

**EVSEL ATIKSULARIN
TARIMSAL AMAÇLI GERİ KAZANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Zeliha TALİPOĞLU



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVSEL ATIKSULARIN
TARIMSAL AMAÇLI GERİ KAZANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Zeliha TALİPOĞLU

Doç. Dr. Seval K. A. SOLMAZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2012

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Zeliha TALİPOĞLU tarafından hazırlanan ‘‘Evsel Atıksuların Tarımsal Amaçlı Geri Kazanılabirliğinin Araştırılması’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Seval K. A. SOLMAZ

Başkan : Doç. Dr. Seval K. A. SOLMAZ İmza
U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Seval K. A. SOLMAZ İmza
U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Gökhan E. ÜSTÜN İmza
U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Prof. Dr. Ali Osman DEMİR İmza
Ziraat Fakültesi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN

Enstitü Müdürü

05/11/2012

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

05/11/2012

Zeliha TALİPOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EVSEL ATIKSULARIN TARIMSAL AMAÇLI GERİ KAZANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Zeliha TALİPOĞLU

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Seval K. A. SOLMAZ

Bu tez çalışması ile Bursa ili kentsel atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksuların pilot ölçekli ileri arıtma tesisi yardımıyla tarımsal amaçlı sulama suyu olarak geri kazanılabilirliği araştırılmıştır. Pilot ölçekli ileri arıtma tesisi, hızlı kum filtresi ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşturulmuştur. Hızlı kum filtresi çıkışında özellikle askıda katı madde ve bulanıklık parametrelerinde % 76 ve % 62'lik giderim verimleriyle kayda değer giderimler elde edilmiştir. Kimyasal oksijen ihtiyacı ve biyolojik oksijen ihtiyacı giderim yüzdeleri ise sırasıyla % 32 ve % 55 olarak gerçekleşmiştir. Hızlı kum filtresi ünitesi çıkış suyundaki ağır metal konsantrasyonları ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen sınır değerlerin altında kalmıştır. Dezenfeksiyon ünitesinde sodyum hipoklorit dezenfektan madde olarak tercih edilmiş ve ünite çıkışında fekal koliform miktarı % 99,99 verim ile giderilmiştir. Arıtma maliyetinin de hesaplandığı çalışmada atıksu arıtma maliyeti 0,063 USA Doları/m³ olarak belirlenmiştir. Çalışma neticesinde kentsel atıksuyun tarımsal amaçlı sulama suyu olarak geri kazanılabilirliğinin mümkün olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Dezenfeksiyon, Geri Kazanım, Hızlı Kum Filtresi, Kentsel Atıksu, Tarımsal Amaçlı Sulama Suyu

2012, ix+80 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF MUNICIPAL WASTEWATER RECLAMATION FOR IRRIGATION

Zeliha TALİPOĞLU

Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Seval K. A. SOLMAZ

In this study, the reclamation of wastewater produced from a municipal wastewater treatment plant located at Bursa for agricultural irrigation was investigated by means of a pilot scale advanced treatment plant. The pilot scale advanced treatment plant is composed of rapid sand filter and disinfection units. Rapid sand filter was achieved remarkable removals of suspended solids and turbidity with removal efficiency of 76 % and 62 %, respectively. The percentage removals of chemical oxygen demand and biological oxygen demand by the rapid sand filter were 32 % and 55 %, respectively. The amounts of heavy metals in the rapid sand filter effluent were below the limit values defined in the national and international standards. Sodium hypochlorite was chosen as a disinfectant matter for the disinfection unit. After the disinfection unit, the amount of fecal coliform was removed 99,99 %. Treatment costs of the pilot scale advanced treatment plant was calculated and determined as USA \$0,063/m³. The results of the study appeared that the reclamation of municipal wastewater for agricultural irrigation is possible.

Key words: Agricultural Irrigation, Disinfection, Municipal Wastewater, Rapid Sand Filter, Reclamation

2012, ix+80 pages.

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimimdeki ve tez çalışmalarımındaki değerli katkıları, güler yüzü, sabrı ve anlayışı için danışman hocam Doç. Dr. Seval K. A. SOLMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca göstermiş olduğu destek için değerli hocam Doç. Dr. Gökhan E. ÜSTÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımı gerçekleştirdiğim Doğu Atıksu Arıtma Tesisinde teknik destek ve imkan sağlayan tesis İşletme Sorumlusu Nurcan AYDOĞAN'a ve Çevre Mühendisi Sinem ZENGİNAY'a,

Ağır metal analizlerinde yardımcı olan ve manevi desteklerini esirgemeyen Kimyager Nihat MERİÇ ve Yalçın BALTAÇI'ya, laboratuvar çalışmalarımında yardımcı olan Laboratuvar Şefi Gülten K. DEDEOĞLU'ya ve laborantlar Şeyma PEKER, Semra KURT ve Emine YILMAZ'a,

Arazi çalışmalarım boyunca pilot ölçekli sistemde ortaya çıkan aksaklıkların giderilmesinde yardımcı olan Mustafa BEKTAŞ ve İlimhan İSKENDER'e ve Engin KARATAŞ'a, tesiste çalışmalarım boyunca manevi desteğini aldığım İpek ÖZTÜRK ve Halime DOĞU'ya,

Tez çalışmam boyunca manevi desteğiyle her zaman yanımda ve yardımcı olan değerli arkadaşlarım Çevre Yüksek Mühendisleri İbrahim ATAŞ'a ve Mecit YILDIZ'a, Makine Mühendisi Ercan Şarлак'a, sevgili arkadaşlarıma,

Tez yazımındaki yardımlarından dolayı hocam Araş. Gör. Aşkın BİRGÜL'e,

Hayatımın her adımında beni her konuda destekleyen ve her zaman yanımda olan babam Sadettin TALİPOĞLU'ya, annem Ayten TALİPOĞLU'ya ve kardeşim Sadettin Durmuş TALİPOĞLU'ya sonsuz teşekkürler...

Zeliha TALİPOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Atıksu Geri Kazanımı ve Tekrar Kullanımı.....	4
2.2. Kentsel Atıksuyun Tarımsal Amaçlı Sulama Suyu Olarak Tekrar Kullanımı.....	5
2.2.1. Tuzluluk.....	7
2.2.2. Spesifik iyon toksisitesi.....	8
2.2.3. Toprak permeabilitesi.....	9
2.2.4. Nutrientler.....	10
2.2.5. Mikrobiyolojik içerik.....	11
2.2.6. Ağır metaller.....	12
2.2.7. Kalıntı klor.....	14
2.3. Türkiye’de Atıksuların Sulamada Tekrar Kullanılmasında Gerekli Olan Su Kalite Kriterleri.....	14
2.4. Klasik ve İleri Atıksu Arıtımı.....	19
2.5. Filtrasyon ve Uygulama Alanları.....	21
2.5.1. Filtrasyon ve partikül dağılımı.....	21
2.5.2. Klasik filtrasyon teorisi.....	24
2.5.3. Filtrelerin sınıflandırılması.....	24
2.5.4. Filtrasyon mekanizmaları.....	28
2.5.5. Filtrelerin geri yıkanması ve temizlenmesi.....	32
2.5.6. Filtrasyon uygulaması ve kolon testleri.....	33
2.6. Kentsel Atıksuyun Tarımsal Amaçlı Sulama Suyu Olarak Geri Kazanımında Hızlı Kum Filtresi ve Uygulama Alanları.....	35
2.6.1. Hızlı kum filtreleri ile yürütülmüş çalışmalar ve elde edilen sonuçlar.....	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. Materyal.....	39
3.1.1. Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi ve atıksuyun karakterizasyonu.....	39
3.1.2. Pilot ölçekli ileri arıtma tesisinin karakteristikleri.....	46
3.1.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler ve cihazlar.....	50
3.2. Yöntem.....	51
3.2.1. Analitik ölçüm yöntemleri.....	51
3.2.2. Dezenfeksiyon deneysel çalışmaları.....	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	55
4.1. Hızlı Kum Filtresinin Verimi.....	58
4.2. Dezenfeksiyon Ünitesinin Verimi.....	62
4.3. Arıtma Maliyeti.....	67

5. SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR	72
EKLER	78
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Al	Alüminyum
As	Arsenik
B	Bor
Be	Berilyum
Ca ⁺²	Kalsiyum
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
Cd	Kadmiyum
Cr	Krom
Cu	Bakır
CO ₂	Karbondioksit
Cl ⁻	Klorür
CO ₃ ⁻²	Karbonat
F ⁻¹	Florür
Fe	Demir
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
K ⁺¹	Potasyum
Li	Lityum
Mg ⁺²	Magnezyum
Mn	Manganez
N	Azot
Na ⁺	Sodyum
NaOCl	Sodyum hipoklorit
NH ₃	Amonyak
NH ₄ ⁺	Amonyum
NO ₂ ⁻	Nitrit
NO ₃ ⁻	Nitrat
Ni	Nikel
P	Fosfor
Pb	Kurşun
PO ₄ ⁻²	Fosfat
S	Kükürt
Se	Selenyum
SO ₄ ⁻²	Sülfat
V	Vanadyum
Zn	Çinko

Kısaltmalar	Açıklama
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	Askıda Katı Madde
BDAAT	Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
EC _w	Elektriksel İletkenlik
EMS	En Muhtemel Sayı
FC	Fekal Coliform
HKF	Hızlı Kum Filtresi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
PAA	Perasetik Asit
pH	Hidrojen İyonu Aktivitesi
PÖİAT	Pilot Ölçekli İleri Arıtma Tesisi
SAR	Sodyum Adsorpsiyon Oranı
SS	Sulama Suyu
TASS	Tarımsal Amaçlı Sulama Suyu
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde
TKM	Toplam Katı Madde
TN	Toplam Azot
TP	Toplam Fosfor
USEPA	United States Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Filtrasyon dağılımı	22
Şekil 2.2. Yer çekimi etkisi ile hareket eden HKF'nin açık şekli	27
Şekil 2.3. Su arıtımında filtrelerin genel uygulamaları	27
Şekil 2.4. Atalet etkisi ya da çöktürme	29
Şekil 2.5. Süzülme	30
Şekil 2.6. Difüzyon ya da adhezyon.....	30
Şekil 2.7. Kesişme	31
Şekil 3.1. BDAAT'nin genel görünümü	39
Şekil 3.2. BDAAT'nin proses akım şeması	40
Şekil 3.3. 1.kademe burgulu pompalar.....	41
Şekil 3.4. İnce ızgaralar.....	41
Şekil 3.5. Kum tutucular	41
Şekil 3.6. Debi ölçüm ünitesi (Parshall Savağı).....	41
Şekil 3.7. Selektör ve anaerobik biofosfor tankları.....	42
Şekil 3.8. Havalandırma tankları.....	42
Şekil 3.9. Son çöktürme tankları	43
Şekil 3.10. Arıtılmış su yapısı	44
Şekil 3.11. Arıtılmış suyun deşarjı	44
Şekil 3.12. Çamur ızgaraları.....	45
Şekil 3.13. Çamur susuzlaştırma ünitesi	45
Şekil 3.14. PÖİAT'nin akış şeması	48
Şekil 3.15. HKF'nin kum tabakalarının ayırımının gösterimi	49
Şekil 3.16. HKF içerisinde suyun akışı.....	50
Şekil 3.17. BOI Track II cihazı.....	52
Şekil 3.18. Dezenfektan optimizasyon çalışmalarında kullanılan jar test düzeneği	54
Şekil 4.1. PÖİAT'nin üniteleri tarafından elde edilen giderim verimlerinin akış diyagramı üzerinde gösterilmesi.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Genel SS kalitesi problemlerinin değerlendirilmesi için gereksinim duyulan laboratuvar tayinleri	6
Çizelge 2.2. Değişik bitkilerin SS’de bulunan sodyuma toleransı.....	9
Çizelge 2.3. SS’lerde izin verilebilen ağır metallerin ve toksik elementlerin maksimum konsantrasyonları.....	13
Çizelge 2.4. SS’nin kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi.....	15
Çizelge 2.5. Bitkilerin tuzluluğa olan toleransı.....	17
Çizelge 2.6. Atıksu arıtma seviyesi.....	20
Çizelge 2.7. Değişik arıtma üniteleri için çıkış suyu kaliteleri	20
Çizelge 2.8. Partiküllerin sınıflandırılması	23
Çizelge 2.9. Filtrelerin sınıflandırılması	25
Çizelge 2.10. HKF’leri ile yavaş kum filtreleri arasındaki farklar	26
Çizelge 2.11. Çeşitli filtre faktörlerinin filtre çalışma süresine dayanan etkilerinin özeti.....	35
Çizelge 3.1. Alıcı ortam deşarj standartları.....	43
Çizelge 3.2. BDAAT’nin 2007-2011 ortalama giriş ve çıkış değerleri	45
Çizelge 3.3. BDAAT’nin 2011 yılı işletme özet bilgilerinin aylık ortalama değerleri.....	46
Çizelge 4.1. Pilot ölçekli çalışma boyunca belirlenen BDAAT çıkış suyunun karakterizasyonu	56
Çizelge 4.2. BDAAT çıkış suyunun karakterizasyonu ile Sınıf A SS kriterlerinin karşılaştırılması	57
Çizelge 4.3. İkincil çıkış suyunun ve HKF’den sonra arıtılmış çıkış suyunun karakterizasyonu	59
Çizelge 4.4. PAA ve NaOCl farklı dozlarıyla HKF’nin çıkış sularının dezenfeksiyonu sonucunda elde edilen FC için giderim verimlilikleri.....	62
Çizelge 4.5. Farklı NaOCl dozlarına bağlı olarak serbest klor konsantrasyonları.....	63
Çizelge 4.6. Her bir arıtma adımından sonra elde edilen giderim verimleri ve dezenfeksiyon ünitesi suyunun karakterizasyonunun geçerli TASS yönetmelikleriyle karşılaştırılması	64
Çizelge 4.7. PÖİAT’nin işletme maliyetleri	68

1. GİRİŞ

Türkiye’de toplam su tüketiminin % 75’i tarım sektörü tarafından tüketilmektedir. Türkiye’de henüz ciddi anlamda su sıkıntısı yaşanmadığından dolayı arıtılmış atıksuyun tarımsal amaçlı sulama suyu (TASS) olarak tekrar kullanımı günümüze kadar bilinçli olarak ele alınamamıştır. Oysa, yakın gelecekte atıksuyun tekrar kullanımının Türkiye’deki en önemli çalışma konularından biri olacağı tahmin edilmektedir (Alaton ve ark. 2007).

Uluslararası ölçekte konu irdelendiğinde; Kaliforniya Hükümeti’nin suyun geri kazanımı ve tekrar kullanımının geliştirilmesi için girişimlere öncülük ettiği görülmektedir. Bu anlamda, ilk tekrar kullanım düzenlemeleri 1918’de yayımlanmıştır (Asano ve Levine 1996). Yıllık olarak Kaliforniyalılar kentsel atıksuyun 656 milyon metre küpünü tekrar kullanmaktadır. Avrupa’da, kentsel atıksuyun arıtımı 91/271/EEC direktifi tarafından yönetilmekte olup, özellikle ön arıtma seviyesi atıksuyun sulama sistemlerinin planlanmasında, dizayn edilmesinde ve yönetiminde önemli bir faktördür (Anonim 1991, Pedrero ve ark. 2010).

Sulama, kurak ve yarı-kurak bölgelerde zorunludur. Ayrıca, sulama suyu (SS) bu bölgelerde tarımsal üretimin devamlılığı için önemli bir gereksinim olduğundan, arıtılmış kentsel atıksuyun TASS olarak geri kazanımının ve tekrar kullanımının fayda sağlayan bir uygulama olduğu düşünülmektedir. Bu durum farklı nedenlerden kaynaklanmaktadır: (a) Arıtılmış kentsel atıksuyun tarımsal sulama gibi çeşitli amaçlar için tekrar kullanımı doğal su kaynaklarından çekilmesi gereken suyun miktarını azaltacaktır ve su kıtlığına çözüm getirebilecektir. (b) Atıksuyun büyük miktarları bertaraf edilebilecektir ve atıksuyun alıcı ortama deşarjı azaltılacaktır. (c) Yüksek kaliteli su içme suyu amaçlı kullanıma tahsis edilebilecektir. (d) Atıksuyun nütrient içeriğiyle bağlantılı tekrar kullanımında ekonomik yandan fayda temin edilebilecektir (Oron ve ark. 1995).

Kurak ve yarı kurak bölgelerde, kentsel atıksu arıtma tesislerinin arıtılmış çıkış suları su üretimi için güvenilir su kaynaklarını oluşturmaktadır. Kentsel atıksular genellikle ön

çöktürme, biyolojik ayrışma ve son çöktürmeyi kapsayan arıtma tesisleri ile arıtılmaktadır. Elde edilen çıkış suları iyi kaliteye sahiptir ve pişirilmeden yenilebilen tarım ürünleri ve sebzeler hariç çeşitli tarım ürünlerinin sulanması için kullanılabilir. Sulamaya engel teşkil edebilecek en önemli risk faktörü patojenik mikroorganizmaların potansiyel varlığıdır (Blumenthal ve ark. 2000).

Çeşitli ileri atıksu arıtma teknolojileri, atıksu geri kazanımı ve tekrar kullanımı uygulamalarında yeterli kalitede çıkış sularının elde edilmesine yönelik çözümler getirmiştir. Özellikle üçüncül arıtma sistemleri olarak tanımlanan ve kum filtreleri, iyon değiştirme, membran filtrasyonu ve dezenfeksiyon gibi ünitelerden oluşan ileri atıksu arıtma teknolojileri yüksek kaliteli çıkış suyu elde edilmesi amacıyla geliştirilirken, tekrar kullanılacak suyun kalitesi ile ilgili standartlar da gittikçe katılaştırılmaktadır (Akcal Solmaz ve ark. 2007a, 2007b, Gomez ve ark. 2007). Arıtma derecesi, temel olarak geri kazanılan suyun gereksinim duyulan kullanım alanı tarafından belirlenmektedir (Bouwer ve ark. 1996, Asano ve ark. 1996). Bu bağlamda, aktif çamur çıkış sularının ileri arıtımı için kullanılan en genel prosesler; klor ya da ozon kullanılarak dezenfeksiyonu takip eden filtrasyon (derinlik, yüzey ya da membran filtrasyonu), adsorpsiyon, ters osmoz ve iyon değiştirme yöntemleridir (Hamoda ve ark. 2004, Tchobanoglous 2003). Bugüne kadar klorlama sudaki ve atıksudaki patojenik mikroorganizmaların giderilmesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve toplumda su kaynaklı salgın hastalıkların meydana gelmesini engellemek için temel yöntem olarak tanımlanmıştır. Buna rağmen, birkaç çalışmada bulanıklık, askıda katı madde (AKM) ve amonyak (NH_3) ve nitrit (NO_2^-) gibi azot (N) bileşiklerinin varlığının prosesin etkinliğini azalttığı yer almaktadır (Lazarova ve ark. 1999, Hamoda ve ark. 2004). Filtrasyon prosesleri genel olarak karbon adsorpsiyonu, ultrafiltrasyon ve dezenfeksiyon gibi ileri arıtma adımlarının etkinliğini geliştirerek, ikincil arıtılmış çıkış sularından kalıntı partikül maddenin giderimi amacıyla uygulanmaktadır. Ayrıca filtrasyon, aktif çamur ünitesinin performansı ve ikincil çıkış suyunun kalitesinin salınımları tarafından etkilenmeyen stabil kaliteye sahip çıkış suyunun üretimi için tamamlayıcı bir arıtma adımı olarak kabul edilmektedir (Hamoda ve ark. 2004).

Bu tez çalışması kapsamında, hızlı kum filtresi (HKF) ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşan pilot ölçekli ileri arıtma tesisi (PÖİAT) kullanılarak kentsel atıksuyun TASS olarak geri kazanılabilirliği araştırılmıştır. Arıtma etkinliği, bulanıklık, AKM, organik madde, fekal koliform (FC) ve ağır metallerin giderimi üzerinden belirlenmiş ve PÖİAT çıkış suyunun kalitesi tarımsal SS kriterleriyle karşılaştırılarak gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Atıksu Geri Kazanımı ve Tekrar Kullanımı

Atıksuyun tekrar kullanımı ile özellikle kurak ve yarı kurak iklim şartlarına sahip bölgelerde mevcut su kaynaklarına ilave yeni bir su kaynağı elde edilmektedir. Dünyada alternatif su kaynaklarının sınırlı olduğu ülkelerden İsrail, Güney Afrika ve ABD'nin kurak bölgelerinde bu anlamda kapsamlı pek çok proje üretilmektedir. Yağışın yeterli olduğu bölgelerde bile mekansal olarak ve sıcaklık değişimlerinden dolayı su sıkıntıları ortaya çıkabilmektedir. Aynı zamanda, su temini ya da atıksu bertarafı ile bağlantılı maliyetler, atıksuyun tekrar kullanımını cazip hale getirmektedir. Öyle ki, Japonya'da atıksu ve su arıtma maliyetlerini ve su temini ve atıksu dağıtım sistemleri maliyetlerini azaltan tekrar kullanıma yönelik projeler yapılmaktadır (Vigneswaran ve ark. 2004).

Atıksuyun geri kazanımının ve tekrar kullanımının teşvik edilmesini sağlayan önemli faktörler aşağıda sıralanmaktadır:

- Günümüzde su kaynaklarının sınırlı olmasından dolayı, atıksuyun geri kazanımı ve tekrar kullanımı ile yeni su kaynaklarının oluşturulması,
- Doğal alıcı ortamlardan suyun aşırı tüketilmesinin engellenmesi,
- Su kaynaklarının doğru bir şekilde kullanımını teşvik etmesi,
- Arıtma ve deşarj maliyetlerini kapsayan altyapı maliyetlerinin minimize edilmesi,
- Atıksuyun (arıtılmış ya da arıtılmamış) alıcı ortama deşarjlarının azaltılması ve elimine edilmesi,
- Politik, toplumsal ve kurumsal kısıtlamaların üstesinden gelinebilmesine olanak sağlanmasıdır.

Tekrar kullanım alanındaki çalışmalar, su kaynaklarının doğru bir şekilde kullanımıyla ilgilidir. Örneğin, su seviyesi yeterli olmayan akiferlere arıtılmış atıksuyun beslenmesi ile akiferin yeniden doldurulması sağlanarak kıyı bölgelerde tuzlu suyun girişimi engellenebilmektedir (Vigneswaran ve ark. 2004).

Arıtılmış ya da arıtılmamış tonlarca atıksuyun alıcı ortama deşarjından dolayı ortaya çıkan çevresel problemlerden kaçınılması tekrar kullanımı teşvik eden bir başka faktördür. Atıksu, özellikle sulama amacıyla tekrar kullanıldığında atıksuda bulunan nütrientler bitki büyümesine yardımcı olmaktadır. (Vigneswaran ve ark. 2004).

2.2. Kentsel Atıksuyun Tarımsal Amaçlı Sulama Suyu Olarak Tekrar Kullanımı

Nehirlerden çekilen ve yer altından pompalanan suyu içeren dünya su kullanımının yaklaşık olarak yüzde 70'i tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Bu bağlamda, TASS olarak arıtılmış kentsel atıksuyun tekrar kullanımı doğal su kaynaklarından çekilmesi gereken su miktarının azaltılmasını sağlayabilmektedir (Pedrero ve ark. 2010).

Yeterli ölçüde arıtılmadığı ve güvenli bir şekilde uygulanmadığı takdirde sulama amacıyla atıksu çıkış suyunun su kaynaklarının yerine kullanılmasının kabul edilmemesinin sebebi olan sağlık ve çevresel bakış açısı öncelik gerektiren konulardır (Salgot ve ark. 2003, Gerba ve ark. 2003). Tarımsal alanda suyun tekrar kullanımını kapsayan hedefleri, çiftçiler için yüksek kaliteli suyun uygun bir şekilde teminin sağlanması ve gıda güvenliğinin garanti edilmesidir. Sonuç olarak, gelişmiş ülkelerde kamu kuruluşları tarafından genellikle sağlık riskleri ele alınarak ve bu gibi hedeflere ulaşmak amacıyla atıksuyun arıtımı gerekli gösterilerek, su kalite gereksinimleri belirlenmektedir (Dobrowolski ve ark. 2008).

Arıtılmış atıksuyun su kalitesi, kentsel atıksuyun kalitesine, kullanımı boyunca eklenen atıkların yapısına ve atıksuyun arıtılma seviyesine dayanmaktadır. Rutin olarak ölçülen ve atıksu arıtma tesisinde rapor edilen atıksuyun kalite verileri; su kirliliğinin kontrolüyle bağlantılı olan biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve AKM gibi kirlilik parametreleri açısından arıtılmış çıkış suyunun bertarafı ya da deşarj gereksinimleri için elde edilmektedir. Aynı zamanda, tarımsal alanda ve peyzaj sulamada su karakteristiğinin önemli bileşenleri; bitki büyümesini ya da toprak permeabilitesini etkileyen spesifik kimyasal maddeler ve bileşenlerdir. Bu gibi karakteristiklerin tümü deşarj standartlarında yer almadığından dolayı devlet

kurumlarının rutin su kalite izleme programının bir kısmı olarak atıksu arıtma birimleri tarafından ölçülmemektedir ya da rapor edilmemektedir (Pedrero ve ark. 2010).

Arıtılmış atıksu kullanılarak sulama işlemi yapılması durumunda, genellikle tarımsal ve peyzaj sulama için suyun uygunluğunun belirlenebilmesi için atıksudan numune alınması ve atıksuyun analiz edilmesi gereklidir (Pettygrove ve ark. 1985). Tarımsal sulama amacıyla su kalitesinin değerlendirilmesi için gereksinim duyulan laboratuvar tayinlerinin bir listesi Çizelge 2.1’de verilmektedir. Çizelge 2.1’de verilen bilgiler, arıtılmış kentsel atıksuyuyla sulama yapılmasına dayanan ve hala geçerli olan Ayers ve Westcot (1985, 1989) tarafından yazılmış raporlardan elde edilmiştir (Pedrero ve ark. 2010).

Çizelge 2.1. Genel SS kalitesi problemlerinin değerlendirilmesi için gereksinim duyulan laboratuvar tayinleri (Pedrero ve ark. 2010)

Parametre	Sembol	Birim
Tuzluluk		
Elektriksel iletkenlik	EC _w	dS/m
Toplam çözülmüş madde	TÇM	mg/L
Katyonlar ve anyonlar		
Kalsiyum	Ca ⁺²	mg/L
Magnezyum	Mg ⁺²	mg/L
Sodyum	Na ⁺	mg/L
Karbonat	CO ₃ ⁻²	mg/L
Bikarbonat	HCO ₃ ⁻	mg/L
Klorür	Cl ⁻	mg/L
Sülfat	SO ₄ ⁻²	mg/L
Çeşitli parametreler		
Bor	B	mg/L
Hidrojen iyonu aktivitesi	pH	birimsiz
Sodyum adsorpsiyon oranı	SAR	birimsiz

Kentsel atıksuyun TASS olarak tekrar kullanımında yönetmeliklerce (Anonim 2010, Anonim 2004) dikkate alınan ve TASS kalitesini ortaya koyan kalite parametreleri bu tez çalışması kapsamında araştırılmıştır.

2.2.1. Tuzluluk

Tarihsel olarak SS'nin kalitesi, su kaynaklarında bulunan tuzun miktarı ve türü tarafından belirlenmektedir. Tuzluluk, suyun elektriksel iletkenliğinin (EC_w) veya suda bulunan toplam çözünmüş maddelerin (TÇM) ölçümüyle ifade edilmektedir. Geri kazanılan sudaki tuzluluk, hem toprağı hem de tarım ürünlerinin gelişimini etkilemektedir. USEPA (2004)'da kayıtlı olan veriler, sulanan çiftliklerin % 23'ünün tuzluluk nedeniyle zarar gördüğünü göstermektedir (Anonim 2004).

Sodyum (Na⁺) formundaki tuzluluk, toprağın fiziksel karakteristiklerinin değişimine neden olur. Pozitif yüklü bir iyon olan Na⁺, negatif yüklü kil tabakasıyla reaksiyona girerek toprakta şişme ve dispersiyon olaylarına neden olur (Halliwell ve ark. 2001).

Tuzluluğun toprak üzerindeki en önemli etkisi, hidrolik iletkenliği azaltmasıdır. Bu durumda su topraktan süzülüp, bitkilere kolaylıkla ulaşamaz. Hidrolik iletkenliğin azalmasına, kil tabakasındaki olaylar yol açmaktadır. Ayrıca AKM'ler, aşırı mikrobiyal büyüme ve çözünmüş organik maddelerin toprak yapısı ile etkileşime girmesi de hidrolik iletkenliğin azalmasına yol açabilmektedir (Tarchitzky ve ark. 1999). İyi drenajlı topraklarda, tıkanma durumu gerçekleşmese bile tuzun akiferlere ulaşabilme ihtimali vardır (Bond 1998).

Tekrar kullanılan atıksuyun kalitesi, toprağın karakteristiğı ve yeraltı suyunun kalitesi üzerine etki eden önemli bir faktördür. Geri kazanılan atıksularda Na⁺ ile ilgili dikkat edilmesi gereken etmenlerden biri de sulanan ürünler üzerindeki etkileridir. Şeker pancarı gibi ürünlerin topraktaki tuzluluğa karşı toleranslı olduğu gözlenmiştir. Fasulye gibi ürünler ise tuzluluğa karşı daha hassas olup, artan tuzlulukla ürün verimliliğı de azalmaktadır. Geri kazanım amaçlı kullanılan sularda örneğın evsel atıksularda EC_w genellikle 1000 µs/cm'den azdır. Bu durumda, suyun tuzluluğı ürün verimliliğı açısından problem yaratmamaktadır (Anonim 2004).

Tarım ürünlerinin tuzluluk şartlarını tolere etme kabiliyeti oldukça değişiklik göstermesine rağmen, genel olarak tuzluluk, sulama amacıyla kullanılan arıtılmış

atıksuyunda bulunan tuz miktarından dolayı belirli toprak, su ve tarım ürünleri problemleri ihtimalini arttırmaktadır (Maas ve ark. 1999). Kök bölgesi içerisinde suyun ve tuzun aşağı doğru akışının net bir şekilde belirlenebilmesi tuzluluk probleminin giderilmesi için pratik bir yoldur (Rhoades 1999).

İyi drenaj, kök bölgesi aşağısında suyun ve tuzun devamlı taşınımının müsaade edilebilmesi açısından önemlidir. Genellikle, sulama amacıyla geri kazanılmış atıksuyun uzun vadeli kullanımı, uygun drenaj olmaksızın mümkün değildir. Drenaj suyunun tuzluluğunun tarım ürünleri için gerekli limit seviyeleri aştığı durumlarda su temiz suyla karıştırılabilmektedir. Sulamadan önce ya da sulama boyunca yapılabilen karıştırma çiftçiler için ulaşılabilir su hacminin artırılmasını sağlamaktadır (Rhoades 1999, Oster ve ark. 2002).

2.2.2. Spesifik iyon toksisitesi

Spesifik iyon, bitkiler tarafından alındığında zarara ya da azalmış mahsule sebep olacak miktarlarda bitkilerde biriktiğinden toksisite meydana gelmektedir. Arıtılmış atıksuda bulunan spesifik iyon toksisitesi ile bağlantılı iyonlar; bor (B), klorür (Cl⁻) ve sodyumdur. Borun kaynağı, genellikle evde kullanılan deterjanlar ya da endüstriyel tesislerden yapılan deşarjlardır. Aynı zamanda, Cl⁻ ve Na⁺ özellikle su yumuşatıcıların kullanıldığı yerde evsel kullanımlar boyunca artmaktadır. Hassas tarım ürünleri için, tarım ürününü ya da su kaynağını değiştirmeksizin spesifik iyon toksisitesinin iyileştirilmesi zordur. Problem, genellikle sıcak iklim şartlarında daha da ciddi hale gelebilmektedir (Westcot ve ark. 1985).

Na⁺ toksisitesi, yapraklara olan zararı, avokado ve bazı meyve ağaçlarında (kayısı, kiraz, şeftali) gözlenmiştir. Değişik bitkilerin SS'de bulunan sodyuma toleransı Çizelge 2.2'de verilmiştir. Cl⁻ de bitkilere benzer şekilde zarar vermektedir. Klorürün etkisi daha çok kavak gibi ağaçlarda olmaktadır. Sebze ve tarla bitkileri, SAR (sodyum adsorpsiyon oranı) değeri çok yüksek değilse, Na⁺ ve klorürden etkilenmemektedir (Anonim 2010). B, bitkilerin gelişmesi için gerekli elementlerden biri olmasına rağmen, bitkilerin dayanabileceği miktar aşıldığında bitkilere zararlı etki yapmaktadır. Bu miktar, bitki

türlerine göre değişiklik göstermektedir. Genellikle borun 0,5-0,7 mg/L değerlerinde normal gelişme gösteren bitkiler 1 mg/L'den itibaren zarar görmektedir (Yazgan 2008). Borun bitkilere olan zararı, bitki yapraklarında sararma, yanma ve yarıma, olgunlaşmamış yapraklarda dökülme ve büyüme hızının yavaşlaması ile verimde azalma şeklinde olabilmektedir (Anonim 2010).

Çizelge 2.2. Değişik bitkilerin SS'de bulunan sodyuma toleransı (Anonim 2010)

Tolerans	SAR değeri	Bitki	Durum
Çok hassas	2-8	Yaprak döken meyve ağaçları, turunçgiller, avokado	Yaprakta yanma
Hassas	8-18	Fasulyeler	Büyümenin engellenmesi, bodur kalma
Orta toleranslı	18-46	Yonca, yulaf, pirinç	Nütrient ve toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma
Toleranslı	46-102	Buğday, kaba yonca, arpa, domates, şeker pancarı, değişik çimen türleri	Zayıf toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma

2.2.3. Toprak permeabilitesi

Bitki üzerindeki etkilerinin yanında SS'deki Na⁺, toprak yapısını etkileyebilmektedir. Ayrıca, suyun toprak içerisindeki hareket hızını ve toprağın havalanmasını azaltabilmektedir. İnfiltrasyon hızı büyük oranda azalırsa, sağlıklı büyüme için tarım ürünlerine ya da peyzaj bitkisine yeterli suyun temin edilmesi imkansız hale gelebilmektedir. Permeabilite problemi, genellikle SS'deki oldukça yüksek Na⁺ ya da çok düşük Ca⁺² (kalsiyum) miktarıyla bağlantılı olmaktadır (Westcot ve Ayers 1985). SAR ve EC_w, potansiyel permeabilite probleminin değerlendirilmesi için birlikte kullanılabilir. Bazı durumlarda, arıtılmış atıksuların Na⁺ miktarı oldukça yüksektir ve bununla bağlantılı olarak sonuçlanan yüksek SAR atıksu tekrar kullanım projelerinin planlanmasında önemli bir husustur. Özellikle sodyumlu suyla sulama yapıldığında toprak yapısının bozulmasının engellenmesi için zamanla kimyasal ya da biyolojik iyileştirmelere gereksinim duyulmaktadır. Örneğin, saf haldeki kalsiyum karbonatın (CaCO₃) büyük miktarlarını içeren kalkerli topraklarda, karbondioksitin

(CO₂) seviyelerini arttıran asit formları eklenerek ve bitki köklerinin hareketleri tarafından kök bölgesinde CaCO₃ 'ün çözülmesi sağlanmaktadır. Sonuç olarak, oluşan çözülebilir Ca⁺² sodyumun etkilerini dengelemektedir (Qadir ve ark. 2005).

2.2.4. Nütrientler

Atıksularda yaygın olarak bulunan kirletici türlerinden biri de organik ve inorganik nütrientlerdir. En yaygın organik nütrient, çözülmüş organik karbondur. Geri kazanılmış atıksularda çözülmüş organik karbon varlığının toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini arttırdığı tespit edilmiştir (Dendooven ve ark. 2002).

Tarım ürünlerinin gereksinim duyduğu en önemli nütrientler; N, fosfor (P), potasyum (K⁺), çinko (Zn), kükürt (S) ve bordur. Geri kazanılan atıksu genellikle tarım ürünlerinin gereksinim duyduğu bu nütrientleri temin edebilmektedir. Bu nütrientlerin arasında en faydalı olanı azottur. SS'de ihtiyaç duyulan N formu ve konsantrasyonu mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü, azotun büyük miktarları pek çok tarım ürünlerinde vejetatif büyümeyi sağlarken, aynı zamanda tarım ürünlerinin olgunlaşmasını geciktirmekte ve tarım ürünlerinin kalitesinin ve miktarının azalmasına neden olmaktadır. Geri kazanılan atıksu içerisindeki N miktarı, tarım ürünlerinin ihtiyaç duyduğu konsantrasyonları karşılamakta yeterli olmayabilmekte ve gübre kullanımını gerektirebilmektedir. Ayrıca, otlak alanlarda nitratın (NO₃⁻) aşırı miktarları ota beslenen hayvanlarda N, K⁺ ve Mg⁺² dengesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Geri kazanılan atıksu içerisindeki K⁺ miktarı da tarım ürünleri üzerinde çok az etki yaratmaktadır. Diğer bir deyişle, geri kazanılan atıksu içerisinde çok düşük konsantrasyonlarda bulunan K⁺ tarım ürünlerinin gereksinimini karşılayabilecek yeterliliğe sahip değildir. Aynı zamanda, toprakta yüksek miktarlarda da bulunabilmektedir. Bu durumda, eklenen P miktarının azaltılması gerekir. Fosforun yüksek konsantrasyonları tarım ürünlerinde problemlere sebep olmamaktadır. Fakat, P akışla yüzeysel su kaynaklarına ulaşarak ciddi problemlere neden olabilmektedir (Anonim 2004).

N ve P oranı yüksek organik ve inorganik bileşikler içeren arıtılmış atıksuların toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini hızlandırdığı ancak toprağın hidrolik iletkenliğini düşürdüğü belirlenmiştir. Seyreltilmiş evsel atıksuları ile sulanmış pirinçlerin yeraltı suyu ile sulanmış olanlardan daha çok ürün verdiği gözlenmiştir. Aynı çalışmada atıksuda bulunan nütrientlerin gübre olarak katkı sağlamalarının yanı sıra aşırı mikrobiyal büyümeye yol açabileceği de belirtilmiştir. Dolayısıyla, geri kazanılmış atıksuların tarımsal amaçlı kullanımında toprağın gözenekleri üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek için nütrient miktarlarına mutlaka dikkat edilmelidir. Bu bağlamda, geri kazanılmış atıksuların nütrient miktarları periyodik olarak izlenmelidir (Pedrero ve ark. 2010).

2.2.5. Mikrobiyolojik içerik

Atıksular genellikle tuzlar, metaller, kalıntı ilaçlar, organik bileşikler ve kişisel bakım ürünlerinin aktif kalıntıları olmak üzere kirleticilerin çeşitliliğinden oluşmaktadır (Qadir ve ark. 2007). Bu gibi bileşiklerin her biri insan sağlığına ve alıcı ortama zarar verebilmektedir. Evsel atıksular, bakteri ve virüsler açısından zengin olmasından dolayı son derece önem taşımaktadır. Aynı zamanda, patojenlerin bulunma ihtimalinden dolayı endüstriyel atıksular en azından bir kez analiz edilmelidir (Feachem ve ark. 1983). Kentsel atıksuların TASS olarak tekrar kullanımı durumunda atıksuda bulunan patojenik mikroorganizmaların giderilmesi son derece önem taşımaktadır. Bu amaçla, özellikle klorlama ve ozonlama gibi dezenfeksiyon metotlarının gerekliliği vurgulanmaktadır (Kretschmer ve ark. 2002).

Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) uzman heyeti 1971'de ilk kez atık suyun tekrar kullanımının sağlık etkilerini incelemiştir. SS için mikrobiyal su kalitesi belirlenmiştir (Anonim 1973). SS'nin epidemiyolojik çalışmalarının bulgularına dayanılarak, FC için mikrobiyolojik kalite kriteri 100 mL'de 1000 FC olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bağırsak nematotları için litrede 1 bağırsak nematot yumurtadan daha az olarak önerilmiştir (Anonim 1989). 1960'lı yıllardan beri mevzuat baskıları ve yaşanan su sıkıntıları nedeniyle hızlandırılan araştırma çalışmaları, sağlık risklerine dikkat edilmesini ve arıtma sistemleri dizaynına önem verilmesini sağlamıştır (Asano ve ark. 1996).

2.2.6. Ağır metaller

Özgül ağırlıkları 5 g/cm^3 ve bu değerin üzerinde olan kadmiyum (Cd), bakır (Cu), molibden (Mo), nikel (Ni) ve Zn gibi elementler ağır metal olarak ifade edilmektedir. Ni ve çinkonun düşük konsantrasyonlarda bulunması bile bitkilere ciddi zararlara sebep olabilmektedir. Ni ve çinkonun toksisitesi, pH arttıkça azalmaktadır. Cd, Cu ve molibdenin çok düşük konsantrasyonları bile bitkilere ve hayvanlara zararlı etki yapabilmektedir (Anonim 2004).

Ağır metallerin asıl kaynakları; motorlu araçlar, zirai gübreler ve böcek ilaçları, organik gübreler, evsel ve endüstriyel atıklar, metal endüstrileri ve madenlerdir (Abdelrahman ve ark. 1994). Ağır metaller, bitkilerde birikime neden olmaktadır. Ayrıca, besin zinciri yoluyla insanlar ve hayvanlara ulaşarak ciddi sağlık problemlerine yol açabilmektedir. Ağır metaller, yaygın arıtma metotlarıyla etkili bir şekilde giderilmektedir. Kanalizasyon çıkış sularında çok az miktarlarda bulunduğundan, geri kazanılan suyun evsel niteliğe sahip olması durumunda çok fazla problem oluşturmamaktadır. Ancak, evsel atıksulara endüstriyel deşarjlar olduğu durumlarda ağır metal konsantrasyonları yükselebilmektedir (Anonim 2010). Eğer geri kazanılan atıksu, endüstriyel kaynaklı ise ya da yeterli bir arıtmadan geçmemişse ağır metaller mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Keten ve pamuk gibi lifli bitkiler gözlenmiş, bu bitkilerin aşırı ağır metal kirliliği bulunan topraktan ağır metalleri bünyelerine aldıkları fakat yapraklarında ve tohumlarında bulunan miktarların oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir (Angelova ve ark. 2004). SS'lerde izin verilebilen ağır metallerin ve toksik elementlerin maksimum konsantrasyonları Çizelge 2.3'de verilmektedir.

Çizelge 2.3. SS'lerde izin verilebilen ağır metallerin ve toksik elementlerin maksimum konsantrasyonları (Anonim 2010)

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar (kg/ha)	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (mg/L)	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında (mg/L)
Alüminyum (Al)	4600	5,0	20,0
Arsenik (As)	90	0,1	2,0
Berilyum (Be)	90	0,1	0,5
Cd	9	0,01	0,05
Krom (Cr)	90	0,1	1,0
Kobalt (Co)	45	0,05	5,0
Cu	190	0,2	5,0
Florür (F ⁻¹)	920	1,0	15,0
Demir (Fe)	4600	5,0	20,0
Kurşun (Pb)	4600	5,0	10,0
Lityum (Li) ¹	-	2,5	2,5
Manganez (Mn)	920	0,2	10,0
Mo	9	0,01	0,05 ²
Ni	920	0,2	2,0
Selenyum (Se)	16	0,02	0,02
Vanadyum (V)	-	0,1	1,0
Zn	1840	2,0	10,0

¹Sulanan narenciye için 0,075 mg/L'dir.

²Yalnız demir içeriği fazla olan asitli killi topraklarda izin verilen konsantrasyondur.

2.2.7. Kalıntı klor

Atıksuyun tekrar kullanımında önemli problemlerden biri de arıtılmış çıkış suyundaki aşırı kalıntı klordür. Genellikle kalıntı klor konsantrasyonunun 1 mg/L'den az olması bitkilere zarara neden olmamaktadır. Fakat, bazı hassas tarım ürünleri 0,05 mg/L seviyelerinde kalıntı klordan zarar görebilmektedir. Bazı odunsu bitkiler, kloru dokularında toksik seviyelerde biriktirebilmektedir. Benzer şekilde, fazla miktarda klor bitki yapraklarında yanmaya neden olabilmektedir. Sonuç olarak, 5 mg/L'den daha büyük klor konsantrasyonları pek çok bitkilerde ciddi zararlara neden olabilmektedir (Anonim 2004, Pedrero ve ark. 2010).

2.3. Türkiye'de Atıksuların Sulamada Tekrar Kullanılmasında Gerekli Olan Su Kalite Kriterleri

Türkiye'de atıksuların sulamada kullanılmasında gerekli olan su kalite kriterleri araştırıldığında 20 Mart 2010 tarihli 27527 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nin yedinci bölümünde yer alan Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı ile bağlantılı olduğu belirlenmiştir.

Sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksularda aranan özellikler Ek 1'de gösterilmiştir. Arıtılmış suyun sulamada kullanılması için iki farklı sınıf oluşturulmuştur. Bu kriterler, minimum gereksinimleri sağlamakta ve bazı özel uygulamalarda ilave kriterler de uygulanabilmektedir. Ticari olarak işlenmeyen (çiğ olarak tüketilen) gıda ürünlerinin ve park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında insanların bitkiler ile su teması olabileceği için iyi kalitede SS gerekmektedir. Özellikle SS'nin mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmelidir. Ticari olarak işlenen gıda ürünleri (meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretimi ve kültür tarımı gibi ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde SS daha düşük kalitede olabilmektedir.

SS için kimyasal kalite kriterleri Çizelge 2.4'de verilmiştir. Tarımsal sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksuların bu kimyasal kriterleri sağlaması gerekmektedir.

Çizelge 2.4. SS'nin kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi (Anonim 2010)

Parametreler		Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
			Yok (I.sınıf su)	Az-orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III.sınıf su)
Tuzluluk					
İletkenlik		µS/cm	< 700	700-3000	> 3000
TÇM		mg/L	< 500	500-2000	> 2000
Geçirgenlik					
SAR _{Tad} *	0-3		EC ≥ 0,7	0,7-0,2	< 0,2
	3-6		≥ 1,2	1,2-0,3	< 0,3
	6-12		≥ 1,9	1,9-0,5	< 0,5
	12-20		≥ 2,9	2,9-1,3	< 1,3
	20-40		≥ 5,0	5,0-2,9	< 2,9
Özgül iyon toksisitesi					
Na⁺					
Yüzey sulaması		mg/L	< 3	3-9	> 9
Damlatmalı sulama		mg/L	< 70	> 70	
Cl⁻					
Yüzey sulaması		mg/L	< 140	140-350	> 350
Damlatmalı sulama		mg/L	< 100	> 100	
B		mg/L	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0

* SAR_{Tad}:revize edilerek tadil edilmiş SAR değeri

Atıksuların araziye verilmeye veya sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler şunlardır:

- Su içindeki çözülmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
- Na⁺ iyonu konsantrasyonu ve Na⁺ iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
- B, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
- Bazı şartlarda Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarının toplam konsantrasyonu
- Toplam katı madde (TKM), organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen organizmaların miktarı

Atıksudaki çözülmüş tuzlar, B, ağır metal ve benzeri toksik maddeler yörenin iklim şartlarına, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilmekte, bitkiler tarafından alınabilmekte veya suda kalabilmektedir. Bu nedenle, artırılmış atıksuların arazide kullanılması ve bertarafı söz konusu ise suyun fiziksel,

kimyasal ve biyolojik parametreler açısından öngörülen sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra, bölgenin toprak özellikleri, iklim, bitki türü ve sulama metodu gibi etkenler de dikkate alınmalıdır. Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’de detaylı olarak açıklanmış olan geri kazanılmış atıksuyun kalitesini belirleyen parametreler incelenmiş ve aşağıda özetlenmiştir (Anonim 2010).

AKM, sulama sistemini tıkadığı için önemlidir. Klasik atık su arıtma tesisi çıkışında AKM konsantrasyonu, 5-25 mg/L aralığında değişmektedir. Üçüncül arıtma uygulandığında, 10 mg/L’nin de altına düşmektedir. Birçok sulama sisteminde, 30 mg/L’nin altındaki AKM konsantrasyonları tolere edilebilir durumdadır. Bununla birlikte, sulama sisteminin tıkanmasında AKM’nin dışında sıcaklık, güneş ışığı ve debi gibi diğer faktörlerde rol oynamaktadır (Anonim 2010).

Tuzluluk, su veya topraktaki tuzların toplu olarak belirtilmesidir. TÇM şeklinde ölçülmektedir. EC_w , dS/m veya $\mu S/m$ olarak ölçülür ve TÇM’nin bir diğer gösterim şeklidir. TÇM ve EC arasında;

$$EC_w < 5 \text{ dS/m ise } TÇM \approx EC \times 640$$

$EC_w > 5 \text{ dS/m}$ ise $TÇM \approx EC \times 800$ şeklinde bir ilişki vardır. Tuzluluk arttıkça, toprağın suyu ile bitki hücresi zarı arasındaki osmotik basınç azalmaktadır. Bitki, topraktaki tuzlu suyu seyreltmek için kendi hücresindeki suyu toprağa geri bırakmakta ve bu durum bitkinin gelişmesini önlemektedir. TÇM değerinin 500 mg/L’den küçük olduğu durumlarda bitkilerde herhangi bir etki gözlenmemiştir. 500-1000 mg/L aralığında ise hassas bitkiler etkilenebilmektedir. 1000-2000 aralığında ise birçok bitki bundan etkilenmektedir ve dikkatli bir yönetim gerekmektedir. Genellikle, 2000 mg/L’ nin üzerindeki TÇM değerine sahip sulama suları ise tuzluluğa toleranslı bitkiler için geçirgen zeminlerde kullanılabilir. Çizelge 2.5’de çeşitli bitkiler ve bunların tuzluluğa olan toleransı verilmiştir (Anonim 2010).

Çizelge 2.5. Bitkilerin tuzluluğa olan toleransı (Anonim 2010)

Bitki ismi	Tolerans*			
	Toleranslı TÇM > 2000 mg/L	Orta toleranslı TÇM:1500-2000 mg/L	Orta hassas TÇM:1000-1500 mg/L	Hassas TÇM: 500-1000 mg/L
Tarla bitkileri				
Arpa	√			
Fasulye				√
Mısır			√	
Pamuk	√			
Börülce			√	
Keten			√	
Yulaf		√		
Pirinç			√	
Çavdar		√		
Şeker pancarı	√			
Şeker kamışı			√	
Soya fasulyesi		√		
Buğday		√		
Sebzeler				
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Lahana			√	
Havuç				√
Kereviz			√	
Salatalık			√	
Marul			√	
Soğan				√
Patates			√	
Ispanak			√	
Kabak		√		
Domates			√	
Şalgam			√	
Çayır bitkileri				
Yonca			√	
Bermuda çimi	√			
Çayır otu (fescue)		√		
Fokstail (çimen)			√	
Harding çimi		√		
Meyve bahçesi			√	
Sesbania (çiçek)			√	
Sudan çimi		√		
Bakla			√	
Buğday çimi		√		
Meyveli ağaçlar				
Badem				√
Kayısı				√
Böğürtlen				√
Hurma	√			
Üzüm			√	
Portakal				√
Şeftali				√
Erik				√
Çilek				√

*Tolerans, iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişebilir.

SAR, toprak bünyesindeki suda ve SS'de sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda topraktaki porozite azalmakta ve boşluklar tıkanmaktadır. Bununla bağlantılı olarak, su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir. Konsantrasyonlar, meq/L cinsindedir. SAR, suyun Na^+ (veya benzer alkaliler) açısından zararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılmakta ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \quad (2.1)$$

SAR değeri yerine son zamanlarda revize edilerek tadil edilmiş SAR değeri (SAR_{tad}) önerilmiştir. Burada, Ca^{+2} çözünürlüğünün sudaki HCO_3^- konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenliği dikkate alınarak Ca_x değeri kullanılmaktadır. Ca_x , HCO_3^-/Ca^{+2} ve EC_w 'ye bağlı olarak değişmektedir.

$$SAR_{\text{Tad}} = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg^{+2}}{2}}} \quad (2.2)$$

Bu ifadedeki, Na^+ , Mg^{+2} ve Ca_x konsantrasyonları da meq/L cinsindedir. Ancak, pratik olarak SAR ve SAR_{tad} arasında çok önemli bir farklılık yoktur. SAR daha yaygın olarak kullanılmaktadır. SAR yerine, SAR_{tad} değerinin kullanılması, su kalitesi ve topraktaki kimyasal karakteristiklerin Ca^{+2} dengesini bozabileceği durumlarda tavsiye edilmektedir. Topraktaki Ca^{+2} oranının magnezyuma göre daha yüksek olması tavsiye edilmektedir. Topraktaki geçirimsizliği düzenlemek üzere, kalsiyum sülfat ($CaSO_4$) kullanılmaktadır. $CaSO_4$, toprağa direkt olarak veya SS içerisine karıştırılarak uygulanabilmektedir.

Arıtılmış atıksuyun TASS olarak tekrar kullanılabilmesi için mikrobiyolojik kalite hususunda sulamada aranan mikrobiyolojik özellikler Ek 1'de verilmiştir. Arıtılmış suyun sulamada kullanılması için iki farklı mikrobiyolojik sınıf oluşturulmuş, bu kriterler minimum gereksinimleri sağlamaktadır. Ticari olarak işlenmeyen, yenilebilen gıda ürünlerinin ve insanların bitkiler ile su teması olabileceği park, bahçe gibi kentsel

alanların sulanmasında çok iyi kalitede SS gerekmektedir. Bu durumda, SS’de FC bulunmaması ve mikrobiyolojik kalitesinin çok iyi kontrol edilmesi önerilmektedir. FC değerinin hiçbir zaman 14 adet/100 mL’yi geçmemesi gerektiği belirtilmektedir. Bunun yanında, ticari olarak işlenen gıda ürünleri (meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretimi ve kültür tarımı gibi ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde SS’nin mikrobiyolojik kalitesi daha düşük kalitede olabilmektedir. Bu durumda FC değerinin, 200 adet/100 mL’den küçük olması (30 günlük ortalama değer) ve hiçbir zaman 800 adet/100 mL’yi geçmemesi gerektiği belirtilmektedir (Anonim 2010).

2.4. Klasik ve İleri Atıksu Arıtımı

Atıksu arıtımı, atıksuda bulunan kirletici parametrelerin giderimini amaçlamaktadır. Temel işlemler ve üniteler, farklı arıtma seviyelerini sağlamaktadır ve Çizelge 2.6’da özetlenmektedir. Değişik arıtma üniteleri için çıkış suyu kaliteleri ise Çizelge 2.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.6. Atıksu arıtma seviyesi (Tchobanoglous ve ark. 2003)

Arıtma Seviyesi	Tanımlanması	Ünite
Ön arıtma	Kaba maddeler, yüzen maddeler, kum-çakıl ve yağ-gresin giderimi	Izgaradan geçirme ve kum tutucu
Birincil arıtma	AKM'lerin ve organik maddenin giderimi	Çöktürme
İleri birincil arıtma	AKM'lerin ve organik maddenin gelişmiş giderimi	Kimyasal ekleme ya da filtrasyon
İkincil arıtma	Biyolojik ayrışabilir organik maddenin, AKM'lerin ve nütrientlerin giderimi (N, P)	Aktif çamur, damlatmalı filtreler, dezenfeksiyon
Üçüncül arıtma	Kalıntı AKM'lerin giderimi ve bağlantılı olarak nütrientlerin ekstra giderimi	Granüler ortamlı filtrasyon ya da mikro-ızgaralama, dezenfeksiyon, ekstra nütrient giderimi

Çizelge 2.7. Değişik arıtma üniteleri için çıkış suyu kaliteleri (Anonim 2010)

Parametreler	Birimler	Arıtma üniteleri			
		Ham Atıksu	KAÇ	KAÇ + Filtrasyon	KAÇ+ Mikrofiltrasyon + TO
AKM	mg/L	120-400	5-25	2-8	< 1
BOİ ₅	mg/L	110-350	5-25	5-20	< 1
KOİ	mg/L	250-800	40-80	30-70	< 2-10
Amonyum (NH ₄ ⁺)	mg NH ₄ ⁺ /L	12-45	1-10	1-6	< 0.1
Toplam N (TN)	mg TN/L	20-70	15-35	15-35	< 1
Toplam P (TP)	mg TP/L	4-12	4-10	4-8	< 0.5
TÇM	mg/L	270-860	500-700	500-700	< 5-40

KAÇ: Klasik Aktif Çamur, TO: Ters Osmoz

2.5. Filtrasyon ve Uygulama Alanları

İkincil çıkış suyunda son çöktürmeden sonra kolloidal ve AKM'ler olarak bulunan partiküller; genellikle hümik maddeler, proteinler, virüsler, bakteriler ve algleri kapsayan organik makromoleküllerden oluşmaktadır (Adin 1998). Kalıntı çözülmüş bileşenleri:

- çözülmüş organik madde (toplam organik karbon, uçucu organik bileşenler)
- çözülmüş inorganik madde (NH_3 , NO_3^- , P, toplam çözülmüş katılar) oluşturmaktadır (Tchobanoglous ve ark. 2003).

Çözülmüş ve partiküler madde partikül fraksiyonları arasındaki ayırım, literatürde farklılık gösterebilmektedir. Buna rağmen, en genel ayırım çapı $0,45 \mu\text{m}$ 'dir. Bu ayırım IAWQ aktif çamur modeli için biyolojik atıksu karakterizasyonuna göre uygulanmıştır (Van Nieuwenhuijzen 2002, Henze 1992, Stowa 1996a). Granüler filtre malzemeli filtrasyonla uygulamalı ileri partikül giderimi, $0,45 \mu\text{m}$ 'den büyük olan kalan katıların ayırımını sağladığı bilinmektedir (Mıska-Markusch 2009).

2.5.1. Filtrasyon ve partikül dağılımı

Partiküller; çaplarına dayanılarak çözülmüş, kolloidal ve AKM olarak tanımlanmaktadır. Belirli partiküllerin fiziksel ayırımı, filtrasyon için gerçekleştirilmiştir ve filtre ortamının seçilmiş gözenek çapına dayanmaktadır. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi filtrasyon dağılımına göre, granüler ortamlı filtrasyon su fazından $> 1,0-100 \mu\text{m}$ mikron çap aralığındaki AKM'lerin ayırımını amaçlamaktadır.

Partikül Çapı	çözünmüş		kolloidal		askıda			
	iyonlar/moleküller		makro moleküller		mikro partiküller	ince partiküller		
Partiküller	şeker çözünmüş tuzlar		virüsler	bakteriler	protozoa polen	kum		
Çap [µm]	0.0001	0.001	0.01	0.1	1	10	100	1000
Ayrırma Tekniği								

Şekil 2.1. Filtrasyon dağılımı (Stowa 2006)

Atıksuyun granüler ortamlı filtrasyonla filtre edilebilir bileşenlerinin belirlenmesi, giderilebilmesi mümkün maddelerin tanımlanabilmesi için önemlidir. Bileşenlerinin karakteristiklerinin yanı sıra, bunların atıksudaki oluşumu ve davranışı olası giderim mekanizmalarını gösterebilmektedir (Mıska-Markusch 2009).

Atıksu çıkış suyundaki partiküller, çoğunlukla kolloidal haldedir ve negatif yüklüdür. $1,015 - 1,034 \text{ g/cm}^3$ flok yoğunluklarına sahip olan tipik flok çapları $10 - 70 \text{ µm}$ aralığındadır (Andreadakis 1993). Adin ve Elimelech (1989) ve Adin ve ark. (1989) partiküllerin çoğunun -10 mV ile -18 mV aralığında elektrostatik yüke sahip olduğunu ve suda stabil olmaya eğilimli olduğunu ifade etmiştir. Aktif çamur çıkış suyu partiküllerinin analizi, çıkış suyu partiküllerinin yüzeyinde silis, Cl^- ve kalsiyumun hakim olduğunu göstermiştir. Çizelge 2.8, atıksudaki partiküller için bazı örnekleri özetlemektedir (Tchobanoglous ve ark. 2003).

Çizelge 2.8. Partiküllerin sınıflandırılması (Tchobanoglous ve ark. 2003)

Partikül çapı (mm)	Sınıflandırma	Örnekler
10^{-1} -10	İri taneli dağılım (gözle görülebilen)	Çakıl, kaba kum, mineral maddeler, çöktürülmüş ve floküle edilmiş partiküller, silt, makroplankton
10^{-4} - 10^{-2}	İnce partikül dağılımı (optik mikroskop altında görülebilen)	Mineral maddeler, çöktürülmüş ve floküle edilmiş partiküller, silt, bakteriler, plankton ve diğer organizmalar
10^{-4} - 10^{-5}	Kolloidal dağılım (mikroskop altında)	Mineral maddeler, hidrolize edilmiş ve çöktürülmüş ürünler, makromoleküller, biyopolimerler, virüsler
$< 10^{-6}$	Çözelti	İnorganik basit ve kompleks iyonlar, moleküller ve polimerik türler, polielektrolitler, organik moleküller (aynı zamanda nütrientler), ayrışmayan çözünenler

Bileşenler hem filtre edilebilir boyuttadır ($> 1 \mu\text{m}$) hem de partikülleri kimyasal çöktürme ve koagülasyon vasıtasıyla filtre edilebilir boyuta dönüştürmek amacıyla filtrasyondan önce atıksuyun bir ön arıtma adımına gereksinim duyulmaktadır. Bu gibi kimyasal prosesler, metal tuzlarının kullanılmasıyla partiküllerin destabilizasyonu ve negatif yüklerinin nötral yük haline getirilmesi ile sonuçlanarak katkıda bulunmaktadır.

2.5.2. Klasik filtrasyon teorisi

Genel olarak filtrasyon; suyun geçirimli bir tabaka, bir membran, filtre kağıdı ya da gözenekli bir ortam içerisinde aktığı bir prosestir. Su arıtımında granüler filtrasyon, suyun genellikle kum gibi granüler materyal içerisinde aktığı, kum, kil, Fe ve Al flokları gibi AKM'lerin alıkonulduğu bir prosestir. Maddeler, biyokimyasal olarak dekompoze edilmektedir ve patojenik mikroorganizmalar (bakteriler, virüsler, protozoa) giderilmektedir. AKM'ler, hidrolik dirençte bir artışla sonuçlanarak, yavaş bir şekilde gözenek hacmini azaltmaktadır. AKM'ler, periyodik olarak geri yıkama ya da filtre yatağının temizlenmesi vasıtasıyla giderilmektedir. Bu uygulama, filtrenin limitini aşan direnci ya da AKM'lerin birikimini engellemektedir (Mıska-Markusch 2009).

Aynı zamanda, filtrasyon kimyasal ve biyolojik reaksiyonları kapsamaktadır. Bu durum, çözülmüş fosforun (ortofosfat), metallerin ve azotun giderimi için ileri arıtmanın öneminin esasıdır (Mıska-Markusch 2009). Filtrasyon prosesi sırasında suda AKM'lerin ve kolloidal maddelerin tutulması, demirin ve manganın okside edilmesi neticesinde su kalitesinde iyileşme meydana gelmektedir (Büyükyıldız 1997).

2.5.3. Filtrelerin sınıflandırılması

Filtreler kullanım amaçlarına ve maliyetlerine göre çeşitli sınıflara ayrılır (Eroğlu 1995, Onat 2001). Çizelge 2.9'da filtrasyon hızı, yapı ve hidrolik şartları, debi ve kullanılan yatak malzemesine göre filtrelerin sınıflandırılması yapılmıştır.

Çizelge 2.9. Filtrelerin sınıflandırılması (Eroğlu 1995, Onat 2001)

Sınıflandırma Kriteri	İsimlendirme	Özelliği
Filtrasyon hızı	Yavaş filtreler	Düşük hızlıdır (0,1-0,5 m/saat)
	Hızlı filtreler	Yüksek hızlıdır (5-15 m/saat)
Yapı ve hidrolik	Yerçekimli filtreler	Atmosfere açık şekilde çalışır.
	Yukarı akışlı filtreler	Su girişi alttandır.
	Basınçlı filtreler	Su basınçlı olarak girer ve çıkar (25-50 m/saat)
Debi	Sabit debili filtreler	Filtre hızı filtre süresinde sabittir.
	Azalan debili filtreler	Filtre hızı yük kaybına bağlıdır.
Malzeme cinsi	Kum filtreleri	Filtre malzemesi kumdur.
	Antrasit kömürlü filtreler	Filtre malzemesi antrasittir.
	Çok malzemeli filtreler	Kum ve kömür gibi birden fazla malzemelidir.
	Diatomik filtreler	Askıdaki madde filtre yüzeyinde tutulur.

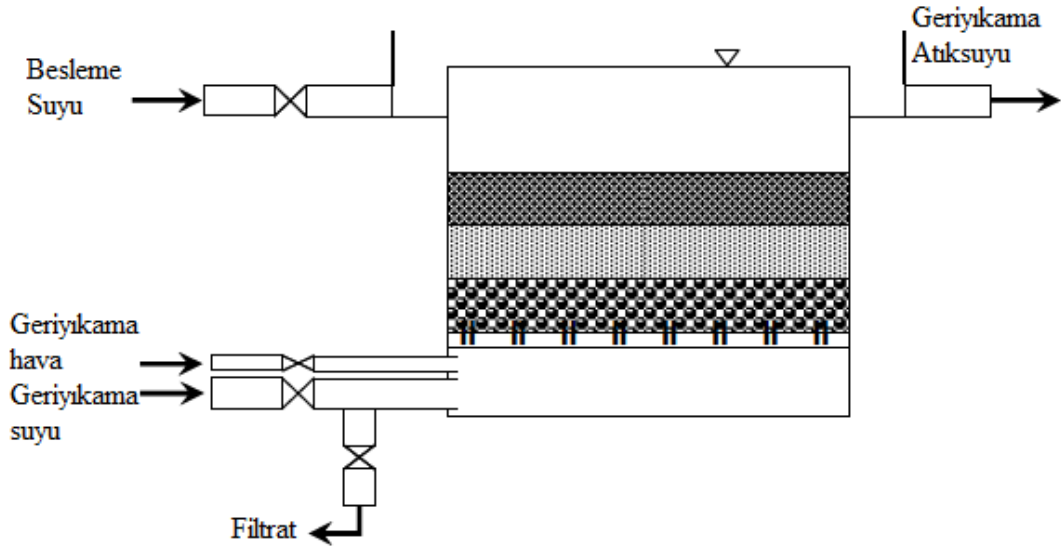
Su arıtımında yavaş ve HKF'leri olmak üzere genel olarak iki tip filtre kullanılmaktadır. Yavaş kum filtrelerinde kum tabakası derecelenip, tabakalaşmamıştır. Kullanılan kum daha incedir ve süzme hızı çok daha azdır. AKM'ler kum yatağı üstünde tutulur. Kum yatağı, birkaç haftada veya ayda bir üstten 3-4 cm sıyrılıp dışarı alınmak suretiyle temizlenir. Yavaş kum filtrelerinde, yatağın üst diliminde tutulan çamurlarda biyolojik bir çamur oluşur ve bu ortam süzmedeki biyolojik etkiyi daha ileri derecede sürdürerek daha kaliteli çıkış suyu elde edilmesini sağlar. İşletmelerinin kolay, yetişmiş eleman ihtiyacının az olması, bakteri gideriminde etkili olması ve uniform kaliteye sahip çıkış suyu sağlaması avantajlarıdır. Ancak, yavaş kum filtreleri için fazla araziye ihtiyaç vardır. İlk yatırım maliyeti yüksektir (Alemayehu 2012). İşletme masrafları ise HKF'lere nazaran düşüktür. Çizelge 2.10'da HKF'leri ile yavaş kum filtreleri arasındaki farklar gösterilmiştir (Eroğlu 1995, Coşkun 2012).

Çizelge 2.10. HKF'leri ile yavaş kum filtreleri arasındaki farklar (Eroğlu 1995, Coşkun 2012)

Mukayese Kriteri	Hızlı Kum Filtreleri	Yavaş Kum Filtreleri
Filtre hızı, m ³ /m ² .sa	5-15	0,1-0,5
Kumun tane çapı, mm	0,5-2	0,15-0,35
Malzeme üniformluk katsayısı ($u = d_{60} / d_{10}$)	< 1,5	2-3
Yatak kalınlığı, m	0,5-2	0,6-1,2
Su yüksekliği, m	0,25-2	1,0-1,5
Temizleme şekli	Geri yıkama	Sıyırma
Temizleme aralığı, gün	1-3	90-120
Bir filtrenin en düşük yüzey alanı, m ³	10-20	100-200
Bir filtrenin en büyük yüzey alanı, m ³	100-200	2000-5000
Filtre sayısı, n	4-40	-
Filtrenin tesirli kısmı	Bütün hacmi	Üst yüzey
İnşa maliyeti	Düşük	Yüksek
İşletme masrafları	Yüksek	Düşük
Tesisin Ömrü	Kısa	Uzun
Yetişmiş eleman ihtiyacı	Fazla	Az

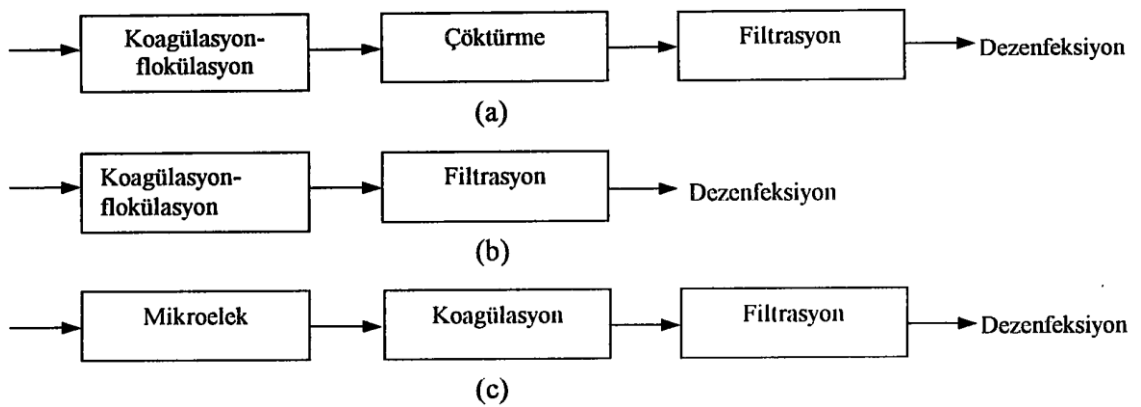
d_{60} : kumun % 60'ını geçiren elek çapı d_{10} : % 10'unu geçiren elek çapı

Yüzeysel suda ve atıksu arıtımında filtrasyonun en genel uygulaması, sürekli ya da kesikli olarak işletilen HKF'leridir. HKF'ler, iri taneli granüler ortama ve süzüntü suyuna ve 0,6-2,0 m aralığında yüksekliğe sahip olan bir yataktan oluşmaktadır. Normal olarak 5 ve 20 m³/m².sa arasında olan filtrasyon hızları, filtre yatağı üstündeki su seviyesi değiştirilerek ya da çıkış ağzında bir vana kullanılarak kontrol edilmektedir (Mıska-Markusch 2009). Daha yüksek yüzeysel yük uygulandığında, daha sık geri yıkanması gerekir. Ayrıca, HKF'ler bulanıklığı yüksek suların arıtımında yavaş kum filtrelerine nazaran daha etkilidir (Alemayehu 2012). Bazı ülkelerde yukarı akışlı tipleri kullanılsa da, HKF'lerde akış genelde yüzeyden tabana doğrudur ve akış yerçekimi veya basınçla sağlanabilir. Yüksek enerji gereksinimi ve bulanıklığı yüksek sularda sık işletim sorunlarına yol açması nedeniyle basınçlı türler pek tercih edilmez (Yıldız 2001). Şekil 2.2, kesikli olarak işletilen, çok tabakalı ortama sahip olan ve yerçekimi etkisi ile hareket eden HKF'nin açık bir enine kesitini göstermektedir (Mıska-Markusch 2009).



Şekil 2.2. Yer çekimi etkisi ile hareket eden HKF'nin açık şekli (Mıska-Markusch 2009)

HKF'lerde tıkanmadan dolayı maksimum dirence ulaşırsa, filtre yatağı geri yıkama vasıtasıyla temizlenmesi gerekmektedir. Geri yıkama, su veya hava vasıtasıyla yapılmaktadır. Geri yıkama boyunca filtre yatağı genişlemektedir ve böylece birikmiş olan AKM'ler giderilmektedir. Geri yıkama suyu, atık haznesine merkezi bir kanal vasıtasıyla drenaj edilmektedir. Filtrelerin uygulamasına dayanılarak geri yıkama sıklığı 6 saatle 24 saat arasında farklılık gösterebilmektedir (Mıska-Markusch 2009). Su arıtımında filtrelerin genel uygulamaları Şekil 2.3'de diyagram şeklinde gösterilmiştir (Montgomery 1985, Onat 2001).



Şekil 2.3. Su arıtımında filtrelerin genel uygulamaları: (a) Konvansiyonel (b) direkt filtrasyon (c) konvansiyonel olmayan (Montgomery 1985, Onat 2001)

2.5.3.1. Çift yataklı filtreler

HKF'leri, genellikle filtre malzemesine göre üç farklı tipte kullanılmaktadır:

- 1- Tek yataklı filtreler, genellikle öğütülmüş antrasit kömürü ya da kumdan oluşan tek yatağa sahiptir.
- 2- Çift yataklı filtreler, genellikle öğütülmüş antrasit kömürü ve kumdan oluşan iki farklı yatağa sahiptir.
- 3- Çok yataklı filtreler, antrasit kömürü, kum ve garnet olmak üzere üç farklı yatağa sahiptir (Alemayehu 2012).

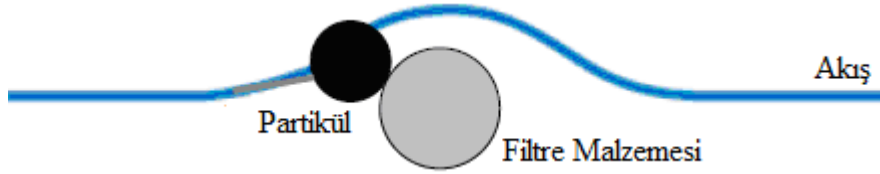
Çift yataklı filtrelerde kumun tane çapı, üstüne gelecek kömür veya başka çeşit malzemenin cinsine uygun olarak seçilmelidir. Bu seçim, aynı yıkama suyu debisinde tabandaki kumun ve kömür tabakasının alt kısmının beraber akışkan yatak haline geçebilecek şekilde yapılması gerekmektedir (Yıldız 2001). Çift yataklı filtrelerin dizaynında genellikle kömür için 30-60 cm, kum için 20-40 cm derinlik kullanılmaktadır (Coşkun 2012).

Çift yataklı filtrelerde amaç, filtrelerin iki geri yıkama arasındaki süreyi uzatmaktır. Bu da partiküllerin yatak hacmi içinde daha fazla tutulmasıyla sağlanmaktadır. Sonuç olarak çift ya da üç yataklı filtrelerden beklenen; aynı tane çaplı yatak halinde tek yataklı filtreden çok daha uzun çalışma süresi (iki yıkama arası) sağlaması ve yetersiz ön arıtma (koagülasyon/flokülasyon) halinde dahi tek yataklı filtrasyondan daha iyi kalitede su elde etmesidir (Yıldız 2001).

2.5.4. Filtrasyon mekanizmaları

Su filtre yatağı içerisinde aktığı zaman, askıda ve kolloidal partiküller filtre malzemesi tarafından tutulmaktadır. Van der Graaf (1996), Huisman (1996), ve Tchobanoglous (2003) olmak üzere araştırmacıların çoğu, filtre besleme suyunda bulunan farklı AKM'lerin gideriminden sorumlu olduğu düşünülen birkaç filtrasyon mekanizmasını özetlemiştir.

Atalet etkisi ya da çöktürmeyi kapsayan mekanizmalar (şekil 2.4), sıvı akışı içerisindeki askıda olan büyük, ağır partiküller üzerinde etkili olmaktadır. Bu gibi partiküller, onları çevreleyen sıvıdan daha ağırdır. Sıvı gözenek hacmine girmek için yön değiştirirken, partikül düz yoluna devam eder ve atalet kuvveti tarafından engellendiği, tutulduğu yer olan filtre malzemeleri ile çarpışır.

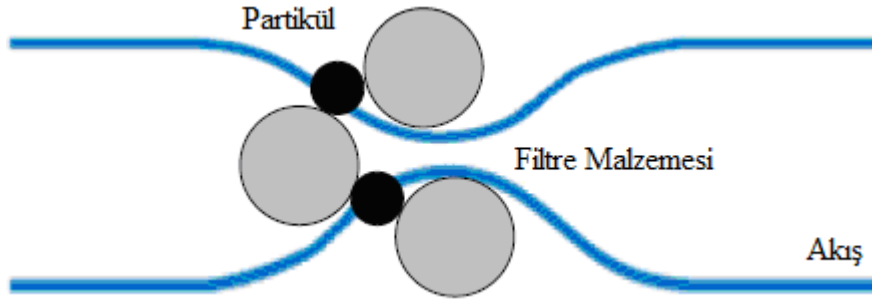


Şekil 2.4. Atalet etkisi ya da çöktürme (Mıska-Markusch 2009)

Daha büyük partiküller (Fe ya da Al flokları gibi) bundan önceki flok giderim prosesinde zaten giderildiğinden dolayı (çöktürme ya da flotasyon), hızlı filtrasyonda bu mekanizma genellikle meydana gelmez. Daha küçük filtre malzemesi kullanılırsa, aynı zamanda gözenekler de daha küçüktür ve filtreleme prosesi kek filtrasyonu ile sonuçlanmaktadır. Aynı zamanda, kek küçük partikülleri alıyacaktır ve arıtma temel olarak filtrenin üst tabakasında meydana gelecektir. Kek filtrasyonunun dezavantajı, filtre yatağının hızlı tıkanması ya da filtre yatağının birikim kapasitesinin verimsiz kullanımınıdır.

Hızlı filtrasyon boyunca, askıda ve kolloidal partiküllerin giderimi genellikle filtre yatağı boyunca gerçekleşmektedir. Sonuç olarak, partiküllerin birikimi filtre yatağının tüm yüksekliği boyunca meydana gelmektedir.

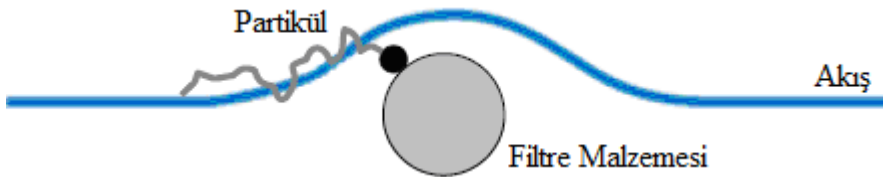
Süzülme (şekil 2.5) başka bir temel giderim mekanizması olarak tanımlanmıştır. Süzülme, farklı partiküllerin çapının filtre malzemesinin gözenek çapından daha büyük olduğu zaman meydana gelmektedir.



Şekil 2.5. Süzülme (Mıska-Markusch 2009)

Granüler ortamlı bir filtrenin besleme suyundaki büyük partiküllerin yüksek konsantrasyonları durumunda, bu mekanizma filtre yatağının üst kısmında kek tabakası formasyonuna sebep olabilmektedir. Bu sonuç olarak, kullanılmamış filtre partikül tutma kapasitesinin büyük kısmını kullanılmayacak hale getiren ve filtre işletiminin başlangıç aşamasında geri yıkamayı gerektiren filtre yatağında istenmeyen tıkanmalarla sonuçlanmaktadır.

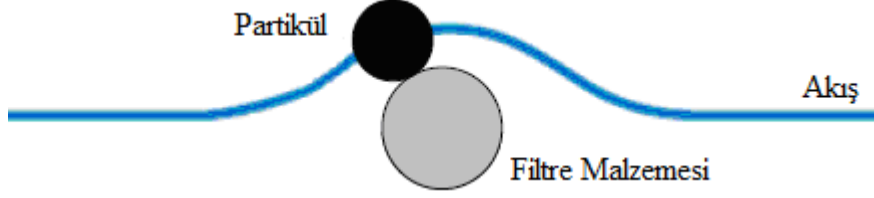
Süzülme etkisiyle karşılaştırıldığında diğer mekanizmalar, tam partikül kütle gideriminde küçük bir katkı sağlamasına rağmen, aynı zamanda düşünülmesi gerekmektedir. Şekil 2.6'da gösterilen difüzyon ya da adhezyon mekanizması en küçük partikülleri ve Brownian hareketi kapsamaktadır. Küçük partiküller, viskoz sıvı tarafından yerinde tutulmamaktadır ve akış içerisinde difüze haldedir. Partiküller, sıvı akışı içerisinde geçerken, filtre malzemesiyle çarpışmaktadır ve tutulmaktadır.



Şekil 2.6. Difüzyon ya da adhezyon (Mıska-Markusch 2009)

Kesişme (şekil 2.7) bir akış çizgisini takip eden bir partikül, bir filtre malzemesinin bir partikül yarıçapı içerisinde ortaya çıktığı zaman meydana gelmektedir. Partikül filtre malzemesine temas eder ve tutulur ve sonuç olarak akıştan giderilmiş olur. Bir partikül çapı için, bir filtre malzemesine yeterli derecede yakın hareket edecek belirli akış çizgisi

mevcutsa partikül toplanacaktır. Akış çizgisi, bir filtre malzemesinden bir partikül yarıçapı daha uzak olursa kesişme mekanizmasına katkıda bulunmayacaktır.



Şekil 2.7. Kesişme (Miska-Markusch 2009)

Yukarıda açıklanan mekanizmaların yanı sıra, ayrıca kimyasal/fiziksel adsorpsiyon ve biyolojik aktivite gibi prosesler partikül giderimine dolaylı olarak katkıda bulunabilmektedir.

Askıda ve kolloidal partiküller filtre malzemesine çarptığı zaman, tutulma meydana gelmektedir. Partiküllerin çekimi ya da itilmesi ile sonuçlanan iki çeşit kuvvet mevcuttur. İlk olarak, Van der Waals kuvvetleri iki partikülü çekmeyi garantilemektedir. İkincisi elektrostatik kuvvetler, partiküllerin yüküne dayanan çekme ya da itme etkisine sahiptir. Genel olarak, filtre malzemesi (örneğin kum) negatif yüke sahiptir ve pozitif yüklü tanecikleri yüzeyinde tutabilmektedir (Tchobanoglous ve ark. 2003). Su ortamındaki genelde askıda ve kolloidal haldeki Fe, Al, Mn gibi pozitif yüklü tanecikler kum yüzeyinde tutulur. Kum taneciğinin yüzeyinde biriken kirletici tanecikler negatif yükün etkinliğini gitgide azaltır ve belli bir süre sonunda kum taneciğinde yük değişimi olur. Pozitif yüklü tanecikler tamamen negatif yüklü kum taneciğini çevrelediğinden dolayı kum taneciğinin yüzeyi pozitif yüklerle dolar. Aşırı doygunluk sonucu yüzey yükleri işaret değiştirir ve pozitif olur. Böylece su ortamından NO_3^- ve fosfat (PO_4^{2-}) gibi çözülmüş negatif yüklü kirleticiler giderilir. Aynı şekilde aşırı doygunluğa ulaşıncaya kadar dış yüzey negatif yüklü olur ve bu olay sonucunda filtrenin toplam elektriksel yüzey potansiyelinde azalma olur ve filtre çıkış suyu kalitesi giderek bozulur. Bundan dolayı, filtrenin geri yıkanması gereklidir (Uslu 1984).

Partiküllerin bağlanması, zıt kuvvetlerin her ikisi için de büyüklüğüne dayanmaktadır. Partiküller üç değerlikli Fe ya da Al tuzlarının (koagülant olarak metal tuzlarının

dozlanması vasıtasıyla) eklenmesiyle destabilize edilirse, bağlanma destabilizasyonla daha kolay olacaktır (Mıska-Markusch 2009).

Partikül geçişi, giriş suyundan partiküllerin doğrudan akışı ya da ayrılma, kayma kuvvetinden dolayı daha önce tutulan partiküllerin kopması yukarıda ifade edilmiş mekanizmaların tersidir (Mıska-Markusch 2009).

2.5.5. Filtrelerin geri yıkanması ve temizlenmesi

İçme suyunda ve atıksu arıtımında organik kirleticilerin varlığı çamur yumaklarının formasyonu ile sonuçlanan filtre tanelerinin yapışkan bağlanmasına yol açabilmektedir. Filtre tanelerinin sıyırılmasını sağlayan düzgün bir geri yıkama, tortu oluşumuna neden olan kirletici maddelerinin giderimi için gerekmektedir (Mıska-Markusch 2009).

Geri yıkamanın ne zaman yapılacağı aşağıdaki üç kriter yardımıyla belirlenmektedir:

- a- Filtredeki hidrolik yük kaybının belirli bir limite ulaşması: genelde bu limit 2,4-3,0 m arasındadır.
- b- Çıkış suyu kalitesinde bozulma: filtre çıkış sularında bazı parametreler için üst limitler yönetmeliklerce belirlenmiştir. Herhangi bir parametre için üst limitin aşılması geri yıkamayı gerektirir.
- c- Önceden belirlenen güvenli işletim periyodunun aşılmasıdır.

Bu belirtilenlerden herhangi birinin görülmesi işletim periyodunun sonunu belirler. Filtre yüzey yüküne ve ham su kalitesine bağlı olarak, tipik filtre işletim süresi 12 saatten 4 güne kadardır. İşletim periyodu için üst limit belirlenmesi (güvenli işletim periyodu) filtrede bakteriyel büyümeyi ve giderilen katı maddelerin filtre içinde katılaşmasını önlemek açısından zorunludur. Filtre yükünün azaltılması için filtrasyon öncesi suyun koagülasyona tabi tutulması gerekebilmektedir. Ayrıca filtrasyon verimini arttırmak amacıyla filtrasyondan hemen önce suya polimer eklenebilmektedir (Yıldız 2001).

2.5.5.1. Su ile geri yıkama

Filtrelerde en çok kullanılan metot filtreyi temiz su ile yıkamaktır. Geleneksel filtrelerde optimum temizlenmenin, genişmiş yatak porozitesinin 0,65 ile 0,70'e vardığı zaman elde edildiği tespit edilmiştir. Bu poroziteyi sağlayacak genişmede, geri yıkama suyunun kesme etkisinin en kuvvetli düzeye çıktığı belirtilmiştir. Su ile geri yıkamada elde edilen akışkan yataktaki taneler birbirleriyle çarpışmadıklarından, sadece su ile yapılan geri yıkamanın fazla tesirli olmadığı ifade edilmiştir. Su ile geri yıkama yapılan hallerde, optimum yatak porozitesi hesaplanabilmektedir. Bu optimum genişlemenin kum yatakları için % 20, kömür yatakları için % 25 olduğu belirtilmektedir (Yıldız 2001).

2.5.5.2. Yüzey yıkama

Sadece su kullanılarak yapılan geri yıkama tesirli olmadığı için, bazı hallerde filtrenin üst kısmının yıkanması gerekmektedir. Kum yatağı yüzeyinden 2,5-5,0 cm yukarıya, aşağısında delikler bulunan sabit bir boru şebekesi teşkil alınarak, geri yıkama öncesi su seviyesi yıkama oluklarının biraz aşağısına düşürüldükten sonra bu şebekeden kum yüzeyine 1-2 dakika kadar su püskürtülmektedir. Çamurlar parçalanıp, dağıtılmaktadır. Hemen sonra, yüzey yıkamaya ilaveten geri yıkama suyu verilmekte ve çıkan çamurlu su temiz bir görünüm kazanıncaya kadar devam edilmektedir (Barnes ve ark. 1981).

2.5.5.3. Hava ile yıkama

Hava kum tabakası altından verilerek aşağıdan yukarı akışı sırasında çamurlar sökülüp atılır. Hava alttan ya su verilmeden önce ya da su ile birlikte verilebilir. Hava yalnız başına verildiği takdirde filtredeki su önceden geri yıkama kanalı altında bir seviyeye kadar düşürülür. Böylece yatak malzemesinin kaçması önlenir (Yıldız 2001).

2.5.6. Filtrasyon uygulaması ve kolon testleri

Benzer karakterizasyona sahip suyu arıtan arıtma tesislerinin deneyimleri bir filtrenin boyutlarını belirlemeye yardımcı olabilmektedir. Laboratuvar ya da pilot ölçekli testler

gibi daha küçük ölçekte filtrasyon testleriyle ekstra bilgi elde edilebilmektedir. Aşağıdaki dizayn parametrelerinin optimum kombinasyonu test düzeneğinde araştırılabilmektedir (Mıska-Markusch 2009):

- Filtre yatağı derinliği
- Filtre malzemesinin tane çapı
- Filtrasyon hızı
- Üst faz suyun (süzüntü suyunun) yüksekliği (hidrolik yük kaybı)

Optimum kombinasyon, makul filtre çalışma zamanıyla sonuçlanan gerekli olan çıkış suyu kalitesini karşılayan ve düşük maliyetli bir filtre sağlayabilmektedir. Ayrıca, filtre çalışması boyunca kek filtrasyonundan kaçınmak için AKM'ler filtre yatağı yüksekliği boyunca dağıtılabilmektedir. Aynı zamanda, filtrenin yüzey alanı ilk yatırım maliyetlerini azaltmak için mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Sonuç olarak, filtrasyon hızı yüksek olmalıdır. Filtrasyon hızı ne kadar yüksek olursa, filtrenin işletilmesi boyunca o kadar kısa sürede çıkış suyunun kalitesi kötüleşecektir. Bu, artan filtre yatağı yüksekliği tarafından ya da daha küçük bir tane çapına sahip olan filtre malzemesi seçilerek telafi edilebilmektedir. Buna rağmen, daha yüksek bir filtre yatağı daha yüksek bir filtre yapımını ve sonuç olarak yapım maliyetlerinin artmasını da beraberinde getirmektedir. Daha küçük bir tane çapına sahip filtre malzemesi daha hızlı tıkanacaktır. Daha kısa bir filtre işletimi meydana gelecektir ve işletim maliyetleri de artacaktır (Mıska-Markusch 2009).

Genel olarak, çıkış suyunun kalitesinin gerekli olan su kalite kriterlerinin altında kalması gerektiği farz edilmektedir. Çıkış suyunun kalitesinin su kalite kriterlerini karşılaması süresince olan filtre çalışma zamanı T_q olarak ifade edilmektedir. Normal olarak, filtreler önceden belirlenmiş maksimum dirence ulaştığı zaman T_r çalışma zamanından sonra geri yıkanmalıdır. Bu maksimum dirence ulaşmadan önce suyun kalitesinin kötüleşmesi engellenmelidir. Filtre dizaynı, $T_r < T_q$ olması şartını karşılamalıdır. Yukarıda bahsedilmiş dizayn parametreleri ve zaman ve kümülatif hacmi kapsayan filtrasyon performansının işletim değerleri, doğrudan T_q ve T_r değerlerinin her ikisini de belirleyebilmektedir. Çeşitli filtre faktörlerinin artışının geri yıkama kriterlerine etkileri Çizelge 2.11'de özetlenmektedir.

Çizelge 2.11. Çeşitli filtre faktörlerinin filtre çalışma süresine dayanan etkilerinin özeti (Lawler ve Benjamin 2008)

Filtre Faktörü	Yük kaybı		Çıkış Suyu Kalitesi	
	Zaman	Kümülatif Hacim	Zaman	Kümülatif Hacim
Derinlik ↑	↓	↓	↑	↑
Tane Çapı ↑	↑	↑	↓	↓
Hız ↑	↓	↔	↓ ↓	↓
Giriş Suyu Konsantrasyonu ↑	↓	↓	↓	↓

2.6. Kentsel Atıksuyun Tarımsal Amaçlı Sulama Suyu Olarak Geri Kazanımında Hızlı Kum Filtresi ve Uygulama Alanları

Evsel atıksuyun geri kazanımı ve tekrar kullanımı, özellikle kurak ve yarı kurak ülkelerde su kaynaklarının eksikliğinden dolayı son yıllarda artış göstermiştir. Tekrar kullanımın halk sağlığına ve alıcı ortama tehlike yaratmasından kaçınmak için güvenli bir şekilde uygulanması gereklidir (Asano ve ark. 1996). Klasik arıtma üniteleri (birincil ve ikincil arıtma üniteleri) bazı mikroorganizmaların % 95–99'a kadar giderimini sağlamasına rağmen, patojenik mikroorganizmaların yüksek konsantrasyonunun varlığı arıtılmış atıksuyun doğrudan tekrar kullanımını uygunsuz hale getirmektedir. Sonuç olarak, dezenfeksiyon teknolojileri gibi üçüncül arıtma gereksinimi ortaya çıkmaktadır (Koivunen ve ark. 2003).

Atıksuyun tekrar kullanımı için kalite gereksinimleri, spesifik standartlar tarafından belirlenmiştir ve arıtılmış çıkış sularının karşıladığı kalite hususunda bazı anlaşmazlıklar mevcuttur. Standartlar, genel olarak biyolojik kalite göz önüne alınarak düzenlenmiştir (Salgot ve Pascual 1996). Üçüncül arıtma sistemleri yüksek kaliteli çıkış suyu elde edilmesi amacıyla geliştirilmektedir. Diğer yandan, tekrar kullanılacak suyun kalitesi ile ilgili standartlar da halk sağlığına ve alıcı ortama karşı oluşabilecek tehlikelerden kaçınmak için katılaştırılmaktadır (Sperling ve ark. 2002, Gomez ve ark. 2007).

Yeni teknolojilerin gelişimi atıksuyun tekrar kullanım olanaklarını arttırmıştır (Sonune ve Ghate 2004). Membran teknolojilerinin uygulanmasında gösterilen büyük ilerlemeye rağmen, hızlı kum filtrasyonu eski, bilinen ve güvenilir bir su arıtma prosesidir (Tchobanoglous ve ark. 2002). Bu bağlamda, hızlı kum filtrasyonu ikincil çıkış sularının karakterizasyonunun tekrar kullanım kriterlerine uygun hale getirilmesinde kullanılan arıtma proseslerinden biridir. Ayrıca, ucuz ve güvenilir bir uygulama olma özelliğini sürdürmektedir. Atıksuyun filtrasyonu için en genel olarak kullanılan filtre malzemesi, kum ve antrasit gibi % 35 ve 50 arasında sabit poroziteye sahip olan sıkıştırılmaz malzemedir (Awwa 1990, Lubello ve ark. 2004).

Atıksuyun tekrar kullanım uygulamalarına temel kaygılar; patojenik mikroorganizmalar, organik maddeler ve ağır metallere kaynaklanan sağlık riskleri ve toplum tarafından kabul edilebilirliği ile bağlantılı estetik nedenlerdir. Kentsel atıksuların geri kazanımı amacıyla bu tez çalışmasında da uygulanan hızlı kum filtrasyonu bu gibi kaygıların giderilebilmesi ve aşağıdaki amaçlar için uygulanmaktadır:

- (1) Dezenfeksiyonu engelleyen ve kullanılan SS sisteminin verimliliğini azaltan ikincil arıtılmış çıkış suyundaki kalıntı AKM gideriminin sağlanması
- (2) Klorla reaksiyona girebilen organik madde konsantrasyonunun azaltılması
- (3) Geri kazanılacak atıksudaki AKM ve bulanıklığın azaltılarak suyun kalitesinin estetik açıdan geliştirilmesi

Mikroorganizmaların daha etkili bir şekilde elimine edilmesinin gerektiği durumlarda, dezenfeksiyonun etkinliğinin geliştirilmesi için HKF dezenfeksiyon ünitesinden önce uygulanabilmektedir (Koivunen ve ark. 2003). Sonuç olarak, HKF'nin çıkış suyunda AKM miktarı az olacağından dezenfeksiyon boyunca patojenik mikroorganizmaların AKM'ler tarafından korunması önlenebilmektedir (Hamoda ve ark. 2004). Landa ve arkadaşlarının (1997) gerçekleştirdiği çalışma, HKF'lerin helmint yumurtalarının giderilmesinde etkili olduğunu göstermiştir.

Mikrobiyal floklar, ikincil biyolojik arıtmayı takip eden baskın askıda katılardır. Gerçekleştirilmiş çalışmalar, ikincil biyolojik arıtmayı takip eden filtrasyonun AKM miktarını 5-10 mg/L seviyesine düşürdüğünü göstermiştir. Bundan dolayı, iyi

tasarlanmış ve düzgün çalışan HKF ünitesinden beklenen performans çıkış suyundaki AKM ve BOİ₅ konsantrasyonlarının 10 mg/L'den daha düşük değerlerde olmasıdır (Tchobanoglous ve ark. 1991).

2.6.1. Hızlı kum filtreleri ile yürütülmüş çalışmalar ve elde edilen sonuçlar

Liberti ve arkadaşları (1999) tarafından gerçekleştirilmiş çalışmada, West Bari Atıksu Arıtma Tesisinden (AAT) çıkan kimyasal çöktürmeye uğramış çıkış suyu HKF'ye beslenmiştir. HKF, hidroantrasit (üstte), 0.4-0.7 mm'lik yüksek saflıkta silikalı kum (ortada) ve 1-2,3-5,6-8 mm'lik çakıl (altta) olmak üzere üç tabakadan oluşan çok tabakalı, silindirik, basınçlı bir filtre özelliğindedir. Daha sonra, HKF'nin çıkış suyu 30 dakikalık temas süresinde 10 mg/L'lik perasetik asit (PAA) ile dezenfekte edilmiştir. Elde edilen bu çıkış suyunun pH, AKM, BOİ₅, KOİ ve SAR'dan oluşan tarımsal açıdan önemli parametreler açısından İtalya'nın standartlarını karşıladığı belirlenmiştir.

Botti ve arkadaşları (2009) tarafından yürütülmüş çalışma, Cagliari kentsel AAT'den gelen ikincil çıkış suyunun geri kazanımına dayanmaktadır. Bu amaçla, ikincil çıkış suyunun HKF ve dezenfeksiyondan (UV ışını vasıtasıyla) oluşan arıtma kombinasyonu ile ileri derecede arıtımı sağlanmıştır. Sonuç olarak, bu kombinasyonla arıtılmış çıkış suyunda 10 EMS / 100 mL gibi çok düşük bir Escherichia coli miktarı elde edilmiştir.

Hamoda ve arkadaşlarının (2004) üç farklı kentsel atıksu arıtma tesisinden gelen ikincil arıtılmış çıkış sularıyla yaptıkları çalışmada, 60 cm'lik kum ve destekleyici filtre malzemesi olarak kullanılan, kum tabakasını üstünü örten 40 cm'lik çakıl tabakasından oluşan ve yerçekimi ile çalışan HKF kullanılmışlardır. Filtreler, 5 m³/m².sa'lik ortalama filtrasyon hızı ile işletilmiştir. Hamoda ve arkadaşlarının (2004) elde ettiği sonuçlar, HKF'nin ikincil çıkış suyunun kalitesindeki salınımları azalttığını göstermiştir. HKF yardımıyla ikincil arıtılmış çıkış sularından en yüksek giderim yüzdelerini AKM'de % 70, KOİ 'de % 38 ve BOİ₅'de % 54 olarak elde etmişlerdir.

Illueca ve arkadaşları (2008) tarafından, ikincil arıtılmış kentsel çıkış suyunun tarımsal sulamada geri kazanımı amacıyla HKF+UV ışınından oluşan arıtma alternatifi araştırılmıştır. Bu alternatif vasıtasıyla, KOİ güçlükle giderilebilmiş, bulanıklık ve AKM giderim verimleri yaklaşık olarak % 50 olmuştur. FC giderimi ise % 99.8 oranında elde edilmiştir. Sonuçlar, kullanılan arıtma alternatifinin ikincil arıtılmış çıkış suyunda bulunan FC miktarının tarımsal sulamada tekrar kullanım için gerekli olan WHO kriterlerine indirilmesinde başarılı olduğunu göstermiştir.

Lubello ve arkadaşları (2004) tarafından yürütülmüş çalışmada, ikincil arıtılmış kentsel atıksuyun arıtımı için HKF ve dezenfeksiyon ünitesinden oluşan pilot tesis kullanılmıştır. HKF, kum ve antrasitten oluşan çift tabakalı, basınçlı bir filtredir. 8 m³/saatlik debiye sahip olan atıksu için 10 m/saat olan filtrasyon hızı sağlanmıştır. HKF çıkış suyu, PAA+UV ışını kombinasyonu kullanılarak dezenfekte edilmiştir. Sonuç olarak, Lubello ve arkadaşları (2004) pilot tesis yardımıyla AKM'de % 89 ortalama giderim elde etmiştir.

Gomez ve arkadaşları (2007) tarafından yürütülmüş çalışmanın amacı, kum filtrasyonu prosesinin atıksuyun dezenfeksiyonuna bir alternatif olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesidir. Elde edilen sonuçlar, kum filtrasyonunun atıksudaki partiküler maddenin azaltılması için ön arıtma olarak kabul edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, özellikle bulanıklık ve AKM'ler gibi parametreler bakımından kum filtrasyonu çıkış suyunun kalitesindeki değişkenliğin arıtılacak giriş suyunun kalitesini gerektiren UV ışını, klorlama ve ozonlama gibi dezenfeksiyon yöntemlerinin performansını etkileyebileceği belirlenmiştir. (Lazarova ve ark. 1999).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

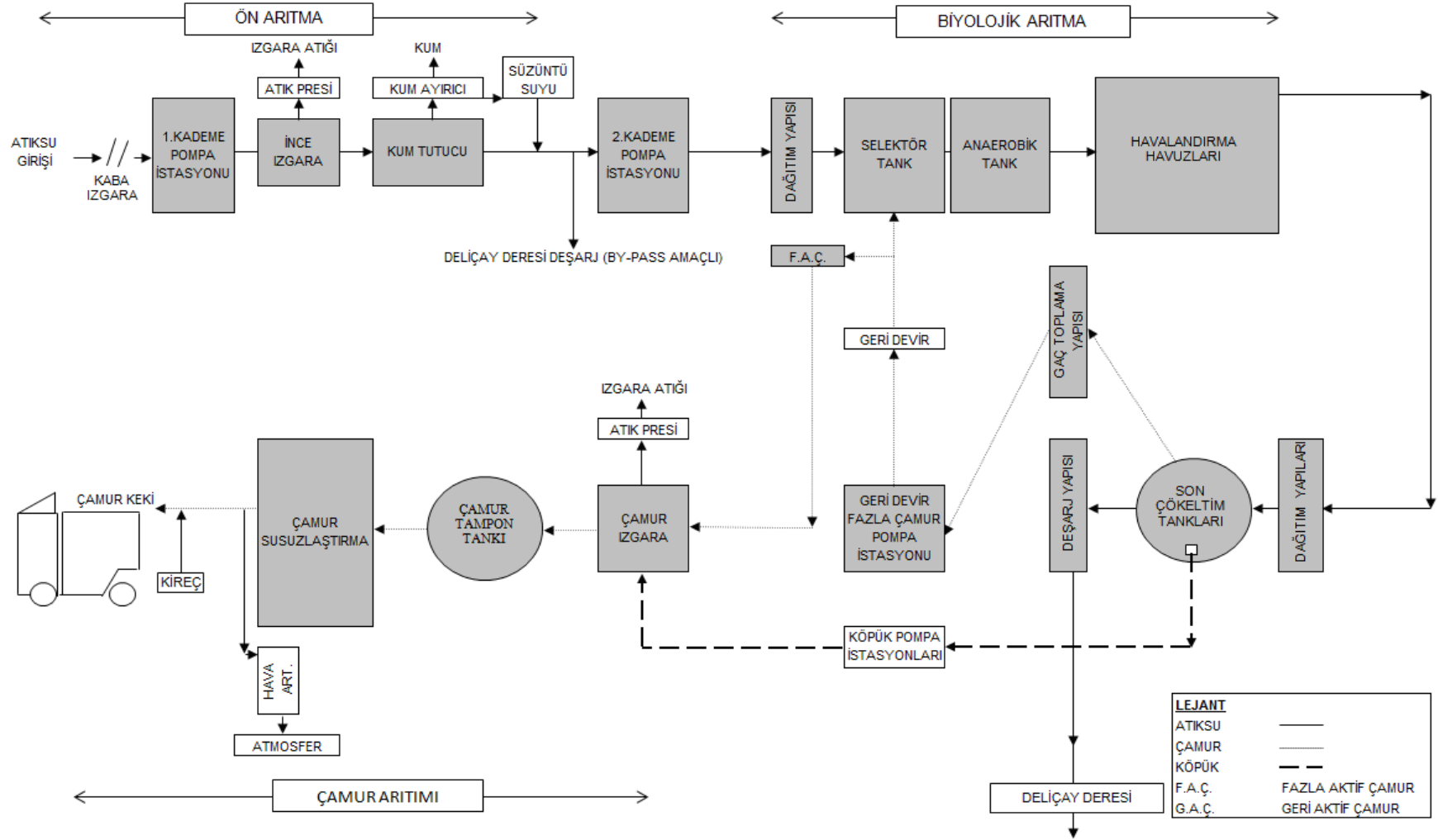
Bu çalışma kapsamında, Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisinde (BDAAT) arıtılan kentsel atıksuyun PÖİAT yardımıyla arıtılarak TASS olarak geri kazanılabilirliği araştırılmıştır. PÖİAT, HKF ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşmaktadır. BDAAT'ye gelen atıksular, hem evsel hem de küçük ölçekli işletmelerden kaynaklanan endüstriyel atıksu özelliğindedir. Bu bağlamda, tez çalışmasında kullanılan atıksu kelimesi, kentsel atıksu olarak tanımlanmıştır. PÖİAT'de yer alan arıtma ünitelerinin verimliliği, AKM, bulanıklık, organik ve inorganik kirletici parametrelerin ve ağır metal ile FC gideriminin belirlenmesi vasıtasıyla değerlendirilmiştir.

3.1.1. Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi ve atıksuyun karakterizasyonu

Bursa şehri doğu havzasının kentsel atıksularının arıtılması amacıyla yapılmış olan BDAAT, 1 650 000 eşdeğer nüfusa hizmet etmektedir ve % 100 oranında biyolojik nütrient giderimini amaçlayan 5 aşamalı Bardenfo prosesine uygun olarak inşa edilmiştir. Genel görünümü şekil 3.1'de, proses akım şeması ise şekil 3.2'de gösterilmiş olan BDAAT 240 000 m³/gün kuru hava debisini ve 351 200 m³/gün yağışlı hava debisini arıtma kapasitesine sahiptir (Anonim 2006, Anonim 2012).



Şekil 3.1. BDAAT'nin genel görünümü (Anonim 2006)



Şekil 3.2. BDAAT'nin proses akım şeması (Anonim 2006)

BDAAT’de ön arıtma sırasıyla iki kademeli burgulu pompalar, ızgara, kum tutucu ve debi ölçüm ünitelerinden oluşmaktadır. İki kademeli burgulu pompalar, Şekil 3.2’de gösterilen 1. kademe ve 2. kademe pompa istasyonlarında yer almaktadır. Her iki kademe de 3 tanesi çalışır durumda ve 1 tanesi yedek olmak üzere 4 adet burgulu pompa mevcuttur. 1 adet burgulu pompanın kapasitesi 1807 L/sn, çapı 2,55 m, uzunluğu 14,8 m, hızı \square 28 devir/dakika ve eğimi 35° ’dir. 1.kademe burgulu pompalar şekil 3.3’de gösterilmiştir. İnce ızgaralar 4 adet olup, 20 mm açıklık genişliğine, 15x50 mm çubuk boyutuna, 1 m/sn hızla sahiptir ve şekil 3.4’de gösterilmiştir. Kum tutucular 1850 L/sn kapasiteye, 10 m çapına sahiptir , > % 95 verimle çalışmaktadır ve Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Debi ölçüm ünitelerinde Şekil 3.6’da gösterilen 3 adet Parshall savağı kullanılmıştır. Şekil 3.2’de gösterilen 2. kademe pompa istasyonundan sonra bulunan debi ölçüm ünitelerinde, biyolojik arıtmaya alınan atıksu debisinin ölçümü yapılmaktadır (Anonim 2006, Anonim 2012).



Şekil 3.3. 1.kademe burgulu pompalar (Anonim 2006)



Şekil 3.4. İnce ızgaralar (Anonim 2006)

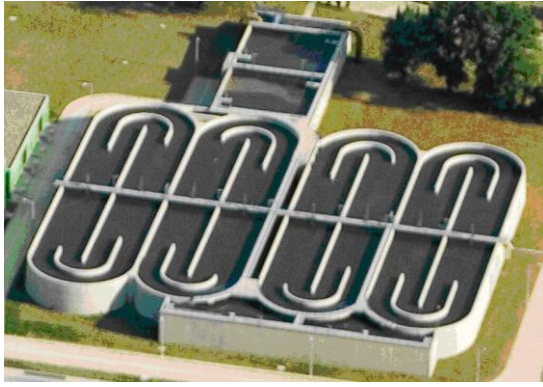


Şekil 3.5. Kum tutucular (Anonim 2006)



Şekil 3.6. Debi ölçüm ünitesi (Parshall Savağı) (Anonim 2006)

Selektör tankında ön arıtma ünitelerinden gelen atıksuyun 20 dakika havasız ortamda işletme şartlarına bağlı olarak % 80 oranında geri devir çamuru ile karıştırılması ve mikroorganizmaların prosese uygun şartlara getirilmesi sağlanmaktadır. Selektör tankının amacı, kinetik olarak filamentus bakterileri yerine flok oluşturan bakterilerin çoğalmasını sağlayarak çöktürme tanklarında şişkin çamur oluşumunu ve çamurun yavaş çökmesi gibi problemleri önlemektir. Selektör tankının verimini arttırmak için, tank herbirinde iki dalgıç karıştırıcı olan iki eşit reaktöre bölünmüştür. Anaerobik bio-fosfor tanklarında selektör tankından alınan atıksudaki fosforun havasız ortamda gerçekleşen prosesle % 88 oranında giderilmesi sağlanmaktadır (Anonim 2012). Selektör ve anaerobik biofosfor tankları şekil 3.7’de gösterilmiştir (Anonim 2006).



Şekil 3.7. Selektör ve anaerobik biofosfor tankları (Anonim 2006)



Şekil 3.8. Havalandırma tankları (Anonim 2006)

Havalandırma tankları Şekil 3.8’de gösterilmiş olup, biyolojik reaktörler olarak da adlandırılan bu ünitelerde anaerobik tanklardan $200\ 000\ \text{m}^3/\text{gün}$ debisinde alınan atıksuyun Çizelge 3.1’de gösterilen alıcı ortam deşarj standartlarına uygun arıtımı gerçekleştirilmektedir. Bu ünitelerde, her biri 4 tanktan oluşan 4 hat mevcuttur. Anaerobik tanklardan gelen atıksu önce denitrifikasyon ve BOİ gideriminin gerçekleştiği $72\ 123\ \text{m}^3$ hacmindeki birinci anoksik tankta daha sonra yüksek BOİ ve amonyak gideriminin gerçekleştirildiği $144\ 247$ hacmindeki birinci aerobik tankta, daha sonra ise $19\ 473\ \text{m}^3$ hacmindeki ikinci aerobik tankta gönderilmektedir. Bu sayede, ayrıca nitrifikasyon ve % 95 oranında BOİ giderimi sağlanır. Yoğun NO_3^- içeren atıksu birinci anoksik tankta içsel çevriminin (% 400) yapılması için ikinci aerobik tankta 3 adet içsel geri devir pompası mevcuttur. 1 adet içsel geri devir pompasının kapasitesi

1466 L/sn değerindedir. Dördüncü tank olan aerobik/anaerobik tankta ise denitrifikasyon vasıtasıyla son nitrat sıyırma işlemi yapılarak su dağıtım yapılarına yönlendirilir. Bu tanklara gerekli olan hava miktarı (biyolojik ortam için gerekli oksijen kaynağı) 153 600 Nm³/sa değerinde toplam hava kapasitesine sahip olan 5 adet blowerla (4 tanesi çalışır durumda ve 1 tanesi yedek) ve 16 000 adet difüzörle sağlanmaktadır (Anonim 2012).

Çizelge 3.1. Alıcı ortam deşarj standartları (Anonim 2006)

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)	Minimum Giderim Verimi (%)
BOİ ₅	25*	70-90*
KOİ	125*	75*
AKM	35*	90*
TN	10*	-
TP	3	-

* Not:Avrupa Topluluğu Konseyinin 21.05.1991 tarih ve 91/271/EEC sayılı direktifi

Son çöktürme tankları şekil 3.9’da gösterilmiş olup, her birinin çapı 46 metre olan 9 tanktan oluşur ve toplam yüzey alanı 14 957 m²’dir. Son çöktürme tanklarında havalandırma tanklarından alınan atıksuların durgun ortamda 2-4 saat bekletilerek, fiziksel olarak mikroorganizma kütesinin (biokati, çamur) ayrışması gerçekleştirilir. Arıtılmış su, havuz üst kenarında teşkil edilen savaklarla toplanıp, arıtılmış su yapısına yönlendirilir. Tabana çökelmiş olan mikroorganizma kütesinin (çamur) ise % 80’i geri devir pompa yapısındaki 3 adet dalgıç pompa ile tesisin başına (selektör tankına) geri devir edilir. 1 adet dalgıç pompanın kapasitesi 1800 L/sn değerindedir (Anonim 2012).



Şekil 3.9. Son çöktürme tankları (Anonim 2006)

Arıtılmış su yapısı, son çöktürme tanklarındaki arıtılmış suyun savaklarla toplandıktan sonra Deliçay Deresi'ne deşarj edilmeden önce yönlendirildiği yapıdır. Burada, arıtılmış suyun karakterizasyonunun belirlenmesi için her gün numune alınır ve BDAAT laboratuvarında rutin analizleri yapılır. Arıtılmış su yapısı, şekil 3.10'da gösterilmiştir. Arıtılmış su yapısında, 1,6 metre çapında manyetik debimetre ile arıtılmış suyun debisi ölçüldükten sonra şekil 3.11'de gösterilen 2 adet 2000 mm çaplı deşarj borusu ile Deliçay Deresi'ne deşarj edilmektedir (Anonim 2012).



Şekil 3.10. Arıtılmış su yapısı (Anonim 2006)

Şekil 3.11. Arıtılmış suyun deşarjı (Anonim 2006)

Çamur arıtma ünitelerinde, tesisin çeşitli ünitelerinde oluşan 207 ton/gün çamur işlemlere tabii tutulur. Çamur, dalgıç pompalar ile şekil 3.12'de gösterilen çamur ızgaralarından geçirilerek çamur tanklarına alınır. Çamur, çamur tanklarında homojen hale getirilir (susuzlaştırma üniteleri öncesinde). Çamurun, proses gereği anaerobik (havasız) ortama geçişini önlemek için 865 m³/sa kapasitedeki 3 adet blower ve 552 disk difüzörle havalandırılması yapılır. Çamur, çamur tanklarından pompalar ile şekil 3.13'de gösterilen çamur susuzlaştırma ünitesine alınır. Buradaki ekipmanlar (polielektrolit hazırlama ve dozajlama, belt yoğunlaştırıcılar, belt presler) ile susuzlaştırılır ve % 20 katılık oranına getirilir. Susuzlaştırılan çamura, kireç silolarından çamur miktarının % 10-15'i oranında kireç uygulaması yapılarak hem çamur istenilen katılık oranı olan % 25-30 arasında katılık oranına getirilir hem de çamurun dezenfeksiyonu sağlanır. İstenen katılık oranına getirilmiş olan çamur (çamur keki), çamur susuzlaştırma yapısından konveyör sistemi ile çıkartılır ve BDAAT'de bulunan 314 000 m³ hacime ve 115 000 m² alana sahip olan sızdırmaz kil dolgu lagünlerde depolanır (Anonim 2012).



Şekil 3.12. Çamur ızgaraları (Anonim 2006)

Şekil 3.13. Çamur susuzlaştırma ünitesi (Anonim 2006)

BDAAT'nin laboratuvarında tesisin arıtma performansını takip etmek üzere giriş-çıkış atıksuları ile her gün rutin olarak analizler yapılmaktadır. BDAAT'nin laboratuvarında ölçülmüş, 2007-2011 yılları arasındaki yıllık ortalama giriş ve çıkış değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Çizelge 3.3'de ise BDAAT'nin 2011 yılı işletme özet bilgilerinin aylık ortalama değerleri gösterilmiştir (Anonim 2012).

Çizelge 3.2. BDAAT'nin 2007-2011 ortalama giriş ve çıkış değerleri (Anonim 2012)

Yıllar	Debi (m ³ /gün)	Giriş Atıksu Ortalama Değerleri (mg/L)					Arıtılmış Su Ortalama Değerleri (mg/L)				
		KOİ	BOİ ₅	AKM	TN	TP	KOİ	BOİ ₅	AKM	TN	TP
2007	145 060	678	300	285	68	12	41	17	12	9	4
2008	177 035	530	232	205	58	11	42	16	13	10	3
2009	187 619	471	211	194	51	8	39	14	11	9	2
2010	192 160	384	158	156	39	6	35	11	9	5	1,5
2011	215 142	473	187	199	50	6	32	10	7	7	1,2

Çizelge 3.3. BDAAT ‘nin 2011 yılı işletme özet bilgilerinin aylık ortalama değerleri (Anonim 2012)

Aylar	Debi (m ³ /gün)	Atıksu Değerleri (Giriş) (mg/L)					Arıtılmış Su Değerleri (Çıkış) (mg/L)				
		KOİ	BOİ ₅	AKM	TN	TP	KOİ	BOİ ₅	AKM	TN	TP
Ocak	238 833	456	177	178	50	5,9	25	6	2	8	0,7
Şubat	203 040	557	211	241	56	6,9	25	7	2	9	1,3
Mart	247 080	554	172	179	47	5,5	47	17	9	8	1,6
Nisan	227 529	435	167	172	46	6,0	28	8	4	7	0,7
Mayıs	212 731	447	183	195	47	6,5	28	8	5	5	0,4
Haziran	214 256	435	165	197	41	5,6	31	9	5	5	0,3
Temmuz	213 722	421	180	190	41	6,0	30	9	5	6	0,9
Ağustos	204 539	469	187	209	46	6,5	26	8	5	5	0,4
Eylül	203 222	443	183	207	51	6,9	55	24	28	7	1,8
Ekim	220 447	440	175	165	50	6,7	28	11	5	8	1,9
Kasım	182 313	638	235	275	71	8,3	30	10	6	9	2,3
Aralık	229 498	495	212	187	56	6,7	28	9	8	8	2,3
2011 Yıllık Ortalama	215 142	473	187	199	50	6,4	32	10	7	7	1,2
Proje Değerleri	240 000	533	267	267	63	11	125	25	35	10	3

BDAAT’nin Çizelge 3.3’de gösterilen 2011 yılı aylık ortalama değerleri ile alıcı ortam deşarj standartları (bkz. Çizelge 3.1) sağlanmakta, fakat arıtılmış atıksuların tekrar kullanım imkanları değerlendirilmeden dereye deşarj edilmektedir. Gelecek yıllarda su ihtiyaçlarının artacağı ve su kaynaklarının korunması gerektiği göz önüne alınarak, bu çalışma kapsamında BDAAT çıkış sularının HKF ve dezenfeksiyon üniteleri ile TASS olarak tekrar kullanılabilmesi için su kalitesinin iyileştirilmesine yönelik araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

3.1.2. Pilot ölçekli ileri arıtma tesisinin karakteristikleri

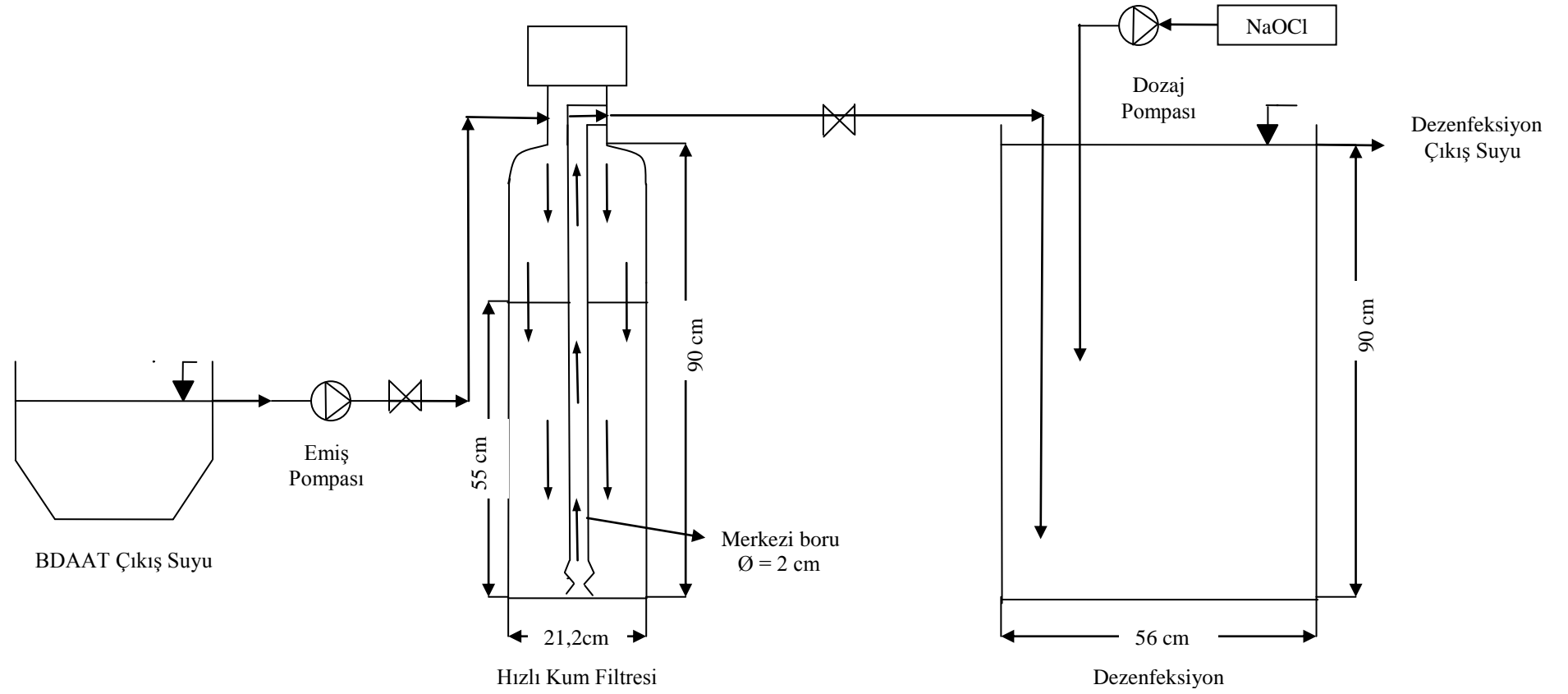
BDAAT’nin çıkış suyu (ikincil çıkış suyu) deneysel çalışmanın yürütülmesi amacıyla kullanılmıştır. PÖİAT, BDAAT’nin arıtılmış su yapısının yanında bulunmaktadır.

İkincil çıkış suyu ve PÖİAT çıkış suları pH, iletkenlik, AKM, bulanıklık, organik ve inorganik kirletici parametrelerinin belirlenmesine ve bakteriyolojik analize tabi tutulmuştur.

PÖİAT atıksudaki AKM, bulanıklık ve organik ve inorganik kalıntı kirleticilerin ek gideriminin, atıksuyun dezenfeksiyonunun sağlanması ve atıksudaki salınımların elimine edilebilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Dolayısıyla, geri kazanılan atıksuyun Türkiye’de arıtılmış atıksuların sulamada tekrar kullanımı için gerekli olan Sınıf A SS kriterlerine (Anonim 2010) uygun hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Filtrasyon ve dezenfeksiyona dayanan üçüncül arıtma ünitesi, 0,18 m³/sa debiye sahip PÖİAT vasıtasıyla test edilmiştir. BDAAT’nin ikincil çıkış suyu, pilot ölçekli tesise emiş pompası vasıtasıyla temin edilmiştir. Emiş pompası, Obl markalı 260 L/sa değerinde çalışma kapasitesine ve 8,5 barlık maksimum çalışma basıncına sahip bir pompadır. Dezenfeksiyondan önce ikincil çıkış suyu HKF’ye yönlendirilmiştir. PÖİAT’nin akış şeması şekil 3.14’de gösterilmektedir.

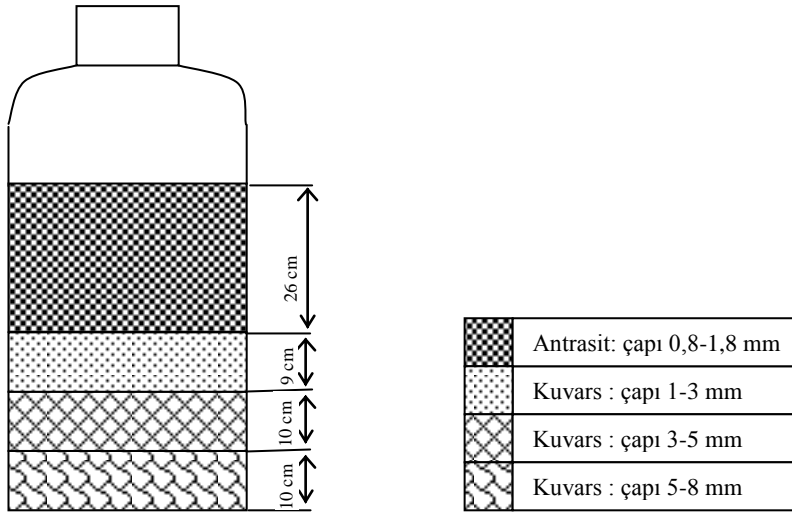
Numuneler, BDAAT’nin ikincil çıkış suyu ve pilot ölçekli tesis çıkış suyu olmak üzere fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analiz için ayda iki defa alınmıştır. Numune alımları Mart 2011’den Ekim 2011’e kadar 8 aylık periyot boyunca gerçekleştirilmiş ve 16 adet çıkış suyu numuneleri elde edilmiştir.



Şekil 3.14. PÖİAT'nin akış şeması

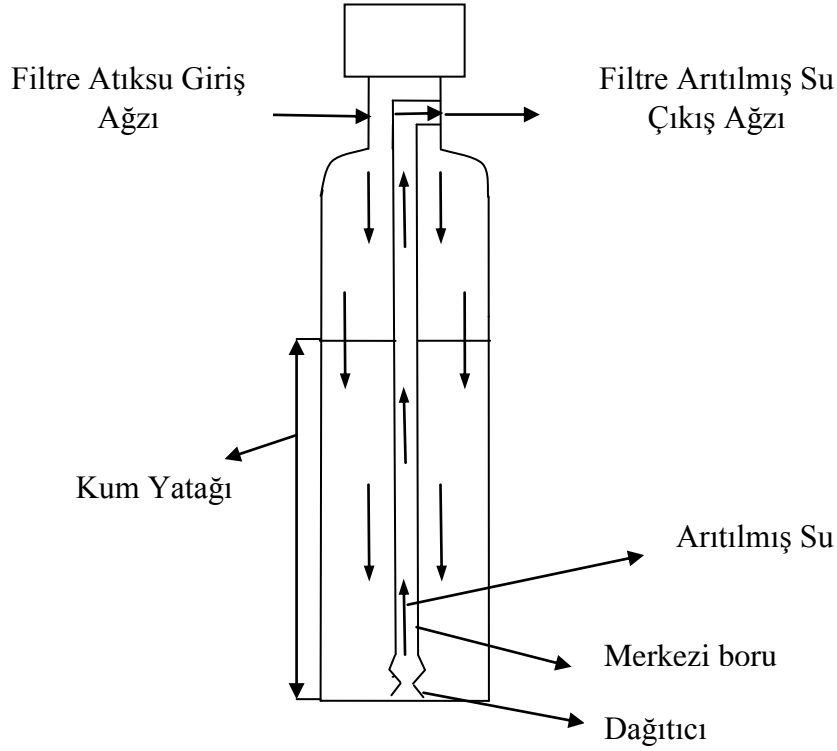
3.1.2.1. Hızlı kum filtresi

Filtrasyon, 0,8-1,8 mm'lik antrasit üstte ve sırasıyla 1-3, 3-5, 5-8 mm'lik kuvars kumu altta olmak üzere iki tabakadan oluşan, yerçekimi etkisiyle çalışan silindirik bir HKF vasıtasıyla sağlanmıştır. HKF, 21,2 cm'lik kolon çapına ve 90 cm'lik kolon yüksekliğine sahiptir. Filtre kolonu, içerisinde üst tabakadan alt tabakaya doğru sırasıyla 0,8-1,8 mm çapında antrasit 26 cm, 1-3 mm'lik kuvars 9 cm, 3-5 mm'lik kuvars 10 cm, 5-8 mm'lik kuvars 10 cm kalınlığa sahip olacak şekilde dizayn edilmiştir. Üstte 35 cm'lik boş bir alan sistemin havalandırılmasını kolaylaştırmak için bırakılmıştır. Şekil 3.15'de HKF'nin kum tabakalarının ayrımının gösterimi gösterilmektedir.



Şekil 3.15. HKF'nin kum tabakalarının ayrımının gösterimi

HKF içerisindeki suyun akışı şekil 3.16'da gösterilmiştir. İkincil çıkış suları, kum filtresinin üst giriş ağzına beslenmiştir ve aşağıya doğru dağıtım kanalları içerisinde eşit bir şekilde dağıtılmaktadır. Filtrasyon bölgesinde, atıksuyun kum yatağı boyunca üst tabakadan alt tabakaya doğru akışı gerçekleşir ve arıtılmış filtrat olarak dağıtıcıya giriş yapmaktadır. Arıtılmış suyun kum kolonu ortasında bulunan merkezi boru içerisinde yukarıya filtre çıkış ağzına doğru akışı gerçekleşmektedir.



Şekil 3.16. HKF içerisinde suyun akışı

HKF, 6 m/sa'lik ortalama filtrasyon hızı sağlayacak şekilde işletilmiştir. Filtrenin geri yıkanması, şehir şebekesi suyunun basıncından faydalanılarak haftada iki saat olmak üzere manuel olarak yürütülmüştür. Sodyum hipoklorit (NaOCl), HKF'den sonra HKF'nin çıkış suyunun etkili bir şekilde dezenfeksiyonun sağlanabilmesi için dozaj pompası vasıtasıyla temin edilmiştir. Dozaj pompası, Tekna Evo markalı, 5 L/sa'lik çalışma kapasitesine ve 10 barlık çalışma basıncına sahip bir pompadır.

3.1.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler ve cihazlar

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında yürütülen deneylerde kullanılan cihazlar aşağıda sıralanmıştır:

- VELP-Scientifica marka FC6S Model Jar Test Cihazı (Milan, İtalya)
- Hach HQ40d (Hach Co, Loveland, Co, Usa) çoklu ölçüm cihazı

- 0,45 µm cam elyaf filtre kâğıdı (Whatman 934 AH, Gelman A/E, Milipore AP40)
- Hach 2100P turbidimetre
- AKM süzme seti
- Nüve Marka Es 500 Model İklimlendirme Dolabı
- Hach DR5000 UV-Vis spektrofotometre (Co, Usa)
- BOI Track II cihazı
- Cem Marka Mars 5 Modeli Mikrodalga Cihazı
- Varian Marka Vista-MPX Model ICP
- Katalog numarası 900-Q30-002, seri numarası SC0019251 (Science, Lasalle, Quebec) çoklu element standardı
- Labconco Marka WaterPro PS 9000503 model ultra saf su cihazı
- % 5 HNO₃
- 100 mL'lik steril cam şişeler
- FC analizi için steril cam tüpleri
- FC analizi için Merck marka A1 besi yeri
- FC analizi için Oxoid marka ringer solution (seyreltme suyu)
- Gaz oluşumunun belirlenebilmesinde kullanılan tüpler
- Nüve marka OT 4060 model otoklav
- Sartorius marka hassas terazi
- NH₃ analizi için Hach marka hazır çözeltiler
- Otomatik pipetler
- Dezenfektan optimizasyon deneylerinin yürütülmesi için NaOCl (% 15 aktif klor) ve PAA (% 40) dezenfektanları

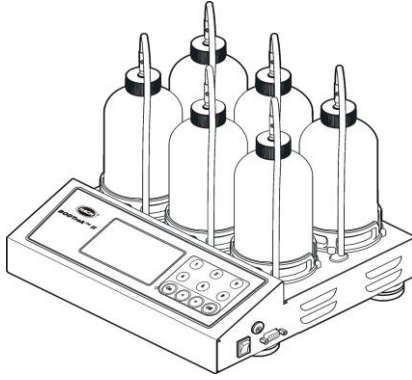
3.2. Yöntem

3.2.1. Analitik ölçüm yöntemleri

İkincil çıkış suyundan ve HKF ve dezenfeksiyon ünitelerinden alınan arıtılmış atıksu numuneleri pH, iletkenlik, AKM, bulanıklık ve organik ve inorganik kirletici parametrelerin ve ağır metal ile FC analizine tabi tutulmuştur. İletkenlik ve pH, Hach

HQ40d (HACH Co, Loveland, CO, USA) çoklu ölçüm cihazı kullanılarak, iletkenlik/toplam çözünmüş madde ölçer ve pH-metre ile ölçülmüştür.

AKM, su ve atıksuyun belirlenmesi için ilgili standart metotlara bağlı olarak analiz edilmiştir (Apha 1998). BOİ₅ analizi için manometrik metot, 5 gün için 20°C'de çalıştırılan şekil 3.17'de gösterilen Hach BOI Track II cihazı vasıtasıyla yürütülmüştür. Cihaz, bir su numunesi içinde organik maddeyi parçalayan bakterilerin tükettiği oksijen miktarını ölçmektedir. Hach DR5000 UV-Vis spektrofotometre (CO, USA) PO₄⁻², NO₃⁻, KOİ, NH₃, SO₄⁻² ve kalıntı klor belirlenmesi için kullanılmıştır. Bulanıklık, Hach 2100P turbidimetre kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 3.17. BOI Track II cihazı

SAR, SS'nin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biridir. SAR, suyun sodyum ya da benzer alkaliler açısından zararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Her bir numunenin SAR değeri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır. Konsantrasyonlar, meq/L cinsindedir (Singh ve ark. 2005).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{+2} + Mg^{+2})}{2}}} \quad (3.1)$$

Toplanan numunelerdeki Ca⁺², Mg⁺² ve Na⁺ iyonları ve metal konsantrasyonları ICP-AES kullanılarak analiz edilmiştir. Zn, Mn, Cu, Pb, Fe, Ni, Al ve Cr metallerinin

konsantrasyonu belirlenmiştir. Şahitler, standart kalibrasyon çözeltileri ve toplanan numuneler bir otomatik örnekleyici içerisindeki tüpler içerisine konulmuştur ve cihaz kullanılarak okunmuştur. Analizlerde uygulanan standart kalibrasyon çözeltileri metaller için 0,05, 0,1, 0,25, 0,5 and 1 mg/L konsantrasyonlarında ve iyonlar için 0,2, 0,1, 0,05, 0,025, 0,01 mg/L konsantrasyonlarında hazırlanmıştır. Numune konsantrasyonu daha yüksek olursa, kalibrasyon çözelti konsantrasyonları 1, 2, 5 and 10 mg/L olarak hazırlanmıştır. Şahitler, Milli-Q'dan (Millipore Co.) üretilmiş ultra saf su içerisine % 5 HNO₃ eklenerek hazırlanmıştır.

Kalite kontrolleri, 221 ölçüm cihazının uyumunun sağlanabilmesi için onaylı sıvı numunelerle (çoklu element standardı katalog numarası 900-Q30-002, seri numarası SC0019251 Science, Lasalle, Quebec) yürütülmüştür. Miktarı belli olan limitler Pb için 3 µg/L; Cr, Cu, Mn ve Zn için 5 µg/L, Ni için 20 µg/L; Fe için 100 µg/L ve Al için 200 µg/L şeklindedir. Onaylı sıvı numuneler % 1 ve 10 arasında ayarlanmış olan analitik doğruluğunun kontrol edilmesi için kullanılmıştır.

Bakteriyolojik analiz için, su numuneleri 100 mL'lik steril cam şişeler içerisinde toplanmıştır ve toplandıktan sonra derhal analiz edilmiştir. FC, sadece fekal kirlilik indikatörü olmayıp, aynı zamanda klasik atıksu çıkış sularında yüksek sayılarda bulunduğundan suyun bakteriyolojik kalitesinin belirlenmesi FC'nin ölçümüne dayanmaktadır (Koivunen ve ark. 2003). FC analizi, su ve atıksuyun belirlenmesi için ilgili standart metotlara bağlı olarak yürütülmüştür (Apha 1998).

3.2.2. Dezenfeksiyon deneysel çalışmaları

Dezenfektan optimizasyon jar testi, HKF'nin çıkış suyuyla laboratuvar ortamında şekil 3.18'de gösterilen jar testi düzeneği kullanılarak yürütülmüştür. NaOCl (% 15 aktif klor) ve PAA (% 40) dezenfektanları optimizasyon deneyleri için kullanılmıştır. Filtrelenmiş su, ikincil çıkış suyunun hızlı kum filtrasyonu prosesinden elde edilmiştir. 500'er mililitre filtrelenmiş su bulunan 3 adet beher içerisine 1,2 ve 3 mg/L dozlarında NaOCl konulmuştur. Daha sonra, çözeltiler 30 dakika boyunca 30 devir/dakika hızında karıştırılmıştır. Paletler çekilerek, dezenfekte edilmiş numuneler alınmış ve FC giderim

verimlerinin değerlendirilmesi için analiz edilmiştir. Aynı aşamalar, 1,2 ve 3 mg/L' lik PAA dezenfektan dozları için de yrtlmştir. Laboratuvar-lekli dezenfektan optimizasyon deneyleri, PİAT'nin çalıştırılması için eklenmesi gereken dezenfektan türünün ve konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla yrtlmştir.



şekil 3.18. Dezenfektan optimizasyon çalışmalarında kullanılan jar test düzeneği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kentsel atıksuyun TASS olarak geri kazanılabilirliğinin araştırılması kapsamında, pilot ölçekli çalışma boyunca (8 aylık periyot boyunca) belirlenen ikincil çıkış suyunun (BDAAT çıkış suyunun) karakterizasyonu Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Pilot ölçekli çalışma boyunca belirlenen BDAAT çıkış suyunun karakterizasyonu

Parametre	Birim	BDAAT Çıkış Suyu
pH	-	7,76 ± 0,16
Bulanıklık	NTU	3,1 ± 0,5
AKM	mg/L	6,42 ± 2,09
İletkenlik	µS/cm	908 ± 14
KOİ	mg/L	29 ± 3,66
BOİ ₅	mg/L	9,56 ± 1,50
NH ₃	mg/L	0,56 ± 0,14
NO ₃ ⁻	mg/L	2,36 ± 0,87
PO ₄ ⁻²	mg/L	0,65 ± 0,58
SO ₄ ⁻²	mg/L	90,13 ± 4,88
Ca ⁺²	mg/L	64,84 ± 5,35
Mg ⁺²	mg/L	13,10 ± 0,47
Na ⁺	mg/L	101,91 ± 2,94
SAR	-	3,01 ± 0,42
Zn	µg/L	146,35 ± 57,1
Mn	µg/L	27,07 ± 3,64
Cu	µg/L	15,89 ± 9,88
Pb	µg/L	74,157 ± 66,63
Fe	µg/L	437,54 ± 127,50
Ni	µg/L	28,52 ± 37,71
Al	µg/L	156,38 ± 80,95
Cr	µg/L	6,32 ± 1,31
FC	EMS/100 mL	1,6x10 ⁵ ± 1,9x10 ⁴

BDAAT çıkış suyunun karakterizasyonu ile Türkiye’de arıtılmış atıksuların sulamada tekrar kullanımı için gerekli olan Sınıf A SS kriterlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Sınıf A, ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerinin ve park, bahçe gibi kentsel alanların sulanması için gerekli olan SS kriterlerini kapsamaktadır.

Çizelge 4.2. BDAAT çıkış suyunun karakterizasyonu ile Sınıf A SS kriterlerinin karşılaştırılması

Parametre	Birim	BDAAT Çıkış Suyu	Sınıf A (Anonim 2010)
pH	-	7,76 ± 0,16	6-9
Bulanıklık	NTU	3,1 ± 0,5	< 2 ^a
AKM	mg/L	6,42 ± 2,09	< 5 ^b
İletkenlik	µS/cm	908 ± 14	< 700 ^c
BOİ ₅	mg/L	9,56 ± 1,50	< 20
Kalıntı Klor	mg/L	0,03±0,01	> 1 ^{d,e}
FC	EMS/100 mL	1,6x10 ⁵ ± 1,9x10 ⁴	0/100 ^{f,g}

^a Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiçbir durumda 5 NTU'yu geçmemelidir.

^b Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.

^c I. sınıf sulama suyu kimyasal kalite kriterlerinde ifade edilmiştir.

^d Arıtılmış atık su dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0,5 mg/L' nin üzerinde olmalıdır.

^e Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri karakterize etmektedir.

^f 7 günlük ortalama değerleri karakterize eder.

^g FC değeri hiçbir zaman 14 adet/100 mL'yi geçmemelidir.

Atıksudaki mevsimsel değişimler ve hava şartlarından dolayı, Çizelge 4.1'de gösterilen ikincil çıkış suyunda kirletici parametrelerin gideriminde (özellikle FC) geniş bir salınım görülebilmektedir. Çizelge 4.1 ve 4.2'de açıkça görüldüğü gibi, BDAAT'nin çıkış suyunun kalitesinin sulamada geri kazanım açısından geliştirilmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, tez çalışması kapsamında PÖİAT vasıtasıyla geri kazanılan atıksuyun Türkiye'de arıtılmış atıksuların sulamada tekrar kullanımı için gerekli olan Sınıf A SS kriterlerine uygun hale getirilmesi hedeflenmiştir. PÖİAT çıkış sularından alınan numuneler analiz edilmiştir ve sonuçlar ikincil kentsel çıkış suyunun kalitesinin gelişiminde HKF'nin performansının ve dezenfeksiyonun etkinliğinin belirlenmesi için değerlendirilmiştir.

4.1. Hızlı Kum Filtresinin Verimi

İkincil çıkış suyu yaklaşık olarak 0,18 m³/sa debiyle PÖİAT'nin HKF ünitesine giriş yapmaktadır. Çizelge 4.3, ikincil çıkış suyunun ve HKF çıkış sularının fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik kirletici parametreler için analizinden elde edilen sonuçları özetlemektedir.

Çizelge 4.3. İkincil çıkış suyunun ve HKF'den sonra arıtılmış çıkış suyunun karakterizasyonu

Parametre	Birim	İkincil çıkış suyu	HKF'den sonra arıtılmış çıkış suyunun karakterizasyonu
pH	-	7,76 ± 0,16	7,68 ± 0,09
Bulanıklık	NTU	3,1 ± 0,5	1,19 ± 0,15
AKM	mg/L	6,42 ± 2,09	1,55 ± 0,84
İletkenlik	µS/cm	908 ± 14	911 ± 13
KOİ	mg/L	29 ± 3,66	19,86 ± 2,60
BOİ ₅	mg/L	9,56 ± 1,50	4,33 ± 0,49
NH ₃	mg/L	0,56 ± 0,14	0,26 ± 0,07
NO ₃ ⁻	mg/L	2,36 ± 0,87	3,47 ± 1,46
PO ₄ ⁻²	mg/L	0,65 ± 0,58	0,22 ± 0,14
SO ₄ ⁻²	mg/L	90,13 ± 4,88	66,04 ± 8,20
Ca ⁺²	mg/L	64,84 ± 5,35	65,2 ± 6,46
Mg ⁺²	mg/L	13,10 ± 0,47	13,56 ± 0,44
Na ⁺	mg/L	101,91 ± 2,94	100,94 ± 3,74
SAR	-	3,01 ± 0,42	3,25 ± 0,55
Zn	µg/L	146,35 ± 57,1	69,82 ± 14,75
Mn	µg/L	27,07 ± 3,64	25,35 ± 9,37
Cu	µg/L	15,89 ± 9,88	11,08 ± 5,33
Pb	µg/L	74,157 ± 66,63	23,48 ± 4,85
Fe	µg/L	437,54 ± 127,50	195,31 ± 43,39
Ni	µg/L	28,52 ± 37,71	12,80 ± 7,46
Al	µg/L	156,38 ± 80,95	114,69 ± 61,05
Cr	µg/L	6,32 ± 1,31	3,02 ± 1,21
FC	EMS/100mL	1,6x10 ⁵ ± 1,9x10 ⁴	1,4x10 ⁵ ± 9,8x10 ⁴

Çizelge 4.3, ikincil çıkış suyunun karakteristiğinin FC gibi bazı parametreler açısından geniş bir salınım gösterdiğini ifade etmektedir. İkincil arıtılmış çıkış suyunun

kalitesindeki bu değişkenlik, giriş atıksuyunun akışındaki ve karakteristiğindeki günlük ya da mevsimsel değişimlerden ortaya çıkan bir problemden kaynaklanabilmektedir. Analiz edilen parametreler açısından, ikincil çıkış suyunun karakteristiği HKF çıkış suyundan daha fazla değişkenlik göstermiştir. Bu bağlamda, filtrasyon aktif çamur ünitesinin performansı ve ikincil çıkış suyunun kalitesinin salınımları tarafından etkilenmeyen stabil kaliteye sahip çıkış suyunun üretimi için tamamlayıcı bir arıtma adımı olarak kabul edilebilmektedir (Tchobanoglous ve ark. 2003).

HKF, ikincil çıkış suyundan kirletici parametrelerin gideriminde önemli bir rol oynamıştır. Çizelge 4.3'e göre, HKF AKM'de kayda değer bir giderim elde etmiştir. AKM'nin % 76 ortalama giderimi belirlenmiştir. Bu giderim verimi, tekrar kullanım için ikincil kentsel atıksuyun kum filtrasyonundan sonra Hamoda ve arkadaşları (2004) tarafından elde edilen oldukça yüksek bulanıklık giderimine karşılık gelen % 70 olan AKM giderim verimliliğiyle uyumlu olmuştur. Chen ve arkadaşlarına (1998) göre, giriş suyunda 2,9 NTU'dan daha düşük bulanıklık olması ve çift filtre malzemesine sahip basınçlı filtre kullanılması durumunda AKM'de ortalama % 67– 75 giderim beklenmektedir. Daha düşük bir AKM giderim verimliliği (yaklaşık olarak % 50), geri kazanılmış ikincil atıksuyun tarımsal alanda tekrar kullanımı için HKF ve UV ışınının kombinasyonundan oluşan arıtma alternatifini uygulayan Illueca ve arkadaşları (2008) tarafından tespit edilmiştir.

Ortalama değeri 3,1 NTU olan ikincil çıkış suyunun bulanıklığı HKF'den sonra 1,2 NTU'ya azalmıştır. Bu azalma, ikincil çıkış suyundan % 62 bulanıklık giderimine karşılık gelmektedir. Bu giderim, Van Nieuwenhuijzen ve De Koning (1999) tarafından filtrasyondan sonra belirlenen ikincil çıkış suyunun bulanıklığının % 60 giderimiyle uyum sağlamıştır. Petala ve arkadaşları (2006) kum filtrasyonundan sonra ikincil kentsel çıkış suyundan yaklaşık olarak % 45 bulanıklık giderimi elde etmiştir. Daha düşük bulanıklık giderim kapasiteleri (yaklaşık olarak % 15) Jimenez ve arkadaşları (2000) tarafından yüksek bir katı madde ve organik madde miktarına sahip olan birincil arıtılmış çıkış suyunun kum filtrasyonu boyunca bulunmuştur.

HKF içerisinde kirleticilerin giderimi temel olarak kum taneleri tarafından süzme mekanizmasından dolayıdır (Sekaran ve ark. 2007). HKF tarafından ikincil çıkış suyundan KOİ ve BOİ₅ giderimi sırasıyla % 32 ve % 55 olmuştur. Organik maddenin bu giderimi, AKM'lerin kayda değer giderimiyle ilişkilendirilmektedir. Benzer bir % 38 KOİ ve % 54 BOİ₅ giderim verimi tekrar kullanım için ikincil kentsel atıksuyun kum filtrasyonundan sonra Hamoda ve arkadaşları (2004) tarafından elde edilmiştir. Daha düşük KOİ ve BOİ₅ giderim verimliliği (sırasıyla % 13 ve % 38) anaerobik arıtılmış çıkış suyunun kum filtrasyonundan sonra Sekaran ve arkadaşları (2007) tarafından elde edilmiştir.

Kayda değer giderim kapasitelerinin yanı sıra HKF, NH₃ miktarını % 54'e, PO₄⁻² miktarını % 66'ya ve SO₄⁻² miktarını % 27'ye kadar azaltmıştır. Buna rağmen, Çizelge 4.3'de gösterildiği gibi NO₃⁻ miktarında küçük bir artış meydana gelmiştir. NO₃⁻ miktarındaki bu artış, HKF içerisinde N içeren organik maddenin oksidasyonundan kaynaklanabilmektedir. Sekaran ve arkadaşları (2007) anaerobik arıtılmış çıkış suyunun kum filtrasyonundan sonra NO₃⁻ giderimi elde edememiştir.

USEPA (2004) gibi uluslararası standartlar göz önünde bulundurularak, metaller ve iz elementler için ulusal standartlar (Anonim 2010) geliştirilmiştir. Çizelge 4.3'de gösterildiği gibi, ikincil çıkış suyundaki ağır metallerin konsantrasyonları düşüktür ve HKF çıkış suyundaki ağır metallerin miktarları ikincil çıkış suyundan çok daha düşük olmuştur. Sonuç olarak, HKF çıkış suyunun ağır metaller için ortalama değerleri hem ulusal hem de uluslararası yönetmeliğe göre gerekli olan SS standartlarına uyum sağlamaktadır. Ağır metaller için HKF'nin giderim verimliliği değerlendirildiğinde, en etkili ve kayda değer giderimler Pb (% 68), Fe (% 55), Ni (% 55), Zn (52%) ve Cr (% 52) için elde edilmiştir. Daha düşük giderim verimleri ise Cu (% 30), Al (% 27) ve Mn (% 6) için belirlenmiştir. Ağır metallerin ve diğer maddelerin giderimi, özellikle filtre edilebilir (süzülebilir) maddenin filtrasyonu ile ilişkilendirebilmektedir. Filtrasyonda temel amaç, AKM gideriminin sağlanmasıdır. AAT çıkış suyunda, bu gibi AKM'ler temel olarak organik kirletici maddeleri ve suda çözünmeyen metal komplekslerini içerebilmektedir (Van der Graff ve ark. 2001). Çözünmüş organik madde ve çamur flokları, ağır metal iyonlarıyla kompleksler oluşturabilen zayıf asitler

olarak tanımlanmaktadır. Ağır metallerin giderimi, genellikle zayıf asidik bileşikler olarak ortaya çıkan filtre edilebilir organik maddenin varlığıyla ilişkilendirilebilmektedir (Wang ve ark. 1998, Wang ve ark. 2000).

Çizelge 4.3’de gösterildiği gibi, klasik atıksu arıtımı enterik mikroorganizmaların sayısını azaltmaktadır, fakat arıtma proseslerinden kaynaklanan giderimler geniş bir farklılık gösterebilmektedir ve atıksu çıkış suları hala FC’lerin yüksek sayılarını içerebilmektedir. Kouivunen ve arkadaşları (2003) mikroorganizmaların büyük bir sayısının çöktürme prosesiyle giderilemediğini, çöktürülmüş çamurdan serbest kaldığını ve ikincil arıtılmış çıkış suyunda serbest halde olup, alıcı ortamlara deşarj edildiğini ifade etmektedir. HKF tarafından FC giderimi, geniş bir sapmayla % 13 olmuştur. Bu sapma, ikincil çıkış suyundaki FC miktarının değişkenliğinden kaynaklanmıştır. Bununla bağlantılı olarak, HKF’den elde edilen çıkış suyunun kalitesi, arıtılacak giriş suyunun kalitesiyle bağlantılı olabilmektedir (Illueca ve ark. 2008). HKF tarafından elde edilen % 13’lük FC gideriminde, AKM’nin (% 76) kayda değer giderimi rol oynamıştır. Çünkü, mikrobiyal floklar ikincil biyolojik arıtmayı takip eden baskın askıda katılardır (Tchobanoglous ve ark. 1991). AKM’nin varlığı, aktif çamur prosesindeki çamur floklarındaki enterik mikroorganizmaların konsantrasyonlarıyla bağlantılı olmaktadır (Kayser ve ark. 1987, ISO 1993).

4.2. Dezenfeksiyon Ünitesinin Verimi

Laboratuvar ölçekli dezenfeksiyon çalışmalarının sonuçları, Çizelge 4.4’de gösterilmiştir. Ulusal yönetmelikte FC için bir kriter belirtildiğinden, dezenfektanların giderim verimlilikleri FC için araştırılmıştır.

Çizelge 4.4. PAA ve NaOCl farklı dozlarıyla HKF’nin çıkış sularının dezenfeksiyonu sonucunda elde edilen FC için giderim verimlilikleri

Parametre	Dezenfektanlar					
	NaOCl (mg/L)			PAA (mg/L)		
	1	2	3	1	2	3
FC (%)	97,86	99,99	99,99	93,47	99,92	99,94

Çizelge 4.4’de gösterildiği gibi, 30 dakikalık temas süresinden sonra 1,2 ve 3 mg/L’lik PAA’nın ve NaOCl’in farklı dozlarıyla HKF çıkış sularının dezenfeksiyonu sonucunda ikincil çıkış suyundan kayda değer bir FC giderimi elde edilmiştir. FC giderim verimleri, 2-3 mg/L NaOCl dozları için benzer (% 99,99) olmuştur. 2-3 mg/L PAA dozları için FC giderim verimlerinde ise çok az bir farklılık mevcuttur. Çizelge 4.4’de gösterildiği gibi farklı dezenfektanların giderim verimleri benzer olmuştur. Maliyet açısından NaOCl PAA’dan çok daha uygun olduğundan, PÖİAT’nin çalıştırılmasında NaOCl dezenfektanı kullanılmıştır. Ayrıca, farklı NaOCl dozlarıyla elde edilen serbest klor konsantrasyonları Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. EPA serbest klor limitlerine dayanılarak, PÖİAT’nin dezenfeksiyon ünitesi için optimum NaOCl dozu 2 mg/L olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı NaOCl dozlarına bağlı olarak serbest klor konsantrasyonları

Parametre	İkincil çıkış suyu	HKF çıkış suyu	NaOCl		
			1 mg/L	2 mg/L	3 mg/L
Serbest Klor (mg/L)	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,09±0,02	0,42±0,11	0,97±0,28

PÖİAT’den sağlanan HKF ve dezenfeksiyon ünitelerinin giderim verimi ve dezenfeksiyon ünitesi suyunun karakterizasyonu SS için gerekli olan ulusal ve uluslararası standartlarla Çizelge 4.6’da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.6. Her bir arıtma adımından sonra elde edilen giderim verimleri ve dezenfeksiyon ünitesi suyunun karakterizasyonunun geçerli TASS yönetmelikleriyle karşılaştırılması

Parametre	Birim	HKF Giderim Verimi (%)	Dezenfeksiyon Giderim Verimi (%)	Dezenfeksiyon Ünitesi Suyunun Karakterizasyonu	Ulusal Yönetmelik Sınıf A (Anonim 2010)	Ulusal Yönetmelik Sınıf B (Anonim 2010)	USEPA (Anonim 2004)
pH	-	-	-	7,8 ± 0,09	6-9	6-9	-
Bulanıklık	NTU	62	-	1,22 ± 0,19	< 2 ^a	-	2
AKM	mg/L	76	25	1,16 ± 0,33	< 5 ^b	< 30	5 ^b
İletkenlik	µS/cm	-0,3	-2	934 ± 13,5	< 700 ^c	-	-
KOİ	mg/L	32	10	17,98 ± 2,29	-	-	-
BOİ ₅	mg/L	55	20	3,47 ± 0,26	< 20	< 30	10
NO ₃ ⁻	mg/L	- 47	11	3,1 ± 1,18	-	-	-
PO ₄ ⁻²	mg/L	66	18	0,18 ± 0,05	-	-	-
SO ₄ ⁻²	mg/L	27	11	58,85 ± 7,61	-	-	-
SAR	-	-	-	5,29 ± 0,83	-	-	-
Kalıntı Klor	mg/L	-	-	0,42 ± 0,15	> 1 ^{d,e}	> 1 ^{d,e}	1
FC	EMS/100 mL	13	99,995	7,67 ± 0,58	0/100 ^{f,g}	< 200/100 ^{f,h}	-

^a Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiçbir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir.

^b Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.

^c I. sınıf sulama suyu kimyasal kalite kriterlerinde ifade edilmiştir.

^d Arıtılmış atık su dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0,5 mg/L'nin üzerinde olmalıdır.

^e Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri karakterize etmektedir.

^f 7 günlük ortalama değerleri karakterize eder.

^g FC değeri hiçbir zaman 14 adet/100 mL'yi geçmemelidir.

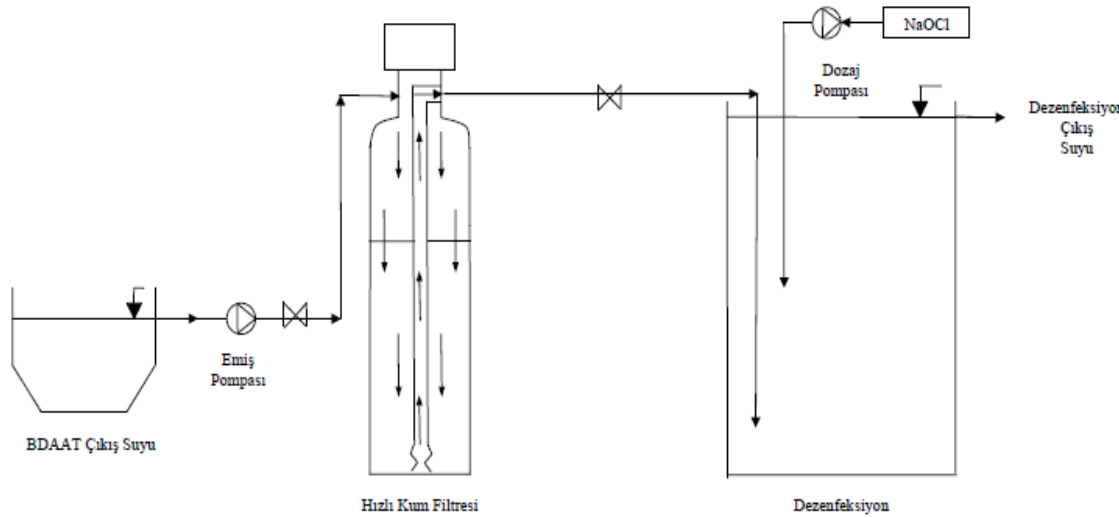
^h FC değeri hiçbir zaman 800 adet/100 mL'yi geçmemelidir.

Çizelge 4.6'dan açıkça görüldüğü gibi, PÖİAT'nin çıkış suyu (dezenfeksiyon çıkış suyu), ulusal SS yönetmeliğinin Sınıf B kriterlerini (Anonim 2010) rahatlıkla karşılamaktadır. Sınıf B, meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ticari olarak işlenen gıda ürünleri, çim üretimi ve kültür tarımı gibi ve otlak hayvanları için mera sulamasında kullanılan SS için gerekli kriterleri kapsamaktadır. Sınıf A ise, ham olarak direkt olarak tüketilebilen her türlü gıda ürününün ve parklar gibi halka açık her türlü yeşil alanın sulaması için gerekli olan kriterleri içermektedir. Şekil 4.1'de, PÖİAT'nin üniteleri tarafından elde edilen giderim verimleri ve tarımsal açıdan önemli parametreler bakımından dezenfeksiyon çıkış suyu değerlerinin sınıf A SS kriterleri ile karşılaştırılması akış diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Yürütülen pilot ölçekli çalışmada kullanılan HKF, ulusal yönetmelikte sınıf A kriterlerinin sağlanması için üçüncül arıtma sistemi olarak önerilen bir filtrasyon ünitesidir. Çizelge 4.6'da gösterildiği gibi, sınıf A kriterlerinde bulanıklığın tavsiye edilen miktarının (< 2 NTU) dezenfeksiyondan önce sağlanması gerektiği ifade edilmektedir. HKF, ikincil çıkış suyunun bulanıklığını 3,1 NTU'dan 1,19 NTU'ya azaltarak tavsiye edilen miktarı sağlamıştır. HKF ve dezenfeksiyon kombinasyonu, ikincil çıkış suyunun bulanıklık ve AKM değerlerini Sınıf A için uygun hale getirmiştir. Dezenfeksiyon çıkış suyunun ortalama FC değeri 7,67 EMS/100 mL olarak belirlenmiştir. Bu değer, sınıf A'da belirtilmiş 0/100 mL'den yüksek olmasına rağmen, dezenfeksiyon çıkış suyunda bulunan FC'nin ortalama değerleri 14 adet/100 mL'yi hiçbir numunede geçmemiştir. İletkenlik, I. sınıf SS kimyasal kalite kriterlerinde (< 700) önerilen değerden daha yüksek olmuştur. Bu daha yüksek iletkenlik değerinden dolayı, dezenfeksiyon ünitesi çıkış suları iletkenlik bakımından II.sınıf (700-3000) kritere (bkz. Çizelge 2.4) uyum sağlamaktadır. Dezenfeksiyon çıkış suyunun SAR değeri, yönetmeliğe göre (bkz. Çizelge 2.2) yaprak döken meyve ağaçları, turunçgiller, avokado gibi çok hassas bitkilerin sulanmasını etkileyebilecek seviyededir. Tuzluluk, sudaki veya topraktaki tuzların toplu olarak gösterilmesidir ve TÇM şeklinde ölçülmektedir. Dezenfeksiyon çıkış suyundaki TÇM miktarı 598 mg/L olduğundan, yönetmelikte belirtildiği gibi bu çıkış suyu fasulye, havuç, soğan, badem ve portakal gibi hassas bitkilerin (bkz. Çizelge 2.5) sulanmasında bile faydalanılabilir. Ayrıca, dezenfeksiyon çıkış suyu analiz edilmiş ağır metaller açısından (bkz. Çizelge 2.3) yönetmelikle uyum sağlamaktadır.

Giriş Suyu Değerleri
pH = 7,76
Bulanıklık = 3,1 NTU
AKM = 6,42 mg/L
BOİ ₅ = 9,56 mg/L
KOİ = 29 mg/L
Kalıntı Klor = 0,03 mg/L
FC = 1,6 x 10 ⁵ EMS/100mL

HKF Giderim Verimi
Bulanıklık = % 62
AKM = % 76
BOİ ₅ = % 55
KOİ = % 32
FC = % 13

Dezenfeksiyon Giderim Verimi
Bulanıklık = -
AKM = % 25
BOİ ₅ = % 20
KOİ = % 10
FC = % 99,995



Dezenfeksiyon Çıkış Suyu Değerleri	Sınıf A SS Kriterleri
pH = 7,8	pH = 6-9
Bulanıklık = 1,22 NTU	Bulanıklık = < 2 NTU
AKM = 1,16 mg/L	AKM = < 5 mg/L
BOİ ₅ = 3,47 mg/L	BOİ ₅ = < 20 mg/L
KOİ = 17,98 mg/L	KOİ = -
Kalıntı Klor = 0,42 mg/L	Kalıntı Klor = > 1 mg/L ^a
FC = 7,67 EMS/100 mL	FC = 0/100 mL ^b

Giriş suyu ve dezenfeksiyon çıkış suyu değerleri, ortalama değerleri ifade etmektedir. ^a Arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0,5 mg/L'nin üzerinde olmalıdır. ^b FC değeri hiçbir zaman 14 adet/100 mL'yi geçmemelidir.

Şekil 4.1. PÖİAT'nin üniteleri tarafından elde edilen giderim verimlerinin akış diyagramı üzerinde gösterilmesi

WHO yönetmeliği sınırsız sulama için (pişirilmeden tüketilen ürünleri kapsayan kullanımlar) 1000 FC/100 mL (Anonim 2004) kriterinin sağlanması şart koşmaktadır. İkincil çıkış suyunun HKF ve dezenfeksiyon arıtma kombinasyonu ile ileri derecede arıtıldıktan sonra WHO yönetmeliğini sağladığı açık bir şekilde görülmektedir.

Üstün ve arkadaşları (2011), sulama amacıyla ikincil kentsel çıkış suyunun tekrar kullanımı için koagülasyon-flokülasyon-dezenfeksiyonu kapsayan üçüncül arıtma tesisini araştırmıştır. AKM, KOİ, bulanıklık ve FC için en yüksek giderim verimleri sırasıyla % 64, % 39, % 81 ve 4 logluk giderim olarak belirlenmiştir. Üçüncül arıtılmış çıkış suyunun sulama için ulaşılabilir bir su kaynağı olduğu gösterilmiştir.

Illueca ve arkadaşları (2008), ikincil atıksuyun TASS olarak tekrar kullanımı için çöktürme, kum filtrasyonu ve UV ışınından oluşan arıtma alternatifini uygulamıştır. Bu kombinasyon, FC için % 99,8'lik giderim verimi sağlamıştır ve ikincil çıkış suyundan sağlanan bu FC giderimi tarımsal sulamada tekrar kullanım için gerekli olan WHO yönetmeliğine uygun olmuştur.

Liberti ve Notarnicola (1999), West Bari (İtalya) atıksu arıtma tesisinde tarımsal alanda tekrar kullanım için geri kazanılmış atıksuyun elde edilmesinde çöktürme, kum filtrasyonu ve PAA ile dezenfeksiyondan oluşan kombinasyonu araştırılmıştır. Dezenfekte edilmiş çıkış suyu, pH, AKM, BOİ, KOİ ve SAR parametreleri için tarımsal alanda atıksuyun tekrar kullanımında gerekli olan İtalyan standartlarını karşılamıştır. AKM konsantrasyonunun ≤ 10 mg/L'ye filtrasyonunun PAA dezenfeksiyon oranının geliştirilmesi için gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

4.3. Arıtma Maliyeti

Maliyet analizi, atıksu arıtımında önemli bir husustur. Toplam maliyet, ilkyatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin toplamını kapsamaktadır. Gerçek ölçekli bir sistem için, maliyetler büyük oranda kirleticilerin yapısına ve konsantrasyonlarına, çıkış suyunun debisine ve reaktörün yapısına bağlı olmaktadır (Esplugas ve ark. 2002). Maliyetlerin hesaplanması, üçüncül arıtma için uygulanan arıtma proseslerinin işletme maliyetleri göz önünde bulundurularak gerçekeştirilmiştir. PÖİAT'nin işletme maliyetini, her bir

arıtma prosesinin işletimi için gerekli enerji sarfiyatları, pompalama gereksinimleri ve sarf malzemeleri için gerekli maliyetleri kapsamaktadır. Enerji tüketimi, ikincil çıkış suyunun HKF ünitesine ve dezenfektanın dezenfeksiyon ünitesine pompalanması için gerekli elektrik tüketimini kapsamaktadır. Sarf malzemeleri için gerekli maliyetleri, dezenfeksiyonda kullanılan NaOCl'nin maliyeti ve HKF ünitesinin geri yıkanmasında gerekli olan temiz su maliyetini kapsamaktadır. HKF'nin geri yıkanması haftalık olarak gerçekleştirilmiştir. PÖİAT haftada otuz saat işletilmiştir. Hesaplanan işletme maliyetleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir. PÖİAT'nin arıtma maliyeti yaklaşık olarak 0,063 \$/m³ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. PÖİAT'nin işletme maliyetleri

Faktörler	Birim	Birim maliyet (\$)	Arıtma maliyeti (\$/m³)
NaOCl (15%)	L	0,39	0,00546
Elektrik	kW/h	0,13	0,018
Geri yıkama için temiz su maliyeti	L	1,5	0,04
Toplam arıtma maliyeti ^a	(\$/m ³)		0,063

^aİş gücü ve çamur bertarafı maliyetini içermemektedir.

Çizelge 4.7'de gösterildiği gibi, üçüncül arıtılmış çıkış suyu düşük maliyetli bir su kaynağı temin etmiştir. Maliyet açısından HKF ikincil çıkış sularının tekrar kullanım kriterlerinin karşılanmasında en ucuz ve en güvenilir uygulama olma özelliğini sürdürmektedir (Aronino ve ark. 2009). Yürütülen deneysel çalışma sonucunda, üçüncül arıtılmış çıkış suyunun özellikle su sıkıntısının yoğun olarak yaşandığı kurak yaz mevsimlerinde SS ihtiyacının karşılanmasında yeterli kaliteye sahip ucuz bir su kaynağı özelliği taşıdığı belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında, HKF ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşan 0,18 m³/saatlik giriş debisine sahip PÖİAT vasıtasıyla BDAAT'den gelen ikincil kentsel çıkış suyunun TASS olarak geri kazanılabilirliği araştırılmıştır. İkincil kentsel çıkış suyundan, HKF ve dezenfeksiyon ünitelerinden alınan arıtılmış atıksu numuneleri fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mikrobiyolojik kirletici parametrelerin belirlenmesine tabi tutulmuştur. Bu çalışmada, BDAAT'nin çıkış suyunun karakterizasyonu (bkz. Çizelge 4.1) kapsamlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Pilot ölçekli tesisten çıkan suyun karakterizasyonu ise son yönetmelik olan (Anonim 2010) Sınıf A SS'yi karakterize eden pH, bulanıklık, AKM, iletkenlik, BOİ₅, kalıntı klor ve FC olmak üzere toplam 7 adet parametre üzerinden değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlara dayanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

BDAAT çıkış değerleri ile alıcı ortam deşarj standartları sağlanmaktadır. Fakat arıtılmış atıksuların tekrar kullanım imkanları değerlendirilmeden Deliçay deresine deşarj edilmektedir. Türkiye'de çiğ olarak tüketilen gıda ürünlerinin ve halka açık alanların sulanmasında arıtılmış atıksuların tekrar kullanımı için gerekli olan Sınıf A SS kriterleri ile BDAAT çıkış suyu karakterizasyonu karşılaştırıldığında, ikincil çıkış suyunun kalitesinin tarımsal sulamada tekrar kullanım açısından geliştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Bu bağlamda, HKF ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşan PÖİAT'nin etkinliği, atıksudaki AKM, bulanıklık ve organik ve inorganik kalıntı kirleticilerin gideriminin, atıksuyun dezenfeksiyonunun sağlanması ve atıksudaki salınımların elimine edilebilmesi amacıyla araştırılmıştır.

HKF, atıksudan kirleticilerin giderilmesinde önemli bir rol oynamıştır. HKF ile AKM ve bulanıklıkta kayda değer bir giderim elde edilmiştir. AKM'de % 76 ve bulanıklıkta % 62 ortalama giderim sağlanmıştır. HKF tarafından elde edilen KOİ ve BOİ₅ giderim yüzdeleri sırasıyla % 32 ve % 55 olmuştur. Organik maddenin bu giderimi AKM'nin kayda değer giderimiyle ilişkilendirilmektedir. Aynı zamanda, HKF NH₃'ü % 54'e kadar ve PO₄⁻²'yi % 66'ya kadar azaltmıştır. HKF'nin ağır metaller için giderim verimi araştırıldığında, en etkili ve kayda değer giderimler Pb (% 68), Fe (% 55), Ni (% 55), Zn (% 52) ve Cr (% 52) için belirlenmiştir. Ağır metallerin bu giderimi,

genellikle organik kirleticileri ve suda çözünmeyen metal komplekslerini içeren AKM'lerin ve zayıf asidik bileşikler olarak ortaya çıkan filtre edilebilir organik maddenin giderimiyle ilişkilendirilmektedir.

Dezenfektan optimizasyon çalışmaları sonucunda PÖİAT'de 2 mg/L dozunda NaOCl kullanılmıştır. Dezenfeksiyon prosesinden sonra, FC için % 99,995 giderim verimi elde edilmiştir ve ikincil çıkış suyundaki FC miktarı tarımsal sulamada tekrar kullanım için gerekli WHO kriterinin altına indirilmiştir. Aynı zamanda, PÖİAT çıkış suyunun ortalama değerleri sulama için gerekli olan USEPA standartlarıyla da uyum sağlamıştır.

HKF ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşan kombinasyon, ikincil çıkış suyundaki AKM ve bulanıklık değerlerini Türkiye'de geçerli SS yönetmeliğinin Sınıf A kriterleri için uygun hale getirmiştir. FC ve iletkenlik ulusal sulama yönetmeliğinden daha yüksek olmuştur. Dezenfeksiyon çıkış suyunun ortalama FC değeri 7,67 EMS/100 mL olarak belirlenmiştir. Bu değer, Sınıf A'da belirtilmiş 0/100 mL'den yüksek olmasına rağmen, FC'nin ortalama değerleri 14 adet/100 mL'yi hiçbir numunede geçmemiştir. İlave olarak, PÖİAT çıkış suyundaki 5,29 olan SAR değerinin, değişik bitkilerin SS'de bulunan sodyuma toleransı (bkz. Çizelge 2.2) çok hassas bitkiler için bile kullanılabilir aralıkta (2-8) kaldığını göstermektedir.

HKF, ikincil çıkış suyunun kalitesini tarımsal sulamada tekrar kullanım kriterlerine uygun hale getirerek ucuz bir su kaynağı temin etmiştir. Aynı zamanda kum filtreleri kimyasal çamur formasyonu probleminin ortaya çıkmasına neden olmamaktadır. Bu gibi unsurlar, ileri derecede arıtılmış kentsel atıksuyunun sulama amacıyla tekrar kullanımını Türkiye'de su kaynaklarının gelişimi için ekonomik ve çevreye dost bir seçenek haline getirmektedir.

Gerçekleştirilen tez çalışması sonucunda HKF ve dezenfeksiyon ünitelerinin kombinasyonundan oluşan PÖİAT çıkış suyunun devamlı olarak takibi ve kontrolü sağlanarak çiğ olarak tüketilen gıda ürünlerinin ve halka açık alanların sulanmasında kullanılabilmesi belirlenmiştir. Ayrıca, bu üçüncül arıtılmış çıkış suyu özellikle su kıtlığının yaşandığı kurak yaz mevsimlerinde SS ihtiyacının karşılanmasına katkı

sağlayabilen kaliteye sahip bir su kaynağı özelliği taşımaktadır. Gelecek yıllarda su ihtiyaçlarının artacağı ve su kaynaklarının korunması gerektiği göz önüne alındığında, atıksuyun geri kazanımı ve tekrar kullanımı amacıyla yürütülen çalışmaların ve uygulamaların yaygınlaştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Adin, A., Elimelech, M. 1989. Particle filtration in wastewater irrigation. *Journal Irrigation and Drainage Eng. ASCE*, Vol 115, No 3, pp: 474-487.

Adin, A., Rubinstein, L., Zilberman, A. 1989. Particle characterization in wastewater effluents in relation to filtration and irrigation. *Filtration & Separation*, Vol 26, No 4, pp: 284-287.

Adin, A. 1998. Physicochemical mechanisms in treatment processes for water reuse. Chapter 5 in: Asano, T (ed.), Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster.

Akal Solmaz, S. K., Üstün, G. E., Birgül, A., Taşdemir, Y. 2007a. Treatability studies with chemical precipitation and ion exchange for an organized industrial district (OID) effluent in Bursa, Turkey. *Desalination*, 217(1-3): 301-312.

Akal Solmaz, S. K., Üstün, G. E., Birgül, A. 2007b. Regeneration of industrial district wastewater using a combination of Fenton process and ion exchange. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(2): 425-440.

Alaton, I.A., Tanik, A., Ovez, S., Iskender, G., Gurel, M., Orhon, D. 2007. Reuse potential of urban wastewater treatment plant effluents in Turkey: a case study on selected plants. *Desalination* 215: 159-165.

Alemayehu, Z., 2012. Filtration. Addis Ababa University. <http://aaucivil.files.wordpress.com/2010/10/wt-chapter-6-2.pdf> (Erişim tarihi: 26.09.2012).

Andreadakis, A. 1993. Physical and Chemical Properties of Activated Sludge Floc. *Water Research*, Vol 27, No 12, pp: 1707-1714.

Angelova, V., İvanov, Delibaltova, K. 2004. Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops. *Ind. Crops Prod.*, Vol 19, pp: 197-205.

Anonim, 1973. WHO 1973. Reuse of effluents: methods of wastewater treatments and health safeguards. Technical Report Series 517, Geneva.

Anonim, 1989. WHO 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical Report Series 778, Geneva.

Anonim, 1991. Council Directive of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment (91/271/EEC). <http://did.ormansu.gov.tr/did/Files/91-271-EEC.pdf>- (Erişim tarihi: 25.09.2012).

Anonim, 2004. U.S. Epa, 2004. Guidelines for water reuse: Manual US Environmental Protection Agency and US Agency for Int. Development. Report EPA/625/R-04/108, Cincinnati, Ohio.

Anonim, 2006. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi. <http://www.buski.gov.tr/DoğuAtıksu.aspx> (Erişim tarihi: 10 Temmuz 2012).

Anonim, 2010. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Resmi Gazete, Sayı: 27527.

Anonim, 2012. Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi İşletme Raporları 2012, Bursa.

Apha 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, American Water Works Association, and Water Environment Federation, Washington, D.C., USA.

Asano, T., Levine, A.D. 1996. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future. *Water Sci. Technol.*, 33 (10–11), 1–14.

Awwa (American Water Works Association) and Asce 1990. Wastewater Treatment Plant Design, 2nd edition. McGraw-Hill, USA, pp: 235-237.

Ayers, R.S., Westcot, D.W. 1985. Irrigation water quality criteria. In: Pettygrove, G.S., Asano, T. (Eds.). *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater—A Guidance Manual*. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Mi.

Ayers, R.S., Westcot, D.W. 1989. Water quality for agriculture. *Irrigation and Drainage Paper* No. 29. FAO, Rome.

Barnes, D., Bliss, P.J., Gould, B.W. and Vallentine, H.R. 1981. Water and Wastewater Engineering Systems, Pitman Publishing, Marshfield, Mass.

Blumenthal, U.J., Mara, D.D., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G., Stott, R. 2000. Guidelines for the Microbiological Quality of Treated Wastewater Used in Agriculture: Recommendations for Revising WHO Guidelines. *WHO Bull.* 78(9):1104-16. WHO, Geneva.

Bond, WJ. 1998. Effluent irrigation –an environmental challenge for soil science. *Aust. J. Soil Res.*, 36, pp: 543-555.

Botti, P., Viridis, A., Solinas, G., Buscarinu, P., Ferralis, M., Marras, G., Spanu, P., Vacca, S. 2009. Reclamation and agricultural reuse of wastewater: the experience of the Cagliari sewage treatment plant (Sardinia, Italy). *Water science and technology* 59(1): 65-72.

Bouwer, H. 1996. Issues in artificial recharge. *Wat. Sci. Technol.*, 33(10–11): 381– 390.

Büyükyıldız, M. 1997. Kum ve çakıl filtre modelleri ile Konya ana tahliye kanalı sularının arıtılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, Konya.

Coşkun, T., 2012. Filtrasyon. Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/debik_41296050405025178deaa05a3afb3ac1.pdf (Erişim Tarihi: 27.09.2012).

Dendooven, R., Fuentes, E., Lucho-Constantino, C., Escamilla-Silva, E., L. 2002. ‘Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time’, *Bioresour. Technol.*, 85 (2): 179-187.

Dobrowolski, J., O’Neill, M., Duriancik, L., Throwe, J., 2008. Opportunities and challenges in agricultural water reuse. Final report. p. 89, USDA-CSREES.

Eroğlu, V. 1995. Su Tasfiyesi. İTÜ İnşaat Fak. Matbaası, İstanbul, syf: 175-190

Feachem, R.G., Bradley, D. J., Garelick, H., Mara, D.D. 1983. World sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management by Bank Studies. In *Water Supply Sanitation Vol. 3*, Chichester, UK: John Wiley & Son.

Gerba, C.P., Rose, J.B. 2003. International guidelines for water recycling: microbiological considerations. *Water Sci. Technol. Water Supply*, 3 (4): 311–316.

Gomez, M., Plaza, F., Garralon, G., Perez, J., Gomez, M.A. 2007. A comparative study of tertiary wastewater treatment by physico-chemical-UV process and macrofiltration–ultrafiltration technologies. *Desalination (science direct)*, 202:369–376.

Halliwell, D.J., Barlow, K.M., Nash, D.M. 2001. A review of the effects wastewater sodium on soil properties and their implications for irrigation systems. *Aust. J. Soil Res.*, 39: 1259-1267.

Hamoda, M.F., Al-Ghusain, I., Al-Mutairi, N.Z. 2004. Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse. *Desalination*, 164: 203–211.

Henze, M. 1992. Characterization of wastewater for modelling of activated sludge processes. *Water Science and Technology*, Vol 25, No: 6, pp: 1-15.

Huisman, L. 1996. Rapid filtration. Report, Delft, The Netherlands.

Illueca-Munoz, J., Mendoza-Roca, J.A., Iborra-Clar, A., Bes-Pia, A., Fajardo-Montanana, V., Martinez-Francisco, F.J., Bernacer-Bonora, I. 2008. Study of different alternatives of tertiary treatments for wastewater reclamation to optimize the water quality for irrigation reuse,. *Desalination 222*: 222–229.

Koivunen, J., Siitonen A., Heinonen-Tanski, H. 2003. Elimination of enteric bacteria in biological–chemical wastewater treatment and tertiary filtration units. *Water Res.*, 37: 690–698.

Kretschmer, N., Ribbe, L., Gaese, H. 2002. Wastewater Reuse for Agriculture: Technology Resource Management and Development. *Scientific Contributions for Sustainable Development*, vol: 2, pp: 28.

- Landa, H., Capella, A., Jimenez, B. 1997.** Particle size distribution in an effluent from an advanced primary treatment and its removal during filtration. *Wastewater Science and Technology*, 36:159-165.
- Lawler, D.F., Benjamin, M.M. 2008.** Granular medium filtration. Summer School on Particle Separation in Delft, the Netherlands.
- Liberti, L., Lopez, A., Notarnicola, M. 1999.** Disinfection With Peracetic Acid for Domestic Sewage Re-Use in Agriculture. *J.Ciwem*, 262-269.
- Lubello, C., Gori, R., Paolo Nicese, F., Ferini, F. 2004.** Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. *Water Research*, 38: 2939–2947.
- Maas, E.V., Grattan, S.R. 1999.** Crop yields as affected by salinity. In: R.W. Skaggs and J. Van Schilfgaarde (eds) *Agricultural Drainage*. American Society of Agronomy, Madison, WI; Agronomy No.38, pp:55-108.
- Miska-Markusch, V. 2009.** Effluent filtration for more than particle removal. Gildeprint Drukkereijzen b.v., Enschede, The Netherlands, 255 pp.
- Montgomery, J. 1985.** *Water Treatment Principles and Design*. John Wiley and Sons Inc., New York, USA, 152-169 pp.
- Onat, M. 2001.** İçme suyu hızlı kum filtresinin zeki kontrolü. *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Oron, G., Goemans, M., Manor, Y., Feyen, J. 1995.** Poliovirus distribution in the soil–plant system under reuse of secondary wastewater. *Water Res.*, 29 (4):1069–78.
- Oster, J.D., Grattan, S.R. 2002.** Drainage water reuse. *Irrigat. Drain. Syst.*, 16 (4): 297–310.
- Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., José Alarcón, J., Koukoulakis, P., Asano, T. 2010.** Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Managemet*, 97:1233–1241.
- Pettygrove, G.S., Asano, T. 1985.** *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater—A Guidance Manual*. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Mi.
- Qadir, M., Noble, A.D., Oster, J.D., Schubert, S., Ghafoor, A. 2005.** Driving forces for sodium removal during phytoremediation of calcareous sodic and saline-sodic soils: a review. *Soil Use Manage.*, 21 (2): 173–180.
- Rhoades, J.D. 1999.** Use of saline drainage water for irrigation. In: Skaggs, R.W., Van Schilfgaarde, J. (Eds.), *Agricultural Drainage*. American Society of Agronomy/ Crop Science Society of America/Soil Science Society of America, Madison,WI.

- Salgot, M., Pascual, A. 1996.** Existing guidelines and regulations in Spain on wastewater reclamation and reuse. *Water Sci. Technol.*, 34 (1996): 261–267.
- Salgot, M., Verge's, C., Angelakis, A.N. 2003.** Risk assessment in wastewater recycling and reuse. *Water Sci. Technol. Water Supply* 3(4): 301–309.
- Singh, A.K., Mondal, G.C., Singh, P.K., Singh, S., Singh, T.B., Tewary, B.K. 2005.** Hydrochemistry of reservoirs of Damodar River basin, India: weathering processes and water quality assessment. *Environmental Geology*, 48 (8):1014-1028.
- Sonune, A., Ghate, R. 2004.** Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167 (2004): 55–63.
- Sperling, M., Chernicharo, C.A.L. 2002.** Urban wastewater treatment technologies and the implementation of discharge standards in developing nations. *Urban Water*, 4(1): 105–114.
- Stowa 1996a.** Methods of influent characterisation – inventory and guidelines. Report 96-08 (in Dutch), Utrecht, The Netherlands.
- Stowa 2006.** Filtratietechnieken RWZI's (Filtration techniques at WWTPs). Report No 21, in Dutch, Utrecht, The Netherlands.
- Tarchitzky, J., Golobati, Y., Keren, R., Chen, Y. 1999.** Wastewater effects on montmorillonite suspensions and hydraulic properties of sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63: 554-560.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., Stensel, H.D. 1991.** Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, 3rd ed. Metcalf & Eddy, McGraw-Hill, New York.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., Stensel, H.D. 2002.** Wastewater Engineering. Metcalf & Eddy, McGraw Hill, Columbus, OH, USA.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., Stensel, H.D. 2003.** Wastewater Engineering-Treatment, Disposal and Reuse. Metcalf & Eddy, Inc., USA.
- Uslu, O., Şengül, F. 1984.** Endüstride Su Arıtımı. Sagem yayını, D.E.Ü., İzmir.
- Üstün, G.E., Akal Solmaz, S.K., Çiner, F., Başkaya, H.S. 2011.** Tertiary treatment of a secondary effluent by the coupling of coagulation-flocculation-disinfection for irrigation reuse. *Desalination*, 277: 207-212.
- Van der Graaf, J.H.J.M. 1996.** Treatment of wastewater II, Lecture notes, Section Water Management, Sanitary and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering at Delft University of Technology, The Netherlands.
- Van Nieuwenhuijzen, A.F. 2002.** Scenario Studies into Advanced Particle Removal in the Physical-Chemical Pre-treatment of Wastewater. PhD thesis, Delft, The Netherlands.

Vigneswaran, S., Sundaravadivel, M. 2004. Recycle and Reuse of Domestic Wastewater, in Wastewater Recycle, Reuse and Reclamation. [Ed. Saravanamuthu (Vigi) Vigneswaran], in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK.

Westcott, D.W., Ayers, R.S. 1985. Water Quality for agriculture, Food and Agricultural Organisation of the United Nations, FAO İrrigation and Drainage, Paper 29, Rome, İtaly.

Yazgan, S., 2008. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü. Uludağ Üniversitesi, <http://www20.uludag.edu.tr/~tys/sulama-tum.pdf>. sulama ve drenaj-(Erişim tarihi: 01. 10.2012).

Yıldız, H. 2001. İçme suyu arıtımında doğal maddelerin kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim dalı, Konya.

EKLER

Ek 1. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atık suların sınıflandırılması (Anonim 2010)

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi ^a	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi ^b
Sınıf A				
a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri ¹ b-Kentsel alanların sulanması				
a)Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	İkincil arıtma ^c Filtrasyon ^d Dezenfeksiyon ^e	-pH= 6-9 -BOİ ₅ < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTU ^f -FC = 0/100 mL ^{g,h} -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor >1 mg/L ⁱ	Haftalık Haftalık Sürekli Günlük	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
b)Her türlü yeşil alan sulaması (parklar, golf sahaları vb.)			Sürekli	
<p>Açıklamalar:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tarımsal sulamada tavsiye edilen ağır metal analizlerine dikkat edilmelidir. -Standartları sağlamak üzere filtrasyon öncesinde koagülant ilavesi yapılabilir. -Geri kullanılacak arıtılmış atıksu renksiz ve kokusuz olmalıdır. -Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir. -Arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0,5 mg/L' nin üzerinde olmalıdır. -Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir. -Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir. 				

Ek 1. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atık suların sınıflandırılması (devam)

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi ^a	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi ^b
Sınıf B				
a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri ^m		b-Girişi kısıtlı sulama alanları		c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan ürün
a) Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması b) Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler c) Otlak hayvanları için mera sulaması	İkincil arıtma ^c Dezenfeksiyon ^e	-pH=6-9 -BOİ ₅ < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -FC < 200 adet/100 mL ^{g,j,k} -Bakiye klor > 1 mg/L ⁱ	Haftalık Haftalık Günlük Günlük Sürekli	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. -Yağmurlama sulama yapılıyorsa halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede
-Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde gözönünde bulundurulmalıdır. Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Püskürtmeli sulama yapılıyor ise AKM < 30 mg/L olmalıdır. -Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, FC değeri en fazla 14 adet/100 mL olabilir.				

^a Aksi belirtilmedikçe, arıtılmış atıksu kalitesini belirtmektedir.

^b Su kaynaklarını ve dolayısıyla insanları arıtılmış atıksuyun etkisinden korumak için konulmuş bir sınırlamadır.

^c İkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırılmalı lagünleri vb içerebilir.

^d Kum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir.

^e Dezenfektant olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz.

^f Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiçbir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.

^g 7günlük ortalama değerleri karakterize eder.

^h FC değeri hiçbir zaman 14 adet/100 mL'yi geçmemelidir.

ⁱ Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri karakterize etmektedir.

^j FC değeri hiçbir zaman 800 adet/100 mL'yi geçmemelidir.

^k Stabilizasyon havuzları FC değerini dezenfeksiyon olmadan da sağlayabilir.

^l İleri arıtma uygulanmalıdır.

^m Ticari olarak işlenen gıda ürünleri, halka satılmadan önce patojen mikroorganizmaların öldürülmesi için fiziksel veya kimyasal bir işlemden geçirilen ürünlerdir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeliha TALİPOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Gotze Deltohev/Bulgaristan, 27.08.1987
Yabancı Dili : İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : İzmit Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :
İletişim (e-posta) : zelihatalipoglu@gmail.com
Yayınları*