

## Hastane Atıksularında Makro ve Mikro Kirleticiler ve Arıtma Seçenekleri

Aynur YAŞAR, Esra CAN DOĞAN, Ayla ARSLAN

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü  
Umuttepe Yerleşkesi 41380 İzmit/KOCAELİ

### ÖZET

Hastane atıksuları laboratuvarlar, araştırma birimleri, ameliyathaneler, poliklinikler ve ilaç kullanımı gibi pek çok kaynaktan gelen makro ve mikro kirleticileri içermektedir. Tedavi ve sterilizasyon amacıyla kullanılan kimyasal maddeler, farmasotikler ve kişisel bakım ürünleri (PPCP'ler), solventler, radyonükleidler, endokrin bozucular, dezenfektanlar ve ağır metaller hastaneler yoluyla kanalizasyon sistemlerine karışmaktadır. Bu tür mikro kirleticileri atıksulardan gidermek için konvansiyonel atıksu arıtma sistemleri yetersiz olduğundan ileri arıtma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle PPCP'lerin gideriminde adsorpsiyon ve iyon değiştirme gibi kimyasal yöntemlerin yanı sıra ileri oksidasyon prosesleri ile membran filtrasyon prosesleri gelecek vaat etmektedir. Yüksek organik madde gideriminin yanı sıra arıtımı zor olan atıklara uygulanabilmesi, düşük çamur üretimi, çıkış suyunun yüksek kalitede dezenfeksiyonu ve düşük alan ihtiyacı membran proseslerinin önemli avantajlarıdır. Bu çalışmada öncelikli olarak yoğun bir kirlilik yüküne sahip hastanelerde çeşitli kaynaklardan oluşan atıksuların genel özellikleri ile hastane atıksularında makro ve mikro kirletici grupları ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Hastane atıksuları ve kentsel atıksular bu kirleticiler yönünden karşılaştırılmıştır. Hastane atıksuları, kentsel atıksulara göre özellikle mikro kirleticiler yönünden daha kompleks atıksulardır. Hastane atıksularında bulunan makro ve mikro kirleticilerin giderimi için literatürdeki arıtma seçenekleri ve bunların etkinlikleri de bu çalışmada yer almaktadır.

### Anahtar Kelimeler:

Hastane Atıksuyu,  
Makro Kirletici,  
Mikro Kirletici,  
Farmasotikler,  
Membran Prosesler.

## Macro and Micro Pollutants and Treatment Options in Hospital Wastewaters

### ABSTRACT

Hospital wastewaters include macro and micro pollutants originated from many source that are laboratories, research units, operating rooms, clinics and drug use. Chemicals used for the treatment and sterilization, pharmaceuticals and personal care products (PPCPs), solvents, radionuclides, endocrine disruptors, disinfectants and heavy metals are discharged to the sewage systems through hospitals. This type of micro pollutants to removal from wastewaters advanced wastewater treatment systems are needed that conventional wastewater treatment systems are inadequate. In addition to chemical procedures such as adsorption and ion exchange, advanced oxidation and membrane filtration processes have great promise for the removal of especially PPCPs. In addition to high removal of organic matter, the possibility of applicability to difficult wastes, low sludge production, high quality disinfection of effluent and less working space requirement are among the advantages of membrane processes. In this study as a priority, in hospitals which have a heavy pollution load, groups of macro and micro pollutants in hospital wastewaters with general characteristics of wastewaters consisting of a variety of sources is discussed in detail. Hospital wastewaters and urban wastewaters were compared in terms of these pollutants. Hospital wastewaters especially in terms of micro pollutants are more complex wastewaters than urban wastewaters. For the removal of macro and micro pollutants in hospital wastewaters treatment options and their implications in the literature are also included in this study.

**Key Words:**  
Hospital  
Wastewater, Macro  
pollutant, Micro  
pollutant,  
Pharmaceuticals,  
Membrane  
Processes

\*Sorumlu Yazar (Corresponding author) e-posta:

## 1. Giriş

Son yıllarda atıksularda ve diğer su kaynaklarında yeni ortaya çıkan kirleticilerin varlığı giderek artan bir önem kazanmıştır. US EPA bu kirleticileri, yasal statüsü olmayan ve çevre-insan sağlığı üzerine olan etkileri tam olarak anlaşılabilen yeni kimyasallar olarak tanımlamaktadır (Deblonde ve ark., 2011). Farmasotikler ve kişisel bakım ürünleri (PPCP), endokrin bozucular, solventler, radyonükleidler, yüzey aktif maddeler, ağır metaller, yasadışı uyuşturucu maddeler gibi pek çok grup bileşik bu yeni kirleticiler arasında sayılabilir. Parçalanabilirlikleri zor ve kalıcılıkları uzun süreli olan bu kirleticiler, hastaneler yoluyla atıksulara karışarak arıtma tesislerine ulaşmaktadırlar (Halling Sorensen ve ark., 1998, Gautam ve ark., 2007, Boillot ve ark., 2008, Suarez ve ark., 2009). Hastaneler 200-1200 L/yatak.gün arasında değişen su tüketimlerine sahiptir (Boillot ve ark., 2008, Verlicchi ve ark., 2010). Günlük akış hızına paralel olarak sabah 08:00-16:00' da su tüketimi artarken, gece 01:00-08:00' de su tüketimi azalmaktadır. Yatak sayısı, hastane yaşı, suya erişebilirlik, mevcut yapıdaki mutfak, çamaşırhane, havalandırma gibi genel hizmetler, hasta koğuşu veya ünite sayısı ve tipi, çevre korumasında kurum yönetim politikaları, iklim, kültürel ve coğrafi faktörlere bağlı olarak da atıksu miktarı değişmektedir. Hastane atıksuları laboratuvarlar, araştırma birimleri, ameliyathaneler, hastaların ilaç kullanımları ve poliklinikler gibi pek çok kaynaktan gelen ve geniş konsantrasyon aralığında bulunan makro ve mikro kirleticileri içermektedir (Verlicchi ve ark., 2010). BOİ<sub>5</sub>, KOİ, azot ve fosfor bileşikleri gibi makro kirleticilerden daha küçük miktardaki mikro kirleticiler, atıksu arıtma tesislerinde çözünürlük, uçuculuk, adsorplanabilirlik, biyoparçalanabilirlik, polarite ve stabilite gibi özellikleri etkileyen geniş spektrumda bileşikler içermektedirler (Verlicchi ve ark., 2010). Özellikle farmasotikler modern çağın çoğunlukla kullandığı, ana kaynağı hastaneler olan mikro kirleticilerdir. Çevrede ilk bulunuşları 1970' li yıllara dayanmaktadır. Doksanlı yılların başından itibaren de endokrin sistemi ilaçları ve lipid düşürücü ilaçlar gündeme gelmiştir. Bunların atıksularda, sucul çevrede ve içme sularında bulunmaları ile ilgili dünyada pek çok araştırma yapılmış ve su sistemlerinde seksen çeşit farmasotik tespit edilmiştir (Vergili ve ark., 2005). İçme, yüzey ve yeraltı sularında artan şekilde tespit edilen farmasotikler, konvansiyonel arıtma tesislerinde yeterince giderilemediklerinden atıksu arıtma tesisi çıkış sularında da bulunmaktadır (Pauwels ve Verstraete, 2006, Escher ve ark., 2011). Bu maddelerin çıkış sularındaki konsantrasyonları ng/L ile µg/L arasında değişebilir (Verlicchi ve ark., 2010). Yapılan çalışmalar sonucunda, ilaç atıklarının sadece atıksularda değil sedimentlerde ve arıtma çamurlarında da biriktiği görülmüştür. Buna ilave olarak antibiyotikler ve dezenfektanlar atıksu arıtma proseslerini ve yüzeysel sulardaki mikrobiyal ekolojiyi yok edebilmektedir (Kümmerer ve ark., 2001, Gültekin ve ark., 2004) Hastane atıksularını anlamak için derinlemesine bir karakterizasyon çalışması gerekmektedir (Boillot ve ark., 2008). Bu atıksuların spesifik kirletici yükü ve mikro kirletici miktarı kentsel atıksulara göre daha yüksektir. Ayrıca bu atıksular bir dizi arıtma sistemi ile ayrı arıtılmalıdır. En etkin arıtma yöntemini belirlemek için daha ileri çalışmalar gerekmektedir (Verlicchi ve ark., 2010).

Ülkemizde çoğu yerde herhangi bir ön arıtıma tabi tutulmadan kentsel atıksu arıtma sistemlerine ulaşan hastane atıksularının içeriğindeki makro ve mikro kirleticilerin çoğu, metabolize olmadan alıcı ortamlara ulaşarak su kaynaklarında görünmeyen uzun vadeli ciddi problemler yaratmaktadırlar.

Literatürde yapılan birçok çalışma, hastane ve kentsel atıksuların belediyelerin atıksu arıtma tesislerinde birlikte arıtılmasını yeterli bir çözüm olarak görmemektedir. Bu nedenle hastane atıksuları öncelikle kaynağında azaltılmalı ve kentsel atıksu arıtma tesislerine karıştırılmadan ileri arıtım teknolojileri kullanılarak arıtılmalıdır.

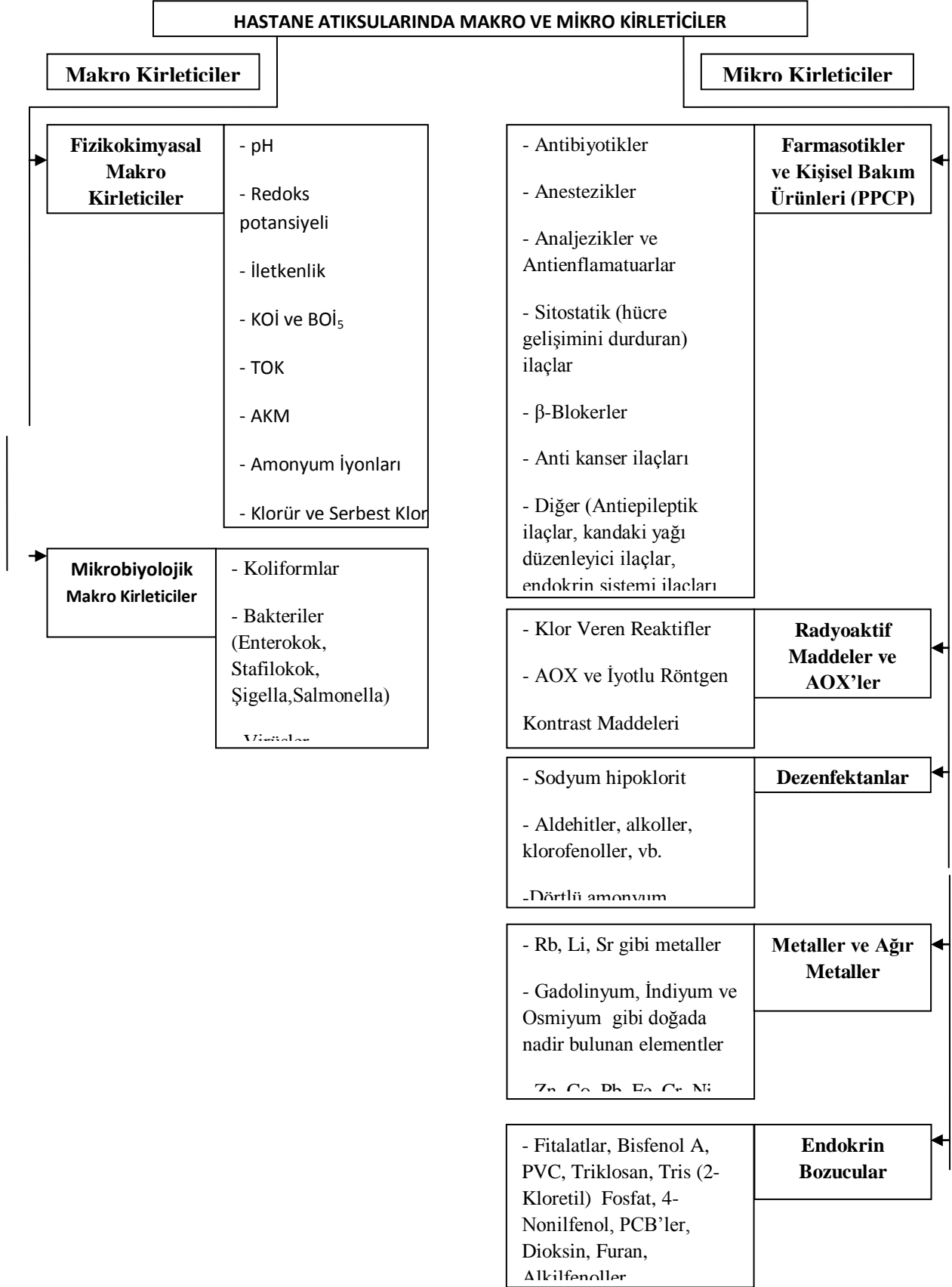
## 2. Hastane atıksularında makro ve mikro kirleticiler

Hastane atıksularında mikron boyutunda bulunan ve metabolize olmaları zor olan mikro kirleticilerin yanı sıra daha büyük boyutta bulunan ve arıtma tesislerinde giderimleri daha kolay olan kirleticiler makro kirleticiler olarak gruplandırılabilirler. Şekil 1' de, literatürdeki veriler ışığında oluşturulan ve genel olarak hastane atıksularında bulunan makro ve mikro kirletici gruplandırması verilmektedir.

### 2.1. Makro Kirleticiler

#### 2.1.1. Fizikokimyasal Makro Kirleticiler

Bilinen fizikokimyasal parametreler sudaki organik kirliliğin göstergesidir. Hastane çıkış sularının temel fizikokimyasal parametreleri BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM ve TKN olup, karakterizasyon için sadece bu parametreler yeterli değildir. Boillot ve ark. (2008) tarafından yapılan biyoanalizler, belirli periyotlarda AKM'den dolayı önemli bir ekotoksosite seviyesi oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca hastanelerdeki aktivitelere bağlı olarak gün içinde önemli dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bu dalgalanmalar, vardiya değişimi, temizlik ve bakım, ameliyathane temizliği, gece faaliyetleri gibi hastane aktiviteleriyle ilişkilidir. Aynı çalışmadaki örnekleme süreçlerine göre; 09:00-17:00 arası periyot en kirli, 17:00-05:00 arası periyot en az kirli ve 05:00-09:00 arası ise geçici kirliliğin olduğu periyotlar olarak belirlenmiştir. 24 saatlik kompozit ve periyodik örneklerde birçok fizikokimyasal kirletici konsantrasyonu, literatürdeki tahmin edilen etkisiz konsantrasyonlara (Predicted No Effect Concentration-PNEC) göre daha büyük bulunmuştur. Ancak klorür, kloroform, metanol, aseton, asetaldehit ve glutaraldehit konsantrasyonları, PNEC değerlerinden daha küçüktür. Fransa'nın güneyinde 144 yataklı büyük bir şehir hastanesinin enfekte ve tropikal hastalıklar departmanından günde 3 kez alınan örnekler karıştırıldıktan sonra yapılan analizlerde, pH tüm örnekleme yerlerinde alkaline ölçülmüştür. KOİ, deşarj standartlarını aşan değerlerde tespit edilmiştir. Bu durum, toksik madde varlığına bağlı olarak açıklanmıştır. Noktasal örneklerin KOİ konsantrasyonları, karışım örneği KOİ konsantrasyonu ile karşılaştırıldığında farklı değerler bulunmuştur. Bu farklılığın nedenleri; örneklerin manuel olarak alınması, NaOCl gibi oksidatif madde varlığı, hastane atıksuyunun zaman içinde büyük değişiklikler göstermesidir (Emmanuel ve ark., 2004).



Şekil 1. Hastane Atıksularında Makro ve Mikro Kirleticiler (Kümmerer ve ark., 2001, Emmanuel ve ark., 2004, Pauwels ve Verstraete, 2006, Boillot ve ark., 2008, Jackson ve Sutton, 2008, Emmanuel ve ark., 2009, Verlicchi ve ark., 2010, Deblonde ve ark., 2011).

Gusbeth ve ark. (2009)' nın hastane atıksuyunda bakteri azaltılması için darbeleri elektrik alan artırımını uyguladığı bir çalışmada bir üniversite hastanesinden alınan örneklerde iletkenlik 25°C' de 1.1-1.7 mS/cm, bulanıklık 600 nm' de 0.7 civarında ve pH=6-8 arasında bulunmuştur. Atıksu özellikleri örnekleme saatlerine göre değişmektedir. Fizikokimyasal bir parametre olan pH, hastanelerdeki su tüketimi ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Yoğun dezenfektan kullanımından dolayı, hastane atıksularında pH değerleri 5,1-10,4 aralığındadır (Boillot ve ark., 2008). Koagülasyon- flokülasyon ve flotasyon uygulanarak hastane atıksuyunun ön arıtımı ile ilgili bir çalışmada ; hastalar, ameliyathaneler, laboratuvarlar, radyoloji ve genel servislerden alınan örneklerde AKM, KOİ ve pH değerleri, radyoterapi ve ayakta tedavi olan hastalar bölümünden alınan örneklerin AKM, KOİ ve pH değerlerinden daha yüksek olarak bulunmuştur (Suarez ve ark., 2009).

TOK konsantrasyonu, kentsel atıksularda 80-290 mg/L olmasına karşın, Emmanuel ve ark., 2004 tarafından çalışılan bir hastane atıksuyunda 160-350 mg/L arasında tespit edilmiştir. Aradaki farkın yüksek klorür ve organoklorlu bileşiklerden ileri geldiği belirtilmiştir. Hastane atıksularındaki önemli makro kirleticilerden AKM 155-298 mg/L, klorür ise 63.4-359.2 mg/L aralığında tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada yüksek akut toksisite gözlenen atıksu örneklerinde AKM ve klorür konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca TOK ve KOİ arasında da lineer bir korelasyon bulunmaktadır. Hastane atıksularının arıtılması için laboratuvar ölçekli septik tank ve fenton reaksiyonu kombinasyonu kullanılarak yapılan bir değerlendirmede KOİ, BOİ<sub>5</sub>, ısıya dayanıklı ve toplam koliformlar incelenmiştir. Alınan giriş örneklerinde en yüksek değerler toplam katı miktarı için 7356 mg/L, askıda katılar için 539 mg/L, KOİ için 2480 mg/L, BOİ<sub>5</sub> için 1268 mg/L ve koliform bakterisi için 2.2x10<sup>8</sup>/100 mL olarak belirlenmiştir. Arıtma kombinasyonu sonrasında 120 dk' lık bir fenton reaksiyonuyla BOİ<sub>5</sub> %90.6, KOİ %91.0 ve bakteriler %100 giderilmiştir. BOİ<sub>5</sub>/KOİ oranı 0.46'dan 0.48'e değişmiştir (Berto ve ark., 2009). Wen ve ark. (2004)' nın hastane atıksuyu arıtımı için batık hollow-fiber membran biyolojik reaktör (MBR)' ün performansını araştırdıkları çalışmada, arıtma öncesi KOİ=48-277.5 mg/L; BOİ<sub>5</sub>=20-55 mg/L; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N=10.1-23.7 mg/L; bulanıklık=6.1-27.9 NTU; pH=6.2-7.1 olarak belirlenmiştir. Çıkış suyu değerleri ise KOİ<30mg/L, BOİ<sub>5</sub><0.4mg/L, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N<1mg/L, bulanıklık<4 NTU ve pH=6.2-7.1' dir. Arıtma sonrası çıkış suyu kalitesi Çin' de hastane atıksuları için verilen deşarj standardı GBJ48-83 (KOİ, BOİ<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, pH için sırasıyla 150mg/L, 100mg/L, 25mg/L, 6-9)' e göre oldukça iyidir.

### 2.1.2. Mikrobiyolojik Makro Kirleticiler

Suların değişik amaçlarla kullanımında mikrobiyolojik kalitenin bilinmesi gereklidir. Patojenik bakteri ve virüslerin ayrı ayrı tayini zaman ve maliyet gerektirdiğinden sulardaki fekal kirlenme biyolojik ve kimyasal indikatörler ile tayin edilir. Biyolojik indikatörler toplam koliformlar, fekal koliformlar, fekal streptokoklar ve anaerobik bakterilerdir. Toplam koliformlar, aerobik ve fakültatif anaerobik, gram negatif, sporsuz, çubuk şeklindeki bakterilerdir. Toplam

koliformlar içinde yer alan ve patojen bakterilerin göstergesi fekal koliformlar, insan veya hayvan dışkılarıyla suyun kirlendiğini gösteren indikatör bir mikroorganizma grubu olup, virüs kirlenmesini sınırlı olarak verebilir (Kırlı, 2001).

Hastane atıksuları mikroorganizmalar ile yüklü çok kompleks sulardır (Suarez ve ark., 2009, Berto ve ark., 2009). Emmanuel ve ark. (2004) bir hastane atıksuyu için bakteri florasını 2.4x10<sup>3</sup>/100 mL tespit etmişlerdir. Boillot ve ark. (2008) hastane çıkış sularında küçük bakteri topluluklarının bulunduğunu belirtmektedir. Bu hususta tehlikeli olan antibiyotiklere karşı bazı dirençli bakterilerin (*Proteus vulgaris*, *mycobacteria*) ve hastanelerde tipik olarak bulunan suşların (*Enterobacter sakazakii*) varlığıdır. Gusbeth ve ark. (2009), bir üniversite hastanesi atıksuyundan alınan örneklerdeki bakteri yükünün, agar maddesi ile kaplama deneyleri aracılığıyla, 10<sup>7</sup> CFU (colony forming unit)/mL' den daha yüksek sayılara ulaştığını tahmin etmişlerdir.

Boillot ve ark. (2008) bir hastaneden aldıkları 24 saatlik kompozit örnekte 14 koliform/100 mL tespit etmişlerdir. Isıya toleranslı koliformlar çıkış suyunda bulunmazken, *Enterokoklar* ve *Non-aureus stafilkoklar*' lar bazı periyotlarda görülmüştür. Buna karşılık 24 saatlik kompozit örneklerde hiç *Salmonella*, *Shigella* ve *S.aureus* bulunmamıştır. *Enterokok* ve *Stafilkok*' ların çevredeki varlığı aşırı dirençlerinden ileri gelir. *S.aureus* cinsi *stafilkok*' lar hastane enfeksiyonlarından sorumludur.

Çin'de bir hastanede yapılan çalışmada, arıtma öncesi E.Coli miktarı >1600 adet/100mL iken, batık MBR sonrası çıkış suyunda bu değer <23 adet/100mL olarak belirlenmiştir. Bu değer, hastane atıksuları için Çin'de verilen deşarj standardı GBJ48-83 (<50 adet/100mL)' e göre daha düşüktür (Wen ve ark., 2004).

### 2.2. Mikro Kirleticiler

Biyoparçalanabilirlikleri çok zor olan mikro kirleticilerin en önemli kaynağı hastane atıksularıdır. Aynı zamanda hayvan çiftliklerinde, tarımda ve veterinerlikte kullanılan tedavi amaçlı, büyüme düzenleyici ilaçlar ve gübreler de etkili olmaktadır (Kümmerer, 2001).

Mikro kirletici sınıflarına göre hastane atıksularında tespit edilen kirleticiler; analjezikler, antibiyotikler, antikonvülzanlar, sitostatikler, hormonlar, β-Blokerler, ICM, AOX, ağır metaller (Hg, Pt, Gd vb.), antihipertansifler, antihistaminler, yağ düzenleyiciler, deterjanlar/antiseptikler, uyarıcılar, klorofenoller, serbest klor reaktifleri ve ağartma maddeleri veya organik iyot içeren röntgen kontrast maddeleri gibi teşhisler ilgili diagnostikler ve aromalardır (Kümmerer, 2001, Verlicchi ve ark., 2010). Hastane atıksularında en yüksek değerlerdeki bileşikler tüm dünyada geniş çapta kullanılan parasetamol, yine oldukça yaygın siprofloksasin, eritromisin ve sulfametoksazol gibi antibiyotikler ve AOX' lerdir. Kentsel atıksularda ise en yüksek konsantrasyonlar parasetamol, bir analjezik olan ibuprofen, antibiyotiklerden ofloksasin ve eritromisin ile AOX' ler için bulunmuştur (Verlicchi ve ark., 2010).

#### 2.2.1. Farmasotikler ve Kişisel Bakım Ürünleri (PPCP' ler)

Çevredeki ilaçların ilk bulunuşları 1970' li yıllara dayanmaktadır. Fakat son 10 yılda farmasotiklerin üretim ve tüketimi oldukça artmıştır. Yaklaşık 3000 bileşik ilaç olarak

kullanılmakta ve yıllık üretim miktarı yüzlerce tonu aşmaktadır (Sim ve ark., 2011). Örneğin, Almanya'da insan kullanımı için kaydedilen 50 bin ilaçtan 2700' ü 900 farklı aktif madde içermektedir. İngiltere'de 1980'li yıllarda yapılan bazı araştırmalar kamuya ait arıtma tesisi çıkış sularında ilaçların var olduğunu göstermektedir. Bu ilaçlar Şekil 1'de belirtilmiştir (Kümmerer, 2001, Pauwels ve Verstraete, 2006, Verlicchi ve ark., 2010). Farmasotiklerin negatif etkilerinden biri algelerde fotosentez engellemesidir ( $\beta$ -blokerler ve fluoksetin ile) (Escher ve ark., 2011). Ayrıca farmasotiklerin fitoplankton, su bitkileri ve diğer türlere toksik etkileri de gözlenmiştir. Antibiyotikler düşük konsantrasyonlarda bile halk sağlığı için endişe verici olarak bilinmektedir (Berto ve ark., 2009).

Avrupa'da her yıl 5000 ton veteriner, 5000 ton da tıbbi amaçlı antibiyotik tüketilmektedir. Veteriner ilaçlarının geniş miktarı hayvan çiftliklerinde hastalıkları önlemek ve tedavi etmek için kullanılmaktadır (Kümmerer, 2001, Sim ve ark., 2011).

Hastane atıksularında tahmin edilen bazı antibiyotik konsantrasyonları;  $\beta$ -lactam antibiyotikleri için 20-80  $\mu\text{g/L}$ , siprofloksasin için 2-83  $\mu\text{g/L}$  aralığında ölçülmüştür. Belediye atıksularında ise bu değer 50  $\mu\text{g/L}$ 'ye yaklaşmaktadır. Tedavi ve koruma amaçlı en önemli grup olan tetrasiklinler de atıksuya yüksek oranlarda karışan yarı ömrü yüksek antibiyotiklerdir. Bazı antibiyotikler de arıtma tesislerinde bulunan aktif çamura adsorplanarak, biyolojik arıtmada bozukluk ve direnç neden olabilmektedir. Farmasotikler içerisinde sitostatikler, hücre gelişimini durduran ve hasta idrarında yüksek oranda bulunan ilaçlardır. Çevre ve insandaki risk potansiyeli açısından bakıldığında sitostatikler ilaçların en önemli grubudur. Bu maddeler için genellikle kanserojenik, mutajenik ve fetotoksik özellikler kanıtlanmıştır. Çoğunlukla hastanelerde ayakta tedavi ve pratik cerrahi amaçlı kullanılmaktadırlar (Kümmerer, 2001, Verlicchi ve ark., 2010). Farklı hastanelerde kullanım miktarları değişiklik göstermektedir. Bu maddeler için atıksuda beklenen yıllık ortalama konsantrasyon birkaç  $\text{ng/L}$ , yüzey sularında 1  $\text{ng/L}$ 'nin altında iken hastane atıksularında 5-50  $\mu\text{g/L}$  olabilmektedir (Kümmerer, 2001, Suarez ve ark., 2009).

Hastanelerde anestezi için organik floro/kloro bileşikler kullanılmaktadır. Bu bileşikler atmosfere yayılarak ozon tabakasının incilmesi ve küresel ısınmaya sebep olurlar. İnvasif anestezi için ise alkil fenol bileşikler kullanılmaktadır. Bunlar atıksulara karışmakta olup en önemlisi propofol'dür. Değişmeden ilaç atılım oranı %90 civarındadır (Kümmerer, 2001). İsviçre'de 338 yataklı genel bir hastane ve 211 yataklı bir psikiyatri merkezinin konvansiyonel atıksu arıtma tesisine deşarj olan atıksuyunda 100 farmasotiğin ekotoksikolojik potansiyelinin değerlendirildiği çalışmada, genel hastanede 31 ve psikiyatri merkezinde 42 farmasotiğin 0,01' den yüksek risk katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu iki hastanede tüketilen farmasotik miktarına göre risk belirlenmiş, atıksu arıtma tesisinde farmasotik giderimi ve kanalizasyonda hastane atıksuyunun seyrelme etkisini değerlendirmek için 4 farklı risk senaryosu karşılaştırılmıştır. Risk katsayıları daha çok amiodaron, ritonavir, klotrimazol ve diklofenak aracılığıyla

belirlenmiştir. Sadece diklofenak ekotoksikolojide iyi araştırılmışken, diğerleri ile ilgili deneysel sonuçlar ve uygun toksisite verileri yoktur ya da çok sınırlıdır (Escher ve ark., 2011).

Farmasotiklerin önemli bir miktarı farmasotik üreticileri ve hastanelerdeki reçeteler aracılığıyla üretilmektedir. Nitekim belediye atıksu arıtma tesisleri, hayvan çiftlikleri, hastaneler ve farmasotik imalatı atıksuları da farmasotiklerin kaynağıdır. 24 farklı farmasotiğin, Kore'de 12 belediye atıksu arıtma tesisi, 4 hayvan çiftliği atıksu arıtma tesisi, 4 hastane atıksu arıtma tesisi ve 4 farmasotik üreticisi atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkışında oluşumlarının izlendiği bir çalışmada alınan örnekler likit kromatografi/bileşik kütle spektrofotometrisi (LC/MS/MS) kullanılarak analiz edilmiştir. Giriş örneklerinde toplam farmasotik konsantrasyonu en yüksek olan kaynak hayvan çiftliği atıksu arıtma tesisidir. Hastane atıksu arıtma tesisi ise 3. sıradadır. Hastane atıksu arıtma tesisi giriş suyunda, asetaminofen (0,271-63,1  $\mu\text{g/L}$ ), kafein (12,1-182  $\mu\text{g/L}$ ) ve karbamazefin (0,018-6,08  $\mu\text{g/L}$ ) daha baskındır. Çıkış sularında ise kafein, karbamazefin ve trimetoprim konsantrasyonları yüksektir (Sim ve ark., 2011).

Sim ve ark. (2010) tarafından Kore'de 5 nehirde, 1 hastane ve 10 kentsel atıksu arıtma tesisinde 25 farmasotik ölçülmüştür. Tesis girişinde asetaminofen, asetilsalisilik asit ve kafein yüksek konsantrasyon gösterirken, hastane atıksu arıtma tesisi girişinde daha yüksek farmasotik konsantrasyonları görülmüştür. Nehirlerde ise baskın farmasotik kafeindir. Pauwels ve Verstraete (2006)' e göre estradiol, estron, estriol gibi doğal hormonlar da hastane atıksularında bilinen PPCP' ler arasındadır. Östrojenik aktivitenin en önemli kaynağı olarak bilinirler. Östrojenler hem kadın hem de erkekler tarafından sülfat veya glukronid bağlı kompleksler olarak idrarla atılırlar ve hamile kadınlarda atılım miktarı normalden 100 kat daha fazladır.

### 2.2.2. Radyoaktif Maddeler ve AOX' ler

Hastanelerde röntgen filmi çekimlerinde ve kanser, guatr gibi bazı özel hastalıkların tedavilerinde radyoaktif maddelerin kullanıldığı bilinmektedir. Sterilizasyonda kullanılan dezenfektanlar ile teşhis ve tedavi amacıyla hastalara verilen birçok ilaç gerek hastane içinde gerekse hastane dışında idrar yoluyla atıksulara karışmaktadır (Kümmerer ve ark., 1997, Kümmerer ve ark., 1998, Kümmerer ve ark., 2000, Kümmerer, 2001).

Hastane çıkış suları bünyesinde yüksek konsantrasyonlarda organik halojenli bileşikler bulundurulur. Bu bileşikler atıksudaki organik bileşikler ile klorun reaksiyonu aracılığıyla şekillenerek AOX' leri oluşturur. Üniversite hastanelerinin yataklı servislerinden kaynaklanan atıksularda 10  $\text{mg/L}$ ' ye kadar AOX bulunmuştur. Yapılan ölçümler, hastane çıkış sularındaki AOX' lerin yüksek oranda AOI (Adsorplanabilir Organik İyotlu Bileşikler) olduğunu göstermiştir. İlaç bileşiklerinin AOX' e katkısı genelde %11' i aşmaz. Ayrıca ilaçla tedavi olmayan hastaların idrarında AOX konsantrasyonunun çok düşük olduğu bilinmektedir (Kümmerer, 2001, Emmanuel ve ark., 2004). AOX' ler besin zincirinde birikim yapabilen, insanlar ve su organizmaları için toksik, dirençli, lipofilik bileşiklerdir (Kümmerer, 2000, Verlicchi ve ark., 2010). Bu bileşiklerin hemen hemen tamamı atıksu arıtma tesislerine ulaşmaktadır ve giderimleri yetersizdir (Pauwels ve Verstraete, 2006).

Fransa’ da bir hastanenin atıksu örneklerinde belirlenen AOX konsantrasyon aralığı 0.38-1.24 mg/L’ dir (Emmanuel ve ark., 2004). Bir Alman hastanesi çıkış suyunda ise AOX konsantrasyonu 10 mg/L’ den daha yüksek ölçülmüştür. Kanserli bir tiroidin tedavisinde kullanılan, radyoaktif bir madde olan  $I^{131}$ ’ in ağızdan alınması halinde, %60-70’ inin hasta idrarıyla dışarı edildiği saptanmıştır (Boillot ve ark., 2008). AOX’ lerin varlığı genellikle hastanelerin röntgen bölümlerinden salınan iyotlu röntgen kontrast maddeleri (ICM) ile ilişkilidir. Hastane atıksularındaki AOX’ ler için büyük kitlesel taşıyıcılar, bu maddelerle birlikte, solventler, temizleyiciler, dezenfektanlar ve klor içeren ilaçlardır. ICM’ ler, yüksek biyokimyasal stabilite sergileyen ve %90’ ın üzerinde metabolize olmadan atılan maddelerdir. Bunlar X-ışını denemelerinden, radyolojik uygulamalardan ve basit ameliyatlardan kaynaklanmaktadır (Kümmerer, 2001, Boillot ve ark., 2008, Verlicchi ve ark., 2010).

### 2.2.3. Dezenfektanlar

Dezenfektanlar geniş miktarlarda hastanelerde yüzey, alet ve cilt dezenfeksiyonunda kullanılmaktadır. Hastanenin boyutuna ve tüketime göre drenaj ağlarındaki dezenfektan konsantrasyonu 2-200 mg/L arasındadır (Kümmerer, 2001, Boillot ve ark., 2008). Arıtma tesislerinde kolay parçalanabilen alkoller ve aldehitler ile parçalanması daha zor klorofenoller gibi klor içeren bileşikler dezenfektan etken maddesi olarak kullanılmaktadır. Glutaraldehit içeren çözeltiler hala bazı hastane departmanlarında fiberoptik endoskopları dezenfekte etmek için kullanılmasına rağmen genelde daha düşük çevresel etkiye sahip diğer bileşiklerin kullanılmasına eğilim vardır (Kümmerer, 2001, Verlicchi ve ark., 2010). Hastanelerden kaynaklanan çıkış sularında glutaraldehit konsantrasyonu 0,50-3,72 mg/L ölçülmüştür (Boillot ve ark., 2008). Dörtlü amonyum bileşikleri (QAC) de yüzey dezenfeksiyonunda geniş çapta kullanılan, önemli maddeler içeren, katyonik mikropları yok eden bileşiklerdir. QAC’ lerin akuatik mikroorganizmalara karşı düşük konsantrasyonlarda bile etkili olduğu bilinmektedir (Kümmerer, 2001). Sodyum hipoklorit ( $NaOCl$ ), %12,5-25 aktif klor gazı ( $Cl_2$ ) içeren, evsel, endüstriyel, bilim ve biomedikal gibi geniş alanda bakteri, virüs ve mantarlara karşı biyosit aktivitesinden dolayı kullanılan bir dezenfektandır. Su ve atıksulara uygulandığında oluşan organik klorlu bileşikler akuatik çevrede çoğunlukla toksik, kararlı ve lipofiliktir. Ayrıca bu dezenfektan hastanelerde tıbbi teşhisler ve araştırmalarda da kullanılmakta, uygulama sonrasında atıksulara karışmaktadır (Emmanuel ve ark., 2004).

### 2.2.4. Metal ve Ağır Metaller

Ağır metaller, atomik ağırlığı 63,5-206 arasında değişen, yoğunluğu  $5\text{gr/cm}^3$ ’ ten büyük elementlerdir (Barakat, 2010, Fu ve Wang, 2011). Bu gruba Pb, Cd, Cr, Fe, Co, Cu, Ni, Hg, As, Pt ve Zn olmak üzere 60’ tan fazla metal dahildir.

Hastane laboratuvarları atıksularında bulunan metal ve ağır metal iyonları en önemli mikro kirletici grubudur. Bu kirleticilerin büyük çoğunluğu arıtma sistemlerindeki

biyolojik aktiviteyi rahatlıkla inhibe edebilecek kabiliyete sahiptir. Ağır metallerin ekolojik ve insan sağlığı açısından sorun teşkil etmesi, onların biyolojik bozulmaya uğramamasından ve taşınabilir kirleticiler olmasından ileri gelir (Emmanuel ve ark., 2009, Ortega ve ark., 2008). Hastane atıksularında belediye kanalizasyonları ile karşılaştırıldığında, özellikle platin (Pt) ve civa (Hg) gibi ağır metaller ile gadolinyum (Gd), indiyum (In) ve osmiyum (Os) gibi nadir bulunan elementlerin konsantrasyonları daha yüksektir. (Kümmerer, 2001, Pauwels ve Verstraete, 2006). Gd ve In kompleksleri, ilaç uygulamalarının yanında manyetik rezonans görüntüleme (MRI) kullanılmaktadır. Hastane çıkış sularında ölçülen konsantrasyonları birkaç  $\mu\text{g/L}$ ’ den 100  $\mu\text{g/L}$ ’ ye kadar değişmektedir. Yapılan araştırmalarda Gd içeren kontrast maddelerin biyoparçalanamaz ve stabil olduğu görülmüştür (Kümmerer, 2001). Gd, hastanede hastaların kalış süresince %90 oranında kanalizasyona boşaltılmaktadır (Verlicchi ve ark., 2010).

Hastane atıksuları cis-platin, karboplatin ve diğer sitostatik etkenlerle tedavi edilmiş onkoloji hastalarından kaynaklanan platinleri içermektedir (Kümmerer, 2001, Verlicchi ve ark., 2010). Platin, daha çok sitostatik etkenlerden kaynaklanmakta olup, dış ameliyatlarda oluşan platin emisyonu önemsiz kabul edilmektedir. 2 saatlik kompozit atıksu örneğinde platin konsantrasyonu 20-3580 ng/L arasındadır. Civa konsantrasyonları farklı hastanelerin atıksu kanallarında 0,04-2,6  $\mu\text{g/L}$  arasında ölçülmüştür. Bu değer büyük hastaneler için yaklaşık 220-250 g/yıl’ lık yüke tekabül etmektedir. Kamu sağlık kuruluşlarından civa dışarı, genellikle teşhisle ilgili etken maddelerle, dezenfektanların aktif maddeleriyle ve diüretik etkenlerde bulunan civa içeren koruyucularla gerçekleşmektedir. Diğer kaynaklar kırılan termometreler olabilir. Dış tedavilerinde kullanılan amalgamdan ayrılan civa ile emiş ünitelerinin dezenfeksiyonunda kullanılan oksitleyici dezenfekte bileşikler de evsel atıksulara karışarak civa yükünü artırmaktadır. Atıksu içine yayılan civa ve diğer ağır metallerin bir bölümü çamurla birlikte atılmaktadır (Kümmerer, 2001). Tablo 1’ de en önemli tehlikeli ağır metallerin US EPA tarafından belirlenen maksimum kirletici seviyeleri (MKS) ve toksik etkileri özetlenmektedir (Barakat, 2010). Altın ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmada Sivas kentinde bulunan hastanelerin atıksularının miktarları ve özellikleri belirlenerek ağır metal ve metal iyonları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bazı hastanelerde kanserojen etkisi olan stronsiyum (Sr)’ un yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Ayrıca sonuçlar her ne kadar literatürde verilen sınır değerlerin altında olsa da, hastane laboratuvarlarından ani ağır metal dışarılarının yapılabileceği ihtimali de göz önünde bulundurularak CN, Cd ve Hg gibi ağır metallerin de analizi yapılmalıdır. Diğer bir çalışmada ise incelenen hastane atıksularında, röntgen laboratuvarı atığı olarak bilinen Ag iyonuna genellikle rastlanmamıştır. Gümüşlü atıksuların biriktirilerek geri kazanıma gönderildiği belirlenmiştir (Altın ve ark., 2003).

Hastane atıksularındaki metal içeriği yıpranmış boru hatları ve yağmur suyu drenajından ileri gelebildiği gibi anti lejyoner hastalığı tedavisinde kullanılan evsel sıcak suyun çözünmesine de bağlı olabilir. Bu şartlarda yüksek sıcaklıkta ( $50^{\circ}\text{C}$ ) su kullanımından sonra, hastane çıkış suyunda 0,162 mg/L bakır bulunmuştur (Boillot ve ark., 2008)

**Tablo 1.** En önemli Tehlikeli Ağır Metaller İçin Maksimum Kirlenme Seviyeleri (MKS) (Barakat, 2010).

Ağır Metal	Toksisitesi	MKS(mg/L)
<b>Arsenik</b>	Deri belirtileri, iç organ kanserleri, damar hastalıkları	<b>0,050</b>
<b>Kadmiyum</b>	Böbrek hasarı, böbrek bozukluğu, insan kanser etkeni	<b>0,01</b>
<b>Krom</b>	Baş ağrısı, diyare, bulantı, kusma, karsinojenik	<b>0,05</b>
<b>Bakır</b>	Karaciğer hasarı, Wilson hastalığı, uykusuzluk	<b>0,25</b>
<b>Nikel</b>	Dermatit, bulantı, kronik astım, öksürük, insan kanser etkeni	<b>0,20</b>
<b>Çinko</b>	Depresyon, uyuklama, nörolojik belirtiler ve artan susuzluk	<b>0,80</b>
<b>Kurşun</b>	Fetal beyin hasarı, böbrek, dolaşım ve sinir sistemi hastalıkları	<b>0,006</b>
<b>Civa</b>	Romatoit artrit ve böbrek, dolaşım ve sinir sistemi hastalıkları	<b>0,00003</b>

### 2.2.5. Endokrin Bozucular

Su kalitesi ile ilgili gelişmiş ülkelerde son yıllarda gündeme gelen kirlenmeler arasında endokrin sistemini bozabilecek kimyasallar da yer almaktadır. İkincil atıksu arıtımı ile yeterli olarak giderilemeyen bu kirlenmeler için üçüncül arıtım (çoğunlukla membran prosesleri veya aktif karbon adsorpsiyonu) gerekmektedir, bu da atıksu geri kazanım maliyetlerini artırmaktadır. Arıtım sırasında biyolojik veya fizikokimyasal bozunmalarla da orjinal bileşikten belki daha tehlikeli yan ürünler veya metabolitler de oluşabilmektedir. Alıcı ortamlara deşarj edilen bu kirlenmeler nihai olarak besin zincirine kadar ulaşmaktadır (Kıtiş ve ark., 2009). Endokrin bozucular, endokrin sisteminin çalışmasını değiştiren ve sağlıklı organizmalarda ve onun nesillerinde olumsuz etkilere neden olan, dışarıdan alınan madde veya bileşikler olarak tanımlanır. Bunlar; plastiklerde, deterjanlarda, böcek ilaçlarında ve endüstriyel kimyasallarda bulunmakta, üreme sistemini etkileyerek çeşitli bozukluklara neden olmaktadır. Hormonların yapımı, taşınması, yıkımı ve atılımını değiştirebildikleri gibi, hedef hücredeki etkilerini de değiştirebilmektedirler. Endokrin bozucu etkiye sahip kimyasal bileşikler doğal hormonlar ve insan yapımı maddeler olarak 2 grupta ele alınabilir.

Doğal hormonlar dişi ve erkek cinsiyet gelişiminden sorumlu östrojen ve testosteron gibi doğal yapıdaki maddeler olup, kolayca yıkılır ve depolanmazlar. Diğer gruptaki endokrin bozucular ise doğum kontrol ilaçları, hormon yerine koyma tedavileri ve bazı hayvansal besin katkıları gibi sentetik yapıda üretilen hormonlar ve insan yapımı kimyasallardır (Çetinkaya, 2009). Endokrin sistemini bozduğu bilinen kimyasallar arasında endüstriyel

temizlik maddeleri, plastik katkıları tüketim maddeleri, pestisitler, dioksin, furan, PCB, PVC, bisfenol A, alkilfenoller, fitalatlar, triklosan, tris (2-kloretil) fosfat, 4-nonilfenol, PAH' lar ve Pb, Hg, Cd, As, U gibi ağır metaller sayılabilir (Jackson ve Sutton, 2008, Çetinkaya, 2009, Deblonde ve ark., 2011).

Literatürde yer alan bir çalışmada 50 farmasötik molekülü, 6 fitalat ve bisfenol A' nın giderim performansı ve konsantrasyon verisi toplanmıştır. Çalışmanın sonucunda geniş ölçüde kullanılan di-2- etil hexil fitalatın (DEHP) atıksu örneklerinde ölçüldüğü, fitalatın giderim oranının diğer bileşiklere göre %90' dan daha fazla olduğu, ayrıca bisfenol A giderim oranının %71 civarında olduğu belirtilmektedir. Bu kirlenmelerin orta ve uzun vadede insan ve su çevresi üzerine etkilerinin ne olduğu hakkındaki bilgi oldukça azdır.

Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi 2000/06/CE; metaller, fitalatlar, pestisitler, PAH' lar ve endokrin bozucuları içeren madde gruplarını X ekinde yayınlamıştır. Bu maddelerin 2015' e kadar suyun ekolojik korunması çerçevesinde giderilmelerinin zorunlu olduğu belirtilmektedir (Deblonde ve ark., 2011).

Bir başka çalışmada Birleşik Devletler etrafındaki yüzey sularında, atıksu arıtma tesislerinden deşarj yoluyla kanallara karıştığı bilinen endokrin bozucu kimyasallar bulunmuştur. Alınan 21 örnek analiz edildiğinde, 19' unda bir veya daha fazla fitalat bileşiği, 9' unda triklosan, 5' inde bisfenol A, 4' ünde tris (2-kloretil) fosfat tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ve gelecekteki özel çalışmalar, atıksulardaki endokrin bozucu kimyasalları azaltmak için kirlilik önleme stratejilerini geliştirmede kullanılabilir (Jackson ve Sutton, 2008).

### 2.3. Hastane Atıksuları ve Kentsel Atıksuların Makro ve Mikro Kirlenmeler Yönünden Karşılaştırılması

Hastane atıksuları üzerine yapılan çalışmalardan, bu atıksuların genellikle evsel nitelikte olduğu ve BOİ<sub>5</sub>, KOİ, AKM, TOK gibi parametreler ile karakterize edildiği görülmektedir (Emmanuel ve ark., 2004). Yapılan deneysel çalışmalardan, kentsel ve hastane atıksularındaki makro kirlenmelere ait ortalama değerler Tablo 2' de verilmiştir. Buradan hastane atıksuyunun BOİ<sub>5</sub>, KOİ ve AKM değerlerinin kentsel atıksuya göre 2-3 kat daha fazla olduğu söylenebilir.

Diğer makro kirlenmeler açısından bakıldığında ise klorür, redoks potansiyeli ve pH dışında diğer tüm parametrelerin, hastane ve kentsel atıksudaki ortalama konsantrasyonları arasındaki oranın 1' den daha az olduğu görülmektedir (Verlicchi ve ark., 2010). Ayrıca Tablo 2' de hastane, evsel ve kentsel atıksuların makro kirlenmeler bakımından literatürde yer alan konsantrasyonları arasındaki karşılaştırma verilmektedir

Hastane ve kentsel atıksularda bulunan mikro kirlenmeler niteliğindeki PPCP' ler ve bazı ağır metaller ise Tablo 3' te verilmektedir. Hastane atıksularında bu maddelerin ortalama konsantrasyonları kentsel atıksuya göre 2-150 kat daha fazladır

**Tablo 2.** Evsel, Kentsel ve Hastane Atıksuları Arasındaki Karşılaştırma.

Parametre	Birim	Evsel ve Hastane Atıksuyu Yaklaşık Aralıkları (EPA, 1989b)	Evsel Atıksuyun Yaklaşık Aralıkları (Metcalf and Eddy, 1991)	Hastane Atıksuyunun Fizikokimyasal Karakterizasyonu (Emmanuel ve ark., 2004).	Hastane Atıksuyu Ortalama Kons. (Verlicchi ve ark., 2010)	Kentsel Atıksu Ortalama Kons. (Verlicchi ve ark., 2010)
pH	-	-	-	8.4 ± 0.3	8	7.5
Klorür	mg/L	-	30-100	185 ± 90.4	200	50
AKM	mg/L	60-200	100-350	225 ± 64	160	60
KOİ	mg/L	150-800	250-1000	638 ± 435	500	170
TOK	mg/L	50-300	80-290	218 ± 78	-	-
BOİ <sub>5</sub>	mg/L	50-400	110-400	-	200	90
KOİ/TOK	-	-	-	3.43 ± 0.92	-	-
Redoks Potansiyeli	mV	-	-	-	890	100
TKN	mg/L	-	-	-	33	45
Toplam Fosfor	mg/L	-	-	-	4	7
Yağ ve Gres	mg/L	-	-	-	25	75
Toplam Yüzey Aktif Madde	mg/L	-	-	-	4.5	5
E.Coli	(adet/100mL)	-	-	-	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
Fekal Koliform	(adet/100mL)	-	-	-	10 <sup>5</sup>	10 <sup>7</sup>
Toplam Koliform	(adet/100mL)	-	-	-	10 <sup>6</sup>	10 <sup>8</sup>

**Tablo 3.** Hastane ve Kentsel Atıksularda Önemli İlaç Bileşiklerinin Ortalama Konsantrasyonları (Verlicchi ve ark., 2010).

İlaç sınıfları	Hastane Atıksuları (HWW) Ortalama Değer (µg/L)	Kentsel Atıksular (UWW) Ortalama Değer (µg/L)	$\frac{HWW \text{ ort.}}{UWW \text{ ort.}}$
Analjezikler	100	11.9	8-15
Antibiyotikler	11	1.17	5-10
Sitostatikler	24	2.97	4-10
B-Blokerler	5.9	3.21	1-4
Hormonlar	0.16	0.10	1-3
ICM	1008	6.99	70-150
AOX	1371	150	7-15
Gadolinium	32	0.7	35-55
Platin	13	0.155	60-90



### 3. Hastane atıksularının arıtma seçenekleri

#### 3.1. Türkiye’ de ve Dünyadaki Durum

Atıksuların arıtımı süresince farklı davranışlarından dolayı hastane atıksularında bulunan mikro kirletici çeşitlerinin tümünün giderilebilmesi için spesifik bir arıtma yöntemi yoktur. Günümüzde hastane atıksuları genellikle konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinde evsel atıksularla birlikte arıtılmaktadırlar. Ancak pek çok farmasötik bu tip arıtma proseslerine karşı oldukça dirençlidir. Bundan dolayı farmasötiklerin kaynaқта kullanımının azaltılması önerilmektedir. Aksi takdirde bu tür maddeler ancak ileri arıtım prosesleri ile giderilebilir. Evlerde insan kullanımı sonucu idrar ve dışkı ile de birçok ilaç atıksulara karışarak arıtma performansını etkilemektedir. Ayrıca hastane atıksularındaki bazı maddeler biyokütle oluşumunu engellemekte ve bu da giderim verimini düşürmektedir. Özellikle kırsal bölgelerdeki büyük hastanelerin atıksuları için ayrı bir arıtma iyi bir çözümdür. Konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinde ortalama %10-90 oranında giderilen bu maddelerin daha etkin giderimi için farklı işletme şartları geliştirilmelidir (Vergili ve ark., 2005, Watkinson ve ark., 2007, Verlicchi ve ark., 2010).

Türkiye’de hastane atıksularının ayrı arıtılmalarına ve hastane atıksularındaki kirletici konsantrasyonları sınır değerlerine dair herhangi bir yasal mevzuat bulunmamaktadır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde kıta içi su kaynakları sınıfları ve sektörlere göre, Su Ürünleri Yönetmeliği’nde ise alıcı ortama kabul edilebilir değerlere göre çeşitli kirleticilere ait kriterler belirtilirken, hastane atıksuları için ayrı bir tablo mevcut değildir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde hastane atıksuları evsel atıksu olarak tanımlanmaktadır. Oysaki özellikleri itibarıyla çok çeşitli makro ve mikro kirleticileri içeren hastane atıksularının ve bunların arıtımının ayrı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Dünyanın her yerinde atıksu deşarjlarının değerlendirilmesinde temel ilke, spesifik kirletici ve maddelerin azaltılması çerçevesindedir. Avrupa Komisyonu Direktifi 98/15/EEC (1998) Avrupa Birliği’ nin tüm üyeleri için atıksu kirletici emisyonu sınırı önermektedir. Önerilen limit değerler ile çıkış sularında kimyasal parametreler için ölçülen değerler karşılaştırıldığında, atıksu yönetimi üzerine Avrupa Komisyonu Direktifi uygulaması, özellikle hastane atıksuyunda bulunan toksik maddelerin değerlendirilmesine izin vermemektedir. Ancak akuatik organizmalar üzerine bu maddelerin toksik etkileri toksisite testleri ile kimyasal karakterizasyon tamamlanarak hızlı bir şekilde değerlendirilebilir (Emmanuel ve ark., 2004).

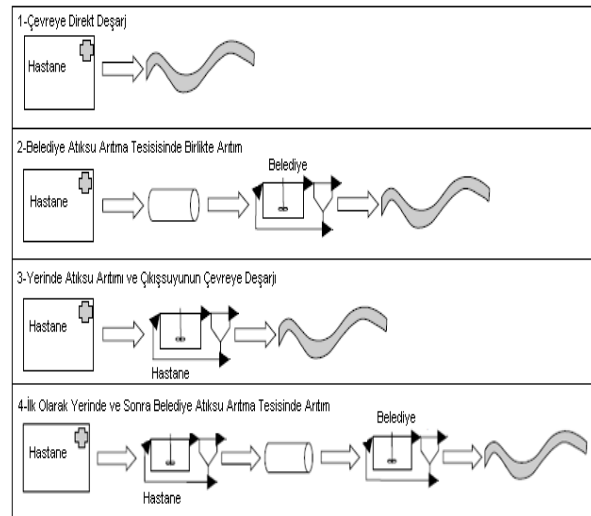
Farmasötik oluşumu ve geleceğine dair belediye atıksu arıtma tesisleri ile ilgili pek çok inceleme mevcutken hastane, hayvan çiftlikleri ve farmasötik üreticisi atıksu arıtma tesisleri çıkış suları ile deşarj edilen farmasötikler hakkında bilgi oldukça azdır. Bu kaynaklarda bulunan farmasötiklerle ilgili yasal düzenlemelerin sağlanmasıyla su ekosistemlerinin kirliliği kontrol altına alınabilecektir. Bu amaçla Kore’de yapılan bir çalışmada belediye, hayvan

çiftliği, hastane, farmasötik üreticisi atıksu arıtma tesislerinde farmasötik dağılımı incelenmiş, her bir farmasötik için çıkış sularında elde edilen konsantrasyonlar giriş sularından farklı bulunmuştur. Diğer taraftan çıkış sularında tüm kaynak tipleri benzer farmasötik yükleri göstermiştir. (Sim ve ark., 2011). Hastane atıksuyu arıtımı için çeşitli senaryoların geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu senaryolar 4 grupta incelenebilir:

- 1- Çevreye direkt deşarj,
- 2- Belediye atıksu arıtma tesislerinde birlikte arıtım,
- 3- Yerinde atıksu arıtımı ve sonrasında çıkış suyunun çevreye deşarjı,
- 4- İlk olarak yerinde ve sonra belediye atıksu arıtma tesisinde arıtım.

Bu 4 senaryo Şekil 2’ de gösterilmiştir. 1. senaryoda çevreye direkt deşarj edilen hastane atıksularında bulunan kirleticiler yüzey sularına, içme sularına ve buradan da insan vücuduna kadar ulaşarak tehlike yaratmaktadır. 2. senaryoda belediye atıksuları ile karışan hastane atıksuları seyrelirken, çevreye direkt deşarj edilmedikleri için daha az tehlike oluşturmaktadırlar. 3. senaryo çevresel yarar ve yüksek verimlilik sağlayabilir. Bu senaryoda küçük ölçekli etkili bir teknoloji büyük ölçekli daha ucuz bir teknolojiye daha ekonomik olabilir. Ancak çok sıkı izleme ve proses kontrolü gerektirir. 4. senaryo ise yüksek maliyetli olmasına karşı tehlikesi en az olan senaryodur (Pauwels ve Verstraete, 2006).

Hastane atıksularının arıtımı için literatürde farklı arıtma teknolojileri yer almaktadır. Genel olarak hastane atıksularının seyrelmeye neden olduğu için kentsel atıksulara karıştırılmadan arıtılmaları önerilmektedir. İçeriğindeki organik kirliliği gidermek için de biyolojik arıtma esastır. Mikro kirleticilerin oluşturduğu kirliliğin giderilmesi ancak membran teknolojileri, ozonlama, gelişmiş oksidasyon prosesleri gibi gelecek vaat eden ileri arıtım teknolojileri ile mümkün olabilmektedir. Hastane atıksularına dair uluslararası literatürde karşılaşılan bir giderim yöntemi de kaynaқта ayırmadır. Bu yöntem röntgen geçiren ve ICM içeren hasta idrarının kimyasal atık olarak ayrılarak işlem görmesidir. Ayırma işlemi hastanelerin doğum departmanlarındaki hamile kadınların idrarına da uygulanabilir. Bu idrar, küçük ölçekli bir atıksu arıtma tesisinde arıtılabilir (Pauwels ve Verstraete, 2006).



Şekil 2. Hastane Atıksu Arıtımında Olabilecek Senaryolar (Pauwels ve Verstraete, 2006).

### 3.2. Fizikokimyasal Arıtma

Fizikokimyasal arıtma proseslerinin başlıcalarından olan koagülasyon-flokülasyon ve flotasyonun uygulama alanları; kanalizasyon sistemlerine deşarj öncesi endüstriyel atıksuların ön arıtımı, kentsel atıksuların ön ve üçüncül arıtımı ve içme suyu arıtma tesisleridir. Hastane atıksuyundan 13 adet PPCP' nin giderimine yönelik koagülasyon-flokülasyon ve flotasyon proseslerinin uygulandığı bir çalışmada, koagülasyon ve flokülasyon denemeleri Jar-Test düzeneğinde ve pilot ölçekli sürekli bir tesiste gerçekleştirilmiş, ardından hastane ham atıksuyu ve koagülasyon tesisi çıkış suyu flotasyon hücreinde arıtılmıştır. Ön arıtım süresince %92 oranında toplam askıda katı madde giderimi sağlanırken, misk kokuları da kesikli koagülasyon-flokülasyon prosesi süresince yüksek derecede elimine edilmiştir. Diklofenak, naproxen ve ibuprofen gibi farmasotiklerin maksimum giderim verimleri sırasıyla %46, %42 ve %23 olup, diğer PPCP' lerin fizikokimyasal arıtmadan etkilenmediği görülmüştür. Koagülasyon-flokülasyon ve flotasyon kombinasyonu ile ham atıksuyun arıtımı tüm prosesin verimliliğini geliştirmiştir. Çalışmanın sonucunda koagülasyon-flokülasyon prosesinin, hastane atıksuyu karakteristیکlerini kentsel atıksuya benzetmek için uygun bir ön arıtma seçeneği olabileceği ifade edilmektedir (Suarez ve ark., 2009). Gautam ve ark. (2007) tarafından, 1067 mg/L KOİ konsantrasyonuna sahip hastane atıksuyunun FeCl<sub>3</sub> ile koagülasyonunu incelemişler ve %73 KOİ giderim verimi elde etmişlerdir. KOİ gideriminde istenilen sonuçlara ulaşamadığı için koagülasyon öncesi çöktürme işlemi gerçekleştirilerek %98 KOİ giderimi sağlanmıştır. Daha sonra filtrasyon ve dezenfeksiyon işlemleri uygulanarak KOİ değeri 16 mg/L' ye kadar azaltılmıştır. Çalışmanın sonucunda, fizikokimyasal arıtma metodlarının hastanelerden kaynaklanan karmaşık özellikteki atıksuların arıtımı için uygun bir seçenek olduğu, ancak bu atıksuların olumsuz etkilerini kesin olarak tanımlamak için daha fazla araştırma yapılması gerektiği belirtilmiştir. Verlicchi ve ark., 2010, tarafından yapılan bir çalışmada ise, koagülasyon ve flokülasyon proseslerinin PPCP' leri yeterince gideremediği ayrıca toz ve granül aktif karbonun daha etkin potansiyele sahip olduğu ifade edilmiştir. 66 adet PPCP' nin sadece 9' unda 5 saat temas süresi ve 5 mg/L dozda toz aktif karbonun %50' den daha az giderim sağladığı bulunmuştur. Toz aktif karbonun 5 mg/L' si ve 4 saat temas süresinde endokrin bozucu bileşikleri %90 oranında giderdiği belirtilmiştir. Çalışmada, aktif karbonun rejenerasyonu ve bertarafının da dikkate alınması gerektiği, toz aktif karbonun düzenli depolamayla bertaraf edilebileceği vurgulanmıştır. Granül aktif karbonun rejenerasyonu önemli bir enerji gerektirir ki bu durum mikro kirletici kalıntılarında daha büyük çevre sorunlarına yol açabilir. Aktif karbonla fizikokimyasal arıtımın uygulanabilirliğine fayda maliyet analizi dikkate alınarak karar verilmelidir (Verlicchi ve ark., 2010).

### 3.3. Biyolojik Arıtma

Hastane atıksularının arıtımında biyolojik arıtımın rolü büyüktür. Ancak birincil biyolojik arıtım bunun için yeterli değildir.

Araştırmalar, yeni tanımlanan kirleticilerin gideriminde ikincil biyolojik arıtmanın gerekliliği üzerinde birleşmektedir. Azot arıtımı yapan biyolojik sistemler, farmasotiklerin atıksudan uzaklaştırılması açısından sabit biyoreaktör veya batık biyofiltrelere göre daha iyi giderim verimi sağlamaktadır. Nitrifikasyon bakterileri bu konuda önemli bir role sahiptir. Yapılan çalışmalar, yeni tanımlanan kirleticilerin konvansiyonel aktif çamur prosesleri ile gideriminde çamur alıkonma süresi ve nitrifikasyon bakterilerinin rolü üzerinde durmaktadır. Biyolojik arıtmada uzun çamur alıkonma süreleri daha geniş fiziksel özellikleri olan nitrifikasyon bakterisi yerleşimine imkan verir. Ayrıca inatçı bileşikleri bile etkileyen metabolik prosesleri artırarak daha eksiksiz bir mineralizasyonu destekler.

Biyolojik bozulma sabiti ( $k_{biyo}$ ) bileşiklerin biyolojik proseslerle giderilmesi eğilimi üzerine bilgi sağlar. Eğer  $k_{biyo} < 0,1$  L.g/AKM.gün ise bozulma genelde %20' den küçüktür. Eğer  $k_{biyo} > 10$  L.g/AKM.gün ise biyolojik bozulma %90' dan fazladır. Tablo 4' te, hastane atıksularının arıtıldığı membran biyolojik reaktör (MBR) ve konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde (AÇS) bulunması muhtemel ilaç bileşikleri ve etken maddeleri ile bunların biyolojik bozulması için gerekli  $k_{biyo}$  değerleri verilmektedir (Verlicchi ve ark., 2010).

**Tablo 4.** Temel Farmasotiklerin Özellikleri (Verlicchi ve ark., 2010).

Farmasotik Sınıfı	Ticari Adı	$k_{biyo}$ L g/AKM.gün (Konvansiyonel aktif çamur sistemi)	$k_{biyo}$ L g/AKM.gün (Membran biyolojik reaktör)
Analjezik-Anti-inflamatuar	Naproxen	1-1.9	0.4-0.8
Analjezik-Anti-inflamatuar	Parasetamol	58-80	106-240
Antibiyotikler	Clarithromycin	0.5	2
Antibiyotikler	Eritromisin	0.12	1.1
Antibiyotikler	Roxithromycin	0.2	0.3
Antibiyotikler	Sulfamethoxazol	5.9-7.6	3.2-5
Hormonlar	17b-Estradiol, E2	175-460	280-950
Hormonlar	Estrone, E1	10-162	28-430
ICM	Iopamidol	0.36	0.1
ICM	Iopromide	1.6-2.5	1-2
Yağ Düzenleyici	Clofibric acid	0.3-0.8	0.1-0.23
Yağ Düzenleyici	Gemfibrozil	6.4-9.6	0.5-1.8

Batı Yunanistan’ da bulunan Ioannina şehrindeki belediye ve hastane atıksu arıtma tesislerinden alınan örneklerde, 11 çeşit PPCP kalıntısının oluşumu ve giderimine yönelik bir yıllık bir izleme yapılmış, çalışmada farmasotikler için katı faz ekstraksiyonu kullanılmıştır. İzleme çalışması sonuçlarına göre atıksu örneklerinde tüm hedef PPCP bileşiklerine rastlanmıştır. Belediye atıksu arıtma tesisinde bu bileşiklerin konsantrasyonu; girişte 0.3-164.4 µg/L, çıkışta 0.5-13.9 µg/L; hastane atıksu arıtma tesisinde ise girişte 0.6-70.1 µg/L ve çıkışta 0.5-14.6 µg/L aralığındadır. PPCP’ ler için giderim verimleri belediye atıksu arıtma tesislerinde %13-97, hastane atıksu arıtma tesislerinde ise %9-87’ dir. Çalışmanın sonucunda, her iki tesiste de biyolojik arıtma ile yüksek bir giderim verimi elde edilmesine rağmen, bu tür yeni düzensiz mikro kirlenmelerin giderimi için gelişmiş atıksu arıtma teknolojilerinin araştırılmasının, sadece insanlar için değil aynı zamanda diğer canlılar için de önemli olduğu vurgulanmaktadır (Kosma ve ark., 2010). Kore’de belediye atıksu arıtma tesislerinde yapılan bir çalışmada asetaminofen, kafein, asetilsalisilik asit, ibuprofen ve gemfibrozil gibi farmasotik konsantrasyonlarının, aktif çamur prosesi, anoksik/anaerobik/oksik ve kesikli reaktör gibi biyolojik arıtım yöntemlerini takiben UV ve klorlama gibi sistemlerle %99’ un üzerinde azaldığı tespit edilmiştir. 100 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli, kimyasal flokülasyon ile kum/aktif karbon filtrasyonundan oluşan hastane atıksuyu arıtma tesisinde ise asetilsalisilik asit, siprofloksasin, asetaminofen ve karbamazefin farmasotiklerinin giderimi %80’ in üzerindedir (Sim ve ark., 2010). Güney Kore’ nin en geniş endüstri şehri Ulsan’ daki 5 atıksu arıtma tesisinde 20 farmasotiğin incelendiği bir çalışmada giriş ve ikincil arıtma çıkış sularında USA ve Avrupa’ da verilen değerlerden daha düşük konsantrasyonlar tespit edilmiştir. Farmasotiklerin özelliklerine göre biyolojik proseslerde giderim oranları da değişken olmaktadır. Mevcut atıksu arıtma tesislerinde analjezik asetaminofen, hormonlardan estriol ve estradiol ile kafeine %99 azaltılırken, antibiyotik sulfametazin, antihipertansif metoprolol ve anti epileptik karbamazefin giderim verimi %30’ un altındadır. Görüldüğü gibi bazı farmasotikler önemli ölçüde giderilmesine rağmen, özellikle antibiyotiklerin giderimi, biyolojik proseslerin işletme ve dizayn yönlerini içeren daha detaylı araştırma gerektirmektedir (Behera ve ark., 2011).

### 3.4. İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP)

Atıksulardan farmasotik gideriminde kullanılan ileri oksidasyon prosesleri %90’ nın üzerinde giderim verimi sağlamaktadır. Bazı antibiyotikler (trimetoprim, sulfametoksazol, klaritromisin, eritromisin, roxitromisin gibi), antiinflamatuvar bileşikler (diklofenak, indometazin gibi) ve kas kasılmasını önleyen antikonvülsanlar moleküler ozona karşı reaktiftir. Fakat anksiyete etken maddesi diazepam, analjezik ibuprofen, gibi bileşikler ise ozona karşı dirençlidir. İleri oksidasyon prosesleri ile arıtımda verimi etkileyen faktörler; farmasotik bileşiklerin konsantrasyonu ve bozunma derecesi, oksidasyon dozu, atıksu kalitesi parametreleri ve işletme şartlarıdır. Ozon tabanlı gelişmiş oksidasyon prosesleri (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>/UV),

fenton tipi prosesler ve fotokimyasal İOP genellikle fotonla başlatılan karbon-halojen bağlarının bölünmesini ve serbest hidroksillerin oluşumunu artırdığı için sadece ozonlamadan daha etkilidir. Bundan dolayı hastane atıksularındaki kalıcı maddelerin giderimi için bu tür sistemler önerilmektedir. İyotlu röntgen kontrast maddeleri (ICM) veya klor içeren kompleks moleküllere göre pek çok bileşik için de İOP, ozonlamadan daha etkili olabilir (Verlicchi ve ark., 2010). Antibiyotik içeren ve sentetik olarak hazırlanan atıksularda, O<sub>3</sub> ve O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesleri uygulanarak biyoparçalanabilirliğin arttığı ve yüksek seviyede KOİ giderildiği görülmüştür (Akmehmet Balcıoğlu ve Ötger, 2003). Ozonlama ile birlikte toz aktif karbon ilavesi de pek çok farmasotiğin atıksudan gideriminde etkili olmasına rağmen, iyotlu röntgen kontrast maddelerinin gideriminde iyi sonuç vermemektedir (Escher ve ark., 2011). Hastanelerde enfeksiyon etkeni olarak bilinen bazı bakterilerin ozon gazı ve/veya negatif iyona duyarlılıkları ve dezenfeksiyon yöntemlerinin kullanımının değerlendirilmesine ilişkin yapılan bir çalışmada, tüm bakteri türlerinin ozon gazına son derece duyarlı olduğu ve kısa maruziyet sürelerinde üremelerinin inhibe olduğu belirlenmiştir (Gürsoy, 2009). Ozonlama nispeten ucuz bir tekniktir. Fakat oluşan yan ürünler yeterli karakterize edilemez. Bundan dolayı ozonlanmış atıksu arıtma tesisi çıkış sularında yan ürünlerin hakimiyeti araştırılmalıdır (Pauwels ve Verstraete, 2006). Kajitvichyanukul ve ark. (2006), hastane atıksuyuna ön arıtım amaçlı foto-fenton prosesi uygulayarak hastane atıksuyunun biyoparçalanabilirliğini ve oksidasyon derecesini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada; BOI<sub>5</sub>/KOİ oranı olarak verilen biyoparçalanabilirlik, 0.3’ ten 0.52’ ye kadar yükselmiştir. Sonuçlar, foto-fenton prosesinin kirlenmelerin toksisitesini azaltan ve hastane atıksularının biyoparçalanabilirliğini iyileştiren uygun bir ön arıtım prosesi olduğunu göstermektedir.

### 3.5. Dezenfeksiyon

Atıksuların dezenfeksiyonunda klorun kullanımı oldukça yaygındır. Ancak klorla dezenfeksiyonda, istenmeyen dezenfeksiyon yan ürünleri (DBP) oluşmaktadır. Ayrıca koliform veya patojenik bakterilere göre toleransları çok yüksek olan virüslerin dezenfeksiyonla giderimi daha düşüktür (Sun ve Gu, 2007, Liu ve ark., 2010). Hastane atıksularının dezenfeksiyonunda enfekte hastalık nedeni olan patojenik mikroorganizmaların yayılımını önlemek amacıyla kullanılan bir diğer dezenfektan madde ise sodyum hipoklorittir (Emmanuel ve ark., 2004).

Verlicchi ve ark. (2010) klor ve bileşiklerinin iyi bir bakteri giderimi sağladığını belirtmişlerdir. Yapılan bir çalışmada, 10 mg/L ClO<sub>2</sub> ilavesi ve 30 dakikalık temas süresi ile bir hastanenin bulaşıcı hastalıklar koğuşundan gelen atıksuda bakteriler için iyi bir giderim verimi elde edilmiştir. Bir başka çalışmada ise NaClO kullanarak gerçekleştirilen dezenfeksiyonun toksikolojik etkisi araştırılmış ve 1-8 mg/L dezenfektanın bakteri kirliliğini azaltabileceği belirlenmiştir (Verlicchi ve ark., 2010).

Gusbeth ve ark. (2009), hastane atıksularında bakteriyel kirliliği azaltmak için darbeli elektrik alan metodunu kullanmışlar ve bu metodun kimyasal ilavesi olmadan bakteri gideriminde alternatif bir metot olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Atıksulardan bakterilerin azaltılması için kullanılan klorlama, ozonlama, UV

ışınlama gibi kimyasal dezenfeksiyon yöntemleri istenmeyen dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumuna neden olurken, darbeli elektrik alan metodu kimyasal ilavesi olmadığından bakteri gideriminde etkili bir yöntem olarak ifade edilmektedir.

### 3.6. Ekilmiş Sulak Alanlar İle Doğal Arıtma

Bu tür sistemler fotoliz, bitki alımı, mikrobiyal bozulma ve toprağa emilimi içeren bir dizi mekanizma aracılığıyla hastane kaynaklı farmasotiklerin giderimini amaçlamaktadır. Yatay ve düşey yüzeyaltı akışa dayalı bu sistemlerde aerobik, anaerobik ve anoksik şartlarda bitki kökleri ile kirleticiler giderilmektedir. Bazı araştırmalar farmasotik gideriminde aerobik şartların anaerobik şartlara göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Atıksulardan ibuprofen gibi bazı farmasotiklerin aerobik şartlarda; klofibrinik asit, diklofenak gibi farmasotiklerin ise anaerobik şartlarda giderildiği görülmüştür. Halojen bileşikler ise yüksek oranda anoksik şartlara ihtiyaç göstermektedir. Buna ilave olarak yüzeysel akış sistemlerinde meydana gelen yüksek alıkonma süreli fotodegradasyon proseslerinin, mevcut PPCP'lerin (ketoprofen ve diklofenak gibi) akuatik çevrede elimine edilmesinde etkili olduğu belirtilmektedir (Verlicchi ve ark., 2010).

### 3.7. Membran Filtrasyon

Membran filtrasyonu, partikül maddelerin, kolloidlerin, büyük moleküllerin, iyonların, askıda katı maddelerin ve çözünmüş maddelerin ayırımı amacıyla kullanılan bir teknolojidir (Arı, 2009). Membranlarla ayırma işlemi büyük ölçüde süzüntü bileşenleri ve membran materyali arasında fiziko-kimyasal etkileşimlere bağlı olup en yüksek seçiciliğe sahip ayırma prosesleri ile ilişkilidir. Bu ayırma prosesleri mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ozmoz, ters ozmoz (TO), gaz ayırma, diyaliz, elektrodiyaliz (ED) ve pervaporasyondur. Bu yöntemlerde ayırma, moleküllerin boyutlarına ve kütlelerine göre olur (Hasar, 2001). Membran teknolojileri, diğer atıksu arıtma sistemleri ile karşılaştırıldığında patolojik mikroorganizmaların gideriminde daha etkili yöntemlerdir (Liu ve ark., 2010). Batık membran olarak işletilen bir MBR pilot tesisinin performansını değerlendirmek için, farmasotik bileşiklerin giderimi, farklı çamur alıkonma sürelerinde incelenmiştir. Bütün bileşikler için 30 günlük çamur alıkonma süresi ile işletilen MBR reaktörü ile elde edilen giderim verimleri, 15 günlük çamur alıkonma süresi ile işletilene göre daha yüksektir. Yüksek giderim verimi, yüksek çamur alıkonma sürelerinde elde edildiği için, biyoparçalanabilirlik önemli rol oynar. Bu nedenle UF kullanılarak MBR arıtımı kısmen başarılıdır. Bundan dolayı düşük konsantrasyonlarda kalıcı farmasotikler, antibiyotikler ve bunların dönüşüm ürünlerinin deşarjı NF, TO, ozon oksidasyonu, klorlama, UV radyasyon, aktif karbon adsorpsiyonu, gibi ileri arıtım teknikleri ile azaltılabilmektedir (Le-Minh ve ark., 2010, Tambosi ve ark., 2010).

### 3.7.1. Mikrofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon

Gözenek çapları 0,01-5 µm arasında değişen, membran filtrasyon tekniklerinden biri olan MF membranlarında ayırma işlemi elek mekanizmasına dayanır ve büyüklüğü gözenek çapından daha fazla olan maddeler membran tarafından tutularak sudan ayrılır. Daha çok partiküllerin ve mikroorganizmaların gideriminde kullanılır (Arı, 2009, Büyükdere, 2008). MF, membran direnci düşük olduğu için 0-2 bar basınç farkı ile işletilir. Son yıllarda su geri kazanımı konusu ağırlık kazandığından, MF membranlarının en yaygın uygulama alanı NF ve TO membranları öncesinde ön arıtma amacıyla kullanımıdır (Kaleli, 2006, Şahinkaya ve ark., 2008). 1930'lu yıllardan beri kullanılmakta olan UF membranların işletme basıncı 1-5 bar arasında değişmektedir. İşletme açısından MF'ye benzeyen UF membranların gözenek boyutları 0,05-1 nm arasında değişmektedir. UF membranları, bakteri ve virüs giderimi açısından da oldukça güvenlidir. UF membranları ile moleküler ağırlıkları, 1.000-100.000 D (Dalton)=kg/kmol arasında değişen maddeler tutulmaktadır (Arı, 2009). UF, çözünmüş ve kolloidal materyallerin giderimi için uygulanan ve düşük trans membran basıncında çalışan bir membran tekniğidir (Fu ve Wang, 2011).

### 3.7.2. Nanofiltrasyon ve Ters Ozmoz

Hastane atıksularında yoğun olarak bulunan farmasotiklerin %90 oranında giderimini sağlayan bir diğer filtrasyon prosesi nanofiltrasyon (NF)'dir. NF ile atıksu; adsorpsiyon, elekten geçirme ve elektrostatik itme aşamalarından geçmektedir. NF ile giderim verimi atıksudaki mikro kirleticilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, membran özellikleri ve membranların işletme şartlarıyla ilişkilidir. NF membranlar sıvı akımında küçük organik kirleticileri ve çok değerlikli iyonları kolaylıkla ayırabilir (Bodzek ve ark., 2006, Verlicchi ve ark., 2010). NF, 200-1000 gr/mol arasında moleküler cut-off değeri gösterdiğinden, özellikle UF ve TO arasında atıksuların arıtımında gelecek vaat etmektedir (Fu ve Wang, 2011, Ortega ve ark., 2008). TO prosesi ise, sudan çözünmüş türlerin ve tek değerlikli iyonların uzaklaştırılmasında etkili bir prosestir. Çevre ve kimya mühendisliğinde atıksuların arıtımında son yıllarda popüler hale gelmiştir (Fu ve Wang, 2011). İkincil arıtma ile giderilemeyen ve çıkış sularında bulunan PPCP ile endokrin bozucu bileşiklerin gideriminde TO'nun etkisi oldukça fazladır. Yapılan çalışmalarda, doğal ve sentetik steroidler, organohaloidler, galaksolid ve diğer pek çok bileşik TO ile %90 oranında giderilirken, diklofenak için %55.2-60, ketoprofen için ise %64.3 oranında giderim verimleri elde edilmiştir (Verlicchi ve ark., 2010).

Bodzek ve ark. (2006), konvansiyonel arıtma ve membran teknoloji ile sıvı fazdan doğal ve sentetik seks hormonlarının eliminasyonunu inceleyerek, koagülasyon ve adsorpsiyonun bu bileşiklerin sudan tamamen giderimi için yeterli olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca atıksu arıtımının ikinci adımı olarak NF ve koagülasyon-NF sistemlerini geliştirerek, yüksek oranda östrojen giderim verimi sağlamışlardır (NF ile %63, koagülasyon-NF ile %81.5).

Aktif çamur sistemleri ile elimine edilemeyen farmasotiklerin gideriminde NF ve TO gibi yüksek basınçlı membranlar oldukça

etkindir. Hedef bileşiklerin moleküler boyut gibi karakteristik özellikleri NF/TO membranlarla giderim verimini etkilemektedir. TO arıtma prosesleri ile yeniden kullanım dünyada birçok şehirde kullanılmaktadır. Eysel atıksu arıtma proseslerinde NF/TO membranlar kullanılacağı zaman, membranı korumak için bazı ön arıtma sistemleri uygulanmalıdır. Eysel atıksu arıtımında biyolojik arıtımı takiben, NF/TO membranların öncesinde, ön arıtım amaçlı batık-yüzeysel filtrasyon veya MF/UF kullanılmalıdır. Biyolojik arıtım ve MF/UF' nin entegrasyonu olarak, membran biyolojik reaktörler (MBR) yapılmıştır. Gelecekte evsel atıksu arıtımı için NF/TO membranların ön arıtımında MBR daha etkili olacaktır. Fakat bazı tür farmasotikler MBR ile giderilemediği için NF/UF' ye ihtiyaç duyulmaktadır (Kimura ve ark., 2009). Wang ve ark. (2009), hastanelerde hücre gelişimini durduran ilaçlarda kullanılan siklofosfamid (SF)' in NF ve TO membranlar kullanılarak rejeksiyonunu araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar tüm işletme şartlarında TO membranların mükemmel bir rejeksiyon (>%90) sağladığını göstermiştir. NF membranlarda SF rejeksiyonu ise TO membranlara göre daha azdır. Bu çalışmanın sonucunda, MBR-NF ve MBR-TO kombine sistemlerin her ikisinin de SF içeren atıksuların arıtılmasında gelişim gösteren prosesler olduğu düşünülmüştür.

### 3.7.3. Membran Biyolojik Reaktörler

Yüzey ve içme suları, evsel ve endüstriyel atıksu arıtımında MBR' ların dünyada her geçen gün önemi artmaktadır. MBR, konvansiyonel aktif çamur sistemi ve ileri membran teknolojisinin iyi bir entegrasyonu olduğu için, çamur ve hidrolik alıkonma süresi kontrolünü ve reaktörde biyokütle yüksekte tutulmasını sağlar (Wang ve ark., 2008). MBR tesislerinin çıkış sularına NF-TO uygulanarak içme suyu kalitesinde su elde edilebildiği vurgulanmaktadır (Wisniewski, 2007). MBR hastane atıksularının arıtımında anahtar bir role sahip olduğundan yüksek miktarda mikroorganizma giderimi de sağlar (Pauwels ve Verstraete, 2006, Liu ve ark., 2010, Zannetti ve ark., 2010). Yapılan çalışmalarda, hastane atıksularında bulunan analjezik bir ilaç olan ibuprofen ve antiseptik toz madde metil paraben ve galaksolid gibi bileşiklerin aktif çamur prosesleri ve MBR ile giderim verimliliklerinde çok önemli farklılıklar olmadığı görülmüştür. Ancak deneysel araştırmalar atıksulardan bu tür bileşiklerin gideriminde MBR' ın konvansiyonel aktif çamur prosesine göre %30-50 oranında daha üstün olduğunu göstermektedir. Ayrıca mefanamik asit, indometasin, diklofenak, gemfibrozil gibi bazı bileşiklerin MBR' da giderim verimleri sırasıyla; %40, %40, %65, %32-42' lere kadar artırılmıştır. Karbamazepin gibi bazı kararlı bileşikler ise MBR yada aktif çamur sisteminde giderilememiştir (Verlicchi ve ark., 2010). Sun ve ark. (2008), hastane atıksuyunda MBR ön dezenfeksiyon karakteristiklerini ve arıtma prosesinde AOX' lerin biyoparçalanabilirliğini araştırarak, hastane atıksuyunun biyotoksitesini azaltmak için MBR' ın etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, toplam bakteri ve fekal-koliformun giderimine bakarak

MBR' ın ön dezenfeksiyon ünitesi olarak kullanılabileceğini, ayrıca %60 AOX giderimi sağladığını belirtmişlerdir. Pankhania ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada, laboratuvar ölçekli membran havalandırma biyoreaktörünün sentetik atıksuyu arıtma kabiliyetini araştırarak, tam karışımli reaktörde 24.5 kg/KOİ/m<sup>3</sup>/gün organik yükleme hızı ve 34 dakika hidrolik bekleme süresinde %89; piston akışlı işletme şartlarında ise 5.8 kg/KOİ/m<sup>3</sup>/gün organik yükleme hızı ve 47 dakika hidrolik bekleme süresinde %86 KOİ giderim verimi elde etmişlerdir. Ayrıca biyokütle büyümesini kontrol etmek için membran temizliğinin gerekli olduğunu, piston akışlı şartlarda biyofilmin oksijen transferinde önemli bir rol oynadığını vurgulamışlardır. Zannetti ve ark. (2010) yaptığı çalışmada, yeniden kullanım için zorlayıcı mikrobiyal standartlarla karşılaşıldığından konvansiyonel aktif çamur prosesini takiben mutlaka üçüncül arıtım gerektiğini belirtmişlerdir. Kimyasal ileri arıtım prosesleri tehlikeli veya uygun olmayan ara ürünler oluşturduğu için, evsel ve endüstriyel suların biyolojik içeriği ve organik-inorganik kirleticilerin giderimini sağlayabilen membran filtrasyonu ile biyolojik parçalanmayı entegre eden MBR teknolojilerini tercih etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda; evsel atıksuların arıtımında MBR prosesinin yüksek mikroorganizma, KOİ ve toplam askıda katı madde giderimi sağladığı belirlenmiştir. MBR' ların avantajları arasında çıkış suyundan tam katı giderimi, çıkış suyu dezenfeksiyonu, yüksek yükleme hızı kapasitesi, düşük/sıfır çamur üretimi, hızlı devreye alma sayılabilir. Batık MBR' lar sadece MBR' ların avantajlarına değil aynı zamanda daha kompakt boyut ve daha düşük enerji tüketimine sahiptir. Hastane atıksuyu arıtımı için batık hollow-fiber MBR' ın performansının araştırıldığı bir çalışmada, Haidian Community Hastanesi atıksuyunun arıtımı sonucu çıkış suyunda KOİ, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ve bulanıklık giderim verimleri sırasıyla %80, %93 ve %83 olarak bulunmuştur. E.Coli giderim verimi ise %98' in üzerinde çıkmıştır (Wen ve ark., 2004).

## 4. Sonuç

Aquatik çevrede yeni ortaya çıkan kirleticilerin varlığı giderek artan bir öneme sahiptir. US EPA bu kirleticileri, yasal statüsü olmayan ve çevre-insan sağlığı üzerine olan etkileri tam olarak anlaşılabilen yeni kimyasallar olarak tanımlamaktadır. Bir taraftan teşhis, tedavi ve araştırma faaliyetleri diğer taraftan yatarak ve ayakta tedavi gören hastaların ilaç atımlarıyla hastaneler, yeni ortaya çıkan makro ve mikro kirleticilerin ana kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu kirleticiler, çeşitli aktivitelere bağlı olarak atıksulara, atıksu arıtma tesislerine ve yeterince giderilemeden geniş konsantrasyonlarda su kaynaklarına karışmaktadırlar.

Atıksulara hastaneler yoluyla ulaşan makro kirleticiler fizikokimyasal ve mikrobiyolojik olarak sınıflandırılabilir. Bilinen fizikokimyasal makro kirleticiler KOİ, BOİ<sub>5</sub>, TOK, AKM, TKN gibi atıksuda organik kirlilik göstergesi olan parametrelerdir. Mikrobiyolojik açıdan bakıldığında hastane atıksuları oldukça kompleks sulardır. *Shigella*, *Salmonella* gibi bakterilerin yanı sıra virüsler, toplam ve fekal koliformlar hastane atıksularındaki önemli mikrobiyolojik makro kirleticileri oluşturmaktadır. Mikro kirleticiler ise, hastane atıksularında bulunan ve konsantrasyonları ng/L ile µg/L arasında değişebilen kirleticilerdir. Daha küçük miktarlarda bulunmalarına rağmen,

kalıcı ve biyoparçalanabilirliklerinin zor olması nedeniyle bu kirleticiler çevrede toksik, kanserojen ve mutajen etki gösterirler. Bu çalışmada hastane kaynaklı mikro kirleticiler; PPCP' ler, radyoaktif maddeler ve adsorplanabilir organik halojenler (AOX), dezenfektanlar, metaller ve ağır metaller ile endokrin bozucular olarak gruplandırılmıştır. Daha çok hastane ve veteriner faaliyetleriyle farmasotik imalatında oluşan PPCP' ler, son yıllarda giderek üretim ve tüketimleri artan, antibiyotikler, analjezikler, antihistaminler, antiinflamatuvarlar, sitostatikler,  $\beta$ -blokerler, hormonlar, yağ düzenleyiciler gibi ilaçlar ve onların metabolitleridir. AOX' ler atıksulardaki organik bileşiklerle halojenlerin reaksiyonu sonucu oluşurlar. Bunların ana kaynağı hastanelerin radyoloji bölümlerinden salınan iyotlu röntgen kontrast maddeleridir. Temizlik ve dezenfeksiyon amacıyla kullanılan dezenfektanlar da önemli miktarlarda atıksulara karışan mikro kirleticilerdir. Hastane atıksularında daha çok Zn, Hg, As ve Pt ağır metalleri bulunmaktadır. Endokrin bozucular, son yıllarda önemi giderek artan, endokrin sisteminin çalışmasını değiştiren ve sağlıklı organizmalarda ve onların nesillerinde olumsuz etkilere neden olan, dışarıdan alınan madde veya bileşiklerdir. En önemlileri, fitalatlar, bisfenol A, PVC, triklosan, tris (2-kloretil) fosfat, 4-nonilfenol, PCB'ler, dioksin, furan ve alkilfenollerdir.

Hastane atıksularında bulunan makro ve mikro kirleticilerin giderimi için literatürde birçok arıtma teknolojisi yer almaktadır. Bu teknolojiler; fizikokimyasal arıtma teknikleri, biyolojik arıtma, ozonlama ve gelişmiş oksidasyon prosesleri, dezenfeksiyon, ekilmiş sulak alanlar ile doğal arıtma, adsorpsiyon, iyon değiştirme ve membran filtrasyonudur. Özellikle hastane kaynaklı mikro kirleticilerin giderilmesi için konvansiyonel arıtma prosesleri yeterli olmadığından ve dünyada azalan su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımı gerektiğinden, ileri arıtım teknolojilerine olan ilgi artmaktadır. Genel olarak hastane atıksularının seyrelmeye neden olduğu için kentsel atıksulara karıştırılmamaları esastır. İçeriğindeki organik kirliliği gidermek için biyolojik arıtma gerekmektedir. Ancak mikro kirleticilerin oluşturduğu kirliliği gidermek ancak membran teknolojileri, ozonlama, gelişmiş oksidasyon prosesleri gibi ileri arıtım teknolojileri ile mümkün olabilmektedir. MBR' lar, NF ve TO bu kirleticilerin gideriminde öne çıkarken, MF ve UF teknikleri ön arıtım amaçlı uygulanabilmektedir. Dünyada hastane atıksularının evsel atıksularla birlikte konvansiyonel olarak arıtılmaları yaygındır. Ancak birçok mikro kirletici bu yöntemlerle giderilemediği için hastane atıksularının ileri arıtımı, kaynaktan ayırma ve ilaç kullanımının azaltılması gibi yöntemler önerilmektedir. Bu konuda uluslararası literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Türkiye'de henüz hastane atıksularının ayrı arıtılmalarına ve hastane atıksularındaki kirletici konsantrasyonları sınır değerlerine dair herhangi bir yasal mevzuat yoktur. Ayrıca hastane atıksuları ve arıtımı ile ilgili ulusal literatürde çok az veri bulunmaktadır. Oysaki özellikleri itibarıyla çok çeşitli makro ve mikro kirleticileri içeren hastane atıksularının ve bunların arıtımının ayrı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Buna ilave olarak çevre mevzuatında hastane atıksuları kentsel atıksularla birlikte değerlendirilmemeli, bu konuda mutlaka ayrı bir yönetmelik düzenlenmelidir.

## Kaynaklar

1. Akme Mehmet Balcioğlu, I., Ötker, M., Treatment of pharmaceuticals wastewater containing antibiotics by O<sub>3</sub> and O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes, *Chemosphere*, 50, 85-95, 2003.
2. Altın, A., Değirmenci, M., Altın, S., Sivas kentinde bulunan hastanelerin atıksularının miktar ve özelliklerinin belirlenmesi, *DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1, 2, 33-46, 1999.
3. Altın, A., Altın, S., Değirmenci, M., Characteristics and treatability of hospital (medical) wastewaters, *Fresenius Environmental Bulletin*, 12, 9, 1098-1108, 2003.
4. Anonim, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2004.
5. Anonim, Su Ürünleri Yönetmeliği, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 1995.
6. Arı, H., Türkiye' de içme suyu amaçlı büyük kapasiteli membran sistemleri maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
7. Barakat, M.A., New trends in removing heavy metals from industrial wastewater, *Arabian Journal of Chemistry*, 2010.
8. Behera, S.K., Kim, H.W., Oh, J-E., Park, H.S., Occurrence and removal of antibiotics, hormones and several other pharmaceuticals in wastewater treatment plants of the largest industrial city of Korea, *Science of the Total Environment* 409, 4351-4360, 2011.
9. Berto, J., Rothenbach, G.C., Barreiros, M.A.B., Correa, A.X.R., Peluso-Silva, S., Radetski, C.M., Physicochemical microbiological and ecotoxicological evaluation of a septic tank/Fenton reaction combination for the treatment of hospital wastewaters, *Ecotoxicology and Environment Safety*, 72, 1076-1081, 2009.
10. Bodzek, M., Dudziak, M., Elimination of steroidal sex hormones by conventional water treatment and membrane processes, *Desalination*, 198, 24-32, 2006.
11. Boillot, C., Bazin, C., Tissot-Guerraz, F., Droguet, J., Perraud, M., Cetre, J.C., Trep, D., Perrodin, Y., Daily physicochemical, microbiological and ecotoxicological fluctuations of a hospital effluent according to technical and care activities, *Science of the Total Environment*, 403, 113-129, 2008.
12. Büyükdere, A., Tekstil atıksularının membran teknolojileri ile arıtılması ve geri kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
13. Çetinkaya, S., Endokrin çevre bozucular ve ergenlik üzerine etkileri. *Dicle Tıp Dergisi*, 36, 59-66, 2009.
14. Deblonde, T., Cossu-Leguille, C., Hatemann, P., Emerging pollutants in wastewater: A review of the literature, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214, 442-448, 2011.
15. Emmanuel, E., Keck, G., Blanchard, J., Blanchard, J., Vermande, P., Perrodin, Y., Toxicological effects of disinfections using sodium hypochlorite on aquatic organisms and its contribution to AOX formation in hospital wastewater, *Environment International*, 30, 891-900, 2004.
16. Emmanuel, E., Pierre, M.G., Perrodin, Y., Groundwater contamination by microbiological and chemical substances released from hospital wastewater: Health risk assessment for drinkind water consumers, *Environment International*, 35, 718-726, 2009.
17. Escher, B.I., Baumgartner, R., Koller, M., Treyer, K., Lienert, J., McArdell, C.S., Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from hospital wastewater, *Water Research*, 45, 75-92, 2011.
18. Fu, F., Wang, Q., Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review, *Journal of Environmental Management*, 92, 407-418, 2011.
19. Gautam, A.K., Kumar, S., Sabumon, P.C., Preliminary study of physico-chemical treatment options for hospital wastewater, *Journal of Environmental Management*, 83, 298-306, 2007.

20. Gusbeth, C., Frey, W., Volkmann, H., Schwartz, T., Bluhm, H., Pulsed electric field treatment for bacteria reduction and its impact on hospital wastewater, *Chemosphere*, 75, 228-233, 2009.
21. Gültekin, P., Gür, K., Özcan, S., Eskişehir ilindeki hastane atıksularının karakterizasyonu üzerine bir araştırma, 1.Ulusal Çevre Kongresi, Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, 2004.
22. Gürsoy, N.C., Negatif iyon ve ozon uygulamasının çeşitli bakteriler üzerine etkilerinin incelenmesi, soğutma kulesi ve hastane atıksularının dezenfeksiyonunda kullanımının değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2009.
23. Halling-Sorensen, B., Nielsen, S.N., Landzky, P.F., Ingerslev, F., Holten Luetzhof, H.C., Jorgensen, S.E., Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment- a review, *Chemosphere*, 36, 357-394, 1998.
24. Hasar, H., Batık membran-aktif çamur sistemlerinin arıtma kapasitesinin geliştirilmesi ve modellenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2001.
25. Jackson, J., Sutton, R., Sources of endocrine-disrupting chemicals in urban wastewater, Oakland, CA, *Science of the Total Environment*, 405, 153-160, 2008.
26. Kajitvichyanukul, P., Suntronvipart, N., Evaluation of biodegradability and oxidation degree of hospital wastewater using photo-Fenton process as the pretreatment method, *Journal of Hazardous Materials*, B138, 384-391, 2006.
27. Kaleli, B., Atıksuların ileri arıtımında membran proseslerinin kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2006.
28. Kimura, K., Iwase, T., Kita, S., Watanabe, Y., Influence of residual organic macromolecules produced in biological wastewater treatment processes on removal of pharmaceuticals by NF/RO membranes, *Water Research*, 43, 3751-3758, 2009.
29. Kırılı, L., Çevre Mühendisleri İçin Mikrobiyoloji, s.139-140, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2001.
30. Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H., Bekaroğlu, Ş.Ş., Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri-Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2009.
31. Kosma, C.I., Lambropoulou, D.A., Albanis, T.A., Occurrence and removal of PPCPs in municipal and hospital wastewaters in Greece, *Journal of Hazardous Materials*, 179, 804-817, 2010.
32. Kümmerer, K., Al-Ahmad, A., Biodegradability of the anti-tumour agents 5-fluorouracil, cytarabine and gemcitabine: Impact of the chemical structure and synergistic toxicity with hospital effluent, *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 25, 166-172, 1997.
33. Kümmerer, K., Erbe, T., Gartiser, S., Brinker, L., AOX-emissions from hospitals into municipal wastewater, *Chemosphere*, 36, 2437-2445, 1998.
34. Biodegradability of some antibiotics, elimination of the genotoxicity and affection of wastewater bacteria in a simple test, *Chemosphere*, 40, 701-710, 2000.
35. Kümmerer, K., Drugs in the environment: emissions of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources/a review, *Chemosphere*, 45: 957-969, 2001.
36. Le-Minh, N., Khan, S.J., Derewes, J.E., Stuetz, R.M., Fate of antibiotics during municipal water recycling treatment processes, *Water Research*, 44, 4295-4323, 2010.
37. Liu, Q., Zhou, Y., Chen, L., Zheng, X., Application of MBR for hospital wastewater treatment in China, *Desalination*, 250, 605-608, 2010.
38. Ortega, L.M., Lebrun, R., Blais, J.F., Hausler, R., Removal of metal ions from an acidic leachate solution by nanofiltration membranes, *Desalination*, 227, 204-216, 2008.
39. Pankhania, M., Brindle, K., Stephenson, T., Membrane aeration bioreactors for wastewater treatment completely mixed and plug-flow operation, *Chemical Engineering Journal*, 73, 131-136, 1999.
40. Pauwels, B., Verstraete, W., The treatment of hospital wastewater: an appraisal, *Journal of Water and Health*, 04.4, 405-476, 2006.
41. Sahinkaya, E., Uzal, N., Yetiş, U., Dilek, F.B., Biological treatment and nanofiltration of denim textile wastewater for reuse, *Journal of Hazardous Materials*, 153, 1142-1148, 2008.
42. Sim, W-J., Lee, J-W., Oh, J-E., Occurrence and fate of pharmaceuticals in wastewater treatment plants and rivers in Korea, *Environmental Pollution*, 158, 1938-1947, 2010.
43. Sim, W-J., Lee, J-W., Lee, E.S., Shin, S-K., Hwang, S-R., Oh, J-E., Occurrence and distribution of pharmaceuticals in wastewater from households, livestock farms, hospitals and pharmaceutical manufactures, *Chemosphere*, 82, 179-186, 2011.
44. Suarez, S., Lema, J.M., Omil, F., Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation-flocculation and flotation, *Bioresource Technology*, 100, 2138-2146, 2009.
45. Sun, Y., Gu, P., Determination of haloacetic acids in hospital effluent after chlorination by ion chromatography, *Journal of Environmental Sciences*, 19, 885-891, 2007.
46. Sun, Y., Gu, P., Wang, K., Zhang, F., Effectiveness of MBR in pre-disinfection and AOX removal for hospital wastewater treatment, *Journal of Biotechnology* 136S, 647-677, VII4-P-026, 2008.
47. Tambosi, J.L., Felix de Sena, R., Favier, M., Gebhardt, W., Jose, H.J., Schröder, H.F., Moreira, R.P.M., Removal of pharmaceutical compounds in membrane bioreactors (MBR) applying submerged membranes, *Desalination*, 261, 148-156, 2010.
48. Vergili, İ., Kaya, Y., Gönder, Z.B., Barlas, H., İlaç aktif maddelerinin sucul çevrede bulunuşları, davranışları ve etkileri, Ulusal Su Günleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 284-291, 2005.
49. Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., Barcelo, D., Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options, *Journal of Hydrology*, 389, 416-428, 2010.
50. Wang, Z., Wu, Z., Mai, S., Yang, C., Wang, X., An, Y., Zhou, Z., Research and applications of membrane bioreactors in China: progress and prospect, *Separation and Purification Technology*, 62, 249-263, 2008.
51. Wang, L., Albasi, C., Faucet-Marguis, V., Pfohl-Leskowicz, A., Dorandeu, C., Marion, B., Causserand, C., Cyclophosphamide removal from water by nanofiltration and reverse osmosis membrane, *Water Research*, 43, 4115-4122, 2009.
52. Watkinson, A.J., Murby, E.J., Costanzo, S.D., Removal of antibiotics in conventional and advanced wastewater treatment: implications for environmental discharge and wastewater recycling, *Water Research*, 41, 4164-4176, 2007.
53. Wen, X., Ding, H., Huang, X., Liu, R., Treatment of hospital wastewater using a submerged membrane bioreactor, *Process Biochemistry*, 39, 1427-1431, 2004.
54. Wisniewski, C., Membrane bioreactor for water reuse, *Desalination*, 203, 15-19, 2007.