcid.org/0009-0000-3286-2906

[2]Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, kubra.tapan@metu.edu.tr +905374653100

[3]Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, meric.uygur@metu.edu.tr, +905433740601

[4]Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, ozmelek@metu.edu.tr +90 312 210 2640 https://orcid.org/0000-0003-0037-1955

[5]Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, ipeki@metu.edu.tr +903122105861, https://orcid.org/0000-0001-6913-7054

ÖZET

Plastik atıkların küresel birikimi, plastiklerde, özellikle de en çok kullanılanı olan polietilende, UV radyasyonu ve oksijene maruz kalmanın neden olduğu fiziksel ve kimyasal değişikliklerin anlaşılmasını önemli kılmaktadır. Bu çalışmada, UV yaşlanması sırasında düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) mikroplastiklerdeki (MP'ler) yapısal değişiklikler araştırılmıştır. Bununla birlikte, bu mikroplastikler ile malaşit yeşili, triklosan, fenol, 2,3,6-triklorofenol ve 1,1,2,2-tetrakloroetan dahil olmak üzere çeşitli organik kirleticiler arasındaki etkileşimlerde yaşlanma sonrası değişiklikler araştırılmıştır. Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR), Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri, LDPE MP'lerin kimyasal yapısında önemli değişiklikler olduğunu ortaya çıkartmıştır. Seçilen organikler ile sulu çözeltilerde gerçekleştirilen adsorpsiyon deneyleri, UV radyasyonuna maruz kalan MP'lerin, maruz kalmayanlara oranla daha yüksek düzeyde organikleri soğurma kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir.

1. GİRİŞ

Günümüzde, hafif, uzun ömürlü ve düşük maliyetli olmaları nedeniyle plastik ürünler günlük hayatımızın her alanında yaygın olarak kullanılmakta ve plastik atıklarının, gezegenin her tarafında ve özellikle okyanuslarda yaygın olarak bulunduğu bilinmektedir. Her yıl okyanuslara giren plastik çöp miktarının 12,8 MT olacağı tahmin ediliyor ve ciddi bir önlem alınmazsa bu sayının 2040 yılına kadar 37 MT'ye çıkabileceği öngörülüyor (Prajabati vd., 2022). Mikroplastikler (MP) boyutları 5 milimetreden küçük olan plastik parçacıkları olarak tanımlanmaktadır. MP'ler güneş ışığı, sıcaklık, mikrobiyal etkileşimler, mekanik ve diğer etmenler sebebiyle zaman içinde fiziksel ve kimyasal değişimlere uğramaktadır ve bu değişimlerden sonra oluşan MP'ler yaşlanmış MP'ler olarak adlandırılmaktadır (Hüffer vd., 2018). Saf ve yaşlanmış MP'lerin çevresel etkilerinin benzerlik gösterip göstermediği önemli araştırma konularından birisidir. Sucul ortamlarda yer alan çeşitli

kirleticiler için orijinal MP'ler gibi yaşlandırılmış MP'lerin de vektör etkisi gösterebildiği, yani taşıyıcı ajan olarak görev alabildiği literatürde tartışılmaktadır (Koelmans vd., 2016). Bu çalışmanın amacı, MP'lerin UV etkisiyle yaşlanmasının karakterizasyonunun yanı sıra MP'lerin organik kirleticilerle etkileşimlerinin yaşlandırma sonrası değişiminin araştırılmasıdır.

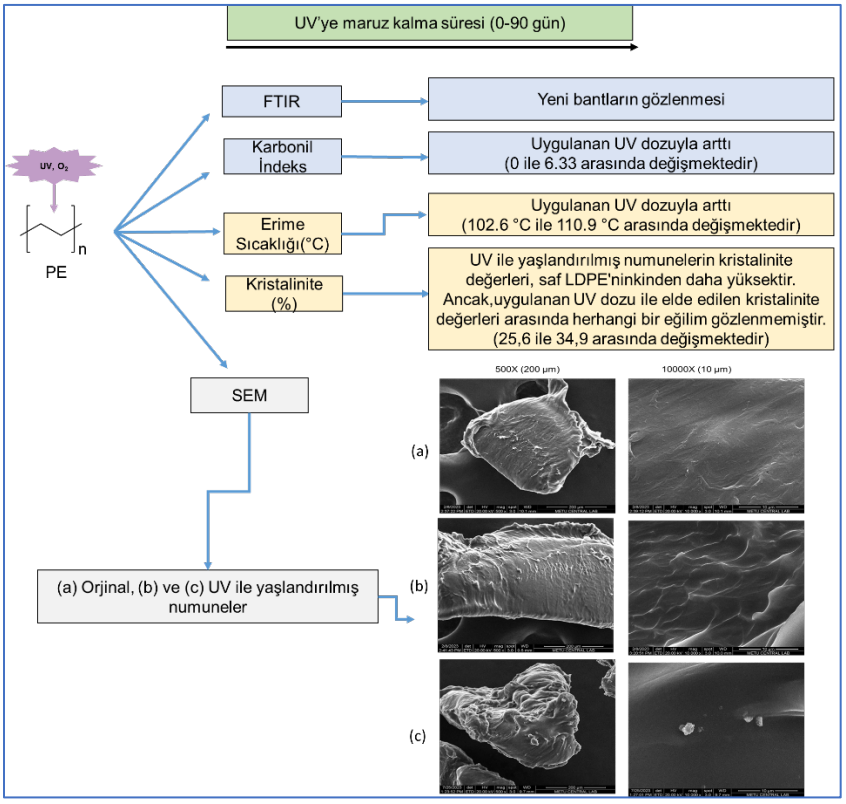
Bu çalışmada, çok üretilen ve kullanılan LDPE türü MP'ler model polimer olarak seçilirken, çeşitli fizikokimyasal özellikleri temsilen beş farklı organik kirletici (malaşit yeşili, MG; triklosan, TCS; fenol; 2,3,6-triklorofenol, TCP ve tetrakloroetan, PCA) model olarak seçilmiştir. MG, endüstride gıda boyası, mantar ilacı, ve tıbbi dezenfektan olarak; TCS diş macunlarında, sabunlarda antimikrobiyal ajan olarak; fenol ve TCP çeşitli üretim süreçlerinde ara madde olarak; PCA ise endüstride çözücü madde olarak kullanılmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Hiçbir katkı maddesi içermeyen saf LDPE tipi mikroplastikler üreticiden toz halinde temin edilmiştir. Elenen, yıkanan, ultrasoniklenen ve kurumaya bırakılan 250-500 µm parçacık boyutundaki MP'ler UV kabinine konularak yaşlandırılmıştır. UV kabini 8 adet UV-A lamba içermekte, ortalama kabin sıcaklığı 72 °C ve UV-A lambaların ışık şiddeti yaklaşık 30 W/m2 olarak ölçülmüştür. Farklı dozlarda UV ışığına maruz bırakılan MP'lerin yapılarında meydana gelen değişiklikler Perkin Elmer 400 FTIR (ODTÜ, Merkezi Laboratuvar, MERLAB) ile incelenmiş ve karbonil indeksleri hesaplanmıştır. DSC analizleri Perkin Elmer Diamond cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (ODTÜ, MERLAB). Yüzey görüntüleri, 1.2nm çözünürlüğe sahip QUANTA 400F Field Emission SEM (ODTÜ, MERLAB) kullanılarak elde edilmiştir. MP'lerin yaşlandırma öncesi ve sonrası organiklerle etkileşimleri sucul ortamda adsorpsiyon deneyleri ile incelenmiştir. PCA ölçümleri GC-ECD (Agilent 6890 N) ile gerçekleştirilirken, diğer kimyasallar UV-Vis Spektorofotometre (HACH DR6000) ile uygun dalga boyunda ölçülmüştür.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Orijinal LDPE tipi MP'lerin yoğunluğu 0.919 g/cm3'tür. DSC ölçümünün ilk ısıtma döngüsüne göre, orjinal MP'lerin erime sıcaklığı 102.6 °C olarak bulunurken, kristalinitesi %25.6 olarak hesaplanmıştır (Li vd., 2019; Sertchook vd., 2007). Orjinal LDPE numunesinin FTIR spektrumu, polietilen omurgası ile ilişkilendirilen karakteristik bantlarını göstermektedir (Grause vd., 2020). UV ile yaşlandırılmış numunelerin FTIR spektrumları, uygulanan UV dozuna bağlı olarak artan yoğunlukta yeni bantlar göstermektedir ki bu durum, UV yaşlanmasından dolayı MP'lerin yapılarında meydana gelen değişiklikleri ortaya koymaktadır. Gözlenen yeni bantlar hidroksil, karbonil, vinilen gruplarına, karboksil grubuna bitişik metilen grubuna ve esterlerin C-O gerilmesine karşılık gelmektedir (Grause vd., 2020; Amar vd., 2019; Kim vd., 2020). Polimerik malzemelerin bozunma seviyesini gösteren karbonil indeksi (CI), hem orjinal hem de UV ile yaşlandırılmış numuneler için SAUB yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (Almond vd., 2020). DSC analizi ile orjinal ve UV ile yaşlandırılmış numunelerin erime sıcaklıkları ve yüzde kristallik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Orjinal ve UV ile yaşlandırılmış LDPE MP'ler için FTIR, DSC ve SEM sonuçlarının özeti

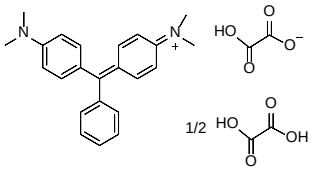
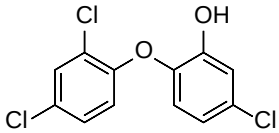
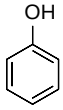
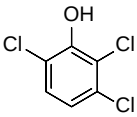
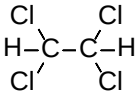
Orijinal LDPE örneğinin SEM görüntülerinde yüzey kırışıklıkları ve pürüzlülük gözlenirken bu durumun muhtemelen polimerin üretim sürecinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir (Şekil 1). UV ile yaşlandırılmış LDPE numunelerinin SEM görüntüleri, küçük parçacıkların görünümü de dahil olmak üzere daha belirgin kırışıklıklar, oluklar ve pürüzlülük sergilemiştir.

Orijinal ve UV ışığı altında yaşlandırılan MP'ler ile yapılan adsorpsiyon deneylerinde UV radyasyonuna maruz kalan MP'lerin bahsi geçen kimyasallara karşı ilgisinin orijinal MP'lerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Organik kirleticilerin fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak etkileşimlerin farklılık gösterebildiği de tespit edilmiştir (Tablo 1). Örneğin, yüksek hidrofobisitesi olan triklosanın MP'lere olan yüksek tutunma kapasitesi fazla değişmezken, suda çözünürlüğü oldukça yüksek olan fenolün MP'lere adsorpsiyonu yaşlanma ile ciddi oranda artış göstermiştir.

4. SONUÇ

Sonuçlar, LDPE MP'lerin UV yaşlanmasının, FTIR spektrumlarında yeni bantların gözlemlenmesiyle kanıtlanan yapısal değişikliklere yol açtığını göstermektedir. Ayrıca erime noktası ve kristallik yüzdesi değerlerindeki değişimler ve SEM görüntülerinde tespit edilen değişiklikler, LDPE MP'lerin yapısının UV yaşlanmasıyla değiştiğini desteklemektedir. Plastik atıkların doğaya karışması sonrasında polimerik yapılarında ve organik kirleticiler ile etkileşimlerinde bu çalışmada gösterilen şekilde değişikliklere uğruyor olması, ekosistem üzerinde etkileşimlerinin zamana ve yaşlanma düzeyine bağlı olarak değişebileceğine işaret etmektedir.

Tablo 1. UV ile yaşlanmanın mikroplastiklerin organikleri soğurma kapasitesine etkisi ve olası mekanizmalar.

Organik Bileşik	Yapı	Soğurmaya etki	Olası Mekanizma
Malaşit Yeşili		↑	Dikatyonik boyar maddenin yaşlandırılmış LDPE yüzeyindeki oksitlenmeden ciddi şekilde etkilendiği görülmüştür. MP'lerin yüzeyinde UV yaşlanması sonrası su moleküllerinin tutunmasının MG tutulumuna olumlu etki etmesi mümkündür.
Triklosan		—	Triklosan-LDPE arasında spesifik olmayan Van der Waals etkileşimlerinin ön planda olduğu düşünülmektedir. Triklosanın hidrofobik etkileşimlerinin MP üzerine tutulumunda olumlu payı bulunmaktadır.
Fenol		↑	Suda çözünürlüğü çok yüksek olan fenolün su ile etkileşimi kısıtlı orijinal LDPE parçacıkları tarafından hiç soğurulmadığı, ancak yaşlandırılmış olan ile az da olsa etkileşime girdiği görülmüş ve MP yüzey oksitlenmesinin bunda payı olduğu düşünülmüştür.
2,3,6-triklorofenol		↑ ↓	Düşük TCP derişimlerinde orijinal MP'ler, yüksek derişimde ise yaşlandırılmış MP'ler daha yüksek soğurma kapasitesi göstermiştir. LDPE yüzeyinde UV dolayısıyla gerçekleşen oksitlenme sonucu su moleküllerinin H-bağı ile yüzeye tutunması beklenebilir, Bu bağların yüksek TCP derişimlerinde kırılarak sadece görece yüksek derişimlerde yüzeye TCP sorplanıyor olması mümkündür.
1,1,2,2-tetrakloroetan		↑	Hidrofobik etkileşimlerin PCA soğurulmasında ön planda olduğu düşünülmektedir. Suda çözünürlüğü görece yüksek olan PCA'nın, UV yaşlandırma sonrası su molekülleri ile daha yakın etkileşime girebilen MP'ler tarafından daha kolay soğurulabildiği düşünülmektedir.

Elde edilen sonuçlar, gerek katı atık olarak büyük parçalar halinde atıldıktan sonra ufalan, gerekse de mikro parçacıklar halinde doğaya atılan plastiklerin güneş ışığı altında kaldıkça, sucul ortamlarda organik kirleticiler ile daha fazla etkileşime girebileceğini ve besin zinciri için tehlikeli sonuçlara sebep olabileceğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, tarımsal alanda yaygın olarak kullanılan tarımsal filmler genellikle LDPE türü plastiklerdir. Söz konusu filmlerin güneş ışığı altında yaşlanarak parçalanmaları ile bu çalışmada ele alınan türde yaşlanmış mikroplastikler toprağa karışmaktadır. Bu durum, mikrokirleticilerin topraktaki akıbetini etkilemekte ve toprakta tutunmak yerine mikroplastiklerle hareketliliklerinin artarak yer altı suları için olası bir tehdit de oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, UV yaşlandırması, LDPE, Organik Kirleticiler, Karbonil İndeks, Adsorpsiyon

Teşekkür : Bu çalışma, TÜBİTAK Proje No: 220N044 tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

Almond, J. Sugumaar, P. Wenzel, M. N. Hill, G. & Wallis, C. (2020). e-Polymers, 20(1), 369-381.

Amar, Z. H., Chabira, S. F., Sebaa, M., & Ahmed, B. (2019). In Annales de Chimie: Science des Materiaux (Vol. 43, No. 1, pp. 59-68).

Hüffer, T., Weniger, A. K., & Hofmann, T. (2018). Environmental Pollution, 236, 218-225.

Kim, J. W., Yoo, S. H., Kong, Y. B., Cho, S. O., & Lee, E. J. (2020). Polymers, 12(12), 2770.

Koelmans, A. A., Bakir, A., Burton, G. A., & Janssen, C. R. (2016). Environmental science & technology, 50(7), 3315-3326.

Grause, G. Chien, M. F. & Inoue, C. (2020). Polymer degradation and stability, 181, 109364.

Li, D., Zhou, L., Wang, X., He, L., & Yang, X. (2019). Materials, 12(11), 1746.

Prajapati, A., Narayan Vaidya, A., & Kumar, A. R. (2022). Environmental Science and Pollution Research, 29(33), 49490-49512.

Sertchook, H., Elimelech, H., Makarov, C., Khalfin, R., Cohen, Y., Shuster, M., Babonneau F., Avnir, D. (2007). Journal of the American Chemical Society, 129(1), 98-108.

MICROWASTES AND MICROPOLLUTANTS: UV-AGING OF POLYETHYLENE MICROPLASTICS AND INVESTIGATION OF THEIR INTERACTION WITH VARIOUS ORGANIC CONTAMINANTS

Ülkü Dide Türkeli[1], Kübra Tapan[2], Meriç Uygur[3], Melek Özdemir[4], İpek İmamoğlu[5]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, ide.turkeli@metu.edu.tr +905380387602, https://orcid.org/0009-0000-3286-2906

[2]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, kubra.tapan@metu.edu.tr +905374653100

[3]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, meric.uygur@metu.edu.tr, +905433740601

[4]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, ozmelek@metu.edu.tr +90 312 210 2640 https://orcid.org/0000-0003-0037-1955

[5]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, ipeki@metu.edu.tr +903122105861, https://orcid.org/0000-0001-6913-7054

Today, plastic products are widely used in all areas of our daily life due to their light weight, longevity and low cost, and it is known that plastic waste is widely found all over the planet and especially in the oceans. The amount of plastic garbage that enters the ocean each year is projected to be 12.8 MT, and if no serious action is taken, this number might rise to 37 MT by 2040. Microplastics (MP) are defined as plastic particles smaller than 5 millimeters in size. MPs undergo physical and chemical changes over time due to sunlight, temperature, microbial interactions, mechanical and other factors, and MPs formed after these changes are called aged MPs. One of the important research topics is whether the environmental effects of pristine and aged MPs are similar. It has been discussed in the literature that aged MPs, like pristine MPs, can act as vectors for various pollutants in aquatic environments, that is, they can act as carrier agents. The aim of this study is to investigate the aging of MPs with UV, detailed characterization before and after, as well as the post-aging change of the interactions of MPs with organic pollutants.

In this study, LDPE (Low-Density Polyethlyene/Low Density Polyethylene) type MPs, which are widely produced and used, were selected as model polymers, while five different organic pollutants (malachite green, MG; triclosan, TCS; phenol; 2,3 ,6-trichlorophenol, TCP and tetrachloroethane, PCA) were chosen as models. MG is used in industry as a food dye, fungicide, and medical disinfectant; TCS is used as an antimicrobial agent in toothpastes, soaps; Phenol and TCP as intermediates in various production processes; PCA is used as a solvent in industry.

MPs of 250-500 µm in size, which were sieved, washed, ultrasonicized and left to dry, were aged by placing them in a UV cabinet. The cabin temperature was measured at an average of 72 °C, and the light intensity of the UV-A lamps was approximately 30 W/m2. The UV dose applied to the MPs was calculated by measuring the light intensities with a UV radiometer at regular intervals. The changes in the structures of MPs exposed to different doses of UV light were

examined by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and carbonyl indexes, a measure of surface oxidation, were calculated. The crystallinity (%) values of the aged samples were calculated by Differential Scanning Calorimetry (DSC) analysis and the varying melting temperatures were determined. Surface images were obtained by Scanning Electron Microscopy (SEM). The interactions of MPs with organics before and after aging were demonstrated by batch adsorption experiments. PCA measurements were performed with GC-ECD, while other chemicals were measured with UV-Vis Spectrophotometer.

According to the results, it was confirmed by the increase of carbonyl indexes determined by FTIR that MPs oxidized on the surface at increasing UV doses. In addition, new bands observed in FTIR spectra at 3200-3400 cm-1, 1850-1650 cm-1, 1412-1413 cm^{-1} 1174-1176 cm-1, and 964-966 cm-1 shows the changes that have occured in the MPs' structures due to UV aging. DSC analyzes indicated that as the applied UV dose increased, the crystallinity (%) and melting temperatures of the MP samples increased, thus significant changes occurred in the polymeric structure.

In adsorption experiments with pristine and aged LDPE MPs, it was observed that MPs exposed to UV radiation had a higher affinity for the aforementioned chemicals than pristine MPs. It has also been determined that interactions may differ depending on the physicochemical properties of organic pollutants; For example, while the adhesion capacity of TCS, which has a high hydrophobicity, did not change much, the adsorption of highly soluble phenol to MPs increased significantly with aging.

The results show that the plastics, which are either crumbled after being disposed of as solid waste in large pieces or thrown into the nature in the form of micro particles, can interact more with organic pollutants in aquatic environments and cause dangerous consequences for the food chain, as long as they are exposed to sunlight. Moreover, LDPE plastics are widely used in agricultural films within the agricultural industry. As these films degrade and fragment under sunlight, microplastic particles as considered in the present study are released into the soil. This affects the fate of micropollutants in the soil and instead of being retained in the soil, their mobility with microplastics increases, posing a potential threat to groundwater.

Keywords: Microplastic, UV-aging, LDPE, Organic Contaminants, Carbonyl Index, Adsorption

Acknowledgement: This study was funded by TÜBİTAK through the project grant 220N044.

AFET VE ACİL DURUM ZAMANLARINDA ATIK YÖNETİMİ: 6 ŞUBAT KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİ ÖRNEĞİ

Kâmil Varınca

Adıyaman Üniversitesi Mühendislislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Merkez/Adıyaman, kvarinca@adiyaman.edu.tr, 0000-0002-7932-2146

Türkiye'de 6 Şubat 2023 Pazartesi günü Kahramanmaraş merkezli olarak ilki sabah 04.17'de 7.7 büyüklüğünde, ikincisi ise saat 13.24'te 7.6 büyüklüğünde olmak üzere iki büyük deprem gerçekleşmiştir. Sonrasında "Asrın Felaketi" olarak adlandırılan ve 11 ili etkileyen bu depremler neticesinde 50 binin üzerinde insan hayatını kaybetmiş, 100 binin üzerinde insan yaralanmış, onlarcası ise hâlâ hastanelerde tedavi görmektedir. Bu iki büyük depremin ardından büyüklükleri 6,7'ye varan 40 bini aşkın sayıda artçı sarsıntı da kaydedilmiştir.

Böylesine büyük bir afetin insan ve çevre sağlığı üzerine etkileri de büyük ve derin olmuştur. Tüm bu depremler, can kaybı ve yaralanmalarının yanında diğer canlı ve cansız varlıklar üzerinde de büyük bir etki ve yıkım getirmiştir. Bu kapsamda 300 bini aşkın binanın yıkık/hasarlı olduğu bildirilmiş olup bugün dahi ağır hasarlı binaların yıkımı ve enkaz kaldırma çalışmalarının devam ettiği bilinmektedir.

Tıpkı su temini ve atıksu hizmeti gibi normal zamanlarda yönetimleri plan, program ve altyapı gerektiren katı, sıvı ve gaz atıkların (belediye atıkları, inşaat ve yıkıntı atıkları, tehlikeli ve tıbbi atıklar vs) afet ve acil durum zamanlarında da yönetiminin sağlanması gereklidir. Hatta bu tür zamanlarda halk sağlığının korunması amacıyla daha da titiz davranılması gerekir. Zira normal şartlarda atık yönetimi ne kadar kaliteli yapılıyor olsa da afet ve acil durum zamanlarında ilk anda ortaya çıkan ve bir süre devam eden kaos ortamında da tüm bu hizmetlerin asgari şartlarla sunulabilmesi ayrı bir plan, program, altyapı ve hazırlık gerektirmektedir. Bu tür bir hazırlık hem afet ve acil durum sonrası arama-kurtarma safhasında hem de sonrası toparlanma ve hayata dönüş safhasında afet öncesindeki çevre ve atık yönetimine dönüşü kolaylaştıracaktır.

Bu çalışmada, depremin yıkıcı etkileri ile afet ve acil durum zamanlarında çevre ve insan sağlığını korumak için atık yönetiminin önemine dikkat çekmek ve bu hizmetlerin asgari şartlarla yerine getirilmesinin gerekliliğini hatırlatmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda 6 Şubat tarihinde ülkemizde 11 ili derinden etkileyen Kahramanmaraş depremleri incelenerek afet ve acil durumlarında çevre ve atık yönetiminin nasıl yapılması ve nelere dikkat edilmesi gerektiği huşuları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sonuçta her türlü afet ve acil durumlar için hazırlıklı olmak adına atık yönetim planlarının her daim güncellenmesi ve uygulanması gerekliliği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: acil durum, afet, atık yönetimi, çevre sağlığı

WASTE MANAGEMENT IN TIMES OF DISASTER AND EMERGENCY: THE CASE OF THE 6 FEBRUARY KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKE

Kâmil Varınca

Adıyaman University Engineering Faculty Department of Environmental Engineering, Merkez/Adıyaman, kvarinca@adiyaman.edu.tr, 0000-0002-7932-2146

On Monday, February 6, 2023, two major earthquakes occurred in Turkey, the first with a magnitude of 7.7 at 04.17 am and the second with a magnitude of 7.6 at 01.24 pm, centered in Kahramanmaraş. As a result of these earthquakes, which were later called the "Disaster of the Century" and affected 11 provinces, more than 50 thousand people lost their lives, over 100 thousand people were injured, and dozens of them are still being treated in hospitals. After these two major earthquakes, more than 40 thousand aftershocks with magnitudes of up to 6.7 were also recorded.

The effects of such a major disaster on human and environmental health have also been great and profound. All these earthquakes brought great impact and destruction on other living and non-living beings as well as loss of life and injuries. In this context, it has been reported that more than 300 thousand buildings are destroyed/damaged, and it is known that the demolition and debris removal works of heavily damaged buildings continue even today.

Just like water supply and wastewater service, it is necessary to ensure the management of solid, liquid and gaseous wastes (municipal wastes, construction and demolition wastes, hazardous and medical wastes, etc.) Even at such times, it is necessary to be more meticulous in order to protect public health. Because, no matter how high-quality waste management is under normal conditions, it requires a separate plan, program, infrastructure and preparation to be able to provide all these services with minimum conditions in an environment of chaos that occurs at the first moment in times of disaster and emergency and continues for a while. Such preparation will facilitate the return to pre-disaster environmental and waste management, both in the search and rescue phase after the disaster and emergency, and in the post-disaster recovery and return to life phase.

In this study, it is aimed to draw attention to the importance of waste management in order to protect the environment and human health during the destructive effects of the earthquake and in times of disaster and emergency, and to remind the necessity of fulfilling these services with minimum conditions. In this context, the Kahramanmaraş earthquakes, which deeply affected 11 provinces in our country on February 6, were examined and it was tried to reveal the awe of how the environment and waste management should be done and what should be paid attention in case of disasters and emergencies. As a result, it was emphasized that waste management plans should always be updated and implemented in order to be prepared for all kinds of disasters and emergencies.

Keywords: emergency, disaster, waste management, environmental health

TERMAL DEZENTEGRASYON İŞLEMİNİN AKTİF ÇAMURUN ANAEROBİK ÇÜRÜTME SÜRECİNE ETKİSİ

K. Eda Sakınmaz[1], F. Dilek Sanin[2]

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye, eda.sakinmaz@metu.edu.tr

[2]Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr, 0000-0002-1376-8700

Giriş

Arıtma çamurlarının anaerobik çürütme işlemi kullanılarak biyogaz üretimi, sürdürülebilir çamur yönetiminde önemli bir yöntemdir. Anaerobik çürütme (AD), biyogaz formunda metan (CH4) ve karbondioksit (CO2) üretimine yol açarken çamur hacminin de yaklaşık olarak %40-50 oranında azalmasını sağlamaktadır (Bougrier vd., 2006). Öte yandan biyolojik yumakları oluşturan hücre dışı polimerler, hücre duvarları, vb. yumak bileşenleri zor parçalanmaları sebebiyle AD sürecini yavaşlatarak, etkinliğini düşürmektedir (Zhen vd., 2017). Biyogaz üretimini artırmada öne çıkan yöntemlerden biri de termal hidroliz işlemidir. Yüksek sıcaklık ve basıncın etkisiyle daha küçük moleküllerin salınmasına sebep olan termal dezentegrasyon, organik parçacıkların, polimerlerin ve mikrobiyolojik hücrelerin parçalanmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu yöntem patojenleri sterilize etme olanağı da sunmaktadır (Keymer vd., 2013; Xue vd., 2015). Termal hidroliz tam ölçekli tesislerde de uygulaması bulunan etkin bir dezentegrasyon yöntemidir (Zhang vd., 2020). Bu çalışmada, ön araştırmalarımızda atık aktif çamurun etkin bir şekilde parçalanması için 127ºC olarak belirlenmiş sıcaklıkta termal dezentegrasyon için gerekli olan optimum sürenin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi'nden (AAT) temin edilen çamura farkı sürelerde (30, 60, 90, 120 dakika) 127ºC'de termal dezentegrasyon uygulanarak metodun etkinliği araştırılımıştır.

Materyal ve Yöntemler

Ankara Merkezi AAT'den temin edilen biyolojik çamur numuneleri yoğunlaştırılarak toplam katı madde konsantrasyonu (TKM) %2 olarak ayarlanmıştır. Aynı hacimde ölçülerek otoklav şişelerine dağıtılan çamur numuneleri 127ºC sıcaklıkta farklı sürelerde (30, 60, 90, 120 dakika) otoklav cihazı kullanılarak termal dezentegrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu dezentegrasyon yönteminin çamur üzerindeki etkinliğini belirleyebilmek için dezentegrasyon derecesi (DD) olarak isimlendirilen parametre kullanılmıştır. DD Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Dezentegrasyon\ Derecesi\ (DD)\ (\%) = \frac{çKO\dot{I}_t - çKO\dot{I}_0}{tKO\dot{I}_0 - çKO\dot{I}_0} * 100 \qquad (1)$$

Denklemde;

çKOİt: örneği alınan çamurdaki o zamana ait çözünmüş KOİ değeri, (mg/L),

çKOİ0: sıfır anındaki arıtılmamış çamurdaki çözünmüş KOİ değeri (mg/L) ve

tKOİ: çamurun toplam KOİ değeri (mg/L).

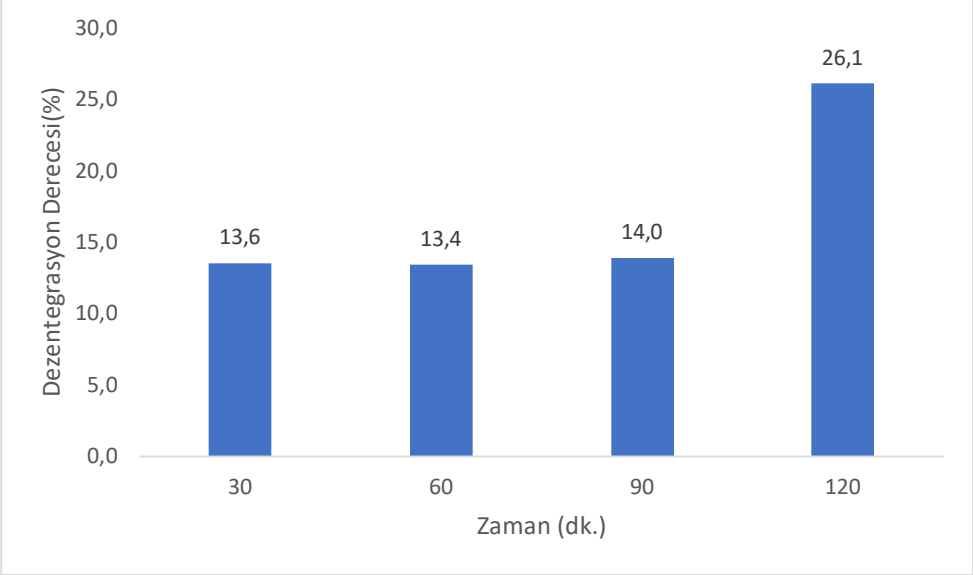
Çalışmalarda her bir süre denemesi için eşit hacimde çamur kullanılmıştır. Öncelikle çalışmada kullanılacak çamur örnekleri santrifüjlenip 0.45 µm filtreden süzülerek başlangıç anı için tKOİ ve çKOİ değeri ölçülmüştür. Daha sonra 300'er mL çamur ölçülerek otoklav şişelerine alınmış ve belirlenen sürelerde iki tekrarlı çamur örneklerine termal dezentegrasyon uygulanmıştır. Termal dezentegrasyon işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığına gelmesi beklenmiş, hacim kayıpları telafi edilmiş ve örnek alınarak çKOİ tekrar ölçülmüştür. Termal dezentegrasyonun etkisi başlangıç anında ve termal dezentegrasyon sonrası ölçülen değerler göz önüde bulundurularak hesaplanmıştır.

Bulgular ve Sonuçlar

Biyoloji çamura 30, 60, 90 ve 120 olmak üzere dört farklı süre ile 127ºC'de termal dezentegrasyon uygulanmıştır. Başlangıç anı ve termal dezentegrasyon sonrasındaki çKOİ değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Başlangıç anında aynı çamurun kullanılması sebebiyle benzer çKOİ ve tKOİ değerlerinde olan numunelerde farklı sürelerde termal dezentegrasyon uygulanmasının ardından çKOİ değerleri değişmektedir. Uygulama süreleri olan 30, 60 ve 90 dakikada çKOİ değeri 3.2 ile 4.2 kat arasında artış göstermektedir. Öte yandan süre 120 dakika olarak uygulandığında bu artış 7 kat kadar yükselmiştir. Bu artışlara paralel olarak, DD değerleri de değişmiştir. Farklı sürelerde uygulanan termal dezentegrasyon sonucunda her süre için DD hesaplanmıştır. Hesaplanan DD sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere, 30, 60 ve 90 dakikalık termal dezentegrasyon sonuçları birbirlerine çok yakındır. %13,4 DD sonucu ile en düşük DD 60 dakikalık uygulamada görülmüştür. Öte yandan, 120 dakikalık termal dezentegrasyonda diğerlerinin yaklaşık iki katı DD olan %26.1 DD elde edilmiştir. Beklendiği üzere DD sonuçları da çKOİ sonuçları ile benzerlik göstermiştir. çKOİ buna bağlı olarak da DD değerlerinde gözlemlenen bu artış 120 dakika uygulanan termal dezentegrasyonda elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda optimum sürenin 120 dakika olmasına karar verilmiştir.

Tablo 1. Farklı sürelerde başlangıç ve termal dezentegrasyon sonrası çKOİ değerleri

Uygulanan Süre (dakika)	Başlangıç Anındaki çKOİ (mg/L	Termal Dezentegrasyon Sonras çKOİ (mg/L)
30	1080,0	4535,0
60	1269,0	5011,9
90	1483,3	4756,5
120	853,3	6467,1



Şekil 1. Dezentegrasyon Derecesi Grafiği

Anahtar Kelimeler: Anaerobik Çürütme, Termal Dezentegrasyon, Arıtma Çamuru

Teşekkür: Bu araştırma 121Y156 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından sağlanan destek ile yürütülmüştür.

Referanslar

Bougrier, C., Albasi, C., Delgenès, J. P., & Carrère, H. (2006). Effect of ultrasonic, thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 45(8), 711-718.

Keymer, P., Ruffell, I., Pratt, S., & Lant, P. (2013). High pressure thermal hydrolysis as pre-treatment to increase the methane yield during anaerobic digestion of microalgae. Bioresource technology, 131, 128-133.

Zhang, D., Feng, Y., Huang, H., Khunjar, W., & Wang, Z. W. (2020). Recalcitrant dissolved organic nitrogen formation in thermal hydrolysis pretreatment of municipal sludge. Environment international, 138, 105629.

Zhen, G., Lu, X., Kato, H., Zhao, Y., & Li, Y. Y. (2017). Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives. In Renewable and Sustainable Energy Reviews (Vol. 69, pp. 559–577). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.187

Xue, Y., Liu, H., Chen, S., Dichtl, N., Dai, X., & Li, N. (2015). Effects of thermal hydrolysis on organic matter solubilization and anaerobic digestion of high solid sludge. Chemical Engineering Journal, 264, 174-180.

EFFECT OF THERMAL DISINTEGRATION ON ANAEROBIC DIGESTION PROCESS OF ACTIVATED SLUDGE

K. Eda Sakınmaz[1], F. Dilek Sanin[2]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye, eda.sakinmaz@metu.edu.tr

[2]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr, 0000-0002-1376-8700

Generating biogas through anaerobic digestion (AD) using sewage sludge is a prominent method in sustainable sludge management. Anaerobic digestion (AD) is a method used to effectively process waste activated sludge (WAS), while also reducing its volume and recovering energy from it. This process has the potential to diminish the volume of end-product sludge by approximately 40% to 50%, all the while producing methane (CH4) and carbon dioxide (CO2) in biogas form (Bougrier et al., 2006).

The thermal hydrolysis procedure is one of the prominent methods for improving sludge solubility and biogas production. Thermal hydrolysis is accomplished through the disintegration of organic particles, polymers, and microbiological cells, resulting in the release of smaller molecules as a result of elevated temperature and pressure. Furthermore, the method provides pathogen sterilizing (Keymer et al., 2013; Xue et al., 2015). The thermal hydrolysis process is one of the rare disintegration methods that has application in full-scale plants (Zhang et al., 2020).

In most cases, the effectiveness of the sludge disintegration application is evaluated based on the solubilization rate and amount. Solubilization rate is determined by considering both the total chemical oxygen demand (tCOD) and the amount of soluble chemical oxygen demand (sCOD) present in the sludge (Jeon and Nam, 2019), through a parameter called as degree of disintegration (DD).

In this study, the impact of thermal disintegration on biological sludge from the Ankara Metropolitan Municipality urban wastewater treatment facility was examined. The sludge underwent thermal disintegration with varying time periods (30, 60, 90, 120 minutes) at a temperature of 127°C. To assess the impact of varying thermal disintegration durations, DD was measured. The test outcomes indicated that for 30, 60, and 90 minutes disintegration periods, there was minimal variation in DD values, remaining in the range of 13-14%. However, utilizing a thermal disintegration duration of 120 minutes resulted in a DD of 26.1%, nearly twice the values from shorter durations. This increase at 120 minutes led to the choice of an optimal time for DD, as it deviated from the relatively constant values observed during other time intervals.

Keywords: Anaerobic Digestion, Thermal Disintegration, Sludge

Acknowledgement: This project was funded by TÜBİTAK through the project grant 121Y156.

ÖĞÜTÜLMÜŞ ARAÇ LASTİKLERİNİN BİYOLOJİK DESÜLFÜRİZASYONU İÇİN OTOTROFİK DENİTRİFİKASYON BAKTERİLERİNİN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Tercan Çataklı[1] - Tuba Hande (Erguder) Bayramoğlu[2]

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, tcatakli@metu.edu.tr

[2]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, etubahan@metu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-9669-171X

Giriş

Hızlı sanayileşme ve özellikle de otomotiv endüstrisinin gelişimi nedeniyle kauçuğa olan talep artmaktadır (Karaağaç vd., 2017). Günümüzde, lastik endüstrisi %70 ile en büyük kauçuk tüketicisidir ve 2016 yılında dünya çapında üretilen 30,9 milyon ton atık lastikten sorumludur (Asaro vd., 2018; WBCSD, 2019). Bu nedenle atık lastikler, atık kauçuk sorununun ana sorumlusu haline gelmiş ve atık kauçuklarla ilgili çalışmalar ağırlıklı olarak atık lastiklere odaklanmıştır. Ne yazık ki, vulkanize kauçuk atıklar termoplastiklerde olduğu gibi eritilerek yeniden kullanılamamakta ve bağ yapısı nedeniyle ön işleme ihtiyaç duymaktadır (Holst vd., 1998). Atık lastiklerin geri dönüşümü için birçok yeni yöntem geliştirilmiştir. Son zamanlarda biyolojik desülfürizasyon (biyodesülfürizasyon, biyodevulkanizasyon) yöntemi, düşük enerji gereksinimi, kauçuk ana zincirine zarar vermeden sülfidik çapraz bağların seçici olarak kırılması ve çevre dostu bir uygulama olması nedeniyle dikkat çekmektedir (Asaro vd., 2018).

Biyodesülfürizasyon ile ilgili yapılan çalışmalarda çoğunlukla Thiobacillus ferrooxidans ve Thiobacillus thiooxidans saf kültürleri kullanılmıştır (Jiang vd., 2010). Saf kültürlerin yanında bu iki mikroorganizmanın karışık kültürleri de çalışılmış ve saf kültürlere göre (%3,2-6,0%) daha yüksek desülfürizasyon verimi (%10,5) elde edilmiştir (Romine ve Romine, 1998). Gordonia sp. ve Sphingomonas sp. türlerinin karışık kültürleri için de yüksek desülfürizasyon veriminin elde edildiği bildirilmiştir (Cui vd., 2016). Karışık kültürlerin daha etkili olduğu görülmesine rağmen literatürdeki çalışmalar genellikle saf kültürler kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca, bu çalışmalar genellikle havalandırma için enerji tüketimi gerektiren aerobik koşullarda yapılmıştır. Bilindiği kadarıyla, anaerobik koşullarda gerçekleştirilen biyodesülfürizasyon çalışmaları oldukça sınırlı sayıdadır (Bredberg vd., 2001).

Bu çalışmanın amacı, öğütülmüş araç lastiğinden (GTR) biyolojik olarak sülfür gideriminin (biyodesülfürizasyonunun) karışık ototrofik denitrifikasyon kültürleri kullanılarak araştırılmasıdır. Bu çalışma ile GTR'nın biyodevulkanizasyon (biyodesülfürizasyon) olasılığı ilk defa anoksik ortamda ve sülfür-bazlı ototrofik denitrifikasyon yöntemi ile araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Biyodesülfürizasyon deneylerinde kullanılan aşı çamuru, bir deri Organize Sanayi Bölgesinin atıksu arıtma tesisi BNR (biyolojik nütriyent giderim) ünitesinden alınan çamurun, ardışık kesikli reaktörde (AKR'de) zenginleştirilmesiyle elde edilmiştir. Yaklaşık 280 gün süren zenginleştirme

sürecinde sülfür kaynağı olarak tiyosülfat ($S_2O_3^{2-}$) uygulanmış ve kültürün yüksek nitrat giderim ve sülfat üretim verimine sahip olduğu belirlenmiştir.

Biyodesülfürizasyon deneyleri, 60 mL toplam ve 40 mL etkin hacme sahip kesikli reaktörlerde anaerobik koşullarda gerçekleştirilmiştir. Sadece GTR ve besiyer çözelti içeren şahit reaktörleri, sadece besiyer çözelti ve aşı çamuru içeren kontrol reaktörleri, ve GTR, besiyer çözelti ve aşı çamuru içeren test reaktörleri üç tekrarlı kurulmuştur. GTR ile abiyotik nitrat gideriminin önemli bir süreç olduğu belirlendiği için çalışmada fazla miktarda nitrat uygulanmıştır. Reaktörlerdeki başlangıç NO_3^--N derişimi 830 mg/L'ye ayarlanmış ve GTR dışında ek bir sülfür kaynağı eklenmemiştir. Reaktörlere eklenen GTR miktarı 1 g olup %2,5 w/v oranındadır. Reaktörler, 30±2°C'daki sıcak odada manyetik karıştırıcıda (175 rpm) inkübe edilmiştir. Biyodevulkanizasyon, deney sonunda yapılan GTR analizleri (Scanning Electron Microscope-SEM-, Fourier-transform infrared spectroscopy -FTIR-), ve başlangıç ve çıkış sülfat, nitrit ve nitrat derişimi analizleri ile takip edilmiştir.

Bulgular ve Sonuçlar

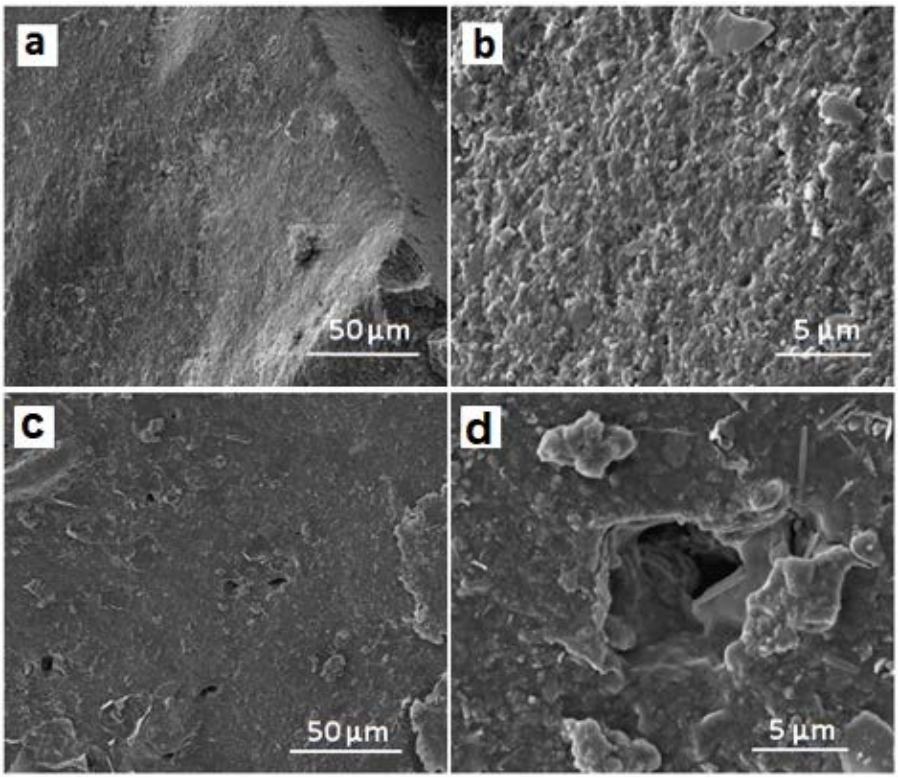
İnkübasyon sonunda yapılan analizlerde, sülfür veya aşı çamuru içermeyen şahit reaktörlerde abiyotik bir nitrat tüketimi olduğu saptanmıştır. Fakat sülfür kaynağı olarak GTR içeren test reaktörlerinde daha fazla nitrat tüketildiği belirlenmiştir. Bu durum, test reaktörlerinde sülfür-bazlı ototrofik denitrifikasyon yoluyla nitrat tüketimi olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, sülfat üretiminin şahit reaktörlerinde değil de test reaktörlerinde gözlemlenmesi de bu olguyu desteklemektedir. Test reaktörlerinde, kontrol reaktörlerine kıyasla ciddi bir nitrit üretimi gözlemlenmiştir. Bu durum tüketilen nitratın bir miktarının nitrite dönüşmesi kaynaklı olabilir; dolayısıyla sülfür-bazlı ototrofik denitrifikasyon aşamasında kısmi denitrifikasyonla nitritin ortamda birikebileceği düşünülmüştür.

$S_2O_3^{2-}$-bazlı ototrofik denitrifikasyon reaksiyonunda (Denklem 1), reaktör içi pH değerinin düşmesi beklenmektedir. Nitekim, zenginleştirme çalışması sırasında da pH'nın döngü sonunda düştüğü gözlemlenmiştir. Fakat biyodesülfürizasyon deneylerinde, şahit reaktörlerde pH düşerken test ve kontrol reaktörlerinde artış tespit edilmiştir. Bu durum, kükürt kaynağı olarak $S_2O_3^{2-}$ yerine hidrojen sülfür iyonunun (HS-) kullanılması kaynaklı olabilir. Denklem 2'de ototrofik denitrifikasyon kaynağı olarak hidrojen sülfür iyonunun kullanıldığı reaksiyon görülmekte olup reaksiyon sonunda pH'nın arttığı görülmektedir. Nitekim, Sato vd. (2004), biyodesülfürizasyonu kauçuğun ana zincirinden monosülfür bağlarının seçici olarak kırılması ile açıkladıkları unutulmamalıdır. Bu nedenle, sülfür kaynağı olarak HS- kullanılan Denklem 2'deki reaksiyon gerçekleşmiş olabilir.

$$0.84S_2O_3^{2-} + NO_3^- + 0.43H_2O + 0.35CO_2 + 0.87HCO_3^- + 0.087NH_4^+ \rightarrow 0.087\ C_5H_7NO_2 + 0.5\ N_2 + 1.69\ SO_4^{2-} + 0.7\ H^+ \qquad \text{Denklem 1}$$

$$HS^- + 1.23NO_3^- + 0.438HCO_3^- + 0.573H^+ + 0.093NH_4^+ + 0.027CO_2 \rightarrow 0.093C_5H_7O_2N + 0.614N_2 + 0.8666H_2O + SO_4^{2-} \qquad \text{Denklem 2}$$

Şahit ve test reaktörlerinden alınan GTR numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1a ve 1b'de görüleceği üzere yalnızca besiyer çözelti ile inkübe edilen GTR numunelerinin (şahit) yüzeylerinde herhangi bir çatlak veya parçalanma görülmemiştir. Buna rağmen, aşı çamurunun da bulunduğu test reaktörlerinden alınan GTR numunelerinin yüzeylerinde parçalanmalar görülmektedir (Şekil 1c ve 1d). Bu parçalanmalar, biyodesülfürizasyon ile ilişkilendirilmiştir. GTR'dan biyolojik yollarla sülfür gideriminin yani biyodesülfürizasyonun ototrofik denitrifikasyon bakterilerince zenginleştirilmiş karışık kültürlerle mümkün olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Biyosülfürizasyon deneyi sonrasında elde edilen şahit GTR (a, b) ve Test GTR (c, d) numunelerinin SEM görüntüleri

Deneylerde kullanılan GTR'nin kükürt miktarı %2,24±0,13 (w/w) olarak belirlenmiştir. Test reaktörlerinde gözlemlenen biyodesülfürizasyon oranını hesaplamak için reaktörlerde üretilen sülfat derişiminin, reaktörlere GTR yoluyla eklenen kükürt miktarına oranı hesaplanmıştır. Buna göre, biyodesülfürizasyon oranının %3,9 olduğu belirlenmiştir. Aslında, biyodesülfürizasyon oranının daha yüksek olması mümkündür; çünkü GTR'nin metal oksit içeriği desülfürizasyon sırasında çözünebilir ve sülfat ile reaksiyona girmiş olabilir. Dolayısıyla, biyodesülfürizasyon oranını hesaplarken kullanılan ve desülfürizasyon sırasında üretilen sülfatın metal oksitlerle çökelek oluşturması daha düşük bir biyodesülfürizasyon oranının hesaplanmasına yol açmış olabilir. Bredberg vd. (2001) biyodesülfürizasyon çalışmaları sonunda, reaktörlerde çinko ve sülfat içeren çökeleğin oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Bu çalışma ile atık lastiğin biyodesülfürize GTR olarak anoksik koşullarda sülfür-bazlı ototrofik denitrifikasyonla da geri kazanılabileceğini göstermesi açısından önemlidir. Karışık ototrofik denitrifikasyon kültürlerinin kullanımı, hem saf kültürlere kıyasla kontaminasyon riskinin az olması ve sterilizasyon gerektirmemesi hem de havalandırma kaynaklı enerjiye ihtiyaç duyulmaması nedeniyle tercih edilebilir. Biyodesülfürizasyon oranı %3,9 gibi düşük bir seviyede olmasına rağmen, bu oranda elde edilen biyodesülfürize GTR, kauçuk paspaslar, konveyör bantlar ve ayakkabı tabanları gibi kauçuk parçaların üretimi için yeni hazırlanacak karışımlarda belirli oranlarda kullanılabilir. Bu çalışmada gösterildiği gibi, GTR'nin ototrofik denitrifikasyonla biyodesülfürizasyonu sadece bir atık yönetimi yaklaşımı değil, aynı zamanda döngüsel ekonomi kapsamında araştırılması gereken önemli bir uygulamadır.

Anahtar Kelimeler: Öğütülmüş araç lastiği, biyolojik desülfürizasyon, ototrofik denitrifikasyon, deri endüstrisi

Referanslar

Asaro, L., Gratton, M., Seghar, S., & Hocine, N. A. (2018). Recycling of rubber wastes by devulcanization. Resources, *Conservation and Recycling*, 133, 250-262.

Bredberg, K., Persson, J., Christiansson, M., Stenberg, B., & Holst, O. (2001). Anaerobic desulfurization of ground rubber with the thermophilic archaeon Pyrococcus furiosus–a new method for rubber recycling. Applied Microbiology and Biotechnology, 55(1), 43-48.

Cui, X., Zhao, S., & Wang, B. (2016). Microbial desulfurization for ground tire rubber by mixed consortium-Sphingomonas sp. and Gordonia sp. *Polymer Degradation and Stability*, 128, 165-171.

Holst, O., Stenberg, B., & Christiansson, M. (1998). Biotechnological possibilities for waste tyre rubber treatment. *Biodegradation*, 9(3-4), 301-310.

Jiang, G., Zhao, S., Luo, J., Wang, Y., Yu, W., & Zhang, C. (2010). Microbial desulfurization for NR ground rubber by Thiobacillus ferrooxidans. *Journal of Applied Polymer Science*, 116(5), 2768-2774.

Karaağaç, B., Kalkan, M. E., & Deniz, V. (2017). End of life tyre management: Turkey case. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19(1), 577-584.

Romine, R. A., & Romine, M. F. (1998). Rubbercycle: a bioprocess for surface modification of waste tyre rubber. *Polymer degradation and stability*, 59(1-3), 353-358.

Thaysen, A. C., Bunker, H. J., & Adams, M. E. (1945). 'Rubber Acid' Damage in Fire Hoses. *Nature*, 155(3933), 322-325.

Torma, A. E., & Raghavan, D. (1990). Biodesulfurization of rubber materials (No. EGG-M-90382; CONF-901194-11). EG and G Idaho, Inc., Idaho Falls, ID (USA).

WBCSD 2019 – World Business Council for Sustainable Development. Global ELT Management – A global state of knowledge on regulation, management systems, impacts of recovery and technologies Retrieved from, https://docs.wbcsd.org/2019/12/Global_ELT_Management%E2%80%93A_global_state_of_knowledge_on_regulation_management_systems_impacts_of_recovery_and_technologies.pdf

INVESTIGATION OF THE USE OF AUTOTROPHIC DENITRIFIERS IN BIO-DESULFURIZATION OF GROUND TIRE RUBBER

Tercan Çataklı[1] - Tuba Hande (Erguder) Bayramoğlu[2]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, tcatakli@metu.edu.tr

[2]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, etubahan@metu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-9669-171X

The demand for rubber has been increasing due to rapid industrialization and especially the evolution of the automotive industry. Nowadays, the tire industry is the largest rubber consumer with 70%, and is responsible for 30.9 million tons of waste tires produced worldwide in 2016. That's why waste tires become the main responsible of the waste rubber problem, and studies regarding waste rubbers mainly focused on waste tires. Unfortunately, vulcanized rubber waste cannot be reused by melting as in thermoplastics and needs pretreatment due to the bond structure (Holst et al., 1998; Karaağaç et al., 2017). Many new methods have been developed for the recycling of waste tires. Recently, the bio-desulfurization method has taken attention due to its low energy requirement, selective breakage of sulfidic crosslinks without damaging the rubber main chain and being an environmentally friendly application.

In this study, bio-desulfurization of ground tire rubber (GTR) was investigated for the first time by using sulfur-driven mixed autotrophic denitrifiers. Seed culture used was obtained by enriching the BNR (biological nutrient removal) sludge of a Leather Organized Industrial Zone WWTP in a sequencing batch reactor. Bio-desulphurization of GTR was then investigated through the increase in the sulfate concentration in the medium. Excess nitrate was applied because abiotic nitrate removal via GTR was observed as a significant process. Results revealed that bio-desulphurization ratio obtained was 3.9%. Actually, the bio-desulfurization ratio might be higher because the metal oxides content of GTR might have been reacted with the sulfate produced during the process, which is used to define bio-desulfurization ratio. Nevertheless, this study indicated that bio-desulfurization of GTR is possible with mixed sludges enriched in autotrophic denitrifiers. The results are of significant for revealing that waste tire rubber can be recovered as bio-desulfurized GTR. Despite the low bio-desulfurization ratio of 3.9%, bio-desulfurized GTR can still be valorized by adding to fresh rubber compound for the production of rubber parts such as rubber mats, conveyor belts and shoe soles (Gumede et al., 2022). Bio-desulfurization of GTR with mixed cultures, as shown in this study, is thus not only a waste management approach but also a significant application on circular economy, which should be investigated in detail.

Keywords: Ground tire rubber, biological desulfurization, autotrophic denitrification, leather industry

ASİTLE AKTİVE EDİLEN TARIMSAL ATIK KULLANILARAK SULU ÇÖZELTİLERDEN ZN (II) İYON ADSORPSİYONU

ION ADSORPTION OF ZN (II) FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING ACID-ACTIVATED AGRICULTURAL WASTE

Necla BARLIK

Ardahan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği. Bölümü, Ardahan, Türkiye, neclabarlik@ardahan.edu.tr, ORCID:0000-0003-0000-1903

Özet: Bu çalışmada tarımsal atık olarak Erzurum Pasinler'de yetişen ayçiçeği (Helianthus annuus L.) bitkisinin çekirdek kabukları; yüzey aktivasyonu için 1 M H2SO4 ile muamele edilmiş ve ardından sulu çözeltilerden Zn (II) iyonlarının giderilmesi amacıyla performansları test edilmiştir. Aktive kabuklar ile Zn (II) çözeltileri arasında yürütülen denge testlerinin sonuçları; denge adsorpsiyon izoterm ve kinetik modelleri ile karşılaştırılmıştır. Model parametreleri, doğrusallaştırılmış denklemlerinden hesaplanmıştır. Langmuir izoterm modeli r2 = 0.996'luk bir korelasyon katsayısı ile uyumluluğu en yüksek olan izoterm modeli olmuştur. Model maksimum adsorpsiyon kapasitesini 15.6 mg/g ve Langmuir katsayısını 0.121 L/g olarak tahmin etmiştir. Deneysel sonuçlara en yüksek uyumu (r2 = 0.988) gösteren kinetik adsorpsiyon modeli PSO olmuştur. D – R izoterm modelinden E = 8.972 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre; aktive edilmiş çekirdek kabukları üzerine sulu çözeltilerden Zn (II) iyon adsorpsiyonunun bir kemisorpsiyon olduğu düşünülebilir.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal atık, yüzey modifikasyonu, iyon adsorpsiyonu, Zn (II) giderimi

Abstract : In this study, seed shells of the sunflower (Helianthus annuus L.) plant grown in Erzurum Pasinler as agricultural waste; they were treated with 1 M H2SO4 for surface activation and then their performance was tested to remove Zn (II) ions from aqueous solutions. Results of equilibrium tests carried out between activated shells and Zn (II) solutions; It was compared with equilibrium adsorption isotherm and kinetic models. Model parameters were calculated from their linearized equations. The model parameters were calculated from linearized equations. The Langmuir isotherm model was the isotherm model with the highest agreement with a correlation coefficient of r2 = 0.996. The model estimated the maximum adsorption capacity as 15.6 mg/g and the Langmuir coefficient as 0.121 L/g. The kinetic adsorption model showing the highest agreement (r2 = 0.988) to the experimental results was PSO. It calculated from the D – R isotherm model as E = 8.972 kJ/mol. According to these results; Zn (II) ion adsorption from aqueous solutions onto the activated shells can be considered as a chemisorption.

Keywords: Agricultural waste, surface modification, ion adsorption, Zn (II) removal

Giriş

Yüzey suları ve yeraltı sularındaki çinko konsantrasyonları genellikle sırasıyla 0.01 mg/L ve 0.05 mg/L'nin altındadır [1] ancak boru ve armatürlerden bir miktar çinko çözünerek musluk sularına karışabilir. Ülkemizde içme sularında izin verilen maksimum çinko konsantrasyonu 5 mg/L olarak belirlenmiştir [2]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), beslenme için temel iz elementlerden biri olarak çinko için bir limit değer belirlememiş ancak 3-5 mg/L'yi geçen konsantrasyonlarda, suda buruk bir tada neden olduğundan tüketiciler tarafından kabul edilemeyebileceğine, 20 mg/L'nin üstündeki konsantrasyonlarda mide bulantısı ve kusmaya neden olabileceğine işaret etmiştir. Ayrıca çinkonun suda bulanıklık oluşturabileceğini ve bu suların kaynatılması durumunda yüzeyde yağlı bir film tabaka oluşturabileceğini belirtmiştir [3].

Bununla birlikte, çelik üretimi, kağıt ve kağıt hamuru endüstrileri, galvanizleme gibi madencilik endüstrileri, boya, kozmetik ve ilaç endüstrileri, yer kaplama malzemeleri, plastik, mürekkep, sabun, tekstil ve elektrik malzemelerinin imalatından kaynaklanabilen yüksek konsantrasyonlardaki çinko deşarjlarına doğrudan yada dolaylı olarak maruz kalan insanlarda bulantı ve kusmanın yanında mide, cilt iltihabı, anemi, iştah kaybı, karaciğer fonksiyon bozuklukları, karın krampları ve ishalin gözlenebildiğini, maruz kalan bitkilerde metabolik büyümeyi inhibe ettiği ve dokuların klorozuna yol açtığını bildiren araştırmalar mevcuttur [4].

Atık sulardan toksik çinko iyonlarının giderimi için kimyasal çöktürme, solvent ekstraksiyonu, membran filtrasyonu, adsorpsiyon, ters ozmoz ve iyon değişimi gibi çok çeşitli arıtma prosesleri kullanılmaktadır [5]. Ekonomik ve verimli olmasının yanında basitliği, esnekliği, toksik yan ürünlerin olmaması, sorunsuz çalışması, çevre dostu olması, çok yönlülüğü ve rejenerasyon kolaylığı gibi avantajları nedeniyle de adsorpsiyon; birçok ağır metal türünün uzaklaştırılması için kanıtlanmış bir yaklaşım olarak kabul edilir. Bu çalışmada tarımsal atık olarak Erzurum Pasinler'de yetişen ayçiçeği (Helianthus annuus L.) bitkisinin çekirdek kabukları kullanılarak sulu çözeltilerden Zn (II) iyonları giderilmiştir.

Yöntem

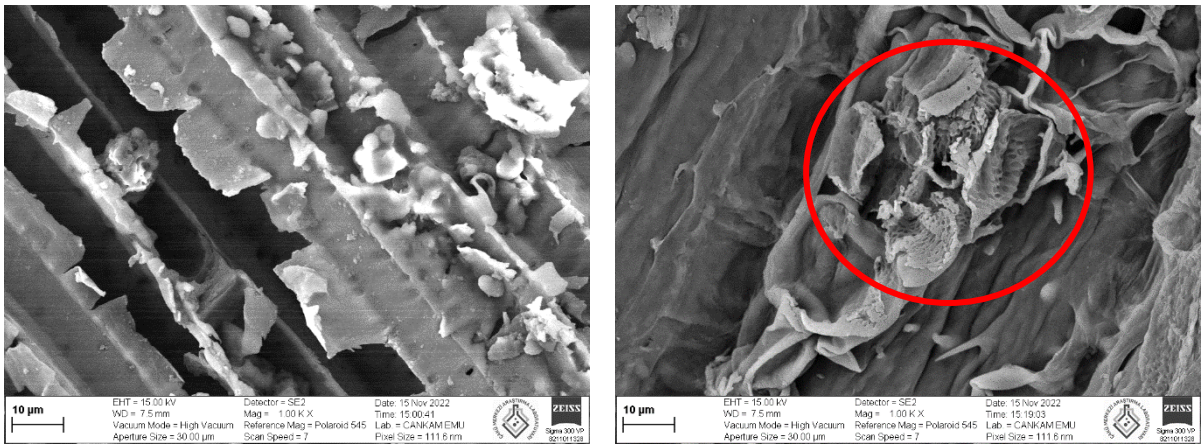
Erzurum Pasinler'de yetiştirilen ayçiçeği (Helianthus Annuus L.) bitkisinin çekirdek kabuklarından oluşan tarımsal atık biyokütlesi adsorbent kullanıldı. Kabuklar fiziksel olarak ayıklandıktan sonra distilled su ile yıkandı ve 24 saat boyunca 60 °C'de kurutuldu. Ardından ev tipi bir öğütücüde öğütüldü ve H2SO4 ile muamele edildiler. 1 L'lik yuvarlak bir reaksiyon kabında 100 gr kabuk üzerine 500 ml asit çözeltisi ilave edilerek 24 saat boyunca 40°C'de su banyosunda bekletildi ve böylece kabukların asit çözeltisi ile iyice ıslanması sağlandı. Daha sonra manyetik karıştırıcılı ve sıcaklık kontrollü bir ısıtıcı tabla üzerinde 100°C'de 2 saat süreyle asit ile tarımsal atığın reaksiyona girmesi sağlandı. Oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra süzüldü, double distilled su ile pH değerleri 5.00 oluncaya kadar yıkandı ve 24 saat 60°C'de kurutuldu. Kabukların aktifleştirilmesinde 1 M H2SO4 çözeltisi kullanıldı. Kurutulan aktifleştirilmiş kabuklar 30 numaralı (600 µm) bir elekten geçirildi ve modifiye adsorbent olarak sulu çözeltilerden Zn (II) uzaklaştırma kapasitesini test etmek için deneyler yürütüldü. Ayrıca ham ve modifiye edilmiş adsorbentin yüzey kimyasının ve mikro geometrisinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır.

Denge izoterm ve adsorpsiyon kinetik modelleri ile karşılaştırılmak üzere yürütülen denge deneyleri 25oC'de 500 rpm karıştırma hızına ayarlı bir manyetik karıştırıcı kullanılarak yapıldı. 100

ml'lik çözeltilerin başlangıç pH'sı 5.00 olarak ayarlandı. Aktive edilmiş adsorbent dozajı 2 g/L idi. 90 dk'lık denge süresinin ardından çözelti süzüldü ve filtratta Zn (II) analizi yürütüldü. Kinetik çalışmalar için yapılan testlerde başlangıç Zn (II) konsantrasyonu 100 mg/L olarak belirlendi. Testler 5 – 90 dakika aralığındaki adsorpsiyon süreleri için gerçekleştirildi. Denge iyon adsorpsiyon testlerinin sonuçları Langmuir, Freundlich, Temkin ve D – R izoterm modelleriyle, kinetik test sonuçları ise PFO, PSO, Elovich ve Partikül içi difüzyon modelleri ile karşılaştırılmıştır. Model parametreleri, doğrusallaştırılmış denklemlerinden hesaplanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Ham ve asitle modifiye edilmiş adsorbent arasındaki morfolojik farklılıkları belirlemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Tüm numuneler kurutulduktan ve altınla kaplandıktan sonra 50x ile 10Kx arasında farklı büyütmelerde SEM görüntüleri alınmıştır. Şekil 1, ham ve aktifleştirilmiş kabukların 1.00 Kx büyütülmüş yüzey görüntüleri arasındaki farklılıkları göstermektedir.

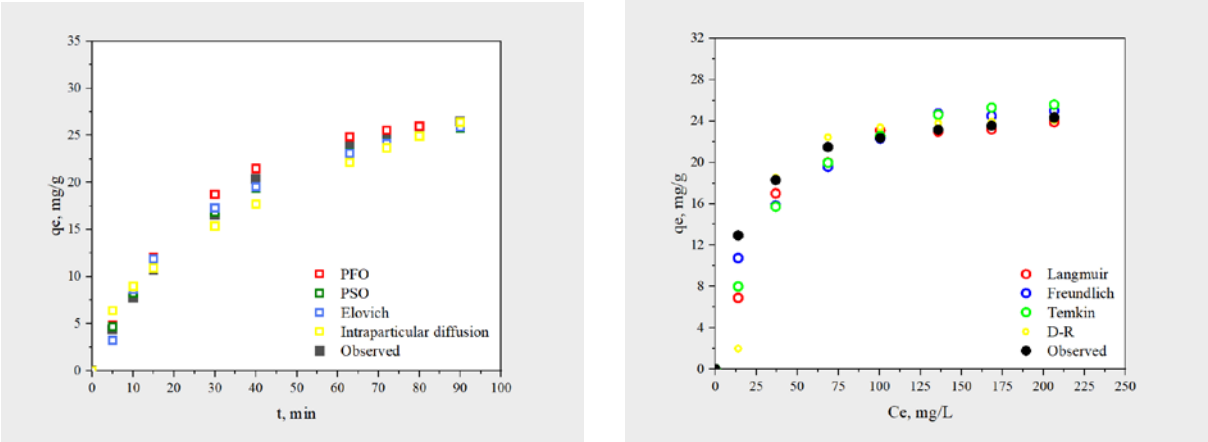


Şekil 1. Ham (soldaki) ve asitle modifiye (sağdaki) kabukların 1.00 Kx büyütülmüş yüzey görüntüleri

Taramalı elektron mikroskobu kabuk tozunun (Şekil 1, soldaki görüntü) düzenli, sabit bir şekle ve boyuta sahip olmayan ve ince parçacıklardan oluşan ham bir bitkisel morfolojiyi göstermektedir. Parçacıklar çeşitli boyutlarda ve dış yüzeyde kenarları kırık çok sayıda basamak ve bükülme içeren pürüzlü bir görünümüne sahiptir. Bu, yüzey üzerine yayılan safsızlıkların varlığına atfedilebilir. Bu safsızlıklar, sağdaki görüntüde göründüğü üzere asit ile muamele yoluyla giderilebilir. Asit ile muamele edilmiş biosorbentin yüzeyi, muamele edilmeyene kıyasla daha temiz ve pürüzsüzdür. Asitle muamele edilmemiş biomas yüzeyinde nispeten daha açık kanalcıklar ve makro gözenekler görülmektedir ancak mikro geometrisinde gözeneklere sahip değildir. Oysa H2SO4 ile aktivasyondan sonra biomasın yapısında mikro gözenek (kırmızı çemberle işaretlenmiş) oluşumu gözlenmektedir ve daha az safsızlık içeren ancak daha kapalı bir yüzey morfolojisine sahiptir.

Adsorpsiyon kinetiği, Zn (II) iyonları ile modifiye adsorbent arasındaki ilişkiyi zamana bağlı olarak gösterebilir ve dengede çözeltideki Zn (II) iyonlarının konsantrasyonu ile modifiye adsorbent arasındaki ilişki de adsorpsiyon izotermleri kullanılarak belirlenebilir. Denge testlerinin sonuçlarından; gözlenen değerler ile kinetik ve izoterm modellerinden hesaplanan değerler

arasındaki ilişki Şekil 2'de verilmiştir. Tablo1 ise lineerleştirilmiş model denklemlerinden hesaplanan model parametrelerini özetlemektedir.



Şekil 2. Modifiye edilmiş ayçiçeği kabukları üzerine Zn (II) iyon adsorpsiyonu için adsorpsiyon kinetik (soldaki) ve denge izoterm (sağdaki) modelleri ile deneysel sonuçların karşılaştırılması

Tablo1'de özetlenen sonuçlara göre; Langmuir izoterm modeli r2 = 0.996'luk bir korelasyon katsayısı ile uyumluluğu en yüksek olan izoterm modeli olmuştur. Model maksimum adsorpsiyon kapasitesini 15.6 mg/g ve Langmuir katsayısını 0.121 L/g olarak tahmin etmiştir. Deneysel sonuçlara en yüksek uyumu (r2 = 0.988) gösteren kinetik adsorpsiyon modeli PSO olmuştur. D – R izoterm modelinden E = 8.972 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre; aktive edilmiş çekirdek kabukları üzerine sulu çözeltilerden Zn (II) iyon adsorpsiyonunun bir kemisorpsiyon olduğu düşünülebilir. İntrapartiküler difüzyon modeli için hesaplanan korelasyon katsayısının (r2 = 0.936) nispeten küçüklüğü SEM sonuçları ile tutarlıdır.

Tablo 1. Modifiye edilmiş ayçiçeği kabukları üzerine Zn (II) iyon adsorpsiyonu için kinetik ve denge izoterm modellerinin hesaplanan parametreleri

Model	Denklem	Parametre		r^2
Denge izoterm modeller				
Langmuir	$q_e = \frac{q_{mL} K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	q_{mL} :	15.60 mg/g	0.996
		K_L :	0.121 L/mg	
D – R	$q_e = q_m \, exp[-K_D \varepsilon^2]$	q_m :	13.70 mg/g	
	$\varepsilon = RT \, Ln \left(1 + \frac{1}{C_e}\right)$	K_D :	$6.210*10^{-3}$ mol^2/J^2	0.983
		ε :	8.972 kJ/mol	
Kinetik modeller				
PSO	$\frac{d(q_t)}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$	k_2 :	$2.900*10^{-3}$ g/mg*min	0.988
		q_e :	19.200 mg/g	
Intrapartiküler difüzyon	$q_t = k_i t^{1/2} + C$	k_d :	2.730 mg/g*$min^{1/2}$	0.936
		C :	0.271	

Tarımsal atıklardan elde edilen lignoselülozik biyokütle (ham veya modifiye edilmiş olarak), sulu çözeltilerden ağır metallerin uzaklaştırılması amacıyla çevre dostu alternatif bir sorbent olarak

kullanılması birçok araştırmada incelenmiş [6] ve hala araştırılmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, bir tarım endüstrisi atık biyokütlesi olan ayçiçeği çekirdeği kabukları H2SO4 ile muamele edilerek modifiye edilmiş ve sulu çözeltilerden Zn (II) iyonlarının uzaklaştırılması için etkili bir adsorbent olabileceği göstermiştir.

Kaynaklar

[1] N. F. Gray. (2008) Drinking Water Quality – Problems and Solutions, 2nd edition, New York: Cambridge University Press.

[2] S. Yılmaz, S. Yağmur, G. Sağlıkoğlu and M. Sadıkoğlu. (2009) Direct Determination of Zn Heavy Metal in Tap Water of Çanakkale (TURKEY) by Anodic Stripping Voltammetry Technique, Int. J. Electrochem. Sci. (4) 288- 294.

[3] WHO (2003) Zinc in Drinking-water, World Health Organization, Geneva, Report No: WHO/SDE/WSH/03.04/17.

[4] A. Kumar, A. Thakur and P. S. Panesar (2023) A review on the industrial wastewater with the efficient treatment techniques, Chemical Papers (77) 4131–4163.

[5] A. Abidli, Y. Huang, Z. B. Rejeb, A. Zaoui and C. B. Park (2022) Sustainable and efficient technologies for removal and recovery of toxic and valuable metals from wastewater: Recent progress, challenges, and future perspectives, Chemosphere (292) 133102.

[6] M. Bilal, İ. İhsanullah, M. Younas and M. S. Ul Hassan (2021) Recent advances in applications of low-cost adsorbents for the removal of heavy metals from water: A critical review, Sep. Purif., (278) 119510.

PANKREATİN ENZİMİ İLE DEZENTEGRASYON İŞLEMİNİN ARITMA ÇAMURUNA ETKİSİ

Elif Nurhan Güzel[1], F. Dilek Sanin[2]

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye, elif.guzel@metu.edu.tr

[2]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr, 0000-0002-1376-8700

Giriş

Arıtma çamuru yönetimi dünya çapında giderek daha öncelikli bir konu haline gelmektedir. Anaerobik çürütme (AD), çamurun enerjisini biyolojik olarak metan açısından zengin biyogaza dönüştürmek için yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Bu işlem aynı zamanda patojenleri ortadan kaldırmaya yardımcı olurken ve koku sorununu azaltırken, işlem sırasında üretilen biyogaz ise fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılabilir. AD işleminde hidroliz adımı, çamurun karmaşık yumak yapısı ve güçlü hücre duvarları nedeniyle işlemin hızını sınırlayabilmektedir. Hidroliz aşamasını hızlandırmak ve AD'nin verimliliğini artırmak için çeşitli dezentegrasyon stratejileri geliştirilmiştir (Zhen vd., 2017). Hidrolitik enzimler, polimerik molekülleri çok adımlı işlemlerle parçalayabilir ve onları dirençli durumdan biyolojik olarak parçalanabilir duruma dönüştürebilir. Bu yüzden enzimler arıtma çamuru gibi biyolojik olarak parçalanabilen atıkların ayrışmasını hızlandırarak daha verimli arıtmaya olanak tanıyabilir. AD işlemine enzimlerin dahil edilmesi, yalnızca çürütme süresini kısaltmakla, çamurun çürütme verimini arttırmakla ve bertaraf maliyetlerini düşürmekle kalmayan, aynı zamanda kolayca kontrol edilebilen ve son ürünleri çevre açısından güvenli olan bir işlemdir. Yapılan araştırmalarda çeşitli enzimlerin çeşitli atıkları parçalamakta önemli rol oynadığı rapor edilmiştir (Yang vd, 2010). Pankreatin enzimi, beş farklı enzimin (tripsin, amilaz, lipaz, ribonükleaz, proteaz) karışımından oluştuğu için arıtma çamurlarındaki farklı bağlara yönelik işlev görmesi ve tekil enzimlere kıyasla etkinliğinin yüksek olması beklenen bir enzim olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı pankreatin enzimi kullanarak ve enzimatik dezentegrasyonu termal dezentegrasyonla birleştirerek bu birleşik dezentegrasyon yönteminin atık aktif çamur (WAS) yumaklarını parçalamadaki etkinliğini belirlemektir. Bu amaçla Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) biyolojik çamuru, enzimatik termal birleşik dezentegrasyona tabi tutulmuş ve yöntemin etkinliği araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntemler

Biyolojik çamur örnekleri Ankara Merkezi AAT'den alınmış ve toplam katı madde konsantrasyonu (TKM) %2'ye ayarlanarak kullanılmıştır. Pankreatin enzimi Sigma Aldrich'ten (P7545) temin edilmiştir. Öncelikle çamur örneklerine 127ºC'de iki saat süreyle otoklav kullanılarak termal dezentegrasyon işlemi uygulanmıştır. Termal parçalanma sonrasında farklı dozlarda pankreatin enzimi eklenerek (100, 150 ve 200 mg/g TKM enzim dozları) çamur 100 rpm karıştırma hızında ve 38ºC'de farklı sürelerde (3, 5, 24 saat) enzime maruz bırakılmıştır. Birleşik dezentegrasyon yönteminin etkinliğinin takibi zamana bağlı alınan örneklerde uçucu askıda katı madde (UAKM) azalması ve çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (çKOİ) ve dezentegrasyon derecesi (DD) artışı ile

yapılmıştır. Kullanılan birleşik dezentegrasyon yönteminin tek başına etkinliğini belirleyebilmek için enzim kontrol ve çamur kontrol numuneleri de benzer süreçlere tabi tutulmuştur. TKM, UAKM ve çKOİ ölçümleri standart metotlara göre yapılmıştır (APHA, AWWA, WEF, 2017). UAKM düşüşü (Denklem 1) ve DD (Denklem 2) aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{UAKM Düşüşü (\%)} = \frac{(UAKM_0 - UAKM_{enzim,0}) - (UAKM_t - UAKM_{enzim,t})}{(UAKM_0 - UAKM_{enzim,0})} \times 100 \quad (1)$$

Denklemde;
UAKMt: örneği alınan çamurdaki o zamana ait UAKM, (mg/L),
UAKM0: sıfır anındaki arıtılmamış çamurdaki UAKM, (mg/L),
UAKMt, enzim: örnek alınan zamana ait enzim kontroldeki UAKM, (mg/L) ve
UAKM, enzim,0: sıfır anındaki enzim kontroldeki UAKM, (mg/L).

$$Dezentegrasyon\ Derecesi\ (DD)\ (\%) = \frac{çKO\dot{I}_t - çKO\dot{I}_0}{tKO\dot{I}_0 - çKO\dot{I}_0} * 100 \quad (2)$$

Denklemde;

çKOİt: örneği alınan çamurdaki o zamana ait çözünmüş KOİ, (mg/L),

çKOİ0: sıfır anındaki arıtılmamış çamurdaki çözünmüş KOİ, (mg/L) ve

tKOİ: çamurun toplam KOİ değeri (mg/L).

Yapılan ön çalışmalarda 24 saatin en etkin süre olduğu görülmüş, doza ilişkin çalışmalar bu süre ile yapılmıştır. Birleşik dezentegrasyon deneylerinde enzim kontrol örneği, çamur kontrol örneği ve enzim eklenmiş çamurlar eş zamanlı takip edilmiştir. Deneysel çalışmada 125 mL çamur iki tekrarlı olarak hazırlanmış ve önce termal dezentegrasyona tabi tutulmuş sonrasında ise oda sıcaklığına gelmesi beklenmiş ve enzim dozu eklenmiştir. Enzim kontrol, test edilen çamur hacmi olan 125 mL distile suya, test edilen enzim dozuna denk gelecek enzim miktarının eklenmesiyle hazırlanmış ve 38°C'de 24 saat boyunca UAKM ve çKOİ ölçümleri test örnekleri ile aynı zaman aralıklarında takip edilmiştir. Çamur kontrol ise 125 mL çamur ile hazırlanmış ve 24 saat boyunca 38°C'de UAKM ve çKOİ değerleri aynı zaman aralıklarında takip edilmiştir. UAKM düşüş ve DD hesaplarında termal dezentegrasyonun etkisini takip etmek için başlangıç anında ölçülen değerler ve termal sonrası ölçülen değer göz önünde bulundurularak düşüş yüzdesi hesaplanmıştır. Birleşik dezentegrasyonun UAKM düşüşü ve DD değeri başlangıç UAKM ve çKOİ değerinden termal ve 24 saatlik dezentegrasyondan sonra ölçülen son değerler çıkartılarak hesaplanmıştır. Net UAKM düşüş yüzdesini ve net DD hesaplamak için ise test örneklerinin UAKM düşüş yüzdesi ve DD yüzdesinden çamur kontrol örneğinin UAKM düşüş yüzdesi ve DD değeri çıkartılmıştır. Hesaplar gerekli durumlarda diğer zaman aralıkları için de benzer şekilde yapılmıştır.

Bulgular ve Sonuçlar

Farklı zaman ve enzim dozlarında birleşik yöntemin etkinliği irdelendiğinde, maksimum UAKM azalması ve çKOİ artışı (aynı zamanda DD artışı) ile optimum zaman 24 saat olarak öne çıkmıştır. Bu bulgudan sonra süreyi 24 saat olarak tutarak farklı enzim dozu denemeleri yapılmıştır. Tablo 1, 100,

150 ve 200 mg/g TKM dozlarında ve 24 saatte termal dezentegrasyon ve ardından enzimatik dezentegrasyon işleminin aynı çamura uygulanmasından sonra hesaplanan net UAKM düşüşü ve net DD değerleri (tüm enzim ve çamur kontrol değerleri bu deneylerde ortaktır ve değerleri çıkarılmıştır) sonuçlarını göstermektedir.

Table 1 Termal İşlem ve Pankreatin Enziminin 100, 150 ve 200 mg/g TKM Dozlarının Birleşik Dezentegrasyon Uygulamasında Termal İşlem Sonrası ve Zamana Karşı Net UAKM Düşüşleri ve Net DD

Doz (mg/g TKM)	UAKM				DD			
	Termal İşlem Sonrası UAKM Düşüşü (%)	24 saat			Termal İşlem Sonrası DD (%)	24 saat		
		Test Örnekleri UAKM Düşüşü (%) *	Çamur Kontrol UAKM Düşüşü (%)	Net UAKM Düşüşü (%)		Test Örnekleri DD (%)	Çamur Kontrol DD (%)	Net DD (%) **
100	22,5	43,2	5,5	37,7	16,7	24,1	3,1	21,0
150		41,3		38,3		31,1		27,9
200		45,0		39,5		33,1		30,2

* Enzim kontrol reaktörünün UAKM veya çKOİ değeri, ilgili zaman aralıklarında test numunelerinin UAKM veya çKOİ değerinden çıkarıldı.

** Çamur kontrol numunelerinin UAKM azalması veya DD değeri test numunelerinden çıkarıldı

Tablo incelendiğinde termal işlemin dezentegrasyon etkinliği hem net UAKM düşüşü hem de DD değeri ile takip edilmiş ve sırasıyla %22,5 ve %16,7 olarak kaydedilmiştir. Farklı parametrelerle ölçüldüğünde de termal işlemin dezentegrasyon etkinliğinin sonuçları paralellik göstermekte ve çamur üzerindeki parçalanma etkisini açıklamaktadır. Dozlarda net UAKM düşüşü 100, 150 ve 200 mg/g TKM dozları için sırasıyla %37,7, %38,3 ve %39,5; net DD değerleri ise %21,0, %27,9 ve %30,2 olarak gözlemlenmiştir. Net değerlere bakıldığında birleşik dezentegrasyon işleminin etkinliğinin neredeyse yarısının termal işlemden diğer yarısının ise enzimatik dezentegrasyon işleminden kaynaklandığı görülmektedir. Dozlar karşılaştırıldığında ise termal işlem sonrası artan enzim dozuna bağlı olarak dezentegrasyonun etkinliğinin arttığı, ancak 150 mg/g dozundan sonra bu artışın önemli boyutlarda olmadığı görülmektedir. Her ne kadar 200 mg/g TKM dozunun uygulanmasında hem UAKM düşüşü hem DD değerleri göz önüne alındığında en yüksek dezentegrasyon etkinliği kaydedilmiş olsa da bu artışın artacak olan enzim dozunun maliyetini haklı çıkarıp destekleyecek boyutta olmadığı görülmektedir. Bu nedenle 150 mg/g TKM enzim dozu en uygun doz olarak belirlenmiştir.

Sonuçlar doğrultusunda termal işlem sonrası 150 mg/g TKM dozunda pankreatin enzim eklenmesi ile WAS'ın yumak yapısının yaklaşık %40'ının parçalanması, termal işlemin WAS'taki güçlü hücre duvarları üzerindeki etkisi ve pankreatin enzimin beş farklı enzimden oluşan karma yapısının WAS'ın farklı polimerleri üzerinde oluşturduğu parçalama etkisi sayesinde başarılmıştır. Birleşik dezentegrasyon işleminin etkinliği daha sonraki çalışmalarda biyokimyasal metan potansiyeli (BMP) testi ile de metan üretim potensiyeli üzerindeki etkisi incelenmek üzere çalışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Arıtma Çamuru, Dezentegrasyon, Anaerobik Çürütme, UAKM Düşüşü

Teşekkür: Bu araştırma 121Y156 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından sağlanan destek ile yürütülmüştür.

Referanslar

APHA, AWWA, WEF. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.

Yang, Q., Luo, K., Li, X. ming, Wang, D. bo, Zheng, W., Zeng, G. ming, & Liu, J. jin. (2010). Enhanced efficiency of biological excess sludge hydrolysis under anaerobic digestion by additional enzymes. Bioresource Technology, 101(9), 2924–2930. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.012

Zhen, G., Lu, X., Kato, H., Zhao, Y., & Li, Y. Y. (2017). Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives. In Renewable and Sustainable Energy Reviews (Vol. 69, pp. 559–577). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.187

ENZYMATIC DISINTEGRATION OF SLUDGE USING PANCREATIN ENZYME

Elif Nurhan Güzel[1], F. Dilek Sanin[2]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye, elif.guzel@metu.edu.tr

[2]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr, 0000-0002-1376-8700

Sludge management is increasingly a primary concern around the world. Anaerobic digestion (AD) is a fundamental and well-studied process for biologically converting the energy of sludge into methane-rich biogas, which can be used as a carbon-neutral alternative to fossil fuels while also removing pathogens and reducing odors. Hydrolysis is the rate-limiting step of AD because of the sludge's complex floc structure and strong cell walls. Various disintegration strategies have been developed to accelerate the rate-limiting hydrolysis step and to improve the efficiency of AD (Zhen et al., 2017). Hydrolytic enzymes can break down polymeric molecules in multi-step processes, converting substances from recalcitrant to biodegradable states. Enzymes can also speed up the decomposition of biodegradable materials such as activated sludge, allowing for more efficient treatment. Including enzymes in the AD process might not only shorten digestion time, enhance sludge digestibility, and lower disposal costs, but it could also be easily controlled, and the end products are environmentally safe. Enzymatic sludge disintegration has been studied, and several enzymes have been reported to play a vital role in various waste treatment applications (Yang et al., 2010). Since the pancreatin enzyme consists of a mixture of five different enzymes (trypsin, amylase, lipase, ribonuclease, protease), it stands out as an enzyme that is expected to function for different bonds in sewage sludge and to have higher efficiency compared to individual enzymes.

In this study, the sludge from Ankara Central Wastewater Treatment Plant was subjected to enzymatic disintegration with pancreatin enzyme, and its effect on sludge was followed by the volatile suspended solids (VSS) reduction parameter. The sludge was examined with varying periods (3, 5, 24 hours) and enzyme doses (100, 150, 250 mg/g TS) at a temperature of 38°C. VSS reduction was followed for varying periods and doses to select the optimum point for further observation in the anaerobic digestion biochemical methane potential test to assess the effect of the enzymatic disintegration on methane production from sludge.

Keywords: Sludge, Disintegration, Anaerobic Digestion, VSS reduction

Acknowledgement: This work was supported by TUBITAK project number 121Y156.

ATIK AKTİF ÇAMURUN ALKALİ-TERMAL İŞLEMLE PARÇALANMASI VE BİYOGAZ ÜRETİMİNİN ARTIRILMASI

Oğuzhan ALTUNTAŞ[1], F. Dilek Sanin[2]

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye, oguzhan.altuntas@metu.edu.tr/ 05072697765, 0009-0001-3351-0934

[2]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr, 0000-0002-1376-8700

1.Giriş

Son zamanlarda nüfus artışına bağlı olarak atıksu arıtma tesislerinin (AAT'lerin) artması nedeniyle atıksu çamuru üretimi küresel olarak artmıştır. Bir arıtma tesisinin işletim maliyetinin yaklaşık %60'ını oluşturan çamur işleme ve bertarafı, maliyeti ve çevresel etkileri sebebiyle önem arz etmektedir. (Yin & Wang, 2019). Atıksu arıtımının bir yan ürünü olan atık aktif çamur (WAS) yüksek organik madde içermektedir. WAS bertaraf uygulamaları arasında tarımsal kullanım, düzenli depolama alanları, kompostlama, anaerobik çürütme (AD) ve yakma bulunmaktadır. Bu yöntemler içerisinden AD, WAS'ı stabilize ederken, WAS'ın hacmini %40-50 oranında azaltmasının yanında WAS'ın içerdiği yüksek organik maddeden biyogaz elde etme kapasitesi ile öne çıkmaktadır (Park vd., 2022). Ancak, çamurun karmaşık yapısı arıtma çamurlarından enerjinin AD ile verimli bir şekilde elde edilmesine engel oluşturmakta ve bu karmaşık yapı AD'nin hidrolitik süreçlerini yavaşlatmaktadır. Bu sorun hidrolik bekleme süresini artırmasının yanında biyogaz üretim verimini de düşürmektedir. AD'deki hidroliz sürecini hızlandırmak ve biyogaz üretimini artırmak için birçok çalışma AD'den önce dezentegrasyon yöntemlerinin uygulanmasını önermektedir. Fiziksel, kimyasal, termal ve biyolojik olabilen dezentegrasyon yöntemleri, organik maddeyi hidrolitik süreçler için hazır hale getirerek hız sınırlayıcı hidroliz adımını hızlandırmakta ve WAS'ın biyolojik parçalanabilirliğini artırmaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada, alkali ve termal dezentegrasyon işlemlerinin birleşik uygulanmasıyla oluşan dezentegrasyon yöntemlerinin çamur miktarının azaltılması ve çamurdan biyogaz üretimi üzerindeki etkilerine odaklanmıştır. Ayrıca, WAS'ın parçalanması için bu iki dezentegrasyon yöntemi ile en iyi birleşik yöntem kombinasyonu bulmak amaçlanmıştır.

2.Materyal & Yöntemler

Bu çalışmadaki WAS ve aşı çamuru örnekleri, Ankara'nın merkezi AAT'sinden temin edilmiştir. Kimyasal dezentegrasyon için WAS örnekleri NaOH ve KOH'dan oluşan 0,5 M'lık bir çözelti kullanılarak alkali arıtmaya tabi tutulmuştur. Kimyasalların oranı, tasarlanan laboratuvar ölçekli AD'nin inhibisyon seviyesi dikkate alınarak ayarlanmıştır. Uygulanan alkali işlem oda sıcaklığında (25°C) ve 200 rpm'de 48 saat boyunca gerçekleştirilmiştir (Hatinoglu & Sanin, 2022). Termal işlem için ise WAS numunelerine 127°C'de 120 dakika boyunca termal hidroliz uygulanmıştır (Hatinoglu & Sanin, 2022). Birleşik alkali-termal (AT) işleminin etkilerini araştırmak için, WAS numunelerine 48 saat boyunca NaOH ve KOH kimyasallarını içeren alkali işlemi takiben 120 dakika boyunca

127°C'de otoklavda termal işlem uygulanmıştır. Diğer bir birleşik işlem olan termal-alkali (TA) uygulaması için ise çamur numunelerine bu defa önce 120 dakika boyunca 127°C'de termal, ardından alkali işlem uygulanmıştır. Deneysel süreç boyunca, her bir dezentegrasyon yönteminden çıkarılan alt numunelerine dezentegrasyon etkinliğini ortaya koyan çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (çKOİ), protein ve karbonhidrat analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca uygulanan dezentegrasyon yönteminin etkinliği gösteren bir başka parametre dezentegrasyon derecesi (DD) denklem 2.1'deki gibi hesaplanmıştır.

$$Dezentegrasyon\ Derecesi(\%) = \frac{çKO\dot{I}_t - çKO\dot{I}_0}{tKO\dot{I}_0 - çKO\dot{I}_0} * 100 \qquad (2.1)$$

Bu denklemde çKOİ0 çamurun ilk andaki çKOİ değerini, çKOİt dezentegrasyon sonrasında elde edilen çKOİ değerini gösterirken tKOİ0 ise ilk andaki toplam KOİ değerini ifade etmektedir.

Birleşik dezentegrasyon yöntemlerinden kaynaklanan biyolojik parçalanabilirlikteki potansiyel artışları araştırmak için bir dizi anaerobik çürütme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, biyokimyasal metan potansiyeli (BMP) testi 35°C'de 60 gün süreyle dezentegrasyon uygulanmış ve uygulanmamış WAS kullanılarak yürütülmüştür. Üç replika olarak düzenlenen reaktörler %2 toplam katı madde (TKM) yoğunluğuna ayarlanmıştır. Aşı olarak anaerobik çamur besin-mikroorganizma (B/M) oranı 1 olacak şekilde eklenmiştir.

Reaktörlerin performans parametreleri olarak toplam katı madde TKM, uçucu katı madde (UKM), toplam askıda ve uçucu katı madde (AKM ve UAKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), çözünmüş KOİ (çKOİ), çözünmüş protein, karbonhidrat ve pH değerleri kurulum ve sonlandırma süreçlerinde ölçülmüştür. Başlangıç ve son değerler arasındaki farkın bir sonucu olarak ölçülen TKM ve UKM giderimleri yüzde olarak raporlanmıştır. Ayrıca, tüm reaktörler işletimleri boyunca biyogaz üretimi açısından izlenmiştir. Biyogaz içerikleri, termal iletkenlik dedektörlü (TCD) bir Gaz Kromatografı (Agilent Technologies, California, ABD) kullanılarak belirlenmiştir.

Reaktör setlerinin metan üretim verimi (Y) aşağıdaki Denklem 2.2'e göre hesaplamıştır.

$$Y = \frac{Deneysel\ Metan\ Üretim\ Verimi\ (mL)}{Eklenen\ UKM\ (g)} \qquad (2.2)$$

3.Bulgular & Sonuçlar

3.1.Dezentegrasyon Etkinliği

Uygulanan iki farklı birleşik dezentegrasyon yönteminden elde edilen değerler Tablo 3.1'de verilmiştir. Her iki dezentegrasyon yöntemi ile elde edilen değerlere bakıldığında başlangıç anına kıyasla her parametrede gözle görülür bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Önce alkali sonra termal dezentegrasyon uygulanmış (AT) çamurun ulaştığı DD değeri %64,8 iken, önce termal ardında alkali işlem uygulanmış birleşik yöntemde (TA) ise bu değerin %41,9 seviyelerinde kaldığı görülmektedir. Hem çözünmüş protein hem de karbonhidrat değerlerine bakıldığındaysa DD

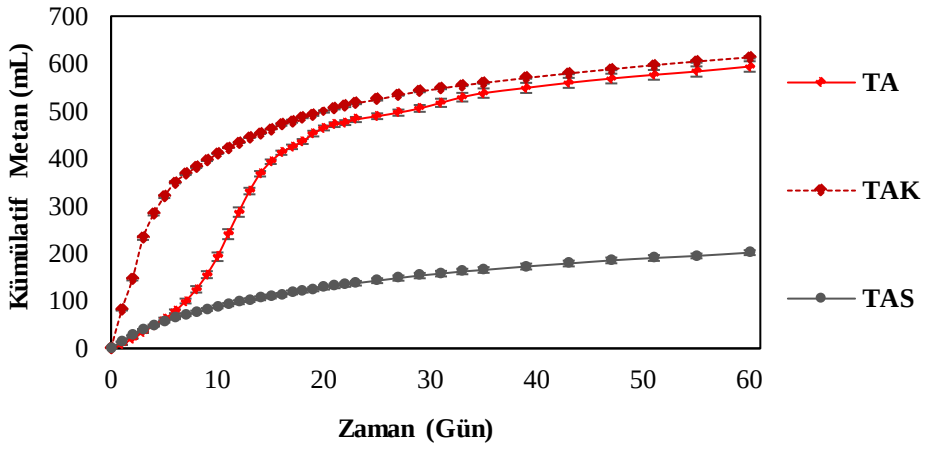
değerlerine paralel bir çözünme performansı yakalandığı görülmüş ve AT dezentegrasyon yönteminin TA dezentegrasyon yöntemine kıyasla daha etkin olduğu ortaya konmuştur.

Tablo 3.1 Dezentegrasyon Etkinliği Göstergeleri

WAS Türü	çKOİ (mg/L)	DD (%)	Çözünmüş Protein (mg/L)	Çözünmüş Karbonhidrat (mg/L)
Başlangıç Anı WAS	588,2±19,6	-	67,1±0,3	15,1±0,2
Termal-Alkali (TA) Dezentegrasyon Uygulanmış WAS	15.055,8±177,2	41,9±1,2	4.592,3±333,7	828,2±74,4
Alkali-Termal (AT) Dezentegrasyon Uygulanmış WAS	22.811,2±384,4	64,8±2,0	6.124,8±193,7	1.233±70,4

3.2.BMP Sonuçları

Dezentegrasyon etkinliğinin metan üretimi üzerindeki etkilerini araştırmak için TA dezentegrasyon yöntemi ile kurulan BMP reaktör setlerinin kümülatif metan grafiği Şekil 3.1'de verildiği gibidir. Şekilde de görüldüğü üzere, TA (dezentegrasyon uygulanmış) kodlu reaktörler başlangıçta iyon (Na+ ve K+) konsantrasyonu yüksekliği nedeni ile gecikme fazı (lag phase) yaşamış olmalarına karşın kısmi inhibisyona sebep olacak yüksekliğe ulaşmamış, 6 günün sonunda metan üretim hızları artmaya başlamıştır. Bu hızlanma şekilden de görülebileceği gibi çok yüksek olmuş, ama daha sonra yine hızla yavaşlamıştır. Reaktörlerin sonlandırıldığı 60 günün sonunda TA kodlu reaktörler (dezentegrasyon uygulanmış), TAK (dezentegrasyon uygulanmamış) kodlu reaktörlerin üretmiş oldukları kümülatif metan hacmine yaklaşmış olmasına karşın TAK setlerini geçememiştir. Reaktör sonlandırma aşamasında TAK kodlu reaktörler ortalama olarak 613 mL metan üretirken, TA kodlu reaktörlerde bu değer 593 mL'ye ulaşabilmiştir.



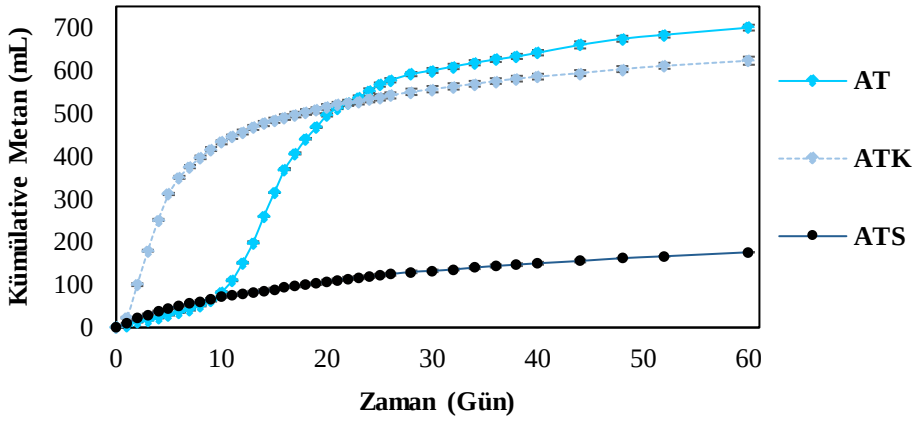
Şekil 3.1 Termal-Alkali Dezentegrasyon Yöntemi ile kurulan Mezofilik BMP Reaktör Setlerinin Kümülatif Metan Grafiği (TA dezentegrasyon uygulanmış, TAK dezentegrasyon uygulanmamış, TAS inokulum)

Tablo 3.2'de TA ve TAK reaktör setlerinin performans parametreleri verilmiştir. Metan üretiminde olduğu gibi, 60 gün sonunda TA kodlu rektörler metan üretim verimi açısından da TAK reaktör setlerinin gerisinde kalmıştır. Bunun, ilk günlerde dezentegrasyon sebebi ile gözlemlenen gecikme fazından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer parametrelere bakıldığında ise hem TKM hem de UKM giderim yüzlerinin dezentegrasyon uygulanmış rektörlerde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Uygulanan TA yönteminin giderim etkinliğini artırdığı açıkça görülmüş olmasına karşın, metan üretim verimini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

Tablo 3.2 Termal-Alkali Dezentegrasyon Yöntemi ile kurulan Mezofilik BMP Reaktör Setlerinin Performans Parametreleri

Reaktör Set	Metan Üretim Verimi (mL CH_4/g UKM)	TKM Giderimi (%)	UKM Giderimi (%)
TA	341,0	29,2±1,5	40,7±1,6
TAK	357,9	18,9±1,3	32,1±1,3
TAS	-	13,0±1,2	38,5±2,4

AT dezentegrasyon yöntemi ile kurulan reaktör setlerinin 60 gün sonundaki kümülatif metan grafiği ise Şekil 3.2'de verildiği gibidir. Bu yöntem ile kurulan reaktörlerde de başlangıçta gecikme fazı yaşanmış ve 9 günün sonunda metan üretim hızları artmaya başlamıştır. Reaktör işletim süresinde 23. gün itibariyle ise termal-alkali (TA) dezentegrasyon ile kurulan reaktörlerin aksine AT (dezentegrasyon uygulanmış) kodlu reaktörlerin tamamı ATK kodlu kontrol reaktörlerinden daha fazla kümülatif metan hacmine ulaşmışlardır. Nihai olarak 60 günün sonunda dezentegrasyon uygulanmış reaktörler, kontrol reaktörlere kıyasla ortalama olarak %10,9 daha fazla kümülatif metan üretmişlerdir. Bu durum AT yönteminin metan üretimi üzerindeki olumlu etkinliğini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 3.2 Alkali-Termal Dezentegrasyon Yöntemi ile kurulan Mezofilik BMP Reaktör Setlerinin Kümülatif Metan Grafiği (AT dezentegrasyon uygulanmış, ATK dezentegrasyon uygulanmamış, ATS inokulum)

AT, ATK ve ATS setlerine ait metan üretim verimi, TKM ve UKM giderimleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere AT yöntemiyle kurulan reaktörlerin metan üretim verimi kendi kontrollerinin %13 üzerinde kalmıştır. Bunun yanında dezentegrasyon uygulanmış rektör setinin

TKM ve UKM giderim yüzdelerinin, kontrol reaktör setinin yüzdelerine oldukça benzer olduğu görülmüştür. Elde edilen değerlere bakıldığında uygulanan AT yönteminin metan üretimini ve metan üretim verimini olumlu etkilemesine karşın giderimler üzerinde gözle görülür bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.3 Alkali-Termal Dezentegrasyon Yöntemi ile kurulan Mezofilik BMP Reaktör Setlerinin Performans Parametreleri

Reaktör Set	Metan Üretim Verimi (mL CH_4/g UKM)	TKM Giderimi (%)	UKM Giderimi (%)
AT	378,2	22,8±1,1	39,0±3,2
ATK	334,5	21,5±0,4	39,0±1,4
ATS	-	11,2±1,0	22,2±0,8

Sonuç olarak bu çalışmada alkali ve termal dezentegrasyonlarının farklı kombinasyonları incelenmiştir. TA ve AT yöntemlerinin dezentegrasyon etkinliklerinin yanında metan üretimi, TKM ve UKM giderimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. TA yönteminin dezentegrasyon etkinliği AT'ye kıyasla oldukça düşük kalmış ve bu durum metan üretimine de yansımıştır. 60 günün sonunda AT yönteminin metan üretimini %10 arttırırken TA yönteminin ise metan üretimine bir katkısı olmadığı görülmüştür. Bunun yanında TA yöntemi TKM ve UKM giderimlerini arttırırken AT yönteminin anlamlı bir katkı kazandırmadığı gözlemlenmiştir. Her AAT'nin işletimi ve ihtiyaç duyduğu arıtma performansı farklılık göstermektedir. Bu yüzden incelenmiş olan iki dezentegrasyon yönteminin etkinliklerine farklı parametreler üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak karar verilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık Aktif Çamur; Alkali Dezentegrasyon, Termal Dezentegrasyon, Anaerobik Çürütme

Teşekkür: Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 121Y156 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Referanslar

Dilara Hatinoglu, M., & Dilek Sanin, F. (2022). Fate and effects of polyethylene terephthalate (PET) microplastics during anaerobic digestion of alkaline-thermal pretreated sludge. *Waste Management*, *153*(September), 376–385. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.09.016

Park, J., Cayetano, R. D. A., Kim, G. B., Jo, Y., Kwon, Y., Lei, Z., & Kim, S. H. (2022). Sludge disintegratioand anaerobic digestion enhancement by alkaline-thermal pretreatment: Economic evaluation and microbial population analysis. Bioresource Technology, 346(October 2021), 126594. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126594

Yin, Y., & Wang, J. (2019). Enhanced Sewage Sludge Disintegration and Hydrogen Production by Ionizing Radiation Pretreatment in the Presence of Fe2+. ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 7(18), 15548–15557. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b03362

ENHANCING BIOGAS PRODUCTION BY ALKALINE-THERMAL DISINTEGRATION OF WASTE ACTIVATED SLUDGE

Oğuzhan ALTUNTAŞ[1],. F. Dilek Sanin[2]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye, oguzhan.altuntas@metu.edu.tr/ 05072697765, 0009-0001-3351-0934

[2]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800, Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr, 0000-0002-1376-8700

In recent times, the global production of wastewater sludge has surged due to population growth and increased wastewater treatment plants (WWTPs). Disposing of this sludge accounts for about 60% of a treatment plant's operating costs (Yin & Wang, 2019). Waste activated sludge (WAS), a byproduct of wastewater treatment, contains high amounts of organic material. Anaerobic digester (AD) is a method used to stabilize WAS, reduce its volume by 40-50% and obtain biogas from the high organic matter it contains (Park et al., 2022). However, the complex nature of the sludge hinders the efficient extraction of energy from sewage sludge by AD. Physical, chemical and biological disintegration techniques aim to improve the biodegradability of WAS by making the organic matter available for hydrolytic processes and accelerating the rate-limiting hydrolysis step. The present study focused on alkaline/thermal impact of disintegration methods on sludge reduction and biogas production. It aimed to find the best method and order for sludge disintegration.

In this study, waste-activated sludge (WAS) and inoculum samples were procured from the central WWTP of Ankara. For chemical disintegration, WAS samples underwent an alkaline treatment using a solution of 0.5 M, composed of NaOH and KOH. The ratio of chemicals was adjusted considering the inhibition level of the designed lab scale AD. Applied alkaline disintegration was conducted 48 hours at 25°C and 200 rpm (Hatinoglu & Sanin, 2022). In the context of thermal disintegration, the WAS samples were subjected to thermal hydrolysis at 127°C for 120 minutes (Hatinoglu & Sanin, 2022). To explore the effects of combined alkaline-thermal disintegration, the WAS samples were first exposed to the alkaline disintegration using a combination of NaOH and KOH for 48 hours, after which they were subjected to autoclaving at 127°C for 120 minutes. Subsequently, for the combined thermal-alkaline disintegration, the sludge samples were initially exposed to thermal disintegration at 127°C for 120 minutes, followed by the application of alkaline disintegration. Throughout the experimental process, subsamples extracted from each disintegration method were analyzed for soluble chemical oxygen demand (sCOD), protein, and carbohydrate. To delve into the potential enhancements in digestibility resulting from the combined disintegration methods, a series of batch AD experiments were conducted. For this purpose, biochemical methane potential (BMP) reactors were operated for a duration of 60 days at 35°C, employing pretreated and untreated WAS. The reactors, arranged in triplicate, were maintained at a total solids (TS) concentration of 2%. Adequate quantities of anaerobic sludges were introduced as seed material at a feed-to-microorganism (F/M) ratio 1. Throughout the

reactors' operational span, continuous biogas production monitoring was carried out, and at both reactor initiation and termination, the parameters were analyzed. The application of individual treatments, specifically a 0.5 M alkaline disintegration over a duration of two days and a thermal hydrolysis process executed at 127°C for 120 minutes, yielded substantial increases in the sCOD of WAS. The sCOD values observed were augmented by a factor of 22.5 and 11.9, respectively, compared to the untreated WAS. The results of BMP reactors showed that combined alkaline-thermal and combined thermal-alkaline disintegration increased the methane yield and biodegradability of WAS.

Keywords: Waste Activated Sludge; Alkaline Disintegration, Thermal Disintegration, Anaerobic Digestion

Acknowledgement: This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under Project No. 121Y156.

PLASTİK ENDÜSTRİSİNDEN KAYNAKLANAN MİKROPLASTİKLERİN MALZEME AKIŞ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Sena Uzunpınar[1], Emrah Alkay[2], İpek İmamoğlu[3]

[1]GTE Karbon Sürdürülebilir Enerji Eğitim Danışmanlık, Ankara, Türkiye,
sena.uzunpinar@gte.com.tr, 0000-0002-1304-2846,

[2]GTE Karbon Sürdürülebilir Enerji Eğitim Danışmanlık, Ankara, Türkiye
emrah.alkaya@gte.com.tr, 0000-0002-2024-625

[3]Çevre Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06800 Ankara, Türkiye
ipeki@metu.edu.tr, 0000-0001-6913-7054

ÖZET

İster mikro ister makro boyutta olsun, plastik atıklar önemli bir çevresel sorun teşkil etmektedir. Bu araştırma, plastik endüstrisinde mikroplastiklerin yarattığı çevresel etkiyi ve rekabet edebilirlik zorluklarını araştırmaktadır. Araştırma kapsamında, plastik değer zincirindeki katı düzenlemeler, döngüselliğe ve sürdürülebilirliğe geçiş süreçleri ve dolayısıyla potansiyel orta ve uzun vadeli rekabet edebilirlik zorlukları da incelenmektedir. Malzeme akış analizi (MFA) ile kaynak verimliliği ve azaltılmış çevresel etki için plastik değer zincirinde temel müdahale noktalarının belirlenmesi hedeflenmiştir. OECD, EUROSTAT ve TÜİK gibi güvenilir kaynaklardan elde edilen veriler ile bölgesel veriler MFA sırasında kullanılmıştır. Analiz, plastik ambalaj, bina ve inşaat sektörleri ile LDPE ve HDPE hammaddelerine odaklanarak hammadde alımından bertarafına kadar uzanmaktadır. Analizler, Türkiye'deki plastik atıkların %61'inin düzenli depolama alanlarına gittiğini ve %16,8'inin açıktan atıldığını ortaya koymuştur. MFA, plastik ambalaj atıklarının %59'unun, bina ve inşaat plastik atıklarının ise %58,4'ünün tesis dışında geri dönüştürüldüğünü göstermektedir. Türkiye'nin plastik atık depolama oranı (%21) OECD ülkeleriyle aynı seviyede seyrederken, ancak geri dönüşüm oranı (%12,9) AB ortalamasının (%48) çok altında kalmıştır. Tüketici ve atık toplama aşamalarında, özellikle düzenli depolama ve kontrolsüz bertaraf ile ilgili zorluklar ortaya çıkmaktadır. Yasadışı yakma ise başka bir endişe kaynağıdır.

Anahtar Kelimeler : Plastik atıklar, değer zinciri, malzeme akış analizi, mikroplastikler, döngüsellik, kaynak verimliliği

GİRİŞ

Plastik döngüselliği kavramı, dünya genelinde plastik atığın çevresel etkisinin giderek daha belirgin hale gelmesi nedeniyle büyük önem kazanmıştır. Türkiye, birçok ülke gibi plastik atık yönetimi konusunda benzersiz zorluklar ve fırsatlarla başa çıkmaktadır. Türkiye'de sanayileşme ve kentselleşmedeki artış, plastik tüketiminde büyük bir artışa yol açmıştır. Ne yazık ki, bu artış, plastik atık yönetimindeki zorluklarla birlikte gelmiştir. Şu anda, Türkiye'de plastik atıkların önemli bir kısmı depolama sahalarında veya açıkça atılarak çevresel bozulmaya ve kaynak israfına neden

olmaktadır. Plastik atık yönetiminin yanlış yapılması sadece ekosistemlere değil, aynı zamanda ülkenin döngüsel bir ekonomiye geçiş çabalarını da engellemektedir.

Durumun aciliyetini tanıyan Türkiye, giderek daha fazla döngüsel uygulamalara ve verimli atık yönetimi stratejilerine odaklanmaktadır. Hükümet, yasal düzenlemeler ve kamu farkındalık kampanyaları aracılığıyla plastik atık azaltma ve geri dönüşümü teşvik etme çabalarını başlatmıştır. Bu adımlar, plastiklerin çevresel etkisini en aza indirgemek ve geri dönüşüm endüstrisi aracılığıyla ekonomik değeri kullanmak için önemlidir.

Bu bağlamda, bu proje kapsamında, plastik değer zincirinde müdahale gerektiren odak noktalarını belirlemek ve kaynak verimliliğini ve döngüselliği sağlamak ve çevresel etkileri azaltmak için malzeme akış analizi (MFA) yapılmıştır.

METODOLOJİ

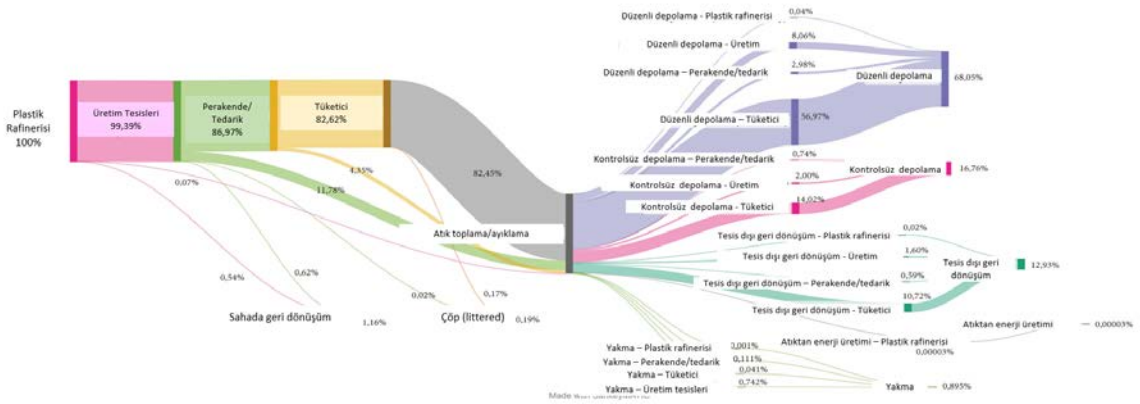
Plastiklerin tüm değer zinciri, ham madde üretimi, üretim tesisleri, perakendeciler/tedarikçiler, tüketiciler, atık toplama/ayırma tesisleri, geri dönüşüm, kontrolsüz bertaraf, düzenli depolama, yakma ve enerji geri kazanımı olarak tanımlanmıştır. Malzeme akışlarının nitel ve nicel temsili için gerekli envanter, önde gelen değer zinciri unsurlarının taraflarından elde edilen süreç akışı ve malzeme verileri (örneğin miktar) toplanarak hazırlanmıştır. Veri toplama işlemi, üreticilerin raporlarından alınan verilerin yanı sıra saha ziyaretleri, çevrimiçi görüşmeler ve OECD ile EUROSTAT web sitelerinden verilerin manuel olarak alınmasını içermiştir. Ülkeye özgü verileri tamamlamak için literatür araştırmaları yapılmıştır. Veriler, OECD ülkeleri, OECD üyesi olmayan ülkeler, Avrupa Birliği (27 ülke), Türkiye, İzmir ve firmalar/sektörler gibi gruplara ayrılmıştır ve mümkün olduğunca en güncel verilere dayanmaktadır. Veriler eksik olduğunda, özellikle atık üretimi ve bertaraf gibi oranları oluşturmak için öncelikle OECD verilerini kullanarak varsayımlar yapılmıştır. Tamamlanan veriler, veri bulunabilirliğine bağlı olarak atık üretimi, bertaraf, enerji geri kazanımı, geri dönüşüm, yakma, çevreye atılan atık, yanlış yönetilen atık ve geri dönüşüm için toplanan atık gibi değer zinciri unsurlarını içermektedir.

Türkiye'de plastik tüketimi ve bertarafını değerlendirmek için Malzeme Akış Analizi (MFA) kullanılmıştır. MFA, döngüsel ekonomi bağlamında genel işlem verimini anlamayı amaçladığı için dinamik MFA dahil olmak üzere zaman içinde stok ve akışı izlemek için de kullanılmaktadır. MFA, toplam plastikler, toplam plastik ambalajlama ve toplam bina ve inşaat plastik atığı olmak üzere üç duruma uygulanmıştır. Analiz sırasında, ham maddeden bertarafa kadar olan değer zinciri aşamalarındaki kayıplar ve atık üretimi miktarları hesaplanmıştır. LDPE ve HDPE plastik içeriğini belirlemek için, doğrudan değerlerin bulunmaması nedeniyle, her MFA için, hesaplanan OECD oranları kullanılmıştır. MFA sırasında aşağıdaki genel varsayımlar yapılmıştır: i) yakma, enerjiye dönüşüm gibi veriler, OECD verilerine dayalı olarak hesaplanmıştır, ii) ambalaj ve bina ve inşaat sektörleri için tüketici tüketimi tarafından kontrolsüz bertarafa gönderilen miktar gibi bazı eksik veriler, Türkiye'deki toplam plastik atık bileşimi üzerinden hesaplanan oranlar kullanılarak hesaplanmıştır, iii) Ambalaj ve bina ve inşaat sektörlerine yönelik "Atık toplama/ayırma", "Çöp (littered)" ve "Yerinde Geri Dönüşüm" oluşan atık miktarı hesaplamasında “toplam plastikler” senaryosunda kullanılan aynı oranlar uygulanmıştır.

SONUÇLAR

Toplam Plastikler için MFA Uygulaması

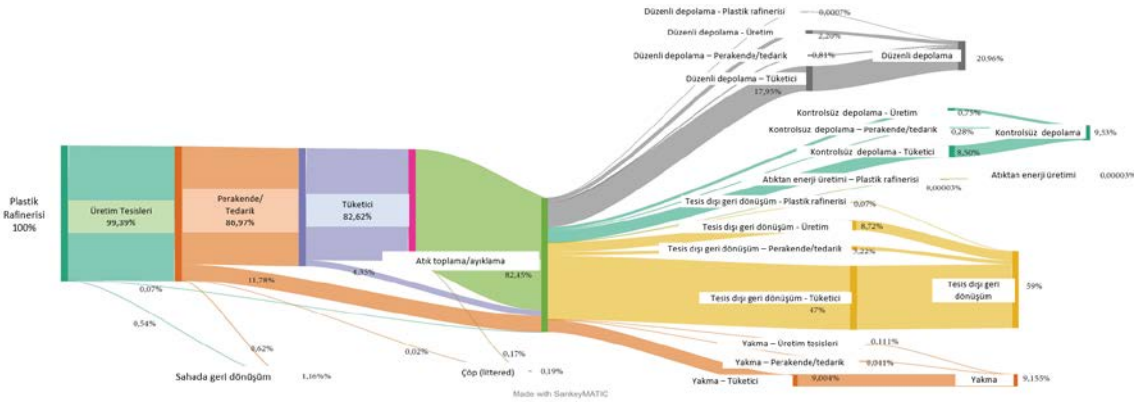
Türkiye'deki toplam plastik atık için yapılan MFA analizi, Şekil 1'de sunulmuş olup ve bu analiz sonuçları atıkların %68.1'inin düzenli depolama sahalarına iletildiğini, %16.8'inin kontrolsüz bertaraf edildiğini, %12.9'unun tesis dışında geri dönüştürüldüğünü, %1.2'sinin ise yerinde geri dönüştürüldüğünü göstermektedir. Çevreye atılan plastik atık sadece %0.2'yi oluştururken, %0.9'u yakma ile bertaraf edilmekte, enerji geri kazanımı ise minimum düzeyde gerçekleşmektedir. Tüketiciler tarafından oluşturulan atık, düzenli depolama atığının neredeyse %57'sine ve kontrolsüz bertarafın ise %14'ine katkı sağlamaktadır. Atık toplama/ayırma tesislerine gönderilen atık, plastik rafineri aşaması için sınırlıdır. Bu aşamada yerinde geri dönüşümün düşük yüzdesine rağmen, Türkiye'de oluşturulan toplam plastik atığının önemli bir bölümünü temsil etmektedir. Ancak, başlangıçta plastik kullanımını ve atık oluşumunu azaltmak için geri dönüşüm uygulamalarının, geri dönüştürülen malzemelerin kullanımının ve işlem verimliliğinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesine ihtiyaç bulunmaktadır.



Şekil 1 Türkiye'de toplam plastik atığın üretimi, kullanımı ve akıbeti

Toplam Plastik Ambalaj Atığı için MFA Uygulaması

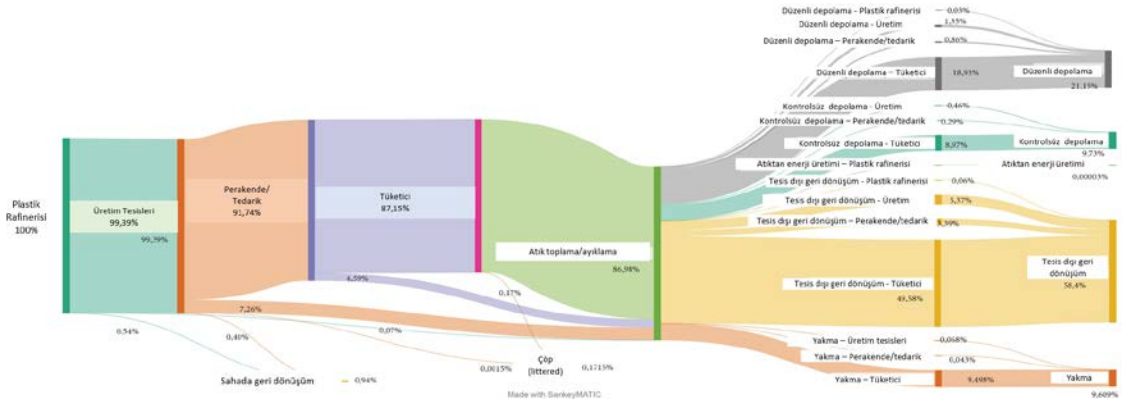
Türkiye'de toplam ambalaj atığı için malzeme akışı, toplam plastik atığınkine çok benzer bir görünüm sergilemektedir. Bulgular, Türkiye'nin toplam plastik ambalaj atığının %20,9'unun düzenli depolama sahalarında sol bulduğunu, %9,5'inin kontrolsüz bertaraf edildiğini, %59'unun tesis dışı geri dönüştürüldüğünü ve %1,16'sının yerinde geri dönüştürüldüğünü göstermektedir. Çevreye atılan plastik atık %0,2'yi oluştururken, %9,2'si yakma ile bertaraf edilmekte, enerji geri kazanımı ise minimum düzeydedir. Tüketiciler tarafından oluşturulan atık, düzenli depolama atığının neredeyse %18'ine ve kontrolsüz bertaraf edilen atığın ise %8,5'ine katkı sağlamaktadır. Yerinde geri dönüşüm, atık oluşumu ve atık toplama/ayırma tesislerine gönderilen atık oranlarının, plastik rafineri aşamasındaki toplam plastik atık için benzer olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 1 Türkiye’de toplam plastik ambalaj atığının üretimi, kullanımı ve akıbeti

Bina ve İnşaat Plastik Atığı için MFA Uygulaması

Türkiye'deki bina ve inşaat atığı için malzeme akış şeması, toplam plastik ve ambalaj atığına benzerlik göstermektedir. Ana bulgular, Türkiye'deki bina ve inşaat plastik atıklarının %21'inin düzenli depolama sahalarına iletildiğini, %9.7'sinin kontrolsüz bertaraf edildiğini, %58'inin tesis dışında geri dönüştürüldüğünü ve %0.9'unun yerinde geri dönüştürüldüğünü göstermektedir. Çevreye atılan plastik atık, toplam inşaat ve yapı atığının %0.2'sini oluştururken, %9.6'sı yakılmaktadır. Atıktan enerjiye dönüşüm önemsiz bir rol oynamaktadır. Düzenli depolama atıklarının yaklaşık %19'u tüketicilerden kaynaklanmaktadır ve tüketiciler aynı zamanda kontrolsüz bertarafa %9 oranında katkı sağlamaktadır. Perakendeci/tedarikçi aşamasında oluşturulan atıkların %7.3'ü atık toplama/ayırma tesislerine gönderilirken, tüketiciler bu tesislere %4.6 katkıda bulunmaktadır.



Şekil 2 Türkiye’de toplam bina ve inşaat plastik atığının üretimi, kullanımı ve akıbeti

DEĞERLENDİRME

Toplam plastik atık için hesaplanan depolama sahasına gönderilen plastik atık oranı (%21), OECD ülkelerinin ortalama değeri olan (%21.8) ile uyumlu bulunmuştur. Türkiye'deki toplam plastik atık için geri dönüşüm oranı %12.9 olarak hesaplanmıştır, bu değer 2022 yılı için AB ortalaması olan %48'in oldukça altındadır. AB ülkelerinde, 2020 verilerine göre toplam geri dönüştürülen plastik atığın %22.5'i plastik ambalajları içermektedir. 2018 verilerine bakıldığında, toplam geri

dönüştürülen plastik atığın %26'sının bina ve inşaat plastik atıklarını içerdiği görülmektedir. Bina ve inşaat plastik atıklarının bertaraf oranlarına dair veri eksikliği nedeniyle, bu hesaplamalar bazı varsayımlar çerçevesinde yapılmıştır.

Analizin sonucunda, her MFA grubu için, temel zorlukların tüketiciler ve atık toplama/ayırma aşamalarında yaşandığı ve düzenli depolama ve kontrolsüz bertarafa yönelik çözümlerin de geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Son olarak, yasal olmayan yakmanın, değerli kaynakları düzgün bir şekilde yönetmek için önlem alınması gereken başka bir sorun olarak tanımlanması gerekmektedir.

Teşekkür: Bu çalışma TÜBİTAK Proje No: 220N044 tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

CSB. (2021). Ambalaj Atıkları. Çevresel Göstergeler: https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ambalaj-atiklari-i-85757 adresinden alındı.

ÇSB. (2021). Ambalaj Bülteni Ambalaj ve Ambalaj Atıkları İstatistikleri (2019). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı: https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/2019ambalajbulten-20210228125844.pdf adresinden alındı

EUROSTAT. (2022). Packaging waste statistics. Eurostat Statistics Explained: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics adresinden alındı

Karasik, R. (2022). Plastic Pollution Policy Country Profile: Turkey. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions

OECD. (2021). The OECD Inventory of Circular Economy indicators.

OECD. (2022). Generation of waste by sector. OECD Stat: https://stats.oecd.org/Index.aspx# adresinden alındı

OECD. (2022). Municipal waste, Generation and Treatment. OECD Stat: https://stats.oecd.org/Index.aspx# adresinden alındı

Plastics Europe. (2022). Building & construction. Plastics Europe: https://plasticseurope.org/sustainability/sustainable-use/sustainable-building-construction/ adresinden alındı

TÜİK. (2021, December 23). Atık İstatistikleri, 2020. Türkiye İstatistik Kurumu: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198#:~:text=At%C4%B1k%20bertaraf%20ve%20geri%20kazan%C4%B1m%20tesislerinde%20i%C5%9Flenen%20127%2C4%20milyon,m3%20olarak%20tespit%20 adresinden alındı

MATERIAL FLOW ANALYSIS OF MICROPLASTICS ORIGINATING FROM PLASTIC INDUSTRY

Sena Uzunpınar[1], Emrah Alkaya[2], İpek İmamoğlu[3]

[1]GTE Karbon Sürdürülebilir Enerji Eğitim Danışmanlık, sena.uzunpinar@gte.com.tr, 0000-0002-1304-2846

[2]GTE Karbon Sürdürülebilir Enerji Eğitim Danışmanlık, emrah.alkaya@gte.com.tr, 0000-0002-2024-625

[3]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, ipeki@metu.edu.tr, 0000-0001-6913-7054

Plastic waste, whether in micro or macro size, is a serious environmental problem. In the light of the increasing environmental impacts and resource constraints facing the plastics industry, a research study is being conducted from various dimensions to examine the challenges posed by microplastics (MPs) released into the environment by the plastics industry. As part of this research, the stringent regulations, systemic shifts towards circularity and sustainability that the plastics value chain is currently experiencing, and thus the potential medium and long-term competitiveness challenges, are examined. This study presents the findings of material flow analysis (MFA) conducted to identify focal points in the plastics value chain that require intervention to ensure resource efficiency and circularity while reducing environmental impacts.

Data on material inventory, including process flows and quantities needed during MFA, were compiled from various reliable institutions such as OECD and EUROSTAT statistics and the Turkish Statistical Institute (TurkStat). Regional data is also obtained from literature and from field studies. The analysis covers losses and waste generation at all stages from raw material acquisition to production, supply, consumption, waste management, recycling, and disposal. As a result of preliminary analyses, the plastic packaging and building and construction plastic waste sectors, and LDPE and HDPE raw materials within plastic waste have come to the forefront. During the MFA study, two separate MFAs were conducted for these two prominent sectors and plastic content. Finally, a third MFA was conducted for total plastic waste across Turkey, revealing the status of the entire value chain.

The analysis results revealed that 61% of total plastic waste generated in Turkey is sent to landfills, and an additional 16.8% is openly dumped with a suspicion that the actual figures could be even higher. In total, 33% of plastic waste in Turkey is mismanaged, encompassing uncollected waste, openly dumped waste, and incineration. MFA also revealed that 59% total plastic packaging waste is recycled off-site, 21% ends up in sanitary landfills, while 9.5% is disposed of in unsanitary fashion, 9.2% is incinerated with waste-to-energy conversion playing a minor role, 1.2% is recycled on-site, 0.2% is littered plastic waste. The recycling rate for plastic packaging waste stands at 59%, a target set to increase to 65% by 2023. In terms of building and construction plastic waste, it is found that 58.4% is recycled off-site, 21.2% of total building and construction plastic waste ends up in sanitary landfills, while 9.7% is disposed of in an unsanitary fashion, 9.6%

is incinerated with minimal waste-to-energy conversion, 0.9% is recycled on-site, 0.2% is littered plastic waste.

The rate of plastic waste sent to landfill calculated for total plastic waste (21%) is found to be consistent with the average of OECD countries (21.8%). The recycling rate for total plastic waste in Turkey is calculated as 12.9%, which is well below the EU average of 48% for the year 2022. In EU countries, according to 2020 data, 22.5% of total recycled plastic waste includes plastic packaging. Looking at 2018 data, it is seen that 26% of the total recycled plastic waste includes plastic waste from buildings and construction. Due to the lack of data on building and construction plastic waste disposal rates, these calculations were made within the framework of some assumptions.

As a result of the analysis, for each MFA group, the primary challenges were found to be occurring at the consumer and waste collection/segregation stages while addressing unsanitary and sanitary disposal. Lastly, illegal incineration is identified as another issue which is crucial to prevent in order to properly manage valuable resources.

Keywords: Plastic waste, value chain, material flow analysis, microplastics, circularity, resource efficiency

Acknowledgement: This study is funded by TÜBİTAK Project No: 220N044.

TAMPONLARIN SIĞIR GÜBRESİNİ İŞLEYEN ANAEROBİK ÇÜRÜTME MİKROBİYAL ELEKTROLİZ HÜCRESİ ENTEGRASYON SİSTEMLERİ ÜZERINDEKİ ETKİSİ

Berkan Öden[1], Yasemin Dilşad Yılmazel Tokel[2]

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, Mail: berkan.oden@metu.edu.tr, Telefon: +90(312)2105865, GSM: +90(534)4031320, 0009-0005-5435-6285

[2]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, Mail: dilsad@metu.edu.tr, Telefon: +90(312)2105880, 0000-0001-9223-9681

ÖZET

Bu çalışmada, anaerobik çürütme ve mikrobiyal elektroliz hücresi (AÇ-MEH) sistemlerinde kullanılan en temel öğelerden biri olan tampon çözeltilerin bu sistemler üzerindeki etkisi iki farklı deney setinde incelenmiştir. İlk deney setinde çeşitli fosfat tuzlu solüsyon (FTS) konsantrasyonları ve ikinci deney setinde ise çeşitli karbonat tamponu (KT) konsantrasyonları, sığır gübresi substratı ile AÇ-MEH performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, 50 mM FTS içeren AÇ-MEH reaktörlerinin en yüksek akım yoğunluğunu (0,23 mA/cm^2) ürettiğini, FTS içermeyen reaktörün ise en düşük pik akım yoğunluğunu (0,04 mA/cm^2) ürettiğini göstererek FTS'nin akım üretimi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, KT reaktörleri arasında en yüksek pik akım yoğunluğu 120 mM KT reaktörü (0,18 mA/cm^2) tarafından üretilirken en düşük tepe akım yoğunluğu tampon içermeyen reaktör (0,02 mA/cm^2) tarafından üretilmiştir. Bununla birlikte, tampon içermeyen AÇ-MEH reaktörleri hem FTS hem de KT reaktörlerinde en yüksek metan verimi (sırasıyla 302,8 mL CH4/g UKM ve 364,97 mL CH_4/g UKM) ile metan ürettiler. Öte yandan, en yüksek FTS (50 mM) ve KT (120 mM) konsantrasyonları ile ayarlanan reaktörler, sırasıyla 201 mL CH4/g UKM ve 222 mL CH_4/g UKM ile en düşük metan verimine sahip olmuştur. Her iki tamponun artan konsantrasyonları AÇ-MEH reaktörlerinde metan veriminde azalmaya neden olmuştur. Dolayısıyla, FTS ve KT, AÇ-MEH sistemlerinin AÇ kısmında bir inhibisyona ve MEH kısmında ise bir artışa neden olmaktadır. Bu nedenle bir optimizasyon çalışması yapılması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Anaerobik çürütme, mikrobiyal elektroliz hücresi, tampon, sığır gübresi

Giriş

Anaerobik çürütme (AÇ) süreci yaygın bir şekilde yaklaşık %60 metan (CH_4) içeriğine sahip biyogaz üretmek için kullanılmaktadır. Proses, kanalizasyon çamuru, gıda atıkları ve hayvancılık atıkları gibi organik madde bakımından zengin çeşitli atıkları, sonunda fosil yakıtların yerini alabilecek ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenmesiyle ilişkili sorunları çözebilecek yenilenebilir metan bazlı biyoenerjiye dönüştürebilir (Zakaria vd., 2019). Bununla birlikte, uçucu yağ asidi (UYA) birikimi, uzun katı madde kalma süresi, pH değişiklikleri ve aşırı amonyak gibi belirli koşullar, geleneksel AÇ'nin giderim verimliliğini ve enerji geri kazanım performansını kolayca azaltabilir (Wang ve ark., 2021). Gelecek vaat eden bir teknoloji olan anaerobik çürütme ve mikrobiyal elektroliz hücresi (MEH) entegre sistemleri (AÇ-MEH) bu sorunların üstesinden gelebileceği iddia edilen bir sistem olarak son yıllarda sıklıkla çalışılmaya başlanmıştır. Bir AÇ-MEH'de,

mikroorganizmalar organik maddeyi kullanır ve küçük bir voltaj (0.7-1.5V) uygulayamasıyla elektrik akımı üretirken, katot bölmesinde karbon dioksit metan ve diğer indirgenmiş bileşiklere dönüşür (Shabib vd., 2022). AÇ-MEH'lerde anot tipik olarak organik bileşikleri oksitleyebilen ve elektronları elektroda aktarabilen bir mikroorganizma konsorsiyumu ile aşılanır. Anotta üretilen elektronlar daha sonra katoda aktarılır ve burada metan ve diğer indirgenmiş bileşikleri üretmek için CO_2 indirgeyen elektrokimyasal olarak aktif mikroorganizmalar tarafından kullanılır. Tamponlar, pH'ı dengelemeleri (UYA birikiminin neden olduğu düşüşe karsı) ve MEH'lerde iç direnci azaltmaları nedeniyle AÇ-MEH sistemlerinde kullanılır (Wang ve ark., 2021). Artan tampon konsantrasyonu, çözeltiden kaynaklanan iç direnci azaltarak elektron transferinin hızlanmasına ve AÇ-MEH performansının artmasına neden olur. Çeşitli çalışmalarda farklı tampon çözeltilerinin AÇ-MEH sistemlerinin performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Örneğin, Xu ve arkadaşları (2020) FTS'nin AÇ-MEH sistemleri üzerindeki etkisini araştırmış ve alkali ön arıtılmış çamur substrat ile 50 mM fosfat tuzlu solüsyon (FTS) kullanılmasının metan üretimini kontrole göre yaklaşık %40 artırdığını bulmuştur. Karbonat tamponu da (KT), AÇ-MEH sistemlerinde metan üretimini artırmak için önemli avantajlar sunabilir. KT, metanojenezi gerektiren inorganik karbon kaynaklarının kullanılabilirliğini etkileyen karbonat iyonu (HCO_3^-/CO_3^{2-}) dengesini sağlar. Optimum karbonat konsantrasyonlarında metan üreten mikroorganizmaların aktivitesi artabilir ve bu da metan üretimini artırabilir (Rossi vd., 2020). Ayrıca KT, organik maddeyi parçalarken oluşan UYA birikimi etkilerini karşılamak için bir alkalinite kaynağı olarak da kullanılabilir. Karbonatın alkalinite seviyelerini belirli bir aralıkta tutma yeteneği, metan üretiminin artışı yoluyla metanojenlerin büyümesini ve metabolik aktivitesini desteklemeye devam eder (Miller vd., 2018). Bununla birlikte, sığır gübresi substratlı AÇ-MEH sistemlerinde tampon kullanımı konusunda literatürde hala bir boşluk bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, farklı konsantrasyonlardaki KT ve FTS tamponlarının AÇ-MEH sistemlerinin performansı üzerindeki etkisi ilk kez sığır gübresi substrat ile araştırılmıştır.

Gereç ve Yöntem

Deney setlerinde kullanılan aşı kültürü Eskişehir Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne (ESKİ) bağlı bir atıksu arıtma tesisinin 35°C'de işletilen çürütücüsünden alınmıştır. Substrat olarak kullanılan sığır gübresi ise Ankara'nın Polatlı ilçesindeki bir biyogaz üretim tesisinin giriş havuzundan alınmıştır. Tek bölmeli AÇ-MEH reaktörleri 150 ml aktif hacme sahip olacak şekilde inşa edilmiştir. Anot ve katot olarak 2,5 cm yarıçap ve 2,5 cm uzunluk (29,5 cm^2 silindirik alan) boyutlarında iki karbon fiber fırça kullanılmıştır. Deneylerde farklı konsantrasyonlarda FTS ve KT iki ayrı deney setinde kullanılmıştır. Medyalarda kullanılan eser element ve vitamin solüsyonlarının içeriği ve konsantrasyonları aynı tutulmuştur. Hazırlanan FTS'lerin konsantrasyonları 10 mM, 20 mM, 35 mM ve 50 mM; KT'lerin konsantrasyonları ise 30 mM, 60 mM, 90 mM ve 120 mM'dır (Tablo 1). Bunlara ek olarak yalnızca vitamin ve eser element solüsyonu içeren bir medya daha hazırlanıp kontrol olarak kullanılmıştır. FTS ve KT ile kurulan reaktörler iki farklı sette işletilmişlerdir. Tüm reaktörler kesikli olarak 35°C'de sabit mezofilik sıcaklıkta replikalı olarak metan üretimleri %3'ün altına düşene kadar çalıştırılmışlardır. Anotlar 10 Ω'luk dirençlerle güç kaynağına bağlanmış olup 0,9 V'luk bir gerilim uygulanmıştır ve reaktörler tarafından üretilen akım verileri 10 dakikalık aralıklarla kaydedilmiştir. Harici voltaj uygulanmayan elektrotlu açık devre (AD) reaktörleri, elektrotsuz AÇ reaktörleri ve substrat içermeyen boş reaktörler de kontrol reaktörleri olarak inşa

edilmiştir. Reaktörler FTS_X_Y olarak adlandırılmıştır; burada X FTS konsantrasyonu veya KT konsantrasyonu ve Y reaktördür (AÇMEH, AD, AÇ, Kontrol).

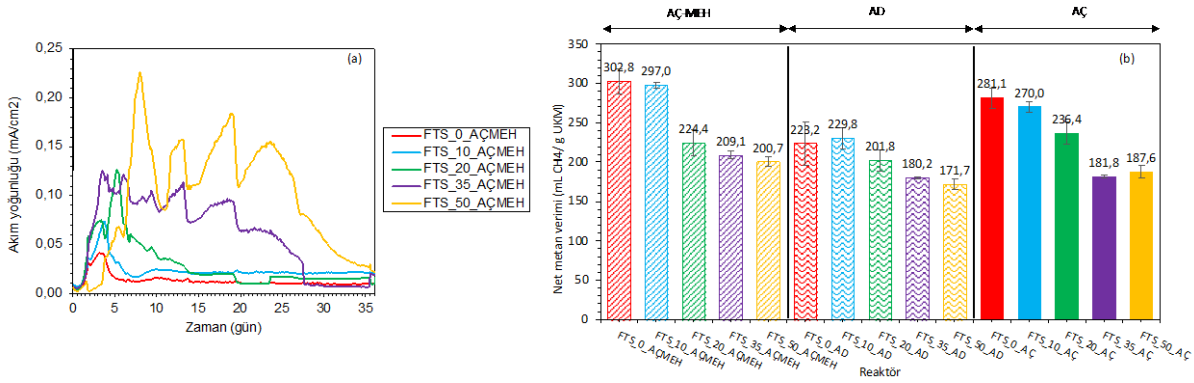
Tablo 1. FTS ve KT medyalarının içerikleri

İçerik	0 mM FTS/KT	10 mM PBS	20 mM PBS	35 mM PBS	50 mM PBS	30 mM KT	60 mM KT	90 mM KT	120 mM KT
NH_4Cl (g/L)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
KCl (g/L)	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
$NaH_2PO_4.2H_2O$ (g/L)	-	1,08	2,16	3,82	5,4	-	-	-	-
$Na_2HPO_4.2H_2O$ (g/L)	-	0,6	1,2	2,11	3	-	-	-	-
K_2CO_3 (g/L)	-	-	-	-	-	0,38	0,75	1,3	1,51
$NaHCO_3$ (g/L)	-	-	-	-	-	2,29	4,58	6,87	9,16
Eser element	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Vitamin	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Bulgular ve Tartışma

FTS ile kurulan AÇ-MEH reaktörleri 50 mM FTS ile en yüksek akım yoğunluğunu (0,23 mA/cm^2) üretirken FTS içermeyen reaktör en düşük pik akım yoğunluğunu (0,04 mA/cm^2) üreterek FTS'nin akım üretimi üzerindeki olumlu etkisini göstermiştir (Şekil 1a).

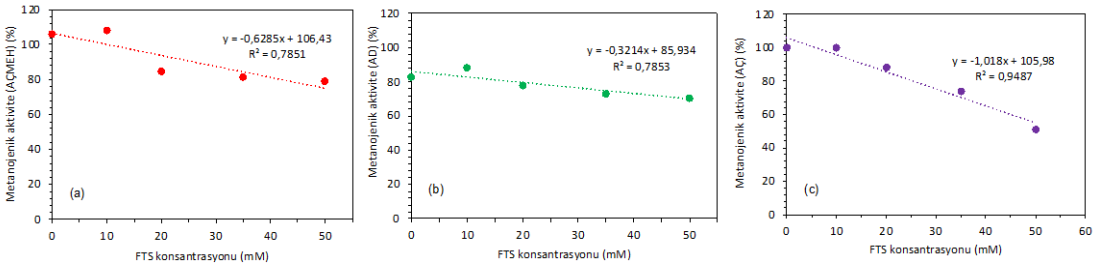
Bununla birlikte, FTS kontrol (FTS_0_AÇMEH) reaktörleri gram uçucu katı madde (UKM) başına 302,8 mL metan üretirken, 50 mM FTS ile gram UKM başına 200,7 mL metan üretilmiştir. Şekil 2b'de gösterildiği gibi, artan FTS konsantrasyonu AÇ-MEH reaktörlerinde metan veriminde azalmaya neden olmuştur. Benzer etkiler hem kontrol olarak kurulan voltaj uygulanmayan açık devre (AD) reaktörlerinde hem de AÇ reaktörlerinde gözlenmiştir. Ancak, en düşük metan verimi AD reaktörlerinde kaydedilmiştir. AD reaktörlerinin AÇ reaktörlerine kıyasla daha düşük metan verimine sahip olmasının nedeni, metan üretimi için gereken enerjinin bir kısmının AD reaktörlerinde harici voltaj takviyesi olmaksızın biyofilmin karbon fiber fırçaya bağlanması için kullanılmış olması olabilir.



Şekil 1. (a) FTS medyası ile kurulan AÇ-MEH reaktörlerinin akım yoğunlukları, (b) FTS medyası ile kurulan reaktörlerin net metan verimleri

Metanojenik aktiviteler, FTS kontrol AÇ reaktöründe %100 metanojenik aktivite olduğu varsayılarak hesaplanmıştır. Şekil 3'te gösterildiği gibi, tüm reaktör tiplerinde FTS konsantrasyonunun artırılması metanojenik aktiviteyi azaltmaktadır. AÇ reaktörlerinde korelasyon oldukça güçlüdür (R2>0,94). Ancak, AÇ-MEH ve AD reaktörlerinde AÇ reaktörlerine göre nispeten daha düşüktür (R2>0,78). FTS kullanımı hem AÇ-MEH hem de AD reaktörlerinde inhibisyon oranını düşürmektedir. AÇ reaktörleri bu reaktörlerle karşılaştırıldığında, elektrotun

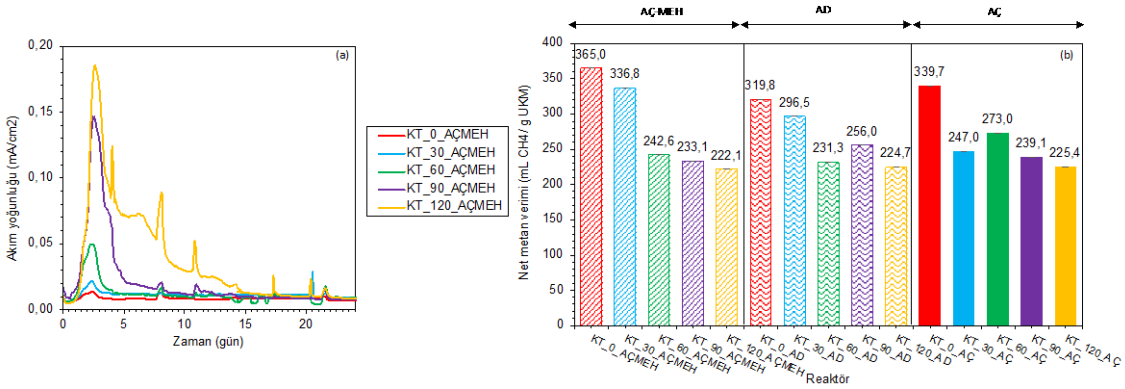
yüzey alanı ve harici voltaj uygulamasının daha yüksek FTS konsantrasyonunda mikrobiyal aktiviteyi olumlu etkilediği söylenebilir.



Şekil 2. FTS medyası ile kurulan reaktörlerin metanojenik aktiviteleri (a) AÇ-MEH reaktörleri, (b) AD reaktörleri, (c) AÇ reaktörleri

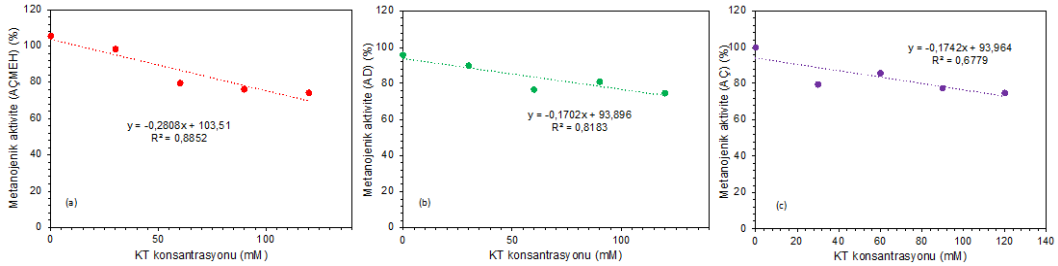
KT reaktörlerinde en yüksek akım 0,18 mA/cm^2 pik akım yoğunluğu ile 120 mM KT reaktöründe gözlemlenmiştir (Şekil 3a). KT konsantrasyonunun azalmasıyla birlikte akım yoğunlukları da azalmıştır ve en düşük pik akım yoğunluğu 0,01 mA/cm^2 ile KT kontrol reaktöründe gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre KT'nin de FTS gibi akım üretimi üzerinde pozitif yönde etkisi olduğu görülmüştür.

KT reaktörlerin metan verimlerine bakıldığında ise tüm reaktörlerin verimlerinin KT kontrol reaktörlerinin verimlerinden düşük olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 3b). Bu da KT medyası ile FTS medyasının etkilerinin bu tarz sistemler üzerinde benzer olduğu kanısına vardırmıştır. Tüm reaktörlerin verimleri 60 mM KT ile kurulan AD ve AÇ reaktörleri hariç KT konsantrasyonunun artmasıyla azalmıştır.



Şekil 3. (a) KT medyası ile kurulan AÇ-MEH reaktörlerinin akım yoğunlukları, (b) KT medyası ile kurulan reaktörlerin net metan verimleri

FTS medyasının aksine, düşük konsantrasyonlarda kullanılan KT medyalarında bile bir iyileşme olmamakla birlikte tamamında inhibisyon görünmektedir. Fakat reaktörler FTS medyası ile kıyaslandığında tüm reaktörlerin doğru eğimlerinin çok daha az olduğu, yani en düşük KT konsantrasyonuyla (30 mM) en yüksek konsantrasyonu (120 mM) arasında keskin bir fark görünmediği anlaşılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. KT medyası ile kurulan reaktörlerin metanojenik aktiviteleri (a) AÇ-MEH reaktörleri, (b) AD reaktörleri, (c) AÇ reaktörleri

FTS medyasının aksine, düşük konsantrasyonlarda kullanılan KT medyalarında bile bir iyileşme olmamakla birlikte tamamında inhibisyon görünmektedir. Fakat reaktörler FTS medyası ile kıyaslandığında tüm reaktörlerin doğru eğimlerinin çok daha az olduğu, yani en düşük KT konsantrasyonuyla (30 mM) en yüksek konsantrasyonu (120 mM) arasında keskin bir fark görünmediği anlaşılmıştır (Şekil 4).

Sonuçlar

Bu çalışmada, FTS'nin ve KT'nin sığır gübresi ile beslenen AÇ-MEH entegre sistemleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. AÇ-MEH reaktörü 50 mM FTS ile ve 120 mM KT ile en yüksek akım yoğunluklarını üretmişlerdir ancak en düşük metan verimine sahip olmuşlardır. Bu sonuçlar tampon çözelti kullanımının, AÇ-MEH sistemlerinin MEH kısmında bir artışa neden olurken, AÇ kısmında ise bir inhibisyona sebep olduğunu göstermektedir. Maksimum metan üretimi için tampon çözeltilerinin seçimi ve konsantrasyonunun optimize edilmesi çok önemlidir. Gelecekteki araştırmalar, çeşitli atık türlerine ve işletme koşullarına uygun tampon formülasyonlarını geliştirmeye odaklanmalıdır. AÇ-MEH sistemlerinin sürdürülebilirliğini garanti etmek için, tampon çözeltilerinin çevresel etkileri ve besin salınımı gibi faktörlerin incelenmesi gerekir.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik çürütme, mikrobiyal elektroliz hücresi, tampon, sığır gübresi

Teşekkür: Bu çalışma Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Destekli Araştırmalar Ofisi tarafından TEZ-YL-311-2023-11145 numaralı hibe, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Mükemmeliyet Merkezi Destekleme Programı tarafından 22AG019 numaralı hibe ve BAGEP aracılığıyla Bilim Akademisi tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça:

Xu, X.-J., Wang, W.-Q., Chen, C., Xie, P., Liu, W.-Z., Zhou, X., Wang, X.-T., Yuan, Y., Wang, A.-J., Lee, D.-J., Yuan, Y.-X., & Ren, N.-Q. (2020). The effect of PBS on methane production in combined MEC-AD system fed with alkaline pretreated sewage sludge. In Renewable Energy (Vol. 152, pp. 229–236).

Wang, X., Zhang, Y., Wang, B., Wang, S., Xing, X., Xu, X., Liu, W., Ren, N., Lee, D., & Chen, C. (2022). Enhancement of methane production from waste activated sludge using hybrid microbial electrolysis cells-anaerobic digestion (MEC-AD) process – A review. Bioresource Technology, 346, 126641.

Zakaria, B.S., Dhar, B.R., (2019). Progress towards catalyzing electro-methanogenesis in anaerobic digestion process: Fundamentals, process optimization, design and scale-up considerations. Bioresour. Technol. 289, 121738.

Rossi, R., Pant, D., & Logan, B. E. (2020). Chronoamperometry and linear sweep voltammetry reveals the adverse impact of high carbonate buffer concentrations on anode performance in microbial fuel cells. Journal of Power Sources, 476, 228715. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228715

Miller, H. M., Chaudhry, N., Conrad, M. E., Bill, M., Kopf, S. H., & Templeton, A. S. (2018). Large carbon isotope variability during methanogenesis under alkaline conditions.

Shabib, A., Abdallah, M., Shanableh, A., & Sartaj, M. (2022). Effect of substrates and voltages on the performance of bio-electrochemical anaerobic digestion. Renewable Energy, 198, 16-27. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.038

IMPACT OF BUFFERS ON ANAEROBIC DIGESTION - MICROBIAL ELECTROLYSIS CELL INTEGRATION SYSTEMS TREATING CATTLE MANURE

Berkan Öden[1], Yasemin Dilşad Yılmazel Tokel[2]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, Ankara, Türkiye, Mail: berkan.oden@metu.edu.tr, Telefon: +90(312)2105865, GSM: +90(534)4031320, 0009-0005-5435-6285

[2]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, Ankara, Türkiye, Mail: dilsad@metu.edu.tr, Telefon: +90(312)2105880, 0000-0001-9223-9681

Anaerobic digestion is a promising technology for converting organic waste, such as cattle manure, into valuable biogas and nutrient-rich digestate. Recently, an increasing interest has emerged with the aim of improving the effectiveness and durability of anaerobic digestion procedures through inventive integration strategies. Cattle manure is a significant source of organic waste that poses environmental challenges due to its high organic content and nutrient load. Anaerobic digestion offers a viable solution to these challenges by converting the organic matter in cattle manure into biogas, a renewable energy source, and digestate, a nutrient-rich fertilizer. However, the efficiency of anaerobic digestion can be limited by factors such as volatile fatty acid (VFA) accumulation, long solids residence time (SRT), pH changes, and excess ammonia (Wang et al., 2021). To address these limitations, the integration of microbial electrolysis cells (MECs), which employ electroactive microorganisms to promote CO_2 and proton production, can enhance the overall process efficiency. Microbial electrolysis cells are bioelectrochemical systems that utilize bacteria to facilitate the electrolysis of organic matter and convert it into methane and other reduced compounds while producing electrical current by applying a small voltage (0.2-0.8 V) (Zakaria and Dhar, 2019). This integration improves the degradation of complex organic molecules in organic waste and harnesses the energy stored in these compounds to produce a valuable byproduct, hydrogen. The generated hydrogen can be used as an energy carrier or further converted into methane through a process called microbial methanogenesis, thus increasing the overall energy yield of the AD system. Buffers such as phosphate-buffered saline (PBS) and carbonate buffer (CB) are used in AD-MEC systems due to balancing pH (caused by VFA accumulation) and reducing internal resistance. Increased buffer concentration decreases the resistance caused by bulk solution, resulting in accelerated electron transfer and enhanced AD-MEC performance. Xu et al., (2020) investigated the effect of PBS on AD-MEC systems and found that using 50 mM PBS with alkaline pre-treated sludge as substrate increased methane production by about 40% more than control. However, there is still a gap in buffer usage in AD-MEC systems with cattle manure substrate. In this study, various concentrations of PBS (10, 20, 35, and 50 mM) and CB (30, 60, 90, and 120 mM) were tested to assess their influence on AD-MEC performance with cattle manure substrate. Experimental results demonstrated that AD-MEC reactors with 50 mM PBS produced the highest current density (0.23 mA/cm^2) while no PBS

reactor produced the lowest peak current density (0.04 mA/cm^2) indicating a positive effect of PBS on the current generation. Similarly, among CB reactors, the highest peak current density was produced by a 120 mM CB reactor (0.18 mA/cm^2) while the lowest peak current density was produced by no buffer reactor (0.02 mA/cm^2). However, AD-MEC reactors with no buffer had the highest methane yields in both PBS and CB reactors (302.8 mL CH_4/g VS added and 364.97 mL CH_4/g VS added, respectively). On the other hand, the reactors set with the highest concentrations of PBS (50 mM) and CB (120 mM) had the lowest methane yields with 200.7 mL CH_4/g VS added and 222.15 mL CH_4/g VS added, respectively. Increased concentrations of both buffers caused a reduction in methane yield in AD-MEC reactors. Hence, PBS and CB cause an inhibition in the AD part and an enhancement in the MEC part of AD-MEC systems.

Keywords: Anaerobic digestion, microbial electrolysis cell, buffer, cattle manure

Acknowledgements: This work was supported by the Middle East Technical University (METU) Office of Sponsored Research grant number TEZ-YL-311-2023-11145, the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Supporting Excellence Centers grant number 22AG019 and the Science Academy Award through BAGEP.

SIĞIR GÜBRESİ İLE BESLENEN ANAEROBİK ÇÜRÜTÜCÜ-MİKROBİYAL ELEKTROLİZ HÜCRESİ (AÇ-MEH) SİSTEMİNDE KATOT POTANSİYELİNİN METAN VE HİDROJEN ÜRETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Feride Ece Kutlar[1], Yasemin Dilsad Yilmazel[2]

[1]Çevre Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, ece.kutlar@metu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6906-7663

[2]Çevre Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, dilsad@metu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9223-9681

Özet

Bu çalışmada anaerobik çürütme (AÇ), mikrobiyal elektroliz hücresi (MEH) ile entegre edilmiştir. Entegre AÇ-MEH sistemlerinde iki tip başlama stratejisi karşılaştırılmıştır: biyoelektrot ve bakir elektrot kullanımı. Sonuç olarak AÇ-MEH sistemlerinin -0,9 ve -0,95 V katot potansiyelinde hem metan (CH_4) üretimini hem de üretim hızını önemli ölçüde arttırdığı gösterilmiştir. Katot potansiyeli -1 V'a çıkarıldığında ise yüksek hidrojen üretimi sebebiyle inhibisyon meydana geldiği görülmüştür. Tüm sonuçlar ele alındığında, -0,95 V katot potansiyelinde AÇ-MEH sistemi konvansiyonel AÇ reaktörlerine kıyasla %105 artışa karşılık gelen en yüksek CH_4 verimini üretmiştir. -0,9 V katot potansiyelinde ise Bakir elektrot reaktörleri Biyoelektrot reaktörlerinden daha fazla CH_4 üretmiştir. Buna göre yüksek katot potansiyeli uygulandığında biyoelektrot kullanımı bir avantaj sağlamışken, düşük voltajlarda ise ön biyofilm oluşumunun bir avantajı olmadığı görülmüştür.

Giriş

Yüksek miktarda hayvan gübresi üretilmesi ile çiftçiler ve devlet kurumları sürekli olarak ekonomik ve çevresel zorluklarla karşılaşmaktadır. Aralık 2021'de Türkiye'de toplam 17,8 milyon sığır varlığı kaydedilmiştir (TÜİK, 2022). Tek bir sığır yılda yaklaşık 14,5 ton yaş gübre üretebilir ve bu da yıllık bazda yaklaşık 259 milyon tonluk bir toplu çıktıya neden olmaktadır (Atelge, 2021). Hayvansal atıkların yetersiz yönetimi, hayvan kaynaklı enfeksiyonların yayılması, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesi gibi önemli çevresel sonuçlara yol açabilmektedir (Nasir vd., 2012). Anaerobik çürütme (AÇ), biyogaz üretimi ile birlikte sığır gübresinin arıtılmasında faydalı bir proses olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, AÇ sürecinin uzun hidrolik bekletme süreleri, düşük verimlilik ve değişken performans gibi çeşitli kısıtları vardır (Zhao vd., 2021). Bu kısıtların üstesinden gelmek için AÇ-mikrobiyal elektroliz hücresi (AÇ-MEH) entegre sistemleri ile yenilikçi bir uygulama geliştirilmiştir (Zakaria ve Dhar, 2019). Bununla birlikte, AÇ-MEH sistemlerine uygun reaktör başlatma prosedürlerine ilişkin kapsamlı araştırmalar oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmada, iki farklı başlama stratejisi incelenmiştir. Birinci stratejisi, kontrollü bir ortamda operasyon öncesi biyofilm geliştirilen elektrotlarla (biyoelektrotlar) reaktörü başlamaktır. Biyoelektrotların hazırlanması için, seçilen katot/anot potansiyelleri altında, anot ve katot biyofilmleri kontrollü bir ortamda ayrı ayrı oluşturulmuştur. Önceden oluşturulmuş biyofilmlere

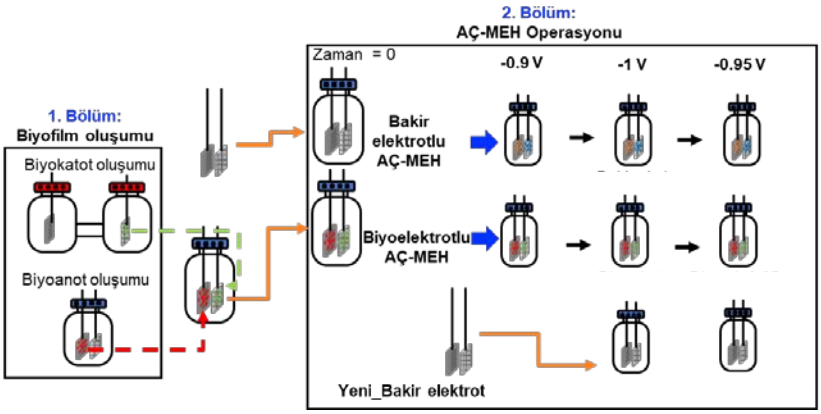
sahip biyoelektrotlar daha sonra kararlı ve tamamen yerleşik bir biyofilm oluşturulduktan sonra AÇ-MEH reaktörlerine aktarılmıştır. Diğer stateji ise bakir elektrotlarla başlamaktır (biyofilmsiz). Bu yöntem, ilkinin aksine, bakir elektrotların AÇ-MEH reaktörlerine herhangi bir biyofilm olmadan bakir halleriyle yerleştirilmesini içerir. Bununla birlikte bu çalışma, biyofilm gelişimi, stabilitesi ve metan üretimi üzerindeki etkisi açısından iki yaklaşımı bir bütün olarak değerlendirmektir.

Materyaller ve metotlar

Sığır gübresi, Ankara, Türkiye'de sığır gübresi işleyen tam ölçekli bir anaerobik çürütücünün besleme tankından toplanmıştır. Ham sığır gübresi homojenizasyon için 15 dakika boyunca karıştırılmıştır. Aşı kültürü ise, sığır gübresi beslenen laboratuvar ölçekli bir mezofilik AÇ reaktörünün çıkış suyundan toplanmıştır. Biyofilm oluşturulması ve AÇ-MEH operasyonunda 5 mM fosfat tampon çözeltisi kullanılmıştır.

Katot biyofilmi oluşturulması için toplam hacmi 300 mL olan çift bölmeli MEH reaktörleri kullanılmıştır. Bölmeleri ayırmak için proton değişim membranı kullanılmıştır. Anot biyofilmi ve AÇ-MEH operasyonu için ise tek bölmeli toplam hacmi 130 mL olan reaktörler kullanılmıştır. Anot olarak 2.5x2.5x0.3 cm ölçülerinde grafit blok kullanılmıştır. Katot olarak ise 2.5x2.5 cm ölçülerinde paslanmaz çelik elek (PÇE) kullanılmıştır. Tüm anot ve katot potansiyelleri Ag/AgCl referans elektrotları (3 M NaCl, + 0,197 V Standart H_2 elektrodu (SHE) karşısında, RE-5B, BASi, ABD) kullanılarak ölçülmüş ve V (Ag/AgCl karşısında) olarak raporlanmıştır. 3 elektrotlu bir tasarımla, sisteme istenen potansiyelleri uygulamak için potansiyostatlar (Interface 1010B, Gamry Instruments, A.B.D.) kullanılmış, anot veya katot çalışma elektrodu olarak görev yapmıştır. Anot veya katot üzerine uygulanan potansiyel, bir potansiyostat ile kronoamperometri kullanılarak ayarlanmış ve akım üretimi/alımı reaktörlerin tüm çalışma süresi boyunca izlenmiştir. Anotlar ve katotlar üzerindeki biyofilmlerin elektroaktivitesini izlemek için ise döngüsel voltametri (DV) analizleri yapılmıştır.

Reaktörler iki replika olarak 35°C'de işletilmiştir. AÇ-MEH işleminden önce elektrotlar üzerinde ön biyofilm oluşumu gerçekleştirilmiştir. Ardından, biyoelektrotlar tek bölmeli reaktörlere aktarılmıştır. Ayrıca, bakir elektrotlar kontrol olarak tek bölmeli reaktörlere yerleştirilmiştir. Konvansiyonel AÇ (Konv. AÇ), açık devre (AD) ve aşı kültürü kontrolü reaktörleri kontrol olarak kurulmuştur. Üç farklı katot potansiyeli: (1) -0,9 V, (2) -1 V ve (3) -0,95 V (Ag/AgCl karşısında) ile beslemeli kesikli olarak işletilmiştir. -1 ve -0,95 V için yeni bakir elektrotlar yerleştirilmiştir bu reaktörlere Yeni_Bakir elektrot denmiştir. Detaylı deneysel tasarım Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel tasarım

Metan ve hidrojen üretimi operasyon boyunca izlenmişlerdir. Metan üretimi hızını hesaplayabilmek için ise modifiye edilmiş Gompertz modeli kullanılmıştır (Denklem 1).

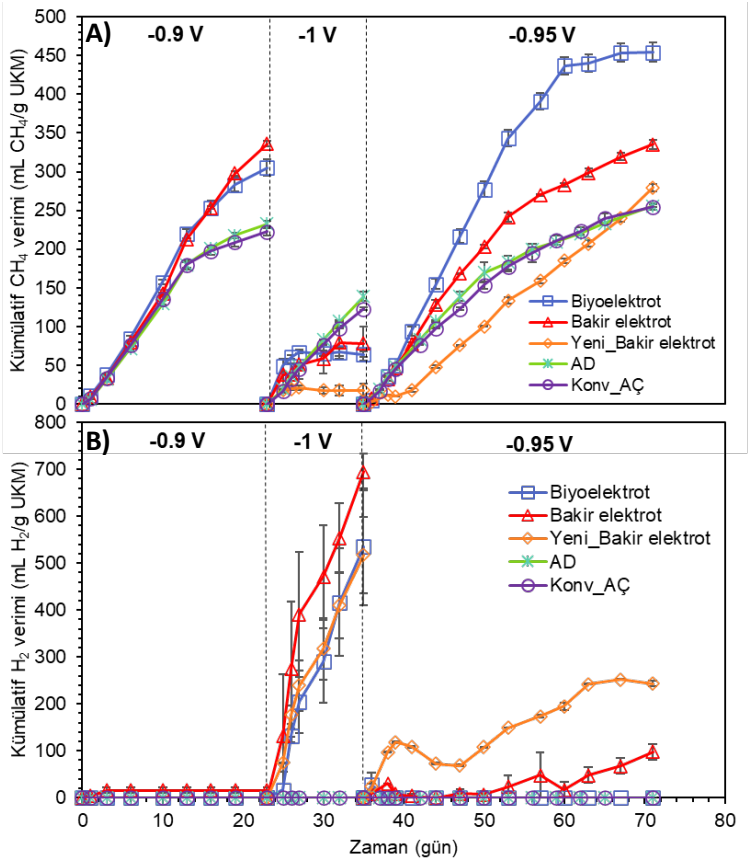
$$P = P_{\infty}.\exp\left\{-\exp\left[\frac{R_m.e}{P_{\infty}}(\lambda - t) + 1\right]\right\} \quad \text{(Denklem 1)}$$

Burada: P∞ maksimum CH_4 potansiyeli (mL/g UKM), Rm CH4 üretim hızı (mL/g UKM/gün), λ gecikme süresi (gün), e Euler sabitidir (2,718).

Bulgular ve tartışma

Katot üzerindeki biyofilm, 57 gün boyunca 4 beslemeli kesikli döngü sırasında oluşmuştur. Metan üretimindeki günlük artış %10'un altına düştüğünde yeni bir döngü başlatılmıştır. Anot biyofilmi ise eş zamanlı olarak 23 günde oluşturulmuştur. Elektro-aktif biyofilm oluşumunu izlemek için DV analizi yapılmıştır. Bakir PÇE'nin DV grafiğinde herhangi bir pik gözlenmemiştir. Biyofilm oluşturulmuş PÇE elektrodlarında ise bakir PÇE'ye kıyasla yüzeyde biyofilm oluşumuna işaret eden DV grafiğinde pikler gözlenmiştir. Elektrotlar üzerinde biyofilmi tamamlandıktan sonra biyoanot ve biyokatot alınarak tek bölmeli MEH'lere konulmuştur.

AÇ-MEH işletiminde reaktörler 3 döngü olarak çalıştırılmıştır. Döngü 1, Döngü 2 ve Döngü 3'te sırasıyla -0,9 V, -1 V ve -0,95 V katot potansiyelleri uygulanmıştır. 3 döngü boyunca CH_4 ve H_2 üretimi izlenmiştir (Şekil 2). Reaktör performanslarını karşılaştırmak için metan verimleri hesaplanmıştır. Biyoelektrot reaktörleri -0,95 V katot potansiyelinde en fazla metanı üretmiştir (454 ± 13 mL CH_4/g Uçucu katı madde (UKM)). Bu artış Konv. AÇ reaktörlerine kıyasla %105'tir. Bakir elektrot reaktörleri ise -0,9 V ve 0,95 V katot potansiyellerinde benzer miktarda metan üretmiştir, ancak üretim hızı -0,9 V katot potansiyelinde daha yüksektir. Biyoelektrot reaktörünün metan verimi -0,9 V katot potansiyelinde ise Bakir elektrota kıyasla daha düşüktür (305 ± 11 mL CH_4/g UKM). Konv. AÇ reaktörleri ile karşılaştırıldığında, metan verimi artışı Bakir elektrot ve Biyoelektrot reaktörleri için sırasıyla %51 ve %37'dir. Ayrıca, Konv. AÇ ve AD kontrolleri üç sette de benzer miktarlarda metan üretmiştir. Öte yandan, -1 V katot potansiyeli voltajı uygulanan reaktörlerde daha az metan üretimi gözlemlenmiştir. Bu nedenle, ikinci set inhibisyon nedeniyle sadece 9 gün sürmüştür. Reaktörlerin hidrojen kısmi basıncı 0,57 atm olup, bu değer inhibitör değerlerden önemli ölçüde yüksektir (Kutlar vd., 2022).



Şekil 2. AÇ-MEH operasyonu süresince kümülatif A) CH4 ve B) H2 üretimi

Kümülatif metan verimi grafikleri modifiye edilmiş Gompertz ile modellenmiştir. Sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. -1 V uygulandığında inhibisyon görüldüğü için CH_4 üretim kinetikleri tabloda verilmemiştir. Konv. AÇ ve AD reaktörlerinin benzer CH_4 üretim oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak, AÇ-MEH sistemleri üretim hızını arttırırken reaktörün gecikme süresinde bir iyileşme yaratmamıştır. En yüksek CH_4 üretim hızı, -0,95 V katot potansiyelinde Biyoelektrot için gözlemlenmiştir (24,2 mL CH_4/g UKM/gün). Bu hız Konv. AÇ reaktörlerine kıyasla %41 daha yüksektir. Öte yandan, en kısa gecikme süresi %12'lik bir düşüşle -0,95 V'ta Bakir elektrot reaktörleri için gözlemlenmiştir. 0,9 V katot potansiyeli için, Biyoelektrotun CH_4 üretim hızı Bakir elektrottan daha yüksektir. Bununla birlikte, genel CH_4 üretim potansiyeli Bakir elektrot reaktöründe daha yüksektir (Konv. AÇ'den %73 daha yüksek). Bakir elektrotlarındaki biyofilm oluşumu CH_4 üretim hızını düşürmüş ve de gecikme süresini arttırmış olabilir. Biyofilm oluşumundan sonra, -0,9 V altında Bakir elektrot reaktörleri, Biyoelektrot reaktörlerinin performansı bastırılmıştır.

Genel olarak, AÇ-MEH entegre sisteminin CH_4 üretimini arttırmanın yanı sıra üretim hızını arttırarak gecikme süresini de azalttığı görülmüştür. Biyoelektrot reaktörü -0,95 V katot potansiyelinde çalıştırıldığında maksimum performansa sahip olmuştur. Bu durum, kontrollü bir ortam altında ön biyofilm oluşumunun yüksek katot potansiyellerinde kayda değer avantajlar sağladığını göstermektedir. Katot potansiyeli daha düşük tutulduğunda ise ön biyofilm oluşturulan biyoelektrot reaktörlerinin bakir elektrotlar üzerinde bir avantajı olmadığı görülmüştür.

Tablo 1. Modifiye Gompertz modellemesine göre metan üretim kinetikleri (Parantez içindeki sayı Konv. AÇ reaktörlerine, P∞ ve Rm'deki yüzde artışı ve λ'daki azalmayı gösterir; (-) artış olmadığını gösterir.)

Voltaj	Reaktörler	P_∞	R_m	λ	R^2
0.9 V	Konv. AÇ	228 ± 5	17.2 ± 1.0	1.7 ± 0.01	0.9983
	Açık D.	245 ± 5 (7)	16.9 ± 0.5 (-)	1.9 ± 0.02 (-)	0.9982
	Bakir elektrot	394 ± 11 (73)	20.0 ± 0.3 (17)	2.6 ± 0.25 (-)	0.9983
	Biyoelektrot	330 ± 17 (45)	20.5 ± 1.0 (19)	2.0 ± 0.12 (-)	0.9988
0.95 V	Yeni_Bakir elektrot	347 ± 2 (52)	9.8 ± 0.1 (-)	5.4 ± 0.01 (-)	0.9950
	Bakir elektrot	334 ± 16 (46)	15.8 ± 0.5 (-)	1.5 ± 0.21 (12)	0.9980
	Biyoelektrot	477 ± 16 (109)	24.2 ± 1.2 (41)	2.8 ± 0.06 (-)	0.9980

Anahtar Kelimeler: anaerobik çürütme, mikrobiyal elektroliz hücresi, paslanmaz çelik elek, sığır gübresi

Teşekkür: Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Öncelikli Alanlar Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı (Proje no: 218M854) ve Bilim Akademisi tarafından BAGEP aracılığıyla desteklenmiştir.

Referanslar

Atelge, R. (2021). Türkiye'de Sığır Gübresinden Biyoyakıt Olarak Biyogaz üretiminin Potansiyeli ve 2030 ve 2053 yıllarında Karbon Emisyonlarının Azaltılmasına öngörülen etkisi. International Journal of Innovative Engineering Applications. https://doi.org/10.46460/ijiea.923792

Kutlar, F. E., Tunca, B., & Yilmazel, Y. D. (2022). Carbon-based conductive materials enhance biomethane recovery from organic wastes: A review of the impacts on anaerobic treatment. Chemosphere, 290 (September 2021), 133247. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133247

Nasir, I. M., Mohd Ghazi, T. I., & Omar, R. (2012). Anaerobic digestion technology in livestock manure treatment for biogas production: A review. Engineering in Life Sciences, 12(3), 258–269. https://doi.org/10.1002/elsc.201100150

Zhao, L., Wang, X.T., Chen, K.Y., et al. (2021). The underlying mechanism of enhanced methane production using microbial electrolysis cell assisted anaerobic digestion (MEC-AD) of proteins. Water Res. 201, 117325.

Zakaria, B. S., & Dhar, B. R. (2019). Progress towards catalyzing electro-methanogenesis in anaerobic digestion process: Fundamentals, process optimization, design and scale-up considerations. Bioresource Technology, 289(May), 121738

INVESTIGATING THE EFFECT OF CATHODE POTENTIAL ON METHANE AND HYDROGEN PRODUCTION IN ANAEROBIC DIGESTION-MICROBIAL ELECTROLYSIS CELL (AD-MEC) SYSTEM FED WITH CATTLE MANURE

Feride Ece Kutlar[1], Yasemin Dilsad Yilmazel[2]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, Ankara, Türkiye, ece.kutlar@metu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6906-7663

[2]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, Ankara, Türkiye, dilsad@metu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9223-9681

Persistent economic and environmental challenges are encountered by farmers and governmental entities due to high amounts of animal manure. In December 2021, Turkey recorded a total cattle population of 17.8 million (TUIK, 2022). Single cattle can generate approximately 14.5 tons/year of wet manure, resulting in a collective output of nearly 259 million tons on an annual basis (Atelge, 2021). Inadequate management of animal waste can result in significant environmental consequences, such as the release of animal-borne infections, and the contamination of surface and groundwater (Nasir et al., 2012). Anaerobic digestion (AD) is well recognized as a beneficial process in the treatment of cattle manure due to the production of biogas. However, the AD process has several bottlenecks, such as extended hydraulic retention times, poor efficiency, and unstable performance (Zhao et al., 2021). AD-microbial electrolysis cell (AD-MEC) has been developed to overcome these limitations (Zakaria and Dhar, 2019). However, comprehensive research on appropriate start-up procedures for AD-MEC systems remains limited. This study aims to examine the influence of biofilm formation on reactor start-ups by comparing the performance of pre-biofilm electrodes, referred to as bioelectrodes, with that of bare electrodes.

Single chamber MECs with an active volume of 65 mL were used with graphite plates as the anode and stainless-steel mesh as the cathode. Cattle manure and anaerobic digester sludge were used as feed and inoculum, respectively. All tests were conducted in duplicate at 35°C. Pre-biofilm formation on electrodes was performed before the AD-MEC operation. Then, bioelectrodes were transferred to a single-chamber reactor. Also, bare electrodes were placed in a single chamber reactor as a control. Conventional AD (Conv. AD), open circuit (OC), and blank reactors were set as controls. Three fed-batch cycles were employed with different cathode potentials: (1) -0.9 V, (2) -1 V, and (3) -0.95 V vs. Ag/AgCl.

Methane and hydrogen production were monitored during three cycles. Methane yields were calculated to compare reactor performances. The Bioelectrode reactors produced the most methane at –0.95 V cathode potential (454 ± 13 mL CH4/g VS). The increase in yield is 105% compared to Conv. AD reactors. The Bare electrode reactors produced a similar amount of methane at − 0.9 V and 0.95 V cathode potentials, but at different rates.

The methane yield of the Bioelectrode reactor (305 ± 11 mL CH_4/g VS) was lower compared to the Bare electrode at -0.9 V cathode potential. Compared to Conv. AD reactors, methane yield increased by 51% and 37% for Bare electrode and Bioelectrode, respectively. Additionally, Conv. AD and OC controls produced similar amounts of methane per cycle. On the other hand, at -1 V cathode potential voltage-applied reactors produced less methane. Thus, the second cycle lasted only 9 days due to inhibition. The hydrogen partial pressure of the reactors was 0.57 atm, which is significantly higher than inhibitory values (Kutlar et al. 2022).

The cumulative methane yield plots were fitted by the modified Gompertz model. It was observed that the Conv. AD and OC reactors had similar methane production rates. In general, the AD-MEC systems increased the rate but did not decrease the reactor start-up time. The highest methane production rate was observed for the Bioelectrode reactors at -0.95 V cathode potential (24.2 mL CH_4/g VS/d). This rate was 41% higher than Conv. AD reactors.

In general, the Bioelectrode reactor had the maximum performance when operated at a cathode potential of -0.95 V. This suggests that pre-biofilm formation in a controlled environment yields notable advantages in the presence of elevated cathode potentials.

Keywords: anaerobic digestion, microbial electrolysis cell, stainless-steel mesh, cattle manure
Acknowledgments: This work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Priority Areas R&D Projects Support Program (Grant no: 218M854) and the Science Academy through BAGEP.

YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ DESTEKLİ BİR ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ MODELİ

Berat Batuhan Kaplangı[1], Mehmet Ali Küçüker[1], Fehmi Görkem Üçtuğ[2], İstemi Berk[3], Ali İnan[4], Volkan Ş. Ediger[5]

[1]İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Gülbahçe Kampüsü, 35430, Urla, İzmir, Türkiye

[2]İzmir Ekonomi Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Sakarya Caddesi No:156, 35330, Balçova, İzmir, Türkiye

[3]Dokuz Eylül Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İngilizce İktisat Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi 35390 Buca, İzmir, Türkiye

[4]Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Balcalı Mah. Güney Kampüs 10 Sokak No:1U, Sarıçam, Adana, Türkiye

[5]Kadir Has Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Cibali Mah. Kadir Has Cad. 34083, Fatih, İstanbul, Türkiye

Doğal kaynak ve hammadde tüketimini en aza indirgemek amacıyla yeniden kullanım, geri dönüşüm ve yenilenebilir enerji kullanımını benimseyen döngüsel ekonomi (DE), doğrusal ekonomiye alternatif olarak oluşturulmuş bir ekonomi modelidir. Döngüsel ekonominin en önemli uygulamalarından biri, yeni iş fırsatları yaratma, atık bertaraf maliyetlerini azaltma ve kaynak verimliliğini artırma amacıyla üretim tesisleri arasında atık ve yan ürünlerin değişimini sağlayan endüstriyel simbiyozdur (ES). Başta AB üyesi ülkeler olmak üzere birçok ülkede başarıyla hayata geçirilmiş ve sürdürülebilirliği teşvik ederek çevresel etkiyi azaltma potansiyeli kanıtlanmış ES uygulamaları Avrupa Yeşil Mutabakatı'na (AYM) uyum aşamasında olan ülkemizin DE'ye geçişi için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma, Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi'nde (AOSB) 11 alt imalat sektöründe faaliyet gösteren 22 pilot sanayi firmasının üretim prosesleri kapsamında, hammadde, ürün ve yan ürün ile atık miktarı, su ve enerji tüketimi gibi verilerini kullanarak optimum bir ES modeli oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda ilk olarak firmaların üretim hatları, hammadde-ürün giriş çıkışları, atık oluşan noktaları ve atıkların tip ve miktarları ile enerji tüketimiyle ilgili bilgiler değer akış haritaları yardımıyla görselleştirilecektir. Daha sonra, her firmanın atık ve girdileri oluşturulan veri tabanı sayesinde dinamik olarak izlenerek firmalar arasında potansiyel ES eşleşmeleri senaryolaştırılacaktır. En sonunda da oluşturulan ES senaryoları Ecoinvent 3.0 veritabanı ve CML2001 yöntemi vasıtasıyla yaşam döngüsü analizine (YDA) tabi tutularak çevresel etkinin en aza indirgendiği ve ekonomik kazanımın maksimize edildiği optimum bir ES modeli oluşturulacaktır. Çalışma neticesinde elde edilen bulgular, YDA yardımıyla optimum ES modelinin belirlenebilmesine, Türkiye'deki Organize Sanayi Bölgelerinde (OSB) ES uygulamalarını teşvik edilmesine ve organize sanayi bölgelerinin eko-endüstriyel parka dönüştürülmesi için yürürlüğe konulması gereken ulusal stratejinin ve yol haritasının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel ekonomi, yaşam döngüsü analizi, endüstriyel simbiyoz, eko-endüstriyel park

1. GİRİŞ

Doğrusal ekonomi modelinin aksine döngüsel ekonomide amaç bir ürünün veya hizmetin kullanıldıktan sonra da değerinin korunmasını sağlamaktır. Bu durum etkili kaynak kullanımı ve "beşikten beşiğe" uygulamalarıyla döngüsellik sağlanarak elde edilebilir (Elf vd., 2022). Döngüsel ekonomi anlayışı, doğrusal ekonomi modelinin sunduğu; hammaddenin bir defa kullanıldığı ve sonunda ürünün kullanım sonucu atığa dönüşüp herhangi bir şekilde tekrar değerlendirilmediği klasik "al-yap-at" (Sariatli, 2017) odaklı üretim ve tüketim anlayışını en baştan tanımlamayı amaçlayan bir ekonomik yaklaşımdır. Döngüsel ekonomi ile kaynak verimliliği, sürdürülebilir ekonomik büyüme, çevresel koruma ve sosyal gelişme teşvik edilerek atıktan kurtulma hedeflenmektedir. Döngüsel ekonomideki temel fikir, ekonominin ve çevrenin uyum içinde değerlendirilmesi gerekliliğidir. Bu çerçevede geliştirilen "endüstriyel ekoloji", kavramı, tükenebilir ve yenilenebilir kaynaklar arasında keskin bir seçim yapmanın önemini vurgularken endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıkların bertarafı yerine tamir, tekrar kullanma, proses geliştirme gibi uygulamalarla bu atıkların başka bir süreç için değerli bir kaynağa dönüşmesini teşvik etmektedir (Elf vd., 2022).

Yunanca'da "birlikte yaşama" anlamına gelen Simbiyoz ise, iki ayrı tür organizmanın yakın ve/veya kalıcı birlikte varoluşunu tanımlayan bir terimdir (Encyclopedia Britannica, 1992). Doğal sistemler için geliştirilen simbiyoz, 20. yüzyılda endüstriyel ekoloji kavramının ortaya atılmasıyla birlikte endüstriler arasındaki etkileşimler için de benimsenerek konuyla ilgili özel bir araştırma alanını oluşturmuştur. Çeşitli endüstriler veya şirketler arasındaki simbiyotik ilişkiler, başka birinin yan ürünlerini ve atıklarını kısmen kendi ham maddeleriyle değiştirebilmesi sonucunda, tüm paydaşlar için ekonomik verimlilikte bir artış sağlar. Bu çerçevede, taraflar kaynaklarını; yenilenemez kaynakların tüketimini ve işlem gerektiren atıkların üretimini azaltmak için takas edebilirler (Zhang vd., 2015).

Ekonomik çıkarların yanı sıra, yasal düzenlemeler, uluslararası alandaki gelişmeler ve teknolojik ilerlemeler, döngüsel ekonomiye odaklanan endüstriyel simbiyozun giderek yaygınlaşmasına yol açan diğer faktörlerdir. Avrupa Birliği tarafından 2019 yılında AYM'nin benimsenmesiyle birlikte Avrupa genelinde döngüsel ekonomi ve endüstriyel simbiyoz açısından yeni bir dönem başlamıştır (Avrupa Komisyonu, 2019). AYM kapsamında Avrupa'nın 2050'ye kadar ilk iklim nötr kıta olması ve 2030'a kadar 1990 seviyelerine göre net sera gazı emisyonlarında en az %55 azalmanın sağlanması hedeflenmektedir. Bu hedeflere ulaşmak amacıyla AYM'nin en önemli unsurlarından biri olan Döngüsel Ekonomi Eylem Planı (Avrupa Komisyonu, 2020), 2021 yılında devreye alınmıştır. Bu plan kapsamında endüstride döngüsel ekonominin yaygın olarak benimsenmesi için endüstriyel simbiyozu da içine alacak şekilde "üretim süreçlerinde döngüsellik" teşvik edilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2020).

Endüstrilerin konumlandığı ve farklı tipteki firmaların aynı bölgede faaliyet gösterebildikleri alanlar olan OSB'ler söz konusu üretim süreçlerinin yoğun olduğu yerlerin başında gelmektedir. Döngüsel ekonomiye geçiş sürecinde OSB'ler, endüstriyel ekoloji kavramının ortaya çıkardığı endüstriyel simbiyoz uygulamalarının hayata geçirilmesi gereken en önemli yapıları oluşturmaktadır. Bu bağlamda "Eko-Endüstriyel Park" (EEP) kavramı geliştirilmiştir. EEP'ler, tesislerin malzeme girdi/çıktılarına dayalı oluşan birlikteliklerdir. Bu yapılar birden fazla tesis için fayda sağlayan işlevsel sinerjiler kurmayı amaçlamaktadır. Bu sinerjiler ise, endüstriyel ekoloji

prensipleri temelli kaynak ve malzeme paylaşımı, altyapı iş birliği, bilgi alışverişi veya bir firma başka bir firmanın yan ürünlerini girdi olarak kullanacak şekilde çeşitli boyutlarda gerçekleşebilir. Bu faaliyet çeşitliliği ile EEP'ler, önemli çevresel, ekonomik ve toplumsal avantajlar sunmaktadır (Perrucci vd., 2022).

Bu çalışmayla, ülkemizdeki döngüsel ekonomiye geçiş kapsamında, ulusal süreçler, faydalı modeller ve yöntemler geliştirilecek ve çevresel, ekonomik ve sosyal kazanım elde edilerek Türkiye' de EEP anlayışının yaygınlaşması sağlanacaktır. Çalışma amaçları doğrultusunda AOSB pilot bölge olarak seçilmiş ve çalışma alanları farklı 22 firmadan üretim süreçlerindeki ham madde kullanımı, enerji tüketimi ve atık oluşumuna dair veriler tesis yetkilileri ile yapılan toplantılar ve teknik ziyaretler aracılığı ile temin edilmiştir. Bu veriler, ham maddenin çıkarılması, işlenmesi, malzeme üretimi ve kullanılması süreçlerindeki çevresel etkinin değerlendirildiği Yaşam Döngüsü Analizleri (YDA) (Duru ve Koç, 2021) için kullanılmaktadır. Ayrıca, tesislerin mevcut çevresel etkileri ve potansiyel endüstriyel simbiyoz eşleşmeleri, alternatif senaryolar oluşturularak ele alınacak ve yaşam döngüsü analiz sonuçları ile karşılaştırmalar yapılarak endüstriyel simbiyoz sonucundaki kazanımlar belirlenecektir.

Çalışmanın sonuçları, AOSB' deki diğer firmalara ve sonunda Türkiye'deki tüm OSB'lere uygulanabilecek şekilde düzenlenecek ve çıktılar, ülkemizdeki OSB'lerin EEP olma hedeflerine ulaşması için bir yol haritası olarak kullanılacaktır.

2. METOT

Yaşam Döngüsü Analizi

Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), bir ürünün, hizmetin veya teknolojinin ham madde halinden bertarafına kadar olan tüm yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu çevresel etkileri değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, ISO 14040:2006 (CML-2001) tarafından belirlenen YDA çerçevesi takip edilmektedir. Bu çerçeve, hedefi ve kapsamı tanımlamayı, envanter analizi yapmayı, etki değerlendirmelerini ve ilgili yorumlamaları içermektedir (Zhang vd., 2017). CML-2001 (Centrum voor Milieukunde Leiden: CML) Hollanda Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü tarafından geliştirilmiş, çevresel etkilerin numerik hesaplanmasına dayalı bir yaşam döngüsü analiz metodudur (Gabathuler, 2006). Bu metot kullanılarak çalışma sırasında karbon ayak izi hesabının yanında ötrofikasyon, ozon tabakasının delinmesi, toksisite ve asidifikasyon şeklinde çevresel etkiler hesaplanır (Monteiro & Freire, 2012).

Fonksiyonel birim, bir sistemin analizi için YDA çalışmaları sırasında çevresel etkilerin atandığı birim olup çalışmanın kapsamını ve sınırlarını belirlemesi ve farklı sistemlerin karşılaştırılmasını sağlaması sebebiyle YDA için önemli bir role sahiptir. Fonkisyonel birim, çalışmanın kapsamına göre kütle, hacim, enerji veya ekonomik değer gibi farklı şekillerde belirlenebilmektedir (Arzoumanidis vd., 2020). Bu çalışmada fonksiyonel birim, her bir tesis için yıllık üretim miktarı (kg.ürün/yıl) olarak belirlenmiştir. Analizler tesis sınırları içerisindeki faaliyetleri dikkate almakta olup, Ecoinvent 3.0 veri tabanını kullanan CCalC-2 (CCaLC, 2011) yazılımı ile gerçekleştirilmektedir.

Veri Envanteri

AOSB'deki tesislerin üretim süreçlerinin yaşam döngüsünü değerlendirmek için, yıllık veriler tesis yetkilileri aracılığıyla elde edilerek veri tabanına kaydedilmiştir. Veri tabloları, (i) genel tesis bilgilerini (üretimin NACE kodlarını içerecek şekilde), (ii) hammadde tüketimini ve ürün/yan ürün

miktarlarını (PRODCOM kodlarıyla birlikte), (iii) işletme sırasında kullanılan makine parkurunu, (iv) üretim sırasında tüketilen kimyasalların listesini, (v) atık türlerini ve miktarlarını (Avrupa Atık Kodlarıyla birlikte), (vi) su ve enerji tüketimini ve (vii) ürünlerin kar oranını kapsamaktadır.

Endüstrilerin faaliyet alanlarının kategorize edilmesi amacıyla "Nomenclature statistique des activites economiques dans la Communaute Europeenne (NACE) sistemi kullanılmaktadır (Patricio vd., 2022). Ekonomik faaliyetlere dayalı olarak üretim, istihdam, milli gelir ve diğer istatistiksel alanlara dayalı çeşitli bilgilerin kaydedilmesi ve sunulması için bir yapı sunan NACE'den elde edilen veriler genellikle Avrupa düzeyinde ve çoğu durumda küresel düzeyde karşılaştırılabilir yapıdadır (Eurostat/EC, 2018).

Ürünler PRODCOM sistemiyle sınıflandırılır (data.europa.eu, 2023). Komite tarafından her yıl yenilenen PRODCOM kodlaması ilk 6 hanesi NACE tarafından tanımlanan faaliyetlerle ilişkili CPA kodlarıyla uyumlu olan 8 haneli bir kod kullanılarak gerçekleştirilmektedir. NACE faaliyetlerine olan bu bağlantı, CPA'ya tüm seviyelerde NACE ile paralel bir yapı oluşturmasına imkân sağlar (Eurostat/EC,2023).

Tesis eşleştirmesi amacıyla endüstriyel simbiyoz senaryolarının belirlenmesi sırasında kullanılan Avrupa Atık Kodu ise, 2000/532/EC2 sayılı Avrupa Komisyonu Kararı ile tanımlanmış atıkların kategorize edilmesine yarayan bir kod sistemidir. Atık kodları, öncelikli olarak endüstrilere göre düzenlenen ve 1 ile 20 arasında değişen bir kodla tanımlanan ana bölümlerden oluşur. Daha sonra takip eden 4 basamak kullanılarak atık tanımlamaları detaylandırılır ve böylece her atık altı haneli bir koda sahip olmuş olur. Tehlikeli kabul edilen atıkların kodlarının sonunda bir yıldız işareti bulunur.

Ürün, yan ürün ve atık miktarlarına ek olarak, makine parkuru ile enerji, su ve malzeme tüketimi hakkındaki bilgiler firmalardan temin edilerek verilere uygun olarak süreçlerin görselleştirilmesi başlatıldı. Tesis süreçlerinin detaylı görselleştirmesini elde etmek için, çok katmanlı akış haritalama tekniği (Holgado vd., 2018) kullanılmaktadır. Katmanlı akış haritası tekniği, üretim sisteminin her adımında katma değeri olan/olmayan faaliyetleri belirlemek için kullanılan bir değer akış haritalamasıdır. Bu görsellerin kullanımıyla, zaman, enerji, su veya hammadde gibi tüm kayıplar belirlenebilmekte ve endüstriyel simbiyoz çalışmaları ile alakalı potansiyel iyileştirme önlemleri vurgulanabilmektedir (Holgado vd., 2018).

Endüstriyel Simbiyoz Senaryoları ve Karar Süreci

Endüstriyel Simbiyoz kapsamında potansiyel ortaklıkları tespit etmek için Yeni Süreç Keşfi, İlişki Taklit Etme, Süreç/Hizmet Paylaşımı ve Girdi-Çıktı Eşlemesi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en sık kullanılanı üretim sırasındaki malzeme giriş ve çıktı akışlarının özellikleri incelenerek potansiyel eşleşmelerin belirlendiği Girdi-Çıktı Eşlemesidir (Patricio vd., 2022). Çalışmada, tesisler faaliyetlerine göre, ürünler, yan ürünler ve atıklar da kodlarına göre gruplandırılacak ve potansiyel eşleşmeler belirlenecektir.

Başlangıçta, tüm tesislerin YDA çalışmaları, belirlenen fonksiyonel birim ve sistem sınırları içinde tamamlanacaktır. Ardından, potansiyel endüstriyel simbiyoz fırsatları, potansiyel eşleşmelerin belirlenmesiyle tespit edilecektir. Daha sonra, potansiyel simbiyoz eşleşmelerini içeren senaryolar için YDA çalışmaları tekrarlanacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırmaların ardından, çevresel ve ekonomik açıdan en uygun senaryolara karar verilecektir.

Endüstriyel simbiyoz senaryolarının çevresel ve ekonomik değerlendirmelerinin yanında sosyal faktörlere daha az dikkat edilmektedir. Aslında endüstriyel simbiyozun başarılı uygulaması ham madde ve atık eşleşmesine ek olarak firma yöneticileri, komşu paydaşlar, OSB (potansiyel eko-endüstriyel park) yöneticileri, tedarikçiler ve yerel yönetim gibi farklı paydaşlar arasındaki iş birliğine de dayanmaktadır (Song et al., 2018). Dolayısıyla karar verilen senaryolar, işbu iş birliklerinin başarısı kapsamında, Sosyal Ağ Analizi yöntemi ile değerlendirilecektir. Bu yöntem, organizasyonlar arası ilişkileri matematiksel modeller kullanarak görselleştirmek ve analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır (Tabassum et al., 2018). Endüstriyel simbiyoz senaryoları, tesisler arasındaki doğrudan bağlantı sayısı, tesislerin birbirlerinin üretim süreçlerini etkilemesi, simbiyozun yoğunlaştığı noktalar gibi parametreler modellenerek yorumlanacaktır (Song et al., 2018).

3. TARTIŞMA

Endüstriyel simbiyozun henüz yaygın olarak kullanılmamasının başlıca nedenleri, konuyla ilgili oturmuş bir yasal çerçevenin olmaması, tesislerde gerekli teknolojilerin eksikliği, olası simbiyoz senaryolarında ek ekipmana ihtiyaç duyulması ve yapısal olarak düzenlenmiş sanayi bölgelerinin simbiyoz için uygun türde tesislerden oluşmamasıdır (Neves vd., 2019). Fakat sanayi ekosistemleri içindeki çeşitlilik endüstriyel simbiyoz fırsatlarını artırarak kaynakların yeniden kullanımına zemin hazırlar ve üretimi artırma potansiyelini yükseltir (Jensen, 2016). Endüstriyel simbiyoz oluşturmak adına tesislerdeki üretim süreçlerinin belirli bir standartta olması, bu standartla ilgili verilerin oluşması ve bu verilerin, tesislerin içinde bulunduğu sanayi bölgesindeki tek bir merkezde toplanması durumunda; tesislerin girdi ve çıktıların eşleştirilmesi, yalnızca firmaların üretim süreçlerine dair verilerini paylaşma istekliliği ve becerisine güvenmek yerine; ilgili sektör özelindeki standart proses akış özelliklerine ve teknolojik gelişmelere dayalı olabilir (Patricio vd., 2022). Bu da bir EEP için endüstriyel simbiyoz modelinin oluşturulması kapsamında bir standardın oluşmasını sağlar.

Bu çerçevede, çalışmanın en önemli hedeflerinden biri endüstriyel simbiyoz faaliyetleri için bir yol haritası oluşturarak AOSB gibi endüstriyel bölgelerin ekolojik endüstriyel parklara dönüşümüne katkıda bulunmaktır. Bu bağlamda, AOSB bünyesinde İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlik ile ilgili konuları izlemek ve yönetmek için bir birim kurulması ve TSE Yeşil OSB Sertifikasyon Sistemi doğrultusunda en az bir yetkin personel istihdam edilmesi son derece önemlidir (TSE, 2023). AOSB içinde ham madde-atık değişimlerini takip etmek, atık taşıma ve ön işleme lisansları üzerinde yetkiye sahip olmak ve endüstriyel simbiyozun işleyişi için veri toplama ve verileri işleme bu birimin faaliyet alanları içinde olmalıdır.

4. SONUÇ

Girdi-Çıktı Eşleme araçları, aynı endüstriyel parkta veya belirli bir bölgede bulunan firmalar arasında bağlantılar kurmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın faydalı olduğu kanıtlanmış olsa da varsayımsal senaryolara odaklanması sebebiyle dezavantaja sahiptir. Ayrıca, birbirlerinden farklı endüstrilerde malzeme, enerji, su ve yan ürünler için olası eşleşmeler kapsamında standart bir dilin oluşturulması gerektiğinden yazılım destekli araçlar için zorluk oluşturmaktadır (Holgado vd., 2018). Bu zorluk, simbiyotik eşleştirme süreçlerine uluslararası kodlama sistemleri uygulanarak belirli ölçülerde aşılabilmektedir.

Veri eksikliği de sorun yaratmaktadır. Bu gibi durumlarda, görsel akış haritalarının hazırlanması ve onların tesis ziyaretleri sırasında doğrulanmasıyla, endüstriyel simbiyoz senaryolarının belirlenmesi sürecindeki belirsizlikler ortadan kaldırılabilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 1005 tarafından tarafından 122M210 numaralı ve "Avrupa Yeşil Mutabakatı Çerçevesinde Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi'nin Eko-Endüstriye Parka Dönüştürülmesi Amacıyla Döngüsel Ekonomi ve Endüstriyel Simbiyozun Geliştirilmesi" başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK'a vermiş olduğu finansal destekten dolayı teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

Arzoumanidis, I., D'Eusanio, M., Raggi, A., & Petti, L. (2020). Functional Unit Definition Criteria in Life Cycle Assessment and Social Life Cycle Assessment: A Discussion (pp. 1–10). https://doi.org/10.1007/978-3-030-01508-4_1

CCaLC (2011). CCaLC database and software tool. www.ccalc.org.uk.

data.europa.eu -. (2023, February 27). The official portal for European data.

Duru, M.O ve Koç, İ. (2021). Sürdürülebilir Yapı Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) Hesaplamalarının Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ile Entegrasyonuna Yönelik Bir Araştırma. STAR-Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi, 2(3), 107-121.

Elf, P., Werner, A., & Black, S. (2022). Advancing the circular economy through dynamic capabilities and extended customer engagement: Insights from small sustainable fashion enterprises in the UK. Business Strategy and the Environment, 31(6), 2682–2699. https://doi.org/10.1002/bse.2999

European Commision. (n.d.). A European Green Deal Striving to be the first climate-neutral continent.

EUROPEAN COMMISSION. (2020). CIRCULAR ECONOMY ACTION PLAN .

EUROSTAT / EUROPEAN COMMISION. (2023) Glossary:Statistical classification of products by activity (CPA)

EUROSTAT / EUROPEAN COMMISION. (2018). NACE Rev. 2 Statistical classification of economic activities in the European Community.

Gabathuler, H. (2006). The CML Story: How Environmental Sciences Entered the Debate on LCA. The International Journal of Life Cycle Assessment, 11(S1), 127–132. https://doi.org/10.1065/lca2006.04.021

Holgado, M., Benedetti, M., Evans, S., Baptista, A. J., & Lourenço, E. J. (2018). Industrial Symbiosis Implementation by Leveraging on Process Efficiency Methodologies. Procedia CIRP, 69, 872–877. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.078

Jensen, P. D. (2016). The role of geospatial industrial diversity in the facilitation of regional industrial symbiosis. Resources, Conservation and Recycling, 107, 92–103. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.018

Mohan, M. (2018). Perovskite Photovoltaics. In Perovskite Photovoltaics (pp. 447–480). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812915-9.00014-9

Monteiro, H., & Freire, F. (2012). Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods. Energy and Buildings, 47, 572–583. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.032

Neves, A., Godina, R., G. Azevedo, S., Pimentel, C., & C.O. Matias, J. (2019). The Potential of Industrial Symbiosis: Case Analysis and Main Drivers and Barriers to Its Implementation. Sustainability, 11(24), 7095. https://doi.org/10.3390/su11247095

Patricio, J., Kalmykova, Y., Rosado, L., Cohen, J., Westin, A., & Gil, J. (2022). Method for identifying industrial symbiosis opportunities. Resources, Conservation and Recycling, 185, 106437. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106437

Perrucci, D. V., Aktaş, C. B., Sorentino, J., Akanbi, H., & Curabba, J. (2022). A review of international eco-industrial parks for implementation success in the United States. City and Environment Interactions, 16, 100086. https://doi.org/10.1016/j.cacint.2022.100086

Sariatli, F. (2017). Linear Economy Versus Circular Economy: A Comparative and Analyzer Study for Optimization of Economy for Sustainability. Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development, 6(1), 31–34. https://doi.org/10.1515/vjbsd-2017-0005

Song, X., Geng, Y., Dong, H., & Chen, W. (2018). Social network analysis on industrial symbiosis: A case of Gujiao eco-industrial park. Journal of Cleaner Production, 193, 414–423. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.058

Tabassum, S., Pereira, F. S. F., Fernandes, S., & Gama, J. (2018). Social network analysis: An overview. WIREs Data Mining and Knowledge Discovery, 8(5). https://doi.org/10.1002/widm.1256

TSE. (2023). Yeşil OSB Belgelendirme

Zhang, Y., Duan, S., Li, J., Shao, S., Wang, W., & Zhang, S. (2017). Life cycle assessment of industrial symbiosis in Songmudao chemical industrial park, Dalian, China. Journal of Cleaner Production, 158, 192–199. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.119

Zhang, Y., Zheng, H., Chen, B., Su, M., & Liu, G. (2015). A review of industrial symbiosis research: theory and methodology. Frontiers of Earth Science, 9(1), 91–104. https://doi.org/10.1007/s11707-014-0445-8

AN INDUSTRIAL SYMBIOSIS MODEL SUPPORTED BY LIFE CYCLE ASSESSMENT

Berat Batuhan Kaplangı[1], Mehmet Ali Küçüker[1], Fehmi Görkem Üçtuğ[2], İstemi Berk[3], Ali İnan[4], Volkan Ş. Ediger[5]

[1]İzmir Institute of Technology, Department of Environmental Engineering, Gülbahçe Campus, 35430, Urla, İzmir, Türkiye

[2]İzmir Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, Gülbahçe Campus, Sakarya Caddesi No:156, 35330, Balçova, İzmir, Türkiye

[3]Dokuz Eylul University, Faculty of Business Administration, Department of Economics in English, Tınaztepe Campus 35390 Buca, İzmir, Türkiye

[4]Alparslan Turkeş Alpaslan Science and Technology University, Department of Computer Engineering, , Sarıçam, Adana, Türkiye

[5]Kadir Has University, Energy Systems Engineering, 34083, Fatih, İstanbul, Türkiye

Emphasizing the reuse, recycling, and use of renewable energy to minimize natural resources and raw material consumption, the circular economy is an alternative model to the linear economy. Industrial symbiosis (IS) is one of the most significant applications of the circular economy, promoting the exchange of waste and by-products among production facilities to create new business opportunities, reduce waste disposal costs, and enhance resource efficiency. IS practices have successfully been implemented in many countries, especially among EU member states, and demonstrated the remarkable potential to reduce environmental impact as well as promote sustainability. Applying these practices holds significant importance for our transition towards a circular economy as a nation, that aligns with the European Green Deal. This study aims to develop an optimal model for IS through the analysis of data obtained from 22 industrial firms operating in 11 sub-manufacturing sectors within the Adana Hacı Sabancı Organized Industrial Zone (AOSB). The data includes information on raw materials, product and by-product types and quantities, waste generation, water, and energy consumption. Within this framework, firstly, the production lines of the firms, the inflow and outflow of raw materials and products, points of waste generation, as well as the type and quantity of generated waste and energy consumption-related data will be visualized usingvisual stream mapping techniques. Subsequently, the waste and inputs of each firm will be dynamically monitored through a database, and potential IS matches among the firms will be scenario-planned. Ultimately, the generated IS scenarios will be subjected to a comprehensive Life Cycle Analysis (LCA) via Ecoinvent 3.0 database and CML2001 method in order to establish an optimal IS model that minimizes environmental impact while maximizing economic gains. The findings of this study will contribute to the determination of an ideal IS model through LCA, the promotion of IS applications within industrial zones in Türkiye, and the formulation of a national strategy and roadmap to be implemented for the transformation of organized industrial zones into eco-industrial parks.

Keywords: Circular economy, life cycle assessment, industrial symbiosis, eco-industrial park

ARDAHAN İL MERKEZİNDE KATI ATIK TOPLAMA VE TAŞIMA OPTİMİZASYONU

Mustafa AKGÜN

Ardahan Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Merkez, Ardahan, mustafa.akgun@ardahan.edu.tr, 0000-0002-7172-1855

Literatür Araştırması

Bu çalışmada; Ardahan kent merkezindeki katı atık verilerinin kullanılarak atıkların toplanması ve taşınması için bir plan belirlenmesi amaçlanmıştır. Endüstri ve teknoloji alanında meydana gelen hızlı gelişmelerle birlikte üretimin artması atık miktarının da artmasına neden olmuştur. Bu artış doğal dengenin giderek bozulmasına ve tüm canlıları tehdit edecek boyutlara varan hava, su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Artan nüfus, çarpık kentleşme ve sanayileşme sonucunda ortaya çıkan katı atıkların miktarı ve çeşidi de artmaktadır. Bu artış toplama ve taşıma araçlarına ait yatırım, işletme ve bakım giderleri ile işçilik giderlerindeki artışı da beraberinde getirmiştir.

Belediyelerin en önemli görevlerinden biri olan katı atık toplama ve uzaklaştırma işlemi belediyeler için önemli bir sorundur. En uygun toplama, taşıma ve uzaklaştırma sistemini seçmek ve kurmak oldukça zahmetli ve titiz bir çalışma gerektirir. Katı atıklar konusunda halka yönelik eğitime ağırlık verilmesi de önemli diğer bir konudur. Şehir atıklarının düzenli toplanması, uygun depo alanının bulunması ve buralara düzenli depolama yapılabilmesi ancak iyi bir ön çalışma ve denetimle mümkündür. 2017 yılı verilerine göre hazırlanmış olan Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Envanteri Değerlendirme Raporu'na (Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019) göre atıkların öncelikli sorun olduğu iller arasında Ardahan ili ilk sıralarda yer almaktadır. Ardahan belediyesinin ilgili birimi ile yapılan çalışmalar sonucunda kentte katı atıkların toplanması ve taşınmasında verimin düşük, maliyetin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Yöntem

Verilerin Toplanması

Ardahan belediyesi temizlik işleri müdürlüğü ile yapılan yüz yüze görüşme sonucunda şehir merkezinden günlük olarak toplanan katı atık miktarı, çöp konteynırlarının sayısı, katı atıkların toplanması için kullanılan araçların tipi, sayısı, kapasiteleri ve katı atıkların toplanma sıklığı verileri elde edilmiştir.

Verilerin Analizi

Katı atıkların bir plan doğrultusunda toplanması işleminde, her bir çöp konteynırının yerinin belirlenmesi için;

- Toplam çöp konteynırı sayısı
- Toplama sıklığı
- Mahallelerdeki nüfus yoğunluğu
- Tahmini toplanacak katı atık miktarı parametreleri kullanılmıştır.

Çöp konteynırlarının mevcut yerleri haritaya işlenmiş ve mahallelerdeki kişi sayısı, mahallelerdeki ana cadde ve sokakların durumu göz önünde bulundurularak yeniden konumlandırılmıştır. Böylece çöp kamyonlarının çöp konteynırlarına daha kısa mesafe kat ederek ulaşması sağlanmıştır.

Bulgular

Ardahan belediyesinden alınan veriler doğrultusunda Ardahan kent merkezi için günlük 55 ila 60 ton (evsel, hayvan gübresi ve bahçe atıkları) atık toplandığı, tıbbi atıkların bertarafının özel bir firmaya ihale edildiği, katı atıkların toplanması için 600 adet konteynır ve 450 adet diret tipi çöp kutusu kullanıldığı ve bu atıkların taşınması için 7 adet (2 adet 10 tonluk ve 5 adet 5 tonluk) çöp kamyonu kullanıldığı tespit edilmiştir. Çöp kamyonları günde 3 sefer (2 sefer gündüz ve 1 sefer gece) çöp depolama alanına gidip gelmektedir. Mevcut çöp depolama alanının merkeze uzaklığı 6 km'dir.

Ardahan belediyesi toplama ve taşıma sisteminde personel ve araç sayısının yeterli olmasına rağmen belirli bir model belirlenmemiş, kent planı üzerinde yapılan günlük sevkiyatla toplama ve taşıma yapılmaktadır. Bunların yanı sıra aşağıdaki hususlar tespit edilmiştir:

1. Yerel yönetimin, katı atık yönetimi ile ilgili sağlıklı bir maliyet muhasebesi bulunmamaktadır.

2. Katı atıkların geri kazanımı ile ilgili hiçbir kurumsal çaba bulunmamaktadır.

3. İşçi ve araç sayısı kıyaslandığında, büyük şehirlerde gerek işçisinin gerekse araçların daha verimli kullanıldığı görülmektedir.

4. Kişi başına düşen günlük katı atık miktarı hızla artmakta, ancak bu konuda geleceğe yönelik olarak hiçbir önlem düşünülmemektedir.

Elde edilen veriler ve çöp konteynırlarının yerinin belirlenmesi parametreleri doğrultusunda çöp konteynırlarının konumları kişi sayısı göz önüne alınarak Atatürk Mahallesi için 100 adet, Halilefendi Mahallesi için 110 adet, Kaptanpaşa Mahallesi için 100 adet, Karagöl Mahallesi için 130 adet, İnönü Mahallesi için 60 adet ve Yeni Mahalle için 100 adet çöp konteynırı tahsis edilmiştir. Bu konteynırlar binaların ve yolların konumu değerlendirilerek çöp kamyonlarının güzergâhı üzerinde yerleştirilmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Belediyeden alınan ekipman ve personel sayıları doğrultusunda bunların verimli bir şekilde kullanılabilmesine olanak sağlayacak toplama güzergâhlarının da belirlenmesi gerekmektedir. Literatüre göre Ardahan kent merkezinde katı atıkların taşınması için güzergâh belirlenmesi işleminde aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

1. Toplama noktası ve sıklığı ile ilgili mevcut politika ve düzenlemeler belirlenmelidir,

2. Ekip sayısı ve araç tipi gibi mevcut sistem şartları saptanmalıdır,

3. Güzergâh sınırları olarak topoğrafik ve fiziksel engellerin kullanılmasıyla güzergâhın başlangıç ve bitiş noktaları belirlenmelidir,

4. Engebeli arazilerde güzergâhın başlangıç noktası tepede olmalı ve aşağıya araç doldukça inilmelidir,

5. En son boşaltılacak /alınacak kap/konteynır bertaraf ünitesine yakın olmalıdır,

6. Trafiğin yoğun bölgelerdeki güzergâhların katı atıkları günün erken saatlerinde toplamalıdır,

7. Aşırı miktarda katı atık oluşturan kaynaklara günün ilk kısmında servis götürülmelidir,

8. Az miktarda katı atık toplanılan dağınık alma noktalarına servis bir seferde veya aynı günde götürülmelidir (Toprak, 1998).

Taşıma ve toplama optimizasyonunun sağlanabilmesi için 600 adet konteynırın ve 450 adet direk tipi çöp kutusunun yeterli olacağı görülmüştür. Ardahan belediyesinde mevcut olan 7 tane sıkıştırmalı çöp toplama ve taşıma araç sayısının yeterli olduğu, ancak 5 tonluk araçların kapasitelerinin 10 tonluğa çıkarılarak çöp toplama alanına yapılan seferlerin azalacağı ve birkaç mahallenin daha atığının toplanabileceği öngörülmektedir. Bunun sonucu olarak çöp toplama ve taşıma maliyetinin azalacağı ve veriminin artacağı düşünülmektedir.

Yapılan bu çalışma sonucunda Ardahan kent merkezinde katı atıkların toplanması, değerlendirilmesi ve bertaraf edilmesinde optimizasyonu sağlamak için;

1. Katı atıkların yönetiminde verimi artırıp, masrafı düşürmek için iyi bir organizasyonun hazırlanması,

2. Katı atıkların toplanmasında atık türüne göre toplama sisteminin geliştirilmesi,

3. Katı atıklarda geri dönüşümün sağlanması,

4. Mevcut düzensiz depolama alanının düzenlenerek doğaya kazandırılması,

5. Katı atıkların azaltılması, sınıflandırılarak biriktirilmesi, verimli bir şekilde toplanması ve taşınması, nihai düzenli bir depolama yapılması hususlarında toplumun eğitilmesi,

6. Katı atıkların toplanmasında atık türüne göre toplama sisteminin geliştirilmesi önerilmektedir.

Güzergâhların belirlenmesi işleminde kesin ve sabit bir kural bulunmamakla birlikte optimum güzergâhın belirlenmesi için; güzergahtan mümkün olduğunca tekrar geçilmeyecek şekilde alternatif rotaların belirlenmesi ve deneme-yanılma yöntemi ile amaca en uygun rotanın seçilmesi önerilmektedir (Toprak, 1998).

Anahtar Kelimeler: Ardahan, Düzenli depolama, Katı atık, Maliyet

Kaynakça

Ardahan. (2020). Retrieved September 21, 2020, from https://tr.wikipedia.org/wiki/Ardahan_(il)

Toprak, H. (1998). Katı Atık Toplama, Taşıma ve Bertaraf Sistemlerinin Eniyilenmesi ve Ekonomisi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 265.

Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu. Ankara.

SOLID WASTE COLLECTION AND TRANSPORT OPTIMIZATION IN ARDAHAN CITY CENTER

Mustafa AKGÜN

Ardahan University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Occupational Health and Safety, Ardahan, mustafa.akgun@ardahan.edu.tr, 0000-0002-7172-1855

In the province of Ardahan, the collection and transportation of solid wastes is carried out by the municipality using compressed garbage trucks from containers located at different locations at certain hours.

There are two main problems in the collection of solid wastes throughout the province. First one; The second is that the garbage trucks make a large number of trips to the landfill, and the second is that the public does not pay attention to the garbage collection times.

In this study; It is aimed to determine a plan for the collection and transportation of wastes using the solid waste data in Ardahan city center. In line with the data obtained from the municipality, it was determined that 600 containers and 450 diret type garbage bins were used for the collection of solid wastes in Ardahan city center and 7 garbage trucks were used to transport these wastes. Garbage trucks go to and from the landfill 3 times a day. The existing garbage storage area is 6 km from the center. It has been observed that 600 containers and 450 pole-type garbage bins will be sufficient to optimize the transport and collection. It is envisaged that the number of compressed garbage collection and transportation vehicles available in Ardahan municipality is sufficient, but the capacity of 5-ton vehicles will be increased to 10 tons and the trips to the garbage collection area will decrease and the waste of a few more neighborhoods may be collected. As a result, it is thought that the cost of garbage collection and transportation will decrease and its efficiency will increase. As a result of this study, it will be appropriate to apply the following recommendations to optimize the collection and transportation of solid wastes in Ardahan city center.

1. A good organization should be prepared in order to increase efficiency and reduce costs in the management of solid wastes.

2. Recyclable materials can be used in solid wastes.

3. The existing irregular storage area can be arranged and brought to nature.

4. It would be appropriate to educate the public about the reduction of solid wastes, their classification and storage, efficient collection and transportation, and finally a regular storage.

Keywords: Ardahan, Landfill, Solid waste, Cost

TÜRKİYE'DE TEHLİKELİ ATIK ÜRETİM ORANINI BELİRLEMEYE YÖNELİK BİR TAHMİN MODELİ

Esra ATEŞ[1], Selim Latif SANİN[2]

[1]Artvin Çoruh Üniversitesi, esra_ates@artvin.edu.tr, 0000-0002-4550-8612

[2]Hacettepe Üniversitesi, sanin@hacettepe.edu.tr, 0000-0003-2971-8385

Endüstri ve teknoloji alanındaki gelişmeler birçok çevresel problemi de beraberinde getirmektedir. Bu problemlerden bir tanesi her geçen yıl artan katı atık miktarıdır. Oluşan atık miktarının net olarak hesaplanması, özellikle de halen daha tehlikesiz atıklarla karıştırılan tehlikeli atık miktarının hesaplanması zor ve katı atık alanında ele alınması gereken önemli bir iştir. Yapılan bu çalışmanın amacı, tehlikeli atık miktarını etkileyen parametreleri araştırarak Türkiye'deki tehlikeli atık üretim hızının tahmin edilmesine yönelik bir yöntem geliştirmektir. Araştırmanın metodolojisi 6 modülden oluşmaktadır: tarihsel veri elde etme, gerekiyorsa varsayımlarda bulunma, göstergelerin seçimi, STATGRAFİK ile veri işleme-veri analizi ve son olarak tehlikeli atık miktarının tahmin edilmesi. Bu model geliştirilirken gelişmişlik düzeyleri Türkiye yakın olan 10 Avrupa ülkesi seçildi: Norveç, Almanya, Belçika, Fransa, İspanya, İtalya, Yunanistan, Polonya, Macaristan ve Bulgaristan. Bu ülkelerin verileri kullanılarak yedi model elde edildi. Bu modeller kullanılarak Türkiye'nin tehlikeli atık miktarı hesaplandı ve hesaplanan bu değerlerle TÜİK'ten elde edilen tehlikeli atık miktarı değerleri karşılaştırıldı. Sonuç olarak elde edilen modeller arasından, Model 3, 4 ve 6'nın Türkiye'deki tehlikeli atık miktarının tahmini için kullanılabileceği tespit edildi. Ancak son yıllarda Türkiye'ye olan atık ihracatı dikkate alındığında tehlikeli atık miktarının belirlenmesinde Model 3 ve 4'ün kullanılmasının daha doğru olacağı bulundu. Model 3 ve Model 4'ün Türkiye için daha uygun olduğu görülse de Belarus gibi diğer AB dışı ülkeler bu modeller için incelendiğinde Model 6'nın genel olarak daha doğru değerler verdiği anlaşıldı. Buradan yola çıkarak, tehlikeli atık miktarına ilişkin herhangi bir bilginin bilinmediği durumlarda, tehlikeli atık miktarının tahminine ilişkin iyi bir başlangıç elde edebilmek için Model 6'nın kullanılmasının uygun olabileceği belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Avrupa istatistikleri, Denklem, Tehlikeli atık göstergeleri, Tehlikeli atık miktarı, Yöntem

A FORECAST MODEL TO DETERMINE HAZARDOUS WASTE GENERATION RATE IN TÜRKIYE

Esra ATEŞ[1], Selim Latif SANİN[2]

Artvin Çoruh University, esra_ates@artvin.edu.tr, 0000-0002-4550-8612

Hacettepe University, sanin@hacettepe.edu.tr, 0000-0003-2971-8385

Developments in industry and technology bring with them many environmental problems. One of these problems is the amount of solid waste increasing every year. The calculation of the amount of waste generated exactly, especially the amount of hazardous waste that is still mixed with non-hazardous waste, is a difficult and important task that needs to be addressed in the field of solid waste. The aim of this study is to develop a method for estimating the hazardous waste production rate in Turkey by investigating the parameters affecting the amount of hazardous waste. The methodology of the research included 6 modules: historical data obtainment, making assumptions if necessary, choose of indicators, data processing and data analysis with STATGRAPHICS, and forecast hazardous waste amount. While developing this model, 10 European countries with similar development levels to Turkey were selected: Norway, Germany, Belgium, France, Spain, Italy, Greece, Poland, Hungary and Bulgaria. Seven models were obtained using the data of these countries. Using these models, Turkey's hazardous waste amount was calculated and these calculated values were compared with the hazardous waste amount values obtained from TURKSTAT. As a result, it was determined that among the models obtained, Models 3, 4 and 6 could be used to estimate the amount of hazardous waste in Turkey. However, considering the waste exports to Turkey in recent years, it was found that it would be more accurate to use Models 3 and 4 in determining the amount of hazardous waste. Although Model 3 and Model 4 were seen to be more suitable for Turkey, when other non-EU countries such as Belarus were examined for these models, it was understood that Model 6 generally gave more values that are accurate. Based on this, it was determined that in cases where no information about the amount of hazardous waste is known, it may be appropriate to use Model 6 to get a good start on estimating the amount of hazardous waste.

Keywords: Equation; European statistics; Hazardous waste amount; Hazardous waste indicators; Method

TÜRKİYE'DE İNŞAAT MALZEMELERİNİN YAYGIN YAŞAM SONU YÖNETİMİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Deniz Üçer Erduran

Bilkent Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, deniz.ucer@bilkent.edu.tr, 0000-0001-7284-7209

Özet

Betonarme, metaller ve ısı yalıtımı malzemelerine odaklanan bu çalışma, Ankara'da temel yapı malzemelerinin bina yıkıldıktan sonra nasıl bir yol izlediğini incelemiştir. Belediyenin mevcut kural ve düzenlemelerine uygun olarak bu malzemeler yaşam döngülerinin sonraki aşamaları için farklı rotalar izlemiştir. Metaller eritilip geri dönüştürülmüş, ısı yalıtımı entegre bir atık yönetimi tesisine taşınmış ve çelik donatı ayrıldıktan sonra beton kırıkları hafriyat sahasına aktarılmıştır. Bu üç yer (belediyenin hafriyat alanı, ticari bir metal geri dönüşüm tesisi ve özel bir endüstriyel atık yönetim tesisi) ziyaret edilmiş ve prosedürler fotoğraflar aracılığıyla belgelenmiştir. Uygulamalıların değerlendirilmesi amacıyla bu tesislerin mevcut durumuna ilişkin bir rapor oluşturulmuştur. Malzemelerin gizli potansiyelini daha iyi kullanmak amacıyla kullanım ömrü sonu yönetiminin iyileştirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Beton, ısı yalıtımı, alüminyum, çelik, yaşam sonu.

Giriş

Bu araştırma Ankara'da bulunan ofisler ve ticari birimler içeren bir yapı kompleksinin yıkımında ortaya çıkan malzemelerin yaşam sonu uygulamalarını incelemiştir. Elde edilen veriler literatür verileri ile kıyaslanmış ve tartışılmıştır.

Literatür Taraması

Güncel çalışmanın malzeme ve metot kısmında odaklanılmış olan asbest, beton kırıkları, alüminyum ve çelik için var olan akademik çalışmalar dünyada ve Türkiye'deki genel uygulamaları aşağıdaki gibi ortaya koymaktadır:

Asbest milattan önceden beri kullanılmış, yalıtkanlığı, çekme dayanımı gibi üstün özellikleri ile özellikle on dokuzuncu yüzyılda ünlenmiş bir malzemedir (Atabey, 2008). İnşaat dünyasında aşırı yaygınlaşmanın yanı sıra neredeyse her sektörde kullanım alanı bulmuştur (Kurt ve Yıldırım, 2016). Bu yoğun kullanımla ilişkilendirilen hastalıklar belirince yirminci yüzyılda tehlikesi anlaşılmış ve ülkeler önlemler almaya başlamışlardır (Paglietti ve arkadaşları, 2016). Zararlı atıklar klasmanına giren bu malzeme, özellikle kanser tipleri ile ilişkilendirilmiştir (1272. Avrupa Kodu Düzenlemesi, 2008). Solunum yolu üzerinde yıkıcı etki yaratmasından dolayı ürünlerde kullanım oranı ya kısıtlanmış ya da tamamen engellenmiştir (Dünya Sağlık Örgütü [WHO], 2006). Avrupa birliğinde 1980'lerden beri ciddi bir farkındalık oluşmuş, örneğin İtalya 1992'de asbest üretim ve kullanımını yasaklamıştır (Paglietti ve arkadaşları, 2016). Genel bir düzenleme 2005 yılında tüm birlik ülkeleri

için oluşturulmuş, hatta 2014'te yayınlanan bir belge sadece yeni üretimde değil, stoklarda gömülü olanlar için de temizleme zorunluluğu getirmiştir (Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesinin Görüşü [Opinion of the European Economic and Social Committee], 2014). Benzer şekilde Türkiye'de de 2010 yılı itibarıyla asbest yasaklanmıştır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010). Her ne kadar yeni ürünlerde yasaklansa da özellikle eskiden yapılmış binaların yıkımları sırasında asbest serbest kalmakta ve eğer önceden tespit edilmemişse büyük bir tehlike arz etmektedir (Doğdu ve Alkan, 2023). Bu kapsamda tespitinin yapılması ve düzgün bertaraf sürecinin başlatılması gerekmektedir. Süreçte önce ölçüm yapılmalı, söküm için uygun güvenli giysi ve ekipmanları hazırlanmalıdır. Tamamen yalıtılmış şekilde sahadan çıkarılan malzeme, yetkin ehliyete sahip döküm alanlarında sızdırmaz şekilde toprağa gömülerek bertaraf edilmelidir. (Paglietti ve arkadaşları, 2016; Doğdu ve Alkan, 2023).

Hızlı şehirleşmenin en belirgin etkisi tüm dünya ülkelerinde beton kullanımının aşırı artmasıdır. Bu artış beraberinde inşaat ve yıkım atıklarındaki en yüksek miktarın da beton kırıkları olmasına sebep olmuştur (Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi [World Business Council for Sustainable Development], 2007). Bu miktarın hafriyat alanlarının kapasitesini zorluyor oluşu alternatif yollar aranmasını tetiklemiştir. Tipik karışımlarla üretilmiş beton inert atık grubunda bulunmakta, pasif olduğu için sızıntıya yol açmamakta, tehlikesiz atık sınıfına girmektedir (Yuan ve arkadaşları, 2013). Bu sebeple yol, alt yapı ve yeni bina uygulamalarında tesviye dolgusu olarak kullanılmaktadır (Üçer Erduran ve arkadaşları, 2021). Ayrıca agrega ve çimento parçalarının yeni beton ve asfalt üretimine katılması da uygulanmaktadır (Brooks ve Çetin, 2012). Bertaraf edilenler, herhangi bir yalıtım tabakası olmadan tipik sahalara gömülmektedir (Yuan ve arkadaşları, 2013).

Metaller diğer alanlarda olduğu gibi inşaat sektöründe de en yaygın yaşam sonu olarak geri dönüşüme girmektedir (Tam ve Tam, 2006). Bunların başında betonun içinde yer alan donatı çeliği, doğramalarda kullanılan alüminyum ve kablolarda bulunan bakır gelmektedir (Brunner ve Stampfli, 1993). Maddi getirisi yüksek olduğu için bu metaller yıkım firmaları tarafından kaynağında ayrıştırılmakta ve geri dönüşüm tesislerine hurda olarak satılmaktadır (Ölmez ve Yıldız, 2008).

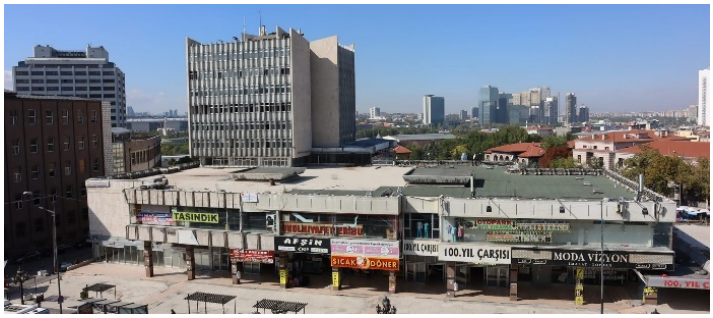
Malzeme ve Metot

Ankara'da Ulus Semtinde yer alan 100. Yıl Çarşısı ve Ofis Binaları Kompleksi 1967'de yarışma projesi olarak ilan edilmiş ve kazanan tasarım inşa edilmiş ve kullanıma 1981 yılında açılmıştır (Mimarlar Odası Ankara Şubesi, 2022).

Bu yapı, Şekil 1'de görüldüğü gibi, biri yatay biri düşey iki yapı bloğunun birleştirilmesinden oluşturulmuştur. Yatay olan yaklaşık beş kat kadar alışveriş ve sosyal fonksiyonları içermekte, bunun üstünde yükselen altı kat ise ofisleri barındırmaktadır. Ayrıca teknik birimleri içeren gömülü katlar da vardır.

Yapının tamamı betonarme olarak inşa edilmiştir. İri yapısal elemanlar hem içeriden kullanıcılara hem de dışarıdan geçenlere yapı tekniğini hissettirmektedir. Kalın betonarme taşıyıcı duvarlar ve kolonlar kullanılmış, kat döşemeleri beton blok asmolen elemanlarla inşa edilmiştir. Yatay blokta vitrin vazifesi gören büyük cam yüzeylerden oluşan cepheler mevcuttur. Yüksek blokta ise

alüminyum doğramalardan oluşan giydirme cephe büyük bir yüzey alanı tanımlamakta ve kentin yakın bölgelerinden görülmektedir.



Şekil 1: 100. Yıl Çarşısı ve Ofis Binaları Kompleksi

Ankara Büyükşehir Belediyesinin kent sağlığı kapsamında yaptırdığı analizler sonucunda binanın yapısal durumunun güvenilir olmadığı ortaya çıkmış ve yıkımına karar verilmiştir (Karakoç, 2022). Yıkım bu konuda uzmanlaşmış bir firmaya hurda karşılığı olarak verilmiş ve firma ihale ile belirlenmiştir (Sözcü Gazetesi, 2022).

Bu güncel çalışmanın araştırmacısı, belediyenin izni ile binanın sürecini bizzat takip etmiş, sık sık yerinde gözlemler yaparak fotoğraflar, çizimler ve numune alma yoluyla bilgi toplamıştır. Bu metinde kullanılan süreç fotoğraflarının tamamı araştırmacıya aittir.

Firma yıkım sürecini seçici yıkım olarak belirlemiş ve makineli yıkımı başlatmadan önce sökülebilir, kıymetli malzemeleri manuel olarak ayırmıştır. Bu süreç sırasında ısı yalıtım malzemesinde asbest olduğu fark edilmiş ve güvenlik önlemleri alınmıştır.

Tüm malzemelerin söküm işlemleri yaklaşık yetmiş gün kadar sürmüş, özellikle doğramalardaki alüminyum, kablolardaki bakır, plastikler ve geri dönüştürülebilir tüm parçalar alınmıştır. Daha sonra makineli yıkım süreci başlamıştır. Alan tarihi bölgede olduğu için yapı bir hamlede değil adım adım yıkılmıştır. Bu süreç tamamlandığında saha beton kırıklarıyla dolmuştur. Beton kırıkları parçalanarak içindeki donatı çeliği ayrılmış ve geri dönüşüme gönderilmiştir. Böylece son olarak sadece zararsız inert atıklar kalmış, onlar da uygun hafriyat sahasına taşınarak bertaraf edilmiştir.

Asbest Sökümü ve Bertarafı

Yapının çok belirgin olan alüminyum giydirme cephe malzemelerinin içinde yer alan EPS (Expanded Polystyrene) türü ısı yalıtım malzemesinin asbest emdirilmiş olduğu tespit edilmiş ve Şekil 2'de görüldüğü gibi önlemler alınarak sökümü yapılmıştır.

Soldaki fotoğrafta görüldüğü gibi asbest içeren ısı yalıtım malzemesi iki plaka malzeme içeresinde kullanılmış ve yapının ömrü boyunca kapalı bir şekilde kalmıştır. Bu kapalılık söküm sırasında da asbestin uzaklaştırılmasında avantaj olarak kullanılmıştır. Sağdaki fotoğrafta, arka tarafta görüldüğü şekilde tamamen geçirimsiz güvenlik giysileri ve maskeleri giymiş işçiler çalışmıştır. Panelleri kırmadan bir araya getirmiş ve tamamen geçirimsiz paketlerle sarmışlar ve açık bir alana istiflemişlerdir. Bu süreç tamamlanınca bekletilme yapılmaksızın paketler yıkım alanından yaklaşık 40m uzakta bulunan Sincan Zir Vadisi bölgesine taşınmıştır. Şekil 3'te görünen bölge lisanslı tehlikeli atık bertaraf sahasıdır. Paketler burada hiç açılmadan özel olarak hazırlanmış gömü

bölgesine aktarılmış ve ısı yalıtım malzemesi bu şekilde servis ömrünü tamamlamıştır. Bu saha yönetmeliklere göre hazırlamış, çift kat geçirimsiz membran, jeotekstil örtüler ve çakıllar kullnılarak üretilmiştir.

Şekil 2: Asbestli EPS plaka (solda), güvenlik önlemleri ve paketleme (sağda)

Şekil 3: Tehlikeli atık bertaraf sahası

Alüminyum Sökümü ve Dönüşümü

Cephelerden ve bölücü doğramalardan sökülmüş olan alüminyum malzeme yıkım alanından yaklaşık 20 km mesafede olan organize sanayi bölgesine taşınmış ve burada geri dönüşümü sağlanmıştır. Sökülmüş olan profil formundaki malzeme eritilmiş ve alüminyumun genel geri dönüşüm uygulamalarına uygun şekilde Şekil 4'te görüldüğü gibi külçe formunda dökülmüştür. Bu külçeler daha sonra gerekli ürünlere dönüşmek üzere piyasaya sunulmaktadır.

Şekil 4: Profil formunda kurtarılan alüminyum (solda), külçeye dönüşmüş hali (sağda)

Beton Sökümü ve Bertarafı

Manuel sökümün tamamlanmasından sonra başlayan makineli yıkımın ana görevi beton parçalarını hem taşınabilir boyutlara getirmek hem de çeliğin sökülmesini sağlamak olmuştur.

Şekil 5'te görüldüğü şekilde ayrılan beton parçalar yaklaşık 30 km uzaklıkta olan Tulumtaş bertaraf sahasına gömülmüş ve zemin başka inşaat sahalarından gelmiş olan faydalı bitki toprağı yardımıyla tesviye edilerek sağlıklı bir şekilde düzenlenmiştir.

Şekil 5: Makineli yıkım (solda), betonun bertarafı (sağda)

Çelik Sökümü ve Dönüşümü

Betonların parçalanması sonrası çeliklerin ayrıştırılabilmesi için daha ince kırım süreci başlamış ve çıkarılanlar Şekil 6'da görüldüğü gibi bir araya getirilmiştir. Bu malzeme de alandan yaklaşık 30 km uzakta olan Sincan Dökümcüler Sitesi'ne götürülmüş ve yeni makine parçaları üretilmek üzere doğrudan geri dönüşüme girmiştir.

Şekil 6: Makineli yıkımla çelik sökümü (solda), geri dönüşüm süreci (sağda)

Sonuçlar

Bu çalışma sürecinde Ankara'da yıkılan bir binanın süreci incelenmiş ve dört malzeme grubuna odaklanılmıştır. Asbest içeren ısı yalıtım paneli, alüminyum doğrama, yapısal beton ve donatı çeliği. Yıkım alanından çıkarılan bu malzemelerin rotaları takip edilmiş ve süreçlerinin nasıl devam ettiği incelenmiştir. Literatürde dünyanın diğer ülkeleri için de geçerli olan uygulamaların benzer şekilde yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu kapsamda asbest doğru bir şekilde yalıtılmış ve sızdırmaz şekilde entegre bir tesiste bertaraf edilmiştir. Alüminyum geri dönüşüme girip külçe olmuş ve yeni bir döngüye girmiştir. Beton kırıkları hafriyat sahasında tesviye hacmi olarak değerlendirilmiş, çelik ise direkt yeni makine parçası üretiminde kullanılmıştır.

Türkiye'de yaygın olarak karşılaşılan, yıkım, söküm ve bertaraf süreçlerindeki hızdan dolayı yeniden kullanım imkânı gündeme gelmemiştir. Zararlı atık olan asbest dışındakiler, yani metal elemanlar ve beton kırıkları için geri dönüşümden önce yeniden kullanımın gündeme gelmesi hem yıkılan tarihi binanın yapı dilinin diğer yapılara taşınması hem de dönüşüm ve bertaraf için gereken enerjiden tasarruf edilmesi açısından kıymetli bir yol sunacaktır.

Teşekkürler: Ankara Büyükşehir Belediyesi Yıkım ve Tahliye Müdürlüğü çalışanlarına ve desteklerinden dolayı özellikle Müdür İsrafil Ünal Bey'e, Ankara Büyükşehir Belediyesi Anket A.Ş.'nin özverili tüm ekibine ve özellikle Fatih Öztürk Bey'e, Acar Yıkım ve İnşaat Firması personeline ve özellikle Muammer Altun Usta'ya, ITC Entegre Atık Tesisi çalışanlarına, özellikle Mehmet Gültekin Bey'e ve Murat Küçükekşi Bey'e bana süreci takip etmemde verdikleri izinlerden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Notlar: Bu çalışmanın bazı verileri Eylül 2023 tarihinde Fransa Lille şehrinde düzenlenen Yaşam Döngüsü Yönetimi (Life Cycle Management) konferansında poster formatında sunulmuştur.

Referanslar:

Atabey, E. (2008). Türkiye'de Sağlık Riski Oluşturan Krizotil ve Amfibol Asbest ile Eriyonit Minerali İçeren Kayaların Dağılımı. Atabey E (Ed). Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyum Kitabı. Ankara: YMGV Yayınları, 19-24.

Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesinin Görüşü [Opinion of the European Economic and Social Committee] on Freeing the EU from asbestos CCMI/130-EESC-2014-05005.

Brooks, R.M., Cetin, M., 2012. Application of Construction Demolition Waste for Improving Performance of Subgrade and Subbase Layers. Int. J. Res. Rev. Appl. Sci. 12 (3), 375–381.

Brunner, P. H., & Stämpfli, D. M. (1993). Material Balance of a Construction Waste Sorting Plant. Waste Management & Research, 11(1), 27-48.

Çevre ve Orman Bakanlığı, (2010), 27687 Sayılı Yönetmelik, Bazı Tehlikeli Maddelerin, Müstahzarların ve Eşyaların Üretimine, Piyasaya Arzına ve Kullanımına İlişkin Kısıtlamalar Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik.

Doğdu, G., & Alkan, S. N. (2023). Deprem Sonrası Oluşan İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Değerlendirilmesi: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri. Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 1(1), 38-50.

Dünya Sağlık Örgütü [WHO], 2006. Elimination of Asbestos-Related Diseases. World Health Organization, Geneva.

KURT, M. A., & YILDIRIM, Ü. (2016). Türkiye'de Asbest Yasaği ve Bazi İthal Ürünlerde Asbest Minerallerinin Araştirilmasi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2), 90-96.

Karakoç, N. (2022). Ulus 100. Yıl Çarşısı ve Ankara Eski Özel İdare Binası'nın Yıkım İhalesi, Arkitera. https://www.arkitera.com/haber/ulus-100-yil-carsisi-ve-ankara-eski-ozel-idare-binasinin-yikim-ihalesi/

Mimarlar Odası Ankara Şubesi. (2022). Ulus 100. Yıl Çarşısı Korunmalıdır. http://www.mimarlarodasiankara.org/index.php?Did=12499

Ölmez, E., & Yıldız, Ş. (2008). İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli. Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları, 8, 02-06.

Paglietti, F., Malinconico, S., della Staffa, B. C., Bellagamba, S., & De Simone, P. (2016). Classification and Management of Asbestos-Containing Waste: European Legislation and the Italian Experience. Waste Management, 50, 130-150.

Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi [World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)], (2007) The Cement Sustainability Initiative.

Sözcü Gazetesi. (2022). İhale Açıldı, Ulus 100. Yıl Çarşısı Yıkılıyor. https://www.sozcu.com.tr/2022/gundem/100-yil-carsisi-yikimi-7484167/

Tam, V. W., & Tam, C. M. (2006). A Review on The Viable Technology for Construction Waste Recycling. Resources, Conservation And Recycling, 47(3), 209-221.s

Üçer Erduran, D., Demirel, İ. O., & Elias-Ozkan, S. T. (2021). Kâgir Duvar Atıklarının Yeniden Kullanım için Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(4), 1923-1938.

Yuan, H., Lu, W., & Hao, J. J. (2013). The Evolution of Construction Waste Sorting On-Site. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 483-490.

1272. Avrupa Kodu Düzenlemesi [Regulation (EC) No. 1272/2008] of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on Classification, Labelling and Packaging of substances and Mixtures, and Amending.

AN INVESTIGATION ON COMMON END-OF-LIFE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION MATERIALS IN TURKEY

Deniz Üçer Erduran

Bilkent University, Faculty of Architecture, PhD., Instructor, Faculty of Architecture, Ankara, deniz.ucer@bilkent.edu.tr, 0000-0001-7284-7209

Abstract

With a focus on reinforced concrete, various metals, and thermal insulation, this study examined how the primary building materials are handled in Ankara, Turkey, after the building being demolished. In accordance with the municipality's current rules and regulations, these materials follow different paths for the subsequent stages of their life cycle. The metals are melted and recycled, the thermal insulation is transported to an integrated waste management facility, and after the reinforcement has been removed, the concrete is landfilled. These three locations—the municipality's disposal area, a commercial metal recycler, and the privately run waste management facility the municipality initiated—were visited, and the procedures were documented through photographs. In order to assess the applications, a report on the current state of these facilities was created. Suggestions for improving the end-of-life management were made to better utilize the potential of materials.

Keywords: Concrete, thermal insulation, aluminum, steel, end of life.

Introduction

This study looked at the uses for materials left over after the demolition of a complex building in Ankara that housed offices and retail establishments. The obtained data were discussed and compared to data from the literature.

Literature Survey

The following general practices are seen throughout the world and in Turkey, according to academic studies on asbestos, concrete fragments, aluminum, and steel that are centered on the materials and methods portion of the current study:

Asbestos is a substance that has been used since before the Christ and rose to fame, particularly during the nineteenth century, thanks to its superior qualities, including insulation and tensile strength (Atabey, 2008). In addition to becoming incredibly common in the construction sector, it has been adopted by almost every industry (Kurt and Yildirim, 2016). In the twentieth century, when the diseases linked to this intensive use started to appear, its danger was recognized and nations started to take preventative measures (Paglietti et al., 2016). According to European Code Regulation No. 1272 (2008), this substance, which is categorized as hazardous waste, has been particularly linked to various cancers. According to the World Health Organization [WHO] (2006) its use in products has either been restricted or outright banned because of its damaging effects

on the respiratory tract. Since the 1980s, there has been a significant increase in awareness throughout the European Union. For instance, Italy banned the production and use of asbestos in 1992 (Paglietti et al., 2016). A general rule was established in 2005 for all union members, and even a document released in 2014 introduced a cleaning requirement that applied to both newly produced goods and those that were stored away (Opinion of the European Economic and Social Committee], 2014). Similar to other countries, Turkey outlawed asbestos as of 2010 (Turkish Ministry of Environment and Forestry, 2010). Despite being prohibited in new products, asbestos is released, particularly during the demolition of old buildings, and if it is not discovered beforehand, it can be very dangerous (Dogdu and Alkan, 2023). It needs to be kept safe in this situation, and then the appropriate disposal procedure needs to be started. Prior to beginning the process, measurements should be taken, and the proper safety gear and clothing should be set up. To properly dispose of material removed from the site in an isolated manner, it should be buried in the ground in a designated dumping area. (Dogdu and Alkan, 2023; Paglietti et al., 2016).

The excessive rise in concrete use in all nations of the world is the most obvious result of rapid urbanization. Concrete shards now make up the majority of waste generated during construction and demolition (World Business Council for Sustainable Development, 2007). The need for alternate methods has been sparked by the fact that this amount is pushing the limits of the excavation areas. The inert waste category includes concrete made with common mixtures. It is categorized as non-hazardous waste because it is passive and does not cause leakage (Yuan et al., 2013). Due to this, it is employed as a leveling filler in applications involving new construction, infrastructure, and roads (Üçer Erduran et al., 2021). In order to produce new concrete and asphalt, it is also common practice to incorporate aggregate and cement particles (Brooks and Çetin, 2012). In typical sites, disposables are buried beneath the ground without any specific isolation (Yuan et al., 2013).

In the construction industry, as in other sectors, recycling of metals is the most popular end-of-life practice (Tam and Tam, 2006). The most significant of these are copper in cables, aluminum used in fenestration frames, and steel used as reinforcing in concrete (Brunner and Stampfli, 1993). These metals are separated at the source by demolition companies and sold as scrap to recycling facilities due to their high financial return (Olmez and Yildiz, 2008).

Materials and Method

The Ulus District of Ankara's 100th Anniversary Mall and Office Building Complex was announced as a competition project in 1967, and the chosen design was built and put into operation in 1981 (Chamber of Architects Ankara Branch, 2022).

As shown in Figure 1, this structure was made by combining two building blocks, one horizontal and one vertical. The offices are located on the six floors that rise above the roughly five horizontal floors that house shopping and social activities. Additionally, there are embedded floors with technical units.

Reinforced concrete was used to build the entire asset. Both the users inside and the onlookers are made aware of the construction technique by the large structural elements. The floor slabs were constructed using concrete block hollow block elements, and the load-bearing walls, columns, and floor were all made of thick reinforced concrete. The horizontal block has showcase-

like facades made of expansive glass surfaces. The curtain wall in the high block, which is made of aluminum curtain walling frames and can be seen from nearby parts of the city, defines a sizable surface area.

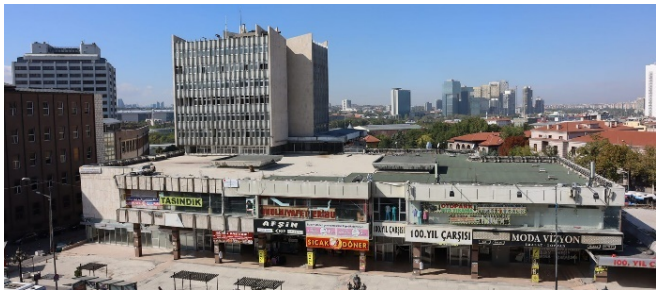


Figure 1: 100th Anniversary Mall and Office Building Complex

The building's structural condition was found to be unreliable as a result of the analyses conducted by the Ankara Metropolitan Municipality within the context of urban health, and its demolition was therefore decided (Karakoc, 2022). A company with expertise in this area was selected through a tender process to receive the demolition in exchange for scrap (Sozcu Newspaper, 2022).

With the municipality's permission, the researcher for this study personally observed the deconstruction and demolition process of the building, made frequent on-site inspection, and gathered data using photographs, drawings, and sampling. All the process images cited in this text are the researcher's property.

Before beginning the mechanized demolition, the company determined the process would be selective and manually separated the movable, valuable materials. When it was discovered that the thermal insulation material contained asbestos during this process, safety measures were implemented.

It took about 70 days to disassemble all of the materials, especially the aluminum in the frames, the copper in the cables, the plastics, and any recyclable parts. The process of mechanical demolition then started. Since the location is in a historical zone, the building was taken down gradually rather than all at once. After this process was finished, the field was covered in boulder-like pieces of concrete. The reinforcing steel inside the broken-up concrete pieces was separated and sent for recycling. Thus, only inert waste that was safe to be disposed of was left in the end and was taken to the proper landfill site.

Removal and Disposal of Asbestos

It was discovered that the very noticeable aluminum curtain wall materials of the building contained EPS (Expanded Polystyrene) type thermal insulation material, which was found to be impregnated with asbestos. This material was removed using caution, as shown in Figure 2.

Figure 2: Asbestos EPS plate (left), safety precautions and packaging (right)

Thermal insulation material with asbestos was used in two plate materials, as can be seen in the photo on the left, and remained sealed the entire time the building was in use. This closure served as a benefit when asbestos was removed during deconstruction. Workers can be seen wearing masks and completely impermeable safety gear in the background of the image on the right. The panels were put together without being damaged, wrapped in packages that were completely impermeable, and stacked in an open space. After this procedure was finished, the packages were delivered immediately to the Sincan Zir Valley area, which is located about 40 km from the demolition site. A licensed zone for the disposal of hazardous waste is the area depicted in Figure 3. The thermal insulation material here finished its useful life by being moved into a specially prepared burial area without being opened. This field was prepared in accordance with the rules using geotextile covers, a double-layer impermeable membrane, and gravels.

Figure 3: Hazardous waste disposal site

Dismantling and Recycling of Aluminum

The aluminum that had been taken out of the facades and partition joinery was recycled in the industrial zone, which was about 20 km from the demolition site. As shown in Figure 4, the material in the disassembled profile form was melted and cast in ingot form in accordance with the usual procedures for recycling aluminum. The market is then given access to these ingots so they can be converted into useful goods.

Figure 4: Recovered aluminum in profile form (left), turned into ingots (right)

Concrete Dismantling and Disposal

The primary goal of mechanized demolition, which began after manual dismantling was finished, was to make the concrete pieces portable so that the steel could be removed. As can be seen in Figure 5, the separated concrete pieces were buried at the Tulumtas Disposal site, which is about 30 km away. The ground there was then leveled and arranged in a healthy way with the help of useful plant soil from other construction sites.

Figure 5: Mechanized demolition (left), disposal of concrete (right)

Steel dismantling and transformation

Following the concrete's crushing, the steels were separated using a finer crushing process, and the extracted ones were collected, as shown in Figure 6. This material was transported to the Sincan Foundry Region, about 30 kilometers away, and was immediately recycled to create new machine parts.

Figure 6: Steel dismantling by mechanized demolition (left), recycling process (right)

Results

Four material groups were the main focus of this study's examination of the process leading to the demolition of a building in Ankara. Structural concrete, aluminum profiles, asbestos-

containing thermal insulation panels, and reinforcement steel. These materials' removal routes from the demolition zone were followed, and their subsequent processes were investigated. Similar practices are used in other nations around the world, according to the literature. In this instance, asbestos was properly insulated and disposed of in an integrated facility that was leak-tight. Recycled aluminum was transformed into an ingot and started a new cycle. Steel was used directly in the production of new machine parts, and concrete fragments were used to level the dumping site.

Due to the expedited nature of Turkey's demolition, dismantling, and disposal procedures, the possibility of reuse has not been discussed. After separating and disposing the hazardous wastes of asbestos-containing panels, reusing metal pieces and concrete shards instead of recycling will be a crucial step in preserving the structural language of historic buildings that have been demolished while also reducing the energy needed for their transformation and disposal.

Thanks: To the employees of Ankara Metropolitan Municipality Demolition and Evacuation Directorate and especially to Manager Mr. İsrafil Ünal for his support, to the entire team of Ankara Metropolitan Municipality Anket Inc. and especially to Mr. Fatih Öztürk, Acar Demolition and Construction Company, especially to Skilled Craftsman Muammer Altun, ITC Integrated Waste Facility employees, especially Mr. Mehmet Gültekin and Mr. Murat Küçükekşi for the permission they gave me to follow the process.

Notes: At the Life Cycle Management conference in Lille, France, in September 2023, some findings from this study were displayed in poster form.

References

Atabey, E. (2008). Türkiye'de Sağlık Riski Oluşturan Krizotil ve Amfibol Asbest ile Eriyonit Minerali İçeren Kayaların Dağılımı. Atabey E (Ed). Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyum Kitabı. Ankara: YMGV Yayınları, 19-24.

Brooks, R.M., Cetin, M., 2012. Application of Construction Demolition Waste for Improving Performance of Subgrade and Subbase Layers. Int. J. Res. Rev. Appl. Sci. 12 (3), 375–381.

Brunner, P. H., & Stämpfli, D. M. (1993). Material Balance of a Construction Waste Sorting Plant. Waste Management & Research, 11(1), 27-48.

Chamber of Architects Ankara Branch [Mimarlar Odası Ankara Şubesi]. (2022). Ulus 100. Yıl Çarşısı Korunmalıdır. http://www.mimarlarodasiankara.org/index.php?Did=12499

Doğdu, G., & Alkan, S. N. (2023). Deprem Sonrası Oluşan İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Değerlendirilmesi: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri. Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 1(1), 38-50.

European Code Regulation No. 1272 [1272. Avrupa Kodu Düzenlemesi [Regulation (EC) No. 1272/2008] of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on Classification, Labelling and Packaging of substances and Mixtures, and Amending.

KURT, M. A., & YILDIRIM, Ü. (2016). Türkiye'de Asbest Yasaği ve Bazi İthal Ürünlerde Asbest Minerallerinin Araştirilmasi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2), 90-96.

Karakoc, N. (2022). Ulus 100. Yıl Çarşısı ve Ankara Eski Özel İdare Binası'nın Yıkım İhalesi, Arkitera. https://www.arkitera.com/haber/ulus-100-yil-carsisi-ve-ankara-eski-ozel-idare-binasinin-yikim-ihalesi/

Olmez, E., & Yildiz, Ş. (2008). İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli. Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları, 8, 02-06.

Opinion of the European Economic and Social Committee [Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesinin Görüşü] on Freeing the EU from asbestos CCMI/130-EESC-2014-05005.

Paglietti, F., Malinconico, S., della Staffa, B. C., Bellagamba, S., & De Simone, P. (2016). Classification and Management of Asbestos-Containing Waste: European Legislation and the Italian Experience. Waste Management, 50, 130-150.

Sozcu Gazetesi. (2022). İhale Açıldı, Ulus 100. Yıl Çarşısı Yıkılıyor. https://www.sozcu.com.tr/2022/gundem/100-yil-carsisi-yikimi-7484167/

Tam, V. W., & Tam, C. M. (2006). A Review on The Viable Technology for Construction Waste Recycling. Resources, Conservation And Recycling, 47(3), 209-221.s

Turkish Ministry of Environment and Forestry [Çevre ve Orman Bakanlığı], (2010), 27687 Sayılı Yönetmelik, Bazı Tehlikeli Maddelerin, Müstahzarların ve Eşyaların Üretimine, Piyasaya Arzına ve Kullanımına İlişkin Kısıtlamalar Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik.

Üçer Erduran, D., Demirel, İ. O., & Elias-Ozkan, S. T. (2021). Kâgir Duvar Atıklarının Yeniden Kullanım için Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(4), 1923-1938.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), [Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi] (2007) The Cement Sustainability Initiative.

World Health Organization, WHO [Dünya Sağlık Örgütü], 2006. Elimination of Asbestos-Related Diseases. World Health Organization, Geneva.

Yuan, H., Lu, W., & Hao, J. J. (2013). The Evolution of Construction Waste Sorting On-Site. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 483-490.

Keywords: Concrete, thermal insulation, aluminium, steel, end of life

AGRO-EKOLOJİK KOMPOST ÜRETİMİ

Emel Atilla[1], Canan Koca[2], Mehmet Gençosmanoğulları[3], M.Fatih Peker[4], Fatih Hoşoğlu[5]

[1] ISTAC Inc. Istanbul Environment Management Industry and Trade Company, 34379, Sisli/Istanbul eatilla@istac.istanbul

[2] ISTAC Inc. Istanbul Environment Management Industry and Trade Company, 34379, Sisli/Istanbul ckoca@istac.istanbul

[3] ISTAC Inc. Istanbul Environment Management Industry and Trade Company, 34379, Sisli/Istanbul mgencosmanogullari@istac.istanbul

[4] ISTAC Inc. Istanbul Environment Management Industry and Trade Company, 34379, Sisli/Istanbul fpeker@istac.istanbul

[5] ISTAC Inc. Istanbul Environment Management Industry and Trade Company, 34379, Sisli/Istanbul fhosoglu@istac.istanbul

Son zamanlarda ülkemizde evsel atıkların organik kısmı için kuru tip biyogaz tesisleri kurulumu yaygınlaşmaktadır. Bu tesislerde elektrik enerjisi üretimi sağlansa da oluşan katı fermente üründen elde edilen kompostun, girişteki organik atıkların safsızlığından dolayı verimi ve kalitesi düşüktür. Ayrıca üretim maliyetleri daha saf organik girdiyle üretilen kompost proseslerine göre daha yüksek kalmaktadır. Bu sebeple katı fermente ürünün değerlendirilmesi için daha az karıştırma ve sulama ihtiyacı olan özel bir bakteri kültürü aşılayarak desteklenen bokashi yöntemi ile kompost üretimi çalışması yapılmıştır. Çalışmada katı fermente ürün, hayvan gübresi ve park bahçe atıkları içeren farklı kompozisyonlarda 4 yığın oluşturulmuştur. Yığınlarda katı fermente ürün, hayvan gübresi ve park bahçe atıkları ağırlıkça 1. Yığın, % 77,8:11,1:11,1 , 2.Yığın % 60:20:20 , 3. Yığın % 40:30:30 , 4. Yığın % 12,5:50:37,5 olacak şekilde karıştırılmıştır. 12 hafta boyunca üzeri ışık geçirmez brandayla örtülü ortamda bekletilerek agro-ekolojik kompost üretilmiştir. Bu süreç sonrası yığınlar 15 mm'lik eleklerden geçirilmiş ve 1. Yığında %64,5, 2. Yığında %28,4 , 3. Yığında %20,3 , 4. Yığında %88,9 elek altı ürün elde edilmiştir.Her yığın için ''Tarımda Kullanılan Organik, Mineral Ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik'' kapsamında nihai ürün için istenen analizler yapılmıştır. Ayrıca çimlendirme deneyi yapılarak ortalama %80 çimlenme gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bokashi, Agro-Ekolojik Kompost, Fermente Ürün, Kompost

AGRO-ECOLOGICAL COMPOST PRODUCTION

Canan Koca[1], Emel Atilla[2], Mehmet Gençosmanoğulları[3], M.Fatih Peker[4], Fatih Hoşoğlu[5]

[1] ISTAC Inc. Istanbul Environment Management Industry and Trade Company, 34379, Sisli/Istanbul ckoca@istac.istanbul

[2] ISTAC Inc. Istanbul Environment Management Industry and Trade Company, 34379, Sisli/Istanbul eatilla@istac.istanbul

[3] ISTAC Inc. Istanbul Environment Management Industry and Trade Company, 34379, Sisli/Istanbul mgencosmanogullari@istac.istanbul

[4] ISTAC Inc. Istanbul Environment Management Industry and Trade Company, 34379, Sisli/Istanbul fpeker@istac.istanbul

[5] ISTAC Inc. Istanbul Environment Management Industry and Trade Company, 34379, Sisli/Istanbul fhosoglu@istac.istanbul

Recently, the establishment of dry type biogas plants for the organic part of domestic waste has become widespread in our country. Although electrical energy is produced in these facilities, the yield and quality of the compost obtained from the solid fermented product is low due to the impurities of the organic wastes at the entrance. Additionally,production costs remain higher than compost processes produced with pure organic input. For this reason, compost production study was carried out with the bokashi method supported by inoculating a special bacterial culture that needs less mixing and irrigation for the evaluation of the solid fermented product. In the study, 4 batches of different compositions containing solid fermented product, animal manure and park and garden waste were constituted. Solid fermented products, animal manure and park and garden wastes in batches by weight 1st Batch, % 77.8:11.1,1:11.1 , 2nd Batch % 60:20:20 , 3rd Batch % 40:30:30 , 4th The batch was mixed to 12.5:50:37.5%. The agro-ecological compost was produced by keeping it in an environment covered with a lightproof tarpaulin for 12 weeks. After this process, the batches were passed through 15 mm sieves and 64.5% in the 1st batch, 28.4% in the 2nd batch, 20.3% in the 3rd batch, and 88.9% in the 4th batch were obtained. For each batch, the required analyzes were made for the final product within the scope of the "Regulation on Organic, Mineral and Microbial Fertilizers Used in Agriculture". In addition, germination test was performed and an average of 80% germination was observed.

Key Words: Bokashi, Agro-Ecological Compost, Fermented Product, Compost

ARDAHAN İLİ HAYVANSAL ATIKLARINDAN BİYOKÖMÜR ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Nesrin DURSUN [1,2]

[1]Ardahan Üniversitesi, Çevre Sağlığı Ana Bilim Dalı, Ardahan, Türkiye,

[2]Ardahan Üniversitesi, İnşaat Teknolojileri, Ardahan, Türkiye, nesrindursun@ardahan.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7463-1038

Giriş

Biyokömür'ün, toprak özelliklerini iyileştirme ve ürün verimliliğini arttırma etkisi olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, hastalıklara karşı ürün direncini artırabileceği de öne sürülmüştür. Son yıllarda biyokömür, hem ağır metal hem de organik kirletici olan topraklarda iyileştirici amaçlı kullanılmıştır (Tang vd., 2013). Biyokömür'ün toprak iyileştirme özelliklerinin yanı sıra, sera gazı emisyonlarını azaltma etkisi (Li vd., 2018), sularda kirletici giderimi etkisi (Jung vd., 2015), binalarda radyasyon emici ve yalıtım malzemesi amaçlı kullanımı (Guan vd., 2006; Makovíny ve Makovínyiová, 2011) olduğu da rapor edilmiştir.

Hayvancılık endüstrilerinde et ve süt gibi çeşitli ürünler üretilirken, aynı zamanda fazla miktarda dışkı ve gübre de elde edilmektedir (Tsai vd., 2019). Bu elde edilen organik atıklar, genel olarak tarımsal faaliyetler amaçlı toprağa uygulanmaktadır. Hayvan gübresinin bitkiler için faydalı olduğu ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini geliştirdiği belirtilmiştir (İnal vd., 2015). Bu atıkların yönetimine önem verilmemesi, çevresel kalite üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir. Selüloz türevi organik maddeler, hayvansal atıklarda bulunan besin maddeleri (azot, fosfor) ve diğer bileşen (patojenler, ağır metaller) içerikleri dolayısıyla yüzey sularında ötrofikasyona, toprakta besin maddeleri ve ağır metallerin birikimine, nitrat ve patojen sızmasına, koku verici (amonyak, hidrojen sülfür) maddelerin oluşmasına ve sera (metan, karbondioksit) gazı emisyonları salınımı gibi atık yönetimi ile ilgili başlıca çevre kirliliği formlarını oluşturmaktadır. Hayvancılık sektöründe gübrenin depolama ve işleme sürecinde karbondioksit, azotoksit, metan gibi gazların yaklaşık %15 oranda insan kaynaklı emisyonlar olarak küresel ısınma ve iklim değişikliğini etkilediği bildirilmiştir. Bu bakımdan, hayvansal atıkları karbonca zengin biyokömüre dönüştürmek, hayvancılık sektöründe oluşan sera gazı emisyonlarını azaltmak için mevcut teknolojilerden biri olabilir (Tsai vd., 2019). Bu çalışmada, hayvansal atıkların kullanımı ile üretimi yapılabilecek biyokömürün, Ardahan ili için potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Materyal ve Metod

Çalışmada, biyokömür üretimi için potansiyel olarak kullanılabilecek, Ardahan ilinin hayvansal üretim faaliyetlerine göre hayvansal atık tipleri belirlenmiştir. Hayvansal atık tipleri belirlenirken, ahırlarda/barınaklarda kısa süreli bulunan/bulunabilecek hayvan grupları değerlendirmeye alınmamıştır. Hayvansal atıklar kaynaklı, biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi için ilin hayvan sayısı dataları gerekmektedir. Bu datalara Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2020) veri tabanında bulunan "Hayvancılık İstatistikleri" sekmesinden ulaşılmış ve Tablo 1'de verilmiştir.

Hayvan sınıfı verileri; büyükbaş (süt sığırları), küçükbaş (süt veren koyun ve keçi) ve kümes (yumurta tavuğu, hindi, kaz ve ördek) hayvanı sayısı datalarından oluşmaktadır. Biyokömür üretimi için belirlenmiş potansiyel hayvansal atıkların 2015, 2016, 2017, 2018 ve 2019 yılı kullanılabilir atık miktarları saptanmıştır.

Hayvan başına günlük yaş gübre miktarını belirlemek için, LIFE 03 TCY proje sonuç raporundaki kabuller dikkate alınmıştır. Rapora göre, hayvan başına yaş gübre miktarı; büyükbaş hayvan için 27.2 kg/gün, küçükbaş hayvan için 2.2 kg/gün ve kümes hayvanı için 0.08 kg/gün olarak kabul edilmiştir. Hayvansal kuru gübre oranı ve kuru gübre miktarının kullanılabilirlik oranı sırasıyla, büyükbaş hayvan için %12.7 ve %65; küçükbaş hayvan için %25 ve %13; kümes hayvanı için %25 ve %99 olarak rapor edilmiştir. Biyokömür dönüşüm oranı, Winsley (2007) ve IEA (2006) tarafından belirtilmiş olan farklı piroliz koşullarında elde edilen katı, sıvı ve gaz ürünlerin dönüşüm oranları dikkate alınarak, en yüksek dönüşüm %35 oran ile yavaş pirolizde olduğu için, bu oran biyokömür dönüşüm oranı olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1. Ardahan ilinin hayvan sayısı ve potansiyel kuru gübre miktarı

Hayvan sınıfı	Yıl	Hayvan sayısı	Yaş gübre (ton/yıl)	Kuru gübre oranı (%)	Kuru gübre (ton/yıl)
Büyükbaş	2015	183321	1820011	12.7	231141
	2016	170763	1695335	12.7	215308
	2017	175902	1746355	12.7	221787
	2018	185158	1838249	12.7	233458
	2019	211092	2095721	12.7	266157
Küçükbaş	2015	23869	19167	25	4792
	2016	22942	18422	25	4606
	2017	32029	25719	25	6430
	2018	37001	29712	25	7428
	2019	52932	42504	25	10626
Kümes	2015	215657	6297	25	1574
	2016	285641	8341	25	2085
	2017	210565	6148	25	1537
	2018	203295	5936	25	1484
	2019	263236	7686	25	1922
Toplam		2273403	9365603		1210335

Araştırma Bulguları

Hayvan başına ilgili kabuller dikkate alınarak, hayvansal atıklar kaynaklı biyokömür dönüşüm potansiyeli Tablo 2'de verilmiştir. Ardahan ili hayvansal üretim faaliyetlerinin yoğun yapıldığı bir il olduğu için, hayvan sınıfları arasında potansiyel miktarın yıllara göre değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Ardahan ilinin 2015, 2016, 2017, 2018 ve 2019 yılı hayvansal atık kaynaklı biyokömür dönüşüm potansiyeli; hayvan sınıflarının toplamına göre 270210 ton ve yıllık ortalama 54042 ton olarak hesaplanmıştır. Sümer vd., (2016) tarafından yapılmış çalışmada ise, Türkiye'nin 2015 yılında hayvansal ve tarımsal üretim atıkları biyokömür dönüşüm potansiyeli 3942654 ton olarak tahmin edilmiştir. Çalışmada, toplam biyokömür potansiyelinin %0.6'sını tarla tarımı atıkları, %22.5'ini bahçe ve bağ budama atıkları ve %77'sini hayvansal atıkların oluşturduğu bildirilmiştir. Dursun (2020) tarafından yapılmış çalışmada da, Malatya ilinin 2019, 2018 ve 2017 yılı hayvansal ve bitkisel atıklar kaynaklı biyokömür dönüşüm potansiyeli toplamı 132319 ton

olarak tahmin edilmiştir. Buna göre, üç yılın toplam biyokömür potansiyelinin %72.4'ünü hayvansal atıklar ve %27.6'sını bitkisel atıkların oluşturduğu rapor edilmiştir.

Tablo 2. Ardahan ilinin hayvansal atıklar kaynaklı biyokömür dönüşüm potansiyeli

Hayvan sınıfı	Yıl	Kuru gübre (ton/yıl)	Kullanılabilir oran (%)	Kullanılabilir kuru gübre (ton/yıl)	Biyokömür dönüşüm oranı (%)	Biyokömür potansiyeli (ton/yıl)
Büyükbaş	2015	231141	65	150242	35	52585
	2016	215308	65	139950	35	48983
	2017	221787	65	144162	35	50457
	2018	233458	65	151748	35	53112
	2019	266157	65	173002	35	60551
Küçükbaş	2015	4792	13	623	35	218
	2016	4606	13	599	35	210
	2017	6430	13	836	35	293
	2018	7428	13	966	35	338
	2019	10626	13	1381	35	483
Kümes	2015	1574	99	1558	35	545
	2016	2085	99	2064	35	722
	2017	1537	99	1522	35	533
	2018	1484	99	1469	35	514
	2019	1922	99	1903	35	666
Toplam		1210335		772025		270210

Çalışma kapsamında Ardahan ili hayvansal atık kaynaklı biyokömür dönüşüm potansiyelinin 2015 yılında 53348 ton, 2016 yılında 49915 ton, 2017 yılında 51283 ton, 2018 yılında 53964 ton ve 2019 yılında 61700 ton olduğu belirlenmiştir. Hayvan sınıfına göre beş yıl içinde en yüksek biyokömür potansiyeli olan yıllar değerlendirildiğinde, hayvan sınıflarının kendi içinde en yüksek biyokömür potansiyeli; büyükbaş hayvan için 2019 yılında 60551 ton, küçükbaş hayvan için 2019 yılında 483 ton ve kümes hayvanı için 2016 yılında 722 ton olarak saptanmıştır. Her yıl için, hayvan sınıfına göre en yüksek biyokömür dönüşüm potansiyeli değerlendirmesi yapıldığında, tüm yıllarda büyükbaş hayvan atıkları biyokömür dönüşüm potansiyelinin yaklaşık %98'ini oluşturmuştur.

Sonuçlar: Bu çalışmada, Ardahan ilinin hayvansal atıklar kaynaklı biyokömür dönüşüm potansiyeli tahmin edilmiştir. Buna göre 2015, 2016, 2017, 2018 ve 2019 yılları için toplam 270210 ton ve yıl bazında ortalama 54042 ton olduğu belirlenmiştir. Tüm yıllarda büyükbaş hayvan atıkları, biyokömür dönüşüm potansiyelinin yaklaşık %98'ini oluşturmuştur. Yıllara göre en yüksek biyokömür dönüşüm potansiyeli, hayvan sayısında önceki yıllara göre artış olduğu için 2019 yılında 61700 ton olarak saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ardahan, Atık gerikazanımı, Biyokömür, Hayvansal atık

KAYNAKLAR

Dursun, N., "Hayvansal ve Bitkisel Atıklar Kaynaklı Biyokömür Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Malatya İli Örneği", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8 (3), 720-727, 2020.

Guan, H., Liu, S., Duan, Y., Cheng, J., "Cement based electromagnetic shielding and absorbing building materials", Cement and Concrete Composites, 28 (5), 468-474, 2006.

International Energy Agency (IEA) Bioenergy, Biomass Pyrolysis Annual Report, 2006.

İnal, A., Günes, A., Sahin, O., Taskın, M. B., Kaya, E. C., "Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize", Soil Use and Management, 31 (1), 106-113, 2015.

Jung, C., Oh, J., Yoon, Y., "Removal of acetaminophen and naproxen by combined coagulation and adsorption using biochar: Influence of combined sewer overflow components", Environmental Science and Pollution Research, 22, 10058-10069, 2015.

LIFE 03 TCY/TR/000061. A guide on exploitation of agricultural residues in Turkey. Exploitation of agricultural residues in Turkey, EU-Life Programme Project, Final Report ANNEX XIV, 686-761.

Li, Y., Hu, S., Chen, J., Müller, K., Li, Y., Fu, W., Lin, Z., Wang, H., "Effects of biochar application in forest ecosystems on soil properties and greenhouse gas emissions: A review", Journal of Soils and Sediments, 18, 546-563, 2018.

Makovíny, I., Makovínyiová, K., "Shielding of electromagnetic radiation by using wood-cement boards modified with carbon in microwave frequency band", European Journal of Wood and Wood Products, 69 (4), 671-673, 2011.

Sümer, S.K., Kavdır, Y., Çiçek, G., "Türkiye'de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi", KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 19 (4), 379-387, 2016.

Tang, J., Zhu, W., Kookana, R., Katayama, A., "Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil", Journal of Bioscience and Bioengineering, 116 (6), 653-659, 2013.

Tsai, W-T., Hsu, C-H., Lin, Y-Q., "Highly porous and nutrients-rich biochar derived from dairy cattle manure and its potential for removal of cationic compound from water", Agriculture, 9 (114), 1-9, 2019.

TÜİK, 2020. Veritabanları, Tarım. http://www.tuik.gov.tr/PreTabloArama.do. (Erişim Tarihi: 07.04.2020).

Winsley, P., "Biochar and bioenergy production for climate change mitigation", New Zealand Science Review, 64 (1), 5-10, 2007.

DETERMINING THE POTENTIAL OF PRODUCTION BIOCHAR FROM ANIMAL WASTES OF ARDAHAN PROVINCE

Nesrin DURSUN [1,2]

[1]Ardahan University, Department of Environmental Health, Ardahan, Turkey

[2]Ardahan University, Construction Technologies, Ardahan, Türkiye
nesrindursun@ardahan.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7463-1038

Biochar has become the focus of researchers worldwide due to its properties of improving the soil (such as porosity, water holding capacity, pH, cation exchange capacity), increasing product efficiency and reducing greenhouse (CO2, CH4, N2O) gas emissions. It is reported that various types of organic wastes are used for producing biochar. In this study, calculations were made based on the rates of the slow pyrolysis method due to the fact that the conversion rate of solid products obtained under different pyrolysis conditions was highest in the slow pyrolysis with 35%. This study determined the transformation potential of biochar, which could be obtained using animal wastes in Ardahan province, where intense animal production activities were carried out. It is important to know the amount of waste to perform a good waste management. In this context, the Livestock Statistics data of 2015, 2016, 2017, 2018 and 2019 obtained from the Turkish Statistical Institute were used. Waste amounts were identified by considering the number of bovine (dairy cattle), ovine (milk giving sheep and goat) and poultry (laying hen, turkey, goose and duck) to determine production potential of the biochar. In the study, while determining the types of animal waste, animal groups that were found/could be found in shelters for a short period of time were not considered since they were not sustainable. The potential of biochar conversion from animal waste in Ardahan for the years of 2015, 2016, 2017, 2018 and 2019 was calculated as 270210 tons according to the total of animal species with an annual average of 54042 tons/year. The conversion potential of biochar by years was determined as 53348 tons/year in 2015, 49915 tons/year in 2016, 51283 tons/year in 2017, 53964 tons/year in 2018, and 61700 tons/year in 2019. When the year with the highest biochar potential in five years according to the animal species was evaluated, the highest biochar potential in the animal species was determined as 60551 tons/year for bovine in 2019, 483 tons/year for ovine in 2019, 722 tons/year for poultry in 2016. When the highest biochar conversion potential assessment was made for each year according to the animal species; bovine wastes accounted for approximately 98% of the biochar conversion potential in all years.

Keywords: Ardahan, Waste recycling, Biochar, Animal waste

PEYNİR ALTI SUYUNUN MANYETİK NANOPARTİKÜL (MNP) İLE ARITILMASINDAN ELDE EDİLEN ÇAMURUN, GIDA VEYA YEM OLARAK KULLANIM POTANSİYELİ

Yusuf Esen[1], Mustafa Akgün[2], Rövşen Güliyev[3]

[1]Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü, yusufesen@ardahan.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-1173-0677

[2]Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, mustafaakgun@ardahan.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-7172-1855

[3]Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, rovsenguliyev@ardahan.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-2396-8201

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, peynir altı suyu arıtılarak oluşan çamurun içeriğinin incelenmesi ve gıda veya yem katkı maddesi olarak kullanım potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır.

Literatür Araştırması

Su kaynaklarında görülen yaygın kirleticiler endüstriyel atıklarıdır. Endüstrilerden kaynaklanan kirleticiler, diğer kirletici kaynaklara göre, toksik ve arıtılması çok zordur. Sanayi atıklarının çevrede ve su kaynaklarında yaptığı kirlilikler evsel atıklara göre daha etkili ve giderimi daha zor niteliktedir. Bu sanayi atıklarının başında süt işletmelerinin faaliyetleri sonucu açığa çıkan peynir altı suyu gelmektedir. 1-1,5 kg peynir üretimi sırasında yaklaşık 8,5-9 kg Peynir altı suyu oluşmaktadır. Peynir altı suyu, süt bileşenlerinden laktalbümin ve laktogulobilin gibi serum proteinleri ile birlikte değişen düzeylerde laktoz, yağ ve mineral madde içeren, peynir yapımı sırasında süzme sonucunda oluşan bir yan üründür (Kurt, 1990). Türkiye'de, 600 bin ton'dan fazla peynir altı suyu oluşmakta ve bu peynir altı suyunun hemen hemen yarısı herhangi bir arıtma işlemi uygulanmadan alıcı ortama yani dolaylı olarak toprağa verilmektedir (Güven vd., 2008).

Ardahan özelinde süt sektöründeki işletmelerin 15 adeti %72 fiili işleme kapasitesi ile Göle ilçesinde bulunmaktadır. Ardahan'da süt işleme miktarı yaz aylarında (Nisan-Ağustos) ortalama 172 ton/gün, kış aylarında 30 ton/gün olarak gerçekleşmektedir. Bu bilgiler ışığında Ardahan' da açığa çıkan peynir altı suyunun yaz aylarında 17-25 ton/gün, kış aylarında 3-4,5 ton/gün olduğu anlaşılmaktadır (Anonim, 2020). Peynir altı suyu yüksek organik madde ihtiva etmesinden dolayı önemli bir çevre sorunu yaratmaktadır (Kotoupas,2007; Sözer,2006). Peynir altı suyunu farklı yöntemlerle değerlendirme teknolojileri olsa da özellikle ekonomik ve yerel sebeplerden dolayı orta ve küçük ölçekli peynir üretim tesislerinde peynir altı suyunun bu yöntemlerle değerlendirilmesi mümkün olmamaktadır (Kalyuzhny 1997, Güven vd, 2008). Peynir altı suyunun arıtımı daha önce anaerobik ve aerobik şartlar altında yürütülmüştür. Ancak bu arıtma yöntemlerinin çoğu peynir altı suyunun seyreltilmiş haline uygulanmıştır.

MNP ile arıtma yönteminin tercih sebebi, bu dezavantajları ortadan kaldırarak oluşan çamurun gıda ve/veya yem üretiminde değerlendirilmesine olanak sağlamak ve ayrıca arıtıcı ajan olarak kullanılan manyetik nanopartikülün geri kazanımıyla tekrar kullanımını mümkün kılmaktır.

Böylece arıtmanın daha ekonomik hale gelmesi ve ayrışan proteince zengin çamurun değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Yöntem

Çalışmada kullanılan peynir altı suyu (PAS) örnekleri Ardahan Merkezde bulunan bir işletmeden temin edilmiştir. Örnekler üretimden hemen sonra alınmış ve temin edilen örnekler steril kaplarda laboratuvar ortamına getirilmiş, analizlerde kullanılmak üzere +4°C' de muhafaza edilmiştir.

MNP Üretimi ve Karakterizasyonu

Manyetik nanopartiküller (MNP), amonyak çözeltisinde Fe+2 ve Fe+3 iyonları (1:2 molar oranda) kullanılarak birlikte çökeltme yöntemi ile sentezlenmiştir. 25 mL 2 M hidroklorik asit (HCl) çözeltisi, 2,70 g FeCl3·6H2O ve 0,99 g FeSO4·7H2O demir tuzları içeren 100 mL'lik behere ilave edilmiştir. Çözelti 15 dakika sonike edilmiş ve ardından oda sıcaklığında azot gazı kullanılarak çözelti oksijen gazından arındırılmıştır. Daha sonra bu çözeltiye 40 mL sulu amonyak (%28) karışımı, oda sıcaklığında ve çözelti karıştırılırken bir saatin üzerinde bir süreyle damla damla ilave edilmiştir. Elde edilen siyah çökelti güçlü bir kalıcı mıknatısla toplanmış ve saf su ile birkaç kez yıkanmıştır. Üretilen MNP birkaç yöntemin kombine halde kullanılması ile ile karakterize edilmiştir. İlk olarak, transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ve nanopartikül boyut dağılım ölçüm cihazı ile karakterize edilmiştir. Ardından, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) ile kimyasal yapısı belirlenmiştir. MNP'lerin ve atık PAS'ların zeta potansiyel değerleri zeta-potansiyel ve mobilite ölçüm cihazı ile belirlenmiştir.

PAS Arıtımı ve MNP Geri Kazanımı

Arıtılacak 100 mL peynir altı suyu; 250 mL'lik beherlere alınmış ve 1 N sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi kullanılarak pH 4,5,6,7,8 ve 10'a ayarlanmıştır. Her pH için beherlere 5-15 mL (150-450 mg) MNP eklenmiş ve eklenen MNP'lerin çökelmesi için manyetik ortamda 90 dakika beklenmiştir. Çöken MNP'ler, mıknatıslar vasıtasıyla peynir altı suyundan ayrılmıştır. Arıtma oda sıcaklığında (23-25 °C) gerçekleştirilmiştir. Kullanılan MNP'ler, sırasıyla HCl (0.1 M) ve NaOH (0.1 M) ile geri kazanılmıştır. MNP, HCl veya NaOH solüsyonunda 30 dakika boyunca sonike edilmiştir. Daha sonra kalıcı mıknatıslar kullanılarak manyetik olarak ayrılmış ve birkaç kez saf su ile yıkanmıştır. Bu Adsorpsiyon-desorpsiyon döngüleri 10 kez tekrarlanmıştır. Böylece MNP'lerin geri kazanımı amaçlanmıştır.

Çamurun Karakteristikleri ve Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Kjeldahl yöntemi ile Toplam N tayini ve protein oranı belirlenmesi ile birlikte; Hangi protein fraksiyonlarının bulunduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak elde edilen sonuçlardan dolayı sadece protein tayini yapılmıştır.

Bulgular

Karakterizasyon sonuçlarına göre, MNP örnekleri Küresel benzeri yapılardadır. TEM tarafından belirlenen MNP'lerin çapı 20 ila 90 nm arasında değişmiştir. DLS ile elde edilen MNP'nin partikül boyutu dağılımı, ortalama çapı 45.6 ±3.2 nm, boyut olarak 18 ila 115 nm arasında değişmektedir. Bu da DLS sonuçları ile TEM verileri birbiriyle iyi bir uyum içinde olduğunu göstermektedir.

Geri kazanım için yapılan işlemlerden sonra geri kazanım oranı %85'i geçememiştir. Dolayısıyla elde edilen çamurun protein muhtevası ile birlikte %15'lik MNP kalmıştır. Bu nedenle PAS çamurunda sadece toplam azot ve protein oranı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Peynir altı suyunun bileşimi kullanılan sütün kalitesi, hayvanın cinsi, laktasyon dönemi, peynir mayasının kuvveti ve kalitesi vb. etkenlere göre değişmektedir. Genellikle peynir altı suyu %0,6-1,1 aralığında protein içermektedir. Bu protein kompleksinin içeriğinde ise β-Laktoglobulin, α-Laktalbumin, Immunoglobulin, Serum albümini, Laktoferrin, Laktoperoksidaz ve pepton bulunduğu bilinmektedir.

PAS çamurunda yapılan kimyasal analizlerin sonuçları

% N	0.091
% Protein	0.58058

Örneklerimizde Kjeldahl yöntemiyle gerçekleştirdiğimiz toplam azot tayini analizleri sonuçları tabloda görülmektedir. Toplam protein oranı literatürle örtüşmektedir.

Sonuç ve Öneriler: Çalışmamızda, MNP içeriğinin çamurdan ayrıştırılması yani geri kazanımı için metot kısmında belirtilen proses defalarca uygulanmıştır. Fakat buna rağmen geri kazanım oranı %85'i geçememiştir.

Dolayısıyla elde edilen çamurun protein muhtevası ile birlikte %15'lik MNP kalmıştır. Bu yüksek kalıntı oranından dolayı çamurun protein ve azot oranı dışında bir incelemenin yapılmasına gerek görülmemiştir.

Bunun nedeni ise MNP'nin demir içeriğinin Fe3O4 formunda olmasıdır. Ayrıca eğer detaylı inceleme yapılacak olsaydı bu sadece protein fraksiyonlarının tespiti ve bu içerik tespitine göre katkı maddesi olarak kullanım miktarları ve sektörlerinin belirlenmesi yönünde olacaktı.

Her ne kadar belirli analizlerle, çamur içerisinde "Fe" iyonlarının konsantrasyonu belirlenebilir olsa da bu demir formu Türk Gıda Kodeksi Takviye Edici Gıdalar Tebliği' nde izin verilen formlar arasında bulunmamaktadır. Dolayısıyla MNP geri kazanımının %100 olması gerekmektedir.

Ancak buna rağmen Fe3O4 formunun bitki ve hayvan beslemesinde kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar bulunmakla birlikte bu çalışmalardaki demir kaynakları bitkisel veya hayvansaldır. Yani çalışmamızda olduğu gibi kimyasal kaynaklı değildir.

Bunun yanı sıra insan beslenmesi açısından incelendiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Tüm bu nedenlerle ve Fe içeriğinin insan sağlığına olan olumsuz etkileri göz önüne alındığında, elde edilen çamurun en azından bu haliyle insan veya hayvan beslenmesinde katkı maddesi olarak kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Manyetik Nanopartikül, peynir altı suyu, arıtma, protein kaynağı

Kaynakça

Anonim, 2020. Ardahan İli Peynir Altı Suyu İşleme Tesisi Ön Fizibilite Raporu, Serhat Kalkınma Ajansı, Ardahan.

Güven, G., Perendeci, A. ve Tanyolaç, A. 2008. Electrochemical treatment of deproteinated whey wastewater and optimization of treatment conditions with response surface methodology, Journal of Hazardous Materials, 157, 69-78.

Kalyuzhnyi, S.V., Martinez, E.P. ve Martinez, R. 1997. Anaerobic treatment of high-strength cheese-whey wastewaters in laboratory and pilot UASB-reactors, Bioresource Technology, 60, 59-65.

Kotoupas, A., Rigas, F. ve Chalaris, M. 2007. Computer-aided process design, economic evaluation and environmental impact assessment for treatment of cheese whey wastewater", Desalination, 213, 238–252.

Kurt A, 1990. Süt Teknolojisi, Atatürk Üniversitesi yayınları.

Sözer, S. Yaldız,O., 2006.Sığır gübresi ve Peynir alt suyu karışımından biyogaz üretimi üzerine bir araştırma,19(2):179-183.

THE POTENTIAL USE OF SLUDGE OBTAINED FROM THE TREATMENT OF WHEY WITH MAGNETIC NANOPARTICLES (MNPS) AS FOOD OR ANIMAL FEED

Yusuf Esen[1], Mustafa Akgün[2], Rövşen Güliyev[3]

[1]Ardahan University Technical Sciences Vocational School Food Processing Department, yusufesen@ardahan.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-1173-0677

[2]Ardahan University Technical Sciences Vocational School Occupational Health and Safety Program, mustafaakgun@ardahan.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-7172-1855

[3]Ardahan University Engineering Faculty Department of Environmental Engineering, rovsenguliyev@ardahan.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-2396-8201

Whey, originating from the dairy industry, poses a significant environmental pollution challenge, necessitating an effective and long-term solution. While large dairy factories have adopted ultrafiltration technology or thermal coagulation methods to reduce environmental impact, these technologies are not economically viable for medium and small-scale facilities due to local reasons. In this study, whey obtained from local cheese producers in Ardahan, Turkey, was treated with magnetic nanoparticles (MNPs) to minimize its environmental impact, and the potential use of the protein sludge obtained as a result of the process in the food and feed industries was evaluated. The study results revealed that MNP recovery was approximately 85%, leaving approximately 15% of the material in the sludge. Despite various methods being attempted, the recovery rate could not be increased. Therefore, it was concluded that the remaining 15% portion, consisting of MNP (Fe3O4), posed a potential risk for human or animal consumption, making it unsuitable for use as a food or feed additive. Although specific analyses can determine the concentration of "Fe" ions in the sludge, this form of iron is not among the permitted forms according to the Turkish Food Codex Regulation on Food Supplements (TGK, 2013). Therefore, achieving 100% MNP recovery is essential. Nevertheless, studies on the suitability of Fe3O4 for plant and animal nutrition exist, but these studies primarily involve plant-based or animal-based iron sources, rather than chemical sources, as in our study. Additionally, studies examining its suitability for human consumption are limited. Therefore, it is recommended that future research focuses on developing methods for the complete recovery of MNP content, allowing for the utilization of the sludge as a protein source.

Keywords: Magnetic Nanoparticle, whey, treatment, protein source

DÖNGÜSEL EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE TÜRKİYE VE AB ÜLKELERINDE ATIK YÖNETİM SÜRECİNİN İNCELENMESİ

Zeynep Ceylan[1], Dilek ÖZDEMİR[2], Faruk ŞAHİN[3]

[1]Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, zceylan@atauni.edu.tr

[2]Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, pdilek@atauni.edu.tr, 04422312065, 0000-0002-8048-7730

[3]Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, faruksahin@atauni.edu.tr, 05443010052, 0000-0002-9708-9085

Sanayi devrimi insan nüfusunun hızlı bir şekilde artışında önemli bir dönüm noktası olarak görülmektedir. Bu döneme kadar olan üretimde hem günlük ihtiyaçlar karşılanabilirken hem de ticaret yapılabilmektedir. Ancak insan nüfusunun hızlı artışı, ihtiyaçların çeşidinin ve miktarının da artmasına sebep olmaktadır. İhtiyaçların çeşit ve miktarındaki artışın karşılanabilmesi sanayi devrimi sonrası ortaya çıkan kitlesel üretim ile sağlanabilmektedir. Kitlesel üretim ile birlikte nüfus artışından kaynaklı talebin karşılanması sağlanmıştır ancak takip eden dönemde doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevresel bozulmanın artması ve iklim değişikliği gibi olumsuz etkiler ortaya çıkmıştır. Çevresel bozulmanın göz ardı edildiği yalnızca ekonomik kâra odaklanan bu üretim modeline doğrusal ekonomi modeli denilmektedir. Doğrusal ekonomi modelinde hammaddeden atığa (doğal kaynak-üretim-tüketim-atık) doğru giden bir süreç işlenmektedir. Bu süreç doğal kaynakları azaltırken çevresel bozulmayı da hızla arttırdığı için küresel ısınmanın da en önemli sebeplerinden görülmektedir. Doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevre bilincinin gelişmesi, üretim yöntemlerindeki teknolojik yenilikler sonucunda döngüsel ekonomi kavramı ortaya çıkmıştır. Döngüsel ekonomide temel amaç kar elde etmek değil doğal kaynağın verimli bir şekilde kullanıldığı, üretimde çevreye verilen zararın en aza indirildiği, üretim aşamasında ve tüketim sonrasında ortaya çıkan atıkların azaltıldığı ve yeniden değerlendirildiği bir üretim yapısını ifade etmektedir.

2015 yılında Avrupa komisyonu tarafından oluşturulan "Döngüsel Ekonomi için AB Eylem Planı" 'nda AB üye ve aday ülkeleri için geri dönüşüm kapasitelerinin artırılması ve atık yönetiminin iyileştirilmesi gibi önemli hedefler koyulmuştur. Bu kapsamda atık yönetiminde ve geri dönüşümünde önemli gelişmeler yaşanmıştır ancak bu gelişmeler yeterli düzeye ulaşamamaktadır. Bu çalışmada Türkiye ve AB ülkelerindeki atık yönetim sürecinin incelenmesi amaçlanmıştır. AB üyesi ülkelerde geri dönüşüm oranı 2015 yılında %44,9 iken 2021 yılında %48,7 düzeyine çıkmıştır. Türkiye'de aynı yıllarda bu oran 9,2'den %12,3'e yükselmiştir. Bu oranlar Türkiye'nin atık geri dönüşüm alanındaki ilginin arttığını ancak olması gereken seviyelerin çok gerisinde kaldığını göstermektedir. Türkiye'de belediyeler tarafından toplanan atıkların bertaraf ve geri kazanım yöntemlerinden olan vahşi depolama alanlarına (Belediye çöplüğü) gönderilen atıkların, toplam atıklar içerisindeki payı 2020 yılı itibari ile yaklaşık %17 civarındadır. Bu da oluşturulan atıkların önemli bir kısmının hala çevreye zarar verici şekilde yönetildiğini göstermektedir. Döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşma yolunda öncelikle atıkların kontrollü bir

şekilde toplanıp çevreye etkisinin azaltılması daha sonra ise geri dönüşüm sektörlerine verilen desteklerin arttırılması ile atıkların depolama sahasına varmadan azaltılması ile kaynak verimliliği ve ekonomik etkinlik sağlanmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Atık Yönetimi, Döngüsel Ekonomi, Atık Geri Dönüşümü

INVESTIGATION OF WASTE MANAGEMENT PROCESS IN TURKEY AND EU COUNTRIES WITHIN THE FRAMEWORK OF CIRCULAR ECONOMY

Zeynep Ceylan[1], Dilek ÖZDEMİR[2], Faruk ŞAHİN[3]

[1]Atatürk University Department of Environmental Engineering, zceylan@atauni.edu.tr

[2]Atatürk University Faculty of Economics and Administrative Sciences, pdilek@atauni.edu.tr, 04422312065, 0000-0002-8048-7730

[3]Atatürk University Faculty of Economics and Administrative Sciences, faruksahin@atauni.edu.tr, 05443010052, 0000-0002-9708-9085

The industrial revolution is seen as an important turning point in the rapid increase in the human population. In production until this period, both daily needs could be met and trade could be carried out. However, the rapid increase in the human population leads to an increase in the variety and quantity of needs. The increase in the variety and quantity of needs can be met through mass production that emerged after the industrial revolution. With mass production, the demand arising from population growth has been met, but in the following period, negative effects such as the rapid depletion of natural resources, increased environmental degradation and climate change have emerged. This production model, which focuses only on economic profit while ignoring environmental degradation, is called the linear economy model. In the linear economy model, a process that goes from raw materials to waste (natural resource-production-consumption-waste) is processed. This process is seen as one of the most important causes of global warming as it rapidly increases environmental degradation while reducing natural resources. As a result of the rapid depletion of natural resources, the development of environmental awareness and technological innovations in production methods, the concept of circular economy has emerged. The main purpose of the circular economy is not to make a profit, but to use natural resources efficiently, minimize the damage to the environment in production, reduce and reuse the wastes generated during the production phase and after consumption.

In 2015, the "EU Action Plan for the Circular Economy" established by the European Commission set important targets for EU member and candidate countries such as increasing recycling capacities and improving waste management. In this context, there have been significant developments in waste management and recycling, but these developments cannot reach a sufficient level. This study aims to examine the waste management process in Turkey and EU countries. While the recycling rate in EU member countries was 44.9% in 2015, it increased to 48.7% in 2021. In Turkey, this rate increased from 9.2% to 12.3% in the same years. These rates show that Turkey's interest in waste recycling is increasing, but remains far behind where it should be. The share of waste sent to wild landfills (municipal dumpsites), which is one of the disposal and recovery methods of waste collected by municipalities in Turkey, in total waste is around 17% as of 2020. This shows that a significant portion of the waste generated is still managed in an environmentally damaging way. In order to achieve circular economy targets, resource efficiency and economic efficiency should be ensured by first collecting waste in a controlled manner and

reducing its impact on the environment, and then reducing waste before it reaches the landfill by increasing the support given to the recycling sectors.

Keywords: Waste Management, Circular Economy, Waste Recycling

TIBBİ ATIKLARIN TOPLANMASI, TAŞINMASI VE BERTARAFINDA İSTANBUL ÖRNEĞİ

Burcu TAŞKINOĞLU
İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Çevre Koruma ve Kontrol Daresi Başkanlığı, Atık Yönetimi Şube Müdürlüğü, burcu.taskinoglu@ibb.gov.tr

Tıbbi Atıkların Toplanması, Taşınması

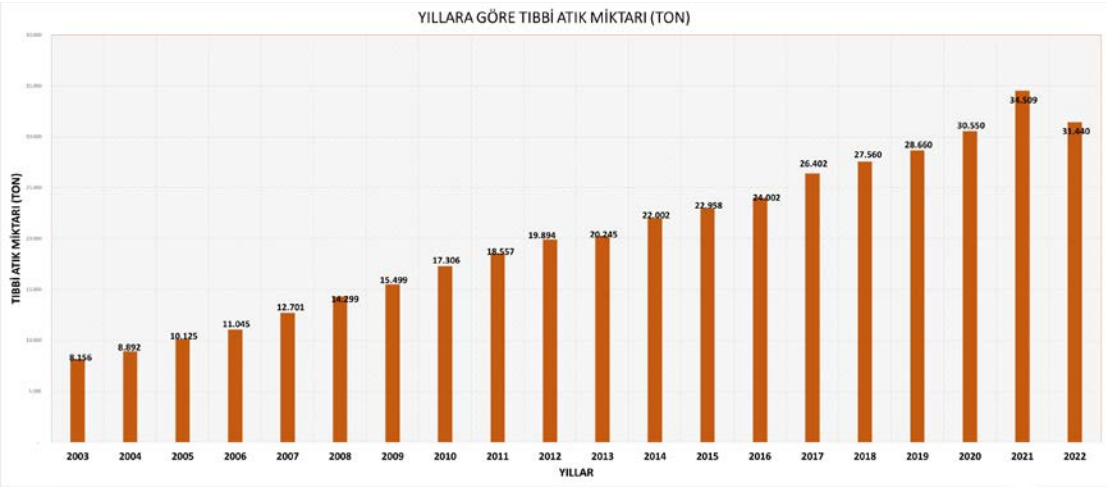
İstanbul'da tıbbi atıklarının toplanması, taşınması ve bertarafı hizmeti, 29959 sayılı 25.01.2017 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği doğrultusunda yürütülmektedir. Sağlık kuruluşlarında Yönetmelik gereğince diğer atıklardan ayrı toplanmış tıbbi atıklar, bu iş için eğitilmiş, özel iş kıyafetleri ile muhafazası sağlanmış personelle toplanıp, bu işe uygun araçlarla toplanmakta, taşınmakta ve bertaraf tesislerinde bertaraf edilmektedir.

İstanbul'da tıbbi atık toplama hizmeti verilen sağlık kuruluşu sayısı 10.009 adettir. Bunların 251 tanesi hastane olup, diğerleri tıbbi atık üreten muayenehaneler, poliklinikler, tıp merkezleri, laboratuvarlar vb. yataksız sağlık kuruluşlarıdır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından hastane sayısı olarak Türkiye genelinin yaklaşık %20'sine ve tıbbi atık miktarı olarak ise %25'ine hizmet verilmektedir.

Tıbbi atık toplama, taşıma ve bertarafı hizmeti, 195 personel ve 64 adet lisanslı ve Yönetmelikte belirtilen şartları sağlayan tıbbi atık aracı ile Avrupa Yakasında Eyüpsultan ve Kıraç, Asya Yakasında Hekimbaşı ve Küçükbakkalköy olmak üzere dört ayrı lokasyondan yürütülmektedir (Şekil 1).

Şekil 1. Tıbbi Atık Personeli ve Araçları

Tıbbi atıkların sağlık kuruluşlarından toplanması ve bertaraf tesislerine taşınması işlemleri, optimum şekilde iş emirlerinin oluşturulması amacıyla belli bir rota optimizasyon çalışması ile sağlanmaktadır. Avrupa ve Asya yakasında toplamda 98 adet rota oluşturulmuştur. Rota dışında gelen acil telefon ve mailler olduğunda müdahale edilerek tıbbi atıklar programa dahil edilmekte ve alınması sağlanmaktadır. 2022 yılında İstanbul'da 34.401 ton (günde yaklaşık 86 ton) tıbbi atık toplanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Yıllara Göre Tıbbi Atık Miktarı

Tıbbi atık miktarlarının kayıt altına alınması, yıllık atık beyanı ve kütle-denge bildirimi işleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Entegre Çevre Bilgi Sistemi (EÇBS) içinde oluşturmuş olduğu Atık Yönetim Uygulaması (Atık Beyan Sistemi (TABS) / Mobil Atık Takip Sistemi (MoTAT) / Kütle Denge Sistemi (KDS)) üzerinden online olarak yapılmaktadır.

Tıbbi Atıkların Bertarafı

<u>Odayeri Atık Yakma Tesisi</u>

İBB sınırları içinde tıbbi atık üreten sağlık kuruluşlarının tıbbi atıkları özel tıbbi atık araçları ile toplanmakta ve tıbbi atıkların bir kısmı 1995 yılında faaliyete başlayan ve kapasitesi 24 ton/gün olan Odayeri Atık Yakma Tesisinde bertaraf edilmektedir (Şekil 3).

Şekil 3. Odayeri Atık Yakma Tesisi

Herhangi bir kimyasalla muamele görmüş patolojik atıkların yakılarak bertaraf edilmesi zorunludur. Tıbbi atıkların yakılarak bertaraf edilmesinde, 6.10.2010 tarihli ve 27721 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik hükümlerine uyulmaktadır. Yakma işlemine tabi tutulacak tıbbi atıklar içinde; yüksek düzeyde civa ve kadmiyum içeren atıklar, gümüş tuzları içeren radyolojik atıklar, ağır metaller içeren ampuller ve basınçlı kaplar bulunmaması gerekmektedir.

Atık Yakma Tesisinde bertaraf edilen tıbbi atıklar, 1000°C ile 1200°C arasında yakılmakta ve yanma sonucunda hacimsel olarak %95, kütlesel olarak %75 azaltılmaktadır.

Tıbbi atık araçları ile tesise getirilen tıbbi atıklar, el değmeden bunkerlere dökülmekte ve bunkerlerden vibrasyon yolu ile titreşimli konveyör sistemine aktarılmaktadır. Tıbbi atıklar daha sonra malzemesi paslanmaz çelik (Cr-Ni) olan titreşimli konveyör kanalları ile (Şekil 4) el değmeden döner fırına beslenmektedir.

Şekil 4. Titreşimli Konveyör Sistemi

Döner fırın (Şekil 5) iç yüzeyi refrakter malzeme ile kaplanmış olup, yanma sıcaklığını min. 850 °C'de tutan bir brülör ile teçhiz edilmiştir. Yakma fırınının içerisinde her bir ton atığın asgari alıkonma süresi 1 saattir.

Tıbbi atığın yakılması ile oluşan küller, I. Yanma Odası altındaki özel bir havuzun içerisine alınmakta, burada soğutulup paslanmaz çelikten imal edilmiş konveyör ile dışarıda bulunan taban külü toplama haznesine aktarılmaktadır. I. Yanma Odası, atık gaz ile taban küllerinin ayrıldığı, Döner Fırından II. Yanma Odasına geçiş noktasıdır.

Yanma sonrasında oluşan baca gazı ise, döner fırından ikinci yanma odasına gönderilir (Şekil 6). İkinci yanma odası, sıcaklığı 1100 °C üzerinde tutan brülör ile teçhiz edilmiştir. Döner Fırın gibi II. Yanma Odasının da içi özel refrakter malzeme ile kaplanmıştır. Bu sayede 1200 °C gibi yüksek sıcaklıklarda çalışılabilmekte ve furan ve dioksin gibi kanserojen özellikli zararlı gazların oluşumunun önüne geçilmektedir. Baca gazlarının tamamıyla yanması için ikinci yakma odasında bekletilme süresi min. 2 saniyedir.

Şekil 5. Döner Fırın

Şekil 6. İkinci Yanma Odası

1200°C'ye ulaşan atık gaz; buhar kazanı, kızdırıcı, ekonomizer ve su püskürtme kulesinden geçerek yaklaşık 120°C'ye düşmektedir. Isı enerjisinden faydalanılarak bu üniteler sayesinde tesiste bulunan buhar türbininin elektrik üretmesi için gerekli buhar üretilmektedir. Yakma Tesisi, tıbbi atık bertaraf tesislerinin ve idari binaların tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilecek; 540 kW'a kadar elektrik üretim kapasitesine sahiptir. Ayrıca, 3 Adet kuru tip radyatör ile tesisin soğutma ihtiyacı sağlanmaktadır.

Yanma sonucu oluşan gazlar buhar üretim sisteminden geçtikten sonra arıtma sistemine gönderilmektedir. Atık gazların arıtımı için kuru kalsiyum hidroksit [$Ca(OH)_2$] ve toz aktif karbon kullanılmakta ve bu kimyasallar havalı (pnömatik) taşıma sistemi ile reaktöre dozlanmaktadır. Reaktörden çıkan ve baca gazı arıtımından kaynaklanan reaksiyon kalıntıları ile uçucu kül, toplam 210 adet filtre içeren mevcut filtrasyon ünitesinde torbalı membran filtrelerden geçirilerek

Yönetmelikte (06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik) belirtilen değerler sağlanmaktadır.

Her üç ve altı ayda bir akredite laboratuvarlara gerekli ölçümler (dioksin-furan, partikül, yanma gazları CO,CO_2,SO_2,O_2,NO_X, HCl, HF, toz gibi) yaptırılarak Baca Gazı Emisyonları kontrol altında tutulmaktadır. Arıtılmış atık gazlar 40 metre yüksekliğindeki bacadan atmosfere verilmektedir.

Atıkların yakılması sonucu oluşabilecek kirletici gazların tespiti, baca üzerine kurulu ölçüm sistemleri ile anlık olarak takip edilmektedir. Ölçülen değerler özel bir yazılım ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı izleme sistemine aktarılmaktadır.

Tesis, otomasyon sistemi ile tam otomatik çalışmakta olup, tüm ünitelerin kontrolü ve sürekli emisyon ölçüm sistemi ile izlenmesi kontrol odasından 7/24 yapılmaktadır (Şekil 7).

Şekil 7. Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemi

İBB Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi

2013 yılında faaliyete başlayan İBB Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi'nin (Şekil 8) kapasitesi 6 ton/saattir (144 ton/gün).

Şekil 8. Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi

Toplanan tıbbi atıkların diğer bir kısmı ise, Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin "*Tanımlar*" alt başlıklı 4. Maddesinde belirtilen özelliklere sahip enfeksiyon yapıcı atıklar ile kesici-delici atıkları içerecek şekilde, sterilizasyon işlemine tabi tutularak zararsız hale getirilmektedir ve zararsız hale getirilen bu atıklar 26.03.2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte tanımlanan II. Sınıf Düzenli Depolama Alanlarında depolanarak bertaraf edilmektedir.

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin "*Enfeksiyon Yapıcı Atıkların Sterilizasyonu*" başlıklı 17. Maddesi gereği sterilizasyon işlemine tabi tutulacak atıkların içinde herhangi bir kimyasalla muamele görmüş patolojik atıklar ile uçucu ve yarı uçucu organik maddeler ve cıva başta olmak üzere kimyasal maddeler, genotoksik/sitotoksik ajanlar, radyolojik atıklar ve basınçlı kaplar bulunmaması gerekmektedir.

Tesise getirilen tıbbi atıklar bunker alanına boşaltılıp, atık taşıma konveyörleri (Şekil 9) ile özel teflon malzemeyle kaplı konteynerlere yüklenmekte ve zincirli konveyörler yardımıyla, 5'li gruplar halinde otoklavların içerisine yüklenmektedir.
Tesiste 4 adet otoklav cihazı bulunmaktadır. Tıbbi atıklar, her birinin kapasitesi 1,5 ton/saat olan otoklavların (Şekil 10) içerisinde 3 bar basınçta 145°C sıcaklıktaki buhar ile sterilizasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Otoklav toplam işlem süresi yaklaşık 45 dakikadır.
İBB Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi'nde parçalama ünitesi (Şekil 11) sonda olup, 2 adet parçalama ünitesi bulunmaktadır. Sterilize edilen ve evsel atık niteliği kazanan atıklar daha sonra atık parçalama ünitesine aktarılmakta ve daha küçük parçalar haline getirilmektedir.

Şekil 9. Konveyör Sistemi

Şekil 10. Otoklavlar

Şekil 11. Parçalama Ünitesi

Parçalanan sterilize edilmiş atıklar, otomatik olarak sıkıştırmalı kasalara yüklenmekte ve nihai bertarafı sağlanmak üzere evsel katı atık düzenli depolama sahasına gönderilmektedir.

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre; sterilizasyon işlemine tabi tutulan enfeksiyon yapıcı atıkların zararsız hale getirilip getirilmediği kimyasal ve biyolojik indikatörler kullanılarak test edilmelidir. Biyolojik indikatörler kullanılarak uygulanan sterilizasyon geçerlilik testleri haftalık olarak, kimyasal indikatörler kullanılarak uygulanan sterilizasyon geçerlilik testleri her sterilizasyon işleminde yapılmaktadır.

Sistemde; miktar, basınç, sıcaklık ve atığın işleme maruz kalma süresi olmak üzere tüm prosesler online olarak kontrol edilerek kayıt altına alınmaktadır (Şekil 12).

Şekil 12. Online Proses Kontrolü

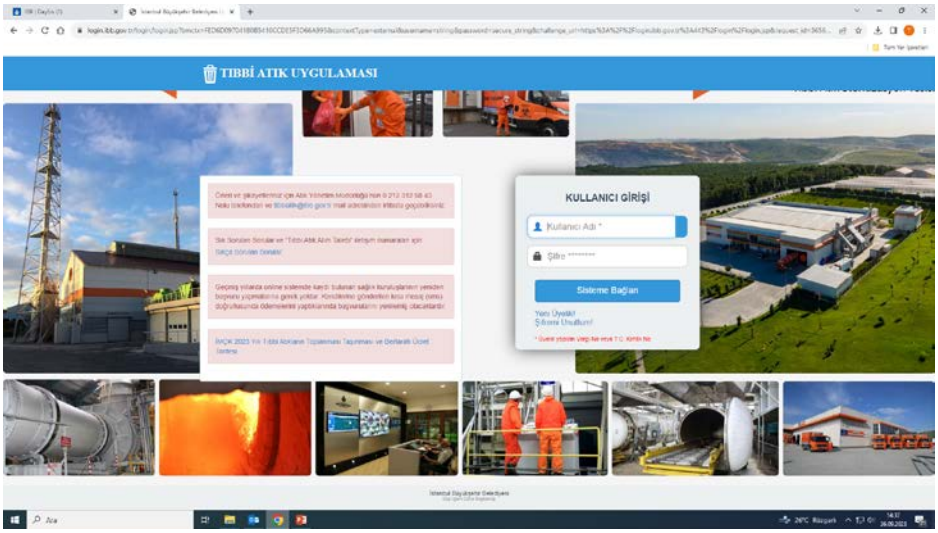
Tıbbi Atık Protokolü ve Tıbbi Atıkların Ücretlendirilmesi

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği doğrultusunda İstanbul'da her yıl bir sonraki yıla ait tıbbi atık bertaraf ücretleri İl Mahalli Çevre Kurulu (İMÇK) Kararı ile belirlenmektedir.

Tıbbi atık bertaraf ücretini hastaneler tartılan atık miktarına, diyaliz merkezleri toplam seans miktarına göre öderken hastaneler ve diyaliz merkezleri dışında tıbbi hizmet veren diğer tüm sağlık kuruluşları yıllık aidat usulü ödemektedirler.

Sağlık kuruluşları Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği gereğince tıbbi atık toplama-taşıma ve bertaraf hizmeti veren Belediye ile tıbbi atık protokolü yapmak zorundadır. Bu doğrultuda; sağlık kuruluşları İBB online tıbbi atık uygulaması üzerinden başvurularını yapmaktadırlar (Şekil 13).

Tıbbi atık aidat ücretlerini ödemekte ve tıbbi atık kabul belgelerini online sistemden e-imzalı bir şekilde indirebilmektedir (Şekil 14).



Şekil 13. İBB Online Tıbbi Atık Uygulaması

T.C.
İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE BAŞKANLIĞI
Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı
Atık Yönetimi Müdürlüğü

TIBBİ ATIK KABUL BELGESİ

Tarihi ve Sayısı : ..... Veriliş Nedeni : YENİLEME

Son Geçerlilik Tarihi : 31.12.2024

TIBBİ ATIK ÜRETİCİSİ SAĞLIK KURULUŞUNUN

Adı : ÖZEL MEDİEUROPE HOSPITAL

Ticari Unvanı : /

Vergi Dairesi/ Numarası : /

Telefonu : 0 850 400 40 40

Adresi : ATATÜRK, 1. İKİTELLİ CAD. NO:1/B1, 34307 KÜÇÜKÇEKMECE/İSTANBUL

SAĞLIK KURULUŞU TARAFINDAN BEYAN EDİLEN

Ünite Cinsi : YATAKLI SAĞLIK KURULUŞU

Brüt Toplam Alan (m²) : - İşyeri Helkim Sayısı : -

Personel Sayısı : - Hasta Yatak Sayısı : >20

Diyaliz Cihazı Sayısı : - Gezici Sağlık Aracı Sayısı : -

Saffet ALTINDAĞ
Atık Yönetimi Müdürü

Şekil 14. Tıbbi Atık Kabul Belgesi Örneği

Tıbbi Atık Kontrolleri

Tıbbi atık hizmeti verilen sağlık kuruluşlarına Belediyemiz ekiplerince düzenli olarak ziyaretler gerçekleştirilmektedir (Şekil 15). Bu ziyaretlerde; tıbbi atık toplanması-taşınması ve bertarafı işinin sağlık kuruluşlarından başlayarak sahada Yönetmelikte belirtilen kriterlere uygun yürütülüp yürütülmediği kontrol edilmekte olup, iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Ayrıca, tespit edilen uygunsuzluklar yetkili kurumlara bildirilmektedir.

Şekil 15. Tıbbi Atık Kontrolleri

AKILLI ŞEHİRLER

Günay Kocasoy

Başkan, Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi, İstanbul, Türkiye, kocasoy@retired.boun.edu.tr

Tüm dünyada çevre sorunları gündemin en önemli sorunları arasında yer almaktadır. Kuraklık, doğal kaynakların yok olması, katı atıklardan ve atıksulardan çevrenin ve denizlerin kirlenmesi, çarpık kentleşme, ekolojik dengenin bozulması sonucu yaşanan iklim değişikliği. Bütün bu olumsuzlukar ise şuursuzca artan nüfus yoğunluğu, teknolojik gelişmeler, toplumun tüketim alışkanlıklarının değişimi ve gerek kırsal alanlardan ve gerekse başka ülkelerden yoğun bir şekilde kentlere oluşan göçlerden kaynaklanmaktadır. İkinci Dünya Savaşından sonra doğal kaynakların ve doğanın korunmasına özen gösterilmeden, hiçbir önlem alınmadan süratli ve sürekli olarak sanayileşme çabalarına girişilmiş, sanayi devriminin gerçekleşmesi sağlanmıştır. Yeni teknolojilerin geliştirilmesi, dolayısı ile ülkelerin ekonomileri gittikçe güçlenirken şehirler hava kirliliği, su kirliliği, evsel ve tehlikeli atık kümeleri/yığınakları, iklim değişikliği ve orman ve yeşil alanların yokolması ile karşı karşıya kalmıştır. Ancak bütün bu olumsuzluklara neden olan en önemli faktörün bütün faaliyetlerimizin plansız ve de faaliyetlerimizin olumsuz etkilerinin gözardı edilerek gerçekleştilmesi, şehirlerimizi betonlaştırarak çarpık kentleşmeyi yaratmış olmamızı gözardı etmiş olmamızdır..

Çevre sorunlarının dünyayı tehdit eden boyutlara ulaşması, toplumların özellikle Z kuşağı olarak adlandırılan gençliğin baskısının sürekli olarak artması sonunda yetkililer gezegenimizin sürdürülebilirliği için bu önemli soruna çözüm arayısına girmişlerdir. Bu alanda yapılacak çalışmalar sadece bir konu üzerinde değil birçok konu üzerinde yoğunlaşmak zorundadır. Dünya nüfusunun yüzde 69-70'inin şehirlerde yaşadığı bilinmekte, 2050 yılında ise 9.5 milyara ulaşacağı tahmin edilen bu nüfusun yüzde 75'inin şehirlerde yaşayacağı öngörülmektedir. Bu durum ise şehirler taşıma kapasitelerin çok üzerinde bir nüfus yoğunluğu ile karşı karşıya kalacak, bölgesel ve merkezi yöneticileri sadece fiiziksel çevre sorunları ile değil, oluşacak göçlerden kaynaklanan sosyo-ekonomik sorunlarla da mücadele etmek zorunda kalacaklardır.

Değişik ülkelerin yetkilileri şehirleri sürdürülebilir bir geleceğe hazırlamak için bazı önlemleri planlanmaya ve uygulanmaya başlamışlardır. Bu şehirler için "çevre dostu şehirler", sürdürülebilir şehirler" ve "akıllı şehirler" gibi değişik terminolojiler kullanılmaktadır.Ülkeler gönüllü olarak belli sürelerde şehirlerindeki çevre kirliliğinin azaltılması konusunda hedefler belirrleyerek ilan etmektedirler. Hava kalitesi, atık kirliliği, gürültü kirliliği, doğa ve biyo çeşitliliği, iklim değişikliği, şehir alanlarının sürdürülebilirliğe uygun olarak kullanımı, enerji performansı, yeşil alanların artırılması, çevre dostu faaliyetlerin, yönetimin ve sürdürülebilir göç hareketlerinin planlanması, karbon emisyonlarının azaltılmasını hedefledikleri çevre kirlilikleri arasında yer almaktadır. Ülkeler 2030 ve 2050 yılları için hedefledikleri karbon emisyonlarının azaltılma miktarlarını beyan etmiş, "beşiktenten mezara" prensibi "beşikten beşiğe" prensibi olarak değiştirilmiş böylece "doğrusal ekonomi"den " döngüsel ekonomi"ye dönüş yapılmıştır.

Finlandiya'da nüfusu 120 000 olan Lahiti şehrinin yetkilileri karbon emisyonundaki azaltma hedeflerini 1990 yılındakinin yüzde 90 mertebesinde azaltmayı ve 2050 yılında tamamiyle nötr karbon emisyonuna ulaşmayı hedeflemektedirler. Yetkililer toplumları döngüsel ekonomi uygulaması ve toplumun gidecekleri yere yürümeleri, bisiklet ve/veya toplu taşıma vasıtaları kullanmalarını teşvik ederek "sıfır atık" hedefine ulaşmayı planlamaktadırlar. Lahiti şehrinin belirlediği hedef Finlandiyanın belirlediği hedeften 10 yıl, AB'nin hedeflediğinden ise 25 yıl daha öndedir. Lahiti şehri bu faaliyetlrinden ötürü "Avrupa Yeşil Başkent (kapital) Ödülü" ile taçlandırılmıştır.

Tebliğde şehirlerin renovasyonu, Amsterdam, San Francisco, Reykjavik ve Cape Town gibi doğa ostu şehirlerin kurulması için uygulanan kriterrler ve sürdürülebilirlik için gerekli planların hazırlanması ve uygulanması için uluslararası kuruluşlar tarafından yapılan finans destekleri detaylı olarak açıklanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şehirler beşikten beşiğe prensibi. çevre dostu şehirler, enerji performansı, karbon emisyonu

SMART CITIES

Günay Kocasoy

President, Turkish National Committee on Solid Wastes, İstanbul, Türkiye, kocasoy@retired.boun.edu.tr

Due to the increase in the population, development of technology, changing the consumption behavior of people and the massive immigration both from the rural areas to cities as well as from the other countries caused the deterioration of the environment extensively. After the World War II, industrialization activities had been continuously performed without taking any precaution for the protection of environment, prevention of pollution and preservation of natural resources. While the new technologies had been developing and the economy of the countries had been growing, all the cities had been suffering from heavy air pollution, water pollution, climate change and mountains of waste-municipal and hazardous–and deforestation

Experiencing the environmental disasters and the indications of the threat for the world and the pressure of the demand of the community especially of the Generation Z, the authorities of the countries started to look for solution for this global problem for the sustainability of the planet. At this combat the authorities should focus not only on one issue, but on many different issues. They have observed that almost 69-70 percent of the world population is living at the cities. It is estimated that the world population will be almost 9.5 billion and 75 per cent of it will be living at cities at 2050. This indicates that cities will be very crowded and both the central and the regional authorities will combat not only with the physical environmental problems, but also with the social-economic-adaptation problems of the immigrants

Authorities of the countries decided to plan and apply some necessary precautions to prepare the cities to be sustainable at future. The terminologies such as “environmentally friendly cities”, “sustainable cities” and “smart cities” are used for these cities. The countries declared their targets for the reduction of pollution at their cities voluntarily. Among combatting with the issues such as air quality, water quality, waste, noise, nature and biodiversity, climate change, sustainable usage of the areas, energy performance, green growth and environmentally friendly innovation, administration and sustainable mobility plans of immigrants, the authorities have been mostly focusing on the reduction of the carbon emissions. Countries have been declaring their targets for the reduction of carbon emissions for the years 2030 and 2050. The principle “cradle to grave” has been also abandoned and replaced with the principle “from cradle to cradle”. In other words, switching from “linear economy” to “circular economy” has been emerged.

As an example, the authorities of Lahti – a city with a population of 120 000 at Finland- declared their target as 90 percent reduction of the green gas emissions from the value of the year 1990 and will have neutral carbon at 2050. They are targeting to realize the “zero waste” by the application of circular economy and apply the sustainable transportation by encouraging people to walk, to ride bicycles, to ski and use public transportation, etc. The targets of Lahti are 10 years

ahead of the target of Finland and 25 years ahead of EU. Lahti was crowned with the “Europe Green Capital Award”.

At the final manuscript criteria and features for the renovation of the cities, plans to be made for the construction of sustainable cities and the commitments made by the authorities of eco-friendly cities of the world such as Amsterdam, San Francisco, Reykjavik, Cape Town will be presented in detail

Key Words: carbon reduction, cradle to cradle, energy performance, environmentally friendly cities, smart cities, sustainable cities

BÖLGESEL BAZDA KARAÇİ ŞEHRİNİN (PAKISTAN) BELEDİYE KATI ATIKLARIN KARAKTERİZASYONU

Taliye Bulut Ahmad[1], Tuba Hande Ergüder[2], Ayşegül Aksoy[3]

[1]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, bulut.taliye@metu.edu.tr

[2]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, etubahan@metu.edu.tr, ORCID:0000-0002-9669-171X

[3]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, aaksoy@metu.edu.tr, ORCID:0000-0003-0099-348X

Giriş

Etkili bir katı atık yönetiminin tasarlanması, üretilen katı atık miktarının tayini ve karakterizasyonu ile başlar. Uygun şekilde yönetilmesi gereken belediye katı atıklarının üretimi, dünyanın farklı şehirlerinde 0,11 kg/kişi.gün ile 4,54 kg/kişi.gün arasında değişmektedir (Kaza vd., 2018). Gelişmekte olan diğer birçok ülke gibi Pakistan da katı atık yönetiminde önemli zorluklarla karşılaşmaktadır. Yaklaşık 87.000 ton/gün'lük katı atığın, halk sağlığı ve çevrenin korunması ve sürdürülebilir kalkınma için işlenmesi gerekmektedir (Waste Management in Pakistan. SWITCH-Asia, t.y.). Pakistan'daki kentsel alanların yaklaşık %43-%60'ında atık toplama hizmetlerine erişim vardır (Nadeem vd., 2022). Ancak, sera gazı emisyonlarına ve diğer sorunlara katkıda bulunan vahşi depolama, ülkede bu atıklar için birincil atık bertaraf yöntemidir (Nadeem vd., 2022).

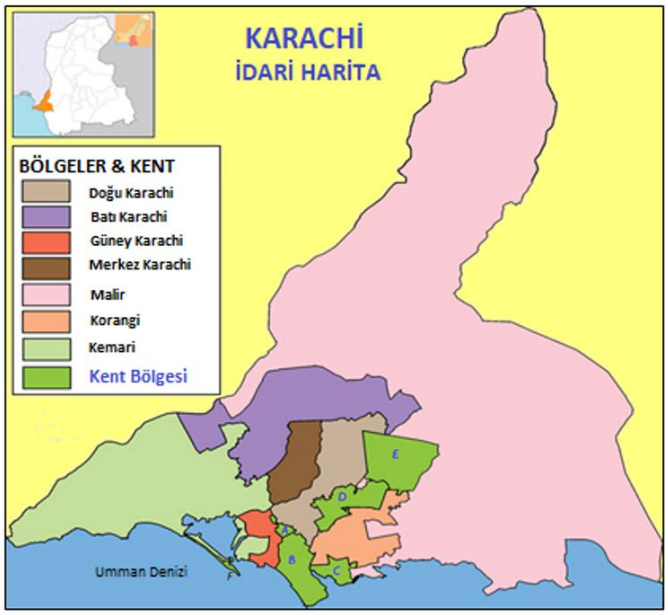
Sürdürülebilir bir atık yönetimi programı geliştirmek için ele alınması gereken zorluklar arasında güvenilir atık üretimi ve bileşimi verilerinin olmaması, yetersiz ve güncelliğini yitirmiş yasal ve düzenleyici mevzuat, yetersiz ekipman ve sınırlı teknik kapasite yer almaktadır. Ancak, diğer gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi, Pakistan'da da atıktan geri kazanılmış ürünler, kompost ve biyogaz gibi yan ürünlerin yararlı kullanımını ve ekonomik potansiyelini en üst düzeye çıkaracak teknolojileri kullanma isteği vardır. Bununla birlikte, atık türlerinin doğru bir şekilde ölçülmesi ve karakterizasyonu, etkili bir atık yönetimi programı tasarlamanın ilk adımlarıdır. Ek olarak, katı atığın bileşiminin değerlendirilmesi, kompostlama için uygunluğunun ve biyogaz ve enerji üretimi potansiyelinin belirlenmesi için kritik önem taşır.

Bu çalışmada, daha iyi bir katı atık yönetimi için potansiyel yöntemlerin belirlenmesi amacıyla Karaçi kentinin farklı bölgelerindeki çöplük alanlarından toplanan belediye katı atıklarının bileşimleri belirlenmiştir. Kompozisyonlardaki bölge bazındaki farklılıklar değerlendirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

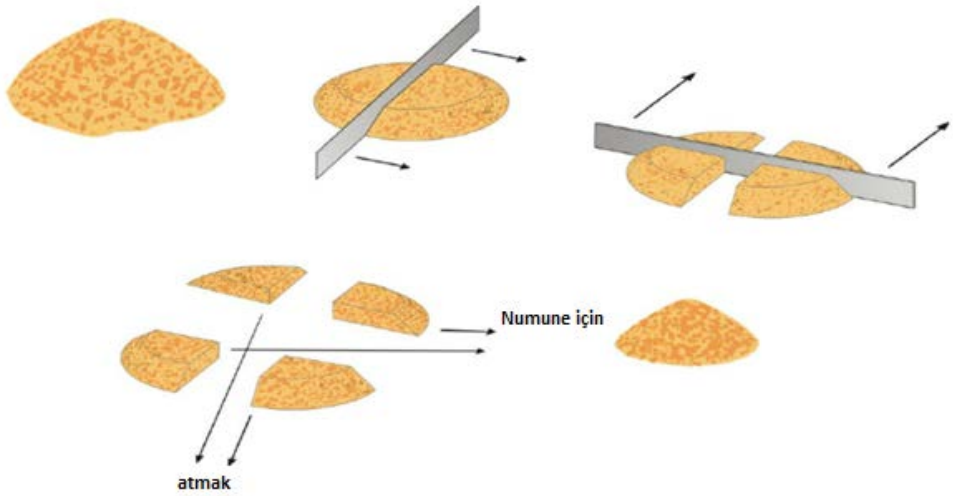
Katı atık karakterizasyonu için Karachi şehrine ait 5 farklı bölgede (Şekil 1) bulunan katı atık toplama istasyonlarından (Korangi bölgesindeki İmtiaz, Malir bölgesindeki Sharafi Goth, Güney Karaçi bölgesindeki Mewa Shah, Karaçi merkezdeki Dinga Morr, ve Batı Karaçi bölgesindeki Gutter

Baghicha atık toplama istasyonları), farklı atık toplama araçları ile alınan atıklar karakterizasyon yapılacak alana getirilmiştir.



Şekil 5. Karaçi idari haritası

Atık toplama aracı alanı terk etmeden önce atığın hangi noktadan alındığı, atık toplama aracının hacmi, sıkıştırmalı olup olmadığı, modeli vs. gibi bilgiler toplanmıştır. Bu çalışmadaki atık karakterizasyonu, ASTM-D-5231-92 (2016)'ya (işlenmemiş belediye katı atıklarının bileşimini belirleme prosedürleri) göre yapılmıştır. Kasım-Aralık 2022'de, 0,3 ile 0,5 ton aralığında atık taşıyan kamyonlardan, ASTM-D-5231-92 (2016)'da belirtilen yığın oluşturma ve dörde bölme prosedürü (Şekil 2) uygulanarak her bir seferde 91 ile 136 kg aralığında temsili numuneler alınmıştır. Örnekleme her bir bölge için 7 gün boyunca sürdürülmüştür.

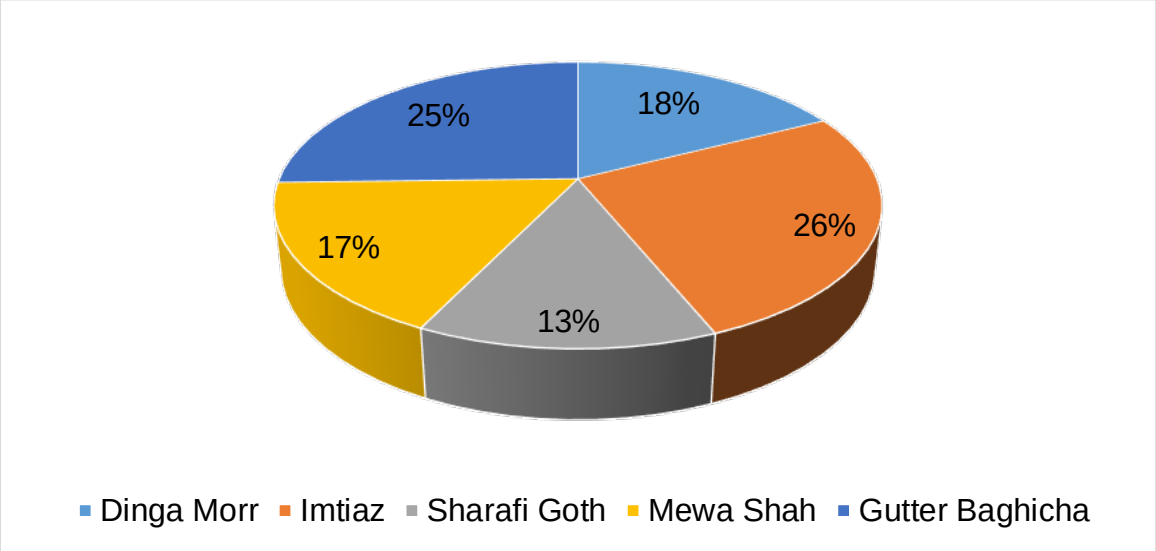


Şekil 6. Yığın oluşturma ve dörde bölme prosedürü

Manuel ayırma ve karakterizasyon prosedürü, sağlanan yönergelere uygun olarak gerçekleştirilmiştir (ASTM D-5231-92, 2016). Sınıflandırılan atıklar tartılmış ve atık kompozisyonu ağırlık bazında belirlenmiştir.

Bulgular ve Sonuçlar

Katı atık toplama istasyonlarından toplanan numunelerin farklı bölgelerde bulunan atık toplama istasyonlarına göre dağılımı Şekil 3'de verilmiştir. Numunelerin toplam ağırlıkları ve örnekleme tarihleri Tablo 1'de belirtilmiştir.



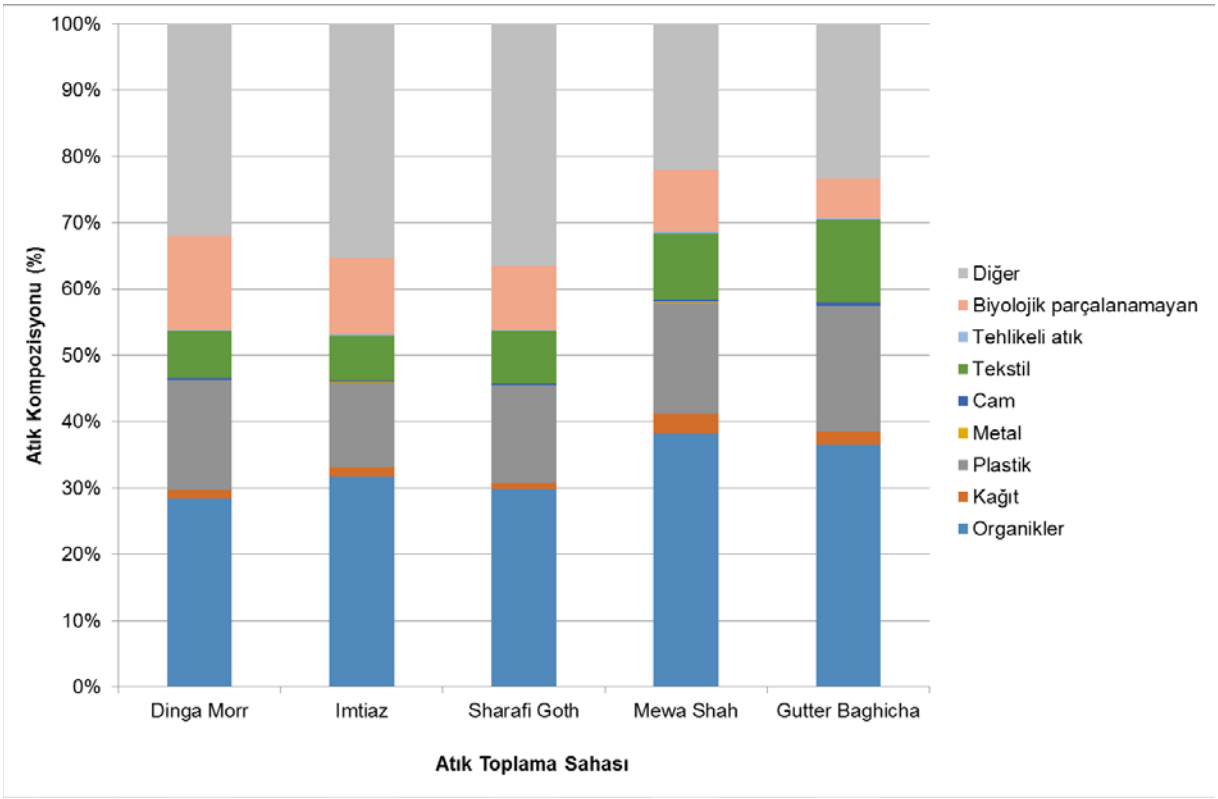
Şekil 7. Katı atık toplama istasyonlarından toplanan numunelerin ağırlık bazında dağılımı

Tablo 2. Atık değerlendirmesi için numune alma özellikleri

Atık Toplama Sahası - Bölge	Numune Ağırlığı (kg)	Örnekleme Tarihi
Imtiaz – Korangi Bölgesi	491	18 - 24 Kasım, 2022
Sharafi Goth – Malir Bölgesi	386	18 - 25 Kasım, 2022
Mewa Shah – Güney Karaçi Bölgesi	327	02 - 08 Aralık, 2022
Dinga Morr - Merkez Karaçi Bölgesi	514	16 - 24 Kasım, 2022
Gutter Baghicha – Batı Karaçi Bölgesi	347	02 - 09 Aralık, 2022

Şekil 4, farklı atık toplama sahalarından toplanan atıkların ağırlık bazında kompozisyonlarının karşılaştırmasını göstermektedir. Mewa Shah ve Gutter Baghicha'dan gelen atıkların, diğer atık toplama istasyonlarına göre farklılaştığı gözlemlenmiştir. Organik atıklar Gutter Baghicha ve

Mewa Shah katı atık toplama sahalarında daha fazladır. Cam ve metal tüm istasyonlarda nispeten az miktarda iken, plastikler %13-%17 değerlerine ulaşmaktadır. Elek altı malzemeden oluşan ve "diğer" olarak tanımlanan materyaller önemli bir yüzdeye sahiptir. Bunların içinde küçük parçacık boyutlu organiklerin bulunması mümkündür. Ancak bu kategori altındaki materyaller içinde taş, toprak, kül ve diğer maddeler de mevcuttur. Biyolojik olarak parçalanamayan atıkların özellikle Dinga Morr bölgesi başta olmak üzere tüm bölgelerde anlamlı yüzdelere ulaştığı görülmüştür.



Şekil 8. Farklı atık toplama sahalarındaki atıkların ağırlık bazındaki kompozisyonlarının karşılaştırılması

Sürdürülebilir atık yönetimi kapsamında, gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi Pakistan'da da atıkların ve atıklardan elde edilecek ürünlerin yararlı kullanımını ve ekonomik potansiyelini en üst düzeye çıkaracak teknolojilerin benimsenmesi yönünde bir eğilim söz konusudur. Elek altı kalan atıkların bir bölümünün de organik içerikli olduğu kabulüyle, kompostlama ve biyogaz üretimi uygulanması potansiyeli mevcuttur. Ancak bu yöntemlerin başarılı bir şekilde uygulanması, atık karakterizasyonuna bağlıdır. Örnekleme çalışmalarının devam ettirilmesine gerek vardır. Karakterizasyondaki bölgesel farklılıklar, atık yönetimi tasarlanırken dikkat edilmesi gereken hususlardan biridir.

Anahtar Kelimeler: belediye katı atığı, atık karakterizasyonu, atık üretimi

Referanslar

ASTM D-5231-92(2016) - Standard Test method for determination of the composition of unprocessed municipal solid waste. (n.d.). Retrieved from https://webstore.ansi.org/standards/astm/astmd5231922016.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. 2018 What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC. World Bank.

Nadeem, K., Shahzad, S., Hassan, A., Younus, M. U., Gillani, S. S. A., & Farhan, K. 2022 Municipal solid waste generation and its compositional assessment for efficient and sustainable infrastructure planning in an intermediate city of Pakistan. Environmental Technology, 44 (21) 3196–3214.

Waste management in Pakistan. SWITCH-Asia. (n.d.). SWITCH-Asia. Retrieved from https://www.switch-asia.eu/resource/waste-management-in-pakistan/.

DISTRICT-WISE MUNICIPAL SOLID WASTE CHARACTERIZATION IN KARACHI CITY (PAKISTAN)

Taliye Bulut Ahmad[1], Tuba Hande Ergüder[2], Ayşegül Aksoy[3]

[1]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800 Ankara, bulut.taliye@metu.edu.tr

[2]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800 Ankara, etubahan@metu.edu.tr, ORCID:0000-0002-9669-171X

[3]Middle East Technical University, Department of Environmental Engineering, 06800 Ankara, aaksoy@metu.edu.tr, ORCID:0000-0003-0099-348X

Designing effective solid waste management starts with the quantification and characterization of the solid waste produced. The production rate of municipal solid waste, which must be managed properly, varies between 0.11 kg/person.day and 4.54 kg/person.day in different cities of the world. Like many other developing nations, Pakistan also encounters significant challenges in solid waste management. Approximately 87,000 tonnes/day of waste needs handling for public health and environmental protection. About 43%-60% of urban areas have access to waste collection services in Pakistan. Open dumping is the primary waste disposal method, contributing to greenhouse gas emissions and other problems related to improper waste handling. Lack of reliable waste generation and composition data, deficient and outdated legal and regulatory framework, inadequate equipment, and limited technical capacity are among the challenges that should be addressed to develop a sustainable waste management program. As for other developing countries, there is a will to adopt technologies to maximize beneficial usage and economic potential of waste and its byproducts, such as compost and biogas. However, accurate quantification and characterization of waste types are the initial steps for designing an effective waste management program. Additionally, assessing the composition of solid waste is vital for determining its suitability for composting and its potential for biogas and energy production. In this study, the compositions of municipal solid waste collected from dumping sites in different districts of Karachi City in Pakistan were evaluated to provide insight into potential methods for better solid waste management. Wastes divided into several subcategories were then assigned to general classes. District-wise differences in compositions were evaluated. Results pointed out important differences in the compositions and physical properties.

Keywords: municipal solid waste, waste characterization, waste generation

LABORATUVARLARDA ATIK YÖNETİMİ İÇİN İZLENECEK YOL

Duygu Totur Pamık[1], Ayşe Filibeli[2]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, 35390 Buca, İzmir, Türkiye, duygu.totur@deu.edu.tr, 0000-0003-1411-3500

[2]Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, 35390, Buca, İzmir, Türkiye, ayse.filibeli@deu.edu.tr, 0000-0003-2475-7246

İnsan sağlığına ve çevreye tehdit oluşturabilecek en önemli atık kaynaklarından bir tanesi laboratuvar atıklarıdır. Laboratuvarlarda çok çeşitli türlerde analiz yapılmakta ve çok fazla sayıda analiz metodu uygulanmaktadır, dolayısıyla da çok farklı türlerde atık meydana gelmektedir. Bir laboratuvarda ilgili yönetmeliklere göre atık yönetim planı oluşturmak çok önemlidir. Her laboratuvarda mutlaka atık sorumlusu belirlenmelidir. Bu sorumlu atık yönetim sistemindeki tüm aşamaları uygun bir şekilde uygulamak, organize etmek ve denetlemekten sorumludur. Atık yönetimindeki ilk basamak atıkları uygun bir şekilde sınıflandırmaktır. Laboratuvar atıkları kimyasal, biyolojik ve radyoaktif olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir [1]. 2 Nisan 2015 tarihli, 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliğine göre atıklar önce sınıflandırılarak uygun kodlama yapılmalı ve kodlama yapılan etiket ilgili atığın konulduğu kaba yapıştırılmalıdır. Daha sonra atıklar, laboratuvara tahsis edilmiş geçici depolama alanına götürülmelidir. Geçici depolama alanındaki atıkların geri kazanımı ve bertarafı için, bakanlık tarafından lisans verilmiş, yetkili firmalarla sözleşme imzalanması zorunludur [2]. Tüm bu işlemlerin yanısıra, en önemli konu laboratuvarda oluşan atığı azaltmaktır. Daha az atık oluşturmak için kullanılacak yöntemlerle ilgili laboratuvar sorumlularının ilgili eğitimleri vermesi gerekmektedir. Ayrıca kimyasalları satın alırken daha az tehlikeli kimyasalların seçilmesi, eğer ki tehlikeli kimyasalların kullanılması şart ise daha az miktarlarda satın alınması gerekmektedir [3]. Laboratuvarda bulunan tüm personelin insan sağlığına ve çevreye en az zarar verecek şekilde hareket etmesi, tüm analiz basamaklarını bu bilinçle yapması, ilgili yönetmelik ve prosedürlerdeki talimatları uygulaması elzemdir.

Bu bildiri kapsamında laboratuvarlarda atık yönetimi uygulamalarına örnekler verilerek detaylı bir şekilde tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Laboratuvar, Atık Yönetimi, Tehlikeli atık

THE WAY TO FOLLOW FOR WASTE MANAGEMENT IN LABORATORIES

Duygu Totur Pamık[1], Ayşe Filibeli[2]

[1]Dokuz Eylul University, Department of Environmental Engineering, Tınaztepe Campus, 35390 Buca, İzmir, Türkiye, duygu.totur@deu.edu.tr, 0000-0003-1411-3500

[2]Dokuz Eylul University, Department of Environmental Engineering, Tınaztepe Yerleşkesi, 35390, Buca, İzmir, Türkiye, ayse.filibeli@deu.edu.tr, 0000-0003-2475-7246

One of the most important waste sources that may pose a threat to human health and the environment is laboratory waste. Many different types of analyzes are performed in laboratories and many analysis methods are applied, resulting in many different types of waste. It is very important to create a waste management plan in a laboratory according to relevant regulations. A waste manager must be determined in every laboratory. This responsible person is responsible for properly implementing, organizing and supervising all stages in the waste management system. The first step in waste management is to classify waste appropriately. Laboratory waste can be divided into three classes: chemical, biological and radioactive [1]. According to the Waste Management Regulation published in the Official Gazette No. 29314 dated April 2, 2015, wastes must first be classified and appropriate coding must be done and the coded label must be pasted on the container where the relevant waste is placed. The waste should then be taken to the temporary storage area allocated to the laboratory. For the recovery and disposal of waste in temporary storage areas, it is mandatory to sign a contract with authorized companies licensed by the ministry [2]. In addition to all these processes, the most important issue is to reduce the waste generated in the laboratory. Laboratory managers must provide relevant training on the methods to be used to create less waste. In addition, when purchasing chemicals, less hazardous chemicals should be chosen, and if hazardous chemicals must be used, they should be purchased in smaller quantities [3]. It is essential that all personnel in the laboratory act in a way that will cause the least harm to human health and the environment, carry out all analysis steps with this awareness, and follow the instructions in the relevant regulations and procedures. In this study, waste management practices in laboratories will be discussed in detail.

Keywords : Laboratory, Waste Management, Hazardous Wastes