



Yerli sensörler sayesinde günler süren bakteri testlerine son

Yerli Teknoloji Ofisi
(YTO) «

Su Kayıp Kaçaklarında
Yönetim Stratejileri ve
Ar-Ge Faaliyetleri «

Sektörel
Etkinliklerde
Ar-Ge «

Fatih TURAN İSKİ Genel Müdürü



Bereket, şifa ve uğur getirdiğine inanılan yağmurların yağdığı Nisan ayındayız. Nisan yağmurlarıyla ilgili; bir kapta toplanıp içilmesinden para keselerinin yikanmasına kadar, halk inanışlarında pek çok şaşırtıcı âdet var. İSKİ'nin bilgi birikimi ve iş tecrübesinin Nisan yağmurlarıyla buluşması ise, bu yıl ilk defa olarak "Su ve İnovasyon" bereketini getirdi.

Su ve İnovasyon, yepyeni bir bülten. Muhtevasında su ve atıksu konularında akademik makaleler, tecrübeleriyle Türkiye'nin kazancı olan İdareimiz mühendislerinin incelemeleri, İSKİ AR-GE Müdürlüğü'nün, İSKİ Yerli Teknoloji Ofisi'nin faaliyetleri yer alıyor.

Su ve İnovasyon; akademi dünyamızın su ve atıksu bilgilerinin yaygınlaşmasına imkan sağlayacak, İdareimiz faaliyetlerinin takibini kolaylaştıracak ve nihayetinde iş sahamızda büyük bir boşluğu dolduracak. Ama bu bülten en çok, su ve atıksu sektörünün fikir ve teknolojisiyle, yerli ve milli bir hüviyete kavuşmasına hizmet edecek. Çünkü ekonomiden siyasete dünyanın yeniden şekillendiği bir zamanın eşiğinde, yerli ve milli teknoloji her alanda en büyük zaruretlerimizden biri.

Devletimizin itici gücü ile İSKİ olarak, en basit pompadan en karmaşık yazılıma kadar "yerli ve milli teknoloji"de ısrar ediyoruz. Gelecek yüzyılı; yüksek teknoloji, nesnelerin interneti, büyük veri, yapay zekâ, uzaktan erişim ve yönetim kavramlarının belirleyeceğini biliyoruz. Ülkemizin en büyük su kurumu sıfatına yaraşır bir şekilde bu konuda büyük adımlar attık. Önce Yerli Ürün Çalıştayı'nı düzenledik. Peşinden İdareimiz bünyesinde Yerli Teknoloji Ofisi'ni kurduk.

Yarının "Akıllı Şebeke"si için çalışmalara başladık. Dünya ölçeğinde su kaynaklarının giderek azalması paralelinde gelişen membran ve geri kullanım teknolojilerinin yerli üretimine ayrıca eğiliyoruz. Sadece başlangıç olarak nitelendirdiğimiz bütün bu çalışmalar, yerli ve milli kimliği ile, ülkemiz su ve atıksu sektörüne yön verecek büyük uygulamalar.

Geleceğe doğru bakarken, ne bugünü ne de dünü unutuyoruz. İdareimiz; Sayın Cumhurbaşkanımızın belediye başkanlığıyla başlayan, suya atılan bir taşın dalgaları gibi, bütün Türkiye'yi etkileyen o büyük değişimin çekirdeğinde yer alan bir kurum. Bugün geldiği noktada ise faaliyetlerin bütünü ile dünyanın en büyük su kurumlarından biri.

Bu başarı, İstanbul ve suyun ilişkisi çerçevesinde, tıpkı suyun o eşsiz devinimi gibi sürekli bir yenilenme gerektiriyor. İstanbul'un ihtiyaçlarının her şartta hesaplanması, suyun her daim ulaşılabilir olması, yenilenen içmesuyu ve atıksu teknolojilerinin takibi, dikkat ve süreklilik arz ediyor. Yatırım, planlama, geleceğin suyuna dair çalışırken hiç aklımızdan çıkarmıyoruz; su hayatın olmazsa olması. Büyük şairimiz Necip Fazıl'ın "Suda ezel fikri, ebed duyusu" mısraında dile getirdiği gibi, var oluşun asıl unsurlarından biri, hayat kaynağı. Görünenin ötesinde manevi anlamlara sahip.

Su ve İnovasyon yılda bir defa yayımlanacak. Ama madem ki "Nisan yağar, yıl övünür" denir; biz de suyun manevi anlamlarından çokça nasibini alan bir ayda yayın hayatına başlayan Su ve İnovasyon bülteni hayırlı uğurlu olsun, içindeki bilgilerle yıl boyunca bereket getirsin diyelim.

İÇİNDEKİLER

004

DÜKTİL DEMİR BORULARDA HASAR MEKANİZMALARI

Dr. Ahmet GÜLEÇ

Metalurji & Malz. Yük. Mühendisi, Genel Müdür
AG Mühendislik Danışmanlık

012

YERLİ SENSÖRLER SAYESİNDE GÜNLER SÜREN BAKTERİ TESTLERİNE SON!

Dr. Ahmet KUZUBAŞLI

RF-SENS Genel Müdürü, ODTÜ-MEMS

016

ATIKSULARDAN UYUŞTURUCU VE DİĞER PSİKOAKTİF MADDELERİN İZLENMESİ

Ayşenur SAFRAN

İSKİ, Planlama Şube Müdürlüğü, Harita Mühendisi

020

İKİTELLİ İÇMESUYU ARITMA TESİSLERİNDE PILOT ÖLÇEKLİ GRANÜLER AKTİF KARBON TEST ÇALIŞMALARI

Dicle TATAR

İSKİ, İkiteli Su Arıtma Şube Müdürlüğü, Çevre Mühendisi

028

YAĞMUR SUYU YÖNETİMİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Dr. Öğr. Gör. Ekrem KARPUZCU

İTÜ, Çevre Müh. Bölümü

034

ATIKSU MÜHENDİSLİĞİNDE YENİLİKÇİ VE ÇİĞİR AÇICI BİR TEKNOLOJİ: AEROBİK GRANÜLER AKTİF ÇAMUR PROSESİ

Dr. Öğr. Gör. Mustafa Evren ERŞAHİN,

Dr. Öğr. Gör. Hale ÖZGÜN,

Araş. Gör. Dr. Recep Kaan DERELİ

İTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü

038

YÜKSEK HIZLI AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ İLE ENERJİ VERİMLİ ATIKSU ARITIMI

Araş. Gör. Hüseyin GÜVEN

Dr. Öğr. Gör. Mustafa Evren ERŞAHİN

Araş. Gör. Dr. Recep Kaan DERELİ

Dr. Öğr. Gör. Hale ÖZGÜN

İTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü

042

HİDROJEN PEROKSİT VE OZONLA İLERİ OKSİDASYON (PEROKSON) PROSESİ İLE SULARDAN TAT VE KOKU GİDERİMİ

Araş. Gör. Malthun FAKIOĞLU, Dr. Öğr. Gör. Hale ÖZGÜN

Doktora Öğrencisi Hazal GÜLHAN

Dr. Öğr. Gör. Mustafa Evren ERŞAHİN

İTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü

046

İSKİ'DE EVSEL ATIKSU ARITMA ÇAMURLARI YÖNETİM PLANLAMALARI

Filiz DAŞKIRAN

İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürlüğü, Çevre Yük. Mühendisi

054

ATIKSU ARITMA TESİSİ TASARIMI VE PROSES KONTROLÜNDE SİMÜLYASYON PROGRAMLARININ ÖNEMİ

Prof. Dr. Güçlü İNSEL

İTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü

058

İSTANBUL İLİ ATIKSULARINDA ÇEVRESEL TOKSİSİTE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

İclal BİRTEK

İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürlüğü, MS, Çevre Bilimcisi

068

YERLİ VE MİLLİ MEMBRAN ÜRETİMİ: MEM-TEK VE İSKİ ARASINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN AR-GE ÇALIŞMALARI

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

İTÜ, Fen Bilimleri Ens. Müdürü, Çevre Mühendisliği Bölümü, MEM-TEK

Araş. Gör. Serkan GÜÇLÜ, Araş. Gör. Türker TÜRKEN, Araş. Gör. Recep KAYA,

Araş. Gör. Mehmet Emin PAŞAOĞLU, Araş. Gör. Reyhan ŞENGÜR, MEM-TEK

078

İÇMESUYU KAYNAKLARINDA SİYANOBAKTERİLER VE ARITIMI

Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKÇI

YTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü

084

AZOTLU DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİ

Doç. Dr. Ş. Şule KAPLAN BEKAROĞLU,
Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ
Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

090

SU DAĞITIM SİSTEMİNİN İŞLETMESİNDE HİDROLİK MODELLERİN KULLANIM ALANLARI

Doç. Dr. Mehmet ÖZGER
İTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü

100

AMBARLI İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMUR ÇÜRÜTÜCÜ ÇIKIŞ SULARINDA ANAEROBİK AMONYUM OKSİDASYONU PROSESİ İLE AZOT GİDERİMİ ÖN ETÜT PROJESİ

Nigar EYİT
İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürlüğü, Kimyager

106

ASCLEPIUS VE HYGIEIA'NIN REÇETELERİNE DÖNÜŞ: MARMARA DENİZİ VE ANTİBİYOTİK DİRENCİ

Prof. Dr. Nüket SİVRİ
İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Bölümü

114

SU KAYNAKLARININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ VE KORUNUMU

Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR BALKIS
Dr. Öğr. Gör. Abdullah AKSU
Arş. Gör. Nagihan KORKMAZ
Dr. Öğr. Gör. Ömer S. TAŞKIN
İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Ayhan FİLAZİ, Prof. Dr. Ender YARSAN
Doç. Dr. Begüm YURDAKÖK DİKMEN
Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Farmakoloji ve
Toksikoloji Anabilim Dalı

Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU, Prof. Dr. Volkan DEMİR
İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü,
Denizel Çevre Anabilim Dalı

120

YENİ BİR TÜR FENTON (ENZİMATİK FENTON) İLE ARITIM

Arş. Gör. Nagihan Ersoy KORKMAZ,
Dr. Öğr. Gör. Abdullah AKSU,
Dr. Öğr. Gör. Ömer S. TAŞKIN,
Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR BALKIS
İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü,
Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı
Ertuğrul ASLAN
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi,
Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü

124

SEKTÖREL ETKİNLİKLERDE AR-GE, SU VE ATIKSU SEKTÖRÜNDE YERLİ ÜRÜN ÇALIŞTAYI

Onur MOR
İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürlüğü, Yerli Ürün ve Teknolojiler Şefi

130

YERLİ TEKNOLOJİ OFİSİ (YTO)

Onur MOR
İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürlüğü, Yerli Ürün ve Teknolojiler Şefi

134

SU KAYIP KAÇAKLARINDA YÖNETİM STRATEJİLERİ VE AR-GE FAALİYETLERİ

Orhan BAYKAN
İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürü

140

AR-GE ATÖLYESİ

146

MEVLANA/SEMAZEN TRIDENT ÇALIŞMASI

Zeki GÜNGÖR
İSKİ, İkitelli Su Arıtma Şube Müdürü

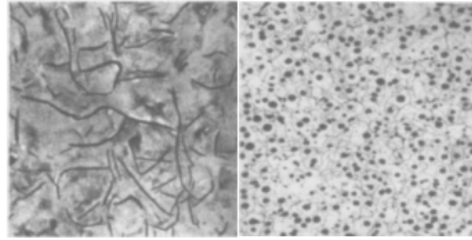
DÜKTİL DEMİR BORULARDA HASAR MEKANİZMALARI

Ahmet GÜLEÇ

Metalurji & Malz. Yüksek Mühendisi

Giriş

Dökme demir, bünyesinde yüksek oranda karbon ve silisyum bulunduran ve dökümle şekil verilen bir demir alaşımıdır. Mikro-yapısında serbest grafiti (karbon) flake – lamel şeklinde bulunduran bu alaşıma gri demir (pik demir) de denir (Şekil 1).



Şekil 1. a) Pik demir mikroyapısı (75x),
b) Düktil demir mikroyapısı (75x)

Düktil demir, dökme demir ailesinin özel bir türüdür ve serbest grafit kristalleri küre veya nodül şeklindedir (düktil demir, küresel grafitli dökme demir veya nodüler demir diye de adlandırılır) (Şekil 1).

Kimyasal analiz benzer olsa da, her iki dökme demir metalurjik olarak çok farklıdır. Düktil demirde küre şeklindeki serbest grafitler çatlak ilerlemesini önlerken gri dökme demirdeki flake grafitler ise çatlak oluşumunu ve hızını artırır.

Düktil demir borular için geçerli olan muhtelif standartlarda (ISO 2531, EN 545 ve ANSI/AWWA A21, 50/C151) 420 MPa çekme mukavemeti, 290 MPa akma mukavemeti ve %10 uzama öngörülmüştür (min. değerler). Gri dökme demir ise 150 MPa çekme mukavemeti, ölçülemeyecek kadar düşük akma ve uzama gösterir. Düktil demirin darbe gerilmesi min. 10 J (1 kgm), gri dökme demirin ise 3 J (0,3 kgm) veya daha düşüktür (1 cm² kesit). Düşük çentik darbe direnci boruların dış ve iç etkilerle kolayca kırılmalarını sağlar. Düktil demir boruların pik demir borulara göre yüksek darbe dirençleri boru hatlarında görülen düşük kırılma oranları ile ilişkilendirilebilirler. Bağımsız Alman kuruluşu DVGW'ye göre düktil demirde hasar oranı 0,04 km/yıl iken pik demirde hasar 0,17 km/yıl'dır. Bugün itibarıyla pik demir boru üretimi tümüyle kalkmış yerini düktil demir boru almıştır ve eski hatlar büyük ölçüde düktil demir boru hattı şeklinde rehabilite edilmiştir ^[1].

Bu iki malzemenin fiziksel özelliklerindeki farklılaşma serbest grafit kristallerinin şekil farklılığındandır. Grafit şekli katılaşma ile ilişkilidir ve sıvı metale az miktarda Mg (%0,1) ilavesi onu nodüler yapar. Dökme demir 500 yıla yakın bir süredir boru malzemesi iken, 1955'ten bu yana onun yerini daha üstün özellikli düktil demir almıştır.

Kimyasal analiz benzer olsa da, her iki dökme demir metalurjik olarak çok farklıdır. Düktil demirde küre şeklindeki serbest grafitler çatlak ilerlemesini önlerken gri dökme demirdeki flake grafitler ise çatlak oluşumunu ve hızını artırır.

Dökme demir (pik + düktil) borular Kuzey Amerika su iletiminin %50'sini kapsamaktadır ve en çok tercih edilen boru malzemesidir. Malzeme ve işletim şartlarına bağlı olarak hasar (özellikle kırılma hasarı) görülebilir. Bir büyük su idaresi, yılda 300 veya üstü sayıda boru kırılması ile yüzleşebilir. Bu kırıklar bölgesel su kesimine sebep olup acil tamir gerektirirler. Eğer büyük çaplı bir boru hasara uğrayıp kırılır ise milyonlarca TL'lik kayıp doğurur.

Boru kırıklarının ekonomik ve sosyal boyutları büyük önem taşıdığı halde, hasar nedenleri ve kırılma mekanizması konusunda yeterli çalışma yapılmamıştır. Toprak – boru etkileşimi, korozyon, kötü boru döküm tekniği ve yapısı, insan hatası başlıca sebeplerdir. Bunlar ayrı ayrı veya bileşik olarak boru hasarı ve kırılma sebebi olabilir.

Büyük ekonomik kayıplara ve sosyal problemlere neden olan su hatlarında kullanılan boruların hasara uğraması, üreticiler ve belediyeler açısından büyük öneme sahip olmaktadır. Bu konudaki boşluğun doldurulması ve elde edilen sonuçların paylaşılması amaçlı bu çalışmada, düktil demir boru hasarlarının sebepleri ve çözüm önerileri verilmiştir. Kırılma şekilleri ve çentik darbe değerleri saha ve laboratuvar çalışmaları ile belirlenmiştir.

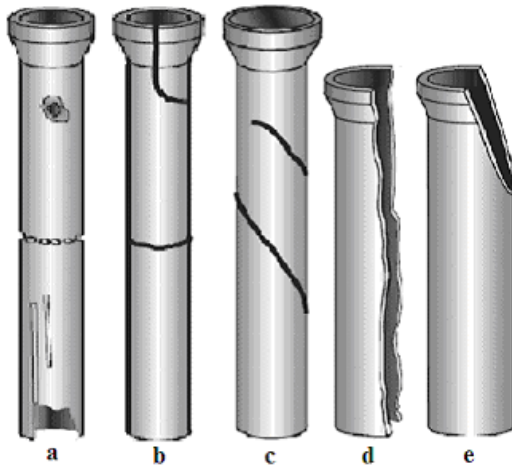
Hasar Nedenleri (Kırılma)

Borularda; iç su basıncı, eğme kuvvetleri, kırma kuvvetleri, toprak hareketleri, sıcaklık değişimlerine bağlı genleşme kuvvetleri, toprak ve araç yükleri, donma ve genleşen kil etkileri ve kimyasal etkiler hasarı oluşturur veya kırılmayı tetikler.

Burada verilen örnekler eski gri demir borularda çokça, yeni nesil düktil demir borularda nadiren görülür.

a) Muf ayrılması;

- Küçük ölçü çapına sahip borularda görülen hasar türü,
- Hatalı döküm pratiği,
- Mufa giren sonun yaptığı basma kuvveti,
- Mufa veya boruya uygulanan eğme kuvveti,
- Muf ile sonunun geçme bölgelerinde görülen farklı termal genleşmeler.



- a: Korozyon nedeniyle oyuk oluşumu, oyukların gövdeyi zincirel olarak sarması ve boylamsal kırıklar
b: Çemberel ve muf bölgesinde oluşan kırıklar
c: Spiral kırıklar
d: Boylamsal kırık ve ayrılma
e: Muf kırılma ve ayrılma

Şekil 2. Borularda başlıca kırılma şekilleri



Büyük ekonomik kayıplara ve sosyal problemlere neden olan su hatlarında kullanılan boruların hasara uğraması üreticiler ve belediyeler açısından büyük öneme sahip olmaktadır.



Şekil 3. Muf ayrılmasına örnekler, **a)** Borunun muf kısmı tamamen ayrılmış ve boruda bir miktar ovalleşme mevcut, **b)** Boru muf tarafından kırılmış, muf tamamen boru bün-yesinden ayrılmamış.

b) Çemberel kırılma;

- Küçük ölçü çapına sahip (<380 mm) borularda görülen hasar türü,
- Giderilmemiş iç gerilmeler, yetersiz tavlama,
- Eğme kuvvetleri (hatalı döşeme nedenli boru üstünde oluşan aşırı yükler, aşırı toprak ve araç yükü),
- Çukurlaşma (deliklenme sağlayan korozyon etkisi, çemberel zincir).



Şekil 4. Çemberel olarak kırılmış boru örneği

c) Uzunlamasına kırıklar;

- Büyük ölçü çapına sahip borularda görülen hasar türü,
- Yanlış bağlantı parçası uygulaması ve galvanik etkiler (uzunlamasına korozyon çukurları),



Şekil 5. Uzunlamasına kırılmış boru parçası örneği

d) Spiral kırılma;

- Bazı orta ölçü çapa sahip borularda (380 mm-500 mm) görülen özel bir hasar türü,

- Boru içindeki ani basınç veya eğme ile iç basıncın ortak etkisi.



Şekil 6. Spiral kırılmaya örnek boru resmi

e) Püskürtme boşlukları;

- Korozyon boru kesitini zayıflatır ve su basıncı patlamalı deliklenmeyi sağlar.



Şekil 7. Korozyon nedenli oyuk oluşumu

Hasar Mekanizmaları

Korozyon: Düktil demir borularda pitting (çukurlaşma) korozyonu oluşabilir. Bu çukurlar kesiti boydan boya kat ederler ve zayıf cepler oluştururlar. Grafitleşme ise yüzeydeki demirin yenererek geride zayıf grafit (karbon) kütlenin kalmasıdır. Doğal olarak iç ve dış basınca direnen boru et kalınlığı düşer ve hasar oluşabilir.

Üretim hataları: Düktil demir borular su soğutmalı kalıpta savurma döküm tekniği ile üretilirler ve ferritleme tavlama ile kırılkan karbürlü yapı giderilir. Boruda cüruf kalıntısı, inklüzyon,

porozite ve yüzeysel çatlaklar var ise bu kusurlar kırılma için zemin oluştururlar. Yüzeyde erken katılaştıran metaller ve oksitli ara yüzeyler farklı kesit kalınlıkları, kırılmaya davetiye çıkarırlar. Kimyasal analiz ve mikroyapı elemanları (grafit, ferrit, perlit, fosfor ötektiği) ve ferritleme tavlama sürecinin yeterliliği de önemli unsurdur.

Aşırı yükler: Direnç kapasitesinin üstündeki yüklenmelerde boruda hasar oluşabilmektedir. Toprak hareketi, birleşme bölgelerindeki momentler, maksimum araç yükü ve maksimum su basıncı ile oluşan aşırı yükler hasar oluşturabilir. Yatak için de kalaslarla boru yönlendirme ve altını dolgu ile kuvvetlendirmeme eğme etkili hasarın kaynağı olabilir.

İnsan faktörü: Zayıf yataklama veya boruyu sürüklemeye gibi nedenler hasarı doğurur. Boru dış yüzeyindeki çinko (Zn) ve epoksi (seal) kaplama zarar görebilir. Bu da kullanım ömrünün azalmasına sebep olur. Bunun yanında herhangi bir derin çizilme ile ferritleme tavlama sonucu oluşan boru dış yüzeyindeki demir oksit koruyuculuğu hasar gören yer boyunca kalkabilir ve boru bu bölgelerden hızla korozyona uğrayabilir. Uzunlamasına çukurlaşma hasarı oluşur. Çukur dibi metal kalınlığı kağıt gibi ince kalarak ani su basıncı boruyu çukurlaşma hattı boyunca çatlatır ve patlama oluşur. Üçüncü şahısların (telefon, doğalgaz, elektrik, yol, kavşak işleri) yaptığı uygulamalar ve hatalar da

unutulmamalıdır. Paslanmaz çelik veya pirinç bağlantılar ve farklı malzeme eşleşmesinde iyi yalıtım yapılmaması da insan hatasını oluşturur^[2].

Malzeme İç Yapı - Hasar İlişkisi

Çentik darbe direnç değerleri hasara yatkınlık için önemli bir göstergedir. Tablo 1'de muhtelif düktil demir borulardan alınan numunelerde ölçülen yapı - özellik ilişkisi verilmiştir. İSKİ Genel Müdürlüğü ve üreticilerden sağlanan 100 mm (DN100)'lik borular incelemeye alınmıştır. İncelenen boruların tümü Tablo 1'de verilen kimyasal analiz bandında kalmışlardır. A, B, C ve D ile kodlanan borular savurma döküm makinesinden çıktıktan sonra yeteri kadar sürede ve sıcaklıkta ferritleme tavlama sürecine tabi tutulmuştur. Kalıptan çıktıktan sonraki mikroyapı elemanları (grafit + ferrit + sementit) tavlama sonucu grafit ve ferrite dönüşmüştür. A ve B ile kodlanan borular 6 mm cidar kalınlığına sahip iken, C borusu 4 mm et kalınlığına sahiptir. D borusu 6 mm et kalınlığında olup yetersiz ferritleme tavlama sonucu 3 mikroyapı elemanını da bünyesinde bulundurmaktadır. Borulardan kesilen çok sayıda parça üstünde mikroyapı karakterizasyon çalışmaları ve mekanik testler yürütülmüştür. Tablo 2'de mikroyapı, boruların cidar kalınlığı, küre sayısı ve matris yapısının darbe direncini (ve sertliği) kontrol ettiğini vermektedir.

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Mg (%)
3,88-3,27	3,38-2,05	0,33-0,09	0,143-0,012	0,036-0,005	0,065-0,028

Tablo 1. Düktil demir borularda kimyasal analizler (GGG40)

Küresel Grafitli Dökme Demir Borular	Cidar kalınlıkları (mm)	Küre Sayısı (küre/mm ²)	Ortalama Grafit Çapı (µm)	Darbe Enerjisi (J)	Sertlik (BSD)
A (ferritik)	6	555	16	20	122
B (ferritik)	6	650	12	14,2	135
C (ferritik)	4	1450	8	12	137
D (ferrit+sementit)	6	205	18	6,6	257

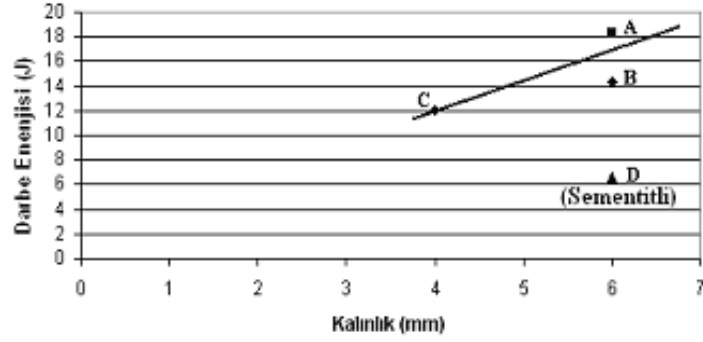
Tablo 2. Düktil demir borularda mekanik özellikler



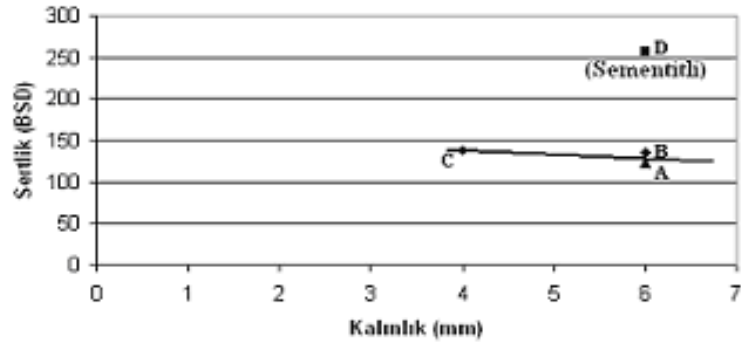
Zayıf yataklama veya boruyu sürüklemeye gibi nedenler hasarı doğurur. Boru dış yüzeyindeki çinko (Zn) ve epoksi (seal) kaplama zarar görebilir. Bu da kullanım ömrünün azalmasına sebep olur. Bunun yanında herhangi bir derin çizilme ile ferritleme tavlama sonucu oluşan boru dış yüzeyindeki demir oksit koruyuculuğu hasar gören yer boyunca kalkabilir ve boru bu bölgelerden hızla korozyona uğrayabilir.

Aynı matris yapısına sahip borularda cidar kalınlığı darbe direncini kontrol etmektedir. İnce cidarlı (4 mm) boru metal kalıpta hızlı katılaşma sonucu yoğun küresel grafit kristalizasyonu gösterir. Çok sayıda ince grafit kristalleri oluşur. Bunun sonucu olarak C kodlu boruda çentik darbe direnci düşük çıkmıştır. Kırılgan sementit yapıları D borusu çentik darbe direnç değeri beklendiği gibi 7 J'un altındadır (Şekil 8). Şekil 9, cidar kalınlığı ile sertlik değerleri arasında beklenen ilişkiyi vermiştir. Şekil 10 ve 11 düktil demir borularda yapı elemanı (küre sayısı) ile mekanik özellikler iliş-

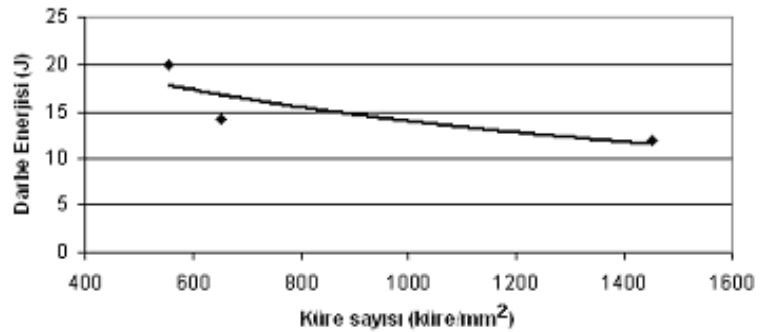
kisini vermektedir. Şekil 12'de verilen mikroyapılar dikkatlice incelendiğinde A'da ferrit matris içerisinde küre sayısının C'ye göre düşük olduğu görülebilir. D'de ise ferrit tabakası ile çevrelenmiş küre sayısı en düşük fakat kayda değer oranda sementit oluşumu bulunmaktadır. Burada vurgulanması gereken gerçek şudur; Düktil demir borular tavlanmasız dahi kullanılsalar pik (gri) dökme demir borulardan daha yüksek darbe direnci gösterirler. Pik demirler için verilen direnç değeri daima 3 J'un altındır.



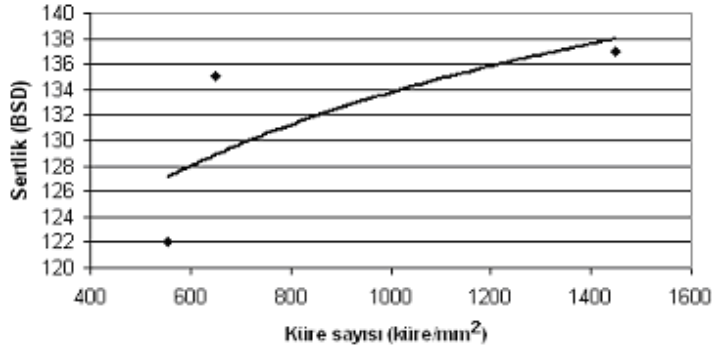
Şekil 8. Küresel grafitli dökme demir boru numunelerin darbe direncinin şematik gösterimi



Şekil 9. Küresel grafitli dökme demir boru numunelerin sertlik değerlerinin şematik gösterimi



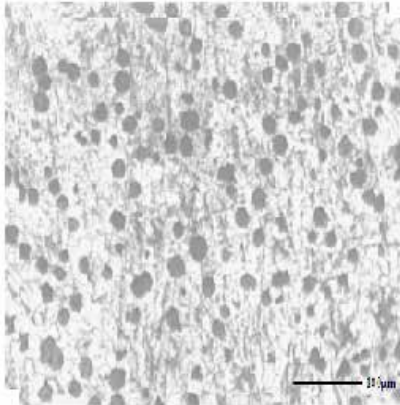
Şekil 10. Küre sayısına bağlı olarak darbe direncinin değişiminin şematik gösterimi



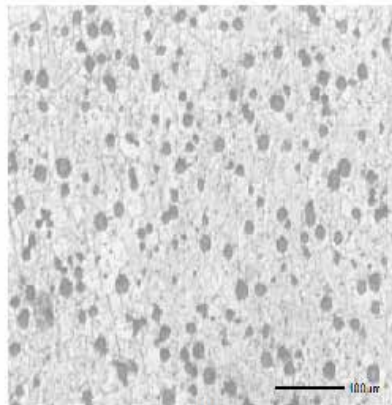
Şekil 11. Küre sayısına bağlı olarak sertlik değişiminin şematik gösterimi

A, B ve C nolu düktil demir numunelerine uygulanan darbe testi sonuçları küre sayısı arttıkça darbe enerjisinin düştüğünü göstermiştir. Bu sonuç, daha önce

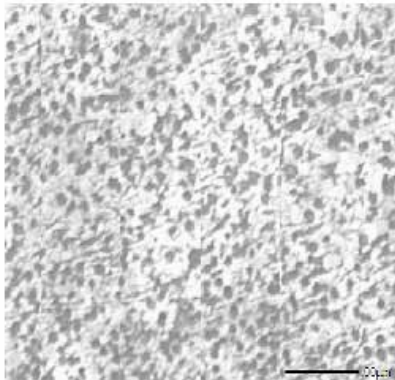
yapılan çalışmalarla paralellik göstermektedir. Çok sayıda ve farklı düktil demir borular üstünde yapılan çalışma ile mevcut sonuçlar uyum içindedir.



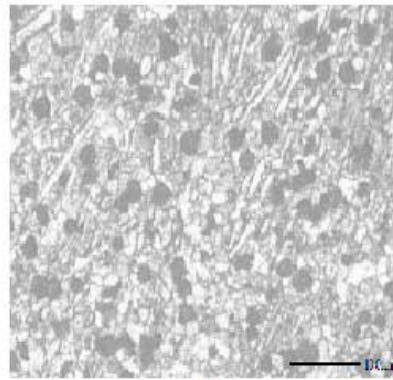
a)



b)



c)

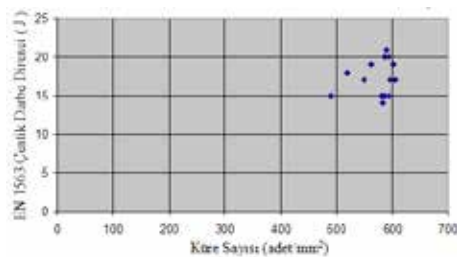


d)

Şekil 12. A, B, C ve D kodlu numunelerden elde edilen mikroyapılar (a, b ve c: ferritik, d: ferrit + sementit)

Grafit yapısı ve dağılımı da önemli bir parametredir. Artan küresel grafit sayısı ve küreselleşmeden artan oranda sapma darbe direncini kayda değer mertebede düşürmektedir. Mikroboşluklar ve poroziteler de darbe direncini düşüren yapı hatalarıdır. Bu mikroporozite yoğun kuma döküm ve porozitesiz savurma döküm deneyleri ile düktil demir için kanıtlanmıştır

Küresel grafitli dökme demir üstün mekanik özelliklere sahip bir malzemedir ve muhtelif mukavemet seviyelerinde üretilebilir. Çekme mukavemeti 350 MPa ile 700 MPa arasında değişir. Mukavemet bileşime ve ısıtma işlemine bağlıdır. Göreceli olarak yumuşak, iyi kullanılabilir ve artan tokluklu (Charpy) veya bazı hallerde dökülmüş olarak (kuma dökülen fittingler gibi) kullanılır. Birçok savurma döküm borular hızlı katılma sonucu bünyelerinde kırılkan sementit veya perlit dokusu içerirler. Boru uygun mekanik değerler için tavlama ve minimum 420 MPa çekme mukavemeti, minimum %10 uzama ve minimum 9,49 J Charpy darbe test değerleri elde edilir (AWWA C151). Çekme mukavemeti değeri kolayca sağlanır. Örneğin herhangi bir küresel grafitli dökme demir döküm bileşimi 420 MPa değerini rahatça verir. Uzama ve Charpy testi, küresel grafitli dökme demirin kırılkan olmadığını ve tok olduğunu gösterir. ISO 2531 minimum %7 uzamayı şart koşarken Charpy ile ilgili herhangi bir değer talep etmez. 420 MPa çekme mukavemeti gereksinimi düşük kalite hurda demir şarjı (Cu, Cr, Mn içeren) ile sağlanabilir. Eğer bu elementler fırına verilen şarjda çok fazla ise uzama ve Charpy şartları sağlanamaz. Şartnamede yalnızca %7 uzama öngörülürse, ferritleme tavlama süresi azaltılır ve bu durumda Charpy çarpma değeri çok düşük olur. Tutarlı küresel grafitli dökme demir boru kalitesi için kullanıcı/mühendis 420 MPa çekme gerilmesi, %10 uzama ve 9,49 J Charpy test değerini (alt limitler) talep etmelidir. Bu belirlemeye uyan çok sayıda borunun küre sayısı-darbe direnç değerleri arasındaki ilişki Şekil 13’ de verilmiştir.



Şekil 13. Küre sayısı- darbe direnç değerleri arasındaki ilişki

Tartışmalar

Çok sayıda araştırmacı [3,4] tarafından yapılan çalışmaları çentik darbe direncinin mikroyapının fonksiyonu olduğunu göstermiştir. En önemli unsur perlit ve sementit (karbür) mevcudiyetidir. Örneğin özellikleri aynı olan iki düktil demirden birinde perlit varsa onun darbe direnci düşük olacaktır. Serbest sementitleri yapıda çentik etkisi oluşturacak ve tokluğu düşürecektir.

Grafit yapısı ve dağılımı da önemli bir parametredir. Artan küresel grafit sayısı ve küreselleşmeden artan oranda sapma darbe direncini kayda değer mertebede düşürmektedir. Mikroboşluklar ve poroziteler de darbe direncini düşüren yapı hatalarıdır. Bu mikroporozite yoğun kuma döküm ve porozitesiz savurma döküm deneyleri ile düktil demir için kanıtlanmıştır (Şekil 13). Muhtelif çalışmalar ince kesit düktil demir dökümlerinde darbe direnci açısından bir ikilem olduğunu göstermiştir. İyi küreleştirme ve aşılama ile küre sayısı maksimum değere erişir ve bu yolla karbür oluşumu önlenir. Darbe direncini düşüren karbürler oluşmaz fakat diğer yandan artan küre sayısı ise kırılkanlığı artırır. 3 mm kesitli düktil demirler de küre sayısı mm² de 1000’ i aşabilir ve bu darbe direnci açısından sorundur. Aşılamanın bilinçli yapılması ve azaltılması ile 500 – 700 adet/mm²’lik ideal küre sayılı yapı elde edilir ve aynı zamanda karbür önlenir.

Kimyasal bileşim de çok önemli unsurdur. Artan fosforun (%0,016 → %0,090) darbe direncini 3 – 4 kat azalttığı literatürde verilmiştir [6]. Artan silisyumun (2,7 → 3,4) ise darbe direncini düşürdüğü ve yapıdaki grafit küre sayısını arttırdığı rapor edilmiştir [3]. Düktil demirde perlit yüzdesini arttırmak ve mukavemeti arttırmak için silisyum azaltılmalıdır.

Artan CE (karbon eşdeğerliği) küre sayısını artırır ve karbür oranını düşürür. 3 mm kalınlıkta karbürsüz yapı için %4,92 CE önerilir. Diğer yandan artan CE grafit dejenerasyonu ve patlak küre

oluşumuna yol açabilir. Kalınlıkta farklılaşma farklı yapı ve mekanik özellikler verir. Bu nedenlerle ince kesit düktil demirler zorlamalı yöntemlerle tamamen ferritli elde edilemezler. Kenar bölgeler %30'a varan karbür dokusu verir. Su soğutmalı metal kalıpta savurma döküm teknolojisi ile üretilen düktil demir borular daha yüksek oranda karbür içerirler. Bütün sebepten üretilen borular 930 °C' de 2 saat ferritleme tavlama-sına tabi tutulurlar ve tavlama fırında soğutma ile sonlandırılır [7].

Sonuç

- Düktil demir borular 1950 sonlarından itibaren pik demir boruların yerini almaya başladığında kullanıcılar daha çok mekanik performans odaklandılar. 50 yıllık tecrübe göstermiştir ki, kimyasal performans (korozyona dirençlilik) gibi en az mekanik özellikler kadar önemlidir ve boru ömrünü etkilemektedir. Düktil demir borular, atası olan pik borulardan daha az oranda hasar gösterirler. Hasar şekilleri korozyon nedeniyle patlamalar, çemberel kırıklar, boylamasına kırıklar, muf ayrılması ve spiral kırılmalarıdır. Bu hasarların nedeni büyük ölçüde korozyon dışıdır ve üretim hataları, mekanik yüklenmeler ve muhtelif insan faktörlerinin bileşkesidir.
- Boru kırılmaları genellikle ani gelişir ve çok önemli kayıplara neden olur. Su idareleri olağan boru patlama ve hasarları hızla çözmeli ve bundan da önemlisi bilgi, numune ve istatistikleri değerlendirerek geleceğe projeksiyon yapmalıdır.
- Saha ve laboratuvar çalışmaları boru kırılmalarında düktil demir çentik darbe direncinin çok önemli olduğunu göstermiştir. 13 J üstü Charpy darbe direnci ani yüklere dayanım ve uyarıcı deformasyon için kriter alınabilir. Bu ve standartlarda belirlenen diğer değerleri sağlayan düktil demir borular hasarlara daha dirençli olacaklardır.
- Saha çalışmaları ile düktil demir

borular için gözlenen hasarların büyük ölçüde katılma veya katılma-madan sonraki aşamalarla (soğutma ve ısıtma işlemi gibi) ilişkili olduğu bulunmuştur.

Kaynaklar

B. RAJAVI, and Y. KLEINER, "Protecting ductile iron water mains:What protection methods Works best for condition?", Journal of AWWA 95:11, pp. 110-125, November 2003

J.M. MAKAR, R. DESNOYERS, and S.E. MCDONALD, "Failure Modes and Mechanisms in Gray Cast Iron Pipes", presented at Underground Infrastructure Research 2001 Waterloo, Ontario, June 10-13

F. UNKIC, N. GAVRONOVIC, M. VASILIC, and S. HREN "Effect of silicon content on microstructures and mechanical properties of spheroidal graphite cast iron grade EN-GJS-400-18-LT", The 66th World Foundry Congress, 6-9 September 2004, İstanbul.

L. E. BJÖRKGREN , K. HAMBERG, 'Silicon alloyed ductile iron with excellent ductility and machinability' Foundryman, February 2001, 42 – 48

Ö. CEVHER, "Dökme demirlerde sert faz oluşumunun önlenmesi ve giderilmesi", Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos, 2006

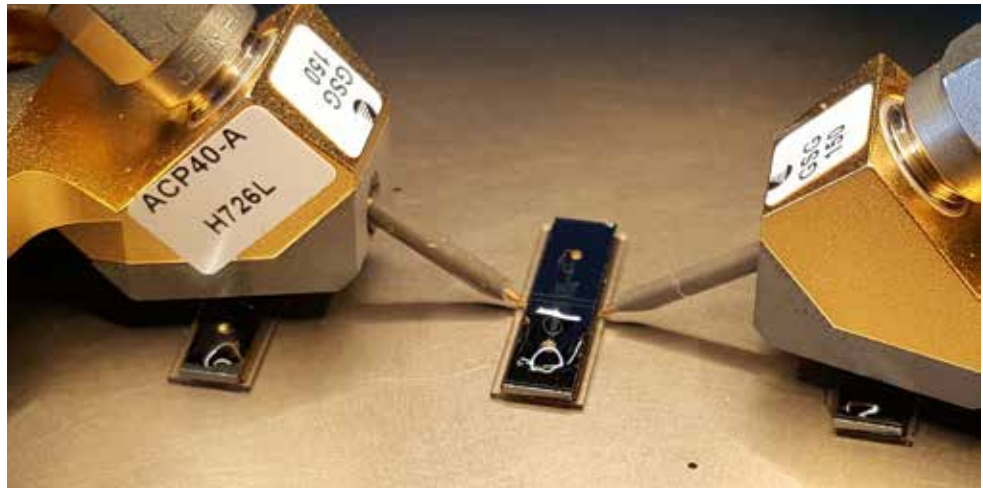
C. LABRECGUE, and M. GAGNE, "Optimizing the mechanical properties of thin-wall ductile iron casting", AFS Transactions, Schoumbur, p:1-10, USA, 2005.

P. DAVID, J. MASSONE, J. BOERI and J. SIKIRO, "Mechanical properties of thin wall ductile iron-influence of carbon equivalent and graphite distribution", ISIJ, p:1180 – 1187, 2004.

YERLİ SENSÖRLER SAYESİNDE GÜNLER SÜREN BAKTERİ TESTLERİNE SON!

Dr. Ahmet KUZUBAŞLI

RF-SENS Genel Müdürü, ODTÜ-MEMS



> Seri üretimle üretilen RF biyosensör çipleri

**Bakteri analizleri
ile ilgili bir diğer
büyük problem ise
kimyasal analizlerin
aksine, mikrobiyolojik
testlerin oldukça
uzun sürmesi ve
insan kaynaklı analiz
hatalarına daha fazla
rastlanmasıdır.**

Günümüzde su kaynaklarının bakteriyolojik analizleri, belirli periyotlarla örnek alınıp laboratuvarlara gönderilerek yapılıyor ancak az gelişmiş bölgelerde analizler, aylık hatta yıllık yapılabiliyor. Bakteri analizleri ile ilgili bir diğer büyük problem ise kimyasal analizlerin aksine, mikrobiyolojik testlerin oldukça uzun sürmesi ve insan kaynaklı analiz hatalarına daha fazla rastlanmasıdır. Sıklıkla yapılan E. Coli testleri başta olmak üzere bakteriyolojik analizler üç günden uzun sürebilmektedir. Ayrıca, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği (7 Mart 2013, Resmî Gazete) gereği bu laboratuvar testleri

tamamlanmadan suların kullanılması ve satılması yasaktır. Bu durum, birçok kurumda ve sektörde büyük sıkıntı ve maliyet yaratmaktadır. Örneğin ambalajlı su üreticileri özellikle yaz aylarında artan su talebini karşılayabilmek için günde 3 milyon litreden fazla ambalajlı su üretmektedir. Ambalajlanmış bu ürünlerin, laboratuvar testleri gelene kadar bekletilmesi çok yüksek stok maliyeti yaratmaktadır. Gıda sektöründe de yemeklerde kullanılacak suyun üç gün öncesinden laboratuvara örneğinin gönderilmesi ve bakteri olmadığının ispatlanması gerekmektedir.

Belediyeler için de büyük problem oluşturuyor

Belediyeler ve su dağıtımını üstlenen kuruluşlar, şebekelerdeki suların mikrobiyolojik açıdan sağlıklı olmasından sorumludur ve düzenli testlerin uygun görülen sıklıklarda yapılması gerekir. Ayrıca, İstanbul İli için beklenen büyük deprem vb. afetlerde oluşması muhtemel boru çatlak ve kırıkları ile şehir şebeke suyunun kirlenme ihtimaline karşı, kirliliğin çok hızlı olarak tespiti ve ilgili bölgelerde salgın önleyici tedbirlerin alınması oldukça hayattır. Ancak, mevcutta uzun süren bakteri testleri sebebiyle bu tür bit tehdit durumunda tespit gecikmeler yaşanacaktır.

Çözüm, Türk mühendisler tarafından geliştirildi

Dünyanın tüm bu problemler için ihtiyacı olan çözümün, tamamıyla yerli imkanlar ve TÜBİTAK desteğiyle, ODTÜ'lü araştırmacılar Ahmet Kuzubaşlı, Prof. Dr. Tayfun AKIN ve Prof. Dr. Şimşek DEMİR tarafından geliştirildiğini gururla paylaşmak isterim. **Radyo Frekanslı Biyosensör (RF-SENS)** adı verilen ve global patent başvurusu yapılan tek-

noloji sayesinde, radyo frekansları kullanılarak suların içerisindeki bakteriler herhangi bir laboratuvara ihtiyaç duyulmaksızın, **su kaynaklarının yanında ve dakikalar içerisinde** gerçekleştirilebiliyor. Bu yenilikçi teknolojinin ürüne dönüşmesi ve kullanıcılara sunulması için kurulan **RF-SENS AŞ.**, ilk ürünü *Taşıyabilir Bakteri Test Kitleri* üzerine çalışmalarını İSKİ ile birlikte sürdürmektedir.

Peki nasıl çalışıyor?

Mikro Elektro-Mekanik Sistemler (MEMS) adı verilen üretim teknolojileri sayesinde, Ankara'daki temiz odalarımızda biyosensör adı verilen mikroçipler üretiliyor. Bu mikroçipler üzerindeki deliklerden içeri enjekte edilen 1 ml'lik su örneği, saç telinden daha ince bir mikrokandaldan geçiriliyor. Bu geçiş sırasında, su örneğine çeşitli frekanslarda radyo dalgaları gönderiliyor. İnorganik ve yüksek polariteye sahip olan suyun bu dalgalara verdiği tepki, içerisinde organik ve kompleks moleküllere sahip bakterilerin olması durumunda sapma gösteriyor. Ayrıca, suyun geçtiği mikrokandalin iç yüzeyi bakterilerin



Radyo Frekanslı Biyosensör (RF-SENS) adı verilen ve global patent başvurusu yapılan teknoloji sayesinde, radyo frekansları kullanılarak suların içerisindeki bakteriler herhangi bir laboratuvara ihtiyaç duyulmaksızın, su kaynaklarının yanında ve dakikalar içerisinde gerçekleştirilebiliyor. Bu yenilikçi teknolojinin ürüne dönüşmesi ve kullanıcılara sunulması için kurulan RF-SENS AŞ., ilk ürünü Taşıyabilir Bakteri Test Kitleri üzerine çalışmalarını İSKİ ile birlikte sürdürmektedir.



> Kullanıma hazır RF biyosensör çipleri

seçici olarak bağlanmasını sağlayan moleküllerle kaplandığı için sensörler, bakterileri dakikalar içerisinde spesifik olarak algılayabiliyor.

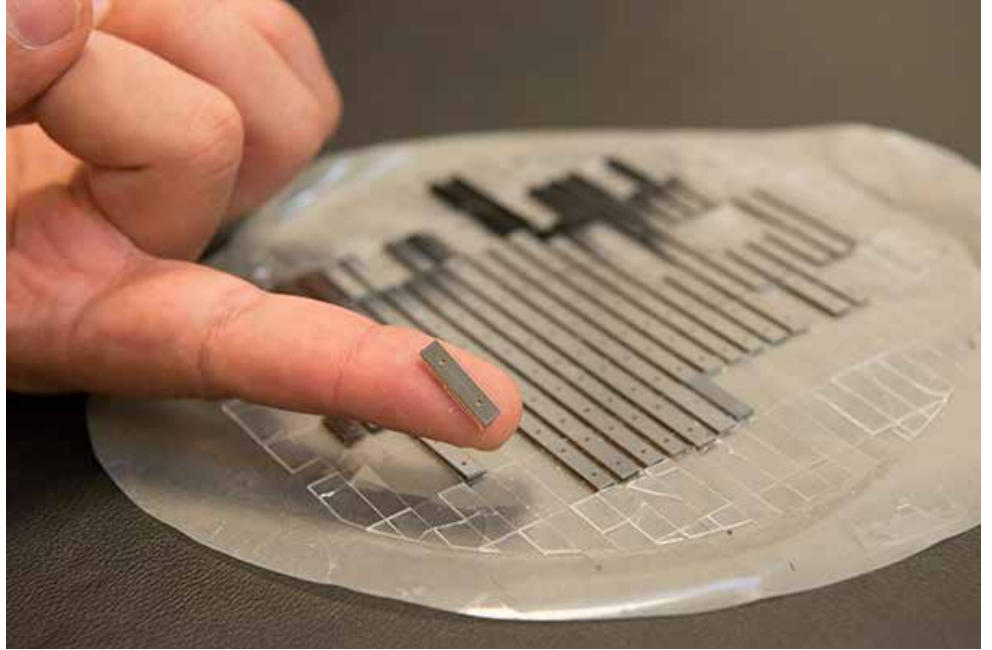
TÜBİTAK Türkiye’de, Birleşmiş Milletler Silikon Vadisi’nde ödüllendirdi

Geliştirilen teknoloji ve ticarileştirilmesi için gösterilen çabadan dolayı RF-SENS, TÜBİTAK ve Birleşmiş Milletler Endüstriyel Kalkınma Ofisi (UNIDO) iş birliğiyle düzenlenen Temiz Teknolojiler yarışmasında Türkiye 1.si oldu. Daha sonra, Silikon Vadisi adı verilen ABD’nin San Francisco şehrinde düzenlenen ya-

rışmada, tüm ülke finalistleri arasından global 1.liği ülkemize kazandırdılar.

İSKİ desteği ile ticarileştirilecek

Araştırma sonuçlarının teknolojiye dönüştürülmesi için TÜBİTAK teşvikleri ile kurulan RF-SENS girişimi, geliştirdikleri ödüllü ürün modelini İSKİ desteği ile ticarileştirmeyi hedefliyor. Dünyanın en büyük su kuruluşlarından biri olan İSKİ’nin desteği ile dünyada ilk olma özelliğini taşıyan ürünün, uluslararası birçok fuarda ülkemizi gururla temsil edeceğine inanıyoruz.



> Testleri yapılan RF biyosensörler

Dünyanın en büyük su kuruluşlarından biri olan İSKİ’nin desteği ile dünyada ilk olma özelliğini taşıyan ürünün, uluslararası birçok fuarda ülkemizi gururla temsil edeceğine inanıyoruz.

GELİŞMİŞ ÜLKELERİN ÇOCUKLARI, GELİŞMEKTE OLAN ÜLKE
ÇOCUKLARINA KİYASLA 30-50 MİSLİ DAHA FAZLA SU TÜKETİYOR.



Kaynak: World Water Forum, 2009

ATIKSULARDAN UYUŞTURUCU VE DİĞER PSİKOAKTİF MADDELERİN İZLENMESİ

Ayşenur SAFRAN

İSKİ, Planlama Şube Müdürlüğü, Harita Mühendisi



Atıksuda uyuşturucu analizleri şuanda Dünya üzerinde 20 ülkede 53 şehirde gerçekleştirilmektedir. Bu analizler genellikle ülkelerin en kalabalık ve kozmopolit şehirlerinin analiz sonuçlarından oluşmaktadır. Bu sebeple Türkiye genelini temsil etme potansiyeline sahip olan tek şehir olması sebebi ile İstanbul bu anlamda kilit rol oynamaktadır.



Projenin ana faaliyetleri

- Atıksuda Uyuşturucu Analiz Laboratuvarı kurulması.
- Uygun drenaj noktalarından 24 saatlik atıksu numunelerinin toplanması.
- Atıksu numunelerinde psikoaktif madde analizi.
- Geri hesaplama yöntemi ile günlük tüketim miktarının belirlenmesi ($\mu\text{g}/\text{gün}/1000$ kişi).

- Mekânsal analizlerin yapılması.

- CBS veri entegrasyonu ve haritalama.

Projenin ulusal ve uluslararası hedefleri

- Atıksuda uyuşturucu analiz yöntemlerini ve bu yöntemlerin standart uygulama prosedürlerini geliştirmek.
- Ülkemize ait karşılaştırılabilir verilerin, dünyada düzenli olarak top-

lanmakta olan EMCDDA verilerine entegre edilmesi için altyapı oluşturmak.

- Bu verilerin yorumlanması ile oluşturulacak stratejiler doğrultusunda ülkemizdeki yasadışı madde ile mücadelede bireysel değil toplumsal boyutta katkı sağlamak.

İSKİ'nin projedeki görevi:

- Pilot bölgeleri belirlemek, belirlenen bölgelerin havza konumuna göre numune alınacak güvenli ve sağlıklı en iyi alanı belirlemek.
- Pilot bölgelerdeki havzaların bağlı olduğu Atıksu Arıtma Tesislerinden ve belirlenen pilot bölgelerde atıksu kolektörlerinden gerekli numuneleri istenilen şartlarda temin etmek.
- İSKİ Altyapı ve Coğrafi Bilgi Sistemi de kullanılarak Yüksek Lisans Tez konusu olarak bu konuda çalışan Kurumumuzda görevli Ayşe Nur SAFRAN İTÜ Geomatik Mühendisliği desteği ile CBS tabanlı bir izleme sistemi kurmak ve atıksularda yasadışı madde kullanımının bölgesel olarak takip edilebilmesi ve zamana bağlı değişimin izlenmesini takip etmek.

Projenin bulunduğu aşama:

- Çatalca ve Beyoğlu Bölgeleri pilot bölge olarak seçildi. Çatalca Ahmediye Terfi Merkezinden (16-17 ve 19-20 Ağustos), Beyoğlu Kılıçalipaşa Caminin önündeki kolektörden (11-12 ve 14-15 Ekim), Beyoğlu Kasımpaşa İBB yeni ek hizmet binasının yanındaki kolektörden (15-16 ve 18-19 Kasım tarihlerinde) Kanalizasyon Daire Başkanlığında görevli ekipler ile birlikte alındı.

- Ayşe Nur SAFRAN (İTÜ Geomatik Mühendisliğinde yüksek lisans öğrencisi), Yrd. Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU'nun desteği ile CBS tabanlı bir izleme sistemi kurmak ve atıksularda yasadışı madde kullanımının bölgesel olarak takip edilebilmesi için çalışmalarına devam ediyor.

Proje hakkında:

Ülkemizde ve dünyada artan uyuşturucu sorununa dikkat çekmek ve bu mücadeledeki toplumsal farkındalığı arttırmak için çalışmalar yürüten Yeşilay, İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü ile birlikte, İSKİ iştirakçiliğiyle İstanbul Kalkınma Ajansı tarafından desteklenen "Atıksulardan Uyuşturucu ve Diğer Psikoaktif Maddelerin İzlenmesi" projesi, İstanbul Kalkınma Ajansı tarafından "Yenilikçi ve Yaratıcı İstanbul Mali Destek Programı" kapsamında 12 ay süreli olarak desteklenmektedir. Ocak 2017'de başlayan projenin ortaklığını Türkiye Yeşilay Cemiyeti ve iştirakçiliğini ise İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) gerçekleştirmektedir.

Proje kapsamında, İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü bünyesinde "Atıksudan Uyuşturucu Madde Analiz Laboratuvarı" kurulmuş ve laboratuvar Eylül ayından bu yana faaliyete geçmiştir. Projenin başlangıç aşamasında, yapılan toplantılar sonucunda pilot bölgeler olarak altyapı sistemi daha düzgün olan Çatalca ve alt yapı sistemi daha karmaşık olan Beyoğlu ilçeleri seçilmiş olup; Atıksu Arıtma Daire Başkanlığının yardımlarıyla Çatalca Bölgesinde Ahmediye Terfi Merkezinden (16-17 ve 19-20 Ağustos), Kanalizasyon Daire Başkanlığının Beyoğlu Bölgesine bakan saha

ekipleri ile Beyoğlu Kılıçalipaşa Caminin önündeki kolektörden (11-12 ve 14-15 Ekim), Beyoğlu Kasımpaşa İBB yeni ek hizmet binasının yanındaki kolektörde (15-16 ve 18-19 Kasım) tarihlerinde toplanılan numuneler, Adli Tıp Enstitüsünün bünyesindeki laboratuvarında analiz edilmiş ve sonuçlar Avrupa Uyuşturucu ve Uyuşturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi (EMCDDA) verileri ile karşılaştırılabilir formatta yorumlanmıştır. Belirlenen pilot bölgelerden 1 gün hafta içi 1 gün hafta sonu olmak üzere 2 gün 24 saat süre ile kompozit veri alınmıştır. Böylece uyuşturucunun hafta içi ve hafta sonu kullanım durumlarının farkı anlaşılabilecektir. Atıksuda uyuşturucu analizleri şu anda Dünya üzerinde 20 ülkede 53 şehirde gerçekleştirilmektedir. Bu analizler genellikle ülkelerin en kalabalık ve kozmopolit şehirlerinin analiz sonuçlarından oluşmaktadır. Bu sebeple Türkiye genelini temsil etme potansiyeline sahip olan tek şehir olması sebebi ile İstanbul bu anlamda kritik rol oynamaktadır.

Pilot bölgelerdeki numune alım noktaları belirlenirken; İlçenin genelini

kapsayan kolektörler seçilmiş olup, çalışmaların kolay sürdürülebilmesi için bölgede çalışan görevli Mühendis ve saha ekiplerin bilgilerine başvurulmuştur.

Projenin önemli bir aşaması da CBS Veri Entegrasyonu model geliştirilip Haritalama sisteminin oluşturulması bu sayede mekânsal analizlerin yapılmasıdır. Numune alınan bölgelere ait, bina bilgileri, kullanım durumları, bölgede bulunan sosyal alanlar, eğlence merkezleri, okul vb. gibi yapıların bilgisi, eğer sistem Nüfus Müdürlükleri ile entegrasi yapılabilirse; bölgede ikamet eden kişilerin yaş aralıkları, demografik bilgileri, eğitim durumları gibi çeşitli bir sürü alt bilgiye ulaşılabileceği gibi, yapılan analiz sonuçlarına göre bölgelere ait yasadışı maddelerin kullanımının önlenmesi için gerekli önlemler alınabilecektir. Atıksu verilerinden analiz edilerek takibi yapılabilecek bir çok farklı madde (ilaç, yasadışı ve kimyasal maddeleri gibi) olup oluşturulan CBS Veri Entegrasyonu modeli ile bu tüm İstanbul genelinde sorgulanabilecek bir formatta düzenlenecektir. Bu aşamada ise projenin danışman ve benim Yüksek Lisans Tez Hocam İTÜ Geomatik Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. Dr. Ahmet Özgür Doğru'nun akademik bilgilerinden ve deneyiminden yararlanılmaktadır.

İstanbul çok büyük bir metropol ve eski bir yerleşim yeri olduğu için projenin oluşturulmasında ve yürütülmesinde bir çok sorunla karşılaşmakta olup, etkin, çözümcü, kalıcı ve hızlı yöntemler bulunarak bu olumsuzlukların en aza indirilmesi hedeflenmiştir.



Projenin önemli bir aşaması da CBS Veri Entegrasyonu model geliştirilip Haritalama sisteminin oluşturulması bu sayede Mekânsal Analizlerin yapılmasıdır



Projenin ana faaliyetleri

- Atıksuda uyuşturucu analiz laboratuvarı kurulması.
- Uygun drenaj noktalarından 24 saatlik atıksu numunelerinin toplanması.
- Atıksu numunelerinde psikoaktif madde analizi.
- Geri hesaplama yöntemi ile günlük tüketim miktarının belirlenmesi ($\mu\text{g/gün}/1000$ kişi).
- Mekânsal analizlerin yapılması.
- CBS veri entegrasyonu ve haritalama.

Projenin ulusal ve uluslararası hedefleri

- Atıksuda uyuşturucu analiz yöntemlerini ve bu yöntemlerin standart uygulama prosedürlerini geliştirmek.
- Ülkemize ait karşılaştırılabilir verilerin, Dünyada düzenli olarak toplanmakta olan EMCDDA verilerine entegre edilmesi için altyapı oluştur-

mak.

- Bu verilerin yorumlanması ile oluşturulacak stratejiler doğrultusunda ülkemizdeki yasadışı madde ile mücadeleye bireysel değil toplumsal boyutta katkı sağlamak.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler Ocak 2018 tarihinde gerçekleştirilen projenin lansmanı kapsamında daha detaylı şekilde sunulmuş olup, bu projenin İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü bünyesindeki "Atıksudan Uyuşturucu Madde Analiz Laboratuvarı" kapsamında sürdürülebilir hale getirilmesi ile Yeşilay ve İSKİ'nin de büyük yardımlarıyla ülkemizin uyuşturucu ve bağımlılıkla mücadelesinde ulusal ve uluslararası anlamda büyük katkılar sağlanması hedeflenmektedir.

İKİTELLİ İÇMESUYU ARITMA TESİSLERİ'NDE PİLOT ÖLÇEKLİ GRANÜLER AKTİF KARBON TEST ÇALIŞMALARI

Dicle TATAR

İSKİ, İkiteli Su Arıtma Şube Müdürlüğü, Çevre Mühendisi



Tıbbi ilaçlar, kozmetik ve diğer kişisel bakım ürünleri, evsel atıksu yoluyla su ortamlarına karışan önemli mikrokirletici kaynaklardır. Ayrıca klorlu bileşikler, zirai mücadele ilaçları, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan fenollü bileşikler örnek verilebilir.

Granüler aktif karbon filtrasyonu içmesuyu arıtımında yüksek verimde organik madde giderimi amacıyla uygulanan ileri bir arıtma yöntemidir. Organik madde, tat ve kokuda bozulmaya sebep olması, klorla yan ürün oluşturması ve su dağıtımında bakteri çoğalma riski oluşturması açısından içmesuyunda önemli bir kalite göstergesidir. Su ortamlarındaki doğal ve insan kaynaklı organik bileşikler, içmesuyunda farklı öneme sahiptir.

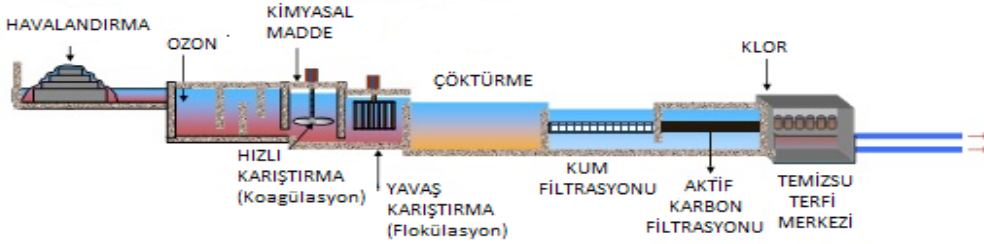
Doğal kaynaklı organik kirleticiler

Yaşayan her canlı organizma, metabolik atıkları ve canlılığının sona ermesi sonucu biyolojik ayrışma ürünleri ile organik kirlilik kaynağıdır. Gerek su kaynağında var olan, gerekse yerüstü ve yeraltı suları ile taşınan organik kirleticiler sudaki tat, koku ve rengin esas kaynağıdır. Hümk ve fülvik asitler, mikrobiota, bitkilerin ayrışma ürünleri ve alglerin ürettiği metabolitler doğal organik maddelere örnek verilebilir. Yüzeysel suların içerdiği organik madde miktarının çoğunluğunu doğal organik bileşikler oluşturur.

Sentetik esaslı organik kirleticiler

Evsel - endüstriyel atıksu kaynaklı olarak ve tarımsal faaliyetlerle su ortamına karışan, nanogram/lit gibi çok düşük konsantrasyonlarda insan sağlığı için risk oluşturan kirleticilerdir. Bu kirleticiler mikrokirletici genel başlığı altında içmesuyunda son yıllarda önem kazanmıştır. Tıbbi ilaçlar, kozmetik ve diğer kişisel bakım ürünleri, evsel atıksu yoluyla su ortamlarına karışan önemli mikrokirletici kaynaklarıdır. Ayrıca klorlu bileşikler, zirai mücadele ilaçları, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan fenollü bileşikler örnek verilebilir.

Organik madde yüzbinlerce tür bileşiği kapsayan kolektif bir parametre olduğundan, içmesuyu standartlarında belirlenmiş bir limit yoktur. Ancak içmesuyunda 2,0 mg/lit'den düşük organik madde değerleri önemli bir kalite göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte dünyada düşük ham su organik madde değerlerine rağmen, tat-koku kalitesinde iyileşme ve düşük serbest klor değerleri için aktif karbon uygulaması yapan tesisler mevcuttur.



Şekil 1. Konvansiyonel arıtma akım şeması

(Seul, Tokyo ve Osaka'daki içmesuyu arıtma tesisleri örnek verilebilir). İSKİ içmesuyu arıtma tesislerinin genel çıkışında organik madde değerleri 2,0-3,5 mg/lt değerlerindedir.

Konvansiyonel arıtma yöntemi koagülasyon/flokülasyon/çöktürme/filtrasyon aşamalarından oluşmakta olup, koloidal ve partiküler kirleticilerin gideriminde etkili olurken, çözünmüş madde giderim verimi düşüktür. Yüzeysel su kaynaklarının yüksek konsantrasyonlarda ihtiva ettiği ve sudaki renk, tat ve kokunun önemli oranda kaynağını oluşturan doğal organik maddeler, ağırlıklı olarak çözünmüş formdadır. Örnek olarak İkitelli Su Arıtma Tesisleri'nin hamsu kaynağı olarak kullanılan Terkos Gölü ve Sazlıdere Barajı'nda organik madde %70'i aşan oranlarda çözünmüş formdadır. Organik maddenin koagülasyon/çöktürme yöntemiyle giderilebilirliğini belirleyen parametrelerden biri de SUVA'dır (Spe-sifik UV Absorbans Değeri). SUVA'nın 4 ve üzerinde olduğu sularda organik madde partiküler, hidrofobik yapıdadır ve koagülasyon/çöktürme ile % 50'nin üzerinde giderim verimi elde edilebilir. SUVA değerinin 2'nin altında olduğu sularda ise organik madde çözünmüş ve hidrofilik yapıdadır ve gideriminin % 25-30 değerlerinde gerçekleşmesi beklenir. İkitelli Su Arıtma Tesisleri hamsu

kaynaklarının organik madde SUVA değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Düşük SUVA değerlerinin de işaret ettiği gibi, İkitelli Tesisleri'nde elde edilen organik madde giderim verimi % 25-35 'tir.

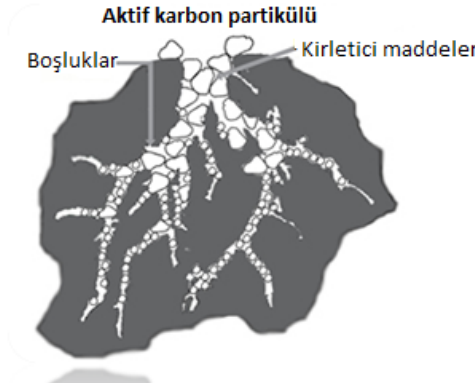
	TOK (mg/L)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	SUVA ₂₅₄ (L/mg.m)
Sazlıdere Hamsu	4,2	0,08	1,9
Terkos Hamsu	5,2	0,07	1,3

Tablo 1. Terkos ve Sazlıdere hamsu SUVA değerleri (2017)

Yüzeysel sularda doğal organik maddeler ağırlıklı olarak düşük SUVA değerlerine sahip yüksek oranda çözünmüş formda organik bileşiklerdir. Bu durum yüksek organik madde giderimi sağlayabilmek için filtrasyon sonrasında ileri arıtma yöntemlerinin kullanılmasını gerekli kılar. Granüler aktif karbon filtrasyonu bu amaçla uygulanan etkili bir organik madde giderim yöntemidir. Aktif karbon, karbon içeriği yüksek doğal bir hammaddenin yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda çeşitli işlemlerden geçirilerek aktive edilmesiyle meydana gelir. Aktivasyon işlemi sonucunda gözenekliliği yüksek, kömürümsü ve çok geniş yüzey alanına (1000-1500 m²/gr) sahip bir malzeme elde edilir.



Organik madde yüzbinlerce tür bileşiği kapsayan kolektif bir parametre olduğundan, içmesuyu standartlarında belirlenmiş bir limit yoktur. Ancak içmesuyunda 2,0 mg/lt'den düşük organik madde değerleri önemli bir kalite göstergesi olarak kabul edilmektedir.



Bu malzeme temas ettiği su içindeki çözülmüş organik maddeleri kendi üzerine çekme ve sudan ayırma (adsorpsiyon) özelliğine sahiptir. Böylece suda istenmeyen organik kirliliklerin hızlı ve etkili bir biçimde giderilmeleri mümkün olmaktadır. Kirliliğe neden olan maddeler, aktif karbonun yüzeyinde tutulduğundan teorik olarak, aktif karbon yüzey alanı ne kadar büyük olursa organik kirlenici arıtma verimi de o kadar yüksek olur. Buna ek olarak; adsorpsiyon, aktif karbon yüzeyindeki kimyasal fonksiyonel gruplar ile sudaki organik yapıların çekim kuvvetiyle etkileşimi sonucu oluşmaktadır. Bu nedenle, kirliliğin giderilmesinde hem aktif karbonun yüzey alanı hem de yüzeyinde bulunan fonksiyonel grupların yapısı ve kirlenicilerle etkileşimi önem arz etmektedir.

Hindistan cevizi kabuğu, fındık kabuğu, odun, kömür, linyit gibi pek çok madde aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra aktifleştirme işlemleri (sıcaklık, bekleme süresi, termal işlemlerin yanı sıra kimyasal maddelerin de kullanımı vb.) üretici firmaya göre değişiklik gösterebilir.

Piyasadaki ticari aktif karbonlar granüler ve toz formda olabilir. Granüler aktif karbon 0,2-5 mm aralığındaki boyutlarda, toz aktif karbon ise genel olarak

0,18mm'den küçük boyutlardadır. İçme-suyu arıtımında toz ve granüler formda aktif karbon uygulamaları mevcuttur.

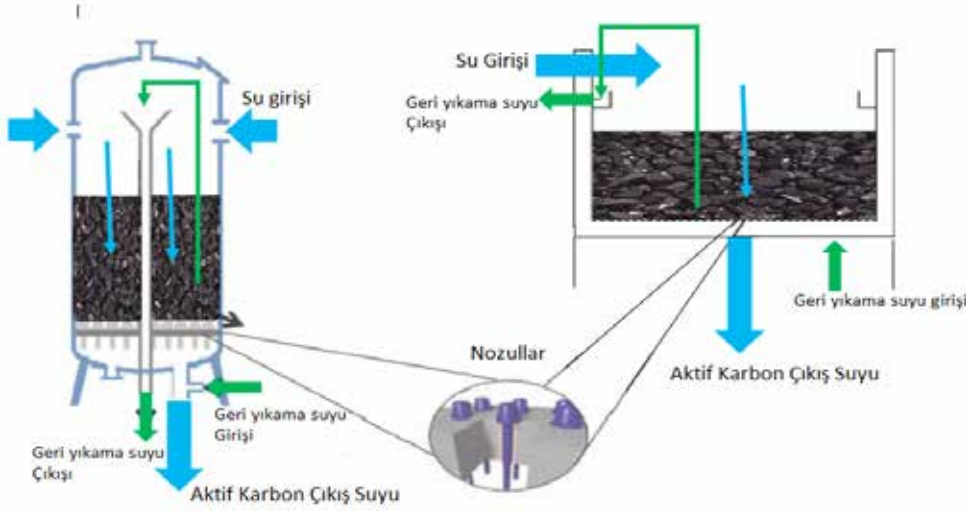


Toz aktif karbon uygulaması suya dozlanarak yapıldığından, granüler aktif karbon filtrasyonuna göre ilk yatırım maliyeti düşük ve kurulumu kolay bir uygulamadır. Alg kaynaklı tat koku parametreleri olan MIB Geosmin üzerinde etkili olmakla beraber, organik madde gideriminde belirgin bir artış sağlamaz. Toz aktif karbonun koagülasyon aşamasında çöktürmenin başında diğer kolloidal kirlenicilerin varlığında dozlanması verim düşüşüne sebep olmaktadır. Aşırı tozlu yapısı ile suya karıştırılmasındaki sorunlar da ciddi uygulama zorlukları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Granüler aktif karbon filtrasyonunda ise, kum filtrasyonu sonrasında bulanıklığı çok düşük seviyelere gelmiş suyun, aktif karbon yatağından süzülmesi ile organik madde gideriminde etkili sonuçlar alınmaktadır. Filtrasyon basınçlı ve açık yüzeyli filtre olarak uygulanabilir. Basınçlı uygulamalar yüksek hızlı, adsorpsiyon amaçlı olarak uygulanırken; yüksek kapasiteli tesislerde biyolojik amaçlı açık filtreler tercih edilmektedir.

İkitelli Su Arıtma Tesisleri'nde yürütülen biyolojik aktif karbon filtrasyonu test çalışmaları 2 aşamalı olarak planlanmıştır.

Kirliliğe neden olan maddeler, aktif karbonun yüzeyinde tutulduğundan teorik olarak, aktif karbon yüzey alanı ne kadar büyük olursa organik kirlenici arıtma verimi de o kadar yüksek olur.



Şekil 2: Basıncılı ve açık yüzeyli granüler aktif karbon filtrasyonu

1. Aşama: Hızlı küçük ölçekli laboratuvar test düzeneğinde yapılan çalışmalar

Değişik hammadde ve üretim yöntemi kullanılması sonucu piyasada ticari olarak satılan aktif karbonların fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olabilir ve bunun sonucu olarak da farklı ticari ürünlerin sudaki organik kirleticiler ile etkileşimleri de değişim gösterir. Bu etkileşim aktif karbonun yapısal özelliklerine bağlı olduğu gibi aynı zamanda içmesuyu kaynağının su kalite parametrelerine ve kaynağın içerdiği organik bileşiklerin yapılarına da bağlıdır. Bu nedenle, herhangi bir içmesuyu kaynağında bulunan organik kirleticileri gidermek amacıyla kullanılacak en uygun aktif karbonun seçimi ancak o içmesuyu kaynağı kullanılarak yapılacak aktif karbon filtrasyon çalışmaları ile mümkün olmaktadır. ASTM (American Society for Testing and Materials-Amerikan Test ve Malzeme Kurumu), bir içmesuyu kaynağının arıtımında kullanılacak uygun aktif karbonun hızlı ve güvenilir biçimde seçilebilmesi için D6586-03 kodlu

bir standart yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem (Standard Practice for the Prediction of Contaminant Adsorption on GAC in Aqueous Systems Using Rapid Small-Scale Column Tests - Hızlı küçük Ölçekli Kolon Testleri ile Granüler Aktif Karbon Adsorpsiyonu için Standard Uygulama), 12 ay süresince test çalışmaları yapılacak pilot biyolojik aktif karbon çalışması için en uygun granüler aktif karbonun belirlenmesine yönelik olarak İkitelli Su Arıtma Tesisi Laboratuvarında uygulanmıştır.

İkitelli Tesis laboratuvarında İdare tarafından temin edilen test düzeneği ile Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinin danışmanlığında test edilmiştir. Yapılan testlerde toplam organik karbon (TOK) ve tat-koku (MIB-Geosmin) ölçümleri gerçekleştirilerek aktif karbon örnekleri arasında İkitelli içmesuyu için kullanılacak en uygun aktif karbon belirlenmiştir.



Şekil 3. Hızlı Küçük Ölçekli Granüler Aktif Karbon Test Düzeneği

Sistem aşağı akışlı 5 adet kolondan oluşmakta olup, beslenen sudaki organik kirleticiler, kolon içindeki aktif karbon tarafından tutulur ve böylece çıkış suyundaki kirletici madde konsantrasyonu önemli ölçüde azalır. Kolon içine yerleştirilmiş olan aktif karbonun adsorplama kapasitesine bağlı olarak sistem belli bir süre aynı arıtım verimi ile çalıştıktan sonra aktif karbonun tamamının yüzeyinin kirletici ile yüklenmesi sonucu çıkış suyundaki kirletici konsantrasyonu artmaya başlar. Çıkış suyundaki konsantrasyonun artma anının tespit edildiği grafiğe kırılma eğrisi adı verilir. Hızlı Küçük Ölçekli Kolon Çalışması, aktif karbon kırılma eğrilerinin hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlar. Farklı aktif karbon tiplerinden elde edilen kırılma eğrileri karşılaştırılarak belli bir su kaynağının arıtımında en yüksek organik madde giderim verimini sağlayacak aktif karbon belirlenmiş olur.

Çalışma İdare tarafından temin edilen 5 farklı aktif karbon numunesi ile yapılmıştır. Numuneler temin edilirken

içmesuyunda verimli olarak yaygın olarak uygulaması bulunan aktif karbonların seçimine özen gösterilmiştir. Test düzeneği devrede olduğu süre boyunca her saat numune alınarak İkitelli Laboratuvarında bulunan Shimadzu TOC-L CPN cihazı ile TOC analizleri yapılmıştır. Her 4 saatte bir alınan numunelere ait MIB-Geosmin analizleri için ise Kağıthane Merkez Laboratuvarında bulunan Hewlett Packard HP5973 model GCMS cihazı kullanılmıştır. Çalışma boyunca tüm analizler İSKİ personeli tarafından yapılmıştır.

Test çalışmaları numune verimlerine bağlı olarak 17-27 saatte sonuçlandırılmış ve her ürüne ait organik madde giderimine ait kırılma eğrileri danışman öğretim üyeleri tarafından çizilerek rapor halinde İdare'ye sunulmuştur. Normal filtrasyon hızları ile 2-4 ayı bulan çalışma, uygulanan metot ile kısa sürede sonuçlandırılmış ve pilot granüler aktif karbon ünitesinde kullanılacak organik madde tutma kapasitesi en yüksek ürün tespit edilmiştir.

2. Aşama: İkitelli su arıtma tesisleri çıkış suyunda pilot granüler aktif karbon filtrasyon ünitesinde yapılan test çalışmaları

Pilot ünite her biri 10 m³/gün kapasiteli iki ayrı aktif karbon kolonu olacak şekilde tasarlanmıştır. Kolonlara iletilen su, kum filtrasyonu çıkış suyudur. İkitelli Su Arıtma Tesisleri'nde hamsu, ozonlama/koagülasyon/flokülasyon/çöktürme/filtrasyon aşamalarından sonra klorlanarak şehre iletilmektedir. İkitelli filtre ünitesinden sürekli çıkış yapmakta olan su, bekletilmeden pilot üniteye iletilmektedir. Filtre çıkış suyu

organik madde (TOK) değerleri 2,5-3,5 mg/lit değerleri arasında değişmektedir. Birinci aşamada belirtilen test çalışmalarında tespit edilen aktif karbon temin edilerek kolonlara yerleştirilmiştir. Aktif karbon yatak yüksekliği 2m olup, filtrasyon hızı ve bekletme süreleri dünyadaki uygulamalar ile tesiste ileriye yönelik aktif karbon filtrasyon alanı olarak planlanan alan gözönünde bulundurularak seçilmiştir.

Pilot ünite teknik çizimleri ve P&ID, Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği öğretim üyeleri tarafından hazırlanarak İdare'ye sunulmuştur. Sistem, hazırlanan teknik şartnameye bağlı olarak İdare tarafından temin edilmiş ve İkitelli Su Arıtma İşletme Şefliği tarafından devreye alınmıştır. 21 Ağustos 2017 tarihinden bu yana kesintisiz olarak test çalışmaları devam etmekte olup, 12 ay boyunca sürdürülmesi planlanmaktadır. Günlük olarak organik madde giriş-çıkış değerleri İkitelli Tesis Laboratuvarı'nda Schimadzu TOC-L CPN cihazında ölçülerek organik madde değerindeki düşüş izlenmektedir. Ayrıca Kağıthane Temizsu Laboratuvarı'nda haftalık olarak MIB ve Geosmin tat-koku parametreleri başta olmak üzere, 65 parametrenin ölçümü yapılmaktadır.

Aktif karbon, birim hacimde çok yüksek yüzey alanı ihtiva eden bir ürün olduğundan, yüzeyi mikroorganizmaların gelişmesi için çok uygundur. Mikroorganizmaların organik maddeyi ayrıştırmasıyla biyolojik olarak organik madde giderimi sağlanmaktadır. Aktif karbonda esas tutulma mekanizması adsorpsiyon (yüzeyde tutulma) olmakla beraber, giriş organik madde miktarına bağlı olarak 4 ay-1 yıl işletme süresinin sonunda boşlukları dolan aktif karbon partikül-

lerinin adsorplama verimi düşer. Aktif karbonda tutulan organik maddelerin geri alınarak tekrar kullanılabilir duruma getirilmesi için aktif karbonun rejenerasyon tesislerine gönderilmesi gerekir. Rejenerasyon süresini uzatmak amacıyla dünyada aktif karbon uygulamaları esas olarak biyolojik filtrasyon hedeflenerek planlanmaktadır. Bu şekilde 3-4 yılı bulan sürelerde aktif karbon rejenere edilmeden kullanılabilmektedir.

Biyolojik aktif karbon filtrasyonunda mikroorganizmaların organik maddeyi kolay kullanabilmesi için, aktif karbon öncesi ozon dozlanarak organik madde basit formlara dönüştürülmektedir. Dünyada biyolojik aktif karbon uygulamalarının öncesinde bu amaçla ozon ünitesi kurulmaktadır. Ozon uygulamasının, biyolojik filtrasyonun verimine etkisinin düşük olduğuna dair akademik çalışmalar da mevcuttur. (Yapsaklı K., Çeçen F., 2009). İkitelli Tesisinde arıtma başlangıcında hamsuda ön ozonlama yapıldığından aktif karbon öncesinde tekrar ozonlama yapılmadan biyolojik faaliyetin verimli olabileceği düşünülmüştür. İkitelli'deki pilot uygulamada, kolonlardan biri giriş suyuna ozon dozlanarak, diğer kolon ise ozon dozlanmadan çalıştırılarak sistem ozon uygulamasının verime etkisi açısından da test edilmektedir.

Biyolojik aktif karbon filtrasyonu, organik maddenin şebekede bakteri üremesine sebebiyet veren biyolojik olarak ayrışabilir kısmı giderildiği için, şebekede klor dozajının düşürülmesine imkan veren bir uygulamadır. AOK (Asimile Edilebilir Organik Karbon), organik maddenin biyolojik olarak ayrışabilir



Biyolojik aktif karbon filtrasyonu, organik maddenin şebekede bakteri üremesine sebebiyet veren biyolojik olarak ayrışabilir kısmı giderildiği için, şebekede klor dozajının düşürülmesine imkan veren bir uygulamadır.



*Aktif karbon
filtrasyonu
içmesuyu arıtımında
önem kazanan
mikrokirleticiler ve
hormon yapısını
bozan maddelerin
gideriminde de
verimli bir yöntemdir.
Pilot ünite giriş ve
çıkışında İdare Temiz
Su Laboratuvarı'nda
mikrokirletici
ölçümü yapılarak
giderim verimi tespit
edilecektir.*

kısmını ifade eden bir parametre olarak bu sistemlerde takip edilmektedir. Genel organik madde giderim verimi düşük olsa bile, giderilen kısım yüksek oranda AOK'a karşılık gelen, biyolojik ayrışma hızı yüksek organik bileşiklerdir. Suda tat ve kokuya sebep olan doğal organik maddeler, biyolojik ayrışabilirliği yüksek bileşikler olduğundan suyun tat ve koku kalitesinde daha iyi bir seviyeyi elde etmek mümkün olmaktadır. Biyolojik aktif karbon filtrasyonu suya daha az klor dozlanmasına imkan verdiği için, klor kaynaklı tat ve koku şikayetlerinin de azalması sağlanmaktadır. Dünyada düşük hamsu organik madde girişine rağmen tat ve kokuda iyileşme ve şebekede daha düşük klor değerleri için biyolojik filtrasyon uygulanmaktadır. Seul'de 5 adet içme suyu arıtma tesisinde arıtılan 3.000.000 m³/gün suyun tamamına biyolojik aktif karbon uygulaması yapılmakta, şebekede ara klorlama uygulamaları ile birlikte dağıtım ağında klorun şikayete sebebiyet vermeyen 0,2-0,3 mg/l mertebelerinde tutulması sağlanmaktadır.

Aktif karbon filtrasyonu içmesuyu arıtımında önem kazanan mikrokirleticiler ve hormon yapısını bozan maddelerin gideriminde de verimli bir yöntemdir.

Pilot ünite giriş ve çıkışında İdare Temiz Su Laboratuvarı'nda mikrokirletici ölçümü yapılarak giderim verimi tespit edilecektir.

Aktif karbon kolonu boyunca numune noktalarından alınacak aktif karbon numunelerine mikroskopik ve moleküler analizler yaptırılacaktır. Bu analizler ile birlikte AOK ölçümünün yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi, Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden alınacak danışmanlık hizmeti kapsamında planlanmaktadır. Bu kapsamda ikinci 6 aylık dönemde işletme parametreleri gözden geçirilecek; fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelere ait veriler raporlanarak genel değerlendirme yapılacaktır.

İçme suyunda önemli bir sorun olan ve temel arıtma sistemlerinde arıtılmayan amonyak, biyolojik filtrasyonda nitrifikasyon bakterilerinin faaliyetiyle giderilmektedir. İkitelli'de hamsu amonyak konsantrasyonu düşük seviyelerde olup amonyak problemi yaşanan hamsu değerlerine ulaşmamaktadır. Pilot ünitenin yüksek amonyak içeren besleme suyu ile test edilmesi amonyak giderimi açısından faydalı bir çalışma olacaktır.

İSKİ, TEMİZ SUYUN GÜVENCESİ

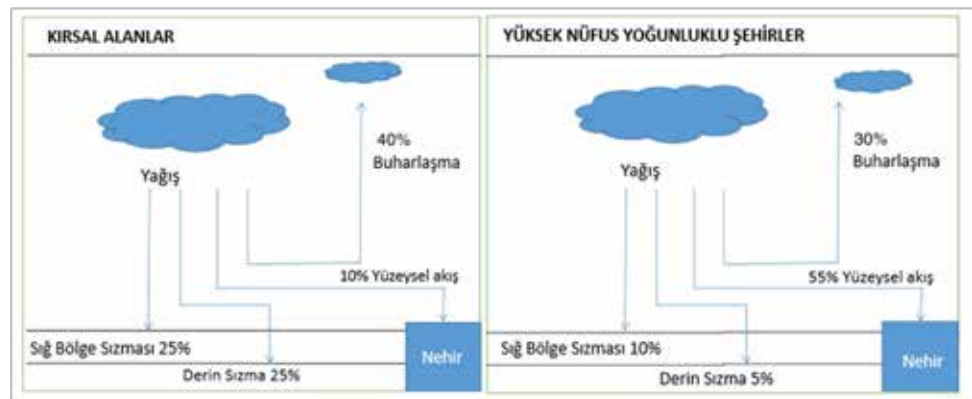


YAĞMUR SUYU YÖNETİMİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Yrd. Doç. Dr. Ekrem KARPUZCU
İTÜ, Çevre Müh. Bölümü

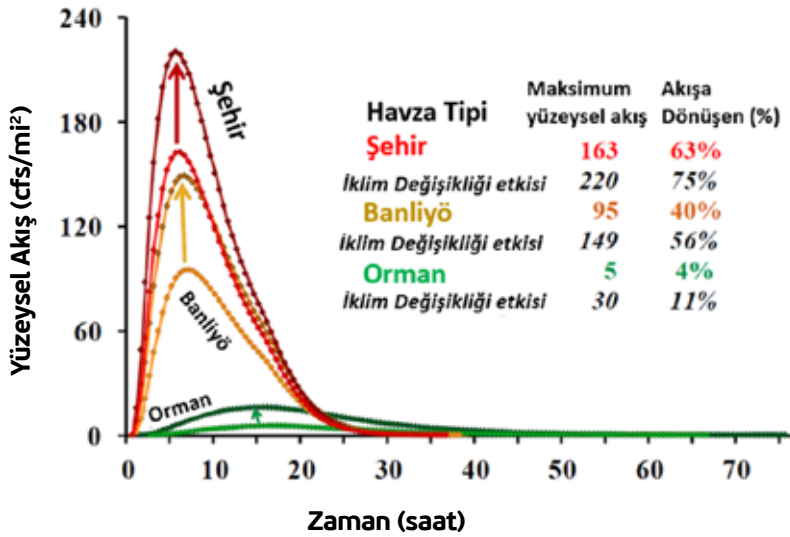
Kentsel alanlarda nüfus artışıyla birlikte, asfalt yollar, otopark alanları gibi geçirimsiz sert yüzeylerin kapladığı alanlar da artmıştır. Bunun sonucunda yağmur suları doğal yollarla toprağa sızamamakta ve yüksek oranda yüzeysel akışa dönüşerek taşkın tehlikesine yol açmaktadır. Bu durumun hidrolojik döngüye etkisi Şekil 1’de görülmektedir (Saraswat 2016). Yeraltı suları yeterince beslenmediği gibi, yüzeysel akışın su kalitesi de bu durumdan olumsuz etkilenmekte, yüzeysel akışla taşınan kirletici miktarlarında artış gözlenmektedir (Butler ve Davis, 2004, USEPA 2012) (Şekil 1).

Plansız şehirleşmenin yağmur suyu sistemlerine getirdiği yüke ek olarak, özellikle son yıllarda iklim değişikliğinin olumsuz etkileri de görülmeye başlamıştır. İklim değişikliği sonucunda ekstrem yağış olaylarının görülme sıklığının ve şiddetinin artması, pik debilerdeki artış, mevsimsel kaymalar gibi etkenler, tasarım için esas alınan yağış-süre-tekerrür eğrilerinin yeniden ele alınarak güncellenmesini gerektirmektedir. Blair vd. (2010) tarafından Amerika’nın Güney Karolayna eyaletinde yapılan bir çalışmada, iklim değişikliğinin şehirleşmeye ek olarak yüzeysel akışta meydana getirdiği artış ortaya konmuştur (Şekil 2).



Şekil 1. Şehirleşme sonrası yeşil alanların azalmasıyla oluşan durum (Saraswat vd., 2016)

Plansız şehirleşmenin yağmur suyu sistemlerine getirdiği yüke ek olarak, özellikle son yıllarda iklim değişikliğinin olumsuz etkileri de görülmeye başlamıştır.



Şekil 2. Şehirleşme ve İklim Değişikliğinin Yüzeysel Akışa Etkisi (Blair vd., 2010)

İklim değişikliğinin etkisiyle birlikte mevcut drenaj sistemlerinin yetersiz kalması sonucu yerleşim yerlerinde görülen sel ve su baskınları olaylarının artması beklenmektedir. Bu risklerin boyutunun belirlenerek acilen gerekli tedbirlerin alınması, şehirlerimizin altyapısının iklim değişikliği karşısında dirençli, sürdürülebilir ve güvenli bir şekilde gelişmesine katkı sağlayacaktır. Bu konuda yerel yönetimlere de önemli görevler düşmektedir.

Yağmur sularının birleşik veya ayırık kanalizasyon sistemleriyle toplanıp uzaklaştırıldığı geleneksel kentsel yağmur suyu yönetimi yaklaşımının bu sorunlara çözüm getiremeyeceği açıktır. İşte bu bahsedilen sorunların çözümüne yönelik olarak, son yıllarda "Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (SKDS)" kavramı önem kazanmıştır. Özellikle Avustralya, İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi ülkelerde bu yaklaşım önem kazanmış ve SKDS için

tasarım kriterleri ortaya konmuştur (Butler 2004, USEPA 2012). Avustralya'da "Suya Duyarlı Kentsel Tasarım" (Water Sensitive Urban Design, WSUD), İngiltere'de "Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri" (Sustainable Urban Drainage Systems, SUDS) ve ABD'de "Düşük Çevresel Etkili Gelişim" (Low Impact Development, LID) adıyla bilinen bu yaklaşımdaki temel amaç, doğal su döngüsünü mümkün olduğunca bozmadan ve doğal drenaj proseslerini taklit ederek toprağa sızmanın artırılması, yağmur sularının yer altı sularına ulaşmasının sağlanması, yüzeysel akış miktarının ve akış hızının azaltılması, yüzeysel akıştaki kirlenici miktarının azaltılması ve böylece kentsel alanların hidrolojik fonksiyonlarının iyileştirilmesidir. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (USEPA) bu amaca hizmet eden altyapı tedbirlerini "yeşil altyapı" olarak nitelendirmektedir (USEPA, 2012). Bunlara örnek olarak, yağmur bahçeleri, yeşil çatılar, geçirimli döşemeler, yağmur

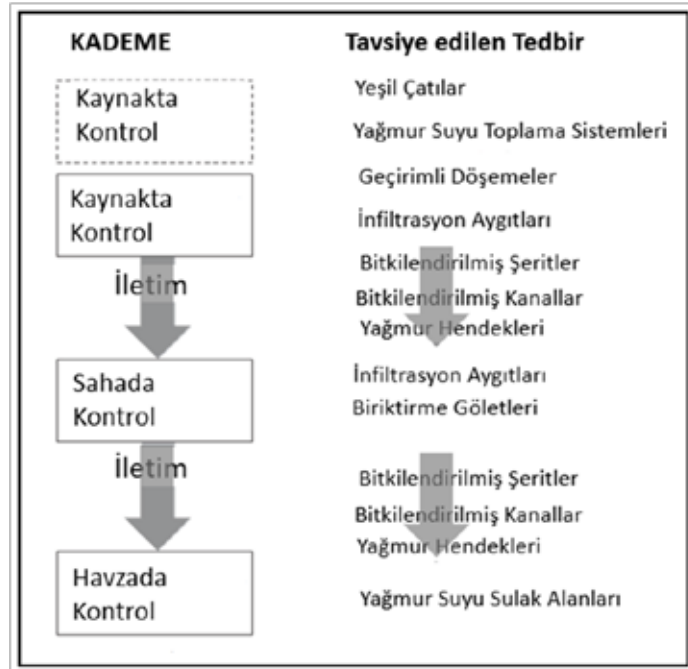


İklim değişikliğinin etkisiyle birlikte mevcut drenaj sistemlerinin yetersiz kalması sonucu yerleşim yerlerinde görülen sel ve su baskınları olaylarının artması beklenmektedir. Bu risklerin boyutunun belirlenerek acilen gerekli tedbirlerin alınması, şehirlerimizin altyapısının iklim değişikliği karşısında dirençli, sürdürülebilir ve güvenli bir şekilde gelişmesine katkı sağlayacaktır.

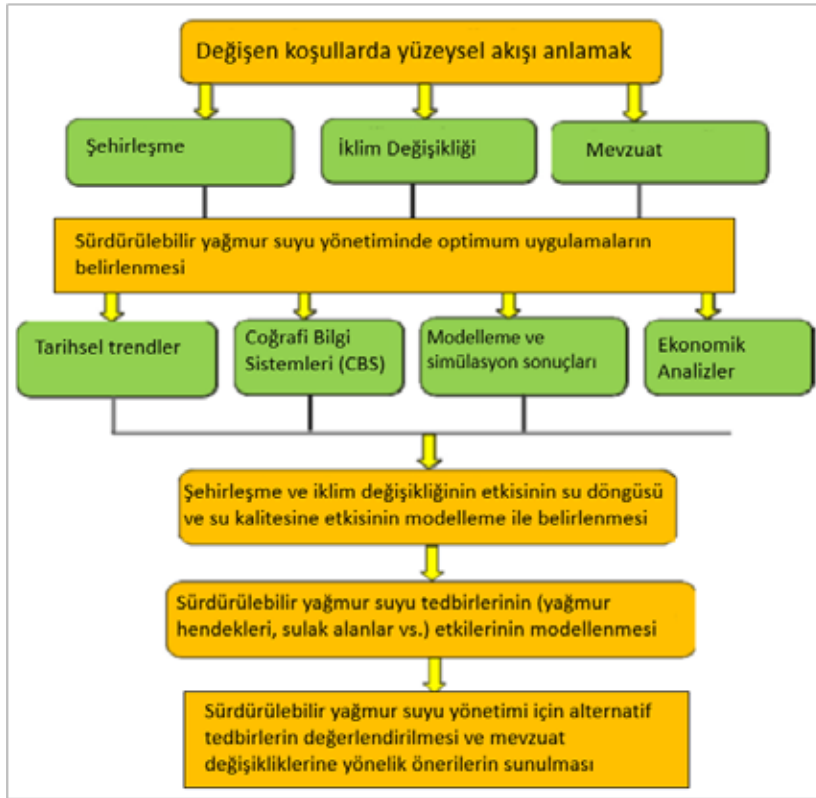
hendekleri, infiltrasyon cihazları, yağmur suyu sulak alanları ve bitkilendirilmiş filtre şeritleri sayılabilir (Butler, 2004, USEPA 2012). Bu sürdürülebilir altyapı tedbirlerinin hangi aşamada ve birlikte nasıl uygulanacakları konusunda çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Tavsiye edilen tedbirleri kullandıkları kademeye göre bir dizi şeklinde sıralayan “Yağmur Suyu Yönetimi Dizisi” en çok kabul gören yaklaşımlardan biridir (Şekil 3, Butler ve Davis 2004). Bu yaklaşıma göre, yağmur suyunun yüzeysel akışa dönüşmesini engelleyecek tedbirler (yeşil çatılar, yağmur suyu biriktirme tankları vb.) “Kaynakta Kontrol” ka-

demesinde ele alınmakta, yüzeysel akışa dönüşen kısım havzada ilerlerken alınan tedbirler ise “İletim” kademesindeki tedbirler olarak sınıflandırılmaktadır. Yüzeysel akışın bu safhalarda kontrol edilemeyen kısmı ise “Sahada Kontrol” ve “Havzada Kontrol” kademelerindeki daha büyük ölçekli tedbirler ile kontrol edilmektedir.

Değişen koşullar altında yağmur suyu drenaj sistemlerinin yeniden ele alınması ve sürdürülebilir bir yağmur suyu yönetim sisteminin oluşturulabilmesi için gerekli adımlar Şekil 4’de verilmiştir (Saraswat vd., 2016).



Şekil 3. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetiminde Altyapı Tedbir Kademeleri (Butler ve Davis, 2004)



Şekil 4. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetim Planı Oluşturma Metodolojisi (Saraswat vd, 2016)

Sürdürülebilir yağmur suyu yönetiminde optimum tedbirlerin belirlenmesi için iklim modellerinden faydalanılmalı, bu modellerin sonuçları bir sonraki aşamadaki hidrolojik ve hidrolik modeller ve su kalitesi modelleri için altlık olarak kullanılmalıdır. Son yıllarda yağmur suyu yönetiminde sürdürülebilirlik kavramının öne çıkmasıyla birlikte, modelleme yazılımlarının güncel sürümlerinde sürdürülebilir altyapı tedbirlerinin de hesaba katılması mümkün olmaktadır. Bu yazılımlar ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları birlikte kullanılarak, hangi altyapı tedbirinin hangi noktalarda ne derece etkili olacağı belirlenebilmektedir. Farklı altya-

pı tedbirlerinin değişik koşullar altında uygulandığı simülasyon senaryoları sonucunda, alternatif tedbirler değerlendirilmeli, maliyet faktörleri de göz önüne alınarak optimum tedbir önerileri sunulmalıdır.

Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi kapsamındaki altyapı tedbirlerinin ülkemizde de yaygınlaşması, kentsel alanların bozulan su döngüsünün iyileştirilmesinin yanında, estetik yönden de yararlar sağlayacaktır. Hayata geçirilen yeşil altyapı uygulamalarının her biri, sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi için ileriye yönelik bir adım olarak kabul edilmelidir.



Farklı altyapı tedbirlerinin değişik koşullar altında uygulandığı simülasyon senaryoları sonucunda, alternatif tedbirler değerlendirilmeli, maliyet faktörleri de göz önüne alınarak optimum tedbir önerileri sunulmalıdır.

Kaynaklar

Butler, D. and Davies, J. W. 2004. Urban Drainage, 2nd edition, Spon Press Taylor & Francis Group, London and New York.

USEPA, 2012. Encouraging Low Impact Development, LID Barrier Busters Fact Sheet Series, United States Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds 1200 Pennsylvania Avenue, NW, Washington, DC 20460 EPA 841-N-12-003G.

Saraswat, C. , Kumar, P., Mishra, B.K. 2016. Assessment of stormwater runoff management practices and governance under climate change and urbanization: An analysis of Bangkok, Hanoi and Tokyo. Environmental Science and Policy, Vol. 64: 101-117.

Blair, A., Sanger, D., Holland, F., White, D., Vardiver, L., White, S. 2010. Stormwater Runoff – Modeling Impacts of Urbanization and Climate Change. Proceedings of the 2010 South Carolina Water Resources Conference, Ekim 2010.

İNSANLAR TARAFINDAN KULLANILAN TATLI SULARIN YAKLAŞIK
%70'İ TARIM VE HAYVANCILIK İÇİN HARCANMAKTADIR.



ATIKSU MÜHENDİSLİĞİNDE YENİLİKÇİ VE ÇIĞIR AÇICI BİR TEKNOLOJİ: AEROBİK GRANÜLER AKTİF ÇAMUR PROSESİ

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Evren ERŞAHİN, Hale ÖZGÜN, Recep Kaan DERELİ
İTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü



Granül çamur

İlk ortaya çıkışından
itibaren yaklaşık 100
yıl geçmiş olsa da,
günümüzde evsel
atıksuların arıtımında
kullanılan en yaygın
proses konvansiyonel
aktif çamur
prosesidir.

Dünya genelinde kentsel nüfus artışı, katı atık oluşumu, su kullanımı ve atıksu oluşumuna bağlı çevresel problemlerin de artmasına neden olmaktadır. Çevre yatırımları genellikle belediyelerin en önemli hizmet faaliyetlerini ve en yüksek gider bileşenini oluşturmaktadır. Önemli kamu hizmetlerinden biri olan atıksuların toplanarak uygun şekilde arıtımı ve deşarjı ile oluşan arıtma çamurlarının nihai bertarafı, artan maliyetler ve arazi gereksinimi nedeniyle kentsel yönetimlerin en önemli problemlerinden

biri haline gelmiştir. Bu bakımdan, atıksuların en az maliyet ve arazi kullanımı ile verimli bir şekilde arıtılması giderek daha fazla önem kazanmakta ve bu konuda yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Bu yoğun ilginin oluşmasında, son yıllarda giderek önem kazanan iki kavram olan “enerji verimliliği” ve “kaynak (su, madde, enerji) geri kazanımı” önemli bir itici kuvvet oluşturmaktadır. Sürdürülebilir çevre yönetimi teknolojilerinin temel felsefelerden biri olan “Entegre Çevre Yönetimi” anlayışı, yenilikçi teknoloji çalışmalarında atıksuyun bir

kaynak olarak görülerek, içerisindeki enerjinin ve kullanılabilir maddelerin (azot ve fosfor gibi) maksimum düzeyde geri kazanılması ve arıtılan suyun yeniden kullanılması ile sağlanmış olmaktadır. Son on beş yılda yapılan araştırmalar neticesinde, çevre mühendisliği ve çevre yönetimi teknolojileri kapsamında yer alan, konvansiyonel (klasik) kabul edilen ve çok uzun yıllardır kullanılan birçok ana teknoloji yerini “yenilikçi” olarak adlandırılan teknolojilere bırakmış ve bırakmaya devam etmektedir.

İlk ortaya çıkışından itibaren yaklaşık 100 yıl geçmiş olsa da, günümüzde evsel atıksuların arıtımında kullanılan en yaygın proses konvansiyonel aktif çamur prosesidir. Atıksulardan karbon ve besi maddelerinin (azot ve fosfor) giderildiği konvansiyonel ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri anaerobik, anoksik ve aerobik şartların sağlandığı havuzlar, biyokütlenin arıtılan sudan çökelti olarak ayrıldığı çökeltim havuzu ve nitratin farklı reaktörler arasında döndürüldüğü geri devir hatlarından oluşan karmaşık sistemlerdir. Konvansiyonel aktif çamur prosesinin uygulandığı konfigürasyonların en önemli dezavantajı geniş alan ihtiyacı ile havalandırma ve pompaj işlemleri için yüksek enerji sarfiyatıdır. Aktif çamur prosesine dayanarak birçok arıtma teknolojisi geliştirilmiş ve halen geliştirilmeye devam edilmektedir. Son yıllarda geliştirilen granüler aktif çamur prosesi, klasik aktif çamur konfigürasyonlarından farklı olarak karbon, azot ve fosfor giderimini tek bir reaktör içerisinde sağlamak ve geniş çökeltim havuzlarına duyulan gereksinimi ortadan kaldırmaktadır. Bu durum, özel işletme şartları sayesinde mikroorganizmaların klasik aktif çamur tesisle-

rinde gözlenen floklar yerine çok iyi ve hızlı çökelebilen granül yapısı oluşturması sayesinde gerçekleştirilmektedir. Her bir granül biyoreaktör gibi çalışmakta, granülün dış yüzeyinde karbon giderimi ve nitrifikasyon gerçekleşirken, oksijen konsantrasyonunun azaldığı iç kısımlarda denitrifikasyon gerçekleşmektedir. Bu bakımdan, granüler aktif çamur teknolojisinin keşfedilmesi ve atıksu arıtımında uygulanması çevre mühendisliği ve atıksu mühendisliği açısından çığır açıcı niteliktedir.

Aerobik granülasyon üzerine ilk çalışmalar 1990’lı yıllarda başlamıştır. İlk çalışmalarda yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerde saf oksijen kullanılarak aerobik granül geliştirilmiştir. O dönemde yapılan ilk çalışmalarda sadece organik madde giderimi sağlanmış olup, bu çalışmalar fazla dikkat çekmemiştir. 1990’ların sonunda aerobik granülasyon konusuna ilgi tekrar artmaya başlamıştır. 2000 yılından sonra yapılan çalışmalarda ise eş zamanlı olarak organik madde, azot ve fosfor giderimi fizibil şekilde sağlanabilmektedir. Aerobik granülasyona olan ilgi, özellikle bu teknolojinin konvansiyonel aktif çamur sistemlerine kıyasla sağladığı avantajların ortaya konmasıyla daha da artmıştır. Bu avantajlar arasında; yüksek hızda çamur çökebilirliği, yüksek çamur bekletme sürelerinin sağlanabilmesi, şok ve toksik yüklere karşı direncin fazla olması, granül yapısı dolayısıyla farklı biyolojik proseslerin (aerobik, anoksik ve anaerobik) eş zamanda gerçekleşmesi sayılabilmektedir.

Aerobik granüler aktif çamur teknolojinin en önemli özelliği olan granüller,



Aerobik granüler aktif çamur teknolojisinin en önemli özelliği olan granüller, mikroorganizmaların bir araya gelmesiyle oluşan ve klasik aktif çamur floklarına kıyasla oldukça yüksek çökeltme hızına sahip, topak benzeri yapılardır.

mikroorganizmaların biraraya gelmesiyle oluşan ve klasik aktif çamur floklarına kıyasla oldukça yüksek çökelme hızına sahip, topak benzeri yapılardır. Aerobik granülasyon sistemlerinde çamur hacim indeksi 60-70 ml/g değerine eşit veya bu aralıktan daha düşük değerlerde ölçülmektedir. Granül oluşumu ve oluşan granüllerin stabilitesinin sağlanması için reaktör içinde herhangi bir yardımcı taşıyıcı malzemeye ihtiyaç bulunmamaktadır. Aerobik granüler aktif çamur reaktörlerinde, uygun işletme koşulları altında başlangıç (start-up) aşamasında aşı çamuru öncelikle zayıf bir flok yapısı oluşturmakta, sonrasında zamanla granüler çamur haline dönüşmektedir. Granül oluşumu için klasik aktif çamur prosesi konfigürasyonlarında uygulanan işletme koşullarından daha farklı ve granüler aktif çamur prosesine özgü işletme koşullarının uygulanması gerekmektedir. Granül oluşumunda; kullanılan reaktör tipi, çökelme hızı ve organik yükleme hızı dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir.

Aerobik granüler aktif çamur teknolojisi ile başlıca aşağıdaki faydalar sağlanmaktadır:

- Tek reaktör içerisinde yüksek veirimde karbon (KOİ), azot ve fosfor giderimi gerçekleştirilmektedir.
- Son çökeltim havuzuna ihtiyaç duyulmadığından minimum arazi gereksinimi söz konusudur.
- Konvansiyonel aktif çamur tesislerine göre daha yüksek biyokütle konsantrasyonları ile işletim gerçekleştirildiğinden dolayı daha küçük reaktör hacminde, daha yüksek hidrolik ve organik yük ile çalışmak mümkündür.

- Konvansiyonel ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinden daha az sayıda ünite ve ekipman gerektiğinden ilk yatırım maliyeti daha düşüktür. Daha az sayıda pompa (içsel geri devir, çamur geri devri) ve mekanik ekipman gerektiğinden işletme maliyeti daha düşüktür.
- Konvansiyonel sistemlere kıyasla, toplam yer ihtiyacı %75 civarında, enerji maliyeti ise %30-40 civarında azaltılabilmektedir.
- Mevcut ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinin kapasite artımı için uygulanabilirliği oldukça yüksek bir alternatiftir.
- Atıksulardaki toksik bileşenlere daha dirençli bir sistem olması dolayısıyla, endüstriyel atıksu deşarjı yapılan kanalizasyon sistemlerinin bağlandığı atıksu arıtma tesislerinde uygulanma potansiyeli yüksektir.
- Granüler çamur içerisindeki biyopolimerlerin biyoplastik üretiminde kullanılabilir olması sebebiyle sistemde üretilen fazla çamurun ekonomik değeri vardır.

Dünya genelinde farklı tipteki atıksuların (evsel ve/veya endüstriyel) arıtıldığı kurulu/İNŞAAT aşamasında/tasarım aşamasında olan tam ölçekli aerobik granüler aktif çamur prosesi sayısı 40 civarındadır. Bu tam ölçekli tesislerin hizmet ettiği/edeceği eşdeğer nüfus aralığı 5.000 kişi ile 2,6 milyon kişi arasında değişmektedir.

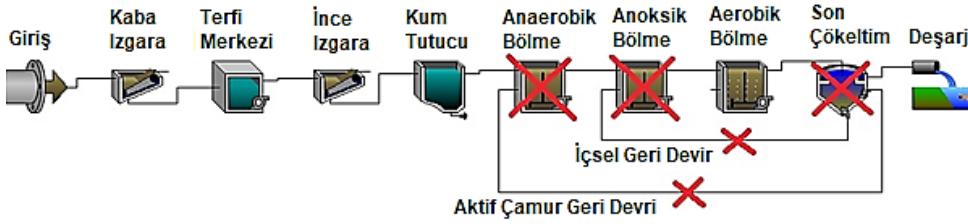
Dünyada olduğu gibi ülkemizde de evsel atıksuların arıtımında en sık kullanılan yöntem konvansiyonel aktif çamur



Yeni atıksu arıtma tesislerinin kurulumu ve mevcut tesislerin genişlemesi büyük arazi ihtiyacı gerektirmektedir. Bununla birlikte yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri de oldukça önemli diğer bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

prosesidir. Ancak, nüfus yoğunluğunun fazla olduğu/arttığı, arazi fiyatlarının yüksek olduğu, yeterli arazinin bulunmadığı birçok yerleşim bölgesinde konvansiyonel aktif çamur konfigürasyonlarının uygulanması geniş alan ihtiyacı nedeniyle zorlaşmaktadır. Yeni atıksu arıtma tesislerinin kurulumu ve mevcut tesislerin genişlemesi büyük arazi ihtiyacı gerektirmektedir. Bununla birlikte yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri de oldukça önemli diğer bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda yaşanan bilimsel ilerlemelerle birlikte, dünyada atıksu arıtımı ve

arıtma tesisi kavramları devrimsel değişimler ve gelişmeler göstermektedir. Yeni geliştirilen teknoloji ve prosesler ile birlikte atıksu arıtma tesisleri enerji nötral ve hatta enerji üreten ve kaynak geri kazanımının yapılabildiği tesisler haline gelmiştir. Bu bakımdan daha az yer kaplayan, kaynak geri kazanımı sağlayan, en önemlisi enerji verimliliği ve düşük işletme maliyetine sahip alternatif atıksu arıtma yöntemlerinin ülkemiz şartlarında uygulanabilirliğinin araştırılması bir gereklilik haline gelmiştir.



Klasik bir aktif çamur sisteminin granüler aktif çamur prosesine dönüştürülmesi halinde kullanılmasına ihtiyaç kalmayacak havuzlar ve geri devir hatları



Yeni geliştirilen teknoloji ve prosesler ile birlikte atıksu arıtma tesisleri enerji nötral ve hatta enerji üreten ve kaynak geri kazanımının yapılabildiği tesisler haline gelmiştir.

YÜKSEK HIZLI AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ İLE ENERJİ VERİMLİ ATIKSU ARITIMI

Hüseyin GÜVEN, Mustafa Evren ERŞAHİN, Recep Kaan DERELİ, Hale ÖZGÜN
İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü



Dünya genelinde enerji kaynaklarının yeterliliği ile ilgili temel endişelerin ortaya çıktığı ve yüksek mertebelerde atıksu arıtma ihtiyacının doğduğu bir çağda, atıksu arıtma tesislerinin tasarımı ve işletiminde, elektrik enerjisi kullanımının iyileştirilmesi, tesis verimliliğinin artırılması ve arıtma maliyetlerinin düşürülmesi gibi faktörlerin dikkate alınması kaçınılmazdır.

Şehirleşme ve endüstrileşmenin hızla artmasına paralel olarak evsel ve endüstriyel nitelikli atıksu oluşumu da her geçen gün artmaktadır. Oluşan atıksuların enerji ve maliyet etkin şekilde arıtılması ve halk sağlığını bozmayacak şekilde alıcı ortamlara deşarj edilmesi gereklidir. Bu amaçla, atıksu arıtımında çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler veya bu proseslerin kombinasyonları kullanılmaktadır. Söz konusu proseslerin kullanılması yoluyla deşarj limitlerinin sağlanabilmesi için yüksek enerji sarfıyatı gerekmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerde enerji tüketimi açısından önemli olan çeşitli pompalar, havalandırıcılar, karıştırıcılar, çamur yoğunlaştırıcılar ve mekanik susuzlaştırıcılar (santrifüjler, bant filtreler) gibi elektrik motoru tahrikli pek çok ekipman kullanılmaktadır.

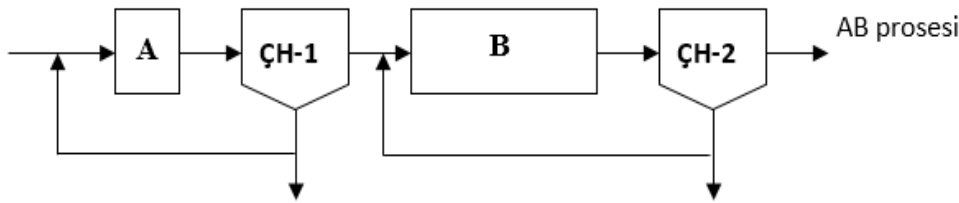
Enerji maliyeti, atıksu arıtma tesislerinin en önemli işletme maliyeti bileşenlerinden biridir. Atıksuların arıtılmasında dünya genelinde yaygın olarak uygulanan havalı atıksu arıtma proses-

leri (klasik aktif çamur prosesi) oksijen gereksinimi nedeniyle yüksek işletme maliyetlerine sahiptir. Atıksu arıtımında enerjinin büyük kısmı biyolojik arıtma tesislerinde kullanılmaktadır. Evsel atıksu bünyesindeki enerji içeriği yaklaşık 2 kWh/m³ olmakla birlikte klasik aktif çamur tesislerinde bu enerjinin tam olarak geri kazanımı mümkün olmamaktadır. Dünya genelinde enerji kaynaklarının yeterliliği ile ilgili temel endişelerin ortaya çıktığı ve yüksek mertebelerde atıksu arıtma ihtiyacının doğduğu bir çağda, atıksu arıtma tesislerinin tasarımı ve işletiminde, elektrik enerjisi kullanımının iyileştirilmesi, tesis verimliliğinin artırılması ve arıtma maliyetlerinin düşürülmesi gibi faktörlerin dikkate alınması kaçınılmazdır. Atıksu arıtma tesislerinde enerji verimliliği sağlamak için kullanılan planların temel amacı arıtma performansından ödün vermeksizin enerji giderlerinin azaltılmasıdır. Atıksu arıtma tesislerinde enerji optimizasyonuna yönelik kullanılan en yaygın yöntem arıtma çamurlarının havasız (anaerobik) çürütülmesidir. Anaerobik çürütme işleminde çamurun kısmi stabilizasyonu söz ko-

nusudur. Aynı zamanda organik madde içeriğinin azaltılması ve son ürün olan biyogazın bünyesindeki metandan enerji elde edilmesi, bu prosesin en önemli avantajlarındanıdır.

Atıksulardaki enerji içeriğinin azami seviyede geri kazanımı için yüksek hızlı aktif çamur sistemleri geliştirilmiştir. Yüksek hızlı aktif çamur sistemlerine örnek olarak iki kademeli bir biyolojik arıtma sistemi olan Adsorpsiyon-Biyolojik Oksidasyon (AB) prosesinin A kademesi verilebilir. AB prosesinin ilk kademesi yüksek organik madde yükü altında iş-

geçmesini sağlayarak, atıksu arıtma tesislerinin enerji dengesinin iyileştirilmesinde önemli bir potansiyele sahiptir. AB prosesi, klasik aktif çamur sistemi ile kıyaslandığında %10-20 daha az enerji kullanırken, fazla çamurun anaerobik çamur çürütücüde çürütülerek gaza dönüştürülmesi sonucu ilave enerji elde edilebilmektedir. Dünyada enerji açısından %100 kendine yeten ilk tesis olma özelliğine sahip olan ve enerji nötr olarak işletilen Avusturya'da bulunan Strass Atıksu Arıtma Tesisi'nde AB prosesi bulunmaktadır.



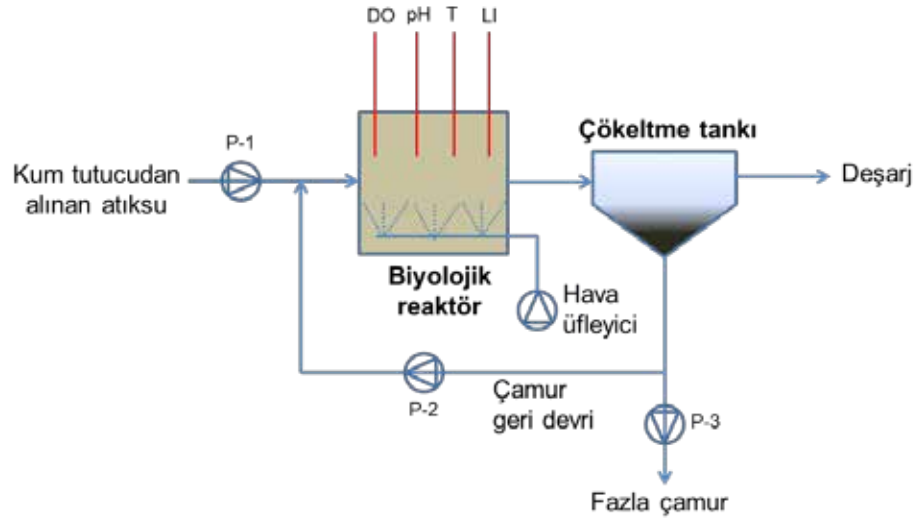
Şekil 1. AB Prosesi: A: Adsorpsiyon kademesi, B: Biyolojik oksidasyon kademesi, ÇH-1: Çökeltim havuzu 1, ÇH-2: Çökeltim havuzu 2

letilen bir reaktör (A kademesi) ile ara çökeltme tankından teşkil edilirken, ikinci kademesi (B kademesi) ise düşük organik madde yükü altında işletilen bir biyolojik reaktör ile son çökeltme tankından oluşmaktadır. Yüksek hızlı işletilen birinci aşamadaki işletme koşulları altında organik madde giderimi esas itibarıyla adsorpsiyon mekanizması ile sağlanmaktadır. Adsorpsiyon ile biyokütle üzerine geçen atıksudaki organik maddeler havasız çürütme ile metana ve enerjiye çevrilebilmektedir. A kademesindeki bekletme süreleri 0,5 ile 2 saat arasında değişmekte ve bu süre içinde öncelikle hızlı ayrışabilen maddeler BOI_5 bazında %60 ve üzeri verimle giderilebilmektedir. Yüksek hızlı aktif çamur sistemleri atıksudaki organik maddelerin çamur akımına daha fazla

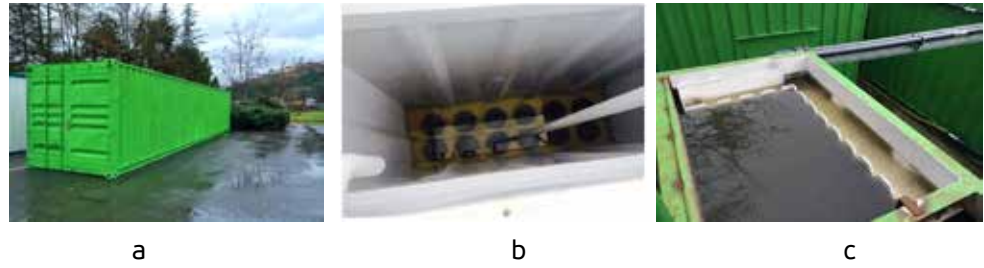
Yüksek hızlı aktif çamur sisteminin İstanbul'da oluşan atıksuların arıtımında uygulanabilirliğinin incelenmesi ve performansının değerlendirilmesi amacıyla SAN-TEZ programı kapsamında (Proje No: 0534.STZ.2013-2), T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, İSTAÇ A.Ş. ve İSKİ tarafından desteklenen bir proje 2014-2017 yılları arasında yürütülmüştür. Bu proje kapsamında İSKİ Baltalimanı Atıksu Ön Arıtma Tesisi sahasına A prosesi, çökeltim havuzu ve anaerobik çamur çürütücüden oluşan bir pilot tesis kurulmuş ve uzun süreli işletilmiştir. Pilot tesise beslenen atıksu, Baltalimanı Atıksu Ön Arıtma Tesisi kum tutucu ünitesi çıkışından alınmıştır.



AB prosesi, klasik aktif çamur sistemi ile kıyaslandığında %10-20 daha az enerji kullanırken, fazla çamurun anaerobik çamur çürütücüde çürütülerek gaza dönüştürülmesi sonucu ilave enerji elde edilebilmektedir.



Şekil 2. Pilot ölçekte A prosesini içeren yüksek hızlı aktif çamur sistemi



Resim 1. İSKİ Baltalımanlı Atıksu Ön Arıtma Tesisi sahasında bulunan pilot tesis:
a) Genel görünüm, b) A prosesi, c) Çökeltim tankı

Yapılan çalışma kapsamında pilot tesis ilk olarak sadece atıksu ile daha sonra ise atıksu ve öğütücüden geçirilerek su-landırılmış organik evsel katı atık karışımı ile beslenerek işletilmiştir. Sadece atıksu ile işletme yapılan dönemde sırasıyla üç ayrı hidrolik bekletme süresi

(HBS) (130, 95 ve 60 dakika) ile çalışılmış ve HBS'nin arıtma performansına olan etkisi değerlendirilmiştir (Güven vd., 2017). Farklı HBS'ler için elde edilen işletme koşulları tabloda verilmiştir.

PİLOT TESİS İŞLETME KOŞULLARI				
Parametre	Birim	Ortalama		
		HBS: 130 dk	HBS: 95 dk	HBS: 60 dk
Debi	m ³ /gün	45	60	95
Çamur yaşı	gün	0,38	0,34	0,38
Çözünmüş oksijen	mg/L	0,43	0,40	0,46
pH	-	7,15	7,15	7,10

Yüksek hızlı işletilen aktif çamur sistemlerinde reaktör içerisindeki askıda katı madde (AKM) konsantrasyonu klasik sistemlere göre nispeten daha düşük olup, yaklaşık 1400 mg/L ile 2500 mg/L arasında değişmektedir. Yapılan pilot tesis çalışmasında uzun dönem için reaktördeki ortalama AKM konsantrasyonu 2000 mg/L olarak ölçülmüştür. Yüksek hızlı çamur sistemlerindeki biyokütlenin diğer bir önemli özelliği ise çamur hacim indeksinin (ÇHİ) oldukça düşük olması ve çamurun çökebilirlik özelliği bakımından üstün vasıfta olmasıdır. Bu çalışmada tüm HBS'ler için ÇHİ 50 mL/g'nin altında ölçülmüştür. Bu değer çamurun çökebilirlik özelliğinin oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Pilot tesiste 60 dakikalık HBS koşullarında ortalama KOİ giderim verimi %59 olarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmada, yüksek hızlı aktif çamur sisteminin performansının izlenmesinin yanı sıra pilot tesiste oluşan fazla çamurun anaerobik olarak çürütülmesi ile ilgili testler yapılmış ve pilot tesise evsel organik atık ilavesinin oluşan çamurun metan potansiyeline olan etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda anaerobik çürütücü mezofilik koşullarda (37°C) ve 20 gün çamur yaşında işletilmiştir. Pilot tesise mutfak atığı ilavesiyle oluşan fazla çamurun metan potansiyelinde artış gerçekleşmiştir. Mutfak atığı ilavesi ile birlikte özellikle son çökeltim tankında katı madde tutma veriminin artırılması amacıyla farklı

proses iyileştirmelerinin (kimyasal destekli çöktürme vb.) uygulanmasının yerinde olacağı düşünülmektedir. Pilot tesise mutfak atığı ilavesine geçilmesiyle birlikte tesisten alınan fazla çamurun ortalama metan veriminde %40 civarında bir artış meydana gelmiştir.

Bu çalışmayla elde edilen sonuçlar yüksek hızlı aktif çamur sistemlerinin enerji verimli atıksu arıtımında önemli bir uygulama potansiyeli olduğunu göstermektedir. Özellikle mevcut ön atıksu arıtma tesislerinin enerji verimli ve enerji geri kazanımı yapılan arıtma tesisleri haline dönüştürülmesi amacıyla yüksek hızlı aktif çamur sistemleri önemli bir alternatif oluşturmaktadır. İSKİ, bu proje kapsamında incelenen yüksek hızlı aktif çamur sistemini içeren atıksu arıtma konfigürasyonunu, bünyesindeki mekanik ön arıtma tesislerinin bazılarında uygulama kararı almıştır. Bu doğrultuda İSKİ, İstanbul'da yüksek hızlı aktif çamur prosesinin tam ölçekte uygulanması ile ilgili çalışmalara devam etmekte olup, bu kapsamda Türkiye'deki ilk tesisi Baltalimanı Atıksu Arıtma Tesisinde kuracaktır.

Kaynak

Güven, H., Ersahin, M.E., Dereli, R.K., Ozgun, H., Sancar, D., Ozturk, I. (2017). Effect of Hydraulic Retention Time on the Performance of High Rate Activated Sludge System: A Pilot-Scale Study, Water, Air, & Soil Pollution, 228(417), 1-10.



Bu çalışmayla elde edilen sonuçlar yüksek hızlı aktif çamur sistemlerinin enerji verimli atıksu arıtımında önemli bir uygulama potansiyeli olduğunu göstermektedir.

HİDROJEN PEROKSİT VE OZONLA İLERİ OKSİDASYON (PEROKSON) PROSESİ İLE SULARDAN TAT VE KOKU GİDERİMİ

Malhun FAKIOĞLU, Hale ÖZGÜN, Hazal GÜLHAN, Mustafa Evren ERŞAHİN
İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü

içme suyu, su kaynağından son kullanıcı tüketiciye ulaştırılana kadar birçok aşamadan geçmektedir. Suyun kalitesi; rezervuar-daki su kalitesine, su arıtma tesisinde kullanılan proseslere ve mevcut su dağıtım şebekesinin durumuna bağlıdır. Arıtılmış suda istenmeyen tat ve koku, tüketicideki içilebilir su algısını etkilemekte ve tüketicinin musluk suyu tüketimi ile sağlık riskini ilişkilendirmesine sebep olabilmektedir. Bu durum, su temini ve arıtma tesislerine olan tüketici güveninin ve dolayısıyla bu tesislerin kapasitesinin azalmasına yol açabilmektedir. Örneğin tat ve kokuya sebep olduğu bilinen geosmin ve 2-metil-izoborneol (MIB) bileşikler çok düşük konsantrasyonlarda bile insanlar tarafından algılanabilmektedir. Geosmin ve MIB su rezervuarlarında en sık görülen bileşiklerdendir. Bu nedenle geosmin ve MIB bileşiklerinin sudaki varlığı, içme suyu ile ilgili dünya çapında yapılan tüketici şikayetlerinin başında gelmektedir. Tat ve kokuya neden olan bu problem ile ilgili olarak su otoritelerince sorunun kaynağı ve çözümüne yönelik araştırmalar günümüzde devam



İSKİ Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisinde bulunan Perokson Pilot Tesisi

etmekte olup, buna eş zamanlı olarak söz konusu bileşiklerin etkin bir şekilde giderimi için içme suyu arıtma tesislerine kolay entegre edilebilecek sistemler üzerinde çalışılmaktadır.

Su arıtma sistemlerinde tat ve kokuya bağlı kalite değişimlerinin kaynağını ve nedenlerini tespit edebilmek için eksiksiz bir araştırma yürütmek oldukça önemlidir. Dağıtım şebekesinin


Su arıtma sistemlerinde tat ve kokuya bağlı kalite değişimlerinin kaynağını ve nedenlerini tespit edebilmek için eksiksiz bir araştırma yürütmek oldukça önemlidir.

karmaşıklığı dolayısıyla su kalitesinde değişimin direkt kaynağını bulmak ve kolay bir çözümde karar kılmak oldukça zordur. Böyle bir durumda su kalitesinde yaşanan problem ancak sistematik araştırmaya dayalı bir prosedürün izlenmesi yoluyla çözülebilir. Bu nedenle suda tat ve kokuya sebep olabilecek muhtemel sebeplerin bilinmesi önem arz etmektedir. Sularda tat ve kokuya yol açan etkenler sebep ve ilişki açısından 5 temel sınıfa ayrılmaktadır:

- Biyolojik Aktivite
- Dezenfektanlar
- Dezenfeksiyon Yan Ürünleri
- Dağıtım Şebekesi Malzemeleri (Boru, Vana vb.)
- Farklı Özellikteki Suların Karıştırılması

Rezervuarlarda biriktirilen yüzeysel sularda, aktinomisetler ve algler gibi bazı biyolojik etkenlerden dolayı sıklıkla tat ve koku problemi yaşanmaktadır. Bunun yanı sıra tat ve kokuya protozoa, mantar ve diğer sucul mikrobiyotanın da sebep olduğu bilinmektedir. Bu tür tat ve koku; balıksı, topraksı, odunsu, küflü, somon, gübre ve sardunya gibi tanımlanmaktadır. En sık bildirilen topraksı-odunsu-küflü tat ve kokuların, belirli mavi-yeşil algler ile aktinomisetler ve birkaç mantardan kaynaklandığı bilinmektedir. Aktinomisetler filamentli bakteriler olup; göllerin su kolunu ve sedimentleri ile, akarsular ve nehirler gibi çeşitli habitatlarda bulunarak alg ve sucul bitkilerle uyum içinde yaşamaktadır. Bazı aktinomiset türleri tarafından üretilen geosmin ve MIB gibi bileşikler, nanogram mertebesindeki konsantrasyonlarda dahi suya küflü ve topraksı bir koku vermektedir. Bu bağlamda, rezervuardaki su kalitesini etkileyen faktörlerin araştırılarak gerekli

tedbirlerin alınması gerekmektedir. Rezervuar kaynaklı sorunlar genellikle geri havza önlemleriyle azaltılmaya çalışılmaktadır. Tat ve kokunun oluştuğu bir diğer nokta olan içme suyu arıtma tesisinde, sorunun oluşumunda bir takım antropojenik kaynaklar rol oynamaktadır. İçme suyu arıtma tesislerinden kaynaklanan tat ve kokuyu etkileyen en önemli arıtma kademesi; klorlama ve ozonlama gibi oksidatif proseslerdir. Bu prosesler sonucunda, en yaygın tat ve koku bileşiklerinden olan dezenfeksiyon yan ürünleri oluşmaktadır. Arıtılmış suyun dağıtım şebekesi vasıtasıyla tüketiciye ulaştırılması esnasında da tat ve koku oluşumu gözlemlenebilmektedir. Son 20 yılda tat ve koku kontrolünde büyük gelişmeler görülse de, sorunun daha çok su kaynağı veya arıtma esnasında oluşum temelli olma ihtimali üzerinde durulmaktadır. Suyun şebekeye verilmek üzere içme suyunun arıtma tesisinden çıktıktan sonra tüketiciye ulaşana kadar geçen zaman içerisindeki kalite değişimi hakkında oldukça az bilgi mevcuttur.

İçme suyu arıtma tesislerindeki koagülasyon, çökteltme ve klorlama gibi konvansiyonel arıtma prosesleri geosmin ve MIB bileşiklerinin gideriminde çoğu zaman etkisizken; bu bileşiklerin gideriminde toz aktif karbon, ozonlama, biyofiltrasyon gibi proseslerin başarılı olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. Son yıllarda tat ve koku bileşiklerinin giderimi konusunda yapılan araştırmalar ozon ağırlıklı ileri oksidasyon prosesleri ve aktif karbon adsorpsiyonu üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmalarda tat ve koku bileşiklerinin giderimi amacıyla giderek ilgi gören proseslerden birisi de ozon ile hidrojen peroksitin bir-



Perokson prosesinin işletiminin kolay olması ve bakteriyel aktiviteyi ortadan kaldıran etkisi bu prosesin temel üstünlüklerindendir.

likte kullanıldığı Perokson prosesidir. Perokson prosesinin prensibi, ozon (O_3) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) bileşiklerinin birlikte kullanılması sonucunda oksitleyici radikallerin oluşumuna dayanmaktadır. Perokson prosesinde hidrojen peroksit, oldukça reaktif olan hidroksil (OH) radikalini üreten ozonun parçalama etkisini arttırmakta ve böylece yalnızca ozonun kullanımına kıyasla daha etkili bir parçalanma sağlanmaktadır. Ozondan daha reaktif olan hidroksil radikali suda bulunan en güçlü reaktif oksijen türlerinden birisidir. Perokson prosesi, çalışılan suyun karakterine bağlı olarak belirlenen $H_2O_2:O_3$ oranına göre, ozon temas tankı öncesinde suya hidrojen peroksit dozlanması suretiyle gerçekleştirilen bir ileri oksidasyon prosesidir. Bu prosesin tat ve koku bileşiklerinin gideriminin yanı sıra, mikrokirleticilerin dönüşümü üzerinde de etkisi olduğu belirtilmektedir. Buna ek olarak, hidrojen peroksit ilavesi ile ozon kaynaklı bromat oluşumunda azalmanın görüldüğü tespit edilmiştir. Perokson prosesinin işletiminin kolay olması ve bakteriyel aktiviteyi ortadan kaldırıcı etkisi bu prosesin temel üstünlüklerindendir. Perokson prosesinin içme suyu arıtımında kullanılması konusundaki araştırmalar dünya çapında birçok çalışma grubu tarafından yoğun şekilde devam etmektedir.

Ülkemizde de bu konuya duyulan ilgi son dönemde artmaya başlamıştır. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) bünyesindeki içme suyu arıtma tesislerinde mevcut ön ozonlama sistemlerinin, hidrojen peroksit ve ozon ile oksidasyon prosesine dönüştürülerek daha etkin tat-koku giderimi sağlamak amacıyla bir pilot tesis kurulması ve gerekli tasarım/işletme parametrelerinin belirlenmesi için "Hidrojen Peroksit ve Ozonla Oksidasyon (Perokson) Prosesi



Potasyum iyodür ile ozon tayini

Pilot Tesisi Projesi" 2017 yılında başlatılmıştır. Proje kapsamında, İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı İSKİ Su Arıtma Daire Başkanlığı Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisinde perokson pilot tesis kurulumu tamamlanmış olup, işletim aşamasına geçilmiştir. Proje kapsamında, içme sularında tat ve kokuya sebep olan geosmin ve MIB bileşiklerinin giderimi ile birlikte, çözünmüş/toplam organik karbon, bromat ve belirli öncelikli kirleticilerin giderim performansları pilot ölçekte incelenecektir.

Proje kapsamında optimum işletme koşulları belirlenecek ve perokson prosesinin suda bulunan birçok kirleticiyi giderim performansları incelenecektir. Ayrıca, çalışma boyunca elde edilecek bulgular uluslararası çalışmalar ile kıyaslanarak değerlendirilecektir. Pilot tesiste elde edilen sonuçlar dikkate alınarak, perokson prosesinin İSKİ'nin içme suyu arıtma tesislerinde uygulanabilirliği ve mevcut içme suyu arıtma tesislerine entegre edilebilirliği, işletme koşulları göz önünde bulundurulacaktır.

Pilot tesiste elde edilen sonuçlar dikkate alınarak, perokson prosesinin İSKİ'nin içme suyu arıtma tesislerinde uygulanabilirliği ve mevcut içme suyu arıtma tesislerine entegre edilebilirliği, işletme koşulları göz önünde bulundurularak değerlendirilecektir.

YERYÜZÜNDEKİ SUYUN YÜZDE 97.5'U TUZLU SUDUR. TATLI SU ORANI SADECE YÜZDE 2.5'TUR. TATLI SUYUN YÜZDE 70'İ KUTUPLARDADIR, YÜZDE 30'UNU İSE YÜZEY VE YERALTI SULARI OLUŞTURMAKTADIR.



KAYNAK: WORLD WATER FORUM, 2009

İSKİ'DE EVSEL ATIKSU ARITMA ÇAMURLARI YÖNETİM PLANLAMALARI

Filiz DAŞKIRAN

İSKİ/Ar-Ge Şube Müdürlüğü, Çevre Y. Mühendisi



*İstanbul Su ve
Kanalizasyon İdaresi
Genel Müdürlüğü
olarak miktarları
her geçen gün artan
arıtma çamurlarının
bertarafının yanısıra
sürdürülebilir
çevre yönetiminde
değerlendirilebilmesi
için farklı
seçeneklerin birlikte
ele alındığı (entegre)
yönetim planları
hazırlanmıştır.*

Aritma çamurlarının etkili ve ekonomik şekilde, çevreyi tehdit etmeden, yasal düzenlemelere uyularak bertaraf edilmesi atıksu arıtım sürecindeki en önemli sorunu oluşturmaktadır. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü olarak miktarları her geçen gün artan arıtma çamurlarının bertarafının yanısıra sürdürülebilir çevre yönetiminde değerlendirilebilmesi için farklı seçeneklerin birlikte ele alındığı (entegre) yönetim planları hazırlanmıştır.

Söz konusu planlamalar, benzer sonuçlar ortaya koymakla birlikte, İstanbul İli için, çamur bertarafı ile birlikte enerji geri kazanımı sağlayan merkezi çamur yakma tesislerini arıtma çamurları bertaraf sisteminin temel unsuru olarak öne çıkarmaktadır.

Arıtma Çamurları Yönetimi Master Planı (Nisan, 2016)

Arıtma Çamurları Yönetimi Master Planı, "Çamur Yönetimi Master Planının Hazırlanması Projesi" kapsamında, MİMKO Mühendislik İmalat Müşavirlik Koordinasyon ve Ticaret A.Ş. yüklenici-

liğinde, İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Osman Arıkan yürütücülüğünde, İSKİ Plan Proje Dairesi Başkanlığı görevli personelinin de yer aldığı bir ekip tarafından hazırlanmıştır.

Arıtma Çamurları Yönetimi Master Planı; atıksu arıtma tesisi çamurları yönetimi ile ilgili yasal çerçeve, İSKİ sorumluluğundaki AAT'lerde üretilen arıtma çamurlarının miktar ve özellikleri, atıksu toplama havzaları için yıllara göre öngörülen çamur üretim miktarları, çamur yönetim teknolojileri ve dünyadaki uygulamalar ile hizmet sahamızdaki mevcut ve planlanan AAT arıtma çamurları için 2040 yılına kadar 6 farklı senaryoda çamur yönetim seçeneklerinin değerlendirilmesi ve seçilen senaryoya dayalı uygulama eylem planı hazırlanması konularını kapsamaktadır.

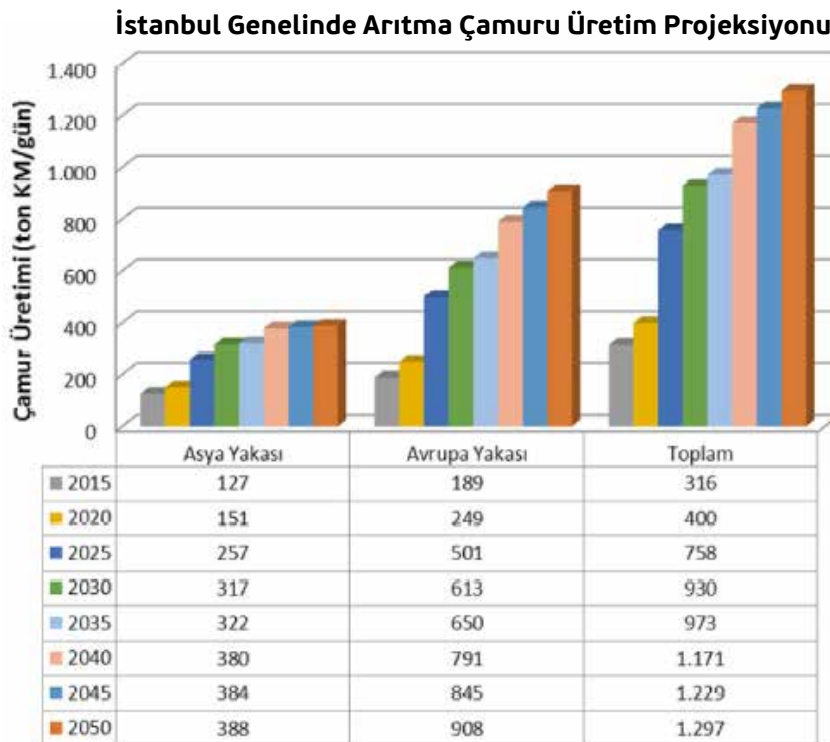
Master Plan'da ortaya konan mevcut ve planlanan tesislerde nüfusa bağlı çamur üretim projeksiyonları ve değerlendirilen senaryolar ile seçilen senaryoya bağlı uygulama eylem planı aşağıda özetlenmektedir.

İSKİ AAT çamuru üretimi projeksiyonları, atıksu havzaları baz alınarak yapılmıştır. Bu kapsamda öncelikle, İstanbul ilinde yer alan ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde (İBAAT) birim arıtma çamuru üretimi (g KM/kişi.gün) belirlenmiştir. İstanbul ili birim çamur üretimi değerlerinin, havza bazında değişkenlik göstermekle birlikte, dünya literatüründe belirtilen 40-60 gr/kişi.gün kuru ürün aralığında kaldığı görülmektedir. Çalışmada öne çıkan bir diğer hesap yaklaşımı ise halihazırda atıksu ön (ilk kademe) arıtma tesisi niteliği taşıyan Yenikapı, Baltalimanı, Kadıköy, Üsküdar, Paşabahçe ve Küçüksu AAT'lerinin, A prosesinin kullanıldığı kimyasal destekli biyolojik atıksu arıtma tesislerine dönüştürülmesi seçeneğinin dikkate alınarak arıtma çamuru üretiminin hesaplanmasıdır (A prosesinde arıtma çamuru üretiminin, konvansiyonel ileri biyolojik atıksu tesislerine oranla %40 daha az olacağı kabulü yapılmıştır. Arıt-

ma çamurları, A prosesi sonrasında anaerobik çürütmeye tabi tutulacaktır).

İSKİ AAT çamur üretimi projeksiyonlarına göre, mevcutta; yeni yapılacak AAT'lerin de devreye girmesiyle İstanbul'daki çamur üretimi 2020'de ~400 ton KM/gün, 2030'da ~930 ton KM/gün, 2040'da ~1170 ton KM/gün ve 2050'de ~1300 ton KM/gün olacaktır.

Buna göre çamur üretiminde mevcut duruma göre 2030'da 4 kat, 2050'de 5 kat civarında bir artış olacağı tahmin edilmektedir. İSKİ AAT'lerinde çamurların yönetimi ile ilgili olarak başlıca; stabilizasyon sonrası düzenli depolama (DD), kompostlaştırma veya termal kurutma sonrası arazide kullanım (AK), kurutulmuş çamurun çimento fırınlarında yakılması (Çim Yak), kentsel katı atık yakma tesisinde birlikte yakma (İSTAÇ Yak) ve çamurun münferit yakılması (İSKİ Yak) teknolojileri değerlendiril-



İSKİ AAT çamur üretimi projeksiyonlarına göre, mevcutta; yeni yapılacak AAT'lerin de devreye girmesiyle İstanbul'daki çamur üretimi 2020'de ~400 ton KM/gün, 2030'da ~930 ton KM/gün, 2040'da ~1170 ton KM/gün ve 2050'de ~1300 ton KM/gün olacaktır.

miş ve bu teknolojiler kullanılarak her bir AAT için 2040 yılına kadar üç aşamalı olarak (2016-2020, 2021-2030 ve 2031-2040) yönetim seçenekleri ortaya konmuştur. Daha sonra bu yönetim seçenekleri kullanılarak İSKİ sorumluluğundaki tüm AAT'lerde üretilen çamurların yönetimi için 6 farklı senaryo geliştirilmiştir.

to fırınlarında yakılmasına devam edilecektir. Yeni işletmeye alınacak Büyükçekmece, Selimpaşa, Silivri ve Çanta AAT çamurları için Büyükçekmece'de merkezi bir kompostlaştırma tesisi kurulacaktır. Bu tesisten elde edilecek kompost ürünü AĞAÇ AŞ. Tarafından İstanbul'daki yeşil alanlarda (arazide kullanımı) kullanılacaktır.

Geliştirilen Senaryolar

Senaryo	Açıklama
Senaryo 1	Tüm çamurların (Tuzla AAT hariç) stabilizasyon sonrası düzenli depolanması (DD)
Senaryo 2	2021'e kadar çimento fırınlarında yakma ve arazide kullanım (AK), 2021'den sonra İSTAÇ yakma tesisinde yakma, DD ve arazide kullanım
Senaryo 3	2031'e kadar Senaryo 2 ile aynı, 2031'den sonra DD yerine İSKİ yakma tesislerinde yakma (Asya ve Avrupa yakasında birer adet yakma tesisi)
Senaryo 4	İSKİ yakma tesislerinde yakmanın (Asya ve Avrupa yakasında birer adet yakma tesisi) 2021'de başlaması (DD yerine), onun dışında Senaryo 3 ile aynı
Senaryo 5	2031'e kadar Senaryo 4 ile aynı 2031'den sonra tüm çamurların yakılması
Senaryo 6	Avrupa yakasındaki İSKİ Yakma tesisinin 2031 yerine 2021'de faaliyete başlaması, onun dışında Senaryo 3 ile aynı

Her bir AAT için önerilen yönetim (teknoloji) seçenekleri dikkate alınarak söz konusu senaryoların 2040 yılına kadar üç aşamalı olarak (2016-2020, 2021-2030 ve 2031-2040) uygulanması hedeflenmiştir. İlgili senaryolar için gerekli üniteler, kapasiteleri ve hizmete giriş yılları belirlenmiş, ilk yatırım, işletme ve toplam maliyetlerin net bugünkü değeri ile birim çamur üretimi başına maliyetler hesaplanmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda Senaryo 6 seçilmiş olup hazırlanan Master Plan'da İSKİ sorumluluğundaki AAT'lerde üretilen çamurların yönetimi, zaman içerisinde gerekecek ilave ekipman, ünite bilgileri dahil olmak üzere, tesis bazlı olarak detaylandırılmıştır.

2016-2020 dönemi:

- Avrupa yakası: Halihazırda işletmede olan Ataköy ve Ambarlı AAT'lerinde üretilen kurutulmuş çamurların çimen-

- Asya yakası: İşletmede olan Tuzla ve Paşaköy AAT'lerinde üretilen kurutulmuş çamurların çimento fırınlarında yakılmasına devam edilecektir.

2021-2030 dönemi:

-Avrupa yakası: Planlanan Baltalıman AAT çamurları ile Yenikapı AAT'den boruyla Ataköy'e pompalanacak çamurlar çürütme, susuzlaştırma ünitelerinden geçirildikten sonra İSTAÇ yakma tesisinde (kentsel katı atıklarla birlikte), Ataköy AAT'nin kurutulmuş çamurları ise çimento fırınlarında yakılacaktır. Ambarlı AAT çamurları için İSKİ tarafından bir çamur yakma tesisi (~%30 KM'li kekler kabul edilecektir) kurulacaktır. Planlanan Gümüşdere ve Terkos AAT çamurları, Selimpaşa, Silivri ve Çanta AAT çamurları ile birlikte Büyükçekmece'deki kompostlaştırma tesisine taşınarak burada kompostlaştırılacaktır.

- Asya yakası: Planlanan Kadıköy

AAT'den (Üsküdar AAT ile birlikte) oluşacak çamurlar Tuzla'ya gemiyle taşınacaktır. Burada çürütme ve susuzlaştırma ünitelerinden sonra kireçle stabilize edilerek Kömürcüoda düzenli depolama tesisinde kentsel katı atıklarla birlikte depolanacaktır. Tuzla AAT çamurları ise kurutulduktan sonra çimento fırınlarında yakılacaktır. Planlanan Paşabahçe, Şile ve Küçüksu AAT çamurları ise Paşaköy AAT'ye taşınacak ve burada kurutulduktan sonra Paşaköy AAT çamurları ile birlikte AĞAÇ AŞ. tarafından İstanbul'daki yeşil alanlarda kullanılacaktır.

2031-2040 dönemi:

- Avrupa yakası: Ataköy AAT'ye pompalanan Yenikapı AAT çamurları için ilave kurutucular yapılarak, Ataköy AAT kurutulmuş çamurları ile birlikte çimento fırınlarında yakılacaktır. Ambarlı AAT'deki çamur yakma tesisi kapasitesi fazlası çamurlar ise İSTAÇ kentsel atık yakma tesisine gönderilecektir. Bunların dışında 2020-2030 dönemindeki çamur yönetimi uygulanmaya devam edecektir.
- Asya yakası: Tuzla'da İSKİ tarafından ayrı bir çamur yakma tesisi (~30 KM'li

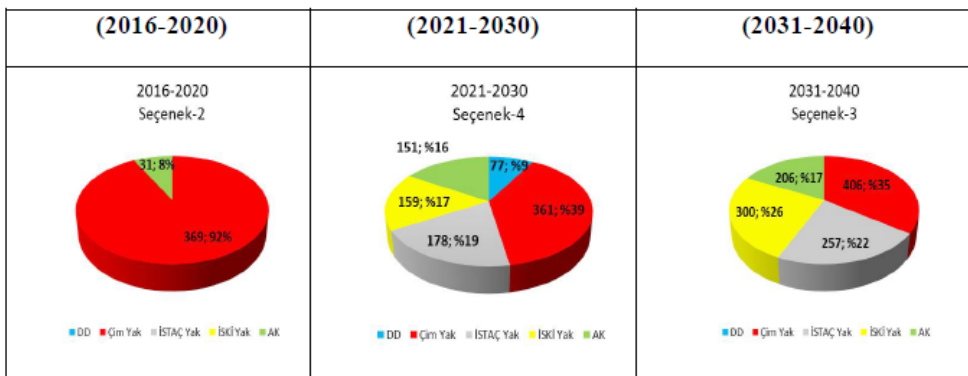
kekler kabul edilecektir) kurulacaktır. Tuzla AAT ve planlanan Kadıköy AAT (Üsküdar AAT ile birlikte) çamurlarının yakma tesisi kapasitesi fazlası, İSTAÇ kentsel atık yakma tesisine gönderilecek ve çamurların düzenli depolanması uygulamasına son verilecektir. Bunların dışında 2020-2030 dönemindeki çamur yönetimi uygulanmaya devam edecektir.

Sonuç olarak İSKİ AAT çamurları için farklı seçeneklerin (teknolojilerin) uygulandığı bir yönetim yaklaşımı geliştirilmiştir. Buna göre;

2021'e kadar; çimento fırınlarında yakma (%92) ve arazide kullanım (%8)

2021-2030 döneminde; çimento fırınlarında yakma (%39), İSTAÇ kentsel atık yakma tesisinde yakma (%19), İSKİ çamur yakma tesisinde yakma (%17), arazide kullanım (%16) ve düzenli depolama (%9)

2031-2040 döneminde ise; çimento fırınlarında yakma (%35), İSKİ çamur yakma tesisinde yakma (%26), İSTAÇ kentsel atık yakma tesisinde yakma (%22) ve arazide kullanım (%17) şeklinde bir çamur yönetim planlaması yapılmıştır.



DD: Düzenli depolama, Çim Yak: Çimento fırınlarında yakma, İSTAÇ Yak: İSTAÇ yakma tesisinde yakma, İSKİ Yak: Planlanan İSKİ yakma tesisinde yakma, AK: Arazide kullanım

İSKİ sorumluluğundaki **AAT'ler** için seçilen çamur yönetim senaryosu (**Senaryo 6**) (Grafiklerdeki değerler çamur miktarını (ton KM/gün), %'ler herbir teknolojinin toplam miktar içindeki oranını göstermektedir.)

Evsel Atıksu Arıtma Çamurları Entegre Yönetimi Komisyon Raporu (Mart, 2017)

Evsel Atıksu Arıtma Çamurları Entegre Yönetimi Komisyon Raporu, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü'nün işletmekte olduğu atıksu arıtma tesislerinde oluşan ve gelecekte devreye alacağı atıksu arıtma tesislerinde oluşacak arıtma çamurlarının bertarafı/geri kazanımı hususunda; İSKİ Genel Müdür Yardımcısı Sn. Metin Akbaş moderatörlüğünde; İSKİ Genel Müdürlüğü, İBB Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı, İSTAÇ A.Ş. ve İstanbul Enerji A.Ş. ilgili katılımcıları ile oluşturulmuş bir komisyon tarafından periyodik olarak gerçekleştirilen Değerlendirme ve İlerleme Toplantıları neticesinde hazırlanmıştır.

Rapor kapsamında, mevcut çamur yönetim teknolojileri ile İSKİ Arıtma Çamurları Yönetimi Master Planı (2016) kapsamında öngörülen çamur projeksiyonu incelenmiş ve 2030 yılı atıksu arıtma çamurları projeksiyonuna ait bertaraf/geri kazanım yöntemleri ortaya konmuştur.

Yapılan çalışmada, arıtma çamurlarının yönetimi için 5 farklı senaryo geliştirilmiş ve her bir senaryoda, gerekli tesis kapasiteleri ve toplam maliyetler belirlenmiştir.

Geliştirilen senaryolarda; 2030 yılına kadar oluşacak ilave arıtma çamuru (minimum 2280 ton/gün (%25 KM)) için bertaraf sistemi öngörülmüştür. Söz konusu ilave kapasite hususunda;

- Kurutma,
- Düzenli depolama,
- Kompostlaştırma,
- Yakma ve fosfor geri kazanımı metotları değerlendirilmiştir.

Senaryolar bazında belirlenen yönetim seçenekleri aşağıda özetlenmektedir.

Senaryo	Açıklama
Senaryo 1	Mevcut termal kurutma tesisleri işletilmeye devam edilecektir. Paşaköy AAT'nde yapım aşamasındaki kurutma tesisi devreye alınacaktır. Ataköy ve Tuzla AAT'nde planlanan ihale aşamasındaki kurutma tesisleri devreye alınacaktır. İlave olarak Avrupa Yakası'nda Ambarlı AAT merkezli bir kurutma tesisi kurulacaktır. Mevcut/planlanan kurutmalardan çıkan kuru ürün ek yakıt olarak çimento fabrikalarına gönderilecektir.
Senaryo 2	Mevcut termal kurutma tesisleri işletilmeye devam edilecektir. Paşaköy AAT'nde yapım aşamasındaki kurutma tesisi devreye alınacaktır. Ataköy ve Tuzla AAT'nde planlanan ihale aşamasındaki kurutma tesisleri devreye alınacaktır. Mevcut/planlanan kurutmalardan çıkan kuru ürün ek yakıt olarak çimento fabrikalarına gönderilecektir. Çanta AAT ya da Seymen Katı Atık Depolama Tesisi'nde 23 ton/gün kapasiteli arıtma çamuru kompostlaştırma tesisi kurulacaktır. Kapasite fazlası arıtma çamuru (%30-35 KM) Seymen Katı Atık Depolama Tesisi'ne ya da üst örtü olarak kullanılmak üzere Odayeri Katı Atık Depolama Tesisi'ne gönderilecektir.

Senaryo 3	Mevcut termal kurutma tesisleri işletilmeye devam edilecektir. Paşaköy AAT'nde yapım aşamasındaki kurutma tesisi devreye alınacaktır. Ataköy ve Tuzla AAT'nde planlanan ihale aşamasındaki kurutma tesisleri devreye alınacaktır. Mevcut/planlanan kurutmalardan çıkan kuru ürün ek yakıt olarak çimento fabrikalarına gönderilecektir. İlave olarak Avrupa Yakası'nda Ambarlı AAT merkezli bir yakma tesisi kurulacaktır (%25 KM besleme ile). Ambarlı AAT'nde 100 ton/gün yaş çamur (~10 ton/gün yakma külü) kapasiteli fosfor geri kazanımı ünitesi kurulacaktır. Yakma tesisinde oluşacak fosfor geri kazanımı fazlası kül Seymen Katı Atık Depolama Tesisi'ne gönderilecektir.
Senaryo 4	Mevcut termal kurutma tesisleri işletilmeye devam edilecektir. Paşaköy AAT'nde yapım aşamasındaki kurutma tesisi devreye alınacaktır. Mevcut kurutmalardan çıkan kuru ürün ek yakıt olarak çimento fabrikalarına gönderilecektir. Çanta AAT ya da Seymen Katı Atık Depolama Tesisi'nde 90 ton/gün kapasiteli arıtma çamuru kompostlaştırma tesisi kurulacaktır. İlave olarak Avrupa Yakası'nda Ambarlı ve Ataköy AAT, Asya Yakasında Tuzla AAT merkezli yakma tesisleri kurulacaktır (%25 KM besleme ile). Ambarlı AAT'nde 100 ton/gün yaş çamur (~10 ton/gün yakma külü) kapasiteli fosfor geri kazanımı ünitesi kurulacaktır. Yakma tesisinde oluşacak fosfor geri kazanımı fazlası kül Seymen/Kömürcüoda Katı Atık Depolama Tesisi'ne gönderilecektir.
Senaryo 5	Mevcut termal kurutma tesisleri işletilmeye devam edilecektir. Paşaköy AAT'nde yapım aşamasındaki kurutma tesisi devreye alınacaktır. Çanta AAT ya da Seymen Katı Atık Depolama Tesisi'nde 23 ton/gün kapasiteli arıtma çamuru kompostlaştırma tesisi kurulacaktır. Mevcut kurutmalardan çıkan kuru ürün diğer tesislerde oluşan yaş çamur ile paçallanarak; Avrupa Yakası'nda Ambarlı ve Ataköy AAT, Asya Yakasında ise Tuzla AAT merkezli kurulacak yakma tesislerine gönderilecektir (%40 KM besleme ile). Ambarlı AAT'nde 100 ton/gün yaş çamur (~10 ton/gün yakma külü) kapasiteli fosfor geri kazanımı ünitesi kurulacaktır. Yakma tesisinde oluşacak fosfor geri kazanımı fazlası kül Seymen/Kömürcüoda Katı Atık Depolama Tesisi'ne gönderilecektir.

Senaryolar kapsamında önerilen ilave bertaraf yatırımlarının 2020 yılı itibari ile kademeli olarak işletmeye alınacağı öngörülmüştür.

İlave yatırım ihtiyaçları mevcut fiili kurutma kapasiteleri üzerinden hesaplanmıştır. Çamur Yönetim Senaryolarına Göre Belirlenen Tesis Kapasiteleri ve Toplam Maliyetleri (2030 yılı) aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Senaryo	Mevcut Kurutma Tesisi	İhale/Yapım Aşamasında Kurutma Tesisi	İlave Kurutma Tesisi	Yakma Tesisi	Fosfor Geri Kazanımı	Kompost Tesisi	Düzenli Depolama	Toplam Maliyet
Birim	Ton/gün	Ton/gün	Ton/gün	Ton/gün	Ton/gün	Ton/gün	Ton/gün	Milyon TL
Mevcut Durum	1.220	150	-	-	-	-	-	-
Sen-1	1.220	1.350	1.100	-	-	-	-	~196
Sen-2	1.220	1.350	-	-	-	23	1.100	~168
Sen-3	1.220	1.350	-	1.100	100	-	-	~208
Sen-4	1.220	150	-	2.200	100	90	-	~250
Sen-5	1.220	150	-	2.200	100	23	-	~238

Sonuç olarak;
Sürdürülebilir bir çamur yönetimi için 5 nolu senaryoda belirtildiği üzere İstanbul'da kurulu/yapımı devam eden kurutma tesislerinin işletilmesi, buna ilave herhangi bir kurutma sistemi yapılmadan susuzlaştırılmış çamur fazlası ile kuru ürünün paçallanarak yakılacağı merkezi+ yakma tesisleri kurulması ve bir miktar çamurun kompostlaştırılması ile kurulacak yakma tesislerinde yapılacak fizibilite sonuçlarına göre fosfor (P) geri kazanımının sağlanması gerekliliği tespit edilmiştir.

Buna göre 2030 yılına kadar kademe-
li olarak Avrupa yakasında; Ambarlı ve
Ataköy AAT'nde toplam 1550 ton/gün
kapasiteli iki adet, Anadolu yakasında;
Tuzla AAT'nde 650 ton/gün kapasiteli
bir adet yakma tesisi kurulması öneril-
mektedir. Senaryo 5 kapsamında öne-
rilen çamur yönetimi toplam maliyeti
~238 milyon TL'dir.

Tesislerin yatırımı için yap-işlet, yapım
işlerinin 21E marifeti ile ihale edilmesi
ve imtiyaz hakkı modelleri incelenmiş
,imtiyaz hakkı modeli ile yönetilmesinin
zaman ve uygulama açısından daha uy-
gun olacağı tespit edilmiştir.

DÜNYA NÜFUSU GEÇTİĞİMİZ YÜZYILDA ÜÇ KAT ARTMIŞTIR. AYNI DÖNEMDE SU KULLANIMI İSE ALTI KATINA ÇIKMIŞTIR.



KAYNAK: WORLD WATER FORUM, 2009

ATIKSU ARITMA TESİSİ TASARIMI VE PROSES KONTROLÜNDE SİMÜLASYON PROGRAMLARININ ÖNEMİ

Prof. Dr. Güçlü İNSEL
İTÜ/ Çevre Mühendisliği Bölümü



Arıtma tesislerinin, ilk atıksulardan organik madde giderimi ile başlayan yolculuğunda, biyolojik azot giderimi, ileri biyolojik fosfor giderimi (EBPR), deamonifikasyon (Anammox, Demon vb.) prosesleri keşfedilerek günümüzde yaygın kullanım alanı bulmuştur.



Atıksu arıtma tesislerinin temeli olan aktif çamur prosesi, 1914 yılında Ilgiltire’de Lockett ve Ardern tarafından keşfedilmiştir. Çevre kirliliğinin nüfus artışına bağlı artması, atıksu arıtma sektöründe yeni proseslerin keşfini ve çevre teknolojisinde gelişimleri de beraberinde getirmiştir. Arıtma tesislerinin, ilk atıksulardan organik madde giderimi ile başlayan yolculuğunda, biyolojik azot

giderimi, ileri biyolojik fosfor giderimi (EBPR), deamonifikasyon (Anammox, Demon vb.) prosesleri keşfedilerek günümüzde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Proseslerin keşfine paralel olarak teknolojideki ilerleme, konvansiyonel sistemlerin yanında, biyofilm sistemleri, ardışık kesikli reaktör, hibrit teknolojiler, membran biyoreaktörler (MBR) ile birlikte granül aktif çamur proses uygulamalarını yaygın-

laştırmıştır (Jenkins vd., 2014). Atıksu tesislerinin yan ürünü olan arıtma çamurlarının enerji geri kazanımında kullanılması, anaerobik çürütme/biyogaz teknolojileri, dezentegrasyon ve termal çamur proseslerinin (yakma, gazifikasyon, termal hidroliz vb.) gelişimini sağlamıştır. Sonuçta, atıksu arıtma tesislerinin entegre bir fabrikaya dönüşmesi; değişken çevresel koşullara göre birbiriyle etkileşim içinde olan bu proseslerin hesaplarının kısa sürede yapılmasını imkansız kılmaktadır. Öte yandan, arıtma teknolojilerinin 100+ yıllık serüvenindeki "arıt-deşarj et (treat and discharge)" kavramının yakın gelecekte yerini "kaynağı geri kazan (resource recovery)" yaklaşımına bırakması kaçınılmazdır. Sürdürülebilir şehirler için "Kaynak Geri Kazanımı Tesislerinden" elde edilecek ürünler (su, organik madde, gübre, biyogaz, biyomateryal) için de bakış açısı ve mühendislik anlayışı şimdiden değişmeye başlamıştır (WEF, 2014).

Günümüzde çok bileşenli proses modelleri arıtma teknolojilerindeki karmaşık proseslerin çözümünde yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Modelleme/Simülasyon ile tasarım esaslarının belirlenmesi ve proses kontrolü; otomasyon senaryolarının oluşturulması, ekipmanların seçimi, atıksu/çamur proses performanslarının değerlendirilmesi, işletmede arıtma veriminin iyileştirilmesi, kapasite artışlarının hesaplanması, işletme maliyetlerinin düşürülmesi, personel eğitimi gibi birçok amaca hizmet etmektedir (İnsel, 2004). Modeldeki proses bileşenlerine (değişkenlerine) organik maddeler, azot ve fosfor bileşenleri, prosesi gerçekleştiren tüm fonksiyonel mikroorganizma grupları,

gazlar (oksijen, metan, karbondioksit, hidrojen), alkalinite, pH ve diğer iyonlar örnek olarak verilebilir. Bu bileşenler arasındaki ilişkiler bilgisayar mikroişlemci ve belleği kullanarak hesaplanmaktadır.

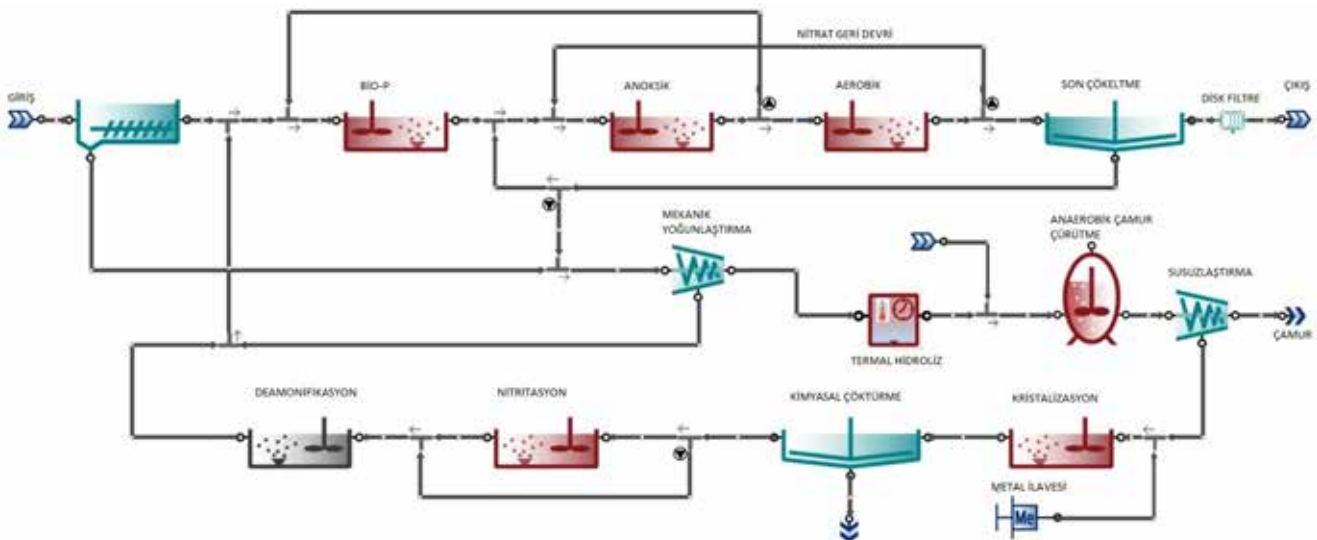
Bilgisayar teknolojisinin gelişimi incelendiğinde, 1996 yılı öncesinde kişisel bilgisayarlar, mikroişlemcilerin (CPU) kapasitesindeki sınırlama (<150 MHz) nedeni ile çok bileşenli arıtma tesisi modellerinin çözümünde yetersiz kalmıştır. Organik madde ve biyolojik azot giderimine yönelik dinamik simülasyon modelinin temelleri 1980 yıllarında Güney Afrika, Capetown Üniversitesi'nde (Dold vd., 1980) atılmış olup 13 bileşenli (değişken), 15 parametrelili Aktif Çamur Modeli 1 (ASM1: Henze vd., 1987), proses mühendisleri tarafından kabul görerek dünyada proses tasarım ve iyileştirme projelerinde kullanılmaya başlamıştır. Bunu takiben, aşırı biyolojik fosfor giderim prosesi de dahil edilerek ASM2 ve ASM2d modelleri geliştirilmiştir (Henze vd., 1995; 1999). Bu modeller ile bileşen ve parametre sayısı sırası ile 19 ve 45'e ulaşmıştır. Bilgisayar teknolojisinde yine bu yıllarda üretilen 400 MHz kapasiteli işlemciler ile ASM2/2d modelleri tesis simülasyonları için ancak yeterli olabilmiştir. pH hesaplarının da dahil edildiği anaerobik çamur çürütme, kimyasal prosesle birlikte termal hidroliz prosesleri simülasyon modellerini çok karmaşık hale getirmiştir. Ayrıca, modellerin tüm tesis bazında uygulanması ve çevresel tüm faktörlerin etkilerinin formüle edilmesi gerçeğe yakın sonuçların üretilmesini sağlamıştır. Ancak, karmaşık model çözümleri yüksek mikroişlemci gücü gerektirmektedir. Atıksu arıtma ile ilgili



*Modelleme/
Simülasyon ile
tasarım esaslarının
belirlenmesi ve
proses kontrolü;
otomasyon
senaryolarının
oluşturulması,
ekipmanların seçimi,
atıksu/çamur proses
performanslarının
değerlendirilmesi,
işletmede
arıtma veriminin
iyileştirilmesi,
kapasite artışlarının
hesaplanması,
işletme maliyetlerinin
düşürülmesi,
personel eğitimi gibi
birçok amaca hizmet
etmektedir.*

yazılım sektörünün gelişmesi ve simülatorlerin yaygınlaşması, günümüzde 5-6 GHz kapasiteye ulaşan işlemciler ile 60 bileşen, 250 parametreye sahip modelleri birkaç saniyede çözebilmektedir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişim çevre teknolojisi gelişimini yakalamış olup geliştirilen teknolojiler simülasyon programlarının kütüphanelerinde yerini hemen almaktadır. Örnek olarak, Şekil 1'de biyolojik azot/fosfor giderimi, kimyasal çöktürme, anaerobik/termal ça-

hızı, biyogaz üretim potansiyeli vb. bir çok ölçüm yöntemi mevcuttur (İnsel, 2004). Bu verilerin üretilebildiği ve yerel koşulları yansıtan güncel parametrelerin kullanıldığı modeller ile önemli riskler büyük oranda azaltılmaktadır. 1970'li yıllarından beri süregelen konservatif tesis tasarımı yaklaşımına göre proses tasarımı sabit kirletici yükleri dikkate alınarak yapılmaktaydı. Teknolojinin gelişimi ile yeni tasarım yaklaşımlarında proses simülasyon modelleri



Şekil 1. Tesis bazında simülasyon için akım diyagramı örneği

mur prosesleri ile birlikte yenilikçi azot giderimi proses hesapları için oluşturulan bir entegre akım diyagramı gösterilmektedir.

Günümüzde genel amaçlı simülátorler deneyimli tasarım mühendislerinin vazgeçilmez araçları haline gelmiştir. Ancak, proses çözümünde kullanılan model sonuçlarının gerçek koşulları yansıtabilmesi için programa doğru verilerin (parametrelerin) girilmesi gerekmektedir. Simülasyon için gerekli verileri üretmek için model bazlı atıksu karakterizasyonu, fonksiyonel mikro-organizmalarının aktiviteleri, çökeltme

ri yaygınlaşmıştır. Öte yandan, değişken çevresel koşullar göz önüne alınarak elde edilen simülasyon sonuçları, konservatif tesis tasarımlarındaki ciddi eksiklikleri ortaya çıkarmaktadır (Jenkins vd., 2014). Atıksu arıtma tesislerinin planlanmasında değişken koşullar altında davranışı simülasyon ile mutlaka kontrol edilmelidir.

Atıksu arıtma tesisleri, çevresel ve giriş koşullarının değişmesi sebebi ile çoğu zaman tasarlandığı denge durumunda çalıştırılamamaktadır. Atıksu debisi ve kirlenici parametrelerdeki salınımlar, sıcaklık değişimleri, inhibitör maddele-

Atıksu debisi
ve kirleticisi
parametrelerdeki
salınımlar, sıcaklık
değişimleri,
inhibitör maddelerin
etkileri istenilen
deşarj kalitesinin
sağlanmasını
zorlaştırarak
tesislerde fazla enerji
tüketimine neden
olmaktadır.

rin etkileri istenilen deşarj kalitesinin sağlanmasını zorlaştırarak tesislerde fazla enerji tüketimine neden olmaktadır. Bu faktörlerin etkilerini kısa sürede dengeleyecek proses kontrolü için ölçüm parametreleri ve kontrol stratejilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, enstrümantasyon için optimum proses noktaların seçimi de kritik önem taşımaktadır. Bu aşamada, çoğu proses simülatörü (i) çözünmüş oksijen kontrolüne dayalı oransal blower işletmesi, (ii) azot giderimi için içsel geri devir ve anoksik hacmin otomatik olarak ayarlanması, (iii) son çökeltmede çamur yüksekliğine göre geri devrin ayarlanması, (iv) kimyasal madde ilavesi, (v) çamur yaşı kontrolü ile birlikte çevrim içi amonyak ölçümüne bağlı nitrifikasyon kontrolü, (vi) çamur çürütücülerde pH kontrolü için kimyasal madde dozlanması ve (vii) denitrifikasyon için otomatik metanol dozlaması gibi otomatik kontrol süreçlerini hesaplayacak kabiliyettedir (Olsson vd., 2005). Bu özellikler hem planlama aşamasında hem de işletme sırasında karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır.

Atıksu arıtma tesislerinde değişken koşullar altında uygun kontrol stratejilerinin seçimi modelleme/simülasyon ile kısa zamanda elde edilebilmektedir. Literatürde modelleme ve simülasyon ile gerçek zamanlı proses kontrol uygulamalarında işletmede %30-40 seviyelerine varan enerji tasarrufu sağlanabildiği belirtilmektedir (Jenkins vd., 2014). Dünyada, hedeflere uygun prosesin ve otomasyon ve kontrol stratejilerinin belirlenmesinde, yaygın olarak kullanılan simülatörler tesis tasarımcıları ve işletmecilerinin güvenliğini çoktan kazanmıştır.

Kaynaklar

Ardern E., Lockett WT. (1914) Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters, J. Soc. Chem. Ind., 33, 523-539.

Dold PL., Ekama GA., Marais GvR. (1980) A general model for the activated sludge process, Prog. Wat. Tech., 12(6), 47-54.

Henze M., Gujer W., Mino T., Matsuo T., Wentzel MC., Marais GvR., van Loosdrecht MCM. (1999) Activated sludge model No.2d, ASM2d, Wat. Sci. Tech., 39(1), 165-182.

Henze M., Gujer W., Mino T., Matsuo T., Wentzel MC., Marais GvR. (1995) Activated sludge model No.2., IAWPRC Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Treatment, IAWQ, Londra, İngiltere.

Henze M., Grady CPLJr., Gujer W., Marais GvR., Matsuo T. (1987) Activated sludge model No.1, IAWPRC Science and Technical Report No. 1, IAWPRC, Londra, İngiltere.

İnsel G. (2004) Aktif çamur sistemlerinde organik karbon, azot ve fosfor giderimi proseslerinin model destekli analizi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (İngilizce).

Jenkins D., Wanner J., Yuan Z. [Ed.] (2014) Activated Sludge: 100 Years and Counting, IWA Publishing, Londra, İngiltere.

Olsson G., Nielsen NK., Lynggaard-Jensen A., Steyer JP. (2005) Instrumentation, control and automation in wastewater systems, IWA Publishing, Scientific and Technical Report No: 15, Londra, İngiltere.

WEF (2014) Moving toward resource recovery facilities, WEF Special Publication, Alexandria, ABD.



Atıksu arıtma tesislerinde değişken koşullar altında uygun kontrol stratejilerinin seçimi modelleme/simülasyon ile kısa zamanda elde edilebilmektedir. Literatürde modelleme ve simülasyon ile gerçek zamanlı proses kontrol uygulamalarında işletmede %30-40 seviyelerine varan enerji tasarrufu sağlanabildiği belirtilmektedir.

İSTANBUL İLİ ATIKSULARINDA ÇEVRESEL TOKSİSİTE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

İclal BİRTEK, MS.

İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürlüğü, MS, Çevre Bilimcisi



*Toksik
kelimesi “canlı
organizmalara
zararlı olan
madde” anlamında
kullanılmaktadır.
Toksikoloji
ise zehirlerin
incelendiği bilim
dalıdır.*

Toksik kelimesi son yıllarda günlük hayatta gerçekleşen hadiselerde “sanayiden toksik yayılım, rujdandan yayılan toksinler, toksik insanlar” gibi tabirlerle sıklıkla ilgi uyandırmaktadır. İstanbul şehrine su ve atıksu hizmeti sağlayan İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) İstanbul sınırları içerisinde faaliyet gösteren

sanayiden gelen ve 15 milyonu aşkın nüfusun tüketmesi neticesinde oluşan atıksuların toksikliğini değerlendirme yolunda Çevresel Toksikite Laboratuvarını açmıştır. Bu makalede, toksikoloji, ekotoksikite tanımları ve tarihi gelişim süreçleri ve İSKİ laboratuvarlarında gerçekleştirilen çevresel toksisite çalışmaları hakkında bilgi verilecektir.

Toksikoloji tanımı

Toksik kelimesi Türkçe’de zehirli olma-ya karşılık gelen, yani “canlı organizmalara zararlı olan madde” anlamında kullanılan tabirdir. Toksikoloji kelimesi toxon = yay kelimesinin sıfatı olan Yunanca toxikos kelimesinden türetilmiştir. Tarihçi Herodotus toxicon kelimesini zehirli ok olarak kullanmıştır (Niesink R. Vries J., 1996).

Toksikoloji ise zehirlerin incelenmesi manasına gelmektedir. Bir maddenin zehirli olması, o maddenin söz konusu organizmanın fizyolojik dengesini bozarak artık sağlıklı kabul edilemeyecek hale gelmesidir. Ya da farklı bir deyişle, organizmanın hasta hale gelmesidir. Kimyasalların zehirliliğini ve zehirlenmeyi inceleyen bilim insanlarına toksikologlar denmektedir (Niesink R. Vries J., 1996).

Toksikolojinin tarihsel gelişimi

İnsanoğlunun ilk çağlardan bu yana, bazı bitki ve hayvanların zehirli özellikleriyle karşı karşıya kaldığı bilinmektedir. Eski Mısır kaynakları, MÖ 1550 yıllarında Mısırlıların doğal ürünlerin toksik ve iyileştirici özellikleri hakkında bilgi sahibi olduklarını göstermiştir. 16. yüzyılda tüm maddelerin doza bağımlı olarak zehirli etki gösterebileceğine dikkat çeken, maddelerin zehir etkisi göstermesinin o maddenin kullanım dozuna bağlı olduğunu belirten Paracelsus toksikoloji tarihinde bir mihenk taşı olarak kabul edilmektedir. 19. yüzyılın başlarında Bonaventura Orfila, modern toksikolojinin temelini atmıştır. Sanayi Devrimi ile beraber kullanılan kimyasalların çeşit ve miktarlarının artmasının ardından toksikoloji dalında büyük

gelişmeler sağlanmıştır. Günümüzde toksisitenin ilgisi sadece çok sayıda yeni geliştirilen maddeler için sınırlı olmayıp, aynı zamanda toksik maddelerden kaynaklı insan ve çevre sağlığı üzerinde oluşabilecek risklerin anlaşılabilmesinin gerekliliğinin farkındalığını da kapsar (Niesink R. Vries J., 1996).



Toksikoloji bilimsel bir disiplindir. Toksikoloji araştırmalarında zehir etkilerini temel alan mekanizmalar ve süreçler hakkında fikir edinmek için temel olarak tüm temel tıbbi- biyolojik ve kimyasal bilimler entegre halde ele alınmaktadır. Toksikolojik araştırmalar ile temel disiplinlerin arasındaki bağlantıdan yola çıkılarak nörotoksikoloji, immünotoksikoloji, moleküler toksikoloji, çevresel toksikoloji, genetik toksikoloji, adli toksikoloji, farmasötik toksikoloji ve gıda toksikolojisi gibi çeşitli alt disiplinler oluşmuştur. Çevresel toksikoloji, toksikoloji bilimini çevresel sağlık bilimleri, ekoloji ve çevre kimyası gibi alt disiplinler ile bütünleştik olarak inceleyen bir bilim dalıdır (Niesink R. Vries J., 1996).

Çevresel toksikoloji

Çevresel toksikoloji ya da diğer bir deyişle ekotoksikoloji, bütün ekosistemle-

Yunanlı filozof Sokrates’in MÖ 399’de Atina’da baldıran otu zehiri ile infaz edilmesini 18.yy’da Jacques-Louis Hoff’in resmettiği tablo, Metropolitan Sanat Müzesi, New York.



Paracelsus, maddelerin zehir etkisi göstermesinin o maddenin kullanım dozuna bağlı olduğunu belirtmiştir.

ri korumak amacıyla toksik maddelerin ekosistemler üzerindeki etkilerini araştıran bilim dalıdır. Ekotoksikoloji terimi ekoloji ve toksikoloji kelimelerinden türetilerek ilk defa Truhaut tarafından 1961 yılında kullanılmıştır (Walker C., 2001). Toksikologlar, antropojenik veya doğal halde bulunan kimyasalların biyolojik ve kimyasal mekanizmalarını inceleyerek kimyasalların vücudumuzda ve çevrede nerede sonlanacağını önceden tahmin etme, kimyasalların ne tür toksik etkileri olduğunu belirleyebilme, birey ve çevrenin sağlığı için gerekli maruziyet limitlerini oluşturabilme hususlarında yetkindirler. Çevresel toksikolojistler, çevremizin ve doğal kaynaklarımızın güvenliği konusunda sürekli değişen endişeleri ele almaktadırlar (Hoffman D., 2003).

Çevresel toksikolojinin tarihsel gelişimi

Tarihte kayıtlı insan kaynaklı ilk ekotoksik etkiler Sanayi Devrimi neticesinde 1850'lerde, örneğin İngiltere'de güvelerin kararması gibi etkiler ile gözlemlenmiştir. Sucul toksikoloji alanında sucul ekosistemdeki tür ve komünitelerin varlığı veya yokluğunun önemini fark eden ilk araştırmacılardan biri olan Forbes, tür toleransına dayalı olarak nehirleri kirlilik alanına göre sınıflayan yaklaşım getirmiştir. Benzer zamanlarda, 1863'de Penny ve Adams tarafından suyun ilk akut toksisite deneyleri yapılmıştır. 1885 yılında da Weigelt, Sare and Schwab toksik kimyasallardan duydukları endişe sebebi ile endüstriyel atıksularda akut toksisite deneylerini gerçekleştirmişlerdir. İlk "Standart Metot" Hart ve arkadaşları tarafından 1945 yılında yayımlanmış ve Amerikan

Society for Testing and Materials) tarafından kabul edilmiştir. Genel itibarı ile, kimyasal ve fiziksel ölçümlere dayalı su kalitesi değerlendirme yaklaşımı kabul görmekteydi. Oysa belirli bir sucul sistemdeki türlerin, bilhassa popülasyon ve komünitelerin varlığı veya yokluğu bilgilerinin çevresel şartların uygunluğu hususunda daha hassas ve güvenilir bilgi sağladığı anlaşılmıştır. (Hoffman D., 2003)

Karasal toksikoloji çalışmalarında yabancı hayatı etkilediği tespit edilen sanayi emisyonları ve arsenik kirliliği dahil insan kaynaklı kirleticilerin sanayi devrimi ile birlikte ilk defa 1850'lerde birikmeye başladığı bildirilmiştir. 1887'de Almanya'da gümüş izabehanesinden intişar eden arsenik neticesinde alageyiklerin (*Dama dama*) öldüğü raporlanmıştır. Teksas'da bir petrol sahası yakınındaki hidrojen sülfür emisyonları, birçok yabancı kuş ve memeli türünün büyük oranda yok olmasıyla sonuçlanmış, bir ekosistem içinde birden fazla türe etki etmiştir. Modern zirai ilaçların ortaya çıkmasıyla, bilhassa dikloro difenil trikloroetanin (DDT) 1943'te piyasaya sürülmesi ve 1950'lerin başında karaağaç hastalığını kontrol altına alma maksatlı püskürtülerek kullanılması neticesinde ABD'deki kızılgerdan kuşu (*Turdus migratorius*) popülasyonunda belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Kısa bir süre sonra kel kartal (*Haliaetus leucocephalus*), balık kartalı (*Pandion haliaetus*), kahverengi pelikan (*Pelecanus occidentalis*) ve balık yiyen memeli popülasyonu içeren ekosistemlerin yok olma riski altında olduğu anlaşılmıştır (Hoffman D., 2003).



Çevresel toksikoloji ya da diğer bir deyişle ekotoksikoloji, bütün ekosistemleri korumak amacıyla toksik maddelerin ekosistemler üzerindeki etkilerini araştıran bilim dalıdır.



DDT kullanımı neticesinde ABD'de 1950'lerde popülasyonunda belirgin bir düşüş gözlenen Amerikan kızilgerdan kuşu (*Turdus migratorius*).



DDT kullanımı neticesinde ABD'de yaşamları tehlike altına giren Kel kartal (*Haliaeetus leucocephalus*).



DDT kullanımı neticesinde ABD'de yaşamları tehlike altına giren Balık kartalı (*Pandion haliaetus*).



DDT kullanımı neticesinde ABD'de yaşamları tehlike altına giren Kahverengi pelikan (*Pelecanus occidentalis*).

Sonraki dönemlerde ekosistemi bozan nükleer ve termal prosesler, yüzeysel akışla gelen patojenler, ormansızlaşma, küresel ısınma, madencilik, askeri mühimmat ve atıkları, genotoksik bileşenler, endokrin bozucular, zirai mücadele ilaçları, petrol ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar, polihalojenlenmiş aromatik hidrokarbonlar, ağır metaller ve diğer iz bileşenler gibi çevre kirleticileri ve antropojenik proseslerin çevre üzerine olumsuz etkileri gözlenmiş ve incelenmiştir. (Hoffman D., 2003)

Toksisite ölçümlerine duyulan ihtiyaç

Atıksu pek çok kaynaktan beslenmesi sebebi ile toksik bileşenler içerebilmektedir. Endüstriyel atıksular pek çok ülkede atıksu kanal hatlarına bağlanmaktadır. Endüstriyel deşarj sularının uygun teknolojilerle arıtılmaması neticesinde endüstriden gelen ağır metal, sentetik kimyasallar ve ara ürünlerinin toksik etki yarattığı bilinmektedir. Bu kirlenici bileşenler konvansiyonel atıksu arıtımı sonrasında da halen bulunabilmektedir (Quevauviller P., 2006).

Evsel atıksuların da ilaçlar ve bileşenleri, kişisel bakım, temizlik vb. ürünleri içermeleri sebebi ile toksik karakter gösterebildikleri gözlenmiştir. Pestisitler, atmosferde bulunan organik kirleticiler de yüzeysel akışla birleşik sistemlerde atıksu kanal hatlarına bağlanmaktadır. Bunların yanında hastane atıksuları, katı atık sızıntı suları gibi kaynaklardan gelen ya da kaçak olarak yapılan deşarjlar atıksulardaki toksinlerin potansiyel kaynakları olabilmektedir (Quevauviller P., 2006).

Atıksuyun toksikliğini değerlendirme-



Atıksu pek çok kaynaktan beslenmesi sebebi ile toksik bileşenler içerebilmektedir. Endüstriyel deşarj sularının uygun teknolojilerle arıtılmaması neticesinde endüstriden gelen ağır metal, sentetik kimyasallar ve ara ürünlerinin toksik etki yarattığı bilinmektedir.

de tek başına kimyasal analizler yeterli değildir. Ekotoksiste testleri ile test canlıları analiz edilecek atıksuya maruz bırakılarak suyun toksikliğine dair değerlendirme yapmaya imkân sağlamaktadır.

Atıksuyun toksikliğini değerlendirilmede tek başına kimyasal analizler yeterli değildir. Atıksu genel olarak BOİ, KOİ, TAKM gibi konvansiyonel bileşenlerin ölçüm sonuçları ile değerlendirilmektedir ve bu ölçümler toksisite değerlendirmesine yeterli gelmemektedir. Günümüzde yüzbinlerce kimyasal bulunmakta ve atıksularda bulunan her bir kimyasalın tek tek tetkik edebilmesi mümkün değildir. Bunun yanında, kimyasallar bazı durumlarda çeşitli dönüşümler geçirip ekstra toksik bileşenlere dönüşebilmektedir. Örneğin, bir takım kimyasallar güneşten gelen UV ışınları gibi etkenler ile fizikokimyasal transformasyonlar geçirip, biyobozunma göstererek toksik metabolitlerin oluşumuna sebebiyet verebilmektedir. Buna karşın, bir takım test canlılarını toksik madde içerip içermediği merak edilen atıksuya maruz bırakmak kısa yoldan suyun toksikliğine dair değerlendirme yapmaya imkân tanımaktadır (Quevauviller P., 2006).

Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularında toksisite değerlendirilmesi

Atıksu arıtma tesis çıkış sularının ulaştığı alıcı ortamların ekolojik dengesinin olumsuz yönde etkilenmediğinin kontrolü için atıksu arıtma tesis çıkış sularında toksiste analizlerinin yapılması önem arz etmektedir.

Atıksu arıtma tesislerine gelen giriş su-

larının toksik bileşenler içermemesi biyolojik arıtımın verimi açısından önem arz etmektedir. Bu sebeple tesis giriş sularında toksisite testinin yapılması atıksu arıtma tesislerine gelen atıksuyun toksisite değerlendirmesi yapılmasına imkân sağlamaktadır.

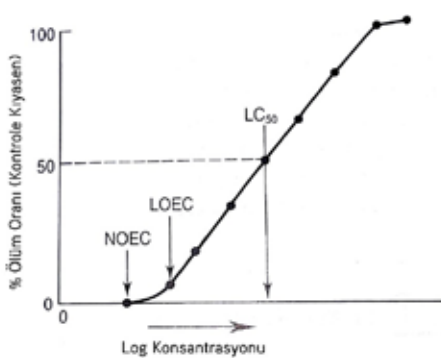
Bunun yanında atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularının toksik etki gösterebilecek kimyasalları bulundurma ihtimali sebebi ile toksik bileşenlerin yüzeysel sulara girişinde ana noktasal kaynak olduğu bilinmektedir. Atıksu arıtma tesis çıkış sularının ulaştığı alıcı ortamların ekolojik dengesinin olumsuz yönde etkilenmediğinin kontrolü için atıksu arıtma tesis çıkış sularında toksiste analizlerinin yapılması önem arz etmektedir. Bu kapsamda Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, İtalya gibi bazı ülkeler atıksu arıtma tesisi çıkış sularında düzenli olarak ekotoksiste ölçümleri yapmaktadır (Quevauviller P., 2006).

Çevresel toksikolojinin değerlendirilmesi

Çevresel Toksikoloji çalışmaları dahilinde insan sağlığına zarar veren kanserojen, tetratojen, mutajen ve endokrin bozucu özellik gösteren kimyasallar özel olarak ele alınmış ve çeşitli canlılar üzerine etkileri çalışılmıştır. Toksinin absorbe edilmesinde kimyasala maruz kalma şekli, maddenin konsantrasyonu, maddenin kimyasal ve fiziksel özellikleri toksisite değerlendirilmesinde önem arz etmektedir. İnsanoğlunun toksik maddelere maruz kalma yolları solunum, sindirim, deriden temas ve enjeksiyon ile dir. Toksisteye maruz kalan canlıda DNA modifikasyon hasarı, hücre yenilenmesinde sorunlar, enzimatik sistem bozukluğu, protein sentezi ak-

samalarını içeren birtakım hücrel, biyokimyasal ya da makromoleküler değişiklikler olabilir (Meriç S., 2017), (Rediske R., 2017).

Çevresel Toksikoloji değerlendirmenin merkezinde doz-cevap ilişkisi yatmaktadır. Atıksuda bulunan kimyasalların biyolojik olarak kullanılabilirliği her bir bileşik, test türü ve çalışılan atıksuyun niteliklerine göre büyük farklılık gösterdiğinden, test organizmasının maruz kaldığı miktarın belirlenmesi güçtür. Atıksu gibi numunelerde pek çok madde bulunabileceği için test edilen canlıya tesir eden maddelerin kantitatif tayinleri oldukça zordur. Bu sebeple atıksudaki toksin konsantrasyonun test organizması üzerindeki etkisi ilişkilendirilmektedir (konsantrasyon-etki ilişkisi). Atıksu toksisite testinde konsantrasyon ham atıksuyun % 0-100'ü arasında değişen seyrelme miktarını belirtmektedir. Toksikitesi tayin edilecek olan numune belirli konsantrasyon seviyelerinde hazırlanıp spesifik canlı bu konsantrasyonlara maruz bırakılarak o numunenin EC_{50} değeri hesaplanmaktadır (Şekil 1), (Quevauviller P., 2006).



suları için AB'de WEA (Whole Effluent Assessment), ABD'de ise USEPA-WET (Whole Effluent Toxicity) (Bütünsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Toksisitesi Değerlendirilmesi) rehber dokümanını yayımlanmıştır. Atıksuların toksik bulunması halinde TIE (Toxicity Identification Evaluation = Toksisite Belirlenme Değerlendirmesi) testi, TRE (Toxicity Removal Evaluation = Toksisite Giderim Değerlendirmesi) yapılarak toksik bileşenler saptanılmaya ve problemler giderilmeye çalışılmaktadır.

Ulusal mevzuatta ise, 2004 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı'nın yayımladığı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde endüstriyel deşarjlarda indikatör organizma olarak balık biyodeneyi seçilmiş; balıkların 48 saat, 72 saat, 96 saat gibi belirli süreler sonunda sağ kalma yüzdeleri belirlenerek; zehirliliğin, seyrelti oranları ile ilişkili olarak ifade edilmesi sağlanmıştır (Meriç S., 2017).

İSKİ atıksularında çevresel toksisite izleme çalışmaları

İstanbul ili 15 milyonu aşan nüfusu ile dünyanın en büyük metropollerinden; İSKİ ise dünyanın en büyük su ve atıksu idarelerinden biridir. Nüfusu bu denli yoğun olan bir şehrin atıksularının arıtılma proseslerinin en etkin şekilde sağlanması ve alıcı ortamların ekolojik dengelerinin korunarak arıtılması büyük bir sorumluluktur. Şehirde evsel ve endüstriyel kaynaklı atıksular arıtılmakta, fiziksel ve kimyasal konvansiyonel parametreleri düzenli olarak izlenmektedir. İİSKİ, Yönetim Kurulu Üyesi Sayın Prof. Dr. İzzet Öztürk önderliğinde, İstanbul atıksularının fiziksel ve kimyasal konvansiyonel parametrelerin düzenli olarak izlenmesinin yanında biyolojik

izleme de yapılması amacı ile Temmuz 2017'de İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Merkez Laboratuvarında Çevresel Toksisite (Ekotoksisite) Laboratuvarı açılmıştır. Laboratuvarında hali hazırda Su Piresi (*Daphnia magna*), Alg (*Pseudokirchneriella subcapitata*) ve *Vibrio fischeri* ile üç ayrı taksada İstanbul ili atıksu havzalarından alınan atıksu numunelerinde mevsimsel toksiste ölçümleri yapılmaktadır. Böylece atıksu arıtma tesislerine giren ve arıtılan suyun toksik karakteri belirlenerek alıcı ortamların korunmasında fiziksel ve kimyasal izlemenin yanında biyolojik izleme yapılmaya başlanmıştır.

İSKİ, Ekotoksisite Laboratuvarında ekotoksiste analizlerinin yapılması ile atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularında toksisite seviyeleri belirlenerek arıtma proseslerinin verimliliğinin değerlendirilmesi mümkün hale gelmiştir. Atıksu arıtma tesislerinde kalıcı toksisite gözlenmesi durumunda atıksu kanal hattındaki stratejik noktalarda yapılacak toksisite testleri, toksik kaynakların tetkikine olanak sağlayacaktır. İSKİ Ekotoksisite Laboratuvarı altyapısının geliştirilmesi ile; içme sularının, yeraltı sularının, yüzeysel suların ve atıksularının kirlenmesine bağlı toksisite risklerinin belirlenmesi; kaza neticelerinde toksik bileşenlerin su havzalarına dökülmesi durumlarında ön bilginin temin edilebilmesi; gerekli durumlarda endüstriyel atık ve çamurlarda risk değerlendirmesi yapılabilmesi mümkün hale gelecektir. İSKİ Mikrokirletici analiz tekniklerinin de gelişimi ile toksik atıksuları toksik kılan bileşenlerin tetkikine imkan sağlayan TIE (Toxicity Identification Evaluation = Toksisite Belirlenme Değerlendirmesi) testlerinin yapılması da mümkün hale gelecektir.



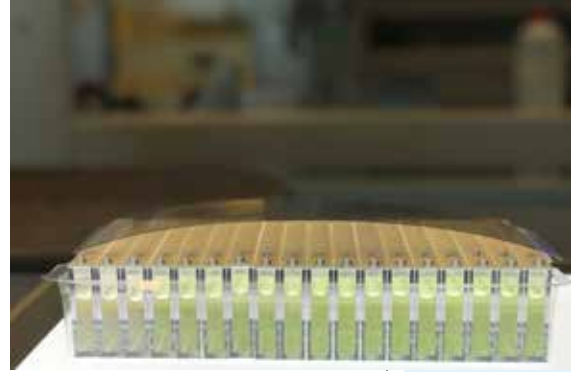
İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Ekotoksisite Laboratuvarı hizmete açılmıştır. İSKİ mevcutta Ekotoksisite Laboratuvarında İstanbul ili atıksularında biyolojik izleme çalışmalarını sürdürmektedir.



Faaliyete Giren İSKİ Ekotoksisite Laboratuvarı



Vibrio Fischeri Ölçümleri



Algı Deneyi

Kaynaklar

Niesink R. Vries J., Hollinger M.; Toxicology Principles and Applications; CRC Press, Boca Raton, 1996.

Hoffman D., Rattner B., Burton G., Cairns J.; Handbook of Ecotoxicology; Lewis Publisher, Boca Raton, 2003.

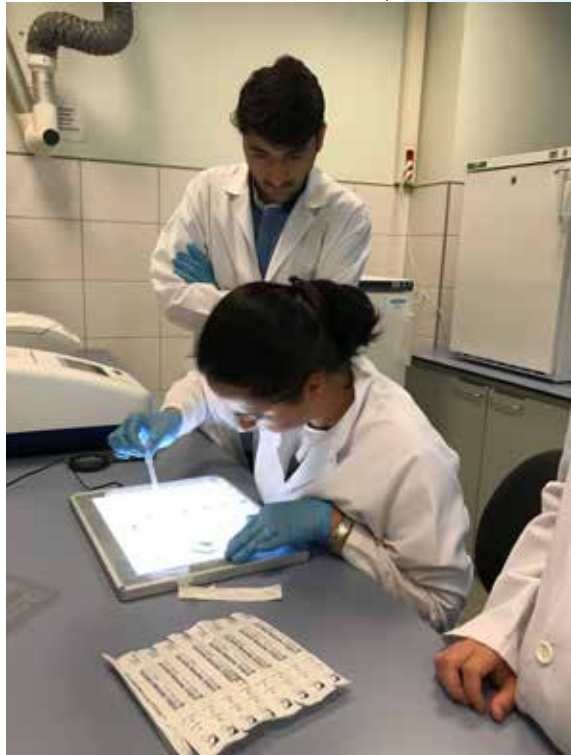
Quevauviller P., Thomas O., Beken A.; Wastewater Quality Monitoring and Treatment; John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2006.

Meriç S.; Çevre Toksikolojisi Notları; Namık Kemal Üniversitesi Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ, 2017.

Rediske R.; Introduction to Toxicology; Grand Valley State University, Annis Water Resources Institute Muskegon, 2017.

Walker C., Hopkin S., Sibly R., Peakall D.; Principles of Ecotoxicology; Taylor & Francis, New York, 2001.

Kizek O.; Gri Sulrda Bulunan Kişisel Bakım Ürünlerinin Karakterizasyonu ve Ozonla Giderilmesi; Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ, 2014.

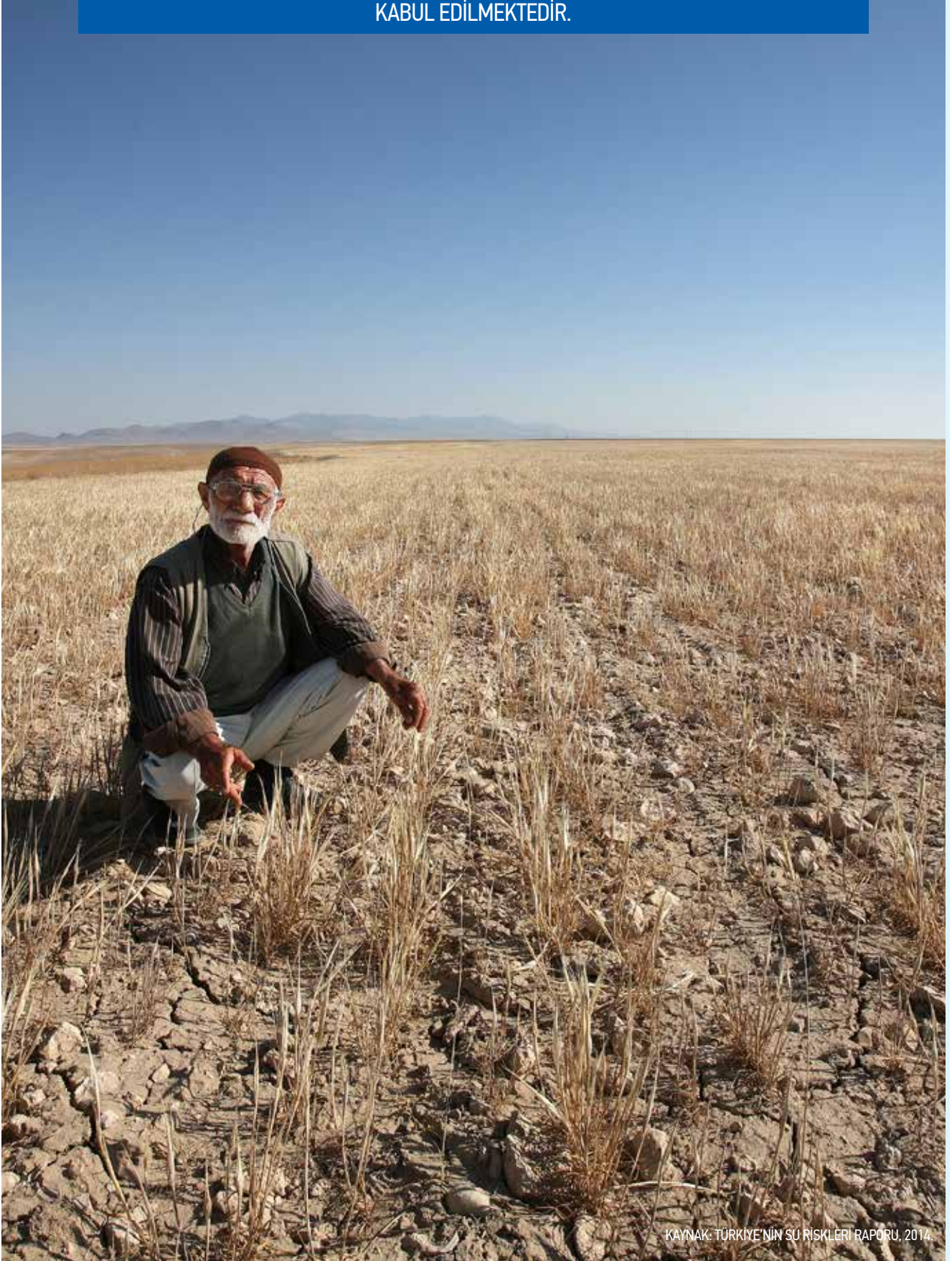


Su Piresi Deneyi

Teşekkür

Ekotoksosite laboratuvarının kurulması, deneylerin yapılması ve değerlendirilmesi hususunda her kademede en başından bu yana Namık Kemal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Süreyya Meriç İSKİ Laboratuvarlarına teknik destek vermiştir ve halen vermektedir. Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü'nden Prof. Dr. Melek Türker Saçan İSKİ görevlisine ekotoksosite laboratuvarı kurulumuna dair bilgilendirme yapmışlardır. TÜBİTAK-MAM Çevre Enstitüsü'nden Baş Uzman Teknisyen Mehtap Okan ve Uzman İbrahim Tan bir günlük Vibrio fischeri deney eğitimi vermişlerdir. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği'nden Doç. Dr. Tuğba Ölmez Hancı İSKİ Laboratuvar personeline kendi laboratuvarlarında üç hafta boyunca atıksularda su piresi ve alg ile toksisite deneylerinin yapılmasını; Kocaeli Üniversitesi Ali Rıza Veziroğlu Meslek Yüksek Okulu Çevre Koruma Biriminden Yard. Doç. Dr. Erhan Gengeç ise kendi laboratuvarlarında İSKİ Laboratuvar personeline bir hafta süren, atıksularda Vibrio fischeri ile toksiste testi eğitimlerini vermişlerdir. İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi'nden Prof. Dr. Oya Okay ve Araştırma Görevlisi Atilla Yılmaz toksisite veri değerlendirmeleri hususunda İSKİ görevlilerine bir günlük bilgilendirme yapmışlardır. İSKİ, Ekotoksosite çalışmalarını yürüten Merkez Laboratuvarı Şefi Elif Başoğlu, İsmail Yıldırım, Gökçe Atak, Özkan Civelek, Muhammed Ali Gündüz, Tuncay Çetin, Alaattin Fidan, toksisite çalışmasına yardımcı olan tüm Kurum personeli ve akademisyenlerimize müteşekkirdir.

TÜRKİYE, SANILANIN TERSİNE, SU ZENGİNİ BİR ÜLKE DEĞİLDİR. HÂLEN, KİŞİ BAŞINA DÜŞEN 1.519 M³'LÜK SU MİKTARI İLE “SU SIKINTISI ÇEKEN” BİR ÜLKE KABUL EDİLMEKTEDİR.



KAYNAK: TÜRKİYE'NİN SU RİSKLERİ RAPORU, 2014.

YERLİ VE MİLLİ MEMBRAN ÜRETİMİ: MEM-TEK VE İSKİ ARASINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN AR-GE ÇALIŞMALARI

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU İTÜ, Fen Bilimleri Ens. Müdürü, Çevre Mühendisliği Bölümü
Araş. Gör. Serkan GÜÇLÜ, Araş. Gör. Türker TÜRKEN, Araş. Gör. Recep KAYA
Araş. Gör. Mehmet Emin PAŞAOĞLU, Araş. Gör. Reyhan ŞENGÜR, MEM-TEK

Membran teknolojileri alanında, ülkemizde faaliyet göstermeye başlayan ilk ve tek uygulama ve araştırma merkezi olan Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), faaliyette bulunduğu süre içerisinde ülkemiz açısından membran teknolojileri alanında çok önemli çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar kapsamında alanında lider bir Su ve Kanalizasyon idaresi olan İSKİ ile beraber de pek çok proje ve çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu makale kapsamında, MEM-TEK hakkında bilgi verilecek ve İSKİ ile MEM-TEK ortaklığında gerçekleştirilen projelerden bahsedilecektir.

1. MEM-TEK hakkında

Türkiye’de membran sistemlerin uygulanması yaygın hale gelmeye başlamıştır. Ters osmoz membranları ile desalinasyon prosesi, sanayiden, insani tüketime kadar her geçen gün kullanım alanını genişletmektedir. Sağladığı avantajlardan dolayı membran biyore-aktörler de atıksu arıtma sektöründe

önemli yer bulmaya başlamıştır. Konvansiyonel içme suyu arıtma sistemlerinin yerlerini Ultrafiltrasyon (UF) ve Nanofiltrasyon (NF) sistemleri almaya başlamıştır. Membran prosesleri ayrıca arıtılmış su geri kazanımında da çok önemli bir potansiyel barındırmaktadır.

Türkiye’de membran üretmek, modül ve proses geliştirmek, membran teknolojileri üzerine çalışan araştırmacılara fırsatlar sunmak ve global membran bilimine katkıda bulunmak amacıyla, T.C. Kalkınma Bakanlığı’nın desteğiyle 2010 senesinde Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi (MEM-TEK) projesi başlatılmıştır. MEM-TEK 2014 yılında Uygulama ve Araştırma Merkezi statüsü kazanarak Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi ismini almıştır.

MEM-TEK’in vizyonu:

“Su ve atıksu uygulamalarında membran üretimi, modül imalatı ve proses geliştirilmesi üzerine dünya çapında lider bir araştırma merkezi haline gelmektir.”

Bahsi geçen gelecek vizyonunu gerçekleştirmek için belli misyonlar belirlenip 3 başlık altında toplanmıştır. MEM-TEK'in misyonu şu şekildedir:

- **Araştırma ve Geliştirme:** MEM-TEK mevcut teknolojileri geliştirmek ve yeni teknolojiler üretmek amacıyla araştırmalar yapacaktır.
- **Sanayiye destek:** MEM-TEK sanayinin bütün alanlarına membran teknolojileri üzerine ihtiyaç duydukları teknik bilgi birikimini ve altyapıyı sağlayacaktır.
- **Araştırmacıların ve bilim insanlarının yetiştirilmesi:** En son teknolojiler araştırmacılara sunulacaktır.

1.1 MEM-TEK laboratuvarları

2010 senesinde MEM-TEK'in vizyonuna ve misyonuna uygun, sahip olduğu üstün özellikleri ile MEM-TEK'i dünyadaki sayılı laboratuvarlar arasına sokacak bir laboratuvar kurulması için çalışmalara başlanmıştır. Bu doğrultuda, İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, İTÜ Maslak Kampüsünde bulunan

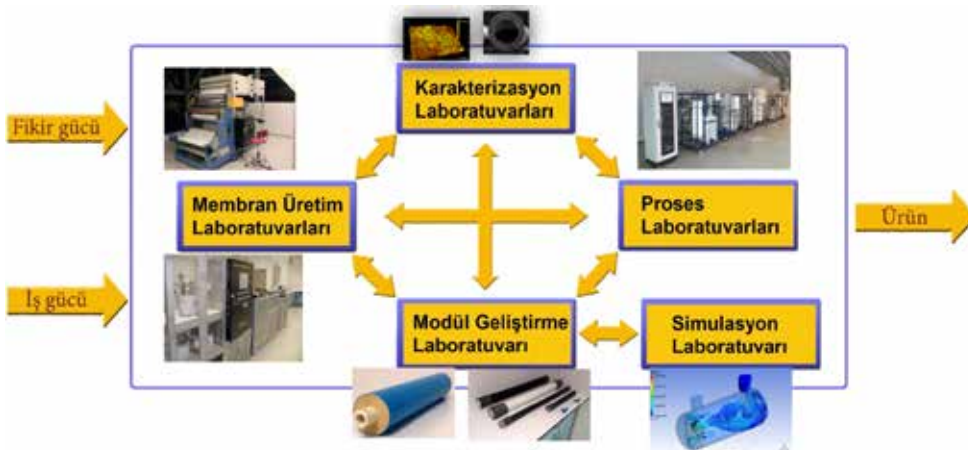
İleri Teknolojiler Merkezi içerisindeki bir alanı, MEM-TEK laboratuvarı kurulması için tahsis etmiştir. MEM-TEK, membran üretiminden, modül haline getirilmesine, karakterizasyonundan proses verimlerinin incelenmesine kadar bütün basamakları bir arada bulundurmaktadır (Şekil 1). Düşünülen bu konsept ile fikirler çok hızlı bir şekilde hayata geçirilebilecektir.

MEM-TEK altyapısının kurulması için T.C. Kalkınma Bakanlığı tarafından 2010-2013 yılları arasında destek sağlanmıştır. Merkez bünyesinde şu ana kadar toplam 16 TÜBİTAK projesi, 2 İSTKA projesi, 2 SAN-TEZ projesi, TEY-DEB ve AB projeleri tamamlanmıştır. Merkez, İTÜ NOVA TTO'nun da desteği ile tescil edilen 2 adet patente sahiptir ve ilave olarak 10 adet patent başvurusu mevcuttur. Şu ana kadar 28 yüksek lisans öğrencisi ve 3 doktora öğrencisi araştırma merkezi bünyesinde tez çalışmalarını yürütüp mezun olmuştur.

MEM-TEK'te yürütülen çalışmalar sonucunda, Türkiye'nin ilk pilot ölçekli hollow fiber ve düz plaka membranları



MEM-TEK'te yürütülen çalışmalar sonucunda, Türkiye'nin ilk pilot ölçekli hollow fiber ve düz plaka membranları üretilmiştir. Yerli üretim ilk MBR modülleri tasarlanıp hayata geçirilmiş (GenMBR Modülleri) ve İSKİ tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye'nin ilk spiral sınımlı modülü üretilip (GenRO) ülkemize kazandırılmıştır. Tamamen yerli üretim membranlar ve modüller ile oluşturulan çapraz akışlı UF sistemi ticarileştirilmiş (GenUF) ve kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Ülkemizde ilk defa membran otopsisi hizmeti verilmeye başlanmıştır.



Şekil 1. MEM-TEK'in membran geliştirilmesine dair bütün basamakları bir çatı altında toplayan konseptin şematik gösterimi

üretimiştir. Yerli üretim ilk MBR modülleri tasarlanıp hayata geçirilmiş (Gen-MBR Modülleri) ve İSKİ tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye'nin ilk spiral sarımlı modülü üretilip (GenRO) ülkemize kazandırılmıştır. Tamamen yerli üretim membranlar ve modüller ile oluşturulan çapraz akışlı UF sistemi ticarileştirilmiş (GenUF) ve kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Ülkemizde ilk defa membran otopsisı hizmeti verilmeye başlanmıştır. Bu hizmet ile yılda ortalama 15 özel kuruluş ve kamu kuruluşuna membran otopsisı hizmeti verilmektedir. Tüm bu çalışmaların yanında ticari olarak bulunan membranların performanslarının da üzerinde membran üretimi için Ar-Ge çalışmaları gerçekleştirilmiş, ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon, ileri osmoz, membran distilasyonu gibi birçok membran çeşidi üzerinde çok ciddi performans geliştirilmeleri elde edilmiştir.

2. Yerli ve milli membran üretimi: MEM-TEK ve İSKİ arasında gerçekleştirilen projeler

Yerli ve milli teknoloji geliştirmek, ancak ve ancak geliştirilen teknolojinin belirli alanlarda uygulanması ve kullanılmasıyla daha da iyi seviyelere getirilebilir. Kullanılmayan bir teknolojiyi geliştirmek, Dünya ölçeğinde ve daha da üstünde bir ürün haline getirmek mümkün değildir.

Bu çerçevede İSKİ, son dönemde yerli ve milli üretime çok önem vermekte, yerli olarak üretilen ürünlerin tüketimine yönelik çok ciddi çalışmalar yapmaktadır. Bu kapsamında, MEM-TEK ve İSKİ arasında da bazı projeler gerçekleştirilmiştir.

ve gerçekleştirilmeye devam etmektedir. Aşağıda, MEM-TEK ve İSKİ arasında gerçekleştirilen projeler hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Su arıtımında pilot ölçekli membran uygulamaları araştırma ve geliştirme projesi

Su Arıtımında Pilot Ölçekli Membran Uygulamaları Araştırma ve Geliştirme Projesi, İstanbul'un nüfusunun artması ve coğrafi olarak hizmet alanının genişlemesi sebebiyle artan su talebini karşılamak ve su kalitesinin sürekliliğini sağlamak için mevcut konvansiyonel arıtmalara ilave veya alternatif olabilecek arıtma sistemlerinin denenmesi gayesiyle, 12.06.2017 tarihinde fiilen başlamıştır ve 17 ay sürecektir. Bu proje kapsamında tamamen yerli olarak üretilmiş ve geliştirilmiş olan güçlendirilmiş ince boşluklu fiber membran içeren çapraz akışlı UF modülleri kullanılmaktadır. Yerli üretim membran ve modül parçaları kullanılan ve GenUF markasıyla ticarileştirilen UF modüllerin proje kapsamında uygulanması projeye ayrı bir önem katmaktadır.

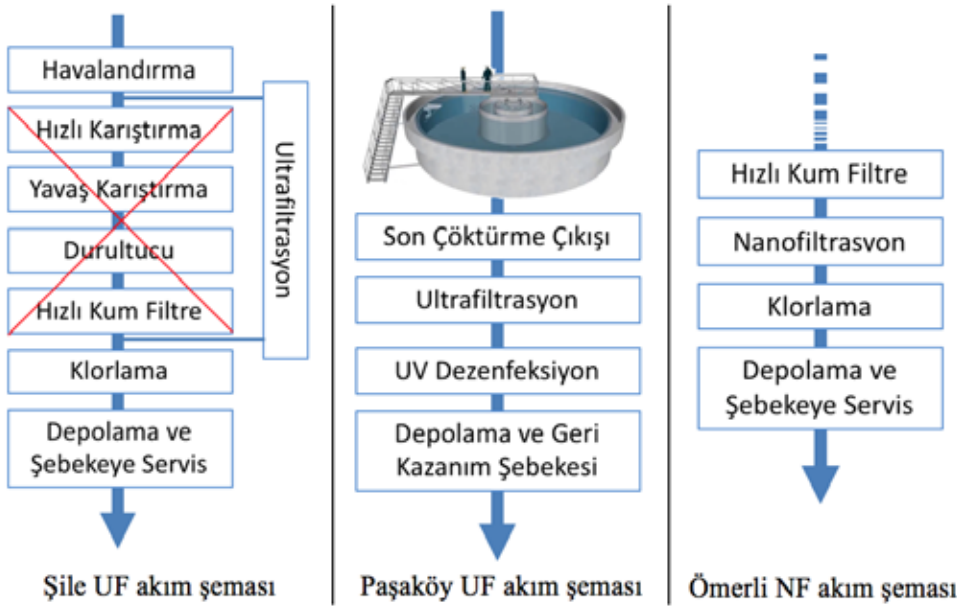
Yürütülen projede İSKİ'nin belirlemiş olduğu noktalarda membran içeren su arıtma sistemleri kurulmuştur. Kurulan tesislerin akım şemaları Şekil 2'de verilmiştir. Bu sistemler şu şekildedir:

- Şile UF Pilot Tesisi: Şile İçmesuyu Arıtma Tesisi'nde uygun görülen bir alana her biri 100 m³/gün kapasiteli hem yerli üretim GenUF hem de ticari çapraz akışlı UF membran sistemleri kurulmuştur (Şekil 3a).
- Ömerli NF Pilot Tesisi: Ömerli'de

bulunan Orhanlı İçmesuyu Arıtma Tesisi'nde günlük kapasitesi 100 m³/gün olan nanofiltrasyon tesisi kurulmuştur (Şekil 3b).

- Paşaköy UF Pilot Tesisi: Alternatif su kaynağı olarak atıksu arıtma tesisi çıkışlarının değerlendirilmesinin araştırılması mak-

sadıyla Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi çıkışına birbiri ile paralel işletilen yerli üretim GenUF membran sistemleri kurulmuştur. Bu sistemlerin her birinin kapasitesi 100 m³/gün'dür (Şekil 3c).



Şekil 2. Projede kullanılan sistemlere ait akım şemaları



a) Şile UF Pilot Tesisi



b) Ömerli NF Pilot Tesisi



c) Paşaköy UF Pilot Tesisi

Şekil 3. Projede kullanılan pilot tesisler

Her üç tesiste de sistemler oldukça başarılı performans sergilemektedir. Örneğin Şile UF arıtma sisteminde giriş bulanıklık değeri 3 NTU değeri civarında değişirken Şekil 4'te verilen GenUF sistemi çıkışının 0,3 NTU civarında olduğu gözlenmiştir. Oldukça iyi bir bulanıklık giderimi mevcuttur. Tesisin işletildiği süre boyunca GenUF membranlarının geçirgenlik değeri 48 lt/m².st.bar olarak ölçülürken henüz bir akı azalması ve tıkanma problemi ile karşılaşılmamıştır.

GenUF membranları Paşaköy UF arıtılmış su geri kazanım sisteminde de başarıyla işletilmekte ve geri kazanım alanındaki potansiyelini ortaya koymaktadır. Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi giriş bulanıklık değeri 4 NTU değeri civarında değişirken GenUF modülü çıkışı ortalama 0,4 NTU civarında ölçülmüştür. Yine tesisin işletildiği süre boyunca GenUF membranlarında henüz bir akı azalması ve tıkanma problemi ile karşılaşılmamıştır. Çıkış sularının SAR açısından sulama kaliteleri incelenmiş ve "çok iyi" sınıfına girdiği ortaya konulmuştur.



Şekil 4. Şile ve Paşaköy'de kullanılan GenUF modüllerinin görüntüleri (solda Şile İçmesuyu Arıtma Tesisi gerçek görünümü bulunmaktadır)

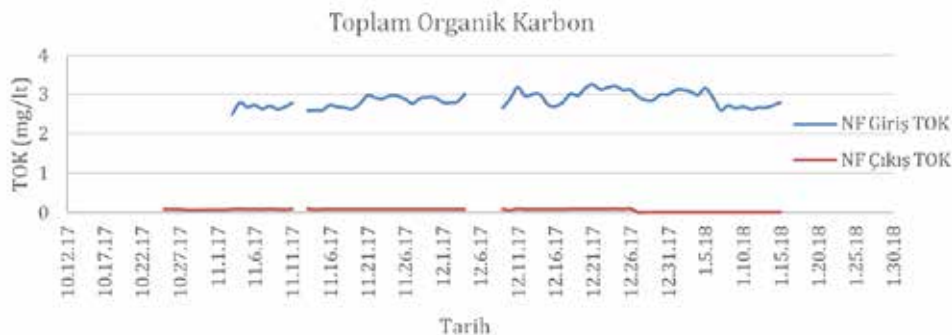
Özellikle Orhanlı (Ömerli) İçmesuyu Arıtma Tesis'i'nin tat ve koku probleminin NF ile pratik bir şekilde çözülebildiği görülmüştür. Giriş ve çıkış numunelerinde yapılan MIB ve Geosmin analizlerine ait sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. 2-Methylizoborneol (MIB) suya koku veren organik bir kimyasaldır. Koku limiti oldukça düşüktür. Ayrıca siyanobakterler geosmin gibi diğer koku yapan maddeleri kullanıp MIB üretebilirler. Bu sebeple tat ve koku problemi için MIB ve geosmin takibi önemlidir. Nanofiltrasyon çıkışında ölçüm limitlerinin de aşağısında MIB ve geosmin değeri ölçülmüştür. Yani çok başarılı bir koku giderimi gözlenmektedir ve su kalitesi koku açısından çok iyi seviyelere çıkarılmaktadır. Ömerli NF sisteminin TOK giderme performansı Şekil 5'te verilmiştir. Tesis girişinde ortalama 2,5 mg/Lt seviyelerinde TOK değeri olduğu görülmektedir. NF çıkışında ise TOK değeri ortalama 0.1 mg/Lt değerinin altına düşmektedir. Düşük TOK değerleri, suyun klorlanması sonucu oluşabilecek dezenfeksiyon yan ürünlerini engelleyip önemli bir avantaj sağlamaktadır.

2.2. Ağva İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis MBR Kurulumu (Türkiye'nin ilk yerli ve milli MBR modülü uygulaması: GEN MBR)

Ağva Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis'i'nin dizayn kapasitesi 1600 m³/gün olmasına rağmen artan nüfus ile beraber ortalama 2000 m³/gün atıksu gelmesi sebebiyle tesis kapasitesinde artış yapılmasına karar verilmiştir. Bu kapasite arttırma işlemi için ülkemizde ilk defa yerli membran teknolojisi kentsel ölçekli bir atıksu arıtma tesisinde uygulanmıştır. Burada membran olarak yerli üretim GenMBR modülleri tercih edilmiştir. Böylece arıtma tesis kapasitesi ortalama 4000 m³/gün'e ve maksimumda ise 8000 m³/gün'e çıkartılmıştır. Ayrıca tesis azot ve fosfor giderme kabiliyetine ulaşmıştır. MBR sistemi ile elde edilen kaliteli deşarj suyu park ve bahçe sulama maksadıyla kullanılacaktır. GenMBR modüllerinin havuza indirilmesi ve havuz içerisindeki görüntüleri, Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Tesis, Ocak 2018'de işletilmeye başlanmıştır. Elde edilen ilk performans değerlerinde bulanıklık değeri 1 NTU'nun altındadır.

500 MIB ng/L		501 GEOSMIN ng/L	
NF Giriş	NF Çıkış	NF Giriş	NF Çıkış
2,65 ± 0,97	<0.50	1,01 ± 0,47	<0.20

Tablo 1. Ömerli NF arıtma sisteminin koku giderme performansı



Şekil 4. Ömerli NF arıtma sistemi TOK giderme performansı



Şekil 5. Son çöktürme havuzunun MBR için uygun hale getirilmesi (solda) ve GenMBR modüllerinin havuza indirilmesi (sağda)



Şekil 6. GenMBR modüllerinin havuz içerisindeki görüntüleri

2.3. Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımsal ve İnsani Kullanım Amaçlı Geri Kazanımının Pilot Ölçekli Olarak Araştırılması Projesi (İSTKA/2016/YN-224 Nolu Proje)

Bu proje, İstanbul Kalkınma Ajansı'nın destekleriyle, İTÜ MEM-TEK ve İSKİ iş birliği ile 2017 yılı içerisinde yürütülmüş ve tamamlanmıştır. Projenin amacını, evsel nitelikli atıksuların geri kazanılması için membran filtrelerin kullanılmasıyla düşük maliyetle yüksek kalitede su geri kazanımının sağlanma-

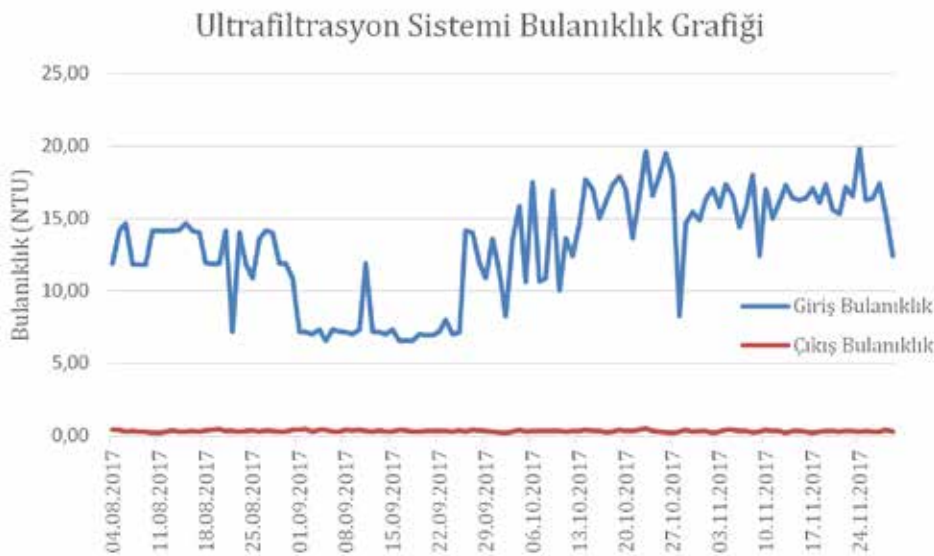
sı, su kaynaklarının az olmasından dolayı alternatif su kaynaklarının geliştirilmesi, su geri kazanımı için uygulanacak arıtma sistemlerinin işletme optimizasyonunun yapılması oluşturmaktadır ve çalışmalar bu amaçlar kapsamında yürütülmüştür.

Ambarlı Atıksu Arıtma Tesisi, toplamda 400.000 m³/gün kapasiteli ileri biyolojik bir atıksu arıtma tesisidir. Atıksu arıtma tesisi çıkış verileri alıcı ortam standartlarına uygun olmasına rağmen rekreasyon alanlarının sulanmasında kullanılması ve yeraltı suyunun beslenmesi için uygun değildir. Bu tür faydalı kullanımlar için çıkış suyu kalitesinde iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Bu sebeple İSKİ Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi son çökeltme havuzu çıkışından sisteme alınan ileri biyolojik olarak arıtılmış su, ultrafiltrasyon ve ters osmoz ile arıtılmıştır. Tesis, 100 m³/gün kapasite için tasarlanmıştır.

Tesise kurulan UF sistemine ait bulanıklık değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Giriş bulanıklık değeri ne kadar değişim gösterse de UF sistemi stabil bir çıkış kalitesi sağlamaktadır. Ters osmoz giriş-çıkış iletkenlik değerleri Şekil 8'de sunulurken, TO sistemi ile elde edilen suyun oldukça yüksek saflıkta olduğu dikkat çekmektedir. Tesiste izlenen di-

ğer su kalitesi parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. UF sistemi beklediği gibi tuzluluk ve iyon giderimi sağlamamıştır. Ters osmoz çıkışının ise içilebilir bir su kalitesinde olduğu söylenebilir. Ters osmoz çıkışından elde edilen sular hem yer altı suyu besleme hem de endüstride kullanım maksatlı değerlendirilebilir. UF sistemi çıkışından elde edilen suyun SAR değeri ortalama 18 çıkmıştır. Bu değer suyun sulama suyu açısından iyi bir kalitede olduğunu göstermektedir. UF sistemi sonrası UV ile dezenfekte edilen su çevre bölgelerde rekreasyon maksatlı kullanım potansiyeli taşımaktadır.

Tesiste kimyasallar başta olmak üzere sarf ve elektrik giderleri kayıt altına alınarak birim maliyetleri bulunmuştur. İşletme ve bakım hariç UF ile su geri kazanımı birim maliyeti 0,095 TL/m³ olarak bulunmuştur. TO ile arıtma maliyeti ise 0,32 TL/m³ olarak hesaplanmıştır. UF+RO sisteminin toplam işletme maliyeti, 0,42 TL/m³'dür.



Şekil 7. Ambarlı UF sistemi giriş ve çıkış bulanıklık değerleri



Şekil 8. Ambarlı TO sistemi giriş ve çıkış iletkenlik değerleri

Parametre	Son Çöktürme Çıkış	UF Çıkış	RO Çıkış
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	34 ± 12	17 ± 6	5 ± 3
Askında Katı Madde (mg/L)	26 ± 12	2 ± 1.3	0 ± 0
Toplam Organik Karbon (mg/L)	28 ± 19	25 ± 13	0.4 ± 0.3
Florür (ppm)	0.3 ± 0.1	0.28 ± 0.04	0.07 ± 0.06
Klorür (ppm)	329 ± 103	277 ± 68	37 ± 48
Nitrit (ppm)	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.2
Nitrat (ppm)	16 ± 8	11 ± 4	4.8 ± 4
Sülfat (ppm)	156 ± 44	130 ± 26	1.4 ± 1.6
Fosfat (ppm)	6.48 ± 2	5.8 ± 1	1.6 ± 1.8
Bromür (ppm)	1.9 ± 0.6	2 ± 0.04	0.6 ± 0.8
Sodyum (ppm)	268 ± 84	224 ± 56	25 ± 33
Amonyum (ppm)	3.85 ± 2	3.52 ± 3	0.96 ± 1
Magnezyum (ppm)	14 ± 3	13 ± 4	0.45 ± 0.2
Kalsiyum (ppm)	93 ± 25	76 ± 15	2.4 ± 2
Potasyum (ppm)	26 ± 6	22 ± 5	3 ± 3
Nikel (ppm)	0.1 ± 0.05	0.11 ± 0.05	0.04 ± 0.02
Bakır (ppm)	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.01
Alüminyum (ppm)	0.2 ± 0.07	0.16 ± 0.06	0.16 ± 0.2
Bor (ppm)	0.26 ± 0.02	0.28 ± 0.02	0.22 ± 0.03
Si (ppm)	6.95 ± 0.25	7.15 ± 0.84	0.26 ± 0.15

Tablo 2. Ambarlı'da su geri kazanımı pilot sisteminde gözlenen su kalite değerleri

Kurşun (ppm)	0.01 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.01
Demir (ppm)	0.07 ± 0.02	0.09 ± 0.04	0.01 ± 0.01
Mangan (ppm)	0.12 ± 0.08	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.01
Fekal Koliform (kob/100 mL)	>241960	11	0
Toplam Koliform (kob/100 mL)	>241960	13	0

3. Sonuç

Türkiye’de membran sistemlerin uygulanması yaygın hale gelmeye başlamıştır. Su geri kazanımı, desalinasyon ve içme suyu arıtımı için birçok uygulama gerçekleştirilmektedir.

Bu arada, İTÜ MEM-TEK kurulmuş ve Ülkemizde, membran üretimi, membranların modül haline getirilmesi, karakterizasyonu ve proses geliştirilmesi gibi birçok alanda çalışmalar yaparak, katma değeri yüksek yerli ürünler üretmekte ve yerli membran üretimine

öncülük etmektedir. Yaklaşık olarak altı yıllık bir zaman dilimi içinde birçok ürün geliştirilmiş ve birçok patent başvurusu yapılmıştır. Yerli ve milli teknoloji geliştirmek, ancak ve ancak geliştirilen teknolojinin belirli alanlarda uygulanması ve kullanılmasıyla daha da iyi seviyelere getirilebilir. Bu maksatla, İSKİ’nin desteği ile birçok Ar-Ge projesi başlatılmış, içmesuyu arıtımı ve arıtılmış su geri kazanımı alanlarında çok değerli çalışmalar gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilmeye devam edilmektedir.

Teşekkür

Ar-Ge projelerindeki destekleri için İSKİ Genel Müdürlüğü’ne teşekkürlerimizi sunarız.



Yerli ve milli teknoloji geliştirmek, ancak ve ancak geliştirilen teknolojinin belirli alanlarda uygulanması ve kullanılmasıyla daha da iyi seviyelere getirilebilir. Bu maksatla, İSKİ’nin desteği ile birçok Ar-Ge projesi başlatılmış, içmesuyu arıtımı ve arıtılmış su geri kazanımı alanlarında çok değerli çalışmalar gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilmeye devam edilmektedir.

İÇMESUYU KAYNAKLARINDA SİYANOBAKTERİLER VE ARITIMI

Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKÇI
YTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü

Siyanobakteriler

Siyanobakteriler, mavi-yeşil algler olarak da bilinmektedir ve enerjilerini fotosentez yolu ile sağlamaktadır. Sitoplazmalarında hem klorofil (yeşil renk) hem de fikosiyanın (mavi renk) pigmentleri bulunur ve bu sebeple mavi yeşil algler olarak da adlandırılmaktadır. Yapılarındaki pigmentler sayesinde atmosferdeki karbondioksiti ve suyu ışığın etkisi ile karbonhidratlara çevirmektedir. Çevrim sonucunda su ortamındaki besin değeri ve çözünmüş oksijen değeri artmaktadır (Sever-Kaya, 2014). Dünyanın yıllık oksijen ihtiyacının %50'ye varan kısmını siyanobakterilerin karşıladığına dair öngörüler de söz konusudur (Herrero ve Flores, 2008). Atmosferdeki azotun canlılar tarafından kullanılabilir forma getirilmesini sağlayan azot fiksasyonu, solunum ve fotosentez gibi birbirinden farklı işlemleri tek bir hücre içerisinde yapabilmektedir (URL-1). *Anabaena* ve *Nostoc* siyanobakteri türleri toprağı azot yönünden zenginleştirmek için yeşil gübre olarak kullanılmaktadır (Sever-Kaya, 2014).

Siyanobakteriler bilinen en eski prokar-

yot yani tek hücreli canlılardır (URL-1). Donmuş su kütlelerinden sıcak su kütlelerine kadar geniş bir su ortamında yayılım gösteren organizmalardır. Antartika'daki geçici donan su kütlelerinde de siyanobakterilere rastlanmaktadır (Kahraman ve Küplü, 2012; Sever-Kaya, 2014). Avustralya Apex Chert bölgesindeki kaya katmanlarında yapılan araştırmalarda yaşları 3,9 milyar yıla kadar ulaşan siyanobakteri fosilleri bulunmuştur (URL-1).

Siyanobakteriler tek hücreli veya çok hücreli koloniler oluşturabildikleri gibi filamentli (ipliksi) şekillerde olabilmektedir (Kahraman ve Küplü, 2012). Siyanobakteri hücrelerinin çapları genellikle 2-40 µm arasındadır. Bu çaplar siyanobakterilerin konvansiyonel prosesler ile sudan uzaklaştırılabileceğini göstermektedir. Vejetatif (mitoz) bölünmeyle veya çeşitli tipte sporlarla (kokospor, hormogon) üremektedirler (Kahraman ve Küplü, 2012; Sever-Kaya, 2014).

Siyanotoksinler

Siyanobakteri hücrelerinde toksinler bulunabilmektedir. Hücre içerisinde bu-

Siyanobakteri hücrelerinde toksinler bulunabilmektedir. Hücre içerisinde bulunan toksinlerin su ortamı için doğrudan bir olumsuz etkisi söz konusu değildir. Hücre içerisinde bulunan toksinlerin hücreden sızması ve su ortamına karışması ile toksik etki görülmeye başlanmaktadır.

lunan toksinlerin su ortamı için doğrudan bir olumsuz etkisi söz konusu değildir. Hücre içerisinde bulunan toksinlerin hücreden sızması ve su ortamına karışması ile toksik etki görülmeye başlanmaktadır. Siyanobakterilerin toksin üretimini etkileyen en önemli faktörler çevresel etkenlerdir. Isı, ışık, besin tuzu ve eser elementler gibi etmenler toksin üretimine doğrudan etki etmektedir (Sever-Kaya, 2014).

Karasal kıyı sularında bulunan 46 siyanobakteri türünün hücrelerinde toksik madde bulunabildiği bilinmektedir.

Microcystis spp., *Nodulariaspp.*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Oscillatoria (=Planktothrix) agardhii*, *Anabaena spp.*, *Gleotrichia spp.*, *Lyngbya spp.*, *Aphanizomenon spp.*, *Nostoc spp.* Ve benzeriler tatlı sularda siyanotoksin üretebilen siyanobakteri türleridir. Tatlı sularda en fazla rastlanan anatoksin, microcystin, nodularin, saxitoksin ve cylindrospermopsin'dir. Tatlı sularda bulunabilen siyanotoksin türlerine ait özellikler Tablo 1'de ve bu toksin türlerinin sağlık etkileri de Tablo 2'de görülmektedir (URL-2).

Toksin	Siyanobakteri Türleri	Moleküler ağırlığı, dalton	Su tutma eğilimi	Net yükü
Anatoksin	<i>Anabaena</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Aphanizomenon</i>	165 – 179	Hidrofilik	+1
Microcystin	<i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Anabaenopsis</i> , <i>Planktothrix</i>	900-1100	Hidrofobik	0 – (-2)
Nodularin	<i>Nodularia</i>	824	Hidrofobik	
Saxitoksin	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Planktothrix</i>	299	Hidrofilik	0 – (+2)
Cylindrospermopsin	<i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Umezakia</i> , <i>Raphidiopsis</i>	415	Hidrofilik	0

Tablo 1. Siyanotoksinlerin genel özellikleri

Sınıflar	Toksin	Toksisite (LD ₅₀)	Akut etkiler	Kronik etkiler
Hepatotoksinler	Mikrosistinler	25 – > 1,000 µg/kg	Akut mide ve bağırsak iltihabı, nefes darlığı, intrahepatik kanama hemorajik şok, kalp yetmezliği, ölüm	Kronik karaciğer hasarı, tümör destekleyici
	Cylindrospermopsinler	200 – 2,100 µg/kg	Akut karaciğer iltihabı, böbrek, akciğer, kalp, dalak, timus ve böbrek üstü bezi hasarı, ölüm	Potansiyel kanserojen, mutajen
	Nodularinler	50 µg/kg	Akut gastroenterit, nefes darlığı, intrahepatik kanama hemorajik şok, kalp yetmezliği, ölüm	Tümör destekleyici
Dermatotoksinler	Lyngbyatoksinler	300 µg/kg	Şiddetli deri iltihabı, mide ve bağırsak iltihabı	Tümör destekleyici
	Aplysiatoksinler	300 µg/kg	Şiddetli deri iltihabı, mide ve bağırsak iltihabı	Tümör destekleyici
	Lipopolysakkaridler	-	Deri iltihabı, mide ve bağırsak iltihabı	-
Neurotoksinler	Anatoksinler	20 – 250 µg/kg	Hastalık nöbeti, felç, solunum yetmezliği, ölüm	-
	Saksitoksinler	10 µg/kg	El ve ayaklarda karıncalanma veya uyuşma, felç, solunum yetmezliği, ölüm	-
	b-N-methylamino-L-alanine (BMAA)	-	-	Nörodejeneratif hastalık

Tablo 2. Siyanobakteri toksinleri, toksisite ve maruz kalmanın yaygın etkileri

Tablo 1’de görüldüğü üzere toksinlerin moleküler ağırlıkları oldukça küçüktür. Konvansiyonel arıtma proseslerinin > 5 µm çaplı kirleticilerin gideriminde etkili olduğu dikkate alınırsa siyanotoksinlerin giderilmesi için ilave proses veya proseslere ihtiyaç olduğu aşikardır.

Tablo 2’de siyanotoksinlerin ölümcül etki yapabildikleri görülmektedir. Ayrıca, canlıların çok sayıda organına da hasar verebilmektedir. Bu etkiler suda yaşayan bazı canlılarda görülmektedir. Bazen toplu balık veya kuş ölümlerine de siyanotoksinler sebep olabilmekte-

dir. Sağlık etkilerinin en aza indirgenmesi için Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) tarafından Microcystin-LR türü için içme sularında 1 µg/L standart değer belirlenmiştir.

Siyanobakteri/ Siyanotoksinler Arıtımı

Siyanobakteriler büyük ebatlı olmaları sebebiyle konvansiyonel arıtma üniteleri ile giderilebilirken siyanotoksinlerin giderilmesi için konvansiyonel arıtma ünitelerine ileri arıtma üniteleri ilave edilmelidir. Hücre içerisinde toksinin muhafaza edilmesi ve konvansiyonel arıtma prosesleri ile sudan siyanobakterinin uzaklaştırılması sağlanabilir. Böylece, hücre içerisindeki toksinlerde su ortamına karışmadan uzaklaştırılan siyanobakteriler ile birlikte su ortamını terk edebilir. Klor ve türevleri siyanobakteri hücrelerine temas ettiğinde hücre içindeki toksinler suya sızmaya başlayabilir. Ayrıca, yüksek su basınçlarında da hücreler parçalanarak toksinler salınabilmektedir. Bu sebeple, klor ve türevlerinin siyanobakteri hücrelerinde toksin bulunma ihtimaline karşı hamsuda kullanılmaması önerilmektedir. Konvansiyonel tesislerde siyanobakteriler sudan uzaklaştırıldıktan sonra klor ve türevleri kullanılabilir. Siyanobakteri olması halinde pH>6,3 olması önerilmektedir. Siyanotoksinler düşük pH değerlerinde hücrelerden salınabilmektedir. Çamur yataklı durultucularda siyanobakteri giderimi diğer durultuculara göre daha fazla olabilmektedir. Konvansiyonel proseslerde genellikle siyanotoksinler giderilememesine rağmen çamur yataklı durultucular bazen giderime katkı sağlayabilir. Siyanobakterilerin çöktürme tankı çıkışında filtrelerle ulaşması söz konusu olabilir. Genellikle filtrelerle

verilen suda <100 hücre/mL siyanobakteri hücresi olması önerilmektedir. Hücre sayısının fazla olması filtrenin kısa sürede tıkanmasına yol açmaktadır. Siyanobakterilerin veya toksinlerin filtrelerde giderme veriminin artırılabilmesi için iki veya daha fazla tabakalı filtrelerin kullanılması uygun bir çözüm olabilmektedir.

Hamsuda hem siyanobakteri ve hem de siyanotoksin bulunması halinde toz aktif karbon uygulaması ile toksinlerin adsorpsiyonu sağlanabilir. Siyanotoksin türlerinin adsorpsiyonu için genellikle odun bazlı toz aktif karbon kullanılması ve en az 1 saat temas süresinin sağlanması önerilmektedir. Böylece, hamsu arıtma tesisine ulaşana kadar siyanotoksinlerin adsorpsiyonu sağlanır ve proseslerde toz aktif karbonun giderilmesi ile toksinlerde uzaklaştırılır. Toz aktif karbon uygulaması su alma yapısında yapılabileceği gibi hızlı karıştırma gibi arıtma proseslerinde de uygulanabilir. Proseslerde toz aktif karbon uygulamasında aktif karbonun su içerisinde karışımının sağlanmasına dikkat edilmelidir. Toz aktif karbon kullanılan sularda klor ve türevlerinin bulunmaması gerekmektedir. Çünkü klor toz aktif karbona adsorplanmakta ve toz aktif karbonun adsorplama kapasitesini en aza indirgeyebilmektedir.

İçmesuyu arıtma tesisine siyanobakterilerin ulaşması halinde çöktürme tankı çamur susuzlaştırma suları ile filtre geri yıkama sularının tesiste tekrar kullanılması istenmemektedir. Çünkü çamur veya filtre geri yıkama suyu içerisinde bulunan siyanobakterilerden yüksek miktarda toksin suya salınabilir. Bu suların tesis başına yeniden gönderilmesi



Siyanobakteriler büyük ebatlı olmaları sebebiyle konvansiyonel arıtma üniteleri ile giderilebilirken siyanotoksinlerin giderilmesi için konvansiyonel arıtma ünitelerine ileri arıtma üniteleri ilave edilmelidir.

	Arıtma Prosesleri	Giderme Etkisi					
		Siyanobakteri hücresi	Microcystin	Nodularin	Anatoxin-a	Cylindrosper-mopsin	Saxitoxin
Fiziksel/biyolojik prosesler	Koagülasyon/çöktürme	X	NSI	NSI	NSI	NSI	NSI
	Yüzdürme	X	NSI	NSI	NSI	NSI	NSI
	Filtrasyon						
	Hızlı kum filtrasyonu	X	NSI	NSI	NSI	NSI	NSI
	Biyolojik aktif kum filtrasyon	X	X	P12		P12	
	Yavaş kum filtrasyonu	X	X				
	Ultrafiltrasyon	X					
	Nanofiltrasyon	X	X		X		
	Ters osmoz	X	X	X			
	Adsorpsiyon						
	Toz aktif karbon	NSI	X		P	X	X
	Daneli aktif karbon	X	X				P
	Biyolojik aktif karbon	X	X				NR
	Oksidasyon						
Kimyasal oksidasyon	Ozon	NR	X	P	X	X	NR
	Klor dioksit	NR	NR		NR	NR	
	Permanganat	NR	X	P	X	NR	
	Klor	NR	X	X		X	X
	Kloramin	NR	NR		NR	NR	
	İleri oksidasyon						
	Ozon+ hidrojen peroksit	NR	X		X		NR
	UV + hidrojen peroksit	NR	X				
	Titanyum fotokataliz	NR	X	P		P	
	Fenton reaksiyonu	NR	X		X		

X: Etkili; P: Olabilir; NSI: Önemli bir etkisi yoktur; NR: Önerilmemektedir.

Tablo 3. Siyanobakteri ve toksin giderilmesinde arıtma prosesleri

ile yüksek toksik madde konsantrasyonunun hamsuya ilave edilmesine katkı sağlayabilir. Tesiste yeniden kullanılması önerilmeyen bu sular detaylı bir dezenfeksiyon işlemi sonrasında deşarj edilebilir.

Hamsuda sadece siyanotoksin olması halinde ise klor ve türevleri de kullanılarak toksinlerin oksidasyonu sağlanabilir. Ozon, hidroksil radikali ve peranganat gibi oksidantlarda oksidasyon işlemi sağlanabilir. Ozon çok kısa süre içerisinde siyanotoksinleri oksitleyebilmektedir.

İçmesuyu arıtma tesisi çıkış sularında siyanotoksinlerin görülmesi durumunda kum filtresi sonrasında odun bazlı granüler aktif karbon filtreleri kullanılabilir. Bulanıklığı <1 NTU olan su ile granüler aktif karbon filtresinin beslenmesi prosesin etkili kullanma süresini artırmaktadır. Aksi halde bulanıklığı oluşturan maddeler tarafından aktif karbonun bloke edilmesi ve faydalı kullanımının olumsuz etkilenmesi söz konusu olabilir. Granüler aktif karbon filtresi öncesinde ozon kullanılarak hem siyanotoksinlerin ve hem de suda bulunan organik maddelerin sudan uzaklaştırılması sağlanabilir. Gelişmiş ülkelerde bu arıtma proseslerinin birlikte kullanımının yaygın olduğu görülmektedir.

Siyanobakterileri sudan uzaklaştırmak için kartuş filtreler, mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranları kullanılabilir. Bu membranların tıkanmasına sebep olabilecek partiküler ve kaba maddelerin konvansiyonel arıtma prosesi veya prosesleri ile sudan uzaklaştırılması gerekmektedir. Siyanotoksinlerin giderilmesi için ise nanofiltrasyon veya ters osmoz membranları kullanılabilir. Bu membranlar öncesinde konvansiyonel arıtma prosesleri ve/veya kartuş filtreler ile mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon membranları ön arıtma amacıyla kullanılmalıdır. Suda bulunan koloidal ve partiküler maddelerin giderilmesi ile membranların faydalı kullanım süreleri artırılabilir. Siyanobakteriler ve siyanotoksinlerin arıtımı için proses kullanımları Tablo 3'de özetlenmiştir (URL-2).

Kaynaklar

Herrero A., Flores E. (2008). The Cyanobacteria: Molecular Biology, Genomics and Evolution. Caister Academic Press ISBN: 978-1-904455-15-8.

Kahraman S.D. ve Küplü Ö. (2012). Siyanobakteriler ve toksinleri. Veteriner Hekimler Derneği Dergisi 83(2): 36-47.

Sever-Kaya D. (2014). Siyanobakterilerde Çevresel Faktörlerin Toksin Üretiminde Rol Oynayan Genler Üzerine Etkileri. Doktora Tezi Su Ürünleri Temel Bilimleri Anabilim Dalı İçsular Biyolojisi Programı, İstanbul.

URL-1: <http://yaratilisatlası.com/tr/Makaleler/115863/-dunyanin-en-kompleks-bakteri> (Erişim: 03.12.2017)

URL-2: http://www.suyonetimi.gov.tr/Libraries/su/%C4%B0%C3%A7me_suyu_ar%C4%B1tma_tesis_i.sflb.ashx (Erişim: 03.12.2017)

AZOTLU DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİ

Doç. Dr. Ş. Şule KAPLAN BEKAROĞLU, Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ
Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü



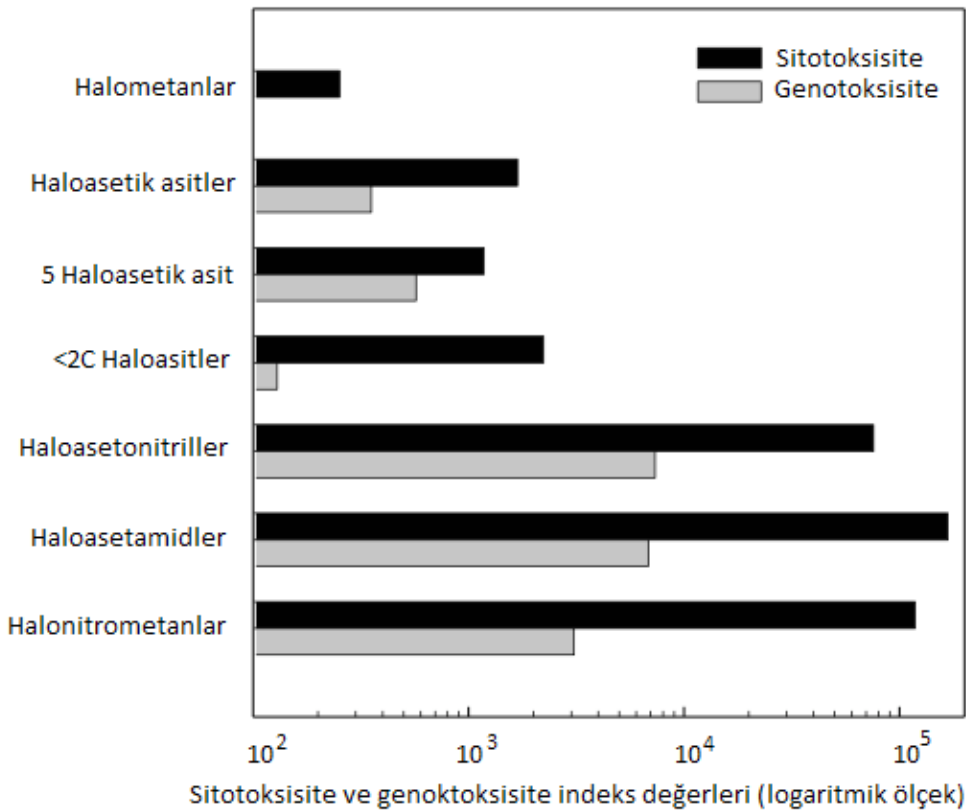
*Mutajenik ve
karsinojenik
olmalarından
şüphelenilen
DYÜ'lerin halk sağlığı
üzerindeki etkilerini
en aza indirmek
için birçok ülkede
DYÜ'ler içme suyu
mevzuatlarında yer
almaktadır.*

Dezenfeksiyon sürecinde suda bulunan doğal organik maddeler (DOM) ve inorganik maddeler (Br^- , I^- , NO_2^- gibi) ile klor gibi dezenfektanlar reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünlerini (DYÜ) oluşturmaktadır (Hua ve Reckhow, 2007). Klorlanmış içme sularında tespit edilen ilk halojenli yan ürünler trihalometanlardır (THM) (Rook, 1974). Mutajenik ve karsinojenik olmalarından şüphelenilen DYÜ'lerin halk sağlığı üzerindeki etkilerini en aza indirmek için birçok ülkede DYÜ'ler içme suyu mevzuatlarında yer almaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Örgütü (USEPA) Dezenfektan/DYÜ 2. Aşama Yönetmeliği'ne göre, toplam 11 tane DYÜ mevzuatlarda yer almaktadır: THM (4 türün toplamı): 80 µg/L, toplam 5 adet haloasetik asit (HAA_5): 60 µg/L, bromat: 10 µg/L, klorit iyonu: 1000 µg/L. Ülkemizde, Sağlık Bakanlığı tarafından 2005 yılında yayınlanan 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te, DYÜ'lerden sadece THM'ler yer almış ve toplam THM konsantrasyonu 100 µg/L ile sınırlandırılmıştır (Sağlık Bakanlığı, 2005).

Literatürde, farklı dezenfektanlar ve bunların kombinasyonlarının kullanılması sonucunda yaklaşık olarak 700 DYÜ türü olduğu tespit edilmiştir. Klorlanmış sularda bulunan diğer halojenlenmiş yan ürünler arasında; haloasetonitriller (HAN), halonitrometanlar (HNM), nitrosaminler, haloasetamidler (HAcAm), iyotlu THM ve HAA (I-THM ve I-HAA), haloketonlar (HK), kloral hidrat (CHY), siyanojen klorür (CNCl), siyanojen bromür (CNBr) ve klorofenoller sayılabilir (Krasner vd, 2009). Bugüne kadar yapılan DYÜ çalışmalarının çoğu, yönetmeliklerde yer alan karbonlu DYÜ (K-DYÜ) grupları olan THM ve HAA'lere yöneliktir. Ancak son zamanlarda, yüksek sitotoksik ve genotoksik özelliğe sahip olan azotlu DYÜ (A-DYÜ) konusunda literatürde araştırmalara hız verilmiştir (Bond vd., 2011). A-DYÜ gruplarından HNM, THM ve HAA'den çok daha düşük konsantrasyonlarda oluşmasına rağmen, yapılan toksikolojik çalışmalar HNM'lerin DYÜ'ler arasında en çok sitotoksik ve genotoksik gruptan biri olduğunu göstermektedir (Şekil 1). Maddelerin (örneğin DYÜ) enzimlerle etkileşime girerek mutasyona neden

olup, DNA'da hasar meydana getirmesi veya bazı değişimlere yol açması genotoksik etki olarak tanımlanmaktadır. Sitotoksik terimi ise hücre hasarına neden olan anlamına gelmektedir. A-DYÜ'ler yapılarında bulunan fonksiyonel gruplarda azot içeren DYÜ'ler olarak tanımlanır. HAN, HNM, HAcAm ve Nitrosaminler önemli A-DYÜ grupları olarak dikkat çekmektedirler. Yapılan izleme çalışmaları, arıtılmış içme suları ve atıksularda sıklıkla rastlanılan ve yönetmeliklere alınma ihtimalleri olan A-DYÜ'lerin, içme suyu arıtma tesisleri için önemli bir sorun teşkil edebileceğini göstermektedir. Literatürde, A-DYÜ konusundaki çalışmalar artarak devam etmektedir.

A-DYÜ'ler konusunda çalışmalarda artışın sebeplerinden birincisi, yapılan toksikoloji çalışmalarına göre A-DYÜ'lerin çok düşük konsantrasyonlarda oluşmalarına rağmen, THM ve HAA türlerinden çok daha fazla sitotoksik ve genotoksik özelliğe sahip olmalarıdır (Plewa ve Wagner, 2009). Ayrıca, Nitrosaminler çok düşük konsantrasyon seviyelerinde (ng/L) yüksek kanserojen etki ve toksik etkiler gösteren kimyasal bileşiklerdir (Richardson ve Postigo, 2015). İkinci olarak, mevcut THM ve HAA standartlarına uyum sağlamak için içme suyu arıtma tesislerinde klor yerine alternatif olarak kloramin kullanımında bir artışın olmasıdır (Seidel vd., 2005). A-DYÜ oluşumunda dezenfektan türü



Şekil 1. DYÜ gruplarının sitotoksosite ve genotoksosite indeks değerleri (Plewa vd., 2008).



Literatürde, farklı dezenfektanlar ve bunların kombinasyonlarının kullanılması sonucunda yaklaşık olarak 700 DYÜ türü oluştuğu tespit edilmiştir.

oldukça önemli bir faktördür. Kloramin kullanıldığı durumda kloramin azot kaynağı olup A-DYÜ'lerin oluşumuna sebep olmaktadır. Son olarak, tarımsal faaliyetler, evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları, alg faaliyetlerinin artması gibi nedenlerle içme suyu kaynaklarındaki çözünmüş organik azot (ÇOA) konsantrasyonları artmaktadır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, THM ve HAA oluşumu ve türleşmesi, DOM'un konsantrasyonu ve karakteristiği ile ilişkilendirilmekte iken, A-DYÜ'lerin konsantrasyonları ve kompozisyonları ise su kaynağında bulunan ÇOA ile ilişkilendirilmektedir (Lee vd., 2007). Bu sebeple doğal sularda çok düşük miktarlarda bulunmasına rağmen, ÇOA içme suyu temininde ve arıtımında giderek daha çok önem kazanan bir parametredir. ÇOA, DOM'ların ağırlıkça yaklaşık %1-5'ine eşdeğerdir. Yüzey sularında tipik olarak 0,1 ile 10 mg N/L aralığında ve ortalama 0,3 mg N/L konsantrasyonunda ÇOA bulunmaktadır (Lee vd., 2006). Ayrıca yapılan başka bir çalışmada, toplam 28 içme suyu arıtma tesisinde ortalama ÇOA konsantrasyonu ham su ve arıtılmış su için sırasıyla 0,19 ve 0,15 mg N/L olarak tespit edilmiştir. Ham sular için ortalama ÇOK (çözünmüş organik karbon)/ÇOA oranı 18 mg C/mg N olarak rapor edilmiştir (Westerhoff vd., 2006). Suda bulunan ÇOK/ÇOA oranı, A-DYÜ oluşum potansiyelini kabaca tahmin etmek amacıyla kullanılabileceği gibi, amino şeker/aromatik oranı ile de A-DYÜ oluşum potansiyeli arasında pozitif bir korelasyon mevcuttur (Lee vd., 2007; Hua vd., 2010).

Önemli A-DYÜ türleri ve yapısal formülleri Tablo 1'de verilmiştir (Bond vd.,

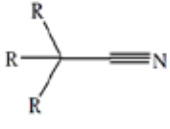
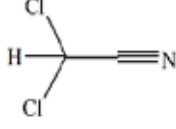
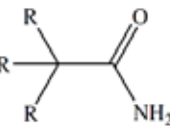
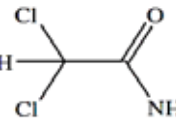
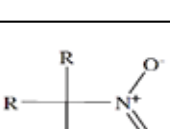
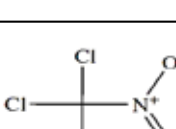
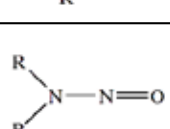
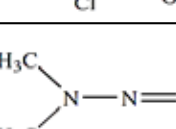
2011). A-DYÜ arasında bulunan HNM'lerin memeli hücre genotoksitesi halo-furanları geçmektedir. İlk tespit edilen HNM türü kloropikrin olarak adlandırılan trikloronitrometan'dır (TCNM) ve ilk defa 1980'lerde içme suyunda bulunduğu rapor edilmiştir. Daha sonraki yıllarda, mono- ve di- klorlu ve/veya bromlu HNM'ler ozon-klor, klor ve kloramin ile dezenfekte edilen sularda tespit edilmiştir (Plewa vd., 2004). HNM'ler brom ve klor bağlı 9 türden oluşmaktadır: kloro- (CNM), dikloro- (DCNM), trikloro- (TCNM), bromo- (BNM), dibromo- (DBNM), tribromo- (TBNM), bromokloro- (BCNM), bromodikloro- (BDCNM), dibromokloro-nitrometan (DBCNM). Kullanılan dezenfektan/oksidan türü A-DYÜ'lerin oluşumu ve türleşmesini etkilemektedir. Ozonlamayı müteakip klorlama prosesinin uygulanmasının HNM oluşumunu önemli miktarda artırdığı, ancak kloramin veya ozonlamayı müteakip kloramin uygulanması sonucunda HNM oluşumunun en az olduğu tespit edilmiştir. Aynı arıtma tesisinde, konvansiyonel arıtma sonrası arıtılmış çıkış sularında HNM oluşumları (HNM konsantrasyonu/ÇOK bazında) ham sulardaki oluşumlara göre benzer veya daha yüksek bulunmuştur. Konvansiyonel arıtma ile etkili olarak giderilemeyen hidrofilik DOM'ların HNM öncülleri olabileceği belirtilmiştir (Hu vd., 2010). Amerika Birleşik Devletleri'nde 2000-2002 yılları arasında içme suyu arıtma tesisleri çıkış sularında yapılan izleme çalışmasında toplam HNM seviyesi maksimum 10 µg/L olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada maksimum kloropikrin 2 µg/L iken, 2006-2007 yıllarında yapılan izleme çalışmasında ise maksimum kloropikrin 7,6 µg/L olarak tespit edilmiştir (Bond vd., 2011).

Bir diğer A-DYÜ grubu olan HAN'lar, en kanserojen 50 DYÜ'nün %10'unu oluşturmaktadır (Joo ve Mitch., 2007). HAN türlerinin genotoksisiteleri DBAN> BCAN> TCAN> DCAN> CAN olarak sıralanmaktadır. İyotlu ve bromlu HAN'lar, DYÜ'ler arasında en kronik sitotoksik olmakta ve HAN'lar genotoksisitede HNM'leri takip etmektedir (Muellner vd., 2007). Toksik oldukları belirlenen spesifik HAN türleri bromoasetonitril (BAN), kloroasetonitril (CAN), dibromoasetonitril (DBAN), dikloroasetonitril (DCAN), trikloroasetonitril (TCAN) ve bromokloroasetonitril (BCAN)'dir (Muellner vd., 2007). Amerika Birleşik Devletleri genelinde 35 içme suyu arıtma tesisinde ve Kanada genelinde 53 içme suyu arıtma tesisinde CAN, BCAN, DBAN ve TCAN (4 tür HAN) çoğunlukla tespit edilen türlerdir. USEPA Bilgi Toplama Kanunu (ICR) gereğince, 500 büyük ölçekli su arıtma tesislerinden elde edilen verilere göre, klor, kloramin, ozon ve klordioksit ile dezenfeksiyon yapan tesislerin hepsinde HAN oluşumuna rastlanmıştır; en yüksek HAN değerleri kloramin kullanılan tesislerde gözlenmiştir. Avustralya'da yapılan ulusal bir izleme çalışmasında dezenfeksiyon sonrası 36 µg/L gibi oldukça yüksek HAN değerleri rapor edilmiştir ve bu değerler içme suyu kaynaklarındaki mevcut yüksek bromür konsantrasyonu ve organik madde içeriği ile ilişkilendirilmiştir (Bond vd., 2011). Türkiye'de HAN ölçümü konusunda çok sınırlı sayıda çalışma mevcuttur.

Bir nitrosamin türü olan N-nitrosodimetilamin (NDMA), 2002 yılında dezenfeksiyon yan ürünü olarak tanımlanmıştır (Choi ve Valentine, 2002). USEPA tarafından milyonda bir kanser görülmesi-

ne neden olan NDMA konsantrasyonu 10 ng/L olarak rapor edilmiştir. İlk kez Kanada'da bulunan Ontario şehrinde klorlanmış içme sularında gözlenmiştir ve Ontario, Kanada içme suyu mevzuatlarında sınır değeri 9 ng/L olarak belirlenmiştir. NDMA'den başka, N-nitrosometiletilamin (NMEA), N-nitrosodietilamin (NDEA), N-nitroso-di-n-propilamin (NDPA), N-nitroso-di-n-bütilamin (NDBA), N-nitroso-di-fenilamin (NDPhA), N-nitrosopirrolidin (NPYR), N-nitrosopiperidin (NPIP), N-nitrosomorfolin (NMOR) gibi nitrosaminler de DYÜ olarak tanımlanmıştır. Massachusetts eyaleti için içme sularında NDMA için belirlenen limit 10 ng/L'dir. Ayrıca Kanada ve Avustralya'da ulusal içme suyu yönetmeliklerinde NDMA için üst limit değeri sırasıyla 40 ng/L ve 100 ng/L olarak belirlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından içme suyundaki NDMA konsantrasyonunun 100 ng/L değerini geçmemesi önerilmektedir. Kanada'da klorlanmış içme sularında 530 ng/L NDMA gibi yüksek değerler rapor edilmiştir (Richardson ve Postigo, 2015).

K-DYÜ ile karşılaştırıldığında A-DYÜ'ler genel olarak daha düşük konsantrasyonlarda oluşmaktadır. Ancak toksikolojik sonuçlar göz önüne alındığında, halk sağlığı açısından A-DYÜ grupları daha çok önem arz etmektedir, dolayısıyla global anlamda önümüzdeki yıllarda A-DYÜ'ler mevzuatlara eklenebilir. A-DYÜ'lerin yönetmeliklere eklenmesi durumunda, K-DYÜ ve A-DYÜ'lerin oluşum mekanizmaları ve öncül maddeleri farklı olduğu için, halen K-DYÜ'lerin kontrolü için çözüm arayan içme suyu arıtma tesislerinin A-DYÜ mevzuatlarına uyum sorunu yaşayacağı aşikârdır.

Grup/formül	Yapı	Önemli türler	Yapı
Haloasetonitriller (HAN) R_3CCN		Dikloroasetonitril (DCAN) (sağda) Bromokloroasetonitril (BCAN) Dibromoasetonitril (DBAN) Trikloroasetonitril (TCAN) Tribromoasetonitril (TBAN)	
Haloasetamidler (HacAm) $R_3C-CONH_2$		Dikloroasetamid (DCacAm) (sağda) Dibromoasetamid (DBacAm) Trikloroasetamid (TCacAm)	
Siyanojen halojen (CNX) RCN		Siyanojen klorür (CNCl) (sağda) Siyanojen bromür (CNBr)	
Halonitrometanlar (HNM) R_3CNO_2		Trikloronitrometan (sağda) Tribromonitrometan Bromodikloronitrometan Dibromokloronitrometan	
Nitrosaminler R_2NNO		N-nitrosodimetilamin (NDMA) (sağda) N-nitrosopirrolidin (NPYR) N-nitrosomorfolin (NMOR) N-nitrosodietilamin (NDEA)	

R, tipik olarak Cl, Br, I, H ya da bir alkil grubudur, ancak daha büyük bir alifatik ya da aromatik grup da olabilmektedir.

Tablo 1. Önemli A-DYÜ türleri ve yapısal formülleri (Bond vd., 2011).

Ülkemizde bugüne kadar DYÜ konusunda yapılan çalışmalar büyük çoğunlukla K-DYÜ gruplarından THM ve çok sınırlı da olsa HAA ile ilgilidir. Ülkemizde A-DYÜ konusunda yapılan çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. İçme suyu mevzuatlarımızda DYÜ'ler için sadece THM parametresi mevcuttur.

Kaynaklar

- Bond, T., Huang, J., Templeton, M.R., Graham, N. (2011). Occurrence and control of nitrogenous disinfection by-products in drinking water- A review. *Water Research*, 45(15): 4341-4354.
- Choi, J., Valentine, R.L. (2002). Formation of Nitrosodimethylamine (NDMA) from reaction of monochloramine: a new disinfection by-product. *Water Research*, 36, 817-824.
- Hu, J., Song, H., Addison, J.W. and Karanfil, T. (2010). Halonitromethane formation potentials in drinking waters, *Water Research*, 44 (1), 105-114.

Hua, G.H., Reckhow, D.A. (2007). Relationship between brominated THMs, HAAs, and total organic bromine during drinking water chlorination. *Symposium on occurrence, formation, health effects and control of disinfection by-products in drinking water held at the 233rd ACS National Meeting American Chemical Society*.

Joo, S.H., Mitch, W.A., (2007). Nitrile, aldehyde, and halonitroalkane formation during chlorination/chloramination of primary amines. *Environmental Science & Technology* 41, 1288-1296.

Krasner, S.W., Westerhoff, P., Chen, B., Rittmann, B.E., Amy, G. (2009). Occurrence of disinfection byproducts in United States wastewater treatment plant effluents. *Environmental Science & Technology* 43, 8320-8325.

Lee, W., Westerhoff, P., Esparza-Soto, M. (2006). Occurrence and removal of dissolved organic nitrogen in US water treatment plants. *J. AWWA* 98, 102-110.

Lee, W., Westerhoff, P., Croue, J.-P. (2007). Dissolved organic nitrogen as a precursor for chloroform, dichloroacetone nitrile, N-nitrosodimethylamine,


toksikolojik
sonuçlar göz önüne
alındığında, halk
sağlığı açısından
A-DYÜ grupları
daha çok önem
arz etmektedir,
dolayısıyla global
anlamda önümüzdeki
yıllarda A-DYÜ'ler
mevzuatlara
eklenebilir.

and trichloronitromethane. Environmental Science & Technology 41, 5485-5490.

Muellner, M.G., Wagner, E.D., McCalla, K., Richardson, S.D., Woo, Y.T. Plewa, M.J. (2007). Haloacetonitriles vs. regulated haloacetic acids: Are nitrogen-containing DBPs more toxic, Environmental Science and Technology, 41 (2), 645-651.

Plewa, M.J., Wagner, E.D., Richardson, S.D., Thruston, A.D. Jr, Woo, Y.T., McKague, A.B. (2004) Chemical and biological characterization of newly discovered iodoacid drinking water disinfection byproducts. Environmental Science & Technology 38, 4713-4722.

Plewa, M.J., Muellner, M.G., Richardson, S.D., Fasano, F., Buettner, K.M., Woo, Y.-T., McKague, A.B., Wagner, E.D. (2008). Occurrence, synthesis, and mammalian cell cytotoxicity and genotoxicity of haloacetamides: an emerging class of nitrogenous drinking water disinfection byproducts. Environ. Sci. Technol. 42, 955-96.

Plewa, M.J., Wagner, E.D. (2009). Mammalian Cell Cytotoxicity and Genotoxicity of Disinfection By-Products. Water Research Foundation, D., CO, USA.

Richardson, S.D; Postigo, C., (2015). "Chapter 11: Formation of DBPs: State of the Science" in Recent Advances in Disinfection By-Products Formation. Eds. Karanfil, T. Mitch, W., Westerhoff, P. and Xie, Y. American Chemical Society, pp. 189-214.

Rook, J.J. (1974). Formation of haloforms during chlorination of natural water. Water Treat. Examination 23, 234-243.

Sağlık Bakanlığı, (2005). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY), 17 Şubat 2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazete.

Seidel, C.J., McGuire, M.J., Summers, R.S., Via, S., (2005). Have utilities switched to chloramines?. J. AWWA 97, 87-97.

Westerhoff, P., Lee W., Croue J.-P., Gallard H., and Amy G.L. (2006). Organic nitrogen in drinking water and reclaimed wastewater, Final Report (#91116), AwwaRF, Denver, CO.

SU DAĞITIM SİSTEMİNİN İŞLETMESİNDE HİDROLİK MODELLERİN KULLANIM ALANLARI

Doç. Dr. Mehmet ÖZGER
İTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü



Teknolojideki gelişmeler hidrolik modelleri sadece altyapı planlama aracı olmaktan çıkarıp, işletme şartlarını iyileştirmek, su kalitesini izlemek ve su sisteminin güvenilirliğini artırmakta kullanılan bir araç haline dönüştürmüştür.

Geçmiş zamanlarda su dağıtım sistemlerini modelleyebilmek için pahalı ve yoğun iş gücü gerektiren süreçlerden geçmek gerekmekteydi. Hidrolik modellere veri sağlayan birçok sistem artık bilgisayar ortamında tutulmaktadır. Günümüzde modeller coğrafi bilgi sistemleri (CBS), bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemleri, SCADA sistemleri, müşteri bilgi sistemleri (MBS), arıza yönetim sistemleri (AYS) ve varlık yönetim sistemleri (VYS) ile veri alış-verişinde bulunabildiği için model kurulumunda, güncellenmesinde ve idamesinde harcanan işgücü azalmıştır. Teknolojideki bu gelişmeler hidrolik modelleri sadece altyapı planlama aracı olmaktan çıkarıp, işletme şartlarını iyileştirmek, su kalitesini izlemek ve su sisteminin güvenilirliğini artırmakta kullanılan bir araç haline dönüştürmüştür. Dolayısıyla bu modeller, karar destek sisteminin vazgeçilmez bir parçası olarak yerini almıştır.

Günümüzün değişen şartlarında hidrolik modelleri için yeni kullanım alanları ortaya çıkmıştır. Bu simülasyon model-

leri vasıtasıyla, su kayıp kaçaklarının tespiti ve yönetimi yapılmış ve gelir getirmeyen su miktarlarında azalma sağlamıştır. Pompaların çalışma saatlerinin optimizasyonu ise enerji yönetimi için yeni bir yardımcı araç olmuştur. Buna ek olarak kararsız akımların meydana getirdiği riskli durumlara göre tasarım yapılarak boru kırıkları ve su kirlenmesi potansiyeli azaltılmaktadır. Su depolarında yeterli karışımın olması sağlanarak kalite standartları sağlanmaya çalışılmaktadır. Öte yandan, yangın suyu analizi ve altyapı iyileştirmeleri en popüler modelleme uygulamalarıdır. Özetle mevcut bir su dağıtım sisteminin simülasyonun yapılması ile çalışma saatleri, su kayıpları, boru patlakları ve enerji kullanımı azaltılarak işletme şartları iyileştirilebilmektedir.

Hidrolik simülasyon modelinin faydaları

Hidrolik sistem problemlerini çözmek için her bir boru, pompa ve vana veya her bir düğüm noktası için bir denklemi bilinmeyen parametreler için çözmek gerekir. Bu da su dağıtım sistem-

lerinde çok büyük denklem takımlarını çözmeyi gerektirir. Bilgisayar modelleri bu tür hidrolik hesaplamaları hem hızlı hem de doğru bir şekilde yapabilmektedir. Dolayısı ile karar vericiler bu büyük denklem takımlarını çözmeye uğraşmak yerine model sonuçlarının yorumlanmasına, alternatif sistemlerin tasarlanmasına odaklanabilirler. Model doğru bir şekilde kurulduğu zaman su dağıtım sistemlerinin planlanması, tasarımı ve işletilmesi için karar verme sürecinin bir parçası olacaktır. Su dağıtım sistemlerinin modellenmesi uygulamada dört farklı kategoriye ayrılır. Bunlar planlama, mühendislik tasarımı, sistemin işletilmesi ve su kalitesinin iyileştirilmesidir.

1) Planlama

- a) Yatırım programlarını belirlemek için: Master plan ile önümüzdeki 5 ila 20 yıllık bir süreçte öngörülen nüfus artışları ve yaşanan alt yapının yenilenmesi ihtiyaçlarına cevap verebilmek için bir modele ihtiyaç duyulur. Model vasıtası ile yatırım programı belirlenip bir takvime bağlanabilir.
- b) Hidrolik model, su kaynakları için alınan tedbirlerin, gelecekteki tüketime olan etkisini değerlendirerek bu tedbirler ile başarılı olup olunmayacağı hakkında bilgi verir.
- c) Artan tüketim veya kesit daralması (tüberkule bozular) ile görevini yerine getiremeyen ana hatların belirlenmesi için kullanılır.

Ayrıca model ana hattın değiştirilmesinin, boyutlarının artırılması veya yaşanan hatların rehabilitasyonun potansiyel hidrolik etkilerini belirlemede kullanılır.

- d) Su depoları içindeki su sirkülasyonunu tam sağlayan, pik saatlerde talebi karşılayabilen ve pik saatler haricinde de hızlıca dolabilen optimum şartları sağlayacak bir yere konumlandırılmalıdır. Hidrolik model ile bütün bu senaryoları denemek için seçilen çözümler üzerinde ince ayarlar yapılabilir.

2) Mühendislik tasarımı

- a) Yangın debisi: Gerekli basıncın sınırlamaları altında şebekenin çeşitli noktalarında bulunan yangın hidrantlarına ne kadar su gerekli olduğunu simüle etmek için hidrolik model kullanılır.
- b) Vana boyutlandırması: Basınç düzenleyici ve akım yönlendirici vanaların boyutlarının belirlenmesi
- c) Depo boyutlandırması: Depo hacimleri genelde günlük tüketim miktarı, yangın debisi ve acil durum debisinin toplamını karşılayacak şekilde hesaplanır. Fakat hazne depo hacmi hesaplanırken aynı zamanda depoya iletilen debi ve



Su dağıtım sistemlerinin modellenmesi uygulamada dört farklı kategoriye ayrılır. Bunlar planlama, mühendislik tasarımı, sistemin işletilmesi ve su kalitesinin iyileştirilmesidir.

beslediği alanın büyüklüğü de göz önüne alınmalıdır. Model depoya giren ve çıkan akımları değerlendirerek belli bir bölge için optimum depo boyutlarını belirlemeye ve gelişmeler durumunda seçilen depo yerinin isale hatları ve terfi istasyonlarınca yeterli bir şekilde beslenebileceğini görmemizi sağlar.

- d) Terfi merkezleri ve Pompa boyutları: Pompalar bir kez seçildikten sonra farklı işletme koşullarında performanslarını görmek için modeller kullanılır.
- e) Hattaki basınç ve akım değerleri: Model ile hattın herhangi bir noktasındaki çeşitli tüketim durumlarına ve senaryolara göre basınç ve akım değerleri bulunabilir.
- f) Basınç kat ayrımlarının sınırları model vasıtası ile bulunabilir.

3) İşletme

- a) Model, işletme parametreleri ve şartları değiştiği zaman sistemin buna nasıl cevap verdiği hususunda hattı işleten personel eğitimi için kullanılabilir.
- b) Düşük basınçlar ve su sirkülasyonu problemi gibi çeşitli sorunların çözümünde model kullanılabilir.

- c) Büyük bir boru patlağı olduğu zaman ne kadar suyun boşa gittiği model ile hesaplanabilir.
- d) Acil durum senaryoları: Sistemdeki kritik bir arızanın etkisinin belirlenmesi ve zararı en aza indirmek için alınacak önlemler model ile belirlenir.
- e) Model ile farklı su kaynaklarının kullanımı optimize edilebilir. Örneğin yılın belli zamanlarında yüksek kaliteye sahip su kaynağı kullanılırken diğer zamanlar arıtma tesisinden sağlanan su kaynak olarak kullanılır.
- f) Model kalibrasyonu esnasında kapalı vanalar, kesiti daralan borular, kaçaklar ve eksik altyapı bilgisi gibi sistemdeki birçok anormallik hat operatörleri tarafından fark edilebilir.
- g) Model ile hattı boşaltmak için uygun tahliye noktaları belirlenebilir.
- h) Arıza giderimi esnasında hangi bölgelerin susuz kalacağı ve hangi vanaların kapatılması gerektiği model ile bulunabilir.
- i) Enerji maliyetleri yönetimi: Ülke bazında tüketilen enerjinin yaklaşık %5'ini suyu arıtmak ve dağıtmak için harcanan enerjidir. Pompalama maliyetleri toplam tüketimin %75-80'ini tutmaktadır.

- 4) Su kalitesi iyileştirmesi
 - a) Kirletici takibi: Model kirlenme seviyelerini ve kesişim noktalarını tahmin edebilir.
 - b) Su yaşı tahmini
 - c) Klor seviyeleri: Model su dağıtım sistemindeki klor azalma miktarlarını tahmin etmek için kullanılır.
 - d) Su kalitesi izleme noktaları

Hidrolik modellerin pratik uygulamaları

Borular, terfi merkezleri, vanalar, depolar ve diğer donatılardan oluşan su dağıtım sisteminin hidrolik modeli kurulabilmektedir. Bu simülasyon modellerinin işletme açısından amaçları şu şekilde sıralanabilir.

- 1) Mevcut isale sisteminin önümüzdeki yıllarda öngörülen nüfus artışlarına ve şehirleşmeye cevap verip veremeyeceğinin araştırılması.
- 2) İsale ana hattın değiştirilmesinin, boyutlarının artırılması veya yaşanan hatların rehabilitasyonun potansiyel hidrolik etkilerini belirlemesi.
- 3) Model ile hattın herhangi bir noktasındaki çeşitli tüketim durumlarına ve senaryolara göre basınç ve akım değerleri elde edilmesi.

- 4) Model, işletme parametreleri ve şartları değiştiği zaman sistemin buna nasıl cevap verdiği hususunda hattı işleten personel eğitimi.
- 5) Düşük basınçlar ve su sirkülasyonu problemi gibi çeşitli sorunların çözümü.
- 6) Acil durum senaryoları: Sistemdeki kritik bir arızanın etkisinin belirlenmesi ve zararı en az indirmek için alınacak önlemlerin tespit edilmesi.
- 7) Farklı su kaynaklarının kullanımının optimize edilmesi. Örneğin yılın belli zamanlarında yüksek kaliteye sahip su kaynağı kullanılırken diğer zamanlar arıtma tesisinden sağlanan su kaynak olarak kullanılabilir.
- 8) Pompa çalışma süreleri hesaplanarak, enerji maliyetlerini azaltmak için öneriler sunulması.

Su dağıtım sistemlerinin işletmesi aşamasında hidrolik modeller ve bazı yöntemlerden faydalanılması üzerinde çok çalışılmamıştır (Özger, 2017). Akıllı şebeke uygulamalarının karar destek araçlarını destekleyici rolü de bulunmaktadır. Gerçek zamanlı ölçülen basınç, debi ve su kalitesi gibi parametrelerin bir hidrolik benzeşim modeli ile beraber kullanan yaklaşımlar su dağıtım sistemlerinin işletmesini geliştirmede önemli yer tutmaktadır (Allen ve ark., 2011).

Model analizleri

Hidrolik model, veri tabanı ve bilgisayar programı olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Veri tabanı alt yapı, tüketim ve sistemin işletme karakteristikleri hakkında bilgi içerirken, bilgisayar programı enerji, süreklilik, taşınım denklemlerini çözer. Optimizasyon denklemleri ise depo seviyelerini, vana açıklık oranlarını, pompa çalışma şartlarını ve su yaşını bulmak için kullanılır.

Durağan durum analizleri (Steady State): Herhangi bir anda boru sistemindeki durumu veren analizdir. Durağan durum analizleri genelde günlük maksimum akım, pik saat ve yangın debisi senaryolarını değerlendirmek için kullanılır.

Durağan olmayan durum analizleri (Extended-Period Simulation): Bir periyod için belirlenen zaman aralıklarında durağan durum simülasyon serilerinden oluşur. Zaman ile değişen hız, basınç, depo seviyesi gibi karakteristikleri verir. Örneğin 1 saat zaman aralığı için 24 saat boyunca simülasyonu yapılarak su

dağıtım sisteminin işletmesi modellenilebilir. Böyle bir benzetim tüketimdeki değişimler, rezervuar işletmesi, su kalitesi ve isale kaynak depoları arası su transferinin modellenmesi için gereklidir. Örneğin, İstanbul Beykoz bölgesini Cumhuriyet depo, Kavacık depo ve Elmalı barajı gibi farklı su kaynaklarından besleme senaryoları oluşturulabilmektedir (Şekil 1). Böylelikle isale sistemi işletme açısından daha esnek bir hale getirilmektedir.

Hidrolik modellerin kayıp-kaçak yönetiminde kullanımı

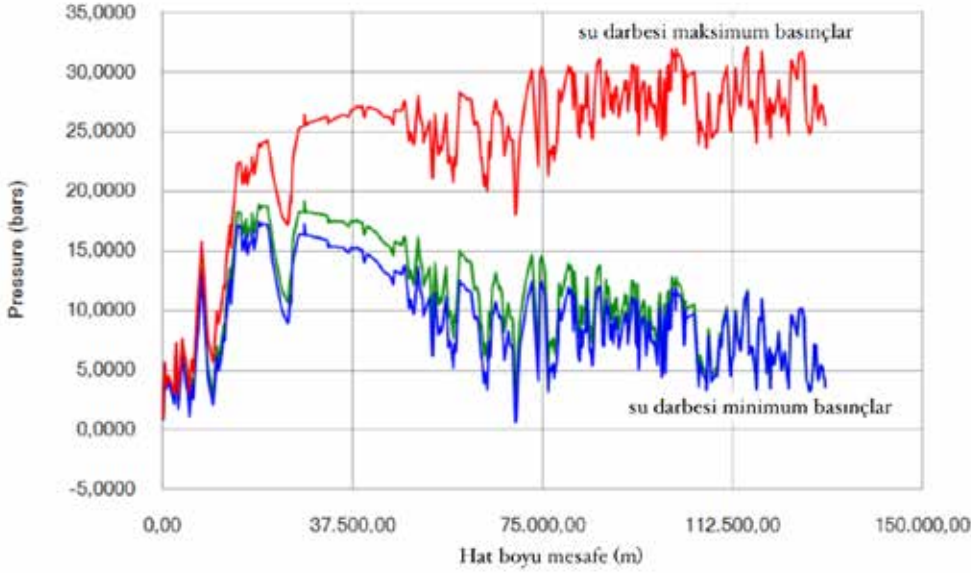
Şebekenin hidrolik açıdan doğru işletilmemesi fiziki kaçakların miktarının artmasına neden olacaktır. Hidrolik prensiplerin bilinmesi ve uygulanması kayıp kaçakların başlamadan engellenmesine yaramaktadır. Örneğin şebeke üzerindeki vanalarının aniden kapatılması veya pompaların ani olarak devre dışı kalması su darbesini oluşturacak ve bu basınç dalgalanmaları (Şekil 2) özellikle boru birleşim bölgelerinde kaçakların başlamasına veya var olanların artmasına sebep olabilecektir. Bu tür kararsız



Hidrolik model, veri tabanı ve bilgisayar programı olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Veri tabanı alt yapı, tüketim ve sistemin işletme karakteristikleri hakkında bilgi içerirken, bilgisayar programı enerji, süreklilik, taşınım denklemlerini çözer. Optimizasyon denklemleri ise depo seviyelerini, vana açıklık oranlarını, pompa çalışma şartlarını ve su yaşını bulmak için kullanılır.



Şekil 1. Beykoz bölgesi su depoları ve isale hatları.



Şekil 2. Vananın kapanması ile hatta oluşan maksimum ve minimum basınç zarf eğrileri

hidrolik akımların şebekede meydana gelmesinin önlenmesi gerekmektedir. Su darbesi, kavitasyon ve yüksek basınçlar gibi hidrolik olaylar şebekede fiziki kaçakların artmasına neden olurlar. Bu tür kararsız akımlar ve aşırı basınçlar hidrolik modeller vasıtasıyla belirlenerek uygulamaya yönelik çözümler önerilebilmektedir.

Kavitasyon olayına su türbinlerinde, santrifüj pompalarda, boru hatlarındaki vana ve dirseklerde ve akım kesitinin daraldığı daha birçok yerde rastlamak mümkündür. Boru hatlarında herhangi bir işletme durumunda kavitasyon sınırı içine düşmemesi için gerekli tüm tedbirler alınmalıdır. Kavitasyon sınırının altına düştüğü yerler hidrolik model ile belirlenir. Hidrolik akım ortamı içinde oluşan vakumlu baloncukların içerisindeki su zerrecikleri ses hızının bazen altında bazen de üstündeki hızlarla ve klasik akışkanlar mekaniği kanunlarının dışında hareket etmeleri kavitasyon olayının çözümünü zorlaş-

tırmaktadır. Bu yüzden mühendislik görüş açısına göre kavitasyon olayı sorununun tamamen çözülmesi için gerekli uzun ve çok pahalı çözümler yerine kavitasyon olayına etki eden etkenlere karşı önlem almak ve gerektiğinde kavitasyon sınırına yaklaşarak çok büyük tehlike teşkil etmeyecek şekilde belirli bir kavitasyon ile çalışmak daha pratik bir yol olarak görülmektedir.

Basınç yönetiminin sızma kayıplarının azaltılmasında önemli bir rolü vardır. Dünyada yaygın kanaat, su kıtlığı durumunda su sağlayabilmek için yeni biriktirme hazneleri inşa etmektense bunun yerine daha az maliyetli çözümlere yönelmektir (Girard ve Stewart, 2007). Birçok su idaresi artan talepler karşısında su arz talep dengesini kurabilmek için yeni su kaynakları bulma yerine mevcut su dağıtım sisteminin verimini artırma yoluna gitmektedir. Basınç ve sızma yönetimin bu amaca ulaştırabilecek en az maliyetli yakla-



Hidrolik prensiplerin bilinmesi ve uygulanması kayıp kaçakların başlamadan engellenmesine yaramaktadır

şım olduğu çeşitli uluslararası çalışmaları ile ortaya konmuştur (Haddad ve Linder, 2001). Ayrıca daha az basınçla kontrol edilebilen bölgelerin, uygulanan basınç ve sızma yönetimi ile su tüketim miktarları, sızma kayıpları ve arıza sıklıkları azalmaktadır (Thornton, 2002; Carpenter vd., 2002). Bunlara ek olarak bu yöntemin uygulanması ile su dağıtım şebekesinin enerji ihtiyacı da azalmaktadır (deMonsabert vd., 1998; Colombo ve Karney, 2005). Basınç kontrolü su dağıtım şebekelerinde kayıpların azaltılması için etkin bir yoldur (Araujo, vd. 2006). Bunun için basınç düşürücü vanalar kullanılmaktadır. Kullanılacak basınç düşürücü vana sayısı ve bu vanaların şebekenin hangi noktalarında kul-

lanılacağı çözüm bekleyen bir sorundur. Çünkü bazı hallerde basınç gereğinden fazla düşürülürse bazı noktalarda negatif basınçlar meydana gelebilmektedir. Hattın hidrolik modeli yapılarak negatif basınçların olduğu bölgeler belirlenebilir. Sızma kayıplarını basınçla ilişkilendiren literatürdeki var olan modeller orifis denklemlerine dayanmaktadır. Bir su dağıtım sisteminde hidrolik model ile elde edilen hız ve basınç değerlerinin dağılımları Şekil 3’de gösterilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak şebekede basınç yönetimi yapılarak kayıp kaçaklar azaltılabilmektedir.



Şekil 3. Su dağıtım sisteminde hız ve basınçların dağılımları

Kayıp kaçakların bulunmasında hidrolik model

Şebekedeki kaçağın yerini belirlemek için öne sürülen yöntemlerden biri de step testidir. Step testi ve hidrolik modellemenin aynı anda kullanılması ile kaçak yeri belirleme sorunu çözülebilmektedir. Boru hattının bir bölümünde bulunan kaçak miktarı sahada yapılan ölçüm ve model sonuçları arasındaki farktan hesaplanabilmektedir. Gerçek su dağıtım şebekesinde uygulanan test sonuçları akustik cihazlarla yapılan ölçümleri ile doğrulanmıştır. Her boru türüne de uygulanabilmesi bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Geleneksel step testi yönteminde, uygulama alanı gece saatlerinde vanaların kapanması ile sistematik bir şekilde alt alanlara bölünür ve akıştaki azalma kaydedilir. Akışta meydana gelen orantısız düşüşler kaçak şüphesi olan boru kesimlerini belirler. Tahmin edilen kaçak, ölçülen akıştaki gözlemlenen düşüş ile hesaplanan düşüş arasındaki farka karşı gelir. Bu yöntemin geleneksel akustik yöntemlerin kaçak sesinin emilerek yetersiz kaldığı plastik borularda ve büyük miktarlarda sızma olan bölgelerde kullanılması uygundur. Aynı zamanda sonik ekipmanların ve korelatörlerin kullanımını azaltmaktadır. Step testi ile yeri yaklaşık olarak belirlenen kaçak, korelatör ile hassas olarak belirlenir ve tamir edilir.

Klasik step testinin en önemli sakıncaları, bütün su donatılarının (borular, vanalar, pompalar, depolar, rezervuarlar) üzerinde olduğu detaylı haritalara gereksinim duyması ve farklı boru bölümlerini sırayla kesmek için uygun ardışık

vana kapamasına ihtiyaç duymasıdır. Ek olarak, test zamanında tüketimin duran olması ve veri tabanı desteği, veri işlemesi için kullanıcı dostu ara yüzleri, raporlama ve grafiksel çıktı gibi birtakım gereksinimler yöntemin verimini kısıtlamaktadır. Bu yüzden step testine entegre bir şebeke hidrolik modeli gerekmektedir.

Entegre hidrolik model ve step testi yöntemi

Klasik step testi yönteminin yukarıda sayılan mahsurları sahada yapılan step testi ile hidrolik şebeke modellemesini birleştirerek aşılabilmektedir. Günümüzde birçok su idaresi hidrolik şebeke modellerini (EPANET gibi) planlı büyüme ve sistem yönetimini optimize etmek için kullanmaktadır. Şebeke modeli su dağıtım sisteminin tüm donatılarını ihtiva eder ve step alanını belirlemek, gerekli akış ve tüketim karakteristiklerini sağlamak, sistematik vana kapamalarının optimum kombinasyonlarını bulmak için kullanılır. Ayrıca bu yöntem şebekenin yapısına ve tüketimdeki değişime daha az duyarlıdır.

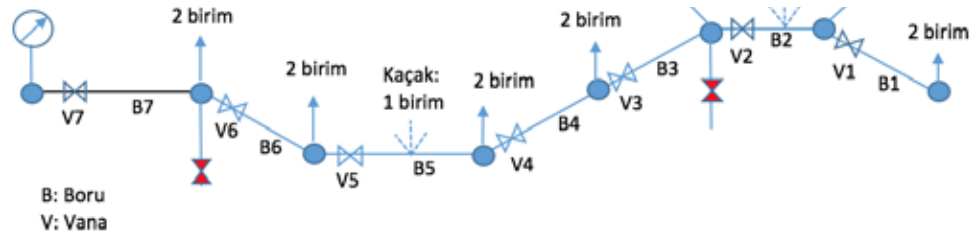
Şebeke modellemesi çalışma alanının belirlenmesi ve sonra da sistematik vana kapamaları ile alt bölgelere ayrılmasına ve her bir vana kapamasında alana giren debiyi hesaplama işine yarar. Saha çalışması vanalar kapatıldıktan sonra debi ölçümleri yapılmasını kapsar. Her bir adımda ölçülen debi değeri modelden hesaplanan değer ile karşılaştırılır ve farkı kaydedilir. Ardışık iki adım arasındaki akıştaki farklardaki değişim kaçak miktarını verir.

Şebeke hidrolik modeli ve step testi ile fiziki kaçak belirleme hesap adımları bir

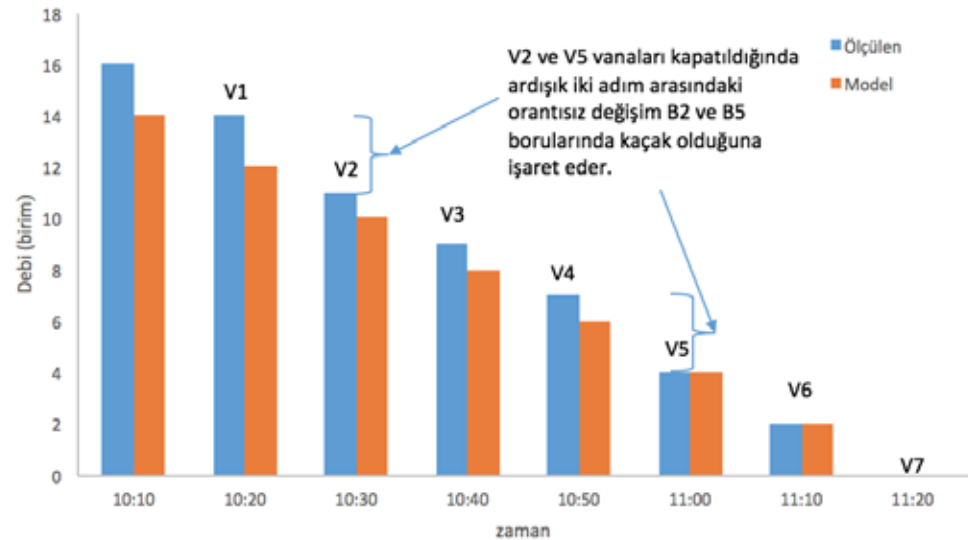
örnek üzerinde sunulacaktır. Çalışma alanı Şekil 4' te gösterilmiştir. Test bölgesi yedi adet boru parçası ve yedi adet tüketim noktasından oluşmaktadır. B2 ve B5 borularında her birinin miktarı 1 birim olan iki adet fiziki kaçak olduğu varsayılmıştır.

Şekil 4' te debi ölçere doğru sıralı (sağdan sola doğru) vana kapama durumunda her bir adımdaki debi okumaları verilmiştir. Her bir vana kapamasında şeklin en solundaki gözlem noktasın-

daki debi ölçümü bir miktar azalmaktadır. V2 ve V5 vanalarının kapatılması ile oluşan iki farklı olağan dışı okuma değeri P2 ve P5 borularında kaçak olduğuna işaret etmektedir. Şekil 5 step testinin bütün sonuçlarını göstermektedir. Şekilde x-ekseni boyunca görülen simetriklik, akım şartlarının değişmediği durağan durum içindir. Öte yandan, adımlar arasındaki debi farkının tüketimlerin artması ve azalması ile değişmeyeceği açıktır.



Şekil 4. Step testi çalışma alanı



Şekil 5. Çalışma alanı step testi sonuçları

Sonuçlar

Hidrolik modellerin su dağıtım sisteminin işletilmesinde, değerlendirilmesinde ve geliştirilmesinde birçok faydaları bulunmaktadır. Doğru çalışan bir hidrolik modelin bulunması karar vericilerin isabetli kararlar almasını ve uygulamaya geçmeden önce simülasyon üzerinden probleme vakıf olmasını sağlayacaktır. Farklı kaynaklardan beslenen bölgeler için çeşitli senaryolar denenerek kuraklık, arıza gibi durumlarda hattın güvenilirliği artırılabilir. Hidrolik model ile su dağıtım sistemi için işletme koşulları oluşturularak sistemin ayrıklı değil de bir bütün olarak işletilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca, sistemin daha iyi işletilmesi için vana, pompa, basınç kırıcı gibi hat donatıları önerilerek işletme verimi artırılacaktır. Kayıp kaçak yönetiminde hidrolik modelleme araçlarının kullanılması mücadelede başarı oranını artırmaktadır.

Kaynaklar

Allen, M., Preis, A., Iqbal, M., Srirangarajan, S., Lim, H.B., Girod, L. ve Whittle, A.J. 2011. Real-time in-network distribution system monitoring to improve operational efficiency, Journal AWWA, 103(7), 63-75.

Araujo, L. S., Ramos, H. and Coelho, S. T. 2006. Pressure Control for Leakage

Minimisation in Water Distribution Systems Management, Water Resources Research, 20, 133-149.

Carpenter, T., Lambert, A., and McKenzie, R. 2002. "Applying the IWA approach to water loss performance indicators in Australia." Proc., 3rd World Water Congress of the Inland Waterways Assoc., Melbourne, Australia, 405.

Colombo, A. F., and Karney, B. W. 2005. "Impacts of leaks on energy consumption in pumped systems with storage." J. Water Resour. Plann. Manage., 131(2), 146-155.

deMonsabert, S., and Liner, B. L. 1998. "Integrated energy and water conservation modeling." J. Energy Eng., 124(1), 1-19.

Girard, M. ve Stewart, R.A. 2007. Implementation of Pressure and Leakage Management Strategies on the Gold Coast, Australia: Case Study, Journal of Water Resources Planning and Management, 133(3), 210-217.

Haddad, M., and Lindner, K. 2001. "Sustainable water demand management versus developing new and additional water in the Middle East: A critical review." Water Policy, 3(5), 143-163.

Özger, M. 2017. Su Şebekelerinde Kayıp Kaçak Yönetimi Eğitimi kurs notları, 27 Kasım - 1 Aralık 2017, TBB-İSKİ.

Thornton, J. 2002. "Managing leakage by managing pressure—A practical approach." Water21, Water Loss Task Force, Inland Waterways Assoc., Rickmansworth, U.K.

AMBARLI İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMUR ÇIKIŞ SULARINDA ANAEROBİK AMONYUM OKSİDASYONU PROSESİ İLE AZOT GİDERİMİ ÖN ETÜT PROJESİ

Nigar EYİT

İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürlüğü, Kimyager

Çamur çürütücü
çıkış sularının
ayrıca toplanıp
arıtılmasının
günümüzde daha
verimli bir alternatif
arıtım olduğu
bildirilmektedir. Bu
uygulama farklı
patentler altında
günümüzde Avrupa
ve Amerika'da pek
çok arıtma tesisinde
uygulama alanı
bulmuştur.

Azot ve azotlu maddeler çevre kirliliğinin en önemli sebeplerindendirler. Azot bileşikleri, evsel ve birçok endüstriyel atıksuda önemli miktarlarda bulunmaktadır. İnsanoğlunun azot çevrimindeki etkisi nedeni ile reaktif azotlu bileşikler birikerek su kaynaklarında ötrofikasyona yol açarak su kalitesini düşürmektedirler. Bu nedenle, azotlu bileşiklerin giderimi için birçok fizikokimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Genellikle Biyolojik nitrifikasyon/denitrifikasyon yöntemi kullanılarak amonyum, azot gazına çevrilmektedir. Evsel atıksu arıtma tesisleri biyolojik proseslerinde oluşan çamur sıklıkla anaerobik çamur çürütme proseslerinde çürütülür. Bu processte çamurun karbon muhtevası büyük ölçüde metan ve karbondioksit dönüştürülürken, hücre içindeki azot bileşenleri amonyum olarak ortama salınır. Çürütme işlemi sonunda çamurun susuzlaştırması sırasında oluşan süzüntü suyu (sentrat/filtrat) oldukça yüksek konsantrasyonda amonyum içerir (yaklaşık 2 kgN m⁻³) (Strous vd.,

1997). Atıksu arıtma tesislerinde oluşan bu yan akım genellikle, arıtma tesisi ana akımına geri döndürülür ve bu da sistemin giriş azot yükünün yaklaşık %15-20 oranında artmasına neden olur (Gut., 2006).

Çamur çürütücü çıkış sularının ayrıca toplanıp arıtılmasının günümüzde daha verimli bir alternatif arıtım olduğu bildirilmektedir. Bu uygulama farklı patentler altında günümüzde Avrupa ve Amerika'da pek çok arıtma tesisinde uygulama alanı bulmuştur. Yüksek amonyak azotu ve düşük organik madde içeren atıksuların arıtımında konvansiyonel biyolojik arıtma prosesleri yerine, amonyumun anaerobik koşullar altında doğrudan azot gazına indirgendiği yeni bir biyolojik proses olarak Anaerobik Amonyum Oksidasyonu prosesi tanımlanmıştır (Van De Graaf vd., 1996).

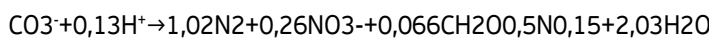
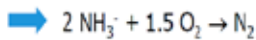
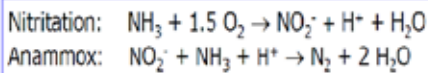
Anaerobik Amonyum Oksidasyonu bakterilerinin havasız şartlar altında amonyağı oksitlediği 1988/1995 yılları arasında, Delft üniversitesinde ya-

pılan araştırmalar sırasında Mulder ve Kuenen isimli Hollandalı bir grup bilim insanı tarafından keşfedilmiştir. Anammox, aynı zamanda Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen ve ticari marka olarak tescillenmiş biyolojik azot giderimi prosesinin adıdır.

Planctomycetes filumunun üyesi olan ototrofik Anaerobik Amonyum Oksidasyonu bakterilerinin şu ana kadar tanımlanan 5 farklı sınıfı bulunmaktadır. Bunlar; Brocadia, Kuenenia, Anammoxoglobus, Jettenia ve Scalindua. Scalindua türleri denizlerde diğerleri tatlı sularda yaşar (Jetten vd., 2001; Kartal vd., 2007; Schmid vd., 2005).

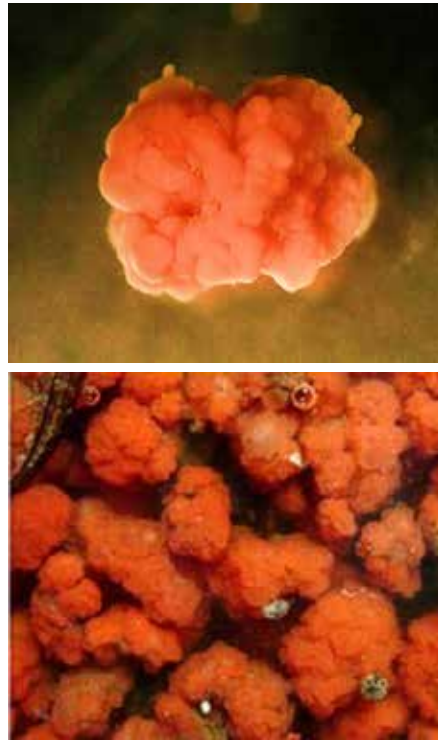
Anaerobik Amonyum Oksidasyonu prosesi, iki ayrı organizmanın görev aldığı iki ayrı adımdan oluşur. İlk adımda hava verilerek ototrofik bakteriler yardımı ile, amonyağın nitrite dönüşümü sağlanır. İkinci adım anoksik ortamda olup, Anaerobik Amonyum Oksidasyonu bakterileri yardımı ile nitrit ve amonyağın elementel azota dönüşümünü içerir (Van de Graaf v.d., 1991).

$\text{NH}_4^+ + 1,32\text{NO}_2^- + 0,066\text{H}^+$



Bu durumda yaklaşık 1 g $\text{NH}_4^+\text{-N}$ tüketmek için 1,32 g NO_2^-N 'e ihtiyaç vardır. İşlem sonucunda 0,26 g NO_3^-N , 2,04 g $\text{N}_2\text{-N}$ ve ancak 0,01 g biyokütle (yeni bakteri) oluşur.

Spesifik kırmızı bir renge ve düzensiz bir şekle sahiptirler. Prosesin en önemli dezavantajı, Anaerobik Amonyum Oksidasyonu bakterilerinin büyüme hızının çok yavaş olmasıdır (Güven D., 2005). . Maksimum çoğalma hızları yaklaşık 0.065 gün⁻¹ ve ikilenme süreleri 11 gün civarındadır. Anaerobik amonyum oksitleyicilerin yavaş çoğalma hızları sebebiyle prosesin işletmeye alınması (start-up) uzun sürmektedir. Yeterli miktarda organizma geliştirildikten sonra proses yüksek verimle işletilebilir.



Resim 1. Anaerobik Amonyum Oksidasyonu bakterileri tarafından oluşturulan granüllerin fotoğrafı

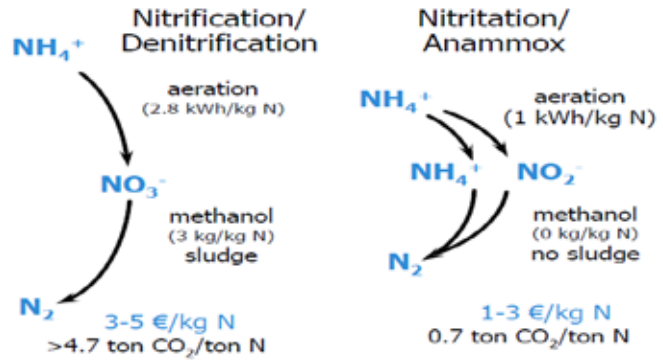


Planctomycetes filumunun üyesi olan ototrofik Anaerobik Amonyum Oksidasyonu bakterilerinin şu ana kadar tanımlanan 5 farklı sınıfı bulunmaktadır. Bunlar; Brocadia, Kuenenia, Anammoxoglobus, Jettenia ve Scalindua. Scalindua türleri denizlerde diğerleri tatlı sularda yaşar

İşletme Parametreleri	NO ₃ üzerinden Nitr.-Denitr.	NO ₂ üzerinden Nitr.-Denitr.	Tek Kademeli Anaerobik Amonyum Oksidasyonu
O ₂ Tüketimi (kg O ₂ /kg N)	4,57	3,43	1,71
KOİ Tüketimi (kg KOİ / kg N)	2,86	1,71	0
CO ₂ Üretimi (kg CO ₂ / kg N)	5,76	4,72	3,14
Çamur Üretimi (kg KKM/ kg N)	1-1,2	0,8-0,9	0,1<

Tablo:1 Biyolojik Azot Giderim Proseslerinin stokiyometrik olarak karşılaştırılması (Mulder, 2003)

En önemli avantajları düşük O₂ tüketimi, yok denecek kadar az çamur üretimi ve karbon ihtiyacının olmamasıdır.



Pilot ölçekli çalışma

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü bünyesinde faaliyet gösteren Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nin yüksek azot içeren ve düşük debiye sahip anaerobik çamur çürütücü çıkış sularının (filtrat/sentrat) arıtılarak, atıksu arıtma tesisinin işletim maliyetlerinin azaltılması ve arıtma veriminin artırılması amacıyla, çamur çürütücü çıkış suyunda bulunan yüksek konsantrasyonlardaki amonyak, yenilikçi ve ekonomik bir metot olan Anaerobik Amonyum Oksidasyonu Prosesi ile gideriminin araştırılması, laboratuvar ve pilot ölçekli reaktör uygulamalarının yapılması için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Ku-

rumu (TÜBİTAK) MAM (Marmara Araştırma Merkezi) Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü ve İSKİ ile Aralık 2015 yılında bir proje başlatılmıştır. Proje, Şubat 2018'de tamamlanmıştır.

Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, Esenyurt ve Beylikdüzü ilçelerinin tamamı ile Ambarlı havzası, Bahçeşehir ve Avcılar'ın bir kısmından oluşan, Marmara Denizi ve Küçükçekmece Gölü'ne dökülen atıksulardan kaynaklanan kirlenmeyi önlemek ve bu havzaların ve alıcı ortamların korunması amacı ile kurulmuş ve 2012 yılında işletmeye alınmıştır. Tesis ortalama 400.000 m³/gün atıksuyu arıtabilecek kapasitededir.

**Ambarlı İleri
Biyolojik Atıksu
Arıtma Tesisi,
ortalama 400.000
m³/gün atıksuyu
arıtabilecek
kapasitededir.**



Resim 2. Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Laboratuvar çalışmaları için İSKİ Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi geri devir hattından alınan aktif çamurdan Anaerobik Amonyum Oksidasyonu bakterileri zenginleştirilmesi kapsamında "Ardışık Kesikli Reaktör" ve "Yukarı Akışlı Sabit Yataklı Reaktör" sistemleri ile çalışmalar yapılmış ve deneylerde kullanılmıştır.

Pilot tesis çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada kısmi

nitritasyon tankına Sentrat verilerek, yaklaşık %57 oranında amonyum nitrite dönüşerek Anaerobik Amonyum Oksidasyonu bakterilerinin istediği oranda amonyum nitrit oluşturulması sağlanmaktadır. Çıkış suyu besin tankında toplanarak "Yukarı Akışlı Sabit Yataklı Reaktör" ve "Tam Karışimli Reaktör'e beslenerek giderim yapılmaktadır. Kurulan Pilot Tesis ile yukarı akışlı reaktörlere göre tam karışimli reaktörlerden daha hızlı sonuç alınmıştır.



Resim 3. Tam Karışimli Reaktör



Resim 4. Yukarı Akışlı Sabit Yataklı Reaktör



Resim 5. Pilot Tesis

Sonuç ve Yorumlar:

Aşağıdaki giderilen azot yükü grafiğinin de görüldüğü üzere giderilen azot yükü zamanla artmış ve pilot tesis işler vaziyete ulaşmıştır. Azot giderim verimi grafiği incelendiğinde tesisin devreye alınma aşamalarında çeşitli faktörlere bağlı olarak verim değişimleri gözlenmiştir. Ancak bu durum, tesis problemleri giderildiğinde ve tam anlamıyla devreye alınıp işletildiği durumda değişmiş ve azot giderim verimi istikrarlı bir hal almıştır.

- Anaerobik amonyum oksitleyicilerin olası bir sistem arızasından sonra iyi işletme

koşullarıyla kısa sürede eski performanslarına ulaşabildikleri gözlenmiştir.

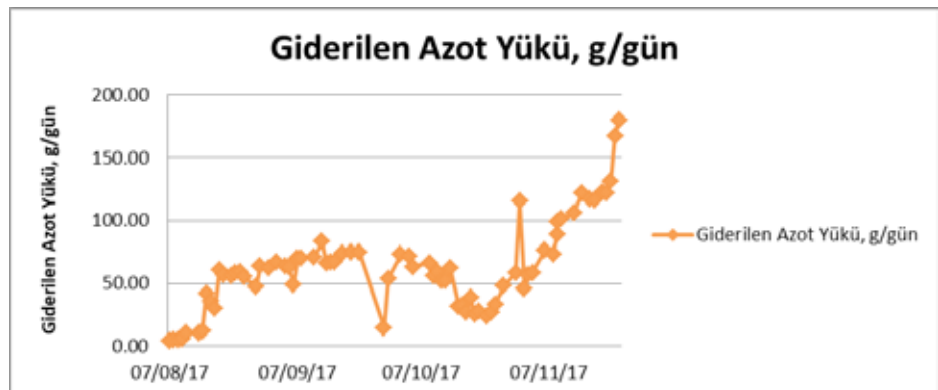
- Yerli arıtma çamurlarından Anaerobik Amonyum Oksidasyonu yapan bakteri zenginleştirilmesi yapılmıştır.
- Laboratuvar Ölçekli Tesis ile pilot ölçekte çalışma için aşı bakterisi üretilmiştir.
- Kurulan Pilot Tesis ile yukarı akışlı reaktörlere göre tam karışimli reaktörlerden daha hızlı sonuç alınmıştır.



Yerli arıtma çamurlarından Anaerobik Amonyum Oksidasyonu yapan bakteri zenginleştirilmesi yapılmıştır.

Laboratuvar Ölçekli Tesis ile pilot ölçekte çalışma için aşı bakterisi üretilmiştir.

Kurulan Pilot Tesis ile yukarı akışlı reaktörlere göre tam karışimli reaktörlerden daha hızlı sonuç alınmıştır.



Kaynaklar:

Gut L. (2006) Assessment of a partial Nitrification/Anammox system for nitrogen removal. KTH Land and Water Resources Engineering.

Straous M., van Gerven E., Zheng P., Kuenen J.G. and Jetten M.S.M. (1997) Ammonium removal from concentrated waste streams with the anaerobic ammonium-oxidizing (Anammox) process in different reactor configuration

Van de Graaf A.A., de Bruijn P., Robertson L.A., Jetten M.S.M. and Kuenen J.G. (1996) Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor

Kartal, B., Rattray, J., van Niftrik, L., van de Vossenberg, J., Schmid, M., Webb, R., Schouten, S., Fuerst, J., Damste', J., Jetten, M.S.M., Strous, M., 2007. Candidatus "Anammoxoglobus propionicus" a new propionate oxidizing species of anaerobic ammonium oxidizing bacteria.

ASCLEPIUS VE HYGIEIA'NIN REÇETELERİNE DÖNÜŞ: MARMARA DENİZİ VE ANTİBİYOTİK DİRENCİ

Prof. Dr. Nüket SİVRİ

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü


Birleşmiş Milletler geçtiğimiz dönemde antibiyotik direncini "en büyük ve en acil ele alınması gereken küresel tehlike" olarak tanımladı. Hayat kurtaran antibiyotik, ne ara ve nasıl yılda 700 bin kişinin ölümüne neden olabildi konusu, Birleşmiş Milletler'in gündemine alındı.

Birleşmiş Milletler geçtiğimiz dönemde antibiyotik direncini "en büyük ve en acil ele alınması gereken küresel tehlike" olarak tanımladı. Hayat kurtaran antibiyotik, ne ara ve nasıl yılda 700 bin kişinin ölümüne neden olabildi konusu, Birleşmiş Milletler'in gündemine alındı. Yapılan olağanüstü toplantılar, imzalanan siyasi deklarasyonlar ve hızlı mücadele kararları, antibiyotik direnç konusunun önemini bir kez daha gözler önüne serdi. Her ülke kendi özelinde yapması gerekenleri sıraladı ve harekete geçti. Çalışmanın önceliği direnç tipi ve mekanizmalarının belirlenmesi ve çevresel etkileri oldu. İnsanların rasyonel antibiyotik kullanımı konusunda bilinçlendirilmesi teması ağırlık kazandı. Bu toplantılara etkin olarak katılan Türkiye'nin de yapmayı hedeflediği ana başlıklar oluştu. Bu derleme; denizel ekosistemlerin, antibiyotik direncin edinimi ve yayılmasını etkilemedeki rolünün daha iyi anlaşılmasını ve direnç için bir rezervuar gibi hareket etmeye yönelik davranışını Marmara Denizi çalışmaları ile tanımlamayı amaçlamaktadır.

Giriş

İnsanlık tarihinin önemli buluşlarından olan antibiyotikler, mikrobiyal enfeksiyonların önlenmesi ve tedavisi için hem insan hem de veteriner hekimlikte yaygın şekilde kullanılan tıbbi bileşiklerdir. Antibiyotiklerin, giderek artan uygunsuz ve gereksiz kullanımları sonucu maalesef "mikroorganizmalarda direnç sorunu" ile karşılaşmıştır. Çünkü mikroorganizmalar, kendilerini yok etmek için kullanılan anti mikrobik maddelere, bir mekanizma ile er ya da geç karşı koyma gücü yani direnç kazanmaktadır. DNA moleküllerinde bulunan genlerde modifikasyonlara neden olan mutasyonlar veya yeni direnç genlerinin kazanımını sağlayan horizontal gen transferleri, bakterilerin antimikrobiyal ajanlara maruz kalması sonucu ortaya çıkan seçici baskının üstesinden gelmede organizmanın yeteneğine katkıda bulunmaktadır. Günümüzde sadece hastane kökenli değil çevreden kazanılmış direnç önemli oranlarda artmış, bu olay sorunu daha da büyütüp ciddi boyutlara taşımıştır. Bu strateji ile direnç sorunu,

bütün insanlığı tehdit edecek düzeyde bir sorun haline gelmiştir.

Antibiyotiklerin üretim ve tüketimindeki artışa bağlı olarak gelişen antibiyotik direnci (AR), sucul çevrede doğal olarak bulunan mikroorganizmalar ile insan ve hayvan kaynaklı mikroorganizmalar arasında direnç genlerinin aktarımına neden olmaktadır. Bu aktarım sonucunda mikroorganizmaların gen havuzunda önemli değişiklikler gözlenmektedir. Bu uzun vadeli ve geri dönüşümsüz etkiler sonucunda ekolojik dengenin bozulması, mikroorganizmaların doğal seleksiyona uğrayarak çok sayıda direnç genlerine sahip olmasına neden olmaktadır. Uluslararası toplantılarda, AR sorununun çözümü için, projelerle desteklenmesi gerekliliği önemle ifade edilmiştir. Birçok ülke sağlık araştırmalarında bu konuya destek vermiştir. Bu amaçla, çalışmaya istekli diğer ülke araştırmacılarına olanak sağlayan NERC, BBSRC, MRC gibi uluslararası araştırma kuruluşları, farklı ülke katılımlı olabilecek bu projelere £6.5m bütçe ile önderlik etmektedir. Projelerde 4 ana başlıkta çalışmak gerektiği önemle belirlenmiştir. 1. Dirençli bakterileri tanımlamak/anlamak, 2. Terapötik ve teşhis yöntemlerine ait gelişimi hızlandırmak; 3. Gerçek dünya etkileşimlerini anlamak; 4. Sağlık hizmetleri ortamında ve sonrasında durum tespiti yapmak. Benzer proje çağrılarında olduğu gibi bu programda da amaç, antibiyotik direncin gelişimi, kazanılması, yayılması ve ekosistemlerin rezervuar olarak görev almasında; dış ortamın rolünü daha iyi anlayabilmeyi sağlamaktır. Program ayrıca antibiyotik dirençli bakteriler veya

bakteriyel direnç genlerinin, klinik ve / veya veteriner tedaviler açısından önemini ortaya koymayı hedeflemektedir. Desteklenen araştırmalarla, tarım, su ürünleri yetiştiriciliği, atıksu/arıtılmış sular ve doğal ortamlar, sucul alanlarda çevre ile etkileşimin sonuçlarını dikkate alarak bakteriyel direnç genleri ve AR önemi belirlenmeye çalışılmaktadır.

Bulgular ve sonuçlar

Denizel alanlar hem dinlenmek hem de spor ve açık alan etkinliği yapmak için, yani rekreasyonel amaçla tercih ettiğimiz özel alanlardır. Ancak maalesef bu özel denizel alanlar aynı zamanda evsel/endüstriyel atıkların ve gemi kaynaklı atıkların da etkisi altındadır. Özellikle Marmara Denizi, Türkiye'nin bir iç denizi olma özelliği yanı sıra, son 20 yıldır yoğun kirlilik baskısını hisseden ve hissettiren özelliği ile dikkati çekmektedir. Ekonomik olarak av verebilen 40-50 balık türü, artık 15-20 balık türüne kadar gerilemiş, yıllık av miktarları da aynı oranda azalmış, çoğu türün ise ne avı ne de kendisi görülemez olmuştur. Biyoçeşitlilik adına büyük kayıplar yaşayan Marmara Denizi, değişen kıyısız alan kullanma bilinci ve kentleşme sorunları ile florasında da değişimler göstermeye başlamıştır. Her ne kadar akutik çevrelerde bakteriler ekosistemin doğal bir parçası olsa da, evsel atıkların ve yoğun kirliliğin olduğu alanlarda tespit edilen özel bakteri türleri, yoğun fekal kontaminasyonu temsil etmektedir. Evsel atıkların temel göstergesi olan bakteriler, yoğun kirliliğin asıl araştırma konusunu oluşturmaktadır. Çünkü bu atıklarda tespit edilen indikatör bakteriler, aynı



Antibiyotiklerin üretim ve tüketimindeki artışa bağlı olarak gelişen antibiyotik direnci (AR), sucul çevrede doğal olarak bulunan mikroorganizmalar ile insan ve hayvan kaynaklı mikroorganizmalar arasında direnç genlerinin aktarımına neden olmaktadır.

zamanda potansiyel patojen bakteri varlığını temsil etmektedir. Normal florası gereği denizlerde beklenmeyen patojen bakterilerin bu denli yoğun oluşunun tek açıklaması vardır. Atıksuların farklı kaynaklarla denizlere kadar ulaşabilir olması ve ihtiva ettiği bu bakterilerin ortama adaptasyonu yanıtın kendisidir. Marmara Denizi florasında karşımıza çıkan bu değişimin nedenini, atıksuların farklı kaynaklarla denizlere kadar ulaşabilir olması ve bakterilerin ortama mükemmel adaptasyonu olarak yanıtlamak mümkündür.

Türkiye’de su kaynaklarının (açık deniz suları hariç) bütün parametrelere ait sahip olması gereken alt ve üst sınırları ve tavsiye edilen değerleri içeren yönetmelik Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği’dir. Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) nün de, mikrobiyolojik su kalitesi ile ilgili kabul ettiği bakteriyolojik parametreler, “Toplam koliform” ve “Fekal koliform” ile tanımlanmaktadır. Çünkü koliformlar insan ve hayvan dışkılarındaki bakterilerin çoğunluğunu teşkil etmektedirler. Türkiye’de, “Membran Filtrasyon (MF)” metodu ile ölçülen üst limitler sırasıyla >100000/100 mL ve >2000/100 mL sınırındadır. Tüm yüzey sularının dahil edildiği bu yönetmelik ile oluşturulan kalite sınıflarına göre, Türkiye sularının maalesef ancak %5 i “Sınıf I-Yüksek kaliteli su” niteliğindedir. Oysa, Dünya’da kabul gören WHO, USEPA ve WRC’a göre, özellikle rekreasyonel amaçla kullanılan sucul alanlarda, fekal koliform bakteri değeri 200/100 mL sınırını aşmamalıdır. USEPA bu değerini aşılması durumunda, tatlı sularda her 1000 yüzücünden

8’inin; denizlerde ise her 1000 yüzücünden 19 kişinin enfekte olabileceğini ifade etmektedir. Maalesef denizlerimizde özellikle atıkların denizle bulunduğu alanlarda ise, bu değerler çoğu kez 10^6 seviyesine kadar ulaşmaktadır. Bakmaya kıyamadığımız bu alanlara, umarsızca bırakılan atıkların ve atıksuların bakteri hediyesi, limitlerin binlerce katı kadardır.

İstanbul ili kıyısı alanı özelinde, 15 yılı aşkın süredir yapılan çalışmalarda, en az 40 farklı istasyon her ay alınan örneklerle izlenmektedir. İzleme sadece üniversitelerin ilgili birimlerince değil, yetkili kurumlarca da dikkatle sürdürülmektedir. Zaman zaman farklı değerler alan birimler olsa da veyahut mevsim ve istasyonlara ait düşüşler kaydedilse de, takip edilen istasyonların çoğu kez sınır değerleri aştığı belirlenmiştir. İstanbul güneybatı sahili yüzey sularındaki enterik bakterilerin tespiti çalışmalarında ise, son 8 yıldır mevcut bakteriyel kirlilik seviyesinin akuakültür, balıkçılık ve rekreasyonel aktiviteler için belirlenen değerlerin çoğu kez üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sayısal değerler dışında, patojenlerin varlığını belirlemek üzere yapılan çalışmalar ise farklı bir gerçeği ortaya koymuş, özellikle Gram negatif patojen türlerin baskın olduğu belirlenmiştir. İçlerinde en masum olan *Escherichia coli*; yanında *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Aeromonas hydrophila* ile akla gelen ilk bakteriler örneklerindendir. Hem ekosistem hem de halk sağlığı açısından tehditkâr olan bu durum, bir de antibiyotik dirençli bakterilerin ortamdaki varlığı ile farklı bir risk oluşturabilmektedir. Farklı antibiyotik direnç genlerine sa-



İstanbul ili kıyısı alanı özelinde, 15 yılı aşkın süredir yapılan çalışmalarda, en az 40 farklı istasyon her ay alınan örneklerle izlenmektedir. İzleme sadece üniversitelerin ilgili birimlerince değil, yetkili kurumlarca da dikkatle sürdürülmektedir.

hip bu bakteriler, özgürce yüzey sulara, dip sulara, sedimente yani tüm deniz ekosistemine yayılabilmektedir.

Marmara Denizi barındırdığı eşsiz güzellikler yanında, misafir ettiği patojenlerin, enfeksiyon hastalıklarının tedavisinde kullanılan antibiyotiklerle bir arada bulunmasına da ev sahipliği yapmaktadır. Öyle ki, farklı antibiyotik direnç genlerine sahip bu bakteriler, özgürce yüzey sulara, dip sulara, sedimente yani tüm deniz ortamına yayılabilmektedir. Çevrelerinde meydana gelen değişikliklere hızlı uyum sağlayabilen bakteriler, bünyesinde bir kez direnç mekanizmasını geliştirdiğinde, ağır metaller dahil farklı direnç yetenekleri de edinebilmektedir. Yapılan çalışmalarda, özellikle evsel atıkların, R-plazmid taşıyan ve çoğunluğu insan barsak florasından kaynaklanan bakteriler içerdiğini göstermektedir. Bu bakterilerde antibiyotiklere dirençlilik kazandıran R-plazmidleri yaygın olarak bulunduğundan, atıksuların çevre sularına deşarjı ile bu tip dirençli bakterilerin çevreye yayılmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Antibiyotikler, genellikle, canlı mikroorganizmaların bazı özel türleri tarafından sentezlenen kemoterapötik maddelerdir. Antibiyotik deyimi, bu substansı sentezleyen etkenin dışındaki başka tür mikroorganizmaların üreme ve aktivitelerine engel olma özelliği gösteren maddeleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Antibiyotikler, genellikle, mikroorganizmalar üzerinde hücre duvarı, sitoplasmik membran, protein, veya nükleik asit sentezlerine engel olarak veya bo-

zarak etki yapmaktadır. Penisilin, sefalosporin, sikloserin, vankomisin, ristosin, fulvisin gibi antibiyotikler hücre duvarı sentezine mani olurken; aktinomisin, mitomisin, tetrasiklin, streptomisin, kanamisin, neomisin, gentamisin, tetrasiklin, streptomisin, kanamisin, neomisin, gentamisin, spektinomisin, kloramfenikol, eritromisin, makrolitler, linkomisin, puromisin, fusidin gibi antibiyotikler protein sentezini inhibe etmektedir. Mitomisin, novabiosin, griseofulvin, rifamisin ise nükleik asit sentezine engel olmaktadır. Kinolon'lar da DNA gyrase aktivitesini önlemektedir. Geniş spektrumlu beta-laktamaz'lar (GSLB) plazmid kaynaklı beta-laktamazlardır, sıklıkla Klebsiella türleri ve E.coli 'de bulunurlar ancak Enterobacteriaceae ailesinin diğer üyelerinde de bunlara rastlanmaktadır. Bu suşlar aynı zamanda aminoglikozid, kloramfenikol, tetrasiklin ve sulfonamidlere direnç genleri taşıyabilir, ayrıca safamisinleri de hidrolize edebilmekte ve plazmid kaynaklı olmadığı halde kinolonlara da direnç gösterebilmektedir.

Marmara Denizi'nde kıyısız alanlarda yürütülen lisansüstü çalışmalarda ve araştırmalarda, seçilen 10 farklı antibiyotiğin (ampisilin, amoksisilin, amikasin, streptomisin, nalidiksik asit, trimetoprim-sulfametoksazol, tetrasiklin, kloramfenikol, imipenem, seftazidim) direnç yüzdeleri incelenmiştir. Bu konuda alınan sonuçlar, özellikle beta-laktam (β-lactam) türevi antibiyotiklere dirençli bakterilerin yoğunluğuna işaret etmektedir. Yıllara göre değişim görülmekle birlikte, en yüksek direnç yüzdeleri sırasıyla ampisilin (%83.1), amoksisilin



İstanbul güneybatı sahili yüzey sularındaki enterik bakterilerin tespiti çalışmaları ise, son 8 yıldır mevcut bakteriyel kirlilik seviyesinin akuakültür, balıkçılık ve rekreasyonel aktiviteler için belirlenen değerlerin çoğu kez üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

(%57.8), tetrasiklin (%50.7), trimetoprim-sulfametoksazol (%42.2), nalidiksik asit (%38), seftazidim ve streptomisin (%16.9), kloramfenikol (%14.1) olarak tespit edilmiştir. Bu oran, İzmit Körfezi'nde deniz suyu örneklerinde, tetrasiklin için %50, sulbaktam/ampisilin için %62.5, penisilin için %62.5, gentamisin için %50, amikasin için %12.5, kloramfenikol için %37.5, sefoperazon için %25, kanamisin için %37.5, trimetoprim/sulfametoksazol için %62.5 olarak belirlenmiştir. Karadeniz'in doğu sahilinde, deniz suyu kökenli koliformlarda sınıf 1 ve sınıf 2 integron gen kasetleri ve antibiyotik direnç karakterizasyonu ile ilgili çalışmada, direnç oranları tetrasiklin (%23.2), ampisilin (%20), sulfametoksazol (%11.6), streptomisin (%9.3), kloramfenikol (%4.6), trimetoprim (%2.3) yüzde değerlerle ifade edilmiştir. İskenderun Körfezi'nde yapılan bir araştırmada ise, izole edilen gram negatif bakteri suşlarında, en yüksek antibiyotik direnci ampisilin (%93.2), streptomisin (%90.2), sefazolin (%81.3), imipenem (%16.5), meropenem (%13.9), sefepim (%8) olarak sıralanmıştır. Türkiye'nin çok farklı kıyısız alanları ve denizlerinde yürütülen çalışmalarda bulunan bu yüksek direnç yüzde değerleri ve plazmid, transpozon, integron gibi mobil elementler yoluyla aktarılabilen direnç genlerinin, patojen bakterilere aktarılabileceği olasılığı irdelendiğinde, denizlerde antibiyotik direnç konusunun hassasiyeti açıkça ortaya çıkmaktadır. İnsan kökenli kirlilik girdisi etkisinin yanı sıra, Marmara Denizi'ne giriş çıkış yapan ve birçok denizimizde seyir halinde bulunan gemilerin balast tanklarından izole

edilen bakteri örneklerinde de, antibiyotiklere yüksek oranda direnç tespit edilmiştir. Bu balast sularının herhangi bir denize deşarjı halinde, var olan riske ilaveten oluşabilecek risk de ortadadır. Antibiyotik direnç konusunun sadece medikal anlamda değil, yüzey ve deniz sularında da çalışılması gerekliliği açıkça ortaya çıkmaktadır.

Öneriler

Anlaşılan odur ki, insan ve hayvan tıbbı için antibiyotiklerin yoğun kullanımı, bakteriler üzerinde seçici bir baskı oluşturmakta, bu baskı antibiyotik direncinin ortaya çıkmasına ve yayılmasına neden olmaktadır. Antibiyotik dirençli bakteriler nehir, dere veya diğer su akımları vasıtasıyla rahatlıkla denizlere ulaşarak bitkisel ve hayvansal besin kaynağı olan deniz ekosistemlerine de direnç genlerini yaymaktadır.

Düşünülen ve bilinenin aksine, tedavi için elzem olan antibiyotikler «en büyük ve en acil ele alınması gereken küresel tehlike: antibiyotik direnç sorunu» olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sorunun çözümü için akılcı olmayan ilaç kullanımının önüne geçilmesi ve ulusal bilinç kampanyaları ile "Akılcı Antibiyotik Kullanımı" eğitim ve bilginin verilmesi gereklidir. Ama aynı zamanda, antibiyotik dirençli bakterilerin doğal sulara ve denizlere ulaşarak, deniz ekosistemlerine de direnç genlerini yayabileceği bilinmelidir. Yürütülen başarılı ulusal kampanyalara ilaveten, bu küresel sorunun aşılma hedeflerine, çevre ile ilgili projelerin ve araştırmaların eklenmesi elzemdir. Türkiye bu konuda da, bölgesinde güçlü bir lider olma özelliğinde, bilinç kampanyaları ve araştırma projelerine devam etmektedir.



Antibiyotikler, genellikle, mikroorganizmalar üzerinde hücre duvarı, sitoplasmik membran, protein, veya nükleik asit sentezlerine engel olarak veya bozarak etki yapmaktadır.

Teşekkür

Çalışmaların yürütülmesinde, laboratuvar imkanlarının kullanılmasına olanak veren İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ne; proje desteklerinden ötürü İÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine; teknik ve saha çalışmalarında emeği geçen İÜ ÇEMİK ekibine teşekkür ederim.

Kaynaklar

Akalın, H. (2011) "Antimikrobiyal direnç ve önleme politikaları", ANKEM Dergisi, 25 (3) 190-195.

Akbulut V. (2012) "İstanbul Güneybatı Sahili'nden İzole Edilen *E.coli* Suşlarının Antibiyotik Direnç Karakterizasyonu" İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Altuğ G, Gürün S, Çardak M, Çiftçi PS, Kalkan S. (2012) "Occurrence Of Pathogenic Bacteria In Some Ships' Ballast Water Incoming From Various Marine Regions To The Sea Of Marmara, Turkey", *Marine Environmental Research*, 81, 35-42.

Baggs J, Fridkin SK, Pollack LA, Srinivasan A, Jernigan JA. (2016) "Estimating National Trends in Inpatient Antibiotic Use Among US Hospitals From 2006 to 2012", *JAMA Intern Med.*, 176(11):1639-1648.

Çardak M & Altuğ G. (2010) "Distribution Of Members Of The Family Enterobacteriaceae In The Istanbul Strait ", *J. Black Sea/Mediterranean Environment*, 16, 295-310.

Çelebi H.& Sponza D. (2007) "Antibiyotiklerin Çevresel Etkileri, Toksisiteleri ve Anaerobik Arıtılabilirlikleri" 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 24-27 Ekim 2007, İzmir.

Çelikkale M.S., Sivri N., "Değişen Marmara Denizi ve Değişen Su Ürünleri", *Şehir ve Toplum*, 4 (4) 19-27 (2016).

Çolakoğlu F, Özgümüş OB, Sandallı C, Çelik-Sevim E, Alpay Karaoğlu Ş. (2010) "Deniz Suyu Kökenli Koliformda Sınıf 1 ve Sınıf 2 Integron Gen Kasetleri

ve Antibiyotik Direncinin Karakterizasyonu" *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 40 (2), 97-108.

Forrest RD (1982). "Early history of wound treatment" *J R Soc Med.* 75 (3): 198-205. PMC 1437561.

Hawkey, P. M. (2008). The growing burden of antimicrobial resistance. *J. Antimicrob. Chemother.* 62 (Suppl. 1), i1-i9.

Karayakar F, Ay Ö, Cıkcı B. (2004) "Mersin Kıyı Şeridinden Alınan Su Örneklerinden İzole Edilen *Escherichia coli* Suşlarının Bazı Antibiyotiklere Karşı Plasmid Kökenli Dirençliliğin Saptanması" *Eko. Çev. Kor.* 13 (52) 28-32.

Linder JA, Levine DM (2016) "Health Care Communication Technology and Improved Access, Continuity, and Relationships The Revolution Will Be Uberized" *JAMA Intern Med.*, 176(5):643-644.

Matyar F, Dinçer S. (2010) "Doğu Akdeniz'den İzole Edilen *Enterococcus faecalis* Bakterilerinin Antibiyotik ve Ağır Metal Dirençliliği" *Journal of Science*, 5 (2), 172-178.

Mc Kenna M (2016). "In First, UN Will Consider Antibiotic Resistance" *National Geographic* (published 8 Sep 2016)

Mc Kenna M (2016). "A Third of People Given Antibiotics Don't Need Them" *National Geographic* (published 29 Nov 2016)

Oram B. (2014) "Bacteria in the Environment and Drinking Water" Water Research Center (WRC) <http://www.water-research.net/index.php/bacteria-in-the-environment-and-drinking-water>

Quintiliani R Jr, Sahm DF, Courvalin P. (1999) "Mechanisms of resistance to antimicrobial agents." Manual of Clinical Microbiology, Eds : Murray PR, Jo Baron E, Pfaller MA, Tenover FC, Tenover RH. 7th ed, ASM Press, Washington, D.C., 1505-1525.

Öztürk, R., (2002) "Antimikrobik İlaçlara Karşı Direnç Gelişme Mekanizmaları ve Günümüzde Direnç Durumu", Akılcı Antibiyotik Kullanımı ve Erişkinde Toplumdan Edinilmiş Enfeksiyonlar Sempozyum Dizisi, İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Sürekli Tıp Eğitimi Etkinlikleri No: 31, 83-100.

Robinson, J. B. & Tuovinen, O. H., (1984) "Mechanism of microbial resistance and detoxification of mercury and organomercury compounds: Physiological, Biochemical, and Genetic Analyses." Microbiological Reviews 48(2), 95-124.

Sandallı C, Özgümüş OB, Sevim A. (2010) "Characterization of Tetracycline Resistance Genes in Tetracycline-Resistant Enterobacteriaceae Obtained from a Coliform Collection" World J Microbiol Biotechnol, 26, 2099-2103.

Sivri N & Seker DZ. (2010) "Investigation of Enteric Bacteria of Surface Waters in the Southwestern Istanbul Coast by Means of GIS" Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences (TrJFAS), 10 (4) 505-511.

Sivri N, Sandallı C, Ozgumus OB, Colakoglu F, Dogan D. (2012) "Antibiotic Resistance Profiles of Enteric Bacteria Isolated from Kucukcekmece Lagoon (Istanbul-Turkey)" Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences (TRJFAS), 12, 699-707.

Sivri N, Balci M, Durmus T, Seker DZ, Balkis N. (2012) "Analysis Of Enteric Bacteria Distribution in the Gulf of Gemlik By Means Of GIS", Fresenius Environmental Bulletin (FEB), 21 (11) 3224-3232.

Sivri N, Jones M, Allen M. (2014) "Pseudomonas aeruginosa Isolated From Seawater the Marine Environments in the Istanbul Coastal Area", Fresenius Environmental Bulletin (FEB), 23 (12b) 3340-3344.

Sivri N, Allen MJ, Jones M, Akbulut V. (2014) "Potential Public Health Significance of Faecal Contamination in South-western Coastal Area in Istanbul, Turkey", Journal of Pure And Applied Microbiology (JPAM), 8(5), 3789-3796.

Sivri N, Şeker DZ, Şapçı Z, Üstün B. (2011) "Monitoring of the Enteric Bacteria of the Küçükçekmece Lagoon (Istanbul) by GIS", Marine Ecosystems & the issue of Marine Natural Products and their Bioactive Metabolites, Bogor, Indonesia, 25th -27th October 2011.

Sivri N, Balci M, Balkis N, Jones M, Allen MJ. (2013) "Detection of *Escherichia coli* with *UidA* Gene in Marine Environment of Kapıdağ Peninsula (Marmara Sea)", 40th CIESM Congress, 28 Oct -1 Nov 2013 Marseille, France.

Sivri N, Sisli NS, Algur D, Akbulut V. (2011) "Multiple Antibiotic Resistance Indexing of *E.coli* in the Southwest Coast of Istanbul", Marine Ecosystems & the issue of Marine Natural Products and their Bioactive Metabolites, Bogor, Indonesia, 25th -27th October 2011.

Sivri N & Akbulut V. (2016) "Antimicrobial Susceptibility of *Escherichia coli* Strains Collected from the Southwestern Coast of Istanbul" Biosciences Biotechnology Research Asia, 13(2): 785-793.

Slaven Jozić & Mladen Šolić (2017) "Effect of Environmental Conditions on *Escherichia coli* Survival in Seawater", Chapter 9, *Escherichia coli*, Recent Advances on Physiology, Pathogenesis and Biotechnological Applications, 169-186.

Walter MV & Vennes JW. (1985) "Occurrence of multiple-antibiotic-resistant enteric bacteria in domestic sewage and oxidation lagoons" Applied environmental microbiology, 50, 930-933.

Waksman SA (1947). "What Is an Antibiotic or an Antibiotic Substance?" Mycologia. 39 (5): 565-569.

Wainwright (1989). "Moulds in ancient and more recent medicine" Mycologist. 3 (1): 21-23.

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği - 15.04.2015 tarih ve 29327 sayılı Resmi Gazete

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği - 10.08.2016 tarih ve 29797 sayılı Resmi Gazete

TC Sağlık Bakanlığı, Akılcı İlaç Kullanımı http://www.akilciilac.gov.tr/?page_id=88

GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELERDE, SANAYİ ATIKLARININ YÜZDE 70'İ SULARA İŞLENMEMİŞ OLARAK BIRAKILMAKTA VE SU KAYNAKLARINI KİRLİLETMEKTEDİR.



KAYNAK: NATIONAL GEOGRAPHIC

SU KAYNAKLARININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ VE KORUNUMU

Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR BALKIS, Dr. Öğr. Gör. Abdullah AKSU, Arş. Gör. Nagihan KORKMAZ
Dr. Öğr. Gör. Ömer S. TAŞKIN / İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Ayhan FİLAZİ, Prof. Dr. Ender YARSAN, Doç. Dr. Begüm YURDAKÖK DİKMEN
Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim Dalı

Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU, Prof. Dr. Volkan DEMİR
İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Denizel Çevre Anabilim Dalı

Yeryüzünün en önemli doğal kaynaklarından olan su, iklim değişimleri ve küresel ısınma nedeniyle hızla azalırken, Amerika'da buharlaşmayı engelleyici yüzey aktif maddeleri geliştirilmiş ve dünyanın özellikle kurak bölgelerinde (Kanada, A. B.D, Meksika, Avustralya, Singapur, Şili ve Batı Afrika) düzenli olarak kullanılmaya başlanmıştır. Söz konusu bu ürünün su kalitesi ve canlı kaynaklar üzerine potansiyel etkisinin araştırılması amacıyla DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı'nca uygun görülen ve Ankara'nın 16 km kuzeyinde bulunan Kösrelik Göleti'nde Temmuz 2015-Mart 2016 döneminde uygulama başlatılmış ve "WaterSavr" isimli ürünün uygulaması sonucunda gölette su kalitesinin iyileştiği tespit edilmiştir. Su ve sedimentlerde ürünün yapısında bulunan bileşiklere ve bozunma ürün-

lerine rastlanmamıştır. Sitotoksikite çalışmaları da ürünün sitotoksik etki göstermediğine işaret etmiştir. Ayrıca % 38'e varan oranlarda buharlaşmanın azaldığı da belirlenmiştir.

Giriş

Türkiye, sanılanın tersine su zengini bir ülke değildir. Hâlen kişi başına düşen 1.519 m³'lük su miktarı ile "su sıkıntısı çeken" bir ülke olarak kabul edilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Türkiye nüfusunun 2030 yılında 100 milyona ulaşacağını öngörmektedir. Bu durumda, kişi başına düşen su miktarının 1.120 m³/yıl olması beklenmektedir. Başka bir deyişle, artan nüfusu, gelişen ekonomisi ve büyüyen kentleriyle Türkiye, "su fakiri" olma yolunda ilerlemektedir. Diğer yandan, içmesuyu ve kentsel kullanımla ilgili riskler yeterli miktar ve kalitede suyun varlığı, insan



Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Türkiye nüfusunun 2030 yılında 100 milyona ulaşacağını öngörmektedir. Bu durumda, kişi başına düşen su miktarının 1.120 m³/yıl olması beklenmektedir.

sağlığıyla doğrudan ilişkilidir. Çarpık şehirleşme, iyi bir kanalizasyon ve arıtma sisteminin olmaması ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan atıklar, suyun kirlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Su kaynakları açısından zengin bir ülke olmayan Türkiye’de artan nüfus, bu baskının giderek daha fazla hissedilmesine neden olacaktır. Özellikle büyük kentlerdeki plansız büyüme ve artan nüfus yoğunluğu suya ilişkin sorunların kısa vadeli ve yüzeysel değil, uzun vadeli ve stratejik çözümlerle giderilmesini gerektirmektedir. Büyük kentlerde yaşanan su açığı, komşu havzalardan su transferi ile kapatılmaya çalışılmaktadır. İstanbul’daki su sıkıntısının İstranca dereleri ve Melen Çayı’ndan su getirilerek çözülmeye çalışılması da bu duruma örnek teşkil etmektedir (Uyduranoğlu ve Aksoy, 2014).

Ayrıca sera etkisi ve daha birçok faktöre bağlı olarak mevsimlerdeki değişimler ve ortalama sıcaklıkta yükselişler yaşanmaktadır. Ülkemizin büyük bir kısmı ya kurak ya da çok kurak alanda olduğundan buharlaşma ile kayıplar çok fazladır. Bu nedenle buharlaşmayı en aza indirmek önemli ölçüde su tasarrufu sağlayacaktır. Suyun buharlaşmasını en aza indirgeyerek su kaybı minimize etme fikrinden yola çıkılarak su rezervuarlarını yüzey film tabakasıyla kaplayan malzemeler üretilmeye çalışılmıştır. Ancak bu malzemenin biyolojik olarak kolay bozulması, su atmosfer alışverişini tamamen kesmemesi ve ekolojik dengeye zarar vermemesi gerekmektedir. Bu çalışmada Ülkemizin özellikle kurak bölgelerindeki sulak alanlarda uygulanabilmesi hedeflenen “WaterSavr” isimli ürünün kolay biyobozunur olduğunun belirlenmesi, su kalitesi ve canlı kaynaklar üzerine olan

etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonunda elde edilecek bulgular Ulusal ve Uluslararası literatüre önemli katkılar sağlayacak olup, bundan sonraki uygulamalara da ışık tutacaktır.

Çalışma alanı

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı’nca belirlenen Köşrelilik Göleti Ankara’nın 16 km kuzeyinde, Köşrelilik köyünün 1,5 km kuzeydoğusunda Ulu derenin Sarıkaya Tepesi civarında girdiği dar boğazdadır. Köşrelilik Göleti 40°4,46’ Kuzey Enlemi ve 32°52,17’ Doğu Boylamı arasında yer almaktadır. Gölet havzası yüzey alanı yaklaşık 6,5 hektardır (Şekil 1).



Şekil 1. Köşrelilik Göleti (Pursaklar/Ankara).

Biyobozunur ürünün özellikleri

“WaterSavr” yeni, patentli ve su yüzeyi buharlaşmasını kontrol eden bir üründür. Kolay uygulanabilen toz kıvamında hidrasyonlu kireç (sönmüş kireç), Setil/Stearil Hidroksi Alkanları ihtiva eder. ABD Patent No: 6,303,133 Dünya çapında patent alınmıştır (Robert O’Brien, 2001). UNEP, US EPA ve NSF-ANSI 60 onaylıdır. Depolanmış ve yavaş akan su-



“WaterSavr” yeni, patentli ve su yüzeyi buharlaşmasını kontrol eden bir üründür. Depolanmış ve yavaş akan sularda buharlaşma ile kaybolan suyu, kuraklık dönemleri de dahil ortalama %35 civarında azaltarak insanların kullanımına sunar.

larda buharlaşma ile kaybolan suyu, kuraklık dönemleri de dahil ortalama %35 civarında azaltarak insanların kullanımına sunar. Diğer kimyasal film oluşturulan alternatif ürünlere göre çevre dostu ve ekonomik olarak uygulanabilir. Ürünün formülasyonuna baktığımızda da hem biyo bozunur hem de ekolojik denge üzerinde olumsuz etkisinin olmadığı görülmektedir. Çünkü "WaterSavr" % 90 Kalsiyum Hidroksit (Gıdada kullanılabilir söndürülmüş kireç) ve % 10 Heksadekanol ve Oktadekanol – (Doğal Hindistan Cevizi / Palm yağı ekstraktı) bileşiklerinden oluşmaktadır. Bozunma süresi 48-72 saattir. Fotooksidasyon, kimyasal ve mikrobiyolojik bozunma reaksiyonları ile H_2O ve CO_2 'e kadar bozunmaktadır. (www.flexiblesolutions.com/products/watersavr)

Bulgular ve Değerlendirme

Çalışmamızda Köşrelilik Göleti'ni temsil eden 6 istasyonda; a) Yüzey ve dip olmak üzere 2 derinlikte 10 adet su kalitesi parametresinin (sıcaklık, bulanıklık, askıda katı madde, çözünmüş oksijen, besin elementleri, sertlik, pH, klorofil-a, yüzey aktif madde) ölçümleri yapılmıştır. b) Suda ve sedimentte ürünü temsil eden bileşiklerin ve bozunma ürünlerinin bulunabilirliği incelenmiştir. c) Gölet suyu ile sulanan toprakta yetiştirilen domateslerde ürünü temsil eden bileşiklerin ve bozunma ürünlerinin bulunabilirliği incelenmiştir. d) Toksikite çalışmaları kapsamında *in vitro* araştırma yapmak amacıyla, uygulama sonrasında alınan su ve sediment numuneleri, ekstraksiyonu takiben gökkuşağı alabalığı gonadal hücre kültürü (RTG2)'ne uygulanmış ve olası sitotoksik etkiler MTT, LDH ve Nötral Kırmızı testleri ile endokrin bozucu etkinlik ise EROD Deneyi ile

değerlendirilmiştir. e) Kimyasal kiletici olarak da pestisit ölçümleri yapılmıştır.

Köşrelilik Gölet'inde gerçekleştirilen "WaterSavr" uygulaması sırasında ölçümü yapılan su kalitesi parametrelerinin istatistiki olarak değerlendirilmesi sonucunda; bulanıklık, sertlik ve çözünmüş oksijen değerleri herhangi bir değişiklik göstermezken, pH ve klorofil-a değerleri artmıştır. Ancak bu artış düşük seviyelerde olup, SKKY Çizelge 2'ye göre de uyumluluk göstermektedir. Askıda aktif madde, fosfat, azot ve yüzey aktif madde değerleri ise azalmıştır. Bu durum da söz konusu ürün etkisiyle dibe olan çökelmelerin bir sonucudur. Yapılan literatür incelemesinde göletlerde bulanıklığın giderilmesinde ve fosfat gideriminde kalsiyum bileşiklerinin ($Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, $CaSO_4$) kullanıldığı ve başarılı sonuçlar alındığı görülmektedir (Wu ve Boyd, 1990; Murphy v.d. 1989). Göletin ortasına yerleştirilen tanklarda yapılan gözlem sonucunda ürünün uygulandığı tankta yosun oluşumunun görülmesi de WaterSavr'ın sulak alanlardaki iyileştirici özelliğini desteklemektedir (www.flexiblesolution) (Şekil 2). Suda kimyasal kirlilik sonuçlarına göre WaterSavr uygulanmadan önce (Temmuz) ve uygulandıktan sonra (Ağustos) toplanan su numunelerinde yalnızca 4,4-DDE, PBDE17, PBDE47, PBDE66, PBDE100 ve PBDE153 tespit edilmiştir. WaterSavr'ın içeriğinde bu türden kirliliklerin bulunmadığı bilindiğinden, bunların ya daha sonra çeşitli atıklarla suya bulaştığı (PBDE47 için 3, 5 ve 6 nolu istasyon; PBDE100 için 1 nolu istasyon) ya da önceden (tüm kirlilikler için) suya karıştıkları söylenebilir.

Su ve sediment örneklerindeki MTT,



Şekil 2. WaterSavr'ın uygulandığı ve uygulanmadığı tanklar.

LDH, Nötral Kırmızı ve EROD deneyleri ile WaterSavr isimli ürünün doğrudan kendisi ile yapılan testler karşılaştırıldığında, ürünün herhangi bir sitotoksisite yapmaması, ancak 1, 2 ve 6. istasyonlardan alınan sediment numunelerinin Kasım ayında sitotoksik etkinlik göstermesi, bunun üründen kaynaklanmadığını göstermektedir. Bu sonuç, kimyasal kirlilik analiz sonuçlarının da gösterdiği gibi gölün dışarıya açık ve çevreden gelen kirleticilere maruz kalabilmesi nedeniyle dışarıdan gelen kimyasal veya benzeri birçok kirliliğe atfedilebilir. Sonuç olarak "WaterSavr" isimli ürünün uygulaması sonucunda Köşrelik Göleti'nde su kalitesinin iyileştiği tespit edilmiş olup, su ve sedimentlerde ürünün yapısında bulunan bileşiklere ve bozunma ürünlerine rastlanmamıştır. Uygulama öncesi ve sonrası tespit edilen çözünmüş oksijen değişimlerinden yüzeyde film tabakası oluşturma özelliğine bağlı olarak atmosfer-su yüzeyi arasındaki gaz alışverişlerini engellemediği de görülmüştür. Sitotoksisite çalışmaları da ürünün sitotoksik etki göstermediğine işaret etmiştir. Bu durum ürüne ait literatür çalışmalarıyla da uyumluluk göstermektedir (McGuire Environmental Consultants, Inc. 2004; Babu v.d., 2010; Sovocool v.d., 2012). Köşrelik Göleti'nin küçük bir rezervuar

olması, dışı kapalı olması balık ve benzer canlı göçlerinin olmaması etkilerin daha hızlı görülme ihtimalini arttırarak avantaj sağlamıştır ancak çalışma başlangıcından bu yana fauna ve flora da üründen kaynaklanan olumsuz bir etkinin görülmemiş olması olumlu bir sonuçtur (Şekil 3). Araştırma faaliyetleri süresince Köşrelik Göleti'nde yoğun su bitkisi ölümleri gerçekleşmemiş, ani değişimler ve tür dağılımlarında da önemli değişiklik tespit edilmemiştir. Buharlaşma miktarı oranlandığında yaklaşık % 38'e varan kazanç olduğu belirlenmiştir. Bu oran ürünün iddia ettiği tasarruf miktarıyla (% 30 - % 35) uyumlu olup, hatta biraz daha yüksektir (Final Report to Metropolitan Water District of Southern California, WaterSavr Global Solutions, Inc, Aralık 2004; Sovocool v.d., 106:3, Journal AWWA, American Water Works Association, Mart 2014; McGuire Environmental Consultants, Inc. 2004; Babu v.d., 2010; Sovocool v.d., 2012). Bu beklenenden yüksek verim ürünün çevresel etkisini incelemek için fazla dozlama yapılmasıyla ilişkilidir.

Sonuç

Ülkemizin büyük bir kısmı yer aldığı iklim kuşağı nedeniyle ya kurak ya da çok kurak alanlara sahip olduğundan Türkiye'de 6 yıllık dönemlerle orta derece;



Buharlaşmayı en aza indirmek önemli ölçüde su tasarrufu sağlayacaktır.



Şekil 3. Köşrelilik Göleti'nde avlanmış *Cyprinus carpio* ve *Esox lucius* bireyleri.

18 yıllık dönemlerle de şiddetli meteorolojik kuraklıklar yaşanmakta ve bunun sonucunda da buharlaşma ile olan su kaybı çok fazla olmaktadır. Bu nedenle önümüzdeki yıllarda Türkiye su sıkıntısı yaşayan ülkeler arasında yer alacak ve kaynaklarını çok daha etkin kullanmayı amaçlayan politikalar izlemek durumunda olacaktır. Bu süreçte de buharlaşmayı en aza indirmek önemli ölçüde su tasarrufu sağlayacaktır. Diğer yandan son yıllarda hızla artan nüfus yoğunluğu ve sanayileşmeye bağlı olarak uygulaması başlatılan ve/veya geliştirilen ileri arıtma sistemlerinin yeterli olmaması sonucunda yeraltı ve yerüstü su kaynaklarımızda su kirliliği de önemli boyutlara ulaşmıştır. Yürütülen izleme çalışması sonucunda söz konusu ürünün su kalitesini iyileştirici özelliği de net olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda "WaterSavr" isimli ürünün sulak alanlarımızda (göl, gölet, baraj gölü vb.) rehabilitasyon ve su tasarrufu süreçlerine olumlu yönde katkı sağlayacağı aşikardır. Çalışmamızın çıktıları su kaynaklarımızın korunması ve yönetimi alanlarında izlenecek olan politikaların belirlenmesinde temel bir kaynak olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmada bizlere destek olan DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanı Mahir ÖZCAN ve Fatih Mehmet KOCABEYLER (eski), başkan yardımcısı Aysun ELEMEN başta olmak üzere, DSİ-5. Bölge Müdürlüğü, İşletme Bakım Şube Müdürü Cemal DİLEKTAŞLI, DSİ-Genel Müdürlüğü, Toprak Şube Müdürü Dr. Bilge OMAR, DSİ-5. Bölge Müdürlüğü, Etüt Plan Tahsisler Şube Müdürlüğü Atilla AYDOĞAN, DSİ-5. Bölge Müdürlüğü, İşletme Bakım ve Dairesi Başkanlığı personeli Fuat KARAASLAN'a, Bilim Kurulu Üyeleri ve Bilim Kurulu Koordinatörlerine, arazi çalışmalarımızda emeği geçen DSİ 5. Bölge Müdürlüğü şöförlerinden Ekrem KAYA ve DSİ 14. Bölge Müdürlüğü şöförlerinden Yaşar KÖSE'ye teşekkür ederiz (DSİ AR-GE AR-GE Proje No: 2015/3).



Ülkemizin büyük bir kısmı yer aldığı iklim kuşağı nedeniyle ya kurak ya da çok kurak alanlara sahip olduğundan Türkiye'de 6 yıllık dönemlerle orta derece; 18 yıllık dönemlerle de şiddetli meteorolojik kuraklıklar yaşanmakta ve bunun sonucunda da buharlaşma ile olan su kaybı çok fazla olmaktadır

Kaynaklar

Ayşe Uyduranoğlu Öktem ve Ayça Aksoy 2014. Türkiye'nin Su Riskleri Raporu. Nafiz Güder (WWF-Türkiye) Sedat Kalem (WWF-Türkiye), Editör Berivan Dural (WWF-Türkiye) Yayına Hazırlayan Defne Bayvas (WWF-Türkiye).

Babu Suresch F., Hans S. Eikaas , Anthony Price, and David Verlee 2010. Reduction of Evaporative Losses from Tropical Reservoirs using an Environmentally Safe Organic Monolayer (www.flexiblesolutions.com)

Bradford MM. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72, 248-254.

Kent Sovocool, David Verlee, Mitchell Morgan, Michael Drinkwine 2012. Testing a New Type of Monolayer Evaporative Suppressant for Water Savings in Lakes (www.flexiblesolutions.com)

McGuire Environmental Consultants, Inc. 2004. Product Evaluation – WaterSavr™ (www.flexiblesolutions.com)

NSF/ANSI 60 : Drinking Water Treatment Chemicals - Health Effects

Robert O'Brien. (2001). Film Spreading Powder for Suppressing Evaporation, US Patent 6,303,133.

Palmer, C.M., 1980. Algae and Water Pollution. Castle House Publications, 123 pp

US EPA : (Environmental Protection Agency) (1 ve 2) UNESCO, Water Shared Responsibility, The United Nations World Water Report II, Paris, 2006, s.121.

Wu, R. And C.E., Boyd 1990. Evaluation of calcium sulfate for use in aquaculture ponds. *Progressive*

YENİ BİR TÜR FENTON (ENZİMATİK FENTON) İLE ARITIM

Arş. Gör. Nagihan Ersoy KORKMAZ, Dr. Öğr. Gör. Abdullah AKSU, Dr. Öğr. Gör. Ömer S. TAŞKIN,
Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR BALKIS / İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı

Ertuğrul ASLAN

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Gebze



Bu çalışmada organik içeriği yüksek olan gemi atıksularının, bir ileri oksidasyon yöntemi olan fenton yöntemine ek olarak lakkaz enzimini kullanmak suretiyle yüksek verimlilikle kimyasal arıtımı hedeflenmiştir. Bunun yanında hem fenton yönteminde kullanılan kimyasalların miktarını azaltmak hem de arıtma çamurundaki organik madde miktarını minimuma indirmek de amaçlanmıştır.

Bu çalışmada Haydarpaşa atık toplama tesisinden alınan gemi atıksularının arıtımı için bir ileri Oksidasyon Yöntemi olan Klasik Fenton ile yeni bir tür Enzimatik Fenton uygulanmış ve her iki yöneme ait arıtım sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla sabit karışım hızı ve sabit sıcaklıkta, farklı pH değerlerinde (pH 3-5) demir (II)yonu/hidrojen peroksit, demir (II) iyonu/Lakkaz enzimi oranları değiştirilerek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), bulanıklık, renk ve çamurdaki toplam organik karbon (TOK) değişimleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda enzimatik fenton yönteminde en iyi arıtımın pH 5'te olduğu ve minimum (200 mg/L) hidrojen peroksit ve lakkaz enzimi kullanılarak maksimum (% 98,5) arıtım elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca uygulanan bu yeni fenton (enzimatik fenton) yönteminde arıtma çamurundaki toplam organik karbon değerinin de klasik fentonun aksine oldukça düşük (% 0,26) olduğu belirlenmiştir.

Giriş

Deniz kirliliğinde gemilerden kaynaklı deniz kirliliği önemli bir rol oynamaktadır. Gemiler çeşitli yollarla denizi kirletebilmekte ve deniz içerisindeki canlılara zarar verip ekosistemi bozabilmektedirler (Şekil 1). Bu yüzden gemilerden kaynaklanabilecek deniz kirliliğini önlemek için bir takım sözleşmeler imzalanmıştır. Bu sözleşmelerden biri de MARPOL 73/78 sözleşmesidir. Bu sözleşmenin en önemli maddelerinden biri gemi atıksularının denize verilmeyip, atık kabul tesislerinde toplanmasıdır (MARPOL 73/78). Türkiye'de bazı limanlarımızda atık kabul tesisi bulunmaktadır. Gemiler atıksularını bu tesislere vermektedirler (Demiray, 2006). Alınan bu gemi atıksuları da bu tesislerde depolanmaktadır. Bu tesislerin en aktif çalışanı İstanbul'daki Haydarpaşa Atık Kabul Tesisi'dir. Gemilerden alınan bu gemi atıksuları karadaki tanklara taşınmaktadır. Depolanan bu atıksulara kimyasal arıtım uygulan-

mayıp sadece fiziksel arıtım yapılmaktadır. Fiziksel arıtım ile beraber atıksu içerisindeki yağ ve su tanklarda dinlendirilerek ayrıştırılmaktadır. Ayrıştırılan bu yağ özel sektörlere satılmaktadır. Su ise bazı fiziksel arıtlımlardan geçirilip denize dökülmektedir. (www.istac.com.tr).

Yüksek Lisans tezi olarak yürütülen bu çalışmada organik içeriği yüksek olan gemi atıksularının, bir ileri oksidasyon yöntemi olan fenton yöntemine ek olarak lakkaz enzimini kullanmak suretiyle yüksek verimlilikte kimyasal arıtımı hedeflenmiştir. Bunun yanında hem fenton yönteminde kullanılan kimyasalların miktarını azaltmak hem de arıtma çamurundaki organik madde miktarını minimuma indirmek de amaçlanmıştır. Bu hedefler doğrultusunda yürütülen çalışma literatürde ilk olma özelliğini taşımaktadır.



Şekil 1. Gemi kaynaklı atıksular

Analiz yöntemleri

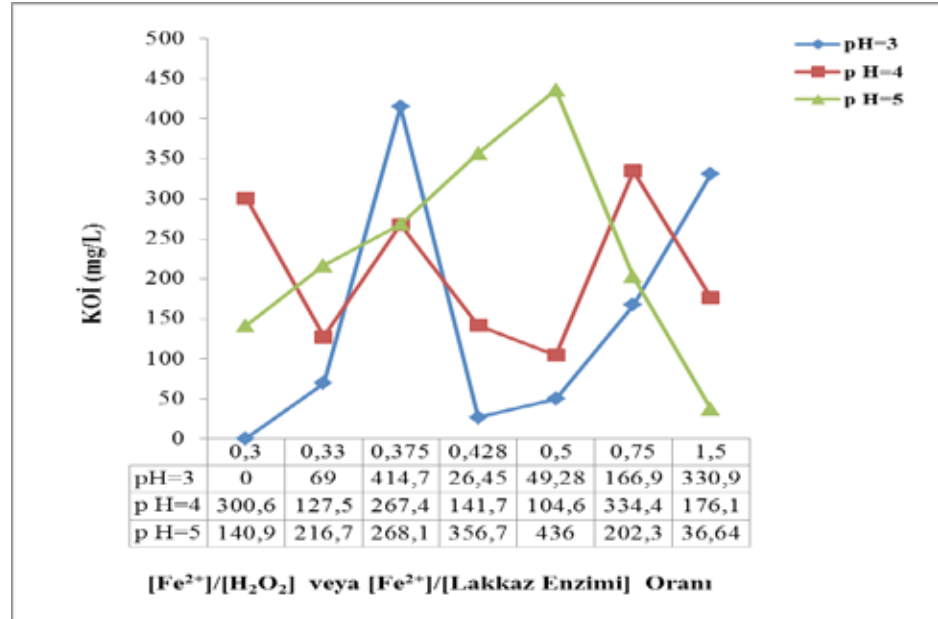
Bu çalışmada Haydarpaşa Atık Kabul Tesis'i'nden alınan gemi atıksuları kullanılmıştır. Alınan gemi atıksuyu karakterizasyonu $KOI=2393$ mg/L, Bulanıklık=64.6 NTU, Renk=0.15 A olarak belirlenmiştir. Atıksuya $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, H_2O_2 ve lakkaz enzimi ilave edilerek sabit karışım hızı ve sabit sıcaklıkta 30

dakika karıştırılmıştır. Gemi atıksuyunun enzimatik fenton ile arıtılabilirliği çalışmasının ilk aşamasında pH=3, 4 ve 5'te optimum $[H_2O_2]$ ve lakkaz enzimi konsantrasyonlarını belirlemek için sabit $[Fe^{2+}]$ konsantrasyonlarında $[H_2O_2]$ ve lakkaz enzimi konsantrasyonları değiştirilmiştir. İkinci aşamasında pH=3, 4 ve 5'te $[H_2O_2]$ kullanılmayıp sabit $[Fe^{2+}]$ (300 mg/L) konsantrasyonlarında lakkaz enzim konsantrasyonları değiştirilmiştir. Üçüncü aşamada $[H_2O_2]$ ve lakkaz enzimi kullanılmayıp sadece $[Fe^{2+}]$ ile arıtım yapılmıştır. pH=3, 4 ve 5'teki enzimatik fenton arıtımındaki optimum $[H_2O_2]$ konsantrasyonlarına göre klasik fenton arıtımı yapıp, alınan sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Çözeltiye 1 N NaOH ve seyreltik H_2SO_4 çözeltileri ilave edilerek pH değeri 7-8 aralığına ayarlanmıştır. Bir saat çöktürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla pH 3-5 aralığında sabit karışım hızı ve sabit sıcaklıkta Fe^{2+}/H_2O_2 , $Fe^{2+}/Lakkaz$ enzimi molar oranları değiştirilerek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), bulanıklık, renk ve çamurdaki toplam organik karbon (TOK) değişimleri incelenmiştir (Şekil 2, 3).



Şekil 2. Enzimatik Fenton ile arıtım.

Optimum $[Fe^{2+}]/[H_2O_2]$ oranı, $[H_2O_2]$ ve lakkaz enzimi konsantrasyonları KOİ giderim verimine göre belirlenmiştir.



Şekil 3. [Fe²⁺]/[H₂O₂] veya [Fe²⁺]/[Lakkaz enzimi] oranlarına karşılık KOİ grafiği



Çalışmada minimum kimyasal malzeme kullanılıp, maksimum arıtım (% 98,5) elde edilmiştir

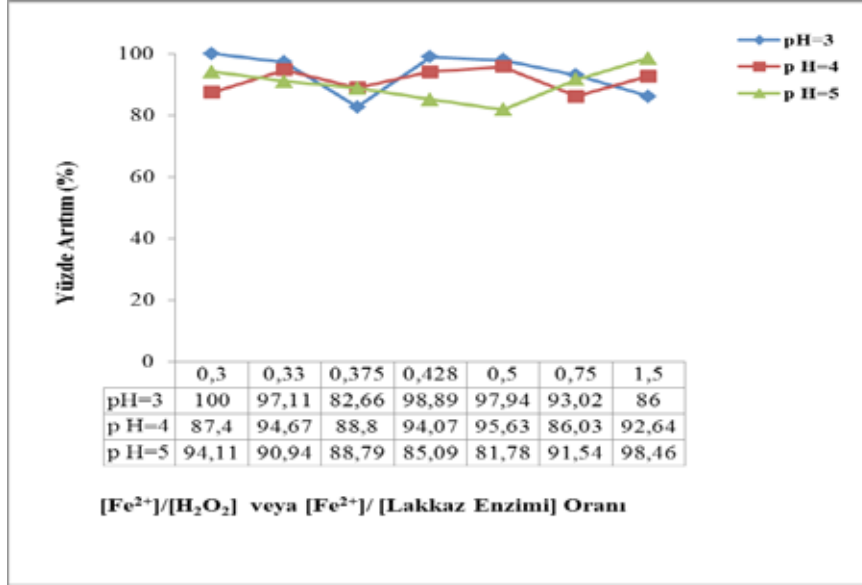
Bulgular ve Değerlendirme

Bu çalışmada, kimyasal arıtımı zor ve KOİ değeri yüksek olan (yoğun organik yük içeren) gemi atıksularının bir ileri oksidasyon yöntemi olan fenton yöntemine ek olarak lakkaz enzimini katarak kimyasal arıtımı gerçekleştirilmiştir. pH 3-5 aralığında Klasik Fenton ile yeni bir tür Enzimatik Fenton uygulanması ve arıtım sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada minimum kimyasal malzeme kullanılıp, maksimum arıtım (% 98,5) elde edilmiştir (Şekil 4). Böylece düşük maliyet ile gemi atıksularının arıtımı sağlanmıştır. H₂O₂ kullanımını azaltan Lakkaz enzimi toksik olmayıp, ekolojik başka bir deyişle çevre dostu bir üründür. Kullanılan kimyasalların büyük bir kısmı özellikle hidrojen peroksitin tamamı reaksiyonda tamamen harcanmıştır. Dolayısıyla arıtım sonunda açığa çıkan tehlikeli atık miktarı da düşük olmuştur. Arıtma çamurundaki toplam organik karbon içeriği klasik fentonun aksine oldukça düşük değer-

lerde (% 0,26) olduğu görülmüştür. Bu durum gemi atıksuları gibi yüksek KOİ içeriğine sahip atıksuların arıtımından sonra ilave bir kirliliğin oluşmadığını göstermektedir. Bu da oluşan çamurun bertarafı için fazladan bir maliyetin ortaya çıkmayacağını göstermektedir (Tablo 1).

Sonuç

Geliştirilen bu yöntem Ulusal ve Uluslararası literatürde ilk olma özelliğini taşımaktadır. İÜ-TTM ortaklığında Ulusal Patentimiz kabul edilmiştir. Yeni geliştirilen bu yerli çevre dostu arıtım metodu 8-12 Haziran 2017 tarihlerinde Güney Kore-Seul'de düzenlenen Kore Kadın Buluşçular Fuarı'nda da IFIA 2017 En İyi Bilimsel Buluş Ödülü (altın madalya), KIWE2017 Bilim Fuarı Ödülü (altın madalya) ve Makedonya Özel Bilim Ödülünü (altın madalya) almıştır.



Şekil 4. [Fe²⁺]/[H₂O₂] veya [Fe²⁺]/[Lakkaz enzimi] oranlarına karşılık yüzde arıtım grafiği

Fenton Yöntemi		Enzimatik Fenton Yöntemi
Avantajları	Dezavantajları	Avantajları
İlk yatırım maliyetinin düşük olması	Fazladan kimyasal maliyeti	Kullanılan kimyasal miktarının azaltılmış olması
Biyolojik arıtma için zehirlilik azalması	Oluşan çamurun bertaraf maliyeti	Oluşan çamurun organik karbon içeriğinin düşük olması
Farklı proseslere uygulanabilirliği	Polimerizasyon reaksiyonlarının potansiyel oluşumu	Oluşan çamurun bertarafı için maliyetin düşük olması
Toksik ve dayanıklı bileşiklerin giderilmesi	Normal kimyasal reaksiyonların devam etmesi	Çözeltide reaksiyona girmeyen hidrojen peroksitin kalmaması
Oksidasyon hızının yüksek olması	Korozyon problemleri	Hidrojen peroksitin kullanımını azaltan Lakkaz enziminin çevre dostu olması
Düşük oksidasyon bekleme süresi	Köpük oluşumunun giderimi	Köpük oluşumunun daha az olması

Tablo 1. Fenton yöntemi ile enzimatik fenton yönteminin karşılaştırılması.

Teşekkür

Çalışmalarımızı destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Yürütücü Sekreterliği'ne teşekkür ederim (Proje numarası: 47365).

Kaynaklar

DEMİRAY, N. (2006): Sintine Sularından Kaynaklanabilecek Deniz Kirliliğinin Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Isparta. 157s.

MARPOL (1973-1978): Tarihli Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşme (1978 Protokolü ile Yapılan Değişiklik).

SEKTÖREL ETKİNLİKLERDE AR-GE

Onur MOR

İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürlüğü Yerli Ürün ve Teknolojiler Şefi



Su ve Atıksu Sektöründe Yerli Ürün Çalıştayı

“Su ve Atıksu Sektöründe Yerli Ürün Çalıştayı” 08 Mart 2017 tarihinde Yeşilköy WOW Otel’de İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) ev sahipliğinde İstanbul Ticaret Odası (İTO), İstanbul Sanayi Odası (İSO) ve MÜSİAD üyesi firmaların katılımıyla gerçekleşmiştir.

Su ve Atıksu Sektöründe Yerli Ürün Çalıştayı 08 Mart 2017 tarihinde Yeşilköy WOW Otel’de İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) ev sahipliğinde İstanbul Ticaret Odası (İTO), İstanbul Sanayi Odası (İSO) ve MÜSİAD üyesi firmaların katılımıyla gerçekleşmiştir. Söz konusu çalıştayın amacı; su ve atıksu sektöründe idare-miz tarafından kullanılmakta olan kimyasal, plastik, elektrik-elektronik makine ekipmanların ve teknolojilerin milli imkanlarla üretilmesi ve yerli teknoloji üretme kapasitesinin artırılmasına yönelik olarak kurumumuzun yeterli katkı verebilmesini sağlamaktır. Çalıştayın açılış oturumunda İSKİ Genel

Müdürü Fatih TURAN, İstanbul Sanayi Odası Yönetim Kurulu Üyesi Nurullah KAYA, İstanbul Ticaret Odası Yönetim Kurulu Üyesi İlhan SOYLU, Ekonomi Bakanlığı İthalat Dairesi Başkanı Murat GÖREN ve Bilim ve Sanayi Bakanlığı Sanayi Genel Müdürü Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN konuşma yapmıştır. Açılış konuşmalarının ardından çalıştay oturumlarına geçilmiştir. Makine ve Ekipmanları, Arıtma Kimyasalları, Plastik ve Türevleri ve Elektrik-Elektronik olarak 4 farklı sektörde eş zamanlı oturumlar gerçekleşmiştir. Bu oturumlarda moderatörler önce İSKİ yetkililerinin kısa birer sunum yapmalarına izin vermiş, sonrasında sözü firma yetkililerine bı-

rakmıştır. Çalıştayın kapanış oturumunda her moderatör kendi oturumunda nelerin konuşulduğunu özetlemiştir. Kapanış oturumundan sonra İkitelli İçmesuyu Arıtma Tesisi ve Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'ne geziler düzenlenmiştir.

Çalıştay'a makine sektöründen 57 kişi, elektrik-elektronik sektöründen 65 kişi, kimya sektöründen 8 kişi, plastik sektörden 8 kişi ve diğer sektörlerden 55 kişi olmak üzere 91 firmadan 193 temsilci katılmıştır. Ayrıca 12 akademisyen ve İSKİ, Ekonomi Bakanlığı, Bilim ve Sanayi Bakanlığı, İTO, İSO ve MÜSİAD'tan 72 yetkili katılım sağlamıştır. Toplam katılımcı sayısı 277'dir.

Makine ve Ekipmanlar Oturumu

İSKİ Yönetim Kurulu Üyesi Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK moderatörlüğünde gerçekleşen oturumda Bilge BÜDEYRİ (Ar-Ge ve Planlama Daire Başkanı), Celil ASLAN (Atıksu İnşaat Daire Başkanı) ve Orhan BAYKAN (Araştırma Geliştirme Şube Müdürü) sunum yapmışlardır. Oturumda İSKİ'nin mevcut durumundan bahsedilmiş, ithalata bağıllık oranları ve rakamlar özetlenmiştir. Buna bağlı olarak İSKİ'nin önerileri özetle şu şekilde sıralanmıştır:

- Su ve atıksu teknolojileri özelinde sektörel kümelenme çalışması yapılması
- Yerli imalatçıların yer aldığı, online olarak ulaşılabilir ve tarama/sorgulamanın rahatça yapılabileceği bir veritabanı oluşturulması
- Ar-Ge iş birliğinin artırılması

Oturumun sonunda soru & cevap kısmına geçilmiş ve katılımcılar sorularını,

fikirlerini ve düşüncelerini belirtmişlerdir.

Arıtma Kimyasalları Oturumu

İTÜ'den Prof. Dr. Kadir ALP'in moderatörlüğünde gerçekleşen oturumda Zeki GÜNGÖR (İkitelli İçmesuyu Arıtma Şube Md.) ve Bedia KURTULUŞ (Atıksu Arıtma Daire Başkanlığı) sunum yapmışlardır. Bu sunumlarda İSKİ'nin ham su kaynakları, atıksu arıtma tesislerinin şematik yapısı ve işleyişi hakkında bilgi verildi. Oturumda ayrıca içmesuyu ve atıksu arıtımında kullanılan kimyasalların neler olduğunu ve katılımcılardan bu ürünlerden hangilerini ürettikleri hakkında bilgi istendi.

Plastik ve Türevleri Oturumu

İSKİ Yönetim Kurulu Üyesi Prof. Dr. Adem ESEN'in moderatörlüğünde gerçekleşen oturumda Prof. Dr. İsmail KOYUNCU (İTÜ), Ali İNCİ (Atıksu Arıtma Daire Başkanı), Uğur ÖRÜN (Avrupa 2.Bölge Atıksu Arıtma Şube Md.) ve Yasin TORUN (AKATED Başkanı) sunum yapmışlardır. Oturumda İSKİ'nin kullandığı plastik malzemelerin teknik özellikleri, kullanım alanları ve uygulamaları, dünyada ve Türkiye'deki ticaret hacimleri, üretici ülkeler ve pazar payları, Türkiye'de mevcutta üretim olup olmadığı, Türkiye'deki üreticiler ve potansiyel üretim imkanları, gelişen teknolojiler ile birlikte gelecekteki kullanım trendleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca kazısız teknolojinin uluslararası tanımını yaparak kazısız teknoloji türleri ve bunların Türkiye'deki uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir. Oturumun sonunda soru & cevap kısmına geçilmiş ve katılımcılar sorularını, fikirlerini ve düşüncelerini belirtmişlerdir.



İSKİ'nin önerileri özetle şu şekilde sıralanmıştır:

- Su ve atıksu teknolojileri özelinde sektörel kümelenme çalışması yapılması
- Yerli imalatçıların yer aldığı, online olarak ulaşılabilir ve tarama/sorgulamanın rahatça yapılabileceği bir veritabanı oluşturulması
- Ar-Ge iş birliğinin artırılması

Elektrik – Elektronik Oturumu

Doç. Dr. İlker Murat KOÇ (İTÜ)'un moderatörlüğünde gerçekleşen oturumda Türker VARDAR (Bilgi İşlem Daire Başkanı) ve Ramazan KARAASLAN (Enerji Yönetimi Şube Müdürü) sunum yapmıştır. Bu sunumlarda İSKİ'de kullanılan donanım cihazları ve yazılımlardan detaylıca bahsedilmiştir. Ayrıca ARGE çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen Kayıp Kaçak Oranları İzleme Çalışması ve bu pilot çalışmanın neticeleri; İSKİ ve İSTAÇ'ın birlikte yürüttüğü akıllı telefonlar ile "Ortak Sayaç Okuma" pilot çalışması; Pardus İşletim Sisteminin İSKİ bünyesinde kullanımı ve Akıllı uygulamalardan bahsedilmiştir. Oturumun sonunda soru & cevap kısmı gerçekleştirilmiş, katılımcılar İSKİ'nin gerçekleştirdiği Su Ve Atıksu Sektöründe Yerli Ürün Çalıştayı'ndan duydukları memnuniyeti ve İSKİ ile çalışma taleplerini dile getirmişlerdir.

Ar-Ge İşbirlikleri Zirvesi ve Fuarı (03 – 05 Mayıs 2017)

Kalkınma Bakanlığı ile Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı himayelerinde, 3-5 Mayıs 2017 tarihlerinde İstanbul'da, Pullman Kongre ve Fuar Merkezinde, "Uluslararası Ar-Ge İşbirlikleri Zirvesi ve Fuarı" gerçekleştirildi. "Geleceğin Üretim Sistemlerinde Ar-Ge İşbirlikleri" ana temasıyla düzenlenen etkinlik kapsamında yapılan oturumlarda;

- Türkiye'nin Kalkınma Vizyonu Çerçevesinde Bilim ve Teknoloji Ekosistemi ve Ar-Ge İşbirlikleri,
- Teknolojideki Eğilimler Işığında Türkiye'nin Öncelikli Alanları
- Ar-Ge Altyapıları ve İşbirliklerinde Yeni Yaklaşımlar
- Uluslararası Ar-Ge Yatırımlarında Türkiye'nin Yeri
- Savunma, Uzay ve Havacılık Alanında İşbirliğine Dayalı Ar-Ge Yaklaşımı
- Sağlık Endüstrilerinde Yapısal Dönüşüm İçin Ar-Ge İşbirlikleri
- Ulaştırma, Dijital Teknolojiler ve İşbirliği Fırsatları
- Enerji Alanında İşbirliğine Dayalı Ar-Ge Yaklaşımı konuları konuşuldu.

Kurumumuzun "Enerji" , "Su Kalitesi", "Kayıp Kaçak", "Mikrokirleticiler", "Azot Giderimi", "Klorlama", "Tat ve Koku Kontrolü" ve "Sulak Alanlar" alanlarında yürüttüğü Ar-Ge faaliyetlerinin tanıtıldığı stand alanı katılımcılardan büyük ilgi gördü. Kalkınma Bakanlığı Bakan Yardımcısı Av. Yusuf Coşkun, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakan Yardımcısı Doç. Dr. Hasan Ali Çelik ve YÖK Başkanı Prof. Dr. M. A.Yekta Saraç, standımızı ziyaret ederek Genel Müdür Yardımcımız Metin AKBAŞ'tan Ar-Ge faaliyetlerimizle ilgili bilgi aldı.



ARGE çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen Kayıp Kaçak Oranları İzleme Çalışması ve bu pilot çalışmanın neticeleri; İSKİ ve İSTAÇ'ın birlikte yürüttüğü akıllı telefonlar ile "Ortak Sayaç Okuma" pilot çalışması; Pardus İşletim Sisteminin İSKİ bünyesinde kullanımı ve Akıllı uygulamalardan bahsedilmiştir

MMG II. Ar-Ge Ve İnovasyon Zirvesi ve Sergisi (06 – 07 Eylül 2017)

Mimar ve Mühendisler Grubu (MMG)'nin organize ettiği "2.Ar-Ge ve İnovasyon Zirvesi" 06-07 Eylül 2017 tarihlerinde İstanbul Lütfi Kırdar Kongre Merkezi'nde yapılmıştır. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanı Dr. Faruk ÖZLÜ ve Kalkınma Bakanı Lütfi ELVAN'ın da konuşma yaptıkları etkinlikte teknoloji, Ar-Ge ve inovasyon konularında çeşitli oturumlar düzenlenmiştir. Türkiye'nin önde gelen firmaları, bazı kamu kurum ve kuruluşları, kalkınma ajansları ve üniversiteler yaptıkları Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerini sergi alanına gelen ziyaretçilere sunmuşlardır. Kurumumuz; Araştırma, Geliştirme ve Planlama Dairesi Başkanlığı'na bağlı olan

Standımızı ziyaret eden firmalardan 22 tanesi ile iletişim bilgileri paylaşılmış olup, bunların bir kısmı ile YTO kapsamında görüşmeler yapılmıştır. Bunun dışında çeşitli üniversitelerin Teknoloji Transfer Ofisleri ile görüşmeler yapılmış, birlikte çalışma koşulları değerlendirilmiştir.

Su-Tek I. Su ve Su Teknolojileri Fuarı (28 Eylül – 01 Ekim 2017)

28 Eylül – 1 Ekim tarihleri arasında Ankara Büyükşehir Belediyesi Altınpark Fuar Alanı'nda (Expo Center) gerçekleştirilen 1. Su ve Su Teknolojileri Fuarı ile 1. Su Zirvesi'ne sektörel katılım kamu kuruluşları ve bazı özel sektör firmaları ile gerçekleşmiştir.



Araştırma Geliştirme Şube Müdürlüğü tarafından temsil edilmiştir. Standımıza gelen ziyaretçilere Kurumumuz bünyesinde devam eden ve planlanan Ar-Ge projeleri tanıtılmıştır. Standımızda bulunan ekrandaki videolar ve basılı yayınlar büyük ilgi görmüştür.

Katılımcı Kamu Kuruluşları arasında; İSKİ, İSU (İzmit), DESKİ (Denizli), Adana-ASKİ, MASKİ (Malatya), MUSKİ (Muğla), SASKİ (Sakarya) gibi Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden gelen su ve kanalizasyon idareleri ve DSİ bulunmaktadır.



Kurumumuz bu etkinlikte bir stand açarak; Anadolu'daki su ve kanalizasyon idareleri ile iletişim kurulması ve sektördeki firmaların Kurumumuzun çalışmaları hakkında bilgi edinmesine destek sağlamıştır.



Kurumumuz bu etkinlikte bir stand açarak; Anadolu'daki su ve kanalizasyon idareleri ile iletişim kurulması ve sektördeki firmaların Kurumumuzun çalışmaları hakkında bilgi edinmesine destek sağlamıştır. Hizmet verdiği alan ve nüfus büyüklüğüne bağlı olarak yüksek kapasite ile çalışan Kurumumuz için özellikle Ar-Ge çalışmalarının, yerli teknoloji kullanımı gibi uygulamaların Türkiye çapındaki prestijli konumunu güçlendirdiği gözlenmiştir.

Altyapıda Kalite ve İnnovasyon Sempozyumu (15 – 17 Kasım 2017)

15-16-17 Kasım 2017 tarihlerinde Crowne Plaza İstanbul – Asia'da düzen-

lenen sempozyumun açılışı, Ugetam Genel Müdürü Dr. Şenol Yıldız, DSİ Genel Müdürü Murat Acu, Türkiye Doğalgaz Dağıtıcıları Birliği Derneği (GAZ-BİR) Başkanı Yaşar Arslan, İSKİ Genel Müdürü Fatih Turan, İSKİ Genel Müdür Yardımcıları, İSKİ yöneticileri, akademisyenler, kamu ve özel sektör temsilcilerinin katılımı ile gerçekleşmiştir. Altyapı sistemlerinde kalite ve yenilikçi ürün – uygulamaları, "Milli ve Yerli Ürün – Uygulamalar" kapsamında ele alan sempozyumda Genel Müdürümüz Fatih TURAN da bir konuşma yapmıştır. Bu etkinlikte Kurumumuz da bir stand açarak; gelen ziyaretçilere altyapı ve inovasyon çalışmaları hakkında bilgiler verilmiştir.



YTO | Yerli Teknoloji Ofisi

Amacımız, kullanmakta olduğumuz
malzeme, makine, ekipman ve teknolojilerin
milli imkanlarla üretilmesi;
böylece su ve atıksu teknolojilerindeki
dışa bağımlılığın azaltılmasıdır.

Türkiye
Gücünü ve
Potansiyelini keşfet

YERLİ TEKNOLOJİ OFİSİ (YTO)

Onur MOR

İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürlüğü Yerli Ürün ve Teknolojiler Şefi



“Su ve Atıksu Sektöründe Yerli Ürün Çalıştayı” 08 Mart 2017 tarihinde Yeşilköy WOW Otel’de İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) ev sahipliğinde İstanbul Ticaret Odası (İTO), İstanbul Sanayi Odası (İSO) ve MÜSİAD üyesi firmaların katılımıyla gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizin toplumsal, ekonomik ve siyasi standartlarının yükseltilmesi için hem birey, hem de kurum/kuruluşlar olarak elimizden geldiğince gayret göstermeliyiz. Çocuklarımıza, geleceğimize daha güvenli ve yaşanabilir bir Türkiye hazırlamalıyız. Bunun için öncelikle, her alanda dışa bağımlılığı azaltıp, “yerliliği ve milliliği” hayata geçirmek zorundayız. Yerlilik ve millilik; kamu sektöründen özel sektöre,

siyasetten iş dünyasına, medyadan eğitime, akademiden sanata, istihbarattan savunmaya kadar her alanda öncelikli kriter olmalıdır.

Bu kapsamda; İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü olarak, 06 Mart 2017 tarihinde, Araştırma, Geliştirme ve Planlama Dairesi Başkanlığımız bünyesinde Yerli Teknoloji Ofisi (YTO) kurulmuştur. Bu Ofisin kurulması ile İdareimiz; bünyesinde kul-

lanılan ithal mal ve hizmetlerin yerli tedarik edilme oranının artırılması konusunda ilgili kurum, kuruluş ve ithalatçı firmalar arası iletişimi güçlendirmeyi, işbirliği potansiyelini arttırmayı ve bu kapsamda hazırlanacak ARGE projelerinin koordinasyonunu sağlamayı amaçlamaktadır. Böylece, ülke sermayesinin yurt içinde kalması, istihdamın artırılması, refah seviyemizin yükseltilmesi ve milli teknoloji imkânlarımızın geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Bu amaçlar doğrultusunda YTO olarak yaptığımız ilk çalışma “Su ve Atıksu Sektöründe Yerli Ürün Çalıştayı”dır. 08 Mart 2017 tarihinde Yeşilköy WOW Otel’de İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) ev sahipliğinde gerçekleşen çalıştaya İstanbul Ticaret Odası (İTO), İstanbul Sanayi Odası (İSO) ve MÜSİAD üyesi firmalar ve akademisyenler katılım sağlamıştır. Söz konusu çalıştayın amacı; su ve atıksu sektöründe idaremiz tarafından kullanılmakta olan kimyasal, plastik, elektrik-elektronik makine ekipmanların ve teknolojilerin milli imkanlarla üretilmesi ve yerli teknoloji üretme kapasitesinin artırılmasına yönelik olarak kurumumuzun yeterli katkıyı verebilmesini sağlamaktır.

Çalıştayı açılış oturumunda İSKİ Genel Müdürü Fatih TURAN, İstanbul sanayi

Odası Yönetim Kurulu Üyesi Nurullah KAYA, İstanbul Ticaret Odası Yönetim Kurulu Üyesi İlhan SOYLU, Ekonomi Bakanlığı İthalat Dairesi Başkanı Murat GÖREN ve Bilim ve Sanayi Bakanlığı Sanayi Genel Müdürü Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN konuşma yapmıştır. Açılış konuşmalarının ardından çalıştay oturumlarına geçilmiştir. Makine ve Ekipmanları, Arıtma Kimyasalları, Plastik ve Türevleri ve Elektrik-Elektronik olarak 4 farklı sektörde paralel zamanlı oturumlar gerçekleştirilmiştir. Bu oturumlarda moderatörler önce İSKİ yetkililerinin kısa birer sunum yapmalarına izin vermiş, sonrasında sözü firma yetkililerine bırakmıştır. Çalıştayın kapanış oturumunda her moderatör kendi oturumunda nelerin konuşulduğunu özetlemiştir. Kapanış oturumundan sonra Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi’ne teknik gezi düzenlenmiştir.

Çalıştaya makine sektöründen 57 firma temsilcisi, elektrik-elektronik sektöründen 65 firma temsilcisi, kimya sektöründen 8 firma temsilcisi, plastik sektöründen 8 firma temsilcisi ve diğer sektörlerden 55 firma temsilcisi olmak üzere toplam 91 firma 193 temsilci ile Ayrıca 12 akademisyen ve İSKİ, Ekonomi Bakanlığı, Bilim ve Sanayi Bakanlığı, İTO, İSO ve MÜSİAD’tan 72 yetkili katılım sağlamıştır. Toplam katılımcı sayısı 277’dir.



YTO olarak yaptığımız ilk çalışma “Su ve Atıksu Sektöründe Yerli Ürün Çalıştayı”dır. 08 Mart 2017 tarihinde Yeşilköy WOW Otel’de İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) ev sahipliğinde gerçekleşen çalıştaya İstanbul Ticaret Odası (İTO), İstanbul Sanayi Odası (İSO) ve MÜSİAD üyesi firmalar ve akademisyenler katılım sağlamıştır.



Çalıştay'dan sonra, bugüne kadar Yerli Teknoloji Ofisi (YTO) kapsamında 34 firma ile birebir görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmeler neticesinde;

Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi için yerli üretim blower alınmıştır.

Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi için yerli üretim blower alınmıştır.

Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi için 40bin adet yerli üretim difüzör alınmıştır.

Ağva Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi bünyesinde yerli üretim membranlar işletmeye alınmıştır.

İSKİ'de ithal malzeme ve ekipman kullanma oranlarımız İçmesuyu Arıtma Tesislerimizde % 35, Atıksu Arıtma Tesislerimizde % 65 civarındadır. Bu rakamların aşağı çekilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

İSKİ'de yerleşme faaliyetleri

Avrupa Yakası İçme Suyu Tüneli II inşaatı kapsamında 3087 metre uzunluğunda Ø2000 çaplı yeni bir tünel açmak için %97 oranında yerli üretim olan TBM makinesi kazı yapmaya başlamıştır. Söz konusu tünel Kazlıçeşme'den başlayıp Bahçelievler'de son bulacaktır.



Çalıştay'dan sonra, bugüne kadar Yerli Teknoloji Ofisi (YTO) kapsamında 34 firma ile birebir görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmeler neticesinde;



• Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi için yerli üretim **blower** alınmıştır.

• Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi için yerli üretim **blower** alınmıştır.

• Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi için **40 bin adet** yerli üretim **difüzör** alınmıştır.

• Ağva Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi bünyesinde yerli üretim **membranlar** işletmeye alınmıştır.

İhale sürecinde olan;

• Baltalimanı Atıksu Arıtma Tesisi

• Yenikapı Atıksu Arıtma Tesisi

• Tuzla İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

• Kadıköy Atıksu Arıtma Tesisi'nde kullanılacak, kapasiteleri 2000 lt/sn'ye kadar farklı debi ve basma yüksekliklerinde, yerli dalgıç tip terfi pompası alımı yapılacaktır.



Ayrıca;

- Melen 3. Etap pompaları,
- Ömerli İçmesuyu Arıtma Tesisi için hamsu pompaları,
- Frekans konvertörü, ozon jeneratörü

gibi ithal olarak kullanılan malzemelerin yerli alımı konusunda firmalarla çalışmalar yapılmaktadır. Yerli sensör ve kojenerasyon üniteleri üreten firmalarla da yerli üretim yapılmasına yönelik görüşmeler devam etmektedir.

- **CIPP uygulamalarında** kullanılacak **hammadde ve ekipmanların yerli temini** için çalışmalar devam etmektedir.
- **Toksik tehditlerin tespit edilmesine** yönelik yerli toksisite cihazı üretimi için görüşmeler başlamıştır.
- **Yerli yazılım ve teknolojiler** kullanılarak geliştirilen **uydu ve sensörlerle kayıp kaçakların tespiti**ne yönelik görüşmeler devam etmektedir.

- **Buharlaştırma** nedeniyle meydana gelen kayıpların minimuma indirilmesini sağlayacak **yerli ürünün geliştirilmesi** için görüşmelere başlanmıştır.
- **Yerli tasarımcılarla** görüşmeler yapılarak proje ve yerli ürün talepleri değerlendirilmeye alınmıştır. Bu kapsamda ilk olarak **kombine kanal temizleme aracı** ve kombi kullanılan binalarda **su ve enerji tasarrufu** sağlayan bir cihaz üreten müteşebbis ile görüşmeler devam etmektedir.
- İSKİ bünyesinde kullanılan **makine, ekipman ve teknolojiler** ile ilgili envanter çalışmaları başlatılmıştır. (Yerlilik oranları araştırılmaktadır.)
- Atıksu arıtma tesislerinde kullanılacak **yerli ızgaraların** geliştirilmesine yönelik pilot çalışma yapılması için son aşamaya gelinmiştir.
- İdaremizde hazırlanan teknik şartnamelerin değerlendirilmesine yerlilik ve millilik kapsamında incelemeler yapılarak katkı verilmektedir.

SU KAYIP KAÇAKLARINDA YÖNETİM STRATEJİLERİ VE AR-GE FAALİYETLERİ

Orhan BAYKAN
İSKİ, Ar-Ge Şube Müdürü



Su yönetimi kapsamında en önemli sorunlardan biri su kayıp-kaçaklarıdır. Yapılan çalışmalar, ülkemizde ortalama su kayıp-kaçak oranının %55 olduğunu göstermektedir. Su kayıp-kaçakları aynı zamanda ciddi ekonomik yansımalar ve çevresel etkiler oluşturmaktadır.



Su tedarik sistemlerinde verimliliği arttırmak, daha akılcı bir enerji kullanımı, gelir dışı suyu kontrol altında tutmak ve su kalitesine dayalı müşteri memnuniyetini amaçlayarak kesintisiz hizmet sağlayabilmek su idarelerinin ana hedefidir. Bu bağlamda, su kayıp-kaçaklarının kontrolü su yönetiminin önemli bir ayağını oluşturmaktadır. Aynı zamanda, uluslararası-bölgesel bazda ortaya konulan iklim değişikliği senaryoları kapsamın-

da, en etkin iklim değişikliği uyum başlıklardan biri su kaynaklarının korunması ve verimli kullanılmasıdır.

Su yönetimi kapsamında en önemli sorunlardan biri su kayıp-kaçaklarıdır. Yapılan çalışmalar, ülkemizde ortalama su kayıp-kaçak oranının %55 olduğunu göstermektedir. Su kayıp-kaçakları aynı zamanda ciddi ekonomik yansımalar ve çevresel etkiler oluşturmaktadır.

Bu yazımızda, su kayıp kaçakları ile ilgili

uluslararası mühendislik çalışmalarından ve konuya ilişkin Ar-Ge temelli yaklaşımlardan bahsedilecektir.

Şebeke optimizasyonlarında hidrolik model programlarının kullanımı

Hidrolik Modelleme programları, su dağıtım şebekelerinin; debi, basınç, su kalitesi ve enerji yönetimi açısından optimum şekilde projelendirilmeleri amacıyla kullanılmakta olan yazılımlardır. Bu programlar, ülkemizde genel olarak boru dağıtım yapılarının optimizasyonu, su kalitesi ve su rezervuarların sağlıklı çalışma durumlarının simüle edilmesinde kullanılmaktadır.

IWA (Uluslararası Su Örgütü) metodolojileri günümüzde kayıp-kaçaklarla mücadelede kullanılan en etkin rehberdir. Kayıp kaçak konularındaki araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetleri, IWA kılavuzlarında belirtilen değerlendirmelelerin, ülkelerin kendi şebekeleri bazında; malzeme, basınç yönetimi teknikleri ve tespit ekipman teknolojilerinin geliştirilmesi faaliyetlerine dayanmaktadır (IWA, 2000).

Hidrolik modelleme simüle edilirken şebekede çökme olmamasına dikkat edilir, bu amaçla minimum hız, 1 m/sn'nin altına düşürülmez ve maksimum hız, şebekede aşırı sürtünme kayıpları dikkate alınarak modellenir. Simülasyon sonuçlarında, iyi modellenmiş şebeke düğüm noktalarında %0,6'dan daha düşük göreceli hata değerleri tespit edilebilmektedir (Avila-Melgar, ve diğ., 2016).

Modelleme çalışmalarında son yıllarda hızla artan bir başka trend de sızıntıların modellenmesidir. Basınç ve kaçak arasındaki ilişkiyi göstermek için lite-

ratürde çeşitli modeller yer almaktadır. Bu husustaki en basit modelleme, güç yasası denklemidir.

$$(Q_L = c \cdot h^n)$$

Denklemden;

Q_L : düğüm kaçak akışı,

h : düğüm noktası basıncı,

c : şebeke sızıntı katsayısı

n : sızıntı üst katsayısı

Orifis denklemi, güç yasası denkleminin $n=0,5$ ile genelleştirilmiş halidir.

Yapılan çalışmalarda c ve n katsayılarının genelleştirebilirliği araştırılmıştır, incelenen çeşitli boru tipleri arasında, en yüksek kaçak üst katsayısı çelik borularda tespit edilmiştir. Suudi Arabistan'da gerçekleştirilen bir çalışmada, çeşitli bölgelerde basınç-kaçak ilişkisini belirlemek için alan araştırması yapılarak güç yasası denkleminin ilişkisi doğru bir şekilde açıkladığı ve sızıntı üssünün asbestsiz boru ağı için 0,50, karışık boru ağı için 1,16 olduğu tespit edilmiştir (Fontana ve diğ., 2016).

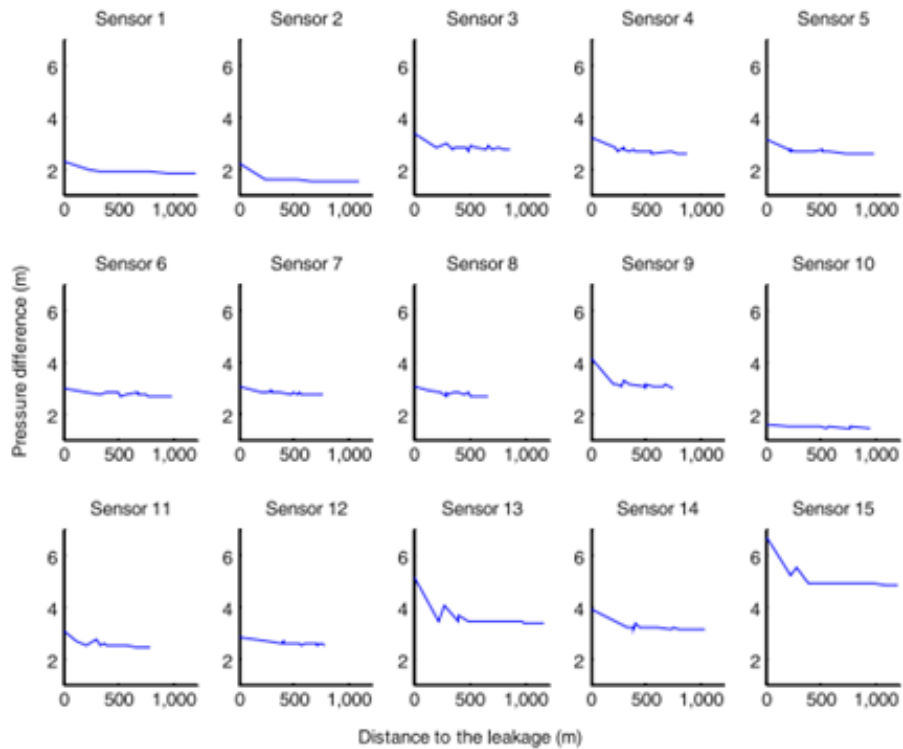
Barcelona'da yapılan bir başka çalışmada ise, sızıntıları ve yerlerini tespit etmek için, az sayıdaki sensörün en iyi hangi lokasyonda, nasıl yerleştirilebileceği araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, su şirketleri tarafından kullanılan mevcut yöntem ve teknolojiler, DMA ve akış/basınç sensörü verileri dahil olmak üzere matematiksel hidrolik modellerle birleştirilmiştir. Yöntem, su dağıtım şebekesinde bir sızıntının yarattığı basınç değişiminin analizine dayanmaktadır. Sızıntı tespiti, gerçek basınç ve akış verileri tahminleri ile matematik ağı modelinin simülasyonunun karşılaştırılması ile gerçekleştirilmektedir. Minimum sayıda sensör kullanılarak sızıntı

tespitini mali açıdan optimize etmek ve bir bölge içindeki dağıtım şebekesinde uygun basınç sensörü dağılımını bulmak için bir metodoloji geliştirilmiştir. Sensör yerleşimi için kullanılan temel kavramları sunmadan önce, sızıntının bulunduğu ortamdaki basıncın davranışını değerlendirme üzerine deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm bu çalışmalar simülasyon sonuçlarına dayalı olarak yürütülmüştür. Kaçak mesafesine bağlı olarak belirlenen düğümlerdeki basınç farkları incelenmiş ve kayıp kaçak lokasyonu ile minimum basınç sensörü kullanımı için matematiksel model oluşturulmuştur (Pe'rez ve diğ., 2009).

lirgin kayıplar) ağırlık vermesinin yanlış olduğu vurgulanmaktadır. Çalışma; su-enerji kaybı yönetimini iyileştirmek adına; eylem planlarının geliştirilmesi, bire bir destek amacı ile spesifik eğitimler alınması ve yazılım metodolojisi geliştirilmesi üzerine kurulmuştur.

iPerdas adı verilen çalışma kapsamında üç ana aşama planlanmıştır:

- (1) Kapsamlı bir değerlendirme sisteminin kurulması ve eksiksiz bir su-enerji kaybı tespiti,
- (2) Müdahale için analiz alanlarının önceliklendirilmesi



Su kayıp kaçakları-enerji ilişkisi

Portekiz'de yapılan bir diğer çalışmada, su kurumlarının, su kayıp-kaçaklarının gömülü enerji üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmadan, sadece günlük su kaybı kontrolüne (gerçek ve be-

- (3) Müdahale alternatiflerinin önceliklendirilmesi

Gerekli minimum enerji, ortalama terfi, minimum basınç gereksinimleri ve yetkili tüketim göz önüne alınarak tüketicilere dağıtım için gereken teorik mi-



Master planlar ve stratejik planlarda, kurumların stratejik hedefleri ile su-enerji kaybı yönetimi stratejileri arasında uyum gösterilmelidir. Su-enerji kaybı yönetim planlarının geliştirilmesi, diğer mevcut planlarla uyum konusu da dahil olmak üzere kontrolü, onaylanması ve uygulanmasının değerlendirilmesi için sorumlu birimler içinde bir ekip oluşturulması/ atanması gerekmektedir.

nimum enerji belirlenir. Çalışmada, su dağıtımı için gereken minimum enerjinin 2,3 katının sağlandığı ortaya çıkmıştır. Sistemdeki bu aşırı enerji (minimum enerjinin 1,3 katı); pompa istasyonları, su kayıpları (gerçek ve görünür), aşırı basınç, vana kafaları, boru kurgusu gibi nedenlerden dolayı verimsizliklerle ilişkilendirilmiştir.

Bu çalışmada; terfi istasyonları, frekans konvertörlerinin kurulumu, boru rehabilitasyonlarıyla ilgili planlama, borularda kabuklanma problemi, depo rehabilitasyonları, sayaç stratejilerinin değiştirilmesi gibi alanlarda çalışmalar yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Loureiro ve diğ., 2016).

Su kayıp kaçaklarında enerji planlaması

Master planlar ve stratejik planlarda, kurumların stratejik hedefleri ile su-enerji kaybı yönetimi stratejileri arasında uyum gösterilmelidir. Su-enerji kaybı yönetim planlarının geliştirilmesi, diğer mevcut planlarla uyum konusu da dahil olmak üzere kontrolü, onaylanması ve uygulanmasının değerlendirilmesi için sorumlu birimler içinde bir ekip oluşturulması/atanması gerekmektedir.

Belediyelerde, enerji denetiminin başlıca bileşenleri şunlardır; yetkili tüketimle ilişkili enerji, su kayıplarıyla ilişkili enerji, şebekeye verilen tüketim enerjisi, tükenmiş enerji (boru, pompa, vana), geri kazanılan ve yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilen enerji. Tüm enerji bileşenleri, kurumlar tarafından tespit edilerek optimum işletme şartlarının oluşturulması sağlanmalıdır.

Kayıp-kaçak-varlık yönetimi ilişkisi

Su dağıtım şebekelerindeki her bir varlık (enstrüman) için planlama ve analiz hedeflerinin (gerçek kayıplar, görünür kayıplar, şebeke arızaları) yanısıra ilgili

li hizmet kalitesi aralıkları (zayıf, kabul edilebilir, iyi) oluşturulmalıdır.

Varlık yönetiminde tanımlanan değerlendirme sistemi kullanılarak su kayıpları ve enerji verimsizlikleri açısından başlıca sorunların belirlenmesi amaçlanmalıdır. Verilen enerji ile gereken minimum enerji arasındaki oranı belirleyen yeni bir PI tanımlanmalı ve hesaplanmalıdır (Loureiro ve diğ., 2016).

Kayıp-kaçak ve müdahale kayıtları tutularak boru cinsleri, vanalar, fittingsler, yaşanan sorunlar, arıza oranları gibi bilgilerin istatistiksel değerlendirmelerine dayanan şebeke analizleri yapılmalıdır. Elde edilecek veriler sadece kayıp-kaçak oranını vermekle kalmayacak; enerji yönetimi, kaynak verimliliği ve hizmet sürekliliği açısından risklerin en doğru şekilde tanımlanmasını da sağlayacaktır.

Kayıp-kaçak çalışmalarında Ar-Ge trendleri

Ülkemizde kayıp-kaçakların önlenmesine ilişkin yayınlanan İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usul-ler Tebliği (OSİB, 2014) ile hız kazanan şebekelerde kayıp-kaçak azaltma faaliyetleri, genel olarak DMA kurulumları, rehabilitasyon çalışmaları ve daraltılmış bölgelerde kayıp-kaçak noktasal tespitleri olarak devam etmektedir.

IWA ve diğer uluslararası su kurumlarının yaptıkları Ar-Ge çalışmaları göz önüne alındığında, su zengini ülkelerde enerji tasarrufunu hedefleyen çalışmalar öne çıkmaktadır. Ancak ülkemizin su sıkıntısı yaşayan bir coğrafyada olduğu gerçeğinden hareketle, öncelikli çalışma alanlarımız su kaynaklarının korunması ve kayıp-kaçak oranının düşürülmesidir. Bu sebeple şebekede kullanılan ekipmanlara ilişkin tüm gelişmeler Ar-Ge birimlerini yakından ilgilendirmektedir.



IWA ve diğer uluslararası su kurumlarının yaptıkları Ar-Ge çalışmaları göz önüne alındığında, su zengini ülkelerde enerji tasarrufunu hedefleyen çalışmalar öne çıkmaktadır. Ancak ülkemizin su sıkıntısı yaşayan bir coğrafyada olduğu gerçeğinden hareketle, öncelikli çalışma alanlarımız su kaynaklarının korunması ve kayıp-kaçak oranının düşürülmesidir. Bu sebeple şebekede kullanılan ekipmanlara ilişkin tüm gelişmeler Ar-Ge birimlerini yakından ilgilendirmektedir.

Su dağıtım şebekelerinde kullanılan boruların altyapı performanslarının değerlendirilmesi ve afet dayanımı yüksek boruların geliştirilmesi ülkemiz için önem arz etmektedir. Ülkemizde, iç kaplamaları beton olarak tercih edilen düktil borular ömür analizleri ve varlık yönetimi verileri göz önüne alınarak yeniden değerlendirilmeli, bu kaplamalarda beton yerine poliüretan ve korozyon dayanımlı malzemelerin kullanımı araştırılmalıdır.

Basınç kırıcı kullanımlarında enerji geri kazanım imkanlarının araştırılması, enerji üretebilen türbinli basınç kırıcıların şebeke ortamlarına özgü olarak geliştirilmesi bir diğer araştırma konusudur.

Şebekelerde su kalitesinin takibi için online klor ölçümlerinin yanı sıra biyosensör kullanımının araştırılması ile yerli ve özgün biyosensör geliştirilmesi faaliyetleri akıllı şebeke çalışmaları ile de bağlantılı Ar-Ge çalışma alanlarından biridir.

Su kurumlarının müşteri memnuniyeti ve ekonomik işletme koşulları açısından çözümlenmesi gereken konular arasında hidrolik modellemelere entegre edilebilen genetik algoritmalar aracılığıyla şebeke sisteminin dinamik olarak dizayn edilmesi, online kayıp-kaçak izleme çalışmaları, sensör verilerinin analiz edilmesi/yorumlanmasının ve bütünsel su yönetim yazılımlarının geliştirilmesi yer almaktadır.

Ayrıca olası afet durumlarında şebeke hatlarının mümkün olan en kısa zamanda değerlendirilmesini sağla-

yabilecek teknolojilerin geliştirilmesi, uydu teknolojilerinin ve insansız hava araçlarının şebeke hasar/arıza durumlarında kullanımının milli teknoloji tabanında, yerli imkanlarla su kurumlarına kazandırılması için yapılacak olan Ar-Ge faaliyetleri öne çıkan diğer konu başlıkları arasındadır.

Kaynaklar

D. Loureiro, H. Alegre, M. S. Silva, R. Ribeiro, A. Mamade ve A. Poças. *Implementing tactical plans to improve water-energy loss management*. Water Science & Technology: Water Supply, DOI: 10.2166/ws.2016.092.

Erika Yesenia Avila-Melgar, Marco Antonio Cruz-Chávez ve Beatriz Martinez-Bahena. *General methodology for using Epanet as an optimization element in evolutionary algorithms in a grid computing environment for water distribution network design*. Water Science & Technology, DOI: 10.2166/ws.2016.101.

International Water Association. *Performance Indicators for Water Supply Services*, IWA Manual Best Practice, Birinci Basım, IWA Yayınları, Londra, 2000.

Nicola Fontana, Maurizio Giugni and Gustavo Marini. *Experimental assessment of pressure-leakage relationship in a water distribution network*. Water Science & Technology: Water Supply. DOI: 10.2166/ws.2016.171.

R. Pe´rez, V. Puig, J. Pascual, A. Peralta, E. Landeros ve Ll. Jordanas, *Pressure sensor distribution for leak detection in Barcelona water distribution network*. Water Science & Technology: Water Supply. DOI: 10.2166/ws.2009.372.

TC. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği. Resmi Gazete Tarihi: 16.07.2015 Resmi Gazete Sayısı: 29418.

DÜNYA NÜFUSUNUN %60'NDAN FAZLASINI BARINDIRAN ASYA KİTASI, KULLANILABİLİR SUYUN %36'LIK BİR KISMINA SAHİP. YİNE DÜNYA NÜFUSUNUN %6'SINA KARŞILIK GELEN GÜNEY AMERİKA KITASINDA KULLANILABİLİR SUYUN %26'SI BULUNUYOR.



AR-GE ATÖLYESİ

Araştırma Geliştirme ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Araştırma ve Geliştirme Şube Müdürlüğü bünyesinde, su ve atıksu sektöründeki gelişmelerle ilgili güncel konularda her ay söyleşi ve seminer programları düzenlenmektedir. Bu kapsamda organize edilen programlara akademisyenler, konularında uzman özel sektör temsilcileri ve kurumumuzda görev yapan, konu ile ilgili teknik personeller davet edilmektedir. Bu yazımızda, 2017 yılında yapılan AR-GE Atölyesi çalışmaları kapsamında işlenilen teknik konuları derleyerek sizlerle paylaşmak istedik.

Ar-Ge Atölyesi-1 **Su-atıksu yönetimi ve kazısız teknolojiler**

29 Haziran 2017 tarihinde Budapeşte Su İşleri ve AquaTurkey Firmasının katılımı ile gerçekleştirilen atölye kapsamında Budapeşte Su İdaresi tanıtım sunumu yapmış, şebekelerde basınç yönetimi, su kayıp-kaçakları ve kazısız teknoloji yöntemleri (Boru Patlatma, Boru İtme ve Boru Yönlendirme) ile ilgili çalışmalar anlatılmıştır. İSKİ'den ilgili daire başkanlıkları da kazısız teknolojiler ile yaptıkları çalışmaları sunmuştur. Çalışılabilir ortak projeler ile ilgili fikir alışverişi yapılmıştır.



Ar-Ge Atölyesi-2

Dünyada kazısız teknolojiler

21 Temmuz 2017 tarihinde Amerika'da faaliyet gösteren kazısız teknoloji alanında öncü firmalardan American Structurepoint Firmasından Dr. Fırat SEVEN'in katılımı ile gerçekleştirilen ATÖLYEDE Dünyada Kazısız Teknolojiler konu başlığında ABD'de yaygın kazısız teknoloji uygulamalarının (Yatay Delgi (HDD), Boru Patlatma, Mikrotünelleme, Pilot Boru Metodu, Boru Rehabilitasyonu (Astarlama), Yerinde Kürleme

(CIPP), Boru Sürme (Sliplining (Deform/Reform), Geopolimer, Rijit Astarlama (GRP), Fiber Donatılı Plastik (FRP), PVC Panel uygulamaları) tanıtım sunumları, Kanalizasyon sistemi denetlemesi ve durum analizi yöntemleri (Boru İçinde Denetim, Duman ve Boya Testi) sunumları, altyapı rehabilitasyonu yöntemleri, kanalizasyon ve içmesuyu mühendislik hizmetleri uygulamalarının sunumları gerçekleştirilmiştir.



Ar-Ge Atölyesi-3

CIPP ve Fold & Form malzemelerinin Ar-Ge ve yerli üretimi

4 Ağustos 2017 tarihinde AKATED Yönetim Kurulu Başkanı Yasin TORUN, ECE- TAŞ Firmasından Dr. Mustafa Cumhuri ÖZGİRĞİN VE İstanbul Üniversitesinden bir akademisyenin katılımı ile Cured in Place Pipe (CIPP) ve Fold& FormPipe (FFP) Yöntemlerinde kullanılan malzemelerin yerli teknoloji ve imkanlar ile üretilebilmesi için izlenecek yol haritasına ilişkin çalışmalar yapılmıştır. FFP yönteminin özellikleri; mevcut gömülü sistemlere çok az zarar vermesi, aşırı aşınmış boru hatlarında düzeltilebilme

imkanı sağlama, asitlere karşı dayanıklı olması, çok az kesit alanı kaybı olsa da akış kapasitesinin düzgün iç-yüzey nedeniyle artması, yama/ekleme parçası gerektirmemesi, hızlı döşenebilir ve gerektiğinde geri çekilebilir olmasıdır. CIPP yönteminin özellikleri ise; ön tamir gerektirmemesi, dairesel olmayan geometrilere de uygulanabilmesi, dirseklerde bile kaplama yapılabilmesi, 50-100 yıl tasarım ömrüne sahip olması ve korozyon dirençli olmasıdır.



Ar-Ge Atölyesi-4

Buharlaştırma karşıtı yerli ürün tanıtımı

28 Eylül 2017 tarihinde İstanbul Üni. Deniz Bil. Ve İşletmeciliği Enstitüsünden Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR, Yrd. Doç. Dr. Ömer Suat TAŞKIN, Yrd. Doç. Dr. Abdullah AKSU'nun katılımı ile Buharlaştırma Karşıtı Yerli Ürün sunumları gerçekleştirilmiştir. Bu sunumda ürünün buharlaşmayı engellemenin yanı sıra benzerle-

rinden farklı olarak içme, sulama ve göl sularında ötrifikasyonu engelleyerek arıtım maliyetlerini düşürmesi, göl ve göletlerdeki rekreasyon faaliyetlerine katkı sağlaması, köpük olmadan hızlı film tabakasını oluşturmamasından söz edilmiştir.

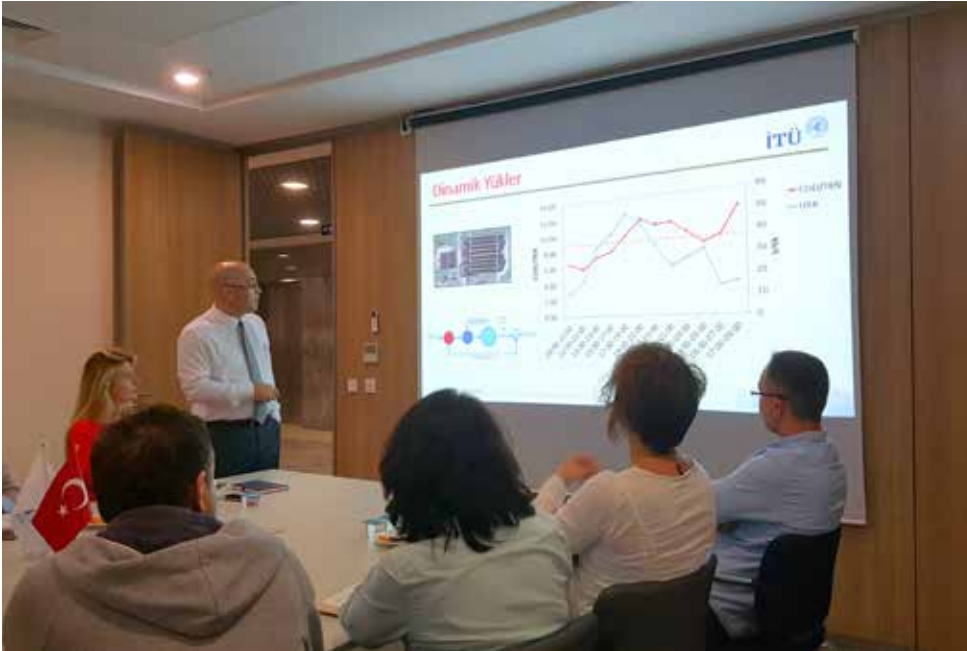


Ar-Ge Atölyesi-5

Atıksu karakterizasyonu ve biyokütleyle bağlı atıksu arıtma prosesi seçimi

26 Ekim 2017 tarihinde İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden Prof. Dr. Güçlü İNSEL'in katılımı ile Atıksu Karakterizasyonu ve Biyokütleyle Bağlı Atıksu Arıtma Prosesi Seçimi konu başlıklı sunumlar gerçekleştirilmiştir. Bu sunumda tasarım/izleme çalışmaları için deneysel karakterizasyon

basamaklarından (KOİ Fraksiyonlarının Belirlenmesi, Nitrifikasyon Hızı Testleri, Denitrifikasyon Potansiyelinin Belirlenmesi, Fosfor Salım/Depolama Hızı Çalışmaları, Anaerobik Hidroliz Hızı Çalışmaları, ZSV Testleri) ve saha örneklerinden söz edilmiştir.

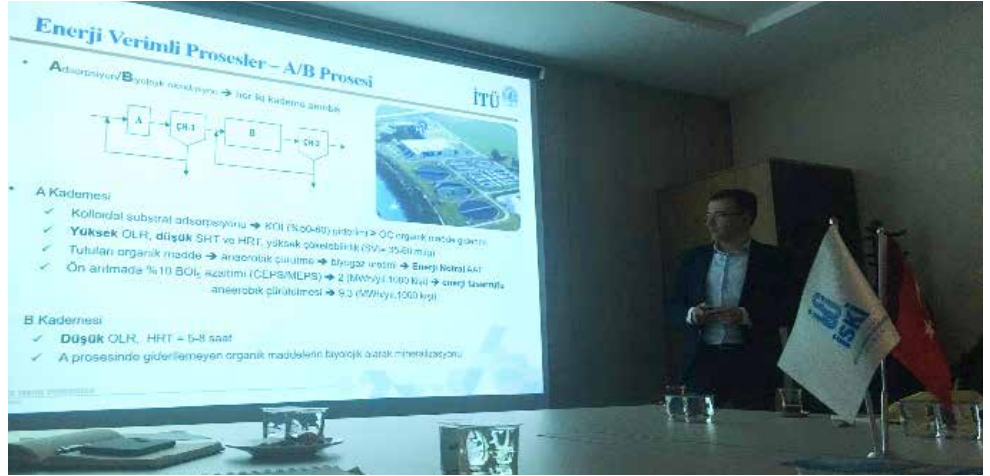


Ar-Ge Atölyesi-6

Atıksu arıtımında enerji verimli yenilikçi yaklaşımlar

23 Kasım 2017 tarihinde İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Evren ERŞAHİN'in katılımı ile Atıksu Arıtımında Enerji Verimli Yenilikçi Yaklaşımlar konu başlıklı sunumlarda su/atıksu altyapı ve arıtma sistemlerinin enerji verimli çalıştırılması hedefi ile atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanımını etkileyen faktörlerden, (Nüfus, Giriş Atıksu Karak-

terizasyonu, Çıkış Suyu Kalitesi ve Değişen Standartlar, Proses Tipi, İşletme Kriterleri, Ekipman Seçimi/İşletimi/Bakımı) enerji verimli proseslerden (A Prosesi, A/B Prosesi, Granüler Aktif Çamur Prosesi, Sharon ve Sharon/Anammox Prosesi, AnMBR Prosesi), atıksu arıtma tesislerinde entegre arıtım yöntemlerinden ve dünyadaki enerji tasarrufları örneklerinden söz edilmiştir.



Ar-Ge Atölyesi-7

Aerogel içerikli ve koruyucu amaçlı kaplama malzemesi

28 Aralık 2017 tarihinde İstanbul Üni. Deniz Bil. ve İşletmeciliği Enstitüsünden Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR, Yrd. Doç. Dr. Ömer Suat TAŞKIN, Yrd. Doç. Dr. Abdullah AKSU ve Ekinoks Kimya Firmasından Yalçın EKAL'ın katılımı ile gerçekleşen Aerogel içerikli ve Koruyucu Amaçlı Kaplama Malzemesi konu başlıklı sunumlarda su isale hatlarında kullanılan borular, vanalar vb. malzemelerin kul-

lanılana kadar toprak altında stoklanması halinde veya kullanım esnasında korozyona uğraması sonucunda oluşan maddi kayıpların, su depolarında çimento bazlı materyal kullanıldığında toprak hareketleri veya çökmelerle oluşan hasarların minimize edilmesi için fayda sağlayabilecek olan aerogel içerikli kaplama malzemesi tanıtılmıştır.

SU, HERŞEYİ DEĞİŞTİRİR.



MEVLANA/SEMAZEN TRİDENT ÇALIŞMASI

Zeki GÜNGÖR

İkitelli Su Arıtma Şube Müdürü

içme suyu arıtma tesisleri genel olarak havalandırma-ön ozonlama-hızlı karıştırma-yavaş karıştırma-durultucu-hızlı kum filtresi ve son dezenfeksiyon gibi ünitelerden oluşur. Bu tesisler ihtiva etmiş oldukları durultucu tipine göre adlandırılırlar. Günümüzde yatay akışlı durultucular, Degremont tipi durultucular, yukarı akışlı lamellalı durultucular, mikro kumlu durultucular ve yukarı akışlı çamur yataklı durultucular olmak üzere bir çok durultucu tipi kullanılmaktadır. Bu durultucu tiplerinin hemen hemen tamamı ülkemizde büyük bir su kuruluşu olan İSKİ’de kullanılmaktadır. Durultucuların tiplerine bağlı olarak birbirlerine göre üstün ve zayıf tarafları bulunmaktadır. Örneğin, yatay akışlı dikdörtgen havuzlar değişken debi ile işletme kolaylığı sağlarken yüzey yüklemeleri 2 m/saat’i geçmemelidir. Yüzey yükü parametresi 2 m/saat’in üzerine çıkarıldığı durumda su kalitesinde istenen performans elde edilememektedir. Diğer bir durultucu tipi olan lamellalı havuzlarda yüzey yükü 10 m/saate kadar çıkarılabilirken işletme zorluğu ve temas süresindeki yetersizliklerden dolayı oksidasyon sü-

resi uzun olan mangan gibi parametrelerin giderilmesi de güç olmaktadır. Aynı şekilde, yukarı akışlı çamur battaniyeli durultucularda bir çok istenmeyen parametrenin gideriminde iyi sonuçlar alınırken değişken debilere maruz kaldığı zamanlarda, çamur kabarmalarına ve ölü nokta oluşumuna yol açarak su kalitesinde olumsuzluklara sebebiyet verebilmektedir.

İyi işletilen bir tesiste, istenmeyen parametrelerin büyük bir oranı durultucu ünitelerinde giderilmektedir. Tabi ki bu durultucu tipine de doğrudan bağlıdır. İdareemiz İSKİ’de İkitelli, Taşoluk ve Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesislerinde kullanılmakta olan durultucu tipi yukarı akışlı çamur battaniyeli sistemlerdir. Bu sistemlerde işin tekniği gereği çamur yatağının askıda ve tüm havuz tabanının hareketli olması gerekmektedir. Bu şartların sağlanabilmesi için de sistemin proje değerlerine uygun sabit debi ile çalıştırılması ve su dağıtımını sağlayan tridentlerin tıkanmaması için gerekli şartların sağlanması gerekir. Sabit debi imkanları sağlansa dahi tridentlerde zamanla oluşan tıkanmalar



İyi işletilen bir tesiste, istenmeyen parametrelerin büyük bir oranı durultucu ünitelerinde giderilmektedir.

havuz tabanında ölü nokta oluşmasına yol açmaktadır. Oluşan ölü nokta sayısı arttıkça su kalitesinde tat ve koku problemleri de artmaktadır.

Bu çalışmada, yukarı akışlı çamur battaniyeli durultucularda;

- 1- Ölü nokta oluşumunu engellemek,
- 2- Daha iyi bir koagülasyonla daha iyi bir çamur yatağı oluşturmak,
- 3- İyi oluşan çamur yatağı sayesinde çıkış suyunda tad-koku oluşumunu azaltmak,
- 4- Bulanıklık, partikül ve renk giderim verimini arttırmak,
- 5- Organik madde giderim verimini arttırmak,
- 6- Oluşacak iyi bir çamur yatağında bir çok virüs tutmak,
- 7- Yeni yapılacak projelerde yavaş karıştırma, hızlı karıştırma ünitelerini kaldırarak üç işlemi tek bir alanda gerçekleştirmek,
- 8- Trident sayısını azaltarak işletmeyi kolaylaştırmak gibi amaçlar hedeflenmektedir.

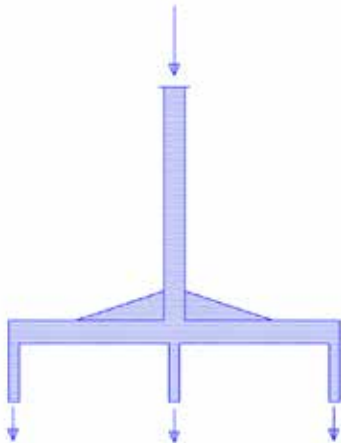
Mevcut durumda, durultucuda yer alan tridentlerden orifis vasıtasıyla çıkan su dikey olarak havuz tabanına çarparak yukarı doğru yükselecek şekilde bir çalışma sistemi bulunmaktadır.



Bu proje, yukarı akışlı çamur battaniyeli durultucularda mevlana/semazen olarak adlandırılan trident sisteminin uygulanabilirliği konusunda gerçek testte demo çalışmalarının yapılması işini kapsamaktadır. Mevcut durumda trident sistemi sabit ve aşağı yönlü olacak şekilde çalışmaktadır. Mevlana/semazen trident sisteminde ise tridentin alt tarafında bulunan T kısmı suyun hidrolik gücü ile sürekli dönecek ve su dağıtımını sağlayan orifisler yatay ve zıt istikamette olacak şekilde sayısı ikiye düşürülmüştür. Aşağıda görüldüğü gibi bu projede hedef, çıkış orifis yapısını yatay olarak suyun hidrolik kuvveti ile bir karıştırıcı gibi çalışmasını sağlamaktır.



Mevcut durumda, durultucuda yer alan tridentlerden orifis vasıtasıyla çıkan su dikey olarak havuz tabanına çarparak yukarı doğru yükselecek şekilde bir çalışma sistemi bulunmaktadır.





Mevlana/semazen trident sisteminde ise tridentin alt tarafında bulunan T kısmı suyun hidrolik gücü ile sürekli dönecek ve su dağıtımını sağlayan orifisler yatay ve zıt istikamette olacak şekilde sayısı ikiye düşürülmüştür. Aşağıda görüldüğü gibi bu projede hedef, çıkış orifis yapısını yatay olarak suyun hidrolik kuvveti ile bir karıştırıcı gibi çalışmasını sağlamaktır.



Önce mevcut hidrolik yük ile bu sistemin dönme hareketinin sağlanıp sağlanamayacağı üzerinde çalışılmıştır. yukarıdaki resimlerde de görüldüğü gibi İSKİ İkitelli İçme Suyu Arıtma Tesislerinde (gerçek tesiste) uygulanan mevlana/semazen tridentin mevcut hidrolik şartlarda havuzun hem boş halinde hem de normal işletmede iken sorunsuz bir şekilde çalıştığı tespit edilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda;

- 1- Dönme hareketinin sağlandığı noktalarda hangi tür ekipmanların kullanılacağı,
- 2- Dönme hareketini durduracak herhangi bir olumsuz durumun oluşmasında sistem boşaltılmadan nasıl müdahale edileceği,

3- 12 adet tridentin bulunduğu bir kanala uygulandığında hedeflenen su kalite parametrelerini nasıl etkilediği,

4- Havuzlar normal işletmede iken mevlana/semazen tridentlerin çalışıp çalışmadığının tespitinin nasıl yapılacağı,

5- Mevcut trident sayısını azaltmadan tamamının mevlana/semazen trident olarak uygulanması durumunda montaj ve çalışma prensibinin nasıl projelendirileceği üzerinde çalışılacaktır.

Bu proje; Türkiye Su Enstitüsü Başkanı Prof. Dr. Ahmet Mete SAATÇI, Çevre Mühendisi Mehmet TATLISU ve İSKİ İkitelli Su Arıtma Şube Müdürü Zeki GÜNGÖR tarafından yürütülmektedir.

Temiz Suyun GÜVENCESİ



İSTANBUL
BÜYÜKŞEHİR
BELEDİYESİ



İSTANBUL
SU VE KANALİZASYON
İDARESİ

İSTANBUL SU ve KANALİZASYON İDARESİ

Güzeltepe Mah. Alibey Cad. No:7 34060 Eyüp / İSTANBUL

Tel: 0212 321 00 00 / 0212 301 20 00 • Faks: 0212 321 77 19 / 0212 301 60 00

www.iski.istanbul