

ATIK SU ARITMA TEKNOLOJİLERİNDEKİ TARİHSEL GELİŞİMLER

Sayiter YILDIZ¹, Osman Önder NAMAL², Mehmet ÇEKİM³

^{1,2,3} Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü SİVAS

¹sayiteryildiz@gmail.com.tr, ²cevremuhendisi@windowslive.com, ³mehmet_cekim@windowslive.com

(Geliş/Received: 04.01.2013; Kabul/Accepted in Revised Form: 07.02.2013)

ÖZET: İnsanlığın ilk yıllarından itibaren insanlar atıklarını yaşam alanlarından uzaklaştırmaya çalışmıştır. İlerleyen yıllarda bu atıkları sadece yaşam alanlarından uzaklaştırma ile sorunun çözülmediği anlaşıldı. Çünkü bu atıklar faydalanılan kaynakları (toprak-su gibi) kirletmeye devam ediyordu. Böylece atık suların alıcı ortamı kirletmeden verilmesi gerektiği farkındalığı oluştu ve arıtma kavramının ilk temelleri atılmış oldu. Doğal arıtma ile başlayan süreç fiziksel arıtma, aktif çamur sistemleri, anaerobik arıtma, ileri arıtma, membran sistemler ve ileri oksidasyon sistemleri ile devam etti. Günümüzde atık suyun özelliklerine ve mevcut yerin özelliklerine göre en uygun arıtma teknolojisi seçilerek atık suların arıtılarak alıcı ortama verilmesi sağlanmaktadır. Bir yandan çevreye zarar vermeden atık suların uzaklaştırılması sağlanırken diğer taraftan daha verimli ve daha ekonomik sistemlerin arayışına devam edilmektedir.

Anahtar kelime: Atık su, atık su arıtma, aktif çamur, ileri arıtma

The Historical Development of Wastewater Treatment Technologies

ABSTRACT: Human beings have tried to remove their wastes from their habitat since the first years of mankind. In the progressive years it was realized that the problem had not been solved by removing these wastes only from the living spaces. Because these wastes were continuing to pollute the utilized sources (like soil and water). Thus, the awareness regarding the requirement of the waste water having to be discharged without polluting the receiving ambient has been established and this has paved the way for the treatment concept. Process mechanism which has started with natural treatment has continued with physical purification, activated sludge system, anaerobic digestion, membrane systems and advanced oxidation processes. Today discharge of treated waste water into the receiving ambient is enabled by selecting the most appropriate treatment technology in accordance with the characteristic properties of the waste water and existent location. On the one hand, waste disposal without harming the environment is enabled on the other hand seeking out more efficient and cost effective systems is being carried on.

Keyword: Wastewater, wastewater treatment, activated sludge, advanced treatment

GİRİŞ

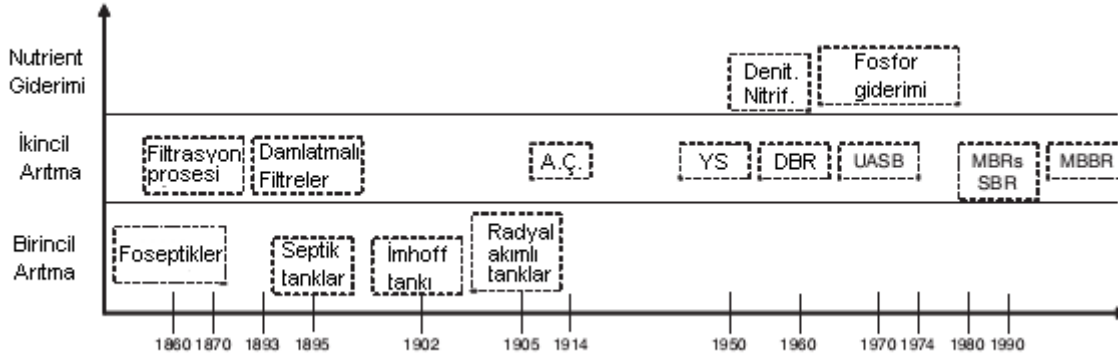
İlk ve orta çağlarda insan artıkları kent dışına çıkarmakla, surların dışına atmakla yetinirdi. Kentleşme olgusunun başladığı andan itibaren de çevresel sorunlar başladı. Ekonominin renklenmesi, şekillenmesi, dallanması çok çeşitli artıkların oluşmasına neden oldu. Bunun sonucu olarak kentlerin sayısı ve büyüklükleri arttı. Büyüyen kentler insanlar için yeni çekim merkezlerini oluşturdu [1].

İnsanlar küçük topluluklar halinde yaşadığı sürece sulama ve atık su toplama, arıtma gibi sorunları yoktu. Su kaynaklarına yakın yerleşmişlerdi. Sıvı ve katı artıklarını da doğal ortamların özümleme gücü altında oluşu nedeni ile kolayca bertaraf edebiliyorlardı [1]. İnsanların, su ve atık suları

bir boru ile iletmeye başlamasını öğrenmeleri için binlerce yılın geçmesi gerekmiştir [2]. Kanalizasyon inşaatı ve tekniği yüz yıllar boyunca insanlık tarafından unutuldu. Bu nedenle de ortaçağ gelişmiş olarak tanınan ülkelerde çevre olayı facia denecek boyutlara erişti [2].

Hızlı kentleşme sonrasında ilk uygulanan arıtma işlemi arazide arıtmadır. Bu sistemde kanalizasyon suları tarım arazilerine taşınmaktaydı. O dönemlerde kanalizasyon sularının tarım arazileri üzerindeki kullanımının gübre değeri taşıdığı savunulmuştur. Daha sonra bu sistem kademeli olarak terk edilmiştir. Çünkü büyüyen ve gelişen şehirler etrafında tarım arazileri azalmakta olup, atık suların arıtıldığı arazilerde hijyen standartları düşmektedir [3].

Atık suların arıtımının tarihsel gelişimi Şekil 1’de verilmektedir.



A.Ç. : Aktif çamur; YS: Yapay sulak alanlar; DBR: Döner biyolojik reaktörler (yada döner biyodiskler); UASB: Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktörler; MBRs: Membran biyoreaktörler; MBBR:

Hareketli yataklı biyofilm reaktörler, SBR: Seri bağlı kesikli reaktörler

Şekil 1: Atık su arıtımının gelişimi [4].

Atık suların çevre üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılması ve daha gelişmiş analitik metotlarla gelişen ülkelerde ileri arıtma daha yaygın hale gelmiştir. İkincil arıtma ve karbonlu kirleticilerin azaltılması arıtma tesislerinde daha yaygın hale gelmiş ve diğer bir hedef ötrofikasyonun önlenmesi olmuştur. Alıcı sulara bağlı olarak birçok arıtma tesisinde azot, fosfor ya da her ikisini birden giderme ihtiyacı oluşmuştur [4].

Atık su arıtma proseslerinin gelişimi standartlar ya da çıkış suyu kalitesi gereksinimleri ve atık su karakteristiklerine göre belirlenen arıtma hedefleriyle ilgilidir. Modern atık su arıtma sistemlerinin 80 ya da 100 yılı arasında ana bileşenlerinin değişmemesine rağmen evsel atık sulara yeni ürünlerdeki teknolojik gelişmeler, hane halkının alışkanlıklarındaki değişimler ve modernizasyon, artan kentleşme nedeniyle birçok yeni bileşenler ve kimyasallar eklenmiştir. Özellikle sentetik deterjanların ortaya çıkması ve ilgili yıkama formülasyonlarıyla fosfatların yaygın kullanımı ve hane halkının çeşitli amaçları için geniş ölçüde kullanılan birçok sentetik organik kimyasallar önemli olanlarındandır. Bu yeni sorunlu bileşenlerin esas kaynağı açık kanallara ve atık su arıtma tesislerine ulaşan endüstriyel atık su deşarjlarıdır [5].

Çıkış suyu kalitesi gereksinimleri çıkış suyunun deşarj edildiği alıcı suların kalite kriterlerine ya da çıkış suyunun yeniden kullanıldığı durumlarda arıtılmış suları tüketenlerin kalite gereksinimlerine bağlıdır. Alıcı sulardaki kirletici yüklerini artışı ve birçok su ortamının kalitesindeki bozulmanın devam etmesi daha yüksek çıkış suyu kalitesi standartlarının getirilmesine ve bu standartlara yeni parametrelerin eklenmesine neden olmuştur. Atık su karakteristiklerinin kombinasyonlarıyla çıkış suyu standardının gereksinimi arıtma hedefini belirler. Bu hedeflerin karşılanması için arıtma teknolojileri geliştirilir ve ortaya konulur [5].

Dünya da modern manada ilk atık su tesisi, 1842 yılında Hamburg’da inşa edilmiştir. Bunda 12 yıl sonra da, 1855’de, Chicago’da, ilk kanalizasyonun yapımına başlanmıştır. Tasfiye tesislerinin inşası ise 1870 yılından sonradır [6].

20. yüzyılın ortalarına doğru eğilimler yeni düzenleme ve devlet teşvikleri yönündedir. 1948 yılında Amerika’da Federal Su Kirliliği ve Kontrol Yasası çıkarılmıştır. Öncelik su kalitesi araştırmaları

ve biriktirme ve arıtma tesislerinin inşaatı için federal fonların sağlanmasıdır. 1966 yılında tesis inşası için hibeler genişletilmiştir [7].

1960 yılı sonrası eğilimler alınan su kalitesinin artırılmasında arıtma proseslerinin ilerletilmesi yönündedir. Alıcı sularda ötrofikasyon kontrolü için nutrient (azot ve fosfor) giderimi, kimyasal şartlandırıcıların kullanımı (polimerler, polielektrolitler), gelişmiş katı ayırma ve yoğunlaştırma için çözünmüş hava flotasyonu gibi gelişmeler kaydedilmiştir. Ayrıca Yüksek hızlı aktif çamur prosesleri, ardışık kesikli reaktörler, yüksek hızlı damlatmalı filtreler ve hibrit damlatmalı filtre-aktif çamur prosesleri, membran bioreaktörler gibi yeni proses konfigürasyonları tasarlanmıştır. Bunlara ek olarak yüksek sıcaklıklı proseslerin kullanıldığı gelişmiş çamur çürütücüler ve çıkış suyu dezenfeksiyonu 1960 sonrası geliştirilen arıtma teknolojilerine örnek verilebilir [7].

Günümüzde su temini ve tasfiyesine ihtiyacın artmış olması, çevre mühendisliği konusunda, daha etraflı fikirlerin geliştirilip tatbik edilmesini gerektirmiştir. Su kalite standartları yükselmekte, buna karşılık ham su kalitesi gittikçe bozulmaktadır. Günün birinde acı ve tuzlu su kullanmak mecburiyetinde kalınacağı düşünülerek bu suların tasfiyesi için araştırmalar yapılmaktadır [6].

Bu çalışmada, atık suların arıtılması uygulamalarının tarihsel gelişimi ve geçmişten günümüze arıtma teknolojileri incelenmiştir. Gerek mevcut uygulamalar gerekse geçmişteki uygulamalar karşılaştırılarak atık suların arıtılması hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

ESKİ DÖNEMLERDE ATIK SU UZAKLAŞTIRMA TEKNİKLERİ

Su yapıları mimarisindeki gelişmelerin başlangıcı İsa'dan önce 3000 ve 4000 yıllarına kadar gitmektedir. Eski Hindistan'ın Mohenco Daro kendinde İsa'dan 4500 yıl öncesine kadar varan tarihlerde helâ, hamam ve kanalizasyon gibi yapıların yapıldığı belgelenmiştir. Kentin her sokağında üzeri kiremit ile örtülmüş bir veya iki kanaldan tüm kanalizasyon şebekesi oluşmakta idi [1].

Merkezi su getirme ve atık su uzaklaştırma sisteminin inşası ile ilgili arkeolojik kayıtlar beş bin yıl evveline kadar uzanmaktadır (Sümerlerin inşa ettiği Nippur şehri). Nippur harabelerinde, kemerli bir atık su kanalının mevcudiyetine rastlanmıştır. Burada içme suyu, kuyu ve sarnıçlardan alınmakta ve çok geniş bir drenaj sistemi, kullanılmış suları saraylardan ve şehirden oturma bölgelerinden uzaklaştırmaktadır [2].

Suların tasfiye edilmesine ait ilk bilgileri ise, Sanskrit tıp kitaplarında (M.Ö. 2000) ve Mısır hiyerogliflerinde (duvar kabartmalarında) rastlanmaktadır. Su getirme ve suların tasfiyesi ile ilgili mühendislik çalışmaları hakkında bilgi veren ilk rapor M.S. 97 yılında, Eski Roma'nın su işlerinden sorumlu yüksek bir memuru olan Sextus Julius Frantinus tarafından yazılmıştır. Frantinus' un Roma'nın su getirme tesisleri hakkında iki eseri mevcuttur. Bu eserlerde, Roma'ya su getiren akedüklerin birinin başında bir çöktürme havuzunun mevcut olduğu ve akedüklerin çoğunun içinde kum ve çakıl tutucular inşaa edilmiş bulunduğu kayıtlıdır [2].

Nippur ve Roma'nın drenaj kanalları Antik devrin büyük yapıları arasındadır. Bu kanallar önceleri caddelerden yağmur suyunu uzaklaştırmak ve sokakları yıkamak için yapılmışlardır. Bazı ev ve saraylardan bu kanallara bağlantı yapıldığına dair misaller varsa da bunlar istisnai hallerdir ve evlerin çoğunun kanallara bağlanmadığı görülmektedir [2].

Silezya'da bulunan Bunzlau kentinde 1531 yılında ve sonra kentte toplanan sular tarlalara sızdırılmak sureti ile işleme tabi tutuluyorlardı. Çiftçiler sızdırma yapılan tarlalarda verimin arttığını görünce, atık su sızdırma hakkını satın almak için yarışa girdiler. Yeterli atık su olmadığı için de sızdırma olayı altı saatlik aralıklarla gerçekleştirilebiliyordu. Ancak bilinçsiz ve zorunlu olarak yapılan bu uygulama çok yerinde idi. Bu sayede topraktaki mikroorganizmalar toprağın havalanmasını, atık suyun organik maddelerinin parçalanmasını sağlamış oluyordu [2].

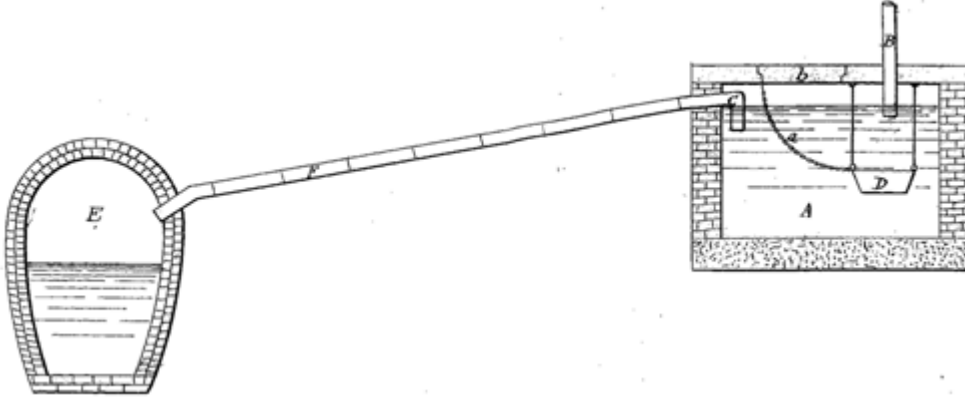
XVII - XIX. YÜZYILLARDA ARITMA TEKNOLOJİLERİNİN GELİŞİMİ

1700'lü yıllarda Amerika'da genellikle kanalizasyon suları bir bahçe, cadde, ya da kanalizasyon hizmeti için açılan açık kanallara deşarj edilmekteydi. Nüfus yoğunlukları düşük olduğundan

kanalizasyon sularının bu yolla bertarafı sağlık problemlerine neden olmamaktaydı. Ancak nüfus yoğunluklarının artmasıyla sağlık problemleri ve rahatsızlıklar görülmeye başlanmıştır [8].

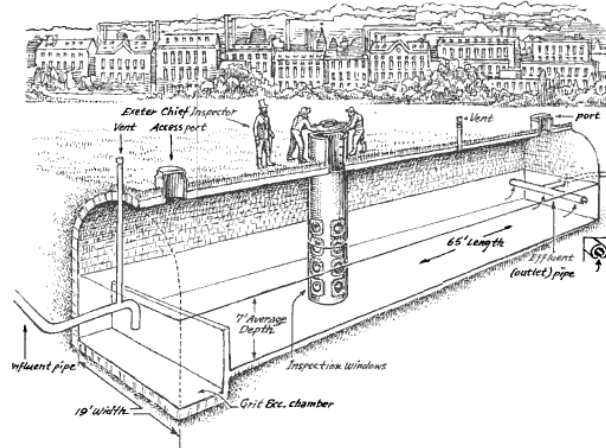
1800'lü yılların sonlarına doğru artan sanayileşme sonucu, fabrikalar yeni işçi yerleşim blokları, evsel atıklar, sanayii de oluşan atıklar hepsi gelişi güzel atılmaya, dökülmeye tabi tutuldu. Atıkların yükü su ortamlarının da kendi kendini arıtma kapasitesinin üzerinde olduğu için buralarda da kokuşma başladı. Bütün bu olayların olduğu dönemde insanların doğal ve fen bilgileri olayları açıklamak ve anlamak açısından yeterli değildi [1].

1800'lü yıllarda Amerika nüfusunun 5 milyondan 75 milyona yükselmesiyle toplama sistemleri geliştirilmiştir. Burada temel hedef bulaşıcı hastalıkların önlenmesidir. Bu sistemlerde açık hendekler gömülü kanalizasyonlarla değiştirilmiştir. 1860'ta kanalizasyon hizmeti verilen 1 milyon nüfus 1900'lerde 25 milyona yükselmiştir. Arıtma daha çok alıcı sularda seyrelmeyle sağlanmaktaydı [7]. Yine 1800'lü yıllarda Londra'da sağlıklı koşulların neden olduğu halk sağlığı sorunlarına çözüm getirmek için kanalizasyon sistemlerinin geliştirilmesine başlanmıştır, 1842 yılında Almanya'nın Hamburg kentinde İngiliz Mühendis Lindley tarafından kanalizasyon sistemi gerçekleştirilmiştir. 1850 yılında Mühendis Chesborough, Chicago'da ilk kapsamlı kanalizasyon sistemini dizayn etmiştir. 1860 yılında ilk foseptik L.H. Mouras tarafından dizayn edilmiştir [4]. Bu icat modern septik tankların bir öncüsüdür [9]. L.H. Mouras tarafından 1960 yılında tasarlanan ilk foseptik Şekil 2' de görülmektedir.



Şekil 2: L.H. Mouras tarafından 1960 yılında tasarlanan ilk foseptik [10].

İlk septik tank 1895 yılında Donald Cameron tarafından icat edilmiştir (Şekil 3). Septik tanklarla kanalizasyon sularının birincil arıtımı gerçekleştiriliyordu. Bu tankların kapasitesi 100000 galon'dan daha fazlaydı. Septik tankların temel amacı bir nehir ya da göle deşarj öncesi kanalizasyondaki ağır katıların giderimidir [11].



Şekil 3: 1895 yılında ilk defa Donald Cameron tarafından tasarlanan septik tank [11].

İngiltere'de 1830-1850 yıllarında artan kolera salgınları atık yönetimi ve sanitasyon için acil bir ihtiyaç oluşturmuştur [3]. 19. yüzyılın ilk kısımlarında (1820-1850) kolera salgınları Avrupa'daki diğer büyük kentlerde de görülmeye başlamıştır [9]. 1855 yılında başka bir kolera salgınından sonra

Parlamento Londra için yeterli bir kanalizasyon geliştirilmesi için Büyükşehir Yönetimi'ni harekete geçirmiştir. Su kirliliğinin kontrolü ve toplum sağlığının korunması için ilk girişim "kanalizasyon tarımı" olmuştur. Bu teknoloji Amerika, Fransa ve Almanya'da 1870'lerde ilk arazide arıtma sistemlerinin ortaya çıktığı zamanlarda 1840-1890 yılları arasında İngiltere'de geliştirilmiştir. İngiltere'de 1874 yılı sonrasında atık suların askıda katı madde ve nutrient giderimi için çim arazilerde toprak üzerinde akış sistemi uygulanmıştır [3].

1887 yılında ise organik madde ve azotun canlı mikroorganizmalar tarafından okside edildiği görülmüştür [3]. Aynı yılda Massachusetts, Medford'da ilk arıtma birimi olan kesikli kum filtresi denemesi yapılmıştır [12]. 1887 yılında Medford, Mass'da kurulan ve işletilen bu kesikli kum filtresi ilk biyolojik arıtma prosesi olarak bilinir [7].

19. yüzyılın ortalarında yerel su kaynaklarının kontamine olması, sık sık salgınların meydana gelmesi, yangın söndürme ve sokak sulama gibi yerel su ihtiyaçlarındaki artışla birlikte içilebilir su kaynakları borularla taşınmaya başlanmıştır. 19. Yüzyılın ortalarında ve 1860 yıllarında su temini sistemleri sık olarak Amerika'daki büyük şehirlerde inşa edilmiştir [8]. Su temini sistemlerinin artması kanalizasyon sularında artışa neden olmuştur.

Dünya da modern manada ilk atık su tesisi, 1842 yılında Hamburg'da inşaa edilmiştir. Bunda 12 yıl sonra da, 1855'de, Chicago'da, ilk kanalizasyonun yapımına başlanmıştır. Tasfiye tesislerinin inşaa ise 1870 yılından sonradır [6].

İngiltere'de 1847 yılında kurulan "River Pollution Commission"una 1848 yılında giren orada çalışan Sir Edward Frankland ise atık su arıtılmasını ilk bilimsel olarak ele alan kişi oldu. Arazide sızdırma yöntemi ile atık su artırırken toprağın havalanması için yeterli bir aralığın bulunması gerektiğini belirledi. Böylece atık su arıtma teknolojisinde "havalandırma"nın çok önemli bir işlem oluşu ilk defa ortaya konulmuş olundu. Bu yargısı ise onbeş sene sonra deneysel olarak da kanıtlandı. Mansachusetts Eyaletinin Lawrence Deneme tarlasında yapılan araştırmalar bunu bilimsel olarak ortaya koymuştur [1].

İngiltere Parlamentosu ilk defa 1865 yılında bir komisyon kurarak akarsuların kirlenmesi ile ilgilenmelerini görevini verdi. Komisyonunun raporlarına binaen bir sürü yasa ve yönetmelikler hazırlandı. 1847: akarsuların kirletilmesi kesinlikle yasaklandı. 1861: Atık suların arıtılması yasası çıkarıldı. İşte atık su arıtma teknolojisinin gelişmesinde bu tarih çok önemli bir mihenk taşı oldu. Arıtma teknolojileri geliştirildi [1].

DOĞAL ARITMA YÖNTEMİNDEKİ GELİŞMELER

Geleneksel arıtma yöntemlerinin kırsal yerleşim birimlerinde uygulanmasında çok çeşitli problemlerle karşılaşmıştır. Yatırım maliyetinin yüksek oluşu, köylüler tarafından karşılanamayacak kadar çok elektrik enerjisine ihtiyaç duyması, birtakım ekipmanların yurt dışından ithal edilmesi, bakım-onarımın pahalı oluşu ve işletme için kalifiye elemana ihtiyaç duyulması problemlerden bazılarıdır. Doğal arıtma yöntemleri ve yapay sulak alan teknolojisi dünyanın birçok yerinde bu tip problemlere çözüm getirmek için geleneksel arıtma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen ekoteknolojiler arasında yer almaktadır. Bu yöntem ilk defa 1960 yılında Almanya'da Dr. K. Seidel tarafından geliştirilmiştir [13].

Atık suların arıtılmasında kullanılan biyolojik sistemlerden maliyeti en düşük ve çevre dostu arıtma şekli doğal arıtmadır [14]. Atık suların doğal arıtma yöntemleri ile arıtılması Avrupa'da on dokuzuncu yüzyıldan sonra gelişerek uygulama alanı bulmuştur. O yüzyılda, birçok nehir aşırı derecede kirlendiği için atık suların araziye verilerek arıtılması, mevcut tek arıtma metodu olarak görülmüştü. Ayrıca, kullanılmış sular kırsal alanlara iletilmiş ve bu bölgelerde ziraatta kullanılmıştır. Şehirleşme dolayısıyla kırsal alanlar daralıp atık su arıtma metotları gelişerek yaygın hale gelince, bu eski sistemlerin pek çoğu terk edilmiştir [15].

Atık suyun araziye uygulanması, bazılarında göre üçüncül arıtım, bazılarında göre ise ikincil arıtım sınıfına girmektedir. Atık suyun araziye uygulanmasında, yüzey ve yüzey altı sızdırma ve derin kuyu enjeksiyon yöntemleri uygulanmaktadır. Araziye uygulama ve arıtılmış sudan yeniden

yararlanma, sızdırma, yüzeyde akıtma ve yeraltı suyuna karıştırma ile gerçekleştirilir. Ayrıca, arıtılmış su belirli bitkilerin sulanmasında da kullanılmaktadır [16].

Amerika'da arazide arıtma sistemlerinin kullanılmasına başlaması 1880'li yıllara dayanır. Özellikle, Amerika'nın batısında, yer altı suyunu beslemek gibi avantajı da olduğu için kullanılmıştır. Yirminci yüzyılın ilk yarısında bu sistemler yerlerini ya daha yoğun tesislerde arıtmaya ya da atık suların ürün yetiştirilmesinde kullanıldığı çiftliklere, sulama sistemlerine veya sızdırma sistemlerine bırakmışlardır [15].

1980 yılında, atık su arıtımında iki önemli uzman olan George Tchobanoglous ve Gordon Culp, atık su arıtımında yapay sulak alanların kullanımı konusunda derinlemesine yapılan ilk mühendislik çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir [17]. 80'li yılların sonlarında Hammer, (1989), küçük kasabalarda atık suların arıtımı için bir dizi gerçek boyutlarda ve küçük çaplı model yapay sulak alan projeleri yapmıştır [18].

1980'den beri Fransız araştırmacılar, küçük yerleşim yerlerinden gelen atık suların arıtılması için kamış yataklı filtreler üzerine çalışmaktadırlar. Halen Fransa'da 100–250 kişilik nüfusa hitap eden 15 tane kamış yataklı filtre bulunmaktadır. Sistemler kaba arıtımı yapılmış (2 cm'lik ızgaralarda) ham atık suyu kabul edecektir [19].

Doğal arıtma sistemlerinden stabilizasyon havuzları atık su arıtma metotları içinde konvansiyonel (geleneksel) arıtma prosesleri yerine veya bunlara ek olarak kullanılan en basit topraktan yapılmış sığ arıtma havuzlarıdır. Çökebilir katı maddeler dipteki bakteriler tarafından, askıda kalan katı maddeler ise süspansiyon halde bulunan bakteriler tarafından ayrıştırılır. Azot ve fosfor gibi besi maddeleri ortamdaki uzaklaştırılmış olur. İlk yatırım ve işletme masrafları oldukça düşüktür [15]. Bugünkü şekliyle stabilizasyon havuzlarının kullanımı başlangıçtaki başarısız denemelere rağmen ABD'de Dakota'da 1918 yılında gerçekleştirilmiştir. Bugüne kadar ABD'de şehir atık sularının arıtılmasında kullanılan stabilizasyon havuzlarının sayısı 7000'den fazladır [15].

AKTİF ÇAMUR PROSESİNDEKİ GELİŞMELER

Aktif çamur süreci ilk defa 1900'lü yılların başında İngiltere'nin Manchester kentinin atık sularının arıtılması amacı ile uygulanmıştır. Yaygın olarak kullanılması ise 1940'lı yıllara dayanmaktadır [16].

Aktif çamur prosesi İngiltere'de 1914'de Arden ve Lockett tarafından geliştirilmiştir [20]. Buradaki esas, mikroorganizmaların atık suyun içerisinde biyolojik değeri olan maddelerden yapı değişimi veya enerji kazanılması için faydalanmasıdır [15]. Sisteme aktifleştirilmiş (veya aktif) çamur denmesinin nedeni aerobik koşullarda atığı stabilize edecek aktif biyokütlenin üretilmesidir [21].

1914 yılında keşfedilen ve halen dünyada geçerliliğini sürdüren, mekanizması ve kontrolü günümüzde dahi araştırma konusu olan aktif çamur prosesidir [22].

Kirleticilerin giderimi için atık suların havalandırılması üzerine ilk deneyimler Lawrence, Massachusetts'deki Lawrence Deney İstasyonu'nda yürütülmüştür, aktif çamur prosesi Manchester Şirketi, Davylhulme Kanalizasyon İşleri, Nehirler Departmanı için araştırma yapan Edward Arden ve W.T. Lockett isimli iki mühendis tarafından 1913'te patentlenmiştir [4]. Edward Arden ve W.T. Lockett bir şişe içerisinde bulunan atık suyun havalandırılması işlemi sonrasında şişenin iç yüzeyinin yeşil alglerle kaplandığını gözlemlediler. Yürüttükleri çalışmalarda 1913-1914 yılları sırasında nitrifikasyon işleminin gerçekleşmesini başardılar [9]. Onlar kesikli reaktörlere benzeyen doldur-boşalt türü bir reaktörde yüksek kaliteli bir çıkış suyu elde ettiler. Onlar işlem sırasında çamurun aktif hale geldiğine inandıklarından aktif çamur olarak adlandırdılar. Onlar çok sonra karbonlu kirleticilerin mikroorganizmaların büyümesine aracılık eden karbondioksit, su ve enerjiye dönüştüğünü anladılar. Büyük Britanya'da büyük ölçüde damlatmalı filtre uygulamalarından dolayı aktif çamur proseslerinin uygulanması çok hızlı olmamıştır [4].

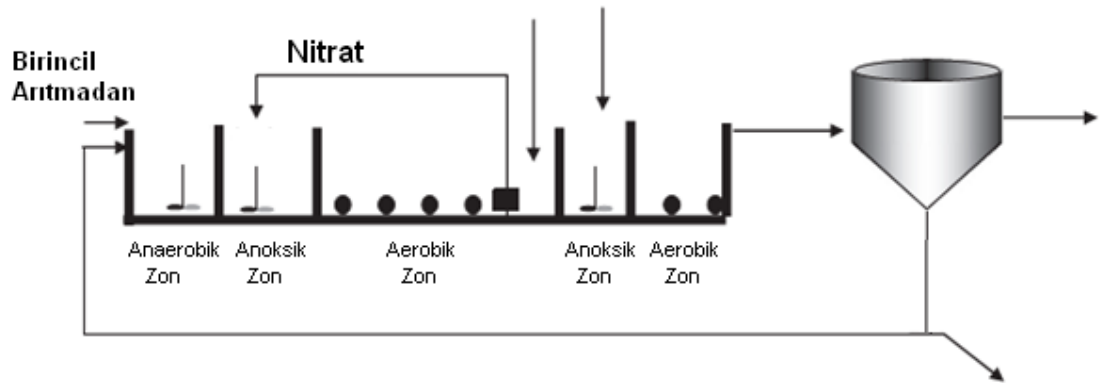
Aktif çamur, organik ve inorganik maddeler içeren atık su ile hem canlı hem de ölü mikroorganizmaların karışımıdır. Aktif çamur süreci, mikroorganizmaların organik maddeyi oksijen kullanarak ayrıştırmaları esnasından yararlanılarak geliştirilen bir aerobik biyolojik arıtma sistemidir [4].

Lockett, Ardeni'nin de yardımı ile "Aktif Çamur Yöntemini" bulmuş oldu. 1914 yılında ilk bilimsel bulgularını açıkladılar, yayınladılar. Ancak son çökeltim havuzunda oluşan çamurların hepsi aktif çamur havuzuna verilemiyordu ve fazla geliyordu. Bu sorunu çözememişti. Bunu çözmek ise Imhoff'a düştü. Fazla çamuru ön çökeltim havuzuna aldı, orada diğer çökecek maddelerle birlikte çöktürdü ve oluşan toplam çamuru da biyogaz elde etmek için çamur çürütme kulelerine gönderdi. Böylece de Aktif Çamur Yöntemi biyolojik atık su arıtma yöntemi olarak kendini kabul ettirmiş oldu ve yaygınlaşmaya başladı [1].

Aktif çamur prosesi, askıda büyüyen sistem olarak atık suyun biyolojik arıtımında en sık kullanılan prosestir [23]. Bu karmaşık biyolojik mekanizması nedeni ile araştırmacıların diğer proseslere kıyasla daha fazla ilgisini çekmiştir. Bu sebeple aktif çamur prosesinin yıllar içerisinde birçok çeşidi (modifikasyonu) geliştirilmiştir [20]. En çok piston akımlı ve tam karışımli prosesler kullanılmaktadır [23].

Aktif çamur prosesinin 1920 li yıllarda gelişmesinden 1970' lerin sonlarına kadar daha çok uzunluk/genişlik oranı 10/1 olan piston akımlı reaktör tipleri kullanılmıştır. 1960'lı yılların sonlarına doğru evsel atık su kanallarına endüstriyel deşarjlar artmaya başlamış olup, toksik etkilerinden dolayı piston akımlı reaktörlerin kullanımı çeşitli problemlere yol açmıştır. Bu nedenle tam karışımli reaktörler gelişmeye başlamış olup, daha büyük hacim ve seyrelme nedeniyle tam karışımli reaktörler (CMAS) tercih edilmeye başlamıştır. Nitrifikasyonun istendiği durumlarda bazen iki kademeli sistemler kullanılabilir. İlk kademede karbon giderimi yapılırken ikincide nitrifikasyon prosesi gerçekleşir. Diğer aktif çamur prosesleri ve geliştirildiği yıllar ise; oksidasyon hendeği (1950'ler), kontak stabilizasyon (1960'lar), krause prosesi (1960'lar), saf oksijenli sistemler (1970'ler), orbal prosesi (1970'ler) ve ardışık kesikli reaktörler (1980'ler) [21].

1960 yıllarının başında aktif çamur proseslerinde en büyük problem amonyak azotunun oksidasyonu olmuştur. Bu probleme Downing ve arkadaşları tarafından çözüm getirilmiştir [9]. Downing ve arkadaşları (1964), yürüttüğü çalışmalara biyolojik nitrifikasyon için tasarım metotlarını dahil etmiştir. 1962'de Ludzack ve Ettinger bir aktif çamur prosesinde kullanılan anoksik zonun biyolojik denitrifikasyonu sağladığını ileri sürmüştür [4]. Biyolojik denitrifikasyon daha önceleri bilinmesine rağmen atık su arıtımında kullanılmamaktaydı. Aktif çamur proseslerinde fosforun nasıl giderileceği problemini ise James Barnard çözmüştür [9]. Tek bir çamur sisteminde biyolojik azot ve fosfor giderimi James Barnard tarafından 1973 yılında geliştirilmiş ve patentlenmiştir [4]. Azot ve fosfor giderimi için Bardenpho prosesi şeması Şekil 4' de verilmektedir.



Şekil 4: Azot ve fosfor giderimi için Bardenpho prosesi [4].

DAMLATMALI FİLTRELER

19. yüzyılın sonlarına doğru gerçekleşen eğilimlere bakıldığında alıcı sulara kanalizasyon deşarj etkilerinin farkına varılması, bu konuda standartlar ve düzenlemeler geliştirilerek bu etkilerin kontrolü ve basit arıtma (muhtemelen şimdiki birincil arıtma) olduğu görülmektedir [9].

Sonrasında kanalizasyondaki organik maddenin oksidasyonu için Massachusetts toprağının uygunluğu araştırılmıştır ve Kasım 1890'da Frankland isimli araştırmacı tarafından damlatmalı filtre bulunmuştur. Bunun hemen ardından kesikli çalışan filtreler geliştirilerek, bugün sürekli akışlı filtreler olarak bilinen sistemler bulunmuştur [9].

Biyolojik proseslerin doğuşu, 1829 yılında Londra'da tasarlanan yavaş kum filtreleriyle gerçekleşmiştir. 1880 yılında ise biyolojik aktiviteyi arttırmak amacıyla yavaş kum filtreleri geliştirilerek damlatmalı filtreler tasarlanmıştır [22].

Damlatmalı filtreler 1900 yıllarında, İngiltere'nin Birmingham kentinde geliştirilmiştir. İngiltere'de 1893 ve ABD'de 1908 yılında uygulama bulmuştur [15].

O günkü geliştirilmiş hali ile bugün hala kullanılmaktadır. O yıllarda birim ha alana olan yükleme 100 000 nüfusa çıkarıldı. Günümüzde ise bunun daha fazla olabileceği bilinmektedir. Bunu müteakiben biyodiks yöntemi geliştirildi [1]. Uzun yıllar biyofilm prosesleri, evsel atık suların arıtımı için kullanılan en yaygın biyolojik sistem olmuştur [7].

DÖNER BİYOLOJİK DİSKLER

1900'lü yılların başında Almanya'da ilk uygulamaları yapılan döner biyodiskler, kullanılan materyallerin uygun olmaması nedeniyle mekanik başarısızlıklara uğramış ve sadece kitaplarda yer alan teorik bir bilgi olarak kalmıştır [24].

DOW Chemical firmasının 1950'lerde Polietilen ve Polipropileni buluşunu takiben, DBD'de kullanılan diskler PE ve PP'den imal edilmeye başlanmıştır. DBD'nin, ilk ticari uygulaması 1960 yılında Almanya'da olmuştur [24].

Biyofilm sistemlerinin başarılı kullanımında dolgu malzemeli damlatmalı filtreler yanında biyodiskler de yaygın uygulama alanı bulmuşlardır. Özellikle 1973-1974 yıllarında meydana gelen petrol krizi nedeniyle enerji tüketimi düşük olan bu sistem ABD'de yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyodisklerin işletme ve bakım masrafları damlatmalı filtrelere ve özellikle aktif çamur sistemlerine göre oldukça düşüktür [15].

ANAEROBİK PROSESLER

Son elli yıla bakıldığında atık su arıtımında uygulanan girişimlerin çoğu anaerobik prosesler üzerinedir. Holland'a da 1970'lerde tarım ve sanayi atık sularının arıtımında UASB reaktörlerin kullanımında büyük ölçüde başarı elde edilmiştir. Bu başarının nedeni tarım ve sanayi atık sularının sıcak yada konsantre organik atıklar içermesidir. Bu yüzden anaerobik arıtmanın evsel atık sularda uygulanmasında kayda değer bir başarı elde edilememiştir [9].

Anaerobik arıtma organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik proseslerle parçalanarak, CH₄, CO₂, NH₃ ve H₂S gibi son ürünlere dönüştürülmesi olarak tanımlanır. Organik çökeltilerin çürütmesi sonucu metan (CH₄) ortaya çıktığı 18. Yüzyıldan beri bilinmektedir. 19. Yüzyılın ortalarında bu ayrışmada bakterilerin rol oynadığı anlaşılmıştır. Bununla beraber havasız arıtmanın evsel atık su arıtma tesisi çamurlarının çürütülmesinde kullanılabileceği 1881 yılında Moigno tarafından ortaya konmuştur [25].

Dünyada ilk kurulan anaerobik evsel atık su deneme tesisi (havasız arıtma tesisi MÇYR) 1989 yılında Hindistan'ın Kanpur kentinde işletmeye alınmıştır [26].

Başlangıçta sadece aerobik biyolojik arıtma sistemlerinde ön çökeltim havuzundan alınan taze çamur ile biyolojik atık çamurlarının çürütülmesi amacıyla kullanılan anaerobik arıtma, daha sonra geliştirilen havasız temas sistemi, çamur yataklı reaktör, havasız filtre gibi sistemlerde kuvvetli atık sular (endüstri suları) arıtmaya başlanmıştır [26].

Dünya'da endüstriyel atık suların anaerobik arıtımına ilgi gittikçe artmaktadır. Bu teknolojinin özellikle 1970'lerden sonra kullanılmaya başlandığı ve 1990'lardan sonra yıllık ortalama lagün dışı 100-150 adet tesisin kurulduğu bilinmektedir [27].

Son yıllarda yapılan araştırmalar ve geliştirilen prosesler, evsel atık sularında bu sistemlerle ekonomik arıtılabileceğini göstermiştir [15]. Özellikle enerji maliyetlerinin önemli bir problem olduğu

günümüzde, aerobik arıtmaya nazaran daha az enerji gerektirmesi ve hatta proses sonucu ortaya çıkan metanın enerjiye dönüştürülebilmesi anaerobik arıtmanın daha da yaygın bir şekilde kullanılmasına neden olmuştur [23].

Aerobik arıtma sistemlerinde tüketilen enerji maliyetlerinin artması 1970'li yıllarda bu sistemlerin yatırım ve işletme giderlerinin yeniden incelenmesini gündeme getirmiştir. Sonuç olarak, aerobik sistemlerine alternatif olarak anaerobik arıtma sistemleri geliştirilmiştir [15]. Anaerobik arıtma ilk olarak sadece çamurların çürütülmesi amacıyla kullanılmaya başlanmış, ancak atık sularda aerobik arıtmaya kıyasla avantajlarının keşfedilmesinden sonra bu alanda da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [23].

MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ

Son dönemlerde atık su arıtım prosesi olarak uygulanan ileri arıtma teknolojilerinin başında membran sistemler gelmektedir [2]. İlk belgeli membran-difüzyon deneyi 1748 yılında Fransız Abbe Nollet tarafından gerçekleştirilmiştir. Nollet bir şarap fıçısının ağzına bir hayvan derisi germiş; fıçıyı bu haliyle suya batırılmış ve suyun fıçıya girdiğini, buna karşılık şarabın deriden geçip dışarı çıkamadığını görmüştür. Nollet böylece OSMOZ'u keşfetmiş oldu [29].

Günümüzde su ve atık su arıtımına alternatif bir teknoloji olarak öne çıkan membranlar, 18. yüzyılın sonlarına doğru osmoz kavramının tanımlanmasıyla ortaya çıkmıştır. 19. ve 20. yüzyılın başlarında, membran sistemler ile sadece laboratuvar ölçekli çalışmalar gerçekleştirilmiş olup 1960'lı yıllardan itibaren laboratuvar ölçekli sistemlerden büyük ölçekli sistemlere geçiş olmuştur [30].

Membran arıtma prosesleri çözünmüş ve kolloidal bileşenlerin sudan gideriminde kullanılır. Partiküller zorunlu olarak membran üzerindeki ince açıklıklarda tutulurlar. Esasında membran teknolojisinin su arıtımındaki esas kullanım alanları filtrasyon, mikroorganizma giderimi, sertlik, uçucu organikler, diğer çözünebilir organiklerin giderimi ve biyolojik arıtmadır. Sengupta ve Shi (1992) asidik çökeltim çamurundan seçimli olarak alüminyum geri kazanımında ve geri devir çamurundaki alümin geri kazanılmasında ağır metallerin ve manganın oluşturacağı problemleri önlemek amacıyla kullanmıştır. Bu metaller ayrıca çamurun asidifikasyonu ile serbest bırakılır. Membranların diğer bir kullanım alanı da bazı endüstrilerde atık su arıtımı sırasında kıymetli metallerin geri kazanımıdır [31].

1950'den sonra membran filtrasyon prosesleri endüstrilerde büyük ölçekte kullanılmaya başlanmıştır [32]. 1960 ve 1970'li yıllarda düşük ücretli membran modüllerinin oluşturulmasıyla membranlar endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [30]. Ultrafiltrasyon 1969'da Smith ve arkadaşları tarafından aktif çamur proseslerinde çöktürmenin alternatifi olarak ilk kez tanımlanmıştır. 1970'de Japon piyasasına bu teknoloji ilk kez girmiştir. Tam ölçekli ticari aerobik membran biyoreaktör prosesi 1970'lerin sonunda ilk kez Kuzey Amerika'da uygulanmıştır ve daha sonra 1980'lerin başında Japonya'da uygulanmaya başlamıştır. 1993'de sıhhi uygulamalarda kullanım için Avrupa'da harici membran biyoreaktörler raporlanmıştır [4].

İlk sentetik membran ise Fick tarafından 1855 yılında nitro selülozdan yapılmıştır. 1861 yılında Graham sentetik membranlar ile ilk elektrodializ deneylerini gerçekleştirmiştir. Sonraki 30 yıl boyunca Traube ve Pfeffer osmotik basınç ve osmoz arasındaki ilişkiyi açıklamak üzere yapay membranlar hazırlamışlardır. 1906 yılında Bechold ilk olarak "ultrafiltrasyon" terimini kullanmıştır. Mikro gözenekli filtreler Zigmondy tarafından 1910 yılında geliştirilmiştir. İlk ticari gelişim 1927 yılında Almanya'da Sartorius firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Ters osmoz (RO) çalışmaları ilk olarak 1920' lerde gözlenmiştir. 1945'lere kadar mikro gözenekli membranlar öncelikli olarak mikroorganizma ve partikül gideriminde kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı sonrasında, Juda ve McRae iyon seçici membranları kullanarak elektrodialize (ED) öncelik etmişlerdir. Daha sonra ED sistemler ticari olarak tuzlu su desalinasyonunda kullanılmıştır. 1950' li yıllarda polimerik ve çok ince selüloz asetat malzemeden yapılan membranlar keşfedilmiştir. 1960' lı yıllarda ise ilk olarak tübular RO membranları daha sonrasında tübular membranlardan daha etkili spiral sargılı membran modülü geliştirilmiştir. Bu süreçte aynı zamanda bilim adamları yeni membran materyali ve modülleri dizayn etmişlerdir. 1970' li yıllarda ise hollow fiber ve ince film kompozit membran modülleri geliştirilmiştir [28].

Ayrıca 1980' li yıllarda organik membranların yanı sıra inorganik membran kullanımı ile nanofiltrasyon membranları da üretilmeye başlanmıştır [32]. 1980' lerden itibaren ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon, ters osmoz ve elektrodializ proseslerinin tümü dünya çapında yaygın olarak büyük tesislerde kurulmaya başlamıştır [28].

Membran sistemler daha yüksek çıkış suyu elde edilmesinde yeni bir süreç başlatmıştır. Su kaynaklarının kıtlığıyla birlikte, membranlar doğrudan su geri kazanımına olanak tanıdığı gibi onlar sadece askıda katıların giderimi için değil ayrıca çıkış suyundaki birçok bakteri ve virüsün giderimine de olanak tanımıştır [4].

Membran imalat teknolojisinin ve uygulamalarının ilerlemesi mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon ile üçüncül arıtma aşamalarının nihai olarak yerini alabilir. Bu gelişmeler paralelinde biyolojik arıtma süreçlerinde, mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon katı/sıvı ayırma işleminde kullanılmaktadır ve çöktürme aşaması ayrıca elimine edilebilmektedir [33].

Membran prosesleri fiyat ve arıtma etkisi bakımından hızlı bir şekilde su ve atık su endüstrisinde kendini kabul ettirmiştir. Günümüzde hızla gelişmekte olan polimer endüstrisi membran teknolojilerini çok daha rekabetçi hale getirmektedir [31]. Son yıllarda polimer ve dolayısıyla membran teknolojisindeki çok hızlı gelişmeler ve üretim maliyetinin azaltılması sebebiyle gerek içme suyu gerekse de atık su arıtma alanlarında membran prosesleri (özellikle mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon) konvansiyonel sistemlerle maliyet açısından rekabet edebilir hale gelmiş ve geniş çapta uygulanmaya başlanmıştır [34].

Aerobik süreçlerde uygulanan membranlar son yıllarda anaerobik proseslerde de kullanılmaya başlanmıştır. İlgi anaerobik membran biyoreaktörlerin gelişimine odaklanmıştır. Bu reaktörler bir filtrasyon ünitesi ile bir anaerobik reaktörün birleşiminden oluşmaktadır. Filtrasyon ünitesi olarak membranlar ya anaerobik reaktör içerisine batık şekilde veya reaktör dışında reaktöre bağlı şekilde geliştirilmiştir [33].

Yüksek askıda katı içeren atık suların arıtımında batık veya harici anaerobik süreçle birleştirilen anaerobik membran biyoreaktör (AnMBRs) uygulaması, mezbaa atık suları, birincil ve ikincil çamurlar, sentetik madde olarak selüloz, hayvan gübresi gibi farklı maddeler kullanılarak çalışılmaktadır [33].

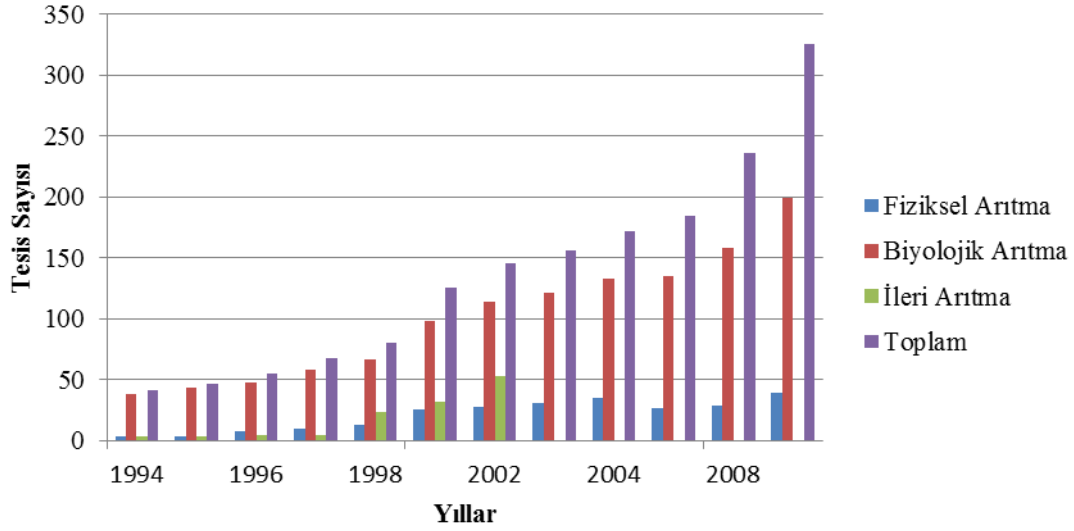
AnMBR gelişen bir teknolojiyi simgelemektedir. AnMBRs konusunda yapılacak çalışmalar, kirlenme konusunu çözmek, kek tabakası oluşumunu kontrol etmek, membran performansını artırmak ve membran alan gereksinimlerini azaltmak için optimum işletme koşulları bulmak ve uygun membranları geliştirme olacaktır. Bu amaçla ifade edile konulara ilave olarak AnMBR sistemlerinin tasarım ve işletme maliyetlerinin belirlenmesi ve fizibil ekonomik koşulların sağlanması amacıyla daha fazla çalışmalara ihtiyaç vardır [33].

İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ

Atık suların arıtımında kullanılan fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma yöntemlerinden daha yüksek arıtma verimlerini sağlayan ileri arıtma yöntemlerinin endüstriyel atık suların arıtımında çok sıklıkla kullanıldığı yapılan çalışmalarda görülmektedir. İleri arıtma yöntemleri arasında ise ileri oksidasyon prosesleri, su ve atık su arıtımında normal ortam koşullarında (sıcaklık ve basınç) bu proseslerin reaksiyonlarını tam mineralizasyonla tamamlamalarından dolayı önemli bir kullanım alanına sahiptirler. . Son yıllarda yapılan arıtılabilirlik çalışmalarının yeni yeni gelişmekte olan ileri oksidasyon prosesleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir [13].

TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT DURUM

1994-2010 yılları arasında TÜİK verilerine göre Türkiye'de uygulanan arıtma tesislerinin türü, miktarı ve yıllara göre dağılımı Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 6 : 1994-2010 yılları arasında Türkiye’de uygulanan arıtma tesislerinin türü, miktarı ve yıllara göre dağılımı (TUIK)

Bu verilere bakıldığında Türkiye’de 1994-2010 yılları arasında biyolojik arıtma sistemiyle çalışan arıtma tesislerinin sayısında hızlı bir artış görülmektedir. Ülkemizde ileri arıtma teknolojileri 2001 yılından itibaren uygulanmaya başlamıştır. Doğal arıtma sistemleri ise 2008 yılından itibaren kullanılmaya başlanmıştır.

Türkiye’de uygulanan atık su arıtma yöntemleri; ön, mekanik (birincil), biyolojik (ikincil) ve ileri arıtma yöntemleridir. Türkiye’de; atık sulara ön arıtma daha çok, derin deniz deşarjı uygulaması ile bağlantılı olarak kullanılmaktadır. Kıyı şeridinde bulunan atık su arıtma tesislerinin çoğunda bu yapı kullanılmakta olup, yönetmelik; atık suyun derin denize deşarjına tabi tutulduğu yerlerde kirleticilerin derişimlerinin azaltılması koşulunu tam anlamıyla karşılamaktadır. Türkiye’de en yaygın atık su arıtma tesisi tipi ise biyolojik arıtmadır. Ön arıtma; ızgara, çakıl ve kum gideriminden oluşmaktadır, mekanik arıtma ise ek ön çökeltme ünitesi içermektedir. Biyolojik arıtma ise, mekanik arıtma ve organik maddelerin biyolojik veya kimyasal giderimi sonrasında devreye giren son çökeltme ünitesinden oluşmaktadır [35].

Gelecek açısından bakıldığında Havza Koruma Eylem Planı’na göre 2017 yılına kadar 591 adet ikincil ve ileri arıtma tesisi, 591 adet paket arıtma tesisi ve 371 adet doğal arıtma tesisi yapılması planlanmaktadır.

Çevre ve Orman Bakanlığı Avrupa Birliği Entegre Çevre Uyum Stratejisi raporuna göre 2020 yılına kadar nüfusu 50 bin’den büyük kentlerde kanalizasyon şebekesinden ve atık su arıtma tesislerinden faydalanan nüfus %90’ın üzerine çıkarılacaktır [36].

TUBİTAK Ulusal bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi’ne göre 2023 yılına kadar alıcı ortamlara yapılacak noktasal kaynaklı deşarjlar için suyun geri kazanımı ve yeniden kullanılmasını sağlayacak biyolojik yöntemlerin ve ileri arıtma teknolojilerinin kullanılması, mevcut kirlenmenin giderilebilmesine yönelik olarak da kimyasal ve/veya biyokimyasal süreçlere dayalı teknolojilerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Suyun geri kazanımının ve yeniden kullanımın gerçekleştirilebilmesine yönelik olarak da biyolojik yöntemlerin ve ileri arıtma teknolojilerinin kullanımının yaygınlaştırılması ve bu yaklaşımın mümkün olduğu kadar tekstil, kimya gibi çeşitli sektörlerde uygulanması hedeflenmektedir [37].

KAYNAKLAR

- 1- http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/mikro/bolum_04.pdf (14)
- 2- Muslu, Y., 1996, *Atık Suların Arıtılması*, Cilt-1, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

- 3- Tzanakakis, V.E., Paranychianaki N.V., and Angelakis, A.N., 2007, *Soil as a Wastewater Treatment System: Historical Development*, Water Science & Technology: Water Supply, Vol:7, No:1, IWA Publishing, pp. 67-75.
- 4- Lofrano, G., Brown, J., 2009, *Wastewater Management Through the Ages: A History of Mankind*, University of Salerno, Department of Civil Engineering, via Ponte don Melillo, Fisciano (SA), Italy, p.11
- 5- Rebhun, M., Galil, N., 1990, *Wastewater Treatment Technologies*, The Management of Hazardous Substances in the Environment, Elsevier Applied Science, London, New York, pp. 84–91.
- 6- Muslu, Y., 2000, *Su ve Atık su Teknolojisi*, Üçüncü Baskı, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul.
- 7- Silverstein, J., 2001, *Colorado University, Civil, Environmental & Architectural Engineering Department*, Colorado, USA, p. 4.
- 8- Burian, S.J., Nix, S.J., Pitt, R.E., and Durrans, S.R., 2000, *Urban Wastewater Management in the United States: Past, Present, and Future*, Journal of Urban Technology, 7(3), pp.33-62,
- 9- Cooper, P. F., 2001, *Historical Aspects of Wastewater Treatment*, IWA Publishing, London, United Kingdom, pp. 28, (<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/leeds/cooper.pdf>)
- 10- http://fr.wikipedia.org/wiki/Fosse_Mouras
- 11- Kahn, L., Hulls, J., Aschwanden, P., 2006, *The Septic System Owner's Manual*, Shelter Publications, Inc., Bolinas, USA, p.179.
- 12- Vesilind, P.A., 2003, *Wastewater Treatment Plant Design*, IWA Publishing, p.512.
- 13- M.Y., Kılıç, K., Kestioğlu, 2008, *Endüstriyel Atık suların Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 13, Sayı 1, Bursa.
- 14- Eremektar, G., Tanık, A., Övez, S., Orhon, D., Arslan Alaton, İ., Gürel, M. 2005, *Türkiye'de Doğal Arıtma Uygulamaları Ve Projeleri, Arıtılmış Evsel Atık suların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı*, MEDAWARE Projesi, 9-10 Haziran, ODTÜ, Ankara.
- 15- Samsunlu, A., 2011, *Atık Suların Arıtılması*, Güncelleştirilmiş Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- 16- Toprak, H., Aktif Çamur Sürecinin Tasarımı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- 17- Tchobanoglous, G., ve Culp, G., 1980. *Aquaculture Systems for Wastewater Treatment: An Engineering Assessment*. U.S. EPA, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. EPA/430/9-80-007, NTIS No. PB 81-156689, pp. 13-42.
- 18- Demirörs, B., 2006. *Çukurova Bölgesinde Yapay Sulak Alan Teknolojisinin Kırsal Alanda Kullanımının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss.76. Adana.
- 19- Boutin, C., Liénard, A., ve Esser, D., 1997. *Development of a New Generation of Reed-Bed Filters in France: First Results*. Water Science and Tech., 35(5) pp 315-322.
- 20- Öztürk, İ., Timur, H., and Koşkan, U., 2005, *Atık su Arıtımının Esasları*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 459s.
- 21- Öztür, İ., 1999, *Anaerobik Biyoteknoloji*, Su Vakfı Yayını, İstanbul.
- 22- Muslu, Y., 1994, *Atık suların Arıtılması*, 1.Baskı, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- 23- Debik, E., Manav, N., Coşkun, T., 2008, *Biyolojik Temel İşlemler Ders Notları*, YTÜ. İstanbul.
- 24- <http://cevre.beun.edu.tr/dersnotu/temelislemler/biodisk.pdf>
- 25- Türker, M., 2008, *Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyogaz Üretimi Dünya'da ve Türkiye'de Eğilimler*, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, (UTES'2008), 17-19 Aralık 2008, İstanbul, 305-312 s.
- 26- Türker, M., 2008, *Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi*, Çevkor Vakfı Yayınları, İzmir, 260 s.
- 27- Türker, M., 2008, *Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyogaz Üretimi Dünya'da ve Türkiye'de Eğilimler*, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, (UTES'2008), 17-19 Aralık 2008, İstanbul, 305-312 s.
- 28- Türker, M., 2003, *Anaerobik biyoteknoloji: Türkiye ve Dünya'daki eğilimler*, 2. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, 22-24 Ekim, ODTÜ, s. 228-236.
- 29- Özkan, Ü., 2007, *Tekstil Endüstrisi Proses Suyu Hazırlanmasında Membran Proseslerin Uygulanması*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 142s.

- 30- Taşyıcı, S., 2009, *Batık Membran Sistemleri İle İçme Suyu Arıtımı: Membran Tıkanıklığını Azaltmak İçin Farklı Yöntemlerin Kullanılması*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı , Yüksek Lisans Tezi , İstanbul, 179s.
- 31- Droste, L., 1997, *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, Michigan University Publications, USA, pp. 800.
- 32- Crittenden, C., Trussell, R., Hand, W., Howe, J., Tchobanocloud, G., 2012, *Water Treatment*, John Wiley & Sons Inc., Canada, pp. 1906.
- 33- Aslan, M., 2012, *Anaerobik Batık Membran Bioreaktörde Membran Modül Geometrisi Ve Biyogaz Geri Devrinin Membran Kirlenmesine Etkisi*, FÜ., Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı , Doktora Tezi, Elazığ, 132s.
- 34- Kitiş, M., Köseoğlu, H., Gül, N., Ekinci, F.Y., 2003, *Atık su Arıtımı Ve Geri Kazanımında Membran Bioreaktörleri*, V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, TMMOB-ÇMO, Ankara.
- 35- Dikmen, Ç., Saraçoğlu, E., Durucan, Z., Durak, S., Sarıoğlu, K., 2011, *Türkiye Çevre Durum Raporu*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin Denetim Genel Müdürlüğü, Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, s. 356.
(http://www.csb.gov.tr/turkce/dosya/ced/TCDR_2011.pdf)
- 36- Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006, *Avrupa Birliği Çevre Uyum Stratejisi (UÇES)(2007-2023)*, Ankara, s. 113.
- 37- TÜBİTAK Ulusal Su Ar-Ge ve Yenilik Stratejisi, 2011, *TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı*, Ankara, s.35.
(http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/BTYPD/btyk/23/Ek2_Ulusal_Su_ArGe_Yenilik_Stra tejisi.pdf)