




**T.C.**
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# KENTSEL ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI VE YEŞİL ALANLARIN SULANMASINDA YENİDEN KULLANIMI: KONYA KENTİ ÖRNEĞİ

**Hatice KURTKULAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Şubat - 2014**
**KONYA**
**Her Hakkı Saklıdır**

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

## KENTSEL ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI VE YEŞİL ALANLARIN SULANMASINDA YENİDEN KULLANIMI: KONYA KENTİ ÖRNEĞİ

**Hatice KURTKULAK**

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç.Dr.Bilgehan NAS**

**2014, 103 Sayfa**

**Jüri**
**Danışman: Doç.Dr. Bilgehan NAS**
**Prof. Dr. Ali BERKTAY**
**Prof. Dr. Refik UYANÖZ**

Evsel atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynakları problemlerini çözmek için etkili bir yol sağlar. Geri kazanılmış suların, sulama için yeniden kullanımı önemlidir. Konya atıksu arıtma tesisi (AAT) 200.000 $m^3$/gün kapasiteyle 2010'da devreye girmiştir. Konya AAT çıkış suyunun ileri arıtmadan sonra yeniden kullanımı, kentsel yeşil alanların sulanması (peyzaj alanı vb.) için tasarlanmıştır.

Arıtılmış atıksuların geri kazanımı üçüncül arıtma sistemleriyle mümkün olmaktadır. Üçüncül arıtma sistemleri: Çok katmanlı kum filtre (MMF), Mikrofiltrasyon (MF), Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF) ve Ters ozmos (RO) kullanılmaktadır. Konya AAT'de 2$m^3$/sa kapasiteli bir pilot ileri arıtma tesisi kurulmuştur. Pilot tesiste; Multimedya Filtrasyon (MMF), Mikrofilitrasyon (MF), Ultrafiltrasyon (UF), ön-klorlama, son-klorlama ve UV dezenfeksiyon alternatifleri uygulanmıştır. Sulama suyu için teknik ve ekonomik olarak en uygun sistem seçilmeye çalışılmıştır.

Pilot tesis işletme verileri kullanılarak Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) tarafından atıksuların yeniden kullanımı için 3600 $m^3$/gün kapasiteli ileri arıtma tesisi inşa edilmiştir.

Gerçek ölçekli atıksu geri kazanım tesisi; ön klorlama, koagülant dozu, kum filtresi, UV dezenfeksiyon ve son klorlamadan oluşmaktadır. Birinci kademede, 24 km geri kazanılmış su dağıtma şebekesi (mor şebeke) sınırlı kentsel yeşil alanların sulanması için inşa edilmiştir. Geri kazanılmış su dağıtma şebekesi Türkiye'deki ilk uygulamadır.

Tezde; pilot ölçekli ve tam ölçekli ileri atıksu geri kazanım tesisi işletme verileri tartışılmıştır. Türkiye'nin arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusundaki mevzuatı çerçevesinde pilot ölçekli ve tam ölçekli tesiste fekal koliform, bulanıklık, $BOİ_5$, ve bakiye klor izlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İleri atıksu arıtımı, Atıksu Geri Kazanımı, Çok Katmanlı Kum Filtre, Yeniden Kullanım, UV dezenfeksiyon.

## ABSTRACT

## MS THESIS

## REUSE OF URBAN WASTEWATERS TREATMENT PLANT EFFLUENT AND ITS APPLICATION FOR OF LANDSCAPED AREA IRRIGATION: A CASE STUDY IN KONYA (TURKEY)

**Hatice KURTKULAK**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY**
**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc.Prof.Dr. Bilgehan NAS**

**2014, 103 Pages**

**Jury**
**Advisor :Assoc. Prof.Dr. Bilgehan NAS**
**Prof. Dr. Ali BERKTAY**
**Prof. Dr. Refik UYANÖZ**

Municipal wastewater reclamation and reuse provides an effective way to solve water resource problems in arid and semi-arid regions. Reclaimed water is major reuse for irrigation. Konya municipal wastewater treatment plant (WWTP) has a capacity of 200.000 $m^3$/day in 2010, was put into operation. Reuse of Konya WWTP effluents was intended for irrigation of urban green areas (landscaping area, etc.) after the advanced treatment.

Reuse of treatment wastewater is possible with tertiary treatment system. Tertiary treatment systems: Multi-layer sand filter (MMF), microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO) are used. A pilot advanced treatment plant with a capacity of 2 $m^3$/h has been established in Konya WWTP. The pilot plant has the following types operation: Multimedia Filtration (MMF), Microfiltration (MF), Ultrafiltration (UF). Chlorine and UV disinfection systems are also pre-chlorination, final-chlorination and UV disinfection alternatives were applied. Irrigation water for the technically and economically most suitable system has been tried to be elected.

Using a pilot plant operating data, advanced treatment plant was constructed with a capacity of 3.600 $m^3$/day by Konya Water and Sewerage Administration (KOSKI) for reuse of wastewater. In the first stage, 24 km reclaimed water distribution system (purple pipe network) was built for irrigation of restricted urban landscapes. The reclaimed water distribution system is the first application in Turkey.

In this thesis, pilot plant and the advanced treatment plant operating results was discussed. According to Turkey's guidelines for water reuse, fecal coliform, turbidity, $BOI_5$ and residual chlorine were monitored in pilot and full scale plant.



**Keywords:** Advanced Wastewater Treatment, Reuse of wastewater, Multi-Layered Sand Filter, Recycling Plant, UV disinfection.

# ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesi ve yönlendirilmesindeki değerli katkılarından dolayı öncelikle danışman hocam Sayın Doç. Dr. Bilgehan NAS 'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen başta KOSKİ Atıksu Arıtma Tesis Müdürü Murat KÜÇÜKHEMEK olmak üzere KOSKİ bünyesinde çalışan tüm mühendis ve personellere; en önemlisi sonsuz destekleri ve sabırları için canım aileme teşekkürlerimi sunarım.

Hatice KURTKULAK
KONYA-2014

# İÇİNDEKİLER

**ÖZET** ..... **iv**

**ABSTRACT** ..... **v**

**ÖNSÖZ** ..... **vi**

**İÇİNDEKİLER** ..... **vii**

**KISALTMALAR** ..... **ix**

**1. GİRİŞ** ..... **1**

**2. KAYNAK ARAŞTIRMASI** ..... **10**

**3. MATERYAL VE YÖNTEM** ..... **31**

3.1. Atıksu Karakteristiği ..... 31
3.1.1. Analiz Metotları ..... 33
3.2. Pilot Ölçekli İleri Atıksu Geri Kazanım Tesisi ..... 34
3.2.1. Multimedya filtre ..... 36
3.2.2. Mikrofiltrasyon cihazı ..... 38
3.2.3. Ultrafiltrasyon cihazı ..... 39
3.2.4. Dezenfeksiyon üniteleri ..... 40
3.2.5. Koagülant ilavesi ..... 41
3.3. Gerçek Ölçekli Geri Kazanım Tesisi ..... 42
3.3.1. Geri kazanım tesisi binası ..... 44
3.3.2. Geri kazanılmış atıksu deposu ..... 45
3.3.3. Çok katmanlı basınçlı kum filtrasyon sistemi ..... 46
3.3.2. Dezenfeksiyon sistemi ..... 50
3.3.4. Mor şebeke ..... 51
3.3.5. Pompa sistemlerinin kurulması ve enerji temin işleri ..... 53
3.3.6. Kentsel yeşil alanların sulanması ..... 54

**4. DENEYSEL SONUÇLAR** ..... **59**

4.1. Pilot Ölçekli Tesis Çalışmaları ..... 60
4.1.1. pH ..... 62
4.1.2. Sıcaklık ..... 64
4.1.3. İletkenlik ..... 66
4.1.4. Bulanıklık ..... 68
4.1.5. Askıda Katı Madde (AKM) ..... 70
4.1.6. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ..... 72
4.1.7. Fekal koliform giderim verimleri ..... 75
4.1.8. Pilot tesis verilerinin sulama suyu açısından değerlendirilmesi ..... 76
4.1.9. Pilot tesis verilerinin ağır metaller açısından değerlendirilmesi ..... 78
4.2. Gerçek Ölçekli Geri Kazanım Tesisi Çalışmaları ..... 80
4.2.1. Askıda Katı Madde (AKM) ..... 81
4.2.2. Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) ..... 82
4.2.3. Bulanıklık ..... 85

4.2.4. Fekal koliform ..... 87
4.2.5. pH ..... 89
4.2.6. İletkenlik ..... 90
4.2.7. Bakiye Klor ..... 91
4.2.8. Klor Dozu ..... 92

**5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 93**

**KAYNAKLAR ..... 100**

**ÖZGEÇMİŞ ..... 103**

## KISALTMALAR

AATTUT: Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği

AKM: Askıda Katı Madde

BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı

BNR: Biyolojik Nütrient Giderimi

DAF: Dissolved Air Flotation (Çözünmüş Hava Flotasyonu)

EC: Electrical Conductivity (Elektriksel İletkenlik)

EPA: ABD Çevre Koruma Ajansı

LPM: Liter per minute (L/dakika)

MBR: Membran Biyoreaktör

MF: Mikrofiltrasyon

MMF: Multimedya Filtre

NTU: Nephelometric Turbidity Unit (Nefelometrik Bulanıklık Birimi)

PAC: Poli alüminyum klorür

PACS: Poli alüminyum klorür hidroksit sülfat

RO: Reverse Osmosis (Ters Osmoz)

SAR: Sodyum Adsorbsiyon Oranı

TAKM: Toplam Askıda Katı Madde

TCKM: Toplam Çözünmüş Katı Madde

UF: Ultrafiltrasyon

UKM: Uçucu Katı Madde

UV: Ultraviyole

# 1. GİRİŞ

Türkiye'de, nüfus artışı, hızlı kentleşme ve sanayileşme faaliyetleri sonucunda suya artan talep ile birlikte, su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımı ve korunması büyük önem kazanmıştır. Türkiye, su kaynakları açısından zengin bir ülke olarak görülmekle birlikte, mevcut su kaynaklarının ülke geneline dağılımı eşit değildir. Türkiye içinde 25 akarsu havzası mevcuttur ve bu havzaların yalnızca dördü yıllık yağışın %37 'sini karşılayabilmektedir. Bu durum, sonuçta su kaynaklarının bulunabilirliğinin zaman ve yer boyutunda talepleri karşılayamadığı anlamına gelmektedir. Türkiye yakın bir dönem içinde, su sorunu yaşamaya aday bir ülke olarak değerlendirilebilir. Böyle bir durumun başlıca sebebi ise; Türkiye'nin sahip olduğu topografyasındaki düzensizliklerden dolayı su kaynaklarının kontrol edilemeyişidir. Yağışların ve su kaynaklarının bölgelere göre dengesiz dağılımıdır. Diğer taraftan Türkiye, jeolojik yaş olarak oldukça genç bir ülkedir. Akarsuları, topografyasından dolayı genellikle düzensiz rejimde akmakta olup, vahşi dere niteliğindedir. Havza ortalama eğimleri ise yüksek olup, gerekli düzenlemeler yapılmadan doğrudan suyun kullanımı mümkün olamamaktadır (Türkiye Çevre Durum Raporu, 2011).

Çizelge 1.1. 'de Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar $m^3$ su dikkate alındığında, Türkiye'nin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar $m^3$ olarak hesaplanmıştır. Ancak günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli; yurt içindeki akarsulardan 95 milyar $m^3$ komşu ülkelerden yurdumuza gelen akarsulardan 3 milyar $m^3$ olmak üzere, yılda ortalama toplam 98 milyar $m^3$ 'tür. 14 milyar $m^3$ olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte Türkiye'nin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar $m^3$olmaktadır (Türkiye Çevre Durum Raporu, 2011).

**Çizelge 1.1.** Türkiye'nin su kaynaklarının potansiyeli

| **Ortalama Yıllık Yağış** | 643 mm/yıl |
|---|---|
| **Uzun Dönem Yıllık Ortalama** | **milyar $m^3$** |
| Yıllık yağış miktarı | 501.0 |
| İç su kaynakları | 227.4 |
| Dış ülkelerden gelen akış | 6.9 |
| **Yenilenebilir Su Kaynaklarının Toplam Yıllık Ortalaması** | **milyar $m^3$** |
| Buharlaşma - Terleme | 273.6 |
| Yeraltına sızma | 41.0 |
| **Yüzey Suları** | **milyar $m^3$** |
| Yıllık yüzey akışı miktarı | 186.0 |
| Yıllık dış akış miktarı | 178.0 |
| Dış ülkelere akış miktarı | 64.0 |
| Denize akış miktarı | 114.0 |
| Yıllık kullanılabilir yüzey suyu miktarı | 98.0 |
| **Yeraltı Suları** | **milyar $m^3$** |
| Yıllık çekilebilir su miktarı | 14.0 |
| **Toplam Kullanılabilir Su Miktarı (Net)** | 112.0 |

Çizelge 1.2. 'de belirtilen verilere göre; 2008 'de Türkiye'de, sulama sektöründe 34 milyar $m^3$, içme suyu sektöründe 7 milyar $m^3$ ve sanayi sektöründe ise 5 milyar $m^3$ olmak üzere toplam 46 milyar $m^3$ suyun tüketildiği hesaplanmıştır. Bu durum, Türkiye'nin mevcut su potansiyeli olan 112 milyar $m^3$ suyun ancak %41'ini geliştirebildiğimizi göstermektedir. 2023 'te ise Türkiye 'de; sulama sektöründe 72 milyar $m^3$, içme suyu sektöründe 18 milyar $m^3$ ve sanayi sektöründe ise 22 milyar $m^3$ olmak üzere toplam 112 milyar $m^3$ suyun tüketileceği hesaplanmıştır (Türkiye Çevre Durum Raporu, 2011).

**Çizelge 1.2.** Türkiye'de sektörler tarafından kullanılan su miktarı, DSİ ( milyar $m^3$ )

| YIL | Toplam Su Tüketimi | | Sektörler | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Sulama | | İçme - Kullanma | | Sanayi | |
| | $km^3$ | % | $km^3$ | % | $km^3$ | % | $km^3$ | % |
| **1990** | 30.6 | 28 | 22 | 72 | 5.1 | 17 | 3.4 | 11 |
| **2004** | 40.1 | 36 | 29.6 | 74 | 6.2 | 15 | 4.3 | 11 |
| **2008** | 46 | 41 | 34 | 74 | 7 | 15 | 5 | 11 |
| **2023** | 112 | 100 | 72 | 64 | 18 | 16 | 22 | 20 |

Kişi başına düşen yıllık su miktarına göre Türkiye su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1600 $m^3$ civarındadır (Çizelge 1.3.). Çizelge 1.2 'de belirtilen veriler doğrultusunda; Türkiye'nin, önümüzdeki 25 yıl içinde ihtiyaç duyacağı su miktarının, bugünkü ihtiyacı olan su miktarının üç katı olacağı anlaşılmaktadır. Türkiye'nin büyüyen su ihtiyacını karşılamak için kaynaklar üzerinde kurulan baskı giderek artış göstermektedir. 1995–2002 yılları arasında, yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarından çekilen su miktarında %32.9 oranında bir artış görülmüştür. Aynı yıllar içinde gerçekleştirilen tatlı su çekimlerinin miktarında ise; yüzey suyunun payı %83.1 'den %84.4'e yükselmiştir (Türkiye Çevre Durum Raporu, 2011).

**Çizelge 1.3.** Su varlığına göre ülkelerin sınıflandırılması

| Kişi Başına Su Tüketimi ($m^3$) | Ülkenin Durumu |
|---|---|
| >10000 | Su Zengini |
| 3000 - 10000 | Kendi ihtiyaçlarını karşılayabilen |
| 1000 - 3000 | Su sıkıntısı bulunan |
| <1000 | Su fakiri |

Yeraltı suyunun payı ise %16.9 'dan %15.5 'e düşmüştür. Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı (TÜİK) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.000 $m^3$/yıl civarında olacağı söylenebilir.

Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların 25 yıl sonrasına hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla Türkiye'nin gelecek nesillerine sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynakların çok iyi korunup, akılcı kullanılması gerekmektedir (Türkiye Çevre Durum Raporu, 2011).

Türkiye'de, atıksu arıtma ihtiyacının, su temininin ve talebinin ve atıksuyun yeniden kullanılmasının su teminine yararlarının belirlenmesi, geri kazanılmış atıksuyun pazarlanması, mühendislik açısından ve ekonomik olarak alternatiflerin değerlendirilmesi ve maliyet analizi gibi, atıksuyun geri kazanılması ve yeniden kullanılmasına yönelik tesislerin planlanmasında takip edilecek adımlar, henüz yeterli seviyede bulunmamaktadır. Türkiye'de, sanayi tesislerinden çıkan atıksuların tekrar kullanılması daha çok atıksuların geri kazanılarak tesis içinde geri devrettirilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Özellikle Marmara Bölgesi'ndeki sanayi tesisleri için su maliyetinin yüksek olmasından dolayı, bu bölgede yerleşik sanayi tesislerinden kaynaklanan atıksuların geri kazanılması ekonomik yönden de cazip olmaktadır. Türkiye'de turistik yapılaşmanın ve yatırımların yoğunlaştığı Ege ve Akdeniz Bölgeleri'nde zamanla ortaya çıkan arıtma ihtiyaçları sonucu kurulan arıtma tesislerinin çıkış suları, daha yeni yeni sulamada değerlendirilmeye başlanmıştır. Söz konusu atıksuların bir bölümü site yerleşimlerinde bahçelerin ve parkların sulanması için kullanılırken, bir bölümü ise stabilizasyon havuzlarında biriktirilerek tarımsal amaçlı olarak kullanılmaktadır (Türkiye Çevre Durum Raporu, 2011).

Atıksu geri kazanım yöntemleri, tarımda sulama maksatlı, yeşil alanların sulamasında, endüstriyel geri kazanım, yeraltına enjeksiyon, dinlenme maksatlı kullanılan bölgelerde (göller vb.) geri kazanım, direkt olmayan (yangın suyu, tuvaletlerde vb.) geri kazanım ve direkt (içme suyu olarak) geri kazanım sayılabilir (Türkiye Çevre Durum Raporu, 2011).

Atıksuların geri kazanılmasındaki teknoloji seviyesi, geri kazanılacak suyun kullanılma amaçları ile doğru orantılıdır. Eğer, tarımsal veya yeşil alan sulamasında kullanılacak ise biyolojik arıtma çıkışının iyi bir şekilde dezenfeksiyonu yeterli olabilir. Doğrudan veya dolaylı bir geri kazanım söz konusu olacak ise daha ileri arıtma alternatifleri (membran teknolojileri, aktif karbon ve ileri oksidasyon yöntemleri vb.) gündeme gelebilir (Türkiye Çevre Durum Raporu, 2011).

Ülkemizde olduğu gibi Konya kentinde de su ihtiyaçları ile içme suyu kaynakları arasındaki açık özellikle yaşanan kuraklıklar nedeniyle giderek büyümektedir. Artan içme, kullanma ve sulama suyu ihtiyacı nedeniyle yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarından yapılan çekim her geçen yıl artmaktadır. Alınan tasarruf önlemlerine rağmen, yeraltı su seviyesindeki düşmeler devam etmektedir. Konya Kapalı Havzası'nın almış olduğu ortalama yağış miktarı 378 mm, Türkiye ortalaması olan 643 mm'nin çok altındadır. Artan su ihtiyacı ve yaşanan kuraklıklara bağlı olarak, Konya havzasında su tüketimi, su beslenmesi miktarını aşar hale gelmiştir. Buna bağlı olarak, 1980 yılından 2009'a kadar yeraltı su seviyesinde ortalama 27 metre düşüş tespit edilmiştir. Kuraklığın etkili olduğu 2004–2007 yıllarında yeraltı su seviyesindeki düşme miktarları daha da artmış ve bazı kuyular için bu değer yıllık 3m 'ye yaklaşmıştır. 2009 yılında, bir önceki yıla göre yağış miktarı fazla olmasına rağmen yeraltı su seviyesinde düşme devam etmiş ve ortalama 49.5 cm düşme miktarı tespit edilmiştir (Konya Merkez Yeraltı Suyu Araştırma Raporu, 2009).

Son yıllarda yaşanan kuraklık nedeniyle, Konya kentinin yüzeysel su kaynağı konumunda olan Altınapa Baraj Gölü'nden kentin su ihtiyacının % 30 'unun karşılanması gerekirken, 1995 yılından bugüne kadar ancak % 17 'si karşılanabilmiştir. Konya kenti yeraltı su seviyesinde önemli düşüşler tespit edilmiştir. Kuyulardaki seviyenin düşmesi ile sulama için kullanılan kuyu pompaları her yıl suyu daha derinden çekmektedirler. Bu nedenle yıllık işletme maliyetleri de giderek ciddi ölçüde yükselmektedir. Yeraltı su seviyesindeki düşmelere bağlı olarak, içme suyu kalitesinde bozulmalar meydana gelmektedir. Yeraltı suyundaki yüksek tuzluluk değerinden dolayı bazı kuyular terk edilerek, başka bölgelerde yeni kuyular açma zorunluluğu doğmuştur. Konya kentinde yeşil alanların sulamasında kullanılan kuyularda su kalitesi problemi yaşanmaktadır. Proje bölgesi olan Karatay İlçesi'nde yer alan 17 kuyunun 3'ünde iletkenlik değerinin (EC), sınır değerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Konya ilinde su kaynakları ve kalitesi; İlde en önemli ve en çok kullanılan su kaynağı yeraltı suyu, yüzey suyu ve pınar suyudur. DSİ 4. Bölge Müdürlüğü verilerine göre 2012 Konya su kaynakları potansiyeli Konya kentinin yerüstü suyu potansiyeli (il çıkışı toplam ortalama akım) 2939.0 $hm^3$/yıl, yeraltı suyu potansiyeli (ildeki toplam rezerv) 1508.0 $hm^3$/yıl olmak üzere toplam su potansiyeli 4447.0 $hm^3$/yıl 'dır (Çevre Durum Raporu Özeti - İller, 2012).

2013, DSİ, 4.Bölge Müdürlüğü verilerine göre, Konya ili doğal göl yüzeyleri, baraj rezervuarı yüzeyleri, seddeleme rezervuar yüzeyleri, akarsu yüzeyleri, gölet rezervuarı yüzeyleri olmak üzere toplam su yüzeyleri 178.711 ha 'dır (Çevre Durum Raporu Özeti - İller, 2012).

Konya'da Büyükşehir Belediyesi, 10 İlçe Belediyesi ve 10 Belde Belediyesi olmak üzere toplamda 21 adet Belediye'de atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu belediyeler şunlardır; 1) Konya Büyükşehir Belediyesi KOSKİ Genel Müdürlüğü, 2) Ereğli Belediyesi, 3) Beyşehir Belediyesi, 4) Cihanbeyli Belediyesi, 5) Kulu Belediyesi, 6) Akören Belediyesi, 7) Kadınhanı Belediyesi, 8) Güneysınır Belediyesi, 9) Akşehir Belediyesi, 10) Ilgın Belediyesi, 11) Altıntekin Belediyesi, 12) Çamlık Belediyesi, 13) Zincirlikuyu Belediyesi, 14) Yazla Belediyesi, 15) Tepekent Belediyesi, 16) Başarakavak Belediyesi, 17 )Yukarıçiğil Belediyesi, 18) Günyüzü Belediyesi, 19) Sızma Belediyesi, 20) Beykonak Belediyesi, 21) Konakkale Belediyesi 'dir (Çevre Durum Raporu Özeti - İller, 2012).

Atıksu arıtma tesisine bağlı nüfusun, toplam il nüfusuna oranı yaklaşık % 68'dir. İldeki su kaynakları özellikle son yıllarda birçok baskı ve olumsuz etki altındadır. Yağışın ve su kaynaklarının azlığı, iklim değişikliği ve yaşanan kuraklık, sanayinin gelişmeye başlaması ve endüstriyel atıksu deşarjları, arıtılmayan evsel atıksu deşarjları, tarımsal amaçlı bilinçsiz su tüketimi, tarımdan kaynaklanan atıksular, yer altı suyunun azalması, katı atık depolama sorunu bu baskı ve etkilerin başlıcalarıdır. Konya Ovasında sulu tarıma geçilmesi ile birlikte yeraltı ve yerüstü su kaynakları önemli ölçüde baskı altına girmiştir. Özellikle yeraltı suyunun aşırı kullanımı sonucu yeraltı suyu seviyeleri hızla düşmektedir. Mülga Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan Konya Havzası Koruma Eylem Planı onaylanmıştır. Ayrıca Büyükşehir Belediyesine ait atıksu arıtma tesisi mevcut olup, 3 adet sanayi tesisinin arıtma tesisi çıkış suları geri kazanılmakta ve tesis arazisinde sulama suyu olarak kullanılmaktadır (Çevre Durum Raporu Özeti - İller, 2012).

Dünya Doğayı Koruma Vakfı (WWF)'nın 2003 yılındaki "Agricultural Water Use And River Basin Conservation" isimli çalışmasına göre; Konya Kapalı Havzası'nda önümüzdeki 20 yıl içinde ciddi su sıkıntısı yaşanacağı öngörülmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde son on yıllık süreçte atıksuların tekrar kullanımına yönelik 200'den fazla proje göze çarpmaktadır.

Atıksuların Avrupa ülkelerinde yeniden kullanım potansiyelleri için oluşturulan modele göre, 2025 yılı projeksiyonunda 31 ülke arasında Türkiye 4. sırada yer almaktadır.

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı, Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı'nın 9. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda (2007–2013); Çevrenin Korunması ve Kentsel Altyapının Geliştirilmesi başlığında 469 nolu maddede; "Yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmeden korunması sağlanacak ve atıksuların arıtıldıktan sonra tarım ve sanayide kullanılması teşvik edilecektir." şeklinde yer almaktadır. Aynı şekilde Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı, Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı'nın 10. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda (2014-2018); Politikalar başlığı altında 981 nolu maddede "Şehirlerde kanalizasyon ve atıksu arıtma altyapısı geliştirilecek, bu altyapıların havzalara göre belirlenen deşarj standartlarını karşılayacak şekilde çalıştırılmaları sağlanacak, arıtılan atıksuların yeniden kullanımı özendirilecektir" şeklinde yer almaktadır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde madde 28'de ise "Sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıdığı yörelerde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlayacak derecede arıtılmış atıksuların, sulama suyu olarak kullanılması teşvik edilir." ibaresi yer almaktadır.

KOSKİ Genel Müdürlüğü'nce hazırlanan 2008–2012 yıllarına ait Stratejik Amaçlar ve Hedeflerde; "Atıksu Arıtma Tesislerinden elde edilen suyun rekreasyon amaçlı kullanılması" projesi, 1 nolu stratejik amaç olan "Doğal Çevrenin Korunması" başlığı altında yer almaktadır. Birleşmiş Milletler Binyıl Kalkınma Hedefleri 'nin yedincisi "Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması" ' dır (UNEP, 2007).

KOSKİ Genel Müdürlüğü tarafından 2007-2011 yılları için hazırlanan Stratejik Planda "200.000 $m^3$/gün kapasiteli Konya Atıksu Arıtma Tesisinden elde edilen arıtılmış suyun rekreasyon amaçlı kullanılması" bir hedef olarak belirlenmiştir. Bu amaçla Konya atıksu arıtma tesisi çıkış suyu ileri arıtmaya tabi tutulmuştur.

Konya Atıksu Arıtma Tesisinde ileri biyolojik arıtma (kısmi azot gideren aktif çamur sistemi, 4 kademeli Bardenpho) ve UV dezenfeksiyon sistemi uygulanmaktadır.

Konya kentinin atıksuyunun ileri arıtma teknolojisiyle geri kazanımı ve yeşil alanların sulanmasında yeniden kullanımı amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik pilot tesis çalışmalarının önemi bu noktada devreye girmiştir. Yapılan pilot tesis çalışmalarının değerlendirilmesi yönetmelik ve literatür kapsamında incelenmiştir. Yapılan arıtılmış atıksu analizlerinde, daha fazla askıda katı madde ve fekal koliform gideriminin gerektiği anlaşılmıştır.

KOSKİ Genel Müdürlüğü tarafından Konya Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının yaklaşık 3200 ha (3.117.700 $m^2$) kentsel yeşil alanda kullanımı amacıyla, ilgili yönetmeliklere uygun sulama suyunun elde edilebilmesi için daha ileri arıtım teknolojisi olan ileri filtrasyon ve dezenfeksiyon tesisi, depolar, pompa istasyonları ve mor şebekeden oluşan bir geri kazanım tesisi kurulmuştur.

Geri kazanılmış atıksular mor şebeke adı verilen bağımsız iletim hatlarıyla yeşil alanlara ulaştırılmıştır. Sulanacak yeşil alanların 355.500 $m^2$'lik kısmında, mevcut durumdaki elle sulama yöntemi terk edilerek modern sulama yöntemi olan damla sulama teknolojisine geçilmesi hedeflenmiştir.

Konya kentsel yeşil alanların sulama suyu ihtiyaçlarının, birincil su kaynakları olan yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarından karşılanması yerine arıtılmış atıksulardan karşılanması, kentin temiz su kaynaklarının korunmasını veya bu suların daha kaliteli su ihtiyacı olan yerlere tahsis edilmesini sağlamıştır. Projenin uygulanmasıyla ve kentte yaygınlaştırılması ile su kıtlığı yaşanan Konya Kapalı Havzası ve Konya kenti için ilave sürdürülebilir bir su kaynağı olmuştur. Projenin uygulanması ile kentsel yeşil alan üretiminin önündeki en büyük engellerden birisi olan sulama suyu temini sorununun çözümüne katkıda bulunularak yaşanabilir çevre ve rekreasyon alanlarının artmasına önemli bir katkı sağlanmıştır.

Projenin uygulandığı Konya kenti Karatay Merkez İlçesi'nde sulama yapılan çim, çalı ve ağaçlandırılan alanlardan oluşan yeşil alan miktarı yaklaşık 6.2 milyon $m^2$'dir. Bu yeşil alanların yaklaşık 3.6 milyon $m^3$/yıl su ihtiyacı, içme suyu şebekesinden ve 17 adet aktif kuyudan sağlanmaktadır. Bu kuyuların 10 adedi Büyükşehir Belediyesi, 7 adedi ise Karatay Belediyesi tarafından işletilmektedir. Konya kentindeki toplam yeşil alan miktarının % 6.4'ü, Karatay İlçesi'ndeki toplam yeşil alan miktarının ise % 17'sinin sulama suyu ihtiyacı, içme suyu şebekesi ve kuyular yerine geri kazanılmış atıksudan karşılanacaktır. Böylece, her yıl 7 aylık sulama sezonunda 527.800 $m^3$ temiz su korunmuş veya tasarruf edilmiş olacaktır.

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği; Teknik usuller tebliğinin kentsel atıksularının arıtılması ve geri kazanılması için yapılacak projelerin Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca onaylanması süresinde, günümüzün bilgi ve teknolojileri ile uygun, güncel ihtiyaçlara cevap verecek nitelikte bir projelendirme kılavuzu haline getirilmesi ve bu aşamasında teknik, eğitim ve danışmanlık hizmeti alınmış; Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 20 Mart 2010 tarihinde Resmi Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. AATTUT, yerleşim birimlerinden kaynaklanan atıksuların arıtılması ile ilgili atıksu arıtma tesislerinin teknoloji seçimi, tasarım kriterleri, arıtılmış atıksuların dezenfeksiyonu, yeniden kullanımı ve derin deniz deşarjı ile arıtma faaliyetleri esnasında ortaya çıkan çamurun bertarafı için kullanılacak temel teknik usul ve uygulamaları düzenlemek amacı ile hazırlanmıştır. AATTUT, atıksu arıtımı için uygulanabilir olduğu genelde kabul edilmiş metotları, atıksu arıtma tesisi kapasitesinin belirlenmesi ve projelendirilmesine esas teşkil edecek bilgileri, atıksu toplama sistemi bulunmayan yerleşim yerlerinin atıksu uzaklaştırmada uygulayacağı teknik esasları, atıksu toplama sistemi bulunan yerleşim yerlerinde ise, değişik nüfus aralıklarına göre uygulanabilecek teknik esasları, dezenfeksiyon yöntemlerini, derin deniz deşarj sistemlerini, arıtma çamurlarının işlenmesi ve bertarafı ile arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı ile ilgili teknik esaslarını içermektedir.

Tez çalışmasında; Konya AAT çıkış sularının yeniden kullanılabilmesi için kurulan $2m^3$/sa kapasiteli pilot ileri arıtma tesisi çalıştırılmış ve performansı incelenmiş ardından Konya AAT 'de kurulan gerçek ölçekli atıksu geri kazanım tesisinin işletme verileri değerlendirilmiştir.

Sonuçlar Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Ek 7'de yer alan Atıksuların Yeniden Kullanımına ilişkin mevzuat ile karşılaştırılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Atıksuların geri kazanımı ve bu yolla temiz su kaynaklarının korunması konusunda bilinen en eski çalışmalar 1900'lu yıllarla başlamaktadır. Bu uygulamalar; çim ve ağaçların sulanması, tuvaletlerin sifonlarla temizlenmesi amacıyla kullanım, metal sanayisinde soğutma suyu olarak kullanım vb. olarak sıralanabilir. Örneğin; A.B.D.'de 1912-1985 yılları boyunca Golden Gate parkının yeşil alanları geri kazanılmış atıksu ile sulanmıştır. Ayrıca; yeraltına kontrollü deşarjla deniz suyunun girişiminin önlenmesi, narenciye bahçelerinin sulanması (Tunus-1962), kâğıt endüstrisinde geri kazanılmış evsel atık suyun kullanımı (Güney Afrika-1970), pişirilmeden yenen enginar, kereviz vb. bitkilerin geri kazanılmış suyla sulanması (A.B.D.-1987), golf sahalarının sulanması (İspanya-A.B.D-Avustralya) gibi önemli uygulama örnekleri mevcuttur (Asano, 2001).

Dünyada atıksularını arıtarak geri kazanan ülkelerin başlıcaları; Amerika Birleşik Devletleri, Güney Afrika, İsrail, Güney Kıbrıs, Yunanistan, Ürdün, Kuveyt, Tunus, Mısır, Cezayir, Bahreyn, Birleşik Arap Emirlikleri, İran, Irak, Lübnan, Libya, Katar, Fas, Umman, Suudi Arabistan, Suriye, Namibya, Yemen, Tacikistan, Türkmenistan, Kırgızistan, Avustralya, Meksika, Arjantin, Sili, Brezilya, Belçika, Fransa, İtalya, Çin, Hindistan ve Japonya'dır. Suyun geri kazanımında artan eğilim; entegre su kaynakları yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma için hayati bir bileşen olarak yalnızca kuraklık ve su sıkıntısı çeken bölgelerde değil; su kaynakları bol yörelerde de suyu geri kazanmak ve tatlı su kaynaklarına olan yönelimi azaltmaktır. Yüksek oranda yağış alan bölgelerde su temini taşıma ya da pompaj maliyetleri yüzünden zorlaşabilmekte, bu da atıksuların geri kazanılarak kullanılmasını, önemli bir su kaynağı olarak öne çıkarmaktadır.

Ülkemizin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası'ndaki 20 ülkenin önemli bir kısmında su sıkıntısı bulunmaktadır. Örneğin Tunus'ta oluşan 240 milyon $m^3$/yıl atıksuyun; 216 milyon $m^3$/yıl'lık kısmı fiziksel ve biyolojik arıtmadan geçirilmekte, üçüncül bir arıtmaya tabi tutulmadan tarım arazilerinin sulanmasında kullanılmaktadır. Arıtılmış atıksuyu tarlalarında kullanan çiftçilerden bu suyun bedeli de tahsil edilmektedir.

Birleşmiş Milletler Nüfus Dağılım Raporuna göre, Akdeniz Havzasındaki ülkelerden İsrail, Kıbrıs, Ürdün, Tunus, İtalya gibi ülkelerde atıksu geri kazanımı yapılarak sulamada (tarımsal ve yeşil alan) kullanılmaktadır.

Tatlı su sıkıntısı yasayan ülkelerden İsrail'de, 1985 yılından 2000 yılına kadar, tarımda kullanılan geri kazanılmış atıksuların tüm atıksulara oranı; %51'den %72'ye çıkmıştır. Bu değerin; 2010 yılı için % 86 olacağı öngörülmüştür. Aynı çalışmada, geri kazanılan ve tarım alanlarının sulanmasında kullanılan suyun ülkeye verilen su miktarına oranı, aynı yıllar için; %5'ten %16'ya çıkmıştır (Angelakis ve ark., 1999).

**Çizelge 2.1.** Bazı Akdeniz ülkelerinde 1990, 2025 ve 2050 yılları için alan, nüfus ve yıllık yenilenebilir tatlı su varlığı (Birleşmiş Milletler Nüfus Dağılımı, 1994)

| Ülke | Yüz Ölçümü | Toplam Yenilene-bilir Tatlı Su | Temiz Su Miktarı ($m^3$/kişi-yıl) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1990 | | 2025 | | 2050 | |
| | ($km^2$) | ($km^3$/yıl) | Nüfus (bin kişi) | ($m^3$/kişi-yıl) | Nüfus (bin kişi) | ($m^3$/kişi-yıl) | Nüfus (bin kişi) | ($m^3$/kişi-yıl) |
| **Kıbrıs** | 9.250 | 0.90 | 702 | 1.282 | 927 | 971 | 1.006 | 895 |
| **Mısır** | 1.000.500 | 58.9 | 56.312 | 1.046 | 97.301 | 605 | 117.398 | 502 |
| **Yunanistan** | 132.000 | 69 | 10.238 | 5.763 | 9.868 | 5.979 | 8.591 | 6.868 |
| **İsrail** | 20.700 | 2.15 | 4.660 | 461 | 7.808 | 275 | 8.927 | 241 |
| **İspanya** | 504.800 | 111 | 39.272 | 2.826 | 37.571 | 2.954 | 31.765 | 3.494 |
| **Fas** | 445.000 | 28 | 24.334 | 1.151 | 40.650 | 689 | 47.858 | 585 |
| **Tunus** | 126.000 | 4.36 | 8.080 | 540 | 13.290 | 328 | 15.607 | 279 |
| **Malta** | 320 | 0.03 | 354 | 85 | 422 | 71 | 439 | 68 |
| **TÜRKİYE** | 780.000 | 203 | 56.098 | 3.619 | 90.937 | 2.232 | 106.284 | 1.910 |
| **Yugoslavya** | 256.523 | 265 | 22.945 | 11.549 | 24.582 | 10.780 | 24.441 | 10.842 |
| **Ürdün** | 37.300 | 1.31 | 4.259 | 308 | 12.039 | 109 | 16.874 | 78 |

Çizelge 2.1.'den de görüleceği üzere, Akdeniz havzasındaki bazı ülkeler çok ciddi su sıkıntısı çekmektedir. Örneğin Malta'da evsel amaçlı su tüketimi mevcut su kaynaklarının %50'sini aşmaktadır. Bu gibi ülkelerde, klasik su kaynakları 2000'li yıllarla birlikte mevcut ihtiyacı karşılayamaz hale gelecektir.

Öte yandan AB üyesi olan ülkelerde 3000 $m^3$/kişi-yıl mertebesinde su bulunduğu tahmin edilmektedir. Ülkemizde ise, 1990-2025 yılları arasında su miktarındaki azalma oranının % 40 mertebesinde olması beklenmektedir.

Mevcut su kaynaklarının azalması tüm dünyayı etkilediğinden, dünyada atıksuların bilhassa sulamada kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Örneğin Meksika'da 250.000 hektarlık alan atıksu ile sulanmaktadır. Tunus'ta 2000'li yıllarda geri kazanılmış atıksu miktarının, tüm yer altı su kaynaklarının %10'una tekabül edeceği öngörülmektedir (Al-Shammiri ve ark., 2005). Aynı şekilde; Çin, Vietnam, Pakistan, Ürdün, Hindistan, Suudi Arabistan gibi ülkelerde atıksuyun geri kazanımı konusunda uygulamalar artarak devam etmektedir. Örneğin Ürdün'de arıtılan atıksuyun %100'u sulamada kullanılmaktadır. Güney Kıbrıs'ta bu oran %25'tir (Fatta, 2005).

Bugün dünya genelinde; yeraltı suyuna deşarj (akifer şarjı), endüstriyel amaçlı kullanım ve dolaylı su temini vb. amaçlarla işletilmekte olan 27 adet büyük ölçekli atıksu geri kazanım sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerin dışında membran biyoreaktorlerin (MBR) kullanıldığı sistemler de mevcuttur. Bu sistemlerin sayısı da gittikçe artmaktadır. Membran proseslere dayalı geri kazanım yaklaşımı da sıklıkla uygulanmaktadır. Bu sistemler ikincil veya üçüncül arıtma çıkış suları ile beslendiğinden düşük katı madde içerikleriyle işletilmektedirler.

Geri kazanılacak olan suyun kullanım sahasına göre, mikrofiltrasyon (MF) ve ultrafiltrasyon (UF) proseslerini takiben nanofiltrasyon (NF) ya da ters osmoz (R.O.) gibi membran prosesler tercih edilebilir. Fiziksel arıtım yapan MF ve UF sistemleri, sürekli olarak aynı kalitede ürün suyu elde edilebilmesi açısından da önem taşımaktadır. Kimyasal olarak herhangi bir dozaj gerektirmeyen sistemler aynı zamanda ekolojik açıdan zararsızdır.

Kaliforniya Atıksu Geri Kazanım Kriterlerine göre, filtrelenmiş ikincil ve üçüncül arıtma çıkış sularının ultrafiltrasyon sistemi ile arıtılması, koagülasyon-flokülasyon, durultma ve filtrasyon işlemlerinden geçirilen atıksuya eş değerdedir. Örneğin A.B.D. Orange County'de yeraltı suyu seviyesini dengeleyebilmek için arıtılmış atıksularda MF, R.O. ve ileri oksidasyon yöntemi ile (UV ve $H_2O_2$ ile) ileri arıtım yapılmaktadır, elde edilen su, içme suyu kirlilik parametreleri açısından limitlerin altındadır (Wintgens ve ark., 2005).

Kaliforniya'da toplam su tüketiminin önemli bir yüzdesi tekrar tekrar kullanılan su ile karşılanmaktadır. 2003 yılı itibariyle Kaliforniya'da atıksuyun %67'si tarımsal ve kentsel yeşil alanlarının sulanması amacıyla kullanılmaktaydı. Günümüzde ise atıksuların tamamına yakını eskiden olan derin deniz deşarj sistemine değil daha farklı yönlere yönlenmiştir. Geri devir suyunun yeraltına enjeksiyonu sonrasında oradan çekilerek içme kullanma suyu olarak kullanıldığı ilk örnek Orange County'dir. Kentin içme suyu şebekesinde bu ileri derecede arıtılmış geri devrettirilen suyun oranı %20'lerdedir.

Atıksuların geri kazanımı konusunda uygulamalar yapan bir başka ülke olan Kuveyt'te ise yapılan bir çalışma ile 3 ayrı evsel atıksu arıtma tesisinin çıkış suları (Ardiya, Rikka ve Jahra AAT 'lerinin çıkış suları) klasik hızlı kum filtreleri ile arıtılmış ve çıkışta klorlama yapılmıştır. Çıkış suları AKM, UKM, BOİ ve KOİ değerleri ölçülerek arıtma sisteminin verimi değerlendirilmiştir. Bahsi geçen parametrelerin giderme verimi; AKM için % 55-75, UKM için % 35-55, KOİ için %22-32, BOİ içinse %32-55 mertebesindedir (Hamoda ve ark., 2004).

Yine Kuveyt'te yapılan bir başka çalışma ile evsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyu mikrofiltrasyon ile arıtılmıştır. Sistem çıkışında BOİ giderimi %43, bulanıklık giderimi %70-88, KOİ giderimi %30, mikroorganizma giderimi % 99 olarak sağlanmıştır (Al-Shammiri ve ark., 2005).

İtalya'da yapılan bir çalışmada ise aktif çamur sisteminden çıkan suyu kullanarak yapılan seri çalışan Filtrasyon + Perasetik asit + UV 'den oluşan pilot sistemde arıtılmıştır. Buna göre, TAKM, bulanıklık, KOİ, toplam koliform, E.Coli, Giardia, Cryptosporidium değerleri ölçülerek pilot sistemin verimi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, tamamen giderilemese de filtrasyon ile bahsi geçen mikroorganizmaların önemli oranda giderildiği, %89 mertebesinde AKM, % 45- 60 mertebesinde bulanıklık giderimi tespit edilmiştir. Bu sistemden çıkan sular, fidanlıklardaki 3 tip bitkiye verilmiş ve bitkilerin büyüme hızları gözlenmiş, ileri arıtma sisteminden çıkan suyun, bitki gelişiminde gübre desteği almış şebeke suyu ile aynı etkiyi yaptığı gözlenmiştir (Lubello ve ark., 2004).

İtalya'daki başka bir çalışma ile biyolojik bir evsel atıksu arıtma tesisinin klorlanmış çıkış suları, 0.45 mikronluk bir filtrasyondan sonra pilot ölçekli bir UF sisteminden geçirilerek arıtma verimi incelenmiştir. Çalışmada; $BOİ_5$, KOİ, toplam azot, toplam fosfor, toplam koliform ve toplam çözünmüş katı madde giderim verimi incelenmiştir. Buna göre UF teknolojisinin özellikle dezenfeksiyon için güvenilir bir teknoloji olduğu, buna karşın çözünmüş katıların tutulmasında yetersiz kaldığı görülmüştür. Aynı şekilde UF ile $BOİ_5$, KOİ, toplam azot ve toplam fosforda etkin giderim sağlanmıştır (Salladini ve ark., 2007).

İspanya'da yapılan bir çalışmada ise Quart Benager atıksu arıtma tesisi çıkış sularına 3 alternatif uygulanmıştır. Çalışmanın amacı, özellikle Valencia civarındaki su sıkıntısını aşabilmek amacıyla belediyelerde atıksuyun geri kazanım oranını arttırmak ve bu suyun tarımsal sulamada kullanımını sağlamaktır. Sistemde, 2 adet 2 $m^3$/saat kapasiteli pilot cihazla 3 alternatif denenmiştir; bunlar:

1-Koagülasyon & Flokülasyon, Çöktürme, Filtrasyon, UV;

2-Filtrasyon & UV radyasyonu;

3-UF sistemleridir.

Kontrol parametrelerinden en yüksek giderimi, KOİ'de %50, bulanıklıkta % 94, fekal koliformda ise %100'le ultrafiltrasyon sistemi sağlamıştır. Birinci alternatifte (koagülasyon, flokülasyon, çökeltme ve UV ile dezenfeksiyon) aynı parametreler için sırasıyla KOİ %21.5, fekal koliform %99.8 ve bulanıklık %82 giderme verimi sağlanmıştır. Bu 3 sistem içinde bahsi geçen kirleticileri en az gideren 2. sistem olmuştur; KOİ %0, fekal koliform %99.8 ve bulanıklık %50. (Munoz ve ark., 2008).

Yunanistan'da yapılan benzer bir çalışmada ise 800-1000 $m^3$/gün kapasiteli klasik aktif çamur tesisi çıkış suları, 45 $m^3$/saat kapasiteli, kum filtresi, aktif karbon filtresi ve ozon cihazından oluşan sistemle ileri arıtmaya tabi tutulmakta, çıkışta bulanıklık, TOK, $NH_4$-N ve koliform parametreleri analiz edilmiştir. Çıkış değerleri, hem organik maddeler, hem de mikroorganizmalar açısından analiz edildiğinde sistem sayesinde yüksek verim elde edildiği görülmüştür. 45 $m^3$/saat kapasiteli ileri arıtma sistemi sayesinde bulanıklık giderme verimi sadece filtrasyonun uygulandığı sistemde %42 iken, filtrasyon ve aktif karbon adsorbsiyonunun birlikte uygulandığı sistemde %60'a ulaştığı görülmüştür. Aynı çalışmada farklı konsantrasyonlarda uygulanan ozonun da bulanıklık giderimine etkisi ozon dozajı arttıkça %8'den %78'e kadar ulaşmıştır. Bu çalışmada uygulanan ozon dozajları 7.1 mg/lt 'den 26.7 mg/lt'ye kadar çıkmıştır. Koliform giderimi için 26.7 mg/lt'lik ozon dozajında maksimum giderim

sağlanmış mikroorganizmaların tamamı giderilmiştir. Farklı dozajlarda ozonla dezenfeksiyon yapılarak bakteri giderim verimi incelenmiştir. İkincil arıtma çıkış suyunun karakteristiği şöyledir; 23.8 NTU bulanıklık, 40 mg/L TOK, 17 mg/L azot, 2.8 mg/L fosfat. Kum filtresi çıkışında bulanıklık %45 oranında azaltılmış, Karbon adsorbsiyonu ile TOK miktarı 10 mg/lt'nin altına inmiştir (%80 giderim) (Petala ve ark., 2006).

Su sıkıntısı yaşayan ülkeler doğal olarak alternatif su kaynaklarına daha önce yönelmektedirler. Bu ülkelerden yıllık yağış miktarı 500 mm olan ve %80'ini sulamada kullanan Güney Kıbrıs'ta hem tarım arazilerini hem de yeşil alanları sulayabilmek için Larnaka kentinde kurulu bir evsel atıksu arıtma tesisinin çıkış sularını hızlı kum filtresinden geçirip klorla dezenfekte ederek yonca ve mısır yetiştirilen tarım arazilerinin sulanmasında kullanmakta, bu sayede yaklaşık 150 hektarlık bir alana düzenli olarak sulama suyu sağlanmaktadır. Tesiste oksidasyon hendekleri + çökeltim havuzları + kum filtresi + klorlanarak sulama sistemine iletilmektedir. Larnaka AAT 1995'ten beri, geri kazanım sistemi ise 2000 yılından beri işletilmektedir. Klorlamanın, mikroorganizmaların gideriminde çok verimli olduğu, filtrasyon sayesinde de askıda katı maddelerin gideriminin sağlandığı geri kazanım sistemi sayesinde görülmüştür. Toplamda 150 ha'lık bir alan düzenli olarak geri kazanım sistemi sayesinde sulanmaktadır. Larnaka çıkış suyu kalitesi; $BOİ_5$ 2.6 mg/L (BOİ giderim verimi % 99), KOİ 56mg/L (KOİ giderim verimi %93), AKM 1.7 mg/L (AKM giderim verimi %99), pH 7.5, Toplam-N 8.5 mg/L (Toplam-N giderim verimi %90), İletkenlik 3.4 µs/cm, Klorür 555mg/L, Bor 0.8 mg/L, Potasyum 0.6 mg/L, Toplam E.Coli/100mL 5mg/L, Bakiye klor ise 0.2 mg/L olarak analiz edilmiştir (Fatta, 2005).

Limasol 'da yapılan bir çalışmada ise, 3.500.000 $m^3$/yıl kapasiteli atıksu arıtma tesisinin çıkış suları, kum filtresi ve klorlama uygulanarak, maksimum 10 mg/lt $BOİ_5$, ve maksimum 10 mg/lt AKM'lik çıkış değerlerini sağlayan geri kazanılmış atıksu; park, golf sahası sulamasında kullanılmaktadır. Kıbrıs'ta desalinasyon (tuzsuzlaştırma) su ihtiyacını karşılamak için uygulanan bir yoldur. Üçüncül arıtma sonrasında elde edilen suyun maliyeti, bu ülkede desalinasyon yoluyla elde edilen suyun maliyetinden çok daha düşüktür. Atıksu arıtma tesisi çıkış sularının sulamada kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, sulamada kullanılan tatlı su miktarı azalmış ve bu su kaynaklarının evsel tüketim amacıyla kullanıma sevk edilmesi sağlanarak, dual (ikili) bir etki sağlanmıştır (Papaiacovou, 2001).

Atıksuların arıtılması ve sulamada kullanımına yönelik en eski ve en büyük sistemlerden biri de İsrail'in Dan Bölgesinde kurulu olan ve 1960'lardan beri işletilmekte olan Dan Bölgesi Atıksu Islahı Projesidir. Bu proje ile emsallerine göre en büyük kapasiteli atık su geri kazanım sistemi kurulmuştur. Sistem sayesinde, 8 şehrin (1.5 milyon kişi kapasiteli) atık suyu arıtılmakta ve arıtılmış atıksu yeraltında akiferde uzun süre bekletilerek İsrail'in güneyindeki kurak bölgenin sulanmasında kullanılmaktadır (yılda 110 milyon $m^3$/su bu şekilde geri kazanılmaktadır). Sistem 1960'lardan beri çalıştırılmaktadır. Tesis; oksidasyon havuzları, kimyasal oksidasyon, pH ayarlaması veya mekanik-biyolojik arıtma ile arıtılmakta, çıkış suları da toprak – akifer arıtımı ve klorlama ile ileri arıtmaya tabi tutulmaktadır. Elde edilen geri kazanılmış su, zirai sulamada kullanılmaktadır. Bu proje ile toplamda 8 şehrin atıksuları, 2 ayrı arıtma prosesine sahip bir atıksu arıtma merkezine iletilmekte ve arıtılan sular daha sonra toprak – akifer arıtımı yapılarak ve akabinde dezenfekte edilerek, kurak olan Negev Bölgesi'ndeki tarım arazilerinin sulanmasında kullanılmak üzere geri kazanım hattı şebekesine verilmektedir. Bu sistemin nihai kapasitesi 160 milyon $m^3$/yıl civarındadır. Bu sistemin çıkış suyunda pek çok parametre, İsrail Sağlık Bakanlığı tarafından düzenli olarak kontrol edilmektedir. Dan bölgesi geri kazanım tesisi çıkış suyu değerleri ; Fekal koliform: 1/100 mL, Toplam koliform: 1/100 mL, BOİ: < 0.5 mg/L, KOİ: 7 mg/L, TAKM: 1 mg/L, Toplam Azot: 0.4 mg/L, Toplam Fosfor: 0.08 mg/L olarak analiz edilmiştir (Fatta, 2005).

Benzer uygulamalar İspanya'da da mevcuttur. Almeria atıksu arıtma tesisi çıkısında hızlı kum filtresini müteakiben ozonlama yapılarak tarım arazileri sulanmaktadır. İspanya Almeria AAT 32.000 $m^3$/gün kapasiteli AAT çıkışına hızlı kum filtresi ve Ozonlama yapılarak atık su geri kazanımı yapılmaktadır. Elde edilen su, 3000 hektarlık alanda tarımsal sulama amacıyla kullanılmaktadır. Çıkışta elde edilen su karakteristiği şöyledir; KOİ: 20-120 mg/L, $BOİ_5$: 35 mg/L, TSS: < 30 mg/L, Toplam Koliform: < 100 / 100 mL, Helminth yumurtaları: 0 olarak analiz edilmiştir (Fatta, 2005).

İspanya Sevilla evsel bir atıksu arıtma tesisinin çıkış suları, mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon sistemleri ile arıtılarak, sonuçları kıyaslamıştır. Buna göre; fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler filtrasyondan sonra MF veya UF sistemlerinden geçirilen AAT çıkış sularında ölçülerek MF – UF sistemlerinin arıtma verimi incelenmiştir atık su arıtma tesisinin çıkış suyuna ön filtrasyondan sonra mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon teknikleri uygulanmıştır. Pilot tesiste, çıkış suyu kalitesi ve işletme maliyetleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, MF ve UF için giderim değerleri; sırasıyla; AKM için % 100 -%100, bulanıklık için %92-%92, renk için %18- %42, BOİ için % 83 - %81, KOİ için % 47 - %46 mertebesinde ölçülmüştür ve T. Coli-F. Coli'de %100 giderim sağlanmıştır (Alonso ve ark., 2001).

Tunus'ta da Just ve Wadi Hassan pilot projeleriyle sırasıyla; 600 ve 1.000 $m^3$/gün kapasiteli iki evsel biyolojik atıksu arıtma tesisinin çıkış suları meyve bahçelerinin sulanmasında kullanılmaktadır (Fatta, 2005).

Hollanda'daki evsel atık su arıtma tesisi çıkış suyunun üçüncül arıtma alternatiflerini incelemektir (Betuw ve Rijs, 2009).

Kullanılan Sistem: 1-Aktif Karbon Reaktörü (PACR) ve UF,

2-Kum filtresi ve Granüler Aktif Karbon Filtrasyonu (GACF)

**Çizelge 2.2.**GACF ve kum filtreleri, PACR ve UF, ikincil arıtmanın ortalama verim konsantrasyonları

| Parametreler | Birim | AAT Çıkış | Kum Filtre | GACF | PACR ve UF |
|---|---|---|---|---|---|
| **KOİ** | ppm | 25 | 21 | 15 | 12 |
| **Toplam Nitrojen** | ppm | 5 | 2 | 1.5 | 5 |
| **Toplam Fosfor** | ppm | 2 | 0.6 | 0.4 | 0.7 |
| **Bakır** | ppb | 3.3 | 2 | 0.5 | 0.7 |
| **Çinko** | ppb | 25 | 17 | 3.5 | 12 |
| **Nikel** | ppb | 2.4 | 2.4 | 1.2 | 1.4 |

Çin pilot tesisinde giderim verimlerini değerlendirmek amacıyla iki sistem kurulmuştur. Kurulan sistemler ikinci arıtmanın sonuna ve direk ham su girişi membran biyoreaktör / ters ozmos ve mikrofiltrasyon / ters ozmos şeklinde çalıştırılmıştır.

Sistemin kurulma amacı ikincil arıtmadan çıkan arıtılmış atıksuyun geri kazanımıyla sulama amaçlı ve yeniden kullanım amaçlı kullanılmasıdır. Farklı fazlarda sistemler çalıştırılarak giderim verimleri araştırılmıştır (Tam ve ark., 2006).

**Çizelge 2.3.** Çin pilot tesisi sistemlerinin giderim performansları

| Parametreler | Faz 1 | | Faz 2 | | Faz 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **MBR** | **RO** | **MF** | **RO** | **MF** | **RO** |
| **TKM (mg/L)** | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| **$BOI_5$(mg/L)** | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| **KOI (mg/L)** | 17.5 | <2 | 17.9 | <2 | 20.1 | <2 |
| **TKN(mg/L)** | 1.6 | 0.1 | 1.5 | 0.4 | 2.6 | 0.3 |
| **$NO^-_3$-N(mg/L)** | 1.9 | 0.8 | 6.5 | 1.4 | 4.7 | 0.7 |
| **$NO^-_2$-N(mg/L)** | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.03 | 0.1 | 0.01 |
| **TÇM (mg/L)** | 3.37 | 42 | 377 | 24 | 375 | 17 |
| **Görünür renk** | 37 | <1 | 41 | <2.5 | 41 | <2.5 |
| **pH** | 6.9 | 5.4 | 7.7 | 5.5 | 7.7 | 5.3 |
| **Alkalinite($CaCO_3$)(mg/L)** | 71.8 | 5.1 | 57.7 | 3.3 | 60.7 | 2.7 |
| **Silika (mg/L)** | 11.6 | 0.5 | 11.7 | 0.7 | 10.9 | 0.3 |
| **Koku** | - | - | 3 | 1 | 2 | 1 |
| **Toplam yüzücüler(mg/L)** | - | - | <2 | <2 | <2 | <2 |
| **İletkenlik (µS/cm)** | 569 | 27 | 659 | 33 | 564 | 24 |

Türkiye-2010; Tarımda sulama tatlı suya toplam talebin önemli bir yüzdesini temsil etmektedir. DSİ 'ye göre 46 milyar $m^3$ su 2008 sonunda tüketilmiştir. Atıksuyun yeniden kullanımının potansiyel yararları;

- Su ve nütrient kaynaklarının geri kazanılması,
- Tatlı su kaynakları üzerindeki baskının azalması,
- Deşarj edilen atık azaldığından mansaptaki kirliliğin azalması,
- Çeşitli kimyasallardan potansiyel çevresel etkilerin azalması.

Su kaynaklarının bugünkü durumu tehlikede ve azalmaktadır. Bu nedenle su ıslahı alternatif su kaynağı olarak duruyor. Arıtılmış atıksu çeşitli bitkiler için kullanılabilir. Bitki türüne bağlı bir sulama yöntemi gerekli su arıtma prosesleri sağlık faktörlerini sağlamak için uygulanır. Konya kentinde yıllık yağış miktarı düşük olduğundan arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı caziptir (Sarıkaya ve Demirer, 2010).

UNESCO tarafından yayınlanan Birleşmiş Milletler 3 No'lu Gelişim Raporuna göre, dünyadaki çeşitli ülkeler su stresi değerlendirmesi ve su geri kazanım uygulamalarına göre incelenmiş ve sonuç olarak daha önceden de vurgulanmış olan; İsrail, İspanya, Malta, Kıbrıs başta olmak üzere, İtalya, Fransa, kısmen Türkiye ve Portekiz'de su geri kazanılarak tekrar kullanılmaktadır. Dikkat çeken hususlardan biri de ciddi su stresi altında olan Bulgaristan'ın atıksu geri kazanımı konusunda herhangi bir çalışmasının olmamasıdır. Benzer şekilde, Litvanya, Estonya, Macaristan, Avusturya, Romanya gibi ülkelerde de atıksu geri kazanımı yok denecek kadar azdır, ancak bu ülkelerin su stresi riski bulunmamaktadır. Küresel ölçekte atıksuyun sulamada, özellikle tarım amaçlı kullanımı için güvenilir net bir veri olmamakla birlikte, 20 milyon hektarlık bir alanın arıtılmamış, kısmen arıtılmış ya da atıksu deşarj edilmiş nehir suyu ile sulandığı tahmin edilmektedir. Bu noktada, atıksuların sulamada kullanımı ile ilgili olarak standartların oluşturulması büyük önem taşımaktadır (The United Nations World Water Development Report No:3, 2009).

Tüm dünyada atıksuyu geri kazanan ülkeler ve geri kazanımla ilgili uyguladıkları metotlar aşağıdaki tabloda genel hatlarıyla verilmiştir. Bu tabloda verilen örnekler EPA'nın 2004 yılında yayınladığı rapordan alınmıştır ve geri kazanım yapan ülkelerde öne çıkan uygulamaları içermektedir.

**Çizelge 2.4.**Dünya çapında atıksuyu geri kazanan bazı ülkeler ve uygulanan teknolojiler (US EPA, 2004)

| Ülke | Geri Kazanım Metodu | Uygulama Sahası |
|---|---|---|
| **Japonya** | Konvansiyonel arıtma yöntemleri | Tuvalet temizliği, Sulama, Endüstriyel kullanım, Genel temizlik, Kar eritme suyu |
| **Fransa** | Konvansiyonel arıtma yöntemleri | Tarım arazilerinin sulanması |
| **Mısır** | Konvansiyonel arıtma yöntemleri | Tarım arazilerinin sulanması |
| **Brezilya** | Konvansiyonel arıtma yöntemleri | Endüstriyel kullanım, Tuvalet temizliği, Yeşil alanların sulanması |
| **Belçika** | Konvansiyonel arıtma yöntemleri | Endüstriyel kullanım |
| | Konvansiyonel arıtma çıkışında mikrofiltrasyon ve R.O. sistemi | İçme suyu olarak kullanım |
| | Kum filtresi, mikrofiltrasyon ve R.O. (planlama aşamasında) | Tekstil endüstrisine su temini için konvansiyonel arıtma çıkış sularına |
| **Arjantin** | Konvansiyonel arıtma yöntemleri | Tarım arazilerinin sulanması |
| **Avustralya** | Konvansiyonel arıtma yöntemleri | Kentsel yeşil alam sulanması, yol ve cadde temizliği, tuvalet temizliği |
| **Çin** | Konvansiyonel arıtma yöntemleri | Endüstriyel kullanım |
| **İran** | Konvansiyonel arıtma yöntemleri | Tarım arazilerinin sulanması |
| **İtalya** | Konvansiyonel arıtma yöntemlerine ilave olarak bazı şehirlerinde uygun şekilde arıtılmamış su da geri kazanımda kullanılıyor. | Tarım arazilerinin sulanması |
| | Filtrasyon ve klorlama ile üçüncül arıtım | Endüstriyel ve tarımsal kullanım |
| **İspanya** | Koagülasyon, flokülasyon, filtrasyon ve dezenfeksiyon | Yeşil alanların sulanması, Caddelerin temizliği, Yangın söndürme |
| **Meksika** | Konvansiyonel arıtma yöntemlerinin ardından koagülasyon, flokülasyon ve dezenfeksiyon | Tarım arazilerinin sulanması, Araç yıkama, Genel temizlik, Yeşil alanların sulanması, Soğutma kulelerinde make-up suyu olarak |
| **Fas** | Stabilizasyon havuzlarıyla konvansiyonel arıtım sonrası dezenfeksiyon | Golf sahalarının sulanması |
| **Suudi Arabistan** | Aktif çamur tesisinden sonra filtrasyon ve dezenfeksiyon | Tarım arazilerinin sulanması |
| **B.Arap Emirlikleri** | Konvansiyonel arıtma yöntemlerinin ardından kum filtrasyonu ve klorlama | Tarım arazilerinin sulanması |
| **Singapur** | Konvansiyonel arıtma yöntemleri + R.O.+ UV | İçme suyu sistemine karıştırarak kullanım |

Uluslararası yaklaşım ve standartlara göre değerlendirmelerin özeti aşağıda verilmiştir.

Birleşmiş Milletler tarafından 5 Haziran 1972 yılında Stockholm'de düzenlenen çevre konferansı neticesinde yayınlanan Stockholm Çerçeve Antlaşması, su kaynaklı hastalıkların kontrolü için risk değerlendirmesi ve risk yönetimi konularına bütüncül bir yaklaşım sunan ilk çalışmadır. Anlaşma, Dünya Sağlık Örgütü'nün ilgili prensiplerine temel oluşturmaktadır. Ayrıca; konuyla ilgili standartları oluşturmadan önce su kaynaklı hastalıkların sağlık risklerini ortaya koymuş, temel kontrol yaklaşımlarını belirlemiş ve bu yaklaşımların halk sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Bu çalışma, diğer çalışmalara esas teşkil etmiştir.

Dünya Sağlık Örgütüne göre; geri kazanılmış atıksu, sulamada kullanılırken izlenmesi/kontrol altında tutulması gereken temel parametreler; tuzluluk, iz elementler, bakiye klor ve nutrientlerdir (US EPA, 2004).

Geri kazanılmış atıksudaki bileşenlerin tip ve konsantrasyonu; içme suyu temin sistemine, kanalizasyon sistemine sızan atık akımlarının (evsel ya da endüstriyel) miktar ve kompozisyonuna, atıksu arıtma prosesine ve depoların tipine bağlıdır. Geri kazanılan suyun kalitesine olumsuz yönde etki edebilecek olan şartlar şunlardır:

- Yüksek TÇKM seviyeleri,
- Kanalizasyon sistemine karışması muhtemel toksik endüstriyel deşarjlar,
- Kıyı kesimlerinde tuzlu suyun kanalizasyon sistemine karışması.

Amerika Birleşik Devletlerinde, su kalitesi ve arıtma konusu, suyun geri kazanımı konusundaki yönetmelikler içinde en çok önem arz eden hususdur. Atıksuyun geri kazanımı konusunda yönetmeliklere sahip olan eyaletler, minimum arıtma gerekliliklerini ya da geri kazanılmış suyun kalitesi için standartları belirlemiştir. Genellikle, geri kazanım uygulamasının olduğu yerlerde halkın ulaşımının mümkün olduğu sahalar, atıksuların kullanım amacına göre yüksek oranda arıtılması gereken yerlerdir. Halkın bu alanlara maruziyeti olası değilse; daha düşük seviyede arıtma genellikle kabul edilmektedir. Suyun kalite sınırları için en önemli parametreler, BOİ, TAKM ve toplam veya fekal koliform sayılarıdır. Koliform değeri dezenfeksiyonun derecesini belirlemek için indikatör olarak kullanılmaktadır. Bulanıklık için konulan sınır değerleri genellikle arıtmanın performansını izlemek içindir.

EPA, geri kazanılmış suyun yeniden kullanımını aşağıdaki başlıklarda toplamıştır (US EPA, 2004). :

1. Sınırlandırılmış (Kısıtlanmış) Kentsel Kullanım
2. Sınırlandırılmamış (Kısıtlanmamış) Kentsel Kullanım
3. Tarımda Kullanım
4. Sınırlandırılmamış Rekrasyonel Kullanım
5. Sınırlandırılmış Rekrasyonel Kullanım
6. Sulak Alanlarda Kullanım
7. Endüstriyel Kullanım
8. Yeraltına Suyu Beslemesi/ Yeraltına Enjeksiyon
9. Dolaylı Olarak İçme Suyu Olarak Kullanım

Geri kazanılan suyun kullanımı için sınır değerler, ABD'nin eyaletleri arasında farklılıklar göstermektedir. Yukarıda verilen kullanım şekillerinden, KOSKİ bünyesinde kurulan Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanımı projesine uygun olan kentsel kullanım ve rekrasyonel kullanım için EPA dokümanında yer verilen sınır değerler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

**Çizelge 2.5.** Sınırlandırılmamış rekrasyonel kullanım için sınır değerleri (US EPA, 2004)

| | **ABD'deki Eyaletler** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Arizona** | **California** | **Florida** | **Hawai** | **Nevada** | **Teksas** | **Washington** |
| **Arıtma Prosesi** | NR | Oksidasyon, Koagülasyon, Durultma, Filtrasyon, Dezenfeksiyon | NR | NR | İkincil arıtma, Dezenfeksiyon | NS | Oksidasyon, Koagülasyon, Filtrasyon, Dezenfeksiyon |
| **$BOİ_5$** | NR | NS | NR | NR | 30mg/lt | 5mg/lt | 30mg/lt |
| **TAKM** | NR | NS | NR | NR | NS | NS | 30mg/lt |
| **Bulanıklık** | NR | 2 NTU(ort.) | NR | NR | NS | 3NTU | 2NTU(ort.) |
| | | 5NTU(maks.) | | | | | 5NTU(maks.) |
| **Koliform** | NR | Toplam | NR | NR | Fekal | Fekal | Fekal |
| | | 2.2/100ml(ort.) | | | 2.2/100ml (ort.) | 20/100ml (ort.) | 2.2/100ml (ort.) |
| | | 23/100ml (30günlük maks.) | | | 23/100ml (maks.) | 75/100ml (maks) | 23/100ml(maks.) |

NR: Eyalet tarafından düzenlenen bir yönetmelik mevcut değil- yönetmelik yok.
NS: Eyaletin yönetmeliğinde bir limit mevcut değil.

**Çizelge 2.6.** Sınırlandırılmış rekrasyonel kullanım için sınır değerler (US EPA,2004)

| | **ABD'deki Eyaletler** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Arizona** | **California** | **Florida** | **Hawai** | **Nevada** | **Teksas** | **Washington** |
| **Arıtma Prosesi** | İkincil arıtma, Filtrasyon, Dezenfeksi-yon | İkincil arıtma, Oksidasyon, Dezenfeksi-yon | NR | Oksidasyon, Filtrasyon, Dezenfeksi-yon | İkincil arıtma, Dezenfeksi-yon | NS | Oksidasyon, Dezenfeksi-yon |
| **$BOİ_5$** | NS | NS | NR | NR | 30mg/lt | 20mg/lt | 30mg/lt |
| **TAKM** | NS | NS | NR | NS | NS | NS | 30mg/lt |
| **Bulanıklık** | 2NTU(ort.) | NS | NR | 2NTU (maks) | NS | NS | 2NTU(ort.) |
| | 5NTU(maks.) | | | | | | 5NTU(maks.) |
| **Koliform** | Fekal | Toplam | NR | Fekal | Fekal | Fekal | Fekal |
| | Tespit edilemeyecek kadar | 2.2/100ml (ort.) | | 2.2/100ml (ort.) | 2.2/100ml (ort.) | 200/100 ml(ort.) | 2.2/100ml (ort.) |
| | 23/100ml (maks.) | 23/100ml (30günlük maks.) | | 23/100ml (maks.) | 23/100ml (maks.) | 800/100 ml (maks) | 23/100ml (maks.) |

NR: Eyalet tarafından düzenlenen bir yönetmelik mevcut değil- yönetmelik yok.
NS: Eyaletin yönetmeliğinde bir limit mevcut değil.

**Çizelge 2.7.** Sınırlandırılmamış kentsel kullanım için sınır değerler (US EPA,2004)

| | **ABD'deki Eyaletler** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Arizona** | **California** | **Florida** | **Hawai** | **Nevada** | **Teksas** | **Washington** |
| **Arıtma Prosesi** | İkincil arıtma, Filtrasyon, Dezenfeksi-yon | Oksidasyon, Koagülasyon, Filtrasyon, Dezenfeksi-yon | İkincil arıtma, Filtrasyon, Yüksek dozda dezenfeksiyon | Oksidasyon ,Filtrasyon, Dezenfeksi-yon | İkincil arıtma, Dezenfek-siyon | İkincil arıtma, Dezen-feksiyon | Oksidasyon, Koagülasyon, Filtrasyon, Dezenfeksi-yon |
| **$BOİ_5$** | NS | NS | 20mg/lt | NS | 30mg/lt | 5mg/lt | 30mg/lt |
| **TAKM** | NS | NS | 5mg/lt | NS | NS | NS | 30mg/lt |
| **Bulanıklık** | 2NTU(ort.) | 2NTU(ort.) | NS | 2NTU (maks) | NS | 3NTU | 2NTU(ort.) |
| | 5NTU(maks.) | 5NTU(maks.) | | | | | 5NTU(maks.) |
| **Koliform** | Fekal | Toplam | Fekal | Fekal | Fekal | Fekal | Fekal |
| | Tespit edilemeyecek kadar | 2.2/100ml (ort.) | Numunelerin %75'inde değerin altında | 2.2/100ml (ort.) | 2.2/100ml (ort.) | 20/100 ml (ort.) | 2.2/100ml (ort.) |
| | 23/100ml (maks.) | 23/100ml (maks.) | 25/100ml (maks.) | 23/100ml (maks.) | 23/100ml (maks.) | 75/100 ml (maks) | 23/100ml (maks.) |

NS: Eyaletin yönetmeliğinde bir limit mevcut değil.

**Çizelge 2.8.** Sınırlandırılmış kentsel kullanım için sınır değerler (US EPA,2004)

| | **ABD'deki Eyaletler** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Arizona** | **California** | **Florida** | **Hawai** | **Nevada** | **Teksas** | **Washington** |
| **Arıtma Prosesi** | İkincil arıtma, Filtrasyon, Dezenfeksi-yon | Oksidasyon, Koagülasyon, Filtrasyon, Dezenfeksi-yon | İkincil arıtma, Filtrasyon, Yüksek dozda dezenfeksiyon | Oksidasyon, Filtrasyon, Dezenfeksi-yon | İkincil arıtma, Dezenfeksiyon | NS | Oksidasyon, Koagülasyon ,Filtrasyon, Dezenfeksi-yon |
| **$BOİ_5$** | NS | NS | 20mg/lt | NS | 30mg/lt | 20mg/lt | 30mg/lt |
| **TAKM** | NS | NS | 5mg/lt | NS | NS | NS | 30mg/lt |
| **Bulanıklık** | NS | NS | NS | 2NTU (maks.) | NS | 3NTU | 2NTU(ort.) |
| | | | | | | | 5NTU(maks) |
| **Koliform** | Fekal | Toplam | Fekal | Fekal | Fekal | Fekal | Fekal |
| | Tespit edilemeyecek kadar | 2.2/100ml (ort.) | Numunelerin %75'inde değerin altında | 2.2/100ml (ort.) | 2.2/100ml (ort.) | 20/100 ml(ort.) | 2.2/100ml (ort.) |
| | 23/100ml (maks.) | 23/100ml (maks.) | 25/100ml (maks.) | 23/100ml (maks.) | 23/100ml (maks.) | 75/100m l (maks) | 23/100ml (maks.) |

NR: Eyalet tarafından düzenlenen bir yönetmelik mevcut değil- yönetmelik yok.
NS: Eyaletin yönetmeliğinde bir limit mevcut değil.

Avrupa Birliği bünyesinde atıksuyun geri kazanımı konusunda bir yönetmelik bulunmamakta, sadece Kentsel Atıksu Arıtma Direktifinde "arıtılmış atıksu, uygun olduğunda geri kazanılabilir; tasfiye yöntem(ler)i, çevre üzerindeki olumsuz etkileri minimize etmelidir" ifadesi yer almaktadır. Ancak, Akdeniz Havzasındaki ülkelerden, arıtılmış atıksuyun geri kazanılarak sulamada kullanımı ile ilgili standartlar geliştirenler mevcuttur.

Örneğin; Fransa ve Tunus'ta, İspanya'nın Katalonya, Balear Adaları bölgelerinde, İtalya'da Sicilya'da Dünya Sağlık Örgütü prensiplerine dayanan kriterler oluşturulmuşken, Güney Kıbrıs, İsrail ve İtalya'nın genelinde daha konservatif değerler içeren Kaliforniya Atıksu Geri Kazanım Kriterleri esas alınmıştır. Ülkeler arasındaki bu yaklaşım farkı standartlar arasında uyuşmazlıklara sebep olmaktadır ( Brissaud, 2008 ).

Salgot ve ark., İspanya ve Almanya'da atıksuyun geri kazanımının muhtemel riskleri üzerine yaptıkları bir çalışmada sulama veya dolaylı akifer şarjı için kullanılacak olan atıksular için kriterler önermişlerdir ( Salgot ve ark., 2006 ). Çalışma ile atıksulardaki kimyasal ve biyolojik parametreler değerlendirilmiş ve kimyasal parametreler için 4 ana kullanım sahasına göre aynı kimyasal parametreler üzerinden farklı limit değerleri önerilmiştir. Kullanım sahaları aşağıda verilmiştir.

1. Özel ve kentsel sulama
2. Çevresel ve akua kültür
3. Dolaylı akifer beslemesi
4. Endüstriyel soğutma

Araştırmacılar, atıksularda virüsleri de içeren 8 biyolojik parametreyi analiz listesine eklemiştir. Daha sonra kimyasal ve biyolojik parametreler, suyun yukarıda bahsi geçen kullanım sahasına göre uygun kullanımını önermişlerdir.

Salgot ve ark. tarafından yapılan çalışmada, İtalya ve İsrail standartları baz alınmıştır. Hali hazırda Kıbrıs, İsrail ve Tunus'ta sulamada kullanılan atıksuların standardı bulunmaktadır ( Angelakis ve ark., 1999 ). Sulamada kullanılacak geri kazanılmış atıksuyun kullanımında Kıbrıs ve İsrail; BOİ, AKM, fekal koliform, nematodlar açısından sınır değerler koyarken, Tunus; bu parametrelere ilave olarak; pH, iletkenlik, klorür ve ağır metal parametrelerinin de kontrolünü de öngörmektedir.

Toze ise, atıksuyun geri kazanımının fayda ve risklerini anlattığı çalışmasında, atıksuyun geri kazanılması ve özellikle sulamada kullanımında dikkate alınması gereken parametreleri açıklamakta ve mikroorganizmalar, ağır metaller, endokrin bozucu kimyasallar, farmasotik maddeler, nütrientler ve bilhassa tuzluluğa dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamıştır (Toze, 2006 ).

Ülkemizde, sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksularda aranan özellikler, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Ek 7'de belirtilmiştir. İlgili Ekte, arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak geri kullanım kriterleri, sulanacak olan bitki türleri ve sulama şekline göre sınıflanarak farklı tablolarda yer almıştır. Kullanım amacına göre iki ana sınıf altında toplanan (Sınıf A ve Sınıf B) geri kazanılmış atıksularda, ilgili parametrelerin deşarj değerleri ve çıkış suyu kalitesinin ne sıklıkta izlenmesi gerektiği açıklanmıştır.

Teknik Usuller Tebliği Ek 7'de yer alan tablolar bir araya getirilerek Çizelge 2.9 'da verilmiştir.

**Çizelge 2.9.** AAT teknik usuller tebliği EK 7'de yer alan parametreler ve konsantrasyon değerleri

| ATIKSU ARITMA TESİSİ TEKNİK USULLER TEBLİĞİ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parametre** | **Birim** | **Tablo E7.2** | | | **Tablo E7.7** | | **Tablo E7.8** | | **Tablo E7.9** |
| | | **Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo** | | | **Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler** | **pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında** | **Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları** | | **Geri kazanılmış atıksuda olabilecek nutrient seviyeleri (BNR+ filtrasyon+ dezenfeksiyon)** |
| | | **Yok (I. Sınıf su)** | **Az-orta (II. Sınıf su)** | **Tehlikeli (III. Sınıf su)** | | | **Ortalama** | **Üçüncül arıtma** | |
| **İletkenlik** | µS/cm | <700 | 700-3000 | >3000 | - | - | - | - | - |
| **Toplam çözünmüş madde** | mg/L | <500 | 500-2000 | >2000 | - | - | - | - | - |
| $SAR_{TAD}$ | mg/L | EC | EC | EC | - | - | - | - | - |
| 0-3 | | ≥ 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 | 5-2.9 | < 2.9 | | | | | |
| **Sodyum (Na)** | | | | | | | | | |
| Yüzey sulaması | mg/L | < 3 | 3-9 | >9 | - | - | - | - | - |
| Damlatmalı sulama | | < 70 | >70 | | - | - | - | - | - |
| **Klorür(Cl)** | | | | | | | | | |
| Yüzey sulaması | mg/L | <140 | 140-350 | >350 | - | - | - | - | - |
| Damlatmalı sulama | | <100 | >100 | | - | - | - | - | - |
| Bor (B) | mg/L | <0.7 | 0.7 - 3.0 | >3.0 | - | - | - | - | - |
| **Nütrientler** | | | | | | | | | |
| Toplam Azot | mg/L | - | - | - | - | - | - | - | 2-12 |
| Nitrat Azot | mg/L | - | - | - | - | - | - | - | 1-10 |
| Toplam Fosfor | mg/L | - | - | - | - | - | - | - | < 2 |
| **Ağır Metaller** | | | | | | | | | |
| Alüminyum(Al) | mg/L | - | - | - | 5.0 | 20 | - | - | - |
| Arsenik (As) | mg/L | - | - | - | 0.1 | 2 | <0.005 | <0.001 | - |
| Berilyum(Be) | mg/L | - | - | - | 0.1 | 0.5 | - | - | - |
| Bor(B) | mg/L | - | - | - | - | 2 | 0.7 | 0.3 | - |
| Kadmiyum(Cd) | mg/L | - | - | - | 0.01 | 0.05 | <0.005 | <0.0004 | - |
| Krom (Cr) | mg/L | - | - | - | 0.1 | 1.0 | 0.02 | <0.01 | - |
| Kobalt(Co) | mg/L | - | - | - | 0.05 | 5.0 | - | - | - |
| Bakır (Cu) | mg/L | - | - | - | 0.2 | 5.0 | 0.04 | <0.01 | - |
| Florür | mg/L | - | - | - | 1.0 | 15 | - | - | - |
| Demir (Fe) | mg/L | - | - | - | 5.0 | 20 | - | - | - |
| Kurşun (Pb) | mg/L | - | - | - | 5.0 | 10 | 0.008 | <0.002 | - |
| Lityum (Li) | mg/L | - | - | - | 2.5 | 2.5 | - | - | - |
| Manganez(Mn) | mg/L | - | - | - | 0.2 | 10 | - | - | - |
| Molibden(Mo) | mg/L | - | - | - | 0.01 | 0.05 | 0.007 | - | - |
| Nikel | mg/L | - | - | - | 0.2 | 2.0 | 0.004 | <0.02 | - |
| Selenyum(Se) | mg/L | - | - | - | 0.02 | 0.02 | <0.005 | <0.001 | - |
| Vanadyum | mg/L | - | - | - | 0.1 | 1.0 | - | - | - |
| Çinko(Zn) | mg/L | - | - | - | 2.0 | 10 | 0.04 | 0.05 | - |
| Civa (Hg) | mg/L | - | - | - | - | - | 0.0005 | 0.0001 | - |

Türkiye'de 2008 yılı itibariyle belediyelere ait 29'u fiziksel, 158'i biyolojik, 32'si gelişmiş ve 17'si doğal arıtma sistemi olmak üzere toplam 236 atıksu arıtma tesisi bulunmakta ve bu tesisler ile 442 belediyeye hizmet verilmektedir. Kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 3.26 milyar $m^3$ atık suyun 2.25 milyar $m^3$'ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmıştır. Arıtılan atıksuyun %38.3'une biyolojik, %32.7'sine fiziksel, %28.8'ine gelişmiş ve %0.3'une doğal arıtma uygulanmıştır.

İşletilmekte olan atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularının, bu çalışmada bahsedildiği şekillerde geri kazanımı ise (temizlik, yeşil alan sulaması vb.) Türkiye'de henüz yaygınlaşmamıştır.

Hâlbuki geri kazanılmış atıksuların sulamada kullanılması, ucuz su kaynağı oluşu, uzaklaştırılması gereken atıksuyun aynı zamanda güvenilir şekilde bertaraf edilmesi, atıksudaki nütrientlerin bitkilere gübre etkisi yapması gibi nedenlerle arıtılmış atıksuları sulamada kullanım için avantaj oluşturmaktadır. Öte yandan, yeterince arıtılmamış atıksular, sulama sistemlerini ve topraktaki kapiler boşlukları tıkayabilmekte, suda çözünmüş maddeler bitkiler için toksik etki yapabilmektedir (Tokgöz, 2008). Yani, arıtılmış atıksuların sulamada kullanımı, bir takım yeterlilikleri sağlayan nitelikte su elde edildikten sonra yapılmak zorundadır. Burada da yasal mevzuat AAT Teknik Usuller Tebliği'dir.

Konuyla ilgili olarak 1990'lı yıllardan bugüne yapılan çalışmalarda, Türkiye'nin bazı bölgelerinde atıksuların sulamada kullanılabilirliği ile ilgili incelemeler yapılmıştır. Örneğin; halen işletilmekte olan evsel atıksu arıtma tesislerinden 4 tanesinde yapılan bir çalışmaya göre, tesislerin çıkış suları; fekal koliform, nitrat ve SAR parametreleri hariç, sulama suyu sınıflandırması açısından I ila III nolu sınıflarda yer almaktadır. Ancak düzenli işletilmeyen ya da sorunlu olan dezenfeksiyon sistemleri yüzünden 3 tesisin çıkış suyu V no'lu (zararlı kullanıma uygun değil) sınıfın üstüne çıkamamış, dördüncü tesis ise IV no'lu (ihtiyatlı kullanılmalı) sınıfında yer almıştır. Bu çalışma; dezenfeksiyonun, nihai bir arıtma kademesi olarak ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu 4 arıtma tesisinin çıkışında çeşitli nedenlerden dolayı dezenfeksiyon yapılmadığı için yüksek fekal koliform değerleri yüzünden çıkış suyunun sulamada kullanılmasının uygun olmadığını belirlenmiştir. Bu çalışmada incelenen atıksu arıtma tesisleri Silivri - İstanbul, Paşaköy - İstanbul, Kayseri ve Yumurtalık-Adana atıksu arıtma tesisleridir. Tesislere ait genel bilgiler çizelge 2.10'de verilmiştir (Alaton ve ark., 2007 ).

**Çizelge 2.10.** Deşarj suyu açısından çıkış suları incelenen AAT 'leri (Alaton ve ark., 2007)

| **Tesis adı** | **Bulunduğu Şehir** | **Kapasite ($m^3$/gün)** |
|---|---|---|
| **Silivri AAT** | İstanbul | 1.350 |
| **Paşaköy AAT** | İstanbul | 100.000 |
| **Kayseri AAT** | Kayseri | 110.000 |
| **Yumurtalık AAT** | Adana | 227.000 |

Arıtılmış atıksuların tarım arazilerinin sulanmasında kullanımına yönelik eski tarihli araştırmalardan biri, Menemen Ovası'nın sulanması için İzmir Atıksu Arıtma Tesisi 'nin çıkış sularının uygunluğunun araştırıldığı çalışmadır (Atış ve Saraçoğlu, 1999).

Bu arıtma tesisi işletmeye açıldıktan sonra yapılan analizlerde, çıkış suyunun; tuzluluk, EC (iletkenlik), ÇKM, SAR ve Cl açısından birçok bitkinin tolerans sınırını aştığı ve dolayısıyla mevcut durumuyla bu suların sulamada kullanımının mümkün olmadığı belirtilmiştir (Karataş ve ark., 2005). Öte yandan İZSU tarafından yapımı devam eden ya da henüz işletmeye alınan evsel atıksu arıtma tesislerinden; Torbalı, Menemen, Ayrancılar ve Bayındır atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularının bölgedeki tarım arazilerinin sulanmasında kullanılması planlanmaktadır.

Benzer şekilde Gaziantep ve Ankara'daki evsel atıksu arıtma tesislerinin çıkış suları da Sacir Deresi ve Ankara Çayı vasıtasıyla tarım arazilerinin su ihtiyacını karşılamaktadır. Konya Kapalı Havzasında sulamadan dönen suları ve taşkın sularını uzaklaştırmak amacıyla inşa edilmiş bulunan ana tahliye kanalı, atıksu arıtma tesisi işletmeye alınmadan önce Konya atıksularını da taşımaktaydı. Arıtılmadan bu kanala verilen atıksular kanal boyunca yer alan tarım arazilerinde sulama amacıyla kullanılmıştır. Bu uygulamanın sonucunda tarım topraklarında tuzluluk ve bor konsantrasyonunda artış saptanmıştır. Tuzluluk 4 kat artmış, bor; toprak profilinde hiç yokken 0.38 ppm değerine kadar yükselmiştir (Berktay ve Aydın, 1996). Arıtılmadan kullanılan atıksular, patojen bakteriler, mikrofungus ve bağırsak parazitlerinin sayı ve türlerinde önemli artışa neden olmuştur. Bu durum da, atıksuların arıtılmadan deşarjının toprak yapısı üzerindeki etkisini göstermesi açısından önemlidir. Evsel atıksuların üçüncül arıtmadan geçirilerek geri kazanımı konusunda dünya çapındaki çalışmaların belli başlıcaları Çizelge 2.11'de verilmiştir. Çizelge 2.11.'de yalnızca Konya Atıksu Arıtma Tesisi'ne benzer nitelikte olan tesisler arasından arıtılmış atıksuyu geri kazanım örnekleri verilmiştir.

**Çizelge 2.11.**Atıksuyun geri kazanılarak sulamada kullanılması konusunda yapılan benzer çalışmalar ve detayları (Nas ve Kaynak, 2010)

| **Ülke** | **Sistem** | **Çalışma Niteliği/ Kapasite** | **Kontrol Parametreleri** | **Yıl** |
|---|---|---|---|---|
| **Kuveyt** | Mirofiltrasyon | Pilot :6$m^3$/saat | BOİ, KOİ, AKM, pH, M.orglar, SAR, Bakiye Sodyum Karbonat, İletkenlik, İz elementler | 2005 |
| **Kuveyt** | Basınçlı kum filtresi | Pilot | BOİ, KOİ, AKM, UAKM | 2003 |
| **İtalya** | Ultrafiltrasyon | Pilot :1$m^3$/saat | BOİ, KOİ, TÇKM, Kjehldahl azotu, toplam fosfor ve koliform | 2006 |
| **İtalya** | Basınçlı kum filtresi &Perasitik asit&UV | Pilot :16$m^3$/saat | KOİ, TAKM, Bulanıklık, Toplam koliform, E.Coli, Giardia, Crytosporidium | 2004 |
| **Yunanistan** | Koagülant dozajı&Filtrasyon& Aktif karbon&Ozonlama | Büyük Ölçek: 800-1000 $m^3$/gün | Bulanıklık, TOK, Azot, Fosfor. | 2005 |
| **İspanya-Valencia** | 1.Koagülasyon, Flokülasyon, Çöktürme, Filtrasyon, UV 2.Filtrasyon&UV 3.UF | Pilot :2$m^3$/saat | KOİ, Fekal koliform, Bulanıklık, pH, AKM, İletkenlik. | 2007 |
| **İspanya-Sevilla** | Mikrofiltrasyon& Ultrafiltrasyon. | Pilot: 1.6$m^3$/saat | BOİ, KOİ, TAKM, Bulanıklık, Renk, Koliform. | 2001 |
| **İspanya-Almeria AAT** | Basınçlı kum filtresi &Ozonlama. | Büyük Ölçek | BOİ, KOİ, AKM, Toplam Koliform, Helminth Yumurtaları. | 1997 |
| **İngiltere** | 1.Ozonlama, 2.UV 3.MF | Pilot | TOK, Renk, Toksisite, E.Coli. | 2005 |
| **Güney Kıbrıs- Ayia Napa Paralimini AAT** | Kum filtresi & Klor dezenfeksiyonu | Büyük Ölçek | KOİ, BOİ, Toplam azot ve fosfor, Toplam koliform, İletkenlik, AKM | 2002 -… |

Güney Kıbrıs: Ayia Napa – Paralimni Atık Su Arıtma Tesisi; 12.000 $m^3$/gün kapasiteli bu aktif çamur tesisi 2002 yılından beri işletilmekte ve arıtılan suyun tamamı sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu tesiste de kum filtresi ve klorlama ile üçüncül arıtma yapılarak, elde edilen su hem yeşil alan sulamasında hem de patates tarlalarının sulanmasında kullanılmaktadır. Bu tesisteki geri kazanım sistemi sayesinde 100 hektarlık bir alana sürekli olarak su sağlanmaktadır. Ayia Napa – Paralimni AAT çıkış suyu değerleri; Toplam koliform: 0 (kış-yaz), BOİ: 1.14 -1.48 mg/l ,KOİ: 48-52 mg/l, Toplam Azot: 23.8-15.1 mg/l ,Toplam Fosfor : 6.12-6.65 mg/l, İletkenlik: 2.2-1.8, AKM: 1.95-2.65 mg/l olarak ölçülmüştür (Fatta, 2005).

Akdeniz Havzası bazında özellikle İsrail, G. Kıbrıs, Ürdün ve Tunus; Dünya genelinde ise Güney Afrika, Japonya, Mısır, Suudi Arabistan, Brezilya, Arjantin, ABD özellikle California, Arizona, Florida eyaletlerinde geri kazanılmış atıksuyu sulamada yaygın olarak kullanmaktadır.

**Çizelge 2.12.** Atıksuyun yeniden kullanım örnekleri

| Ülke | Uygulama Sahası |
|---|---|
| **Japonya** | Tuvalet temizliği, Sulama, Endüstriyel kullanım, Genel temizlik, Kar eritme suyu olarak |
| **Fransa** | Tarım arazilerinin sulanması |
| **Mısır** | Tarım arazilerinin sulanması |
| **Brezilya** | Endüstriyel kullanım, Tuvalet temizliği, Yeşil alanların sulanması |
| **Belçika** | Endüstriyel kullanım |
| | İçme suyu olarak kullanım |
| | Tekstil endüstrisine su temini için konvansiyonel arıtma çıkış sularına |
| **Arjantin** | Tarım arazilerinin sulanması |
| **Avustralya** | Kentsel yeşil alan sulaması, yol ve cadde temizliği, tuvalet temizliği |
| **Çin** | Endüstriyel kullanım |
| **İran** | Tarım arazilerinin sulanması |
| **İtalya** | Tarım arazilerinin sulanması |
| | Endüstriyel ve tarımsal kullanım |
| **İspanya** | Yeşil alan sulaması, Caddelerin temizliği, Yangın söndürme |
| **Meksika** | Tarım arazilerinin sulanması, Araç yıkama, Genel temizlik, Yeşil alanların sulanması |
| **Fas** | Golf sahalarının sulanması |
| **Suudi Arabistan** | Tarım arazilerinin sulanması |
| **Birleşik Arap Emirlikleri** | Tarım arazilerinin sulanması |
| **Singapur** | İçme suyu sistemine karıştırarak kullanım |

# 3. MATERYAL VE YÖNTEM

## 3.1. Atıksu Karakteristiği

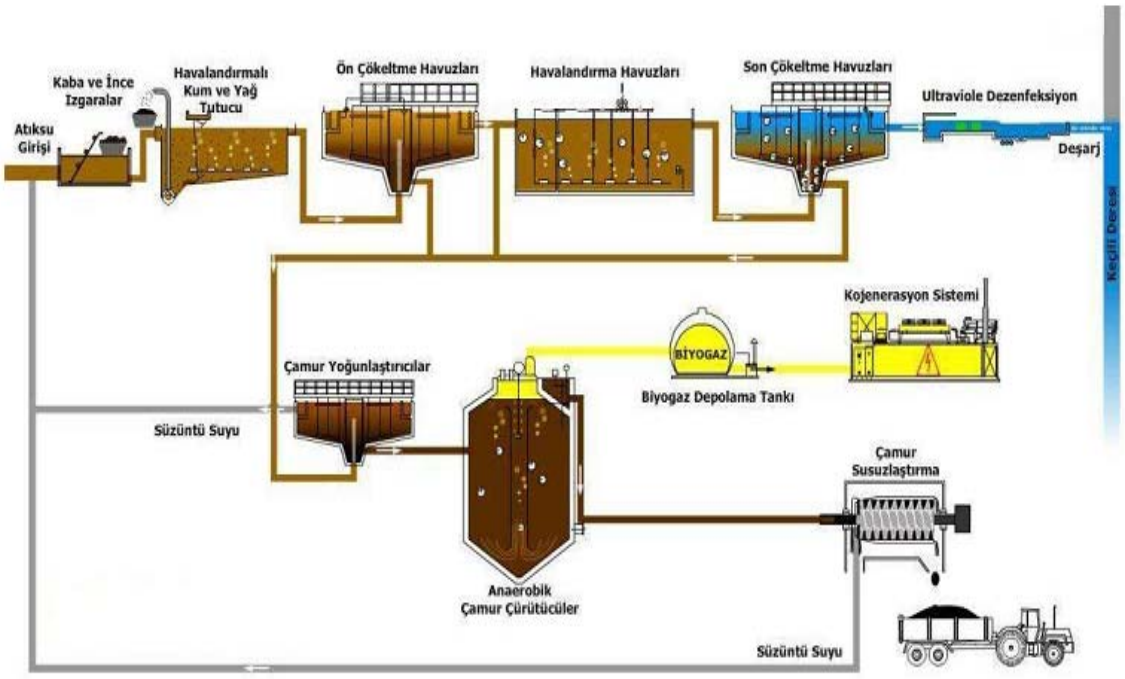
Konya Atıksu Arıtma Tesisi Projesi'nin birinci kademesi; 200.000 $m^3$/gün debi ve 1.000.000 eşdeğer nüfusa göre tasarlanmıştır. Tesis; karbon giderimine, kısmi azot giderimine ve ileri biyolojik arıtma metoduna göre dizayn edilmiştir. Çıkış sularının UV dezenfeksiyon sisteminden geçirilerek deşarj edilmesi planlanmıştır. Pilot tesis çalışmaları ve sonrasında Gerçek ölçekli tesis çalışmaları ise Konya AAT 'nin çıkış suyu kanalından alınan arıtılmış atıksuya uygulanmıştır.



**Şekil.3.1.** Konya AAT genel yerleşim planı

**Çizelge 3.1.** Konya AAT üniteleri

| Sistemler | Proses Yapıları |
|---|---|
| **Mekanik Ön Arıtma Üniteleri** | Atıksu Giriş Yapısı, Kaba ve İnce Izgaralar, Giriş Pompa İstasyonu |
| | Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucu |
| | Ön Çökeltme Havuzları |
| | Havalandırma Havuzları |
| | Son Çökeltme Havuzları |
| **Çamur Arıtımı ve Enerji Kazanımı** | Çamur Yoğunlaştırma Havuzları |
| | Anaerobik Çamur Çürütme Tankları |
| | Biyogaz Depolama Tankları |
| | Isı Merkezi ve Enerji Geri Kazanım Ünitesi |
| **Dezenfeksiyon** | Açık Kanal UV Dezenfeksiyon Sistemi |
| **Diğer Üniteler** | İdari Bina |
| | Atölye- Garaj Binası |
| | Trafo Binaları |
| | Dağıtım Yapıları |
| | Çamur Pompa İstasyonları |
| | By-pass kanalı |
| | Çamur Depolama Alanları |




**Şekil 3.2.** Konya atıksu arıtma tesisine ait genel akım şeması

**Çizelge 3.2.** Konya atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış suyu kalite kriterleri

| Parametre | Birim | Giriş | Çıkış |
|---|---|---|---|
| **$BOİ_5$** | mg/lt | 320 | < 20 |
| **AKM** | mg/lt | 295 | < 20 |
| **KOİ** | mg/lt | 775 | < 90 |
| **pH** | - | 6-9 | 6-9 |
| **Toplam Azot** | mg/lt | 50 | 10 |
| **Toplam Fosfor** | mg/lt | 15 | - |
| **Toplam Koliform** | adet/100 ml | - | 1000 |
| **Fekal Koliform** | adet/100 ml | - | 50 |

Kentsel yeşil alanların sulanması için atıksu arıtma tesisinin çıkışında kurulan geri kazanım tesisi ve sulama suyu şebekesinden oluşan sistem mor şebeke olarak adlandırılmıştır. Bu proje kapsamında kullanılan atıksu arıtma tesisi çıkış suyu, pilot ölçekli tesis ve atıksu geri kazanım tesisi giriş suyu olarak sisteme girmiştir.

### 3.1.1. Analiz Metotları

Pilot ölçekli ileri atıksu arıtma tesisi ve Gerçek ölçekli ileri atıksu arıtma tesislerinin laboratuar çalışmaları KOSKİ Atıksu Arıtma Tesisi bünyesindeki laboratuarlarda yürütülmüştür.

İletkenlik, pH, sıcaklık; HACH marka HQ4OB model multimetre ile anlık olarak ölçülmüştür.

Bulanıklık; HACH marka 2100N model turbidimetre kullanılarak SM 2130 B metodu ile ölçülmüştür.

AKM; Gravimetrik metotla (SM 2510 B) analiz edilmiştir.

KOİ; Kapalı Reflux metoduyla (SM 5220 C) analiz edilmiştir.

BOİ; Respirometrik metod (SM 5210 D) ile analiz edilmiştir.

Fekal koliform; hazır besiyeri kullanılarak Binder marka inkübatörde bekletilerek analizi yapılmıştır.

## 3.2. Pilot Ölçekli İleri Atıksu Geri Kazanım Tesisi

Konya ili atıksularının geri kazanılmasında en uygun ve en ekonomik sistemin kurulabilmesi için öncelikle, mevcut atıksu arıtma tesisinin çıkış sularından beslenecek bir pilot tesis kurulmasına karar verilmiştir. Geri kazanılacak suyun doğru karakterizasyonu, kurulacak gerçek ölçekli geri kazanım sisteminin seçiminde büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden; büyük kapasiteli sistemlerden önce pilot sistem kurulması EPA tarafından da önerilmektedir. Pilot tesisin işletilmesi, kurulan sistemdeki arıtmanın yeterliliğini göstermesi ve gereksiz yere karmaşık sistemlerin tasarlanmasının da önüne geçecektir.

Buna göre, KOSKİ AAT arazisi içinde mevcut deşarj kanalının yanındaki alanda 2 $m^3$/saat ürün (çıkış) suyu kapasiteli bir pilot tesis kurulmuştur. Sistem; multimedya (çok katmanlı) kum filtresi, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve dezenfeksiyon (UV ve klor) ünitelerinden oluşmaktadır. Kurulan pilot tesisle ilgili genel bilgiler aşağıda verilmektedir.

Sistemde her bir arıtma kademesinin tekil ya da beraber çalışma verimini değerlendirebilmek için uygun vanalama yapılarak by-pass hatları teçhiz edilmiştir.

Buna göre sistemde şu işletme şekilleri mevcuttur: Multimedya Filtre (MMF), Mikrofiltrasyon (MF), Ultrafiltrasyon (UF), MMF+ MF + UF, MMF + MF, MMF+ UF, MF + UF.

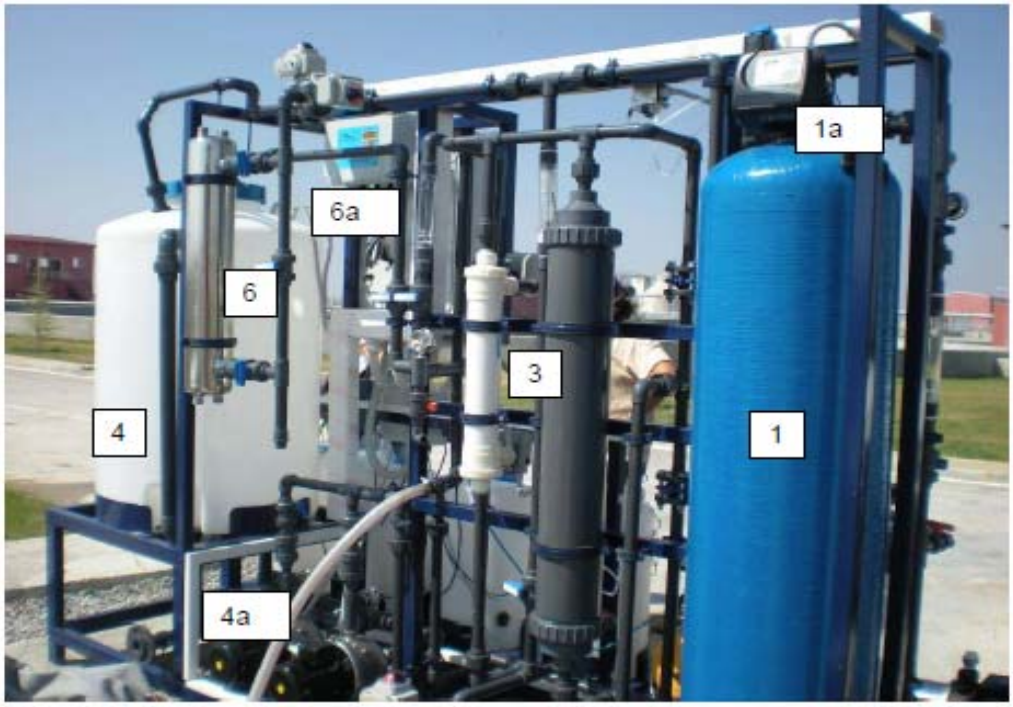
Kurulan sistemde hem partikül filtrasyonu (MMF), hem de membran prosesler (MF ve UF) seçilerek, sulama suyu elde etmek için teknik ve ekonomik anlamda en uygun sistem seçilmeye çalışılmıştır.

**Çizelge 3.3.** Pilot ölçekli ileri arıtma tesisi ekipmanları

| Ekipman No | Ekipman Adı |
|---|---|
| **1** | Multimedya Filtre |
| **1a** | MMF Filtre Otomasyon Sistemi |
| **2** | Mikrofiltrasyon |
| **3** | Ultrafiltrasyon |
| **4** | UF Kimyasal Yıkama ve Durulama Tankı |
| **4a** | UF Yıkama Pompaları |
| **5** | Dozaj Sistemleri |
| **6** | Ultraviyole Cihazı |
| **6a** | UV Panosu |




**Fotoğraf 3.1.** Pilot ölçekli ileri arıtma tesisi (Önden Görünüş)



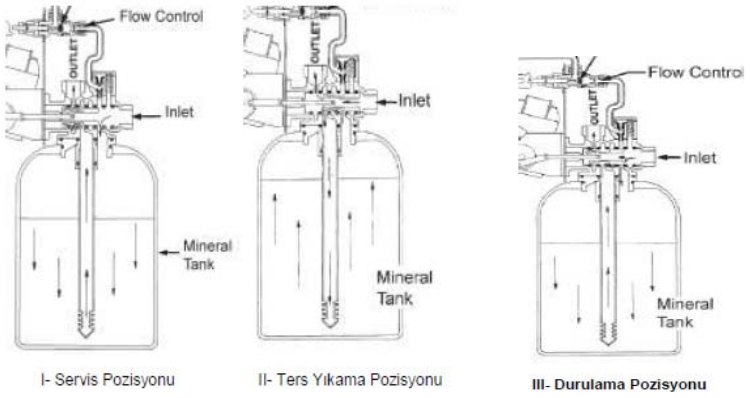

**Fotoğraf 3.2.** Pilot ölçekli ileri arıtma tesisi (Arkadan Görünüş)

### 3.2.1. Multimedya filtre

Çok katmanlı kum filtresi olarak da adlandırılan multimedya filtre cihazı, içerisinde farklı boyutlarda filtre malzemesi bulunduran, otomatik kontrol sistemiyle çalışan bir arıtma ekipmanıdır. Çok katmanlı filtrelerin farklı boyutlarda filtre malzemesine sahip olması, su içerisindeki farklı boyutlardaki partiküllerin farklı boyutlardaki minerallerle tutulmasını sağlamaktadır.

KOSKİ için kurulan pilot sistemde, AAT çıkışı mevcut su kalitesi göz önünde bulundurularak, MMF'in giriş ve çıkışındaki basınç manometrelerle senkron çalışan basınç transmitteri vasıtasıyla 0.5 bar fark basıncına (dP) ayarlanmıştır. Buna göre MMF'e giriş ve çıkıştaki su basıncı farkı 0.5 barı 5 dakika süreyle aştığında, (yani kirletici partiküller filtre malzemesi yüzeyinde biriktiğinde) otomatik kumanda vanası filtreyi ters yıkamaya almaktadır.

Ayrıca, MMF 'den en yüksek filtrasyon verimini alabilmek amacıyla, gün içinde pilot tesisin işletiminin bitirildiği an olan öğlen saat 12.00'de, MMF zaman ayarlı ters yıkamaya otomatik olarak girmektedir. Yani; gün içinde basınç farkı 0.5 bara hiç ulaşmasa bile, her gün sistemdeki MMF 'de otomatik ters yıkama yaptırılmıştır. Ters yıkama işleminin ardından filtre yatağında kalmış olması muhtemel kirleticileri atmak için, yine otomatik vana sistemi ile durulama yapılmaktadır. MMF 'in servis, ters yıkama ve durulama anında suyun pozisyonları aşağıda verilmiştir.




**Şekil 3.3.** Multimedya filtre işletme pozisyonları
(Inlet : Su Giriş, Outlet : Su Çıkış, Flow Control : Debi Kontrol)

**Çizelge 3.4.** Pilot tesis multimedya kum filtresi teknik özellikleri

| **MMF Teknik Detayları** | | | |
|---|---|---|---|
| **Nominal Debi** | 1.5 $m^3$/saat | | |
| **Kontrol Mekanizması** | Otomatik 1'' Kontrol Sistemi | | |
| **Tank Boyutları** | 16"x 65" (41 cm x 165 cm) | | |
| **Tank Hacmi** | 170 L | | |
| **Tank Kesit Alanı** | 0.13 $m^2$ | | |
| **Tank Malzemesi** | FRP (fiberglass takviyeli polipropilen) | | |
| **Giriş-Çıkış Bağlantı Çapı** | 1" | | |
| **Drenaj Hattı Çapı** | 3/4" | | |
| **Filtrasyon Hassasiyeti** | 20 mikron | | |
| **Filtrasyon Kesit Hızı** | 15 m/h | | |
| **Mineral Miktarı** | **Mineral** | **Hacim** | **Boyut** |
| | Kaba çakıl | 20 lt /tank | (5-7 mm) |
| | Orta Çakıl | 20 lt/tank | (3-5 mm) |
| | İnce Çakıl | 20 lt /tank | (1-3 mm) |
| | İnce Kum | 30 lt/tank | (0.4–0.8 mm) |
| | Antrasit | 60 lt /tank | (0.8–1.6 mm) |
| **Yatak Genleşmesi** | % 35 | | |
| **Ters Yıkama Süresi** | 15–25 dk | | |
| **Ters Yıkama Periyodu** | Tam Otomatik Zaman ve Basınç Farkı Kontrollü | | |
| **Ters Yıkama Materyali** | Su ile | | |
| **Tank İçi Dağıtım Yapısı** | Difüzör | | |
| **Tank İçi Dağıtım Yapısı Malzemesi** | Sert PVC | | |
| **Test Basıncı** | 9 bar | | |
| **Çalışma Basıncı** | 3–7 bar | | |
| **Basınç Kaybı** | 0.5 – 1 bar | | |
| **Çalışma Sıcaklığı** | 5–50 ° C | | |
| **Güç Kaynağı** | 220 V / 50 Hz | | |

### 3.2.2. Mikrofiltrasyon cihazı

Membran proseslerin en basiti olan mikrofiltrasyon sistemi, 0.1-1 mikron mertebesinde fiziksel filtrasyon yapabilen bir sistemdir. Bu sistem, kartuş filtre adı verilen filtrelerden ve kartuşları taşıyan bir filtre gövdesinden ibarettir.

Filtreye giren ham suyun özellikleri ve filtrelerin kullanım süresi kartuşların kirlenme sürelerini etkileyen en önemli kriterdir. Kartuşlar kirlendiklerinde herhangi bir yıkama işlemine tabi tutulmaz, kirlenen ve arıtma yapmaz hale gelen kartuş filtreler yenisiyle değiştirilir. MF giriş ve çıkışındaki basınç farkı gözlemlenerek, kirlilik oranı takip edilebilmektedir. Kartuş filtrelerinin hassasiyetine göre kartuş filtre sistemlerinde kullanılan kartuşlar değişik mikron hassasiyetlerine sahiptir. Çizelge 3.5.'te pilot sistemde kurulu bulunan MF cihazına ait teknik özellikler verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Pilot tesis mikrofiltrasyon cihazı teknik özellikleri

| **MF Teknik Detayları** | |
|---|---|
| **Miktar** | 1 Takım |
| **Nominal Debi** | 1.4 $m^3$/saat - tk |
| **Giriş – Çıkış Bağlantısı** | Flanşlı |
| **Gövde Malzemesi** | PVC Gövdeli |
| **Gövde Boyutları** | 294 mm x 836 mm |
| **Filtrasyon Hassasiyeti** | 1 Mikron |
| **Kartuş Tipi** | Polipropilen |
| **Kartuş Boyutu** | 20" |
| **Kartuş Adedi** | 5 |

Arıtım hassasiyeti açısından MMF sisteminden daha hassas bir arıtma yaptığından, pilot sistemde MF, MMF sisteminin çıkış hattında teçhiz edilmiştir.

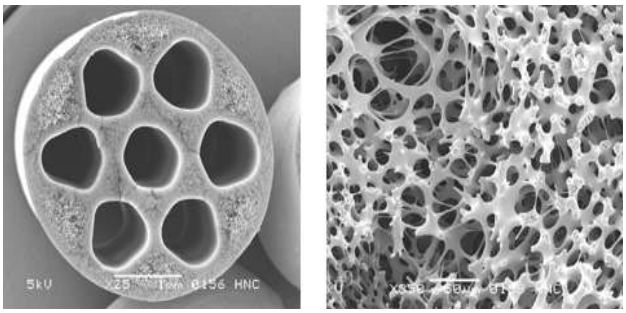
### 3.2.3. Ultrafiltrasyon cihazı

Ultrafiltrasyon sistemi; 0.01 mikron mertebesinde arıtım yapabilen, sudaki mikroorganizma, virüs, SDI, AKM, renk gideriminde kullanılan; fiber ya da ince tabakalardan oluşan fiziksel bir arıtma sistemidir. UF por çapından büyük partiküller için tam bir bariyerdir. Por çapından büyük tüm partiküller geri çevrilir.

KOSKİ için kurulan sistem, fiber borulardan oluşan bir filtrasyon düzeneği ve gövdeden oluşmaktadır. Fiber borular, multipore adı verilen yüksek dayanımlı tipten seçilmiştir. Multipore fiber 0.9 mm iç çaplı yedi kılcalı birleştirerek, (bkz. Fotoğraf 3.3) fiberin kırılma olasılığını azaltır. Böylece fiber başında mekanik dayanım kuvveti ve güvenilirliği artmaktadır.



**Fotoğraf 3.3.** UF modülü ve fiberlerin en ve boy kesiti



**Fotoğraf 3.4.** Multipore fiber görünüşü

UF cihazı, belli işletme süresi sonunda kimyasal yıkama ile temizlenmektedir. Kimyasal yıkama esnasında; kostik, klor ve asit kullanılmaktadır. Sistemin otomasyonu, PLC pano vasıtasıyla yapılmaktadır. Pano ayrıca, sistem arızalarını, çalışma süresini, dozaj sistemlerinin seviye flatöründen okuduğu bilgi sayesinde kimyasalların bitip bitmediği vb. işletme bilgilerini de göstermektedir.

Pilot sistemde UF sistemi, MF sisteminden sonra teçhiz edilmiştir. UF sistemin teknik özellikleri Çizelge 3.6'te verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Pilot tesis ultrafiltrasyon cihazı teknik özellikleri

| **UF Teknik Detayları** | |
|---|---|
| **Maksimum Besleme Suyu Debisi** | 1.4 $m^3$/h |
| **Besleme Suyu Sıcaklığı** | 20 °C |
| **Ürün Suyu Debisi** | 1 $m^3$/h |
| **Ham Su Basıncı** | Maksimum 4 bar |
| **Kimyasalsız Yıkama Debisi** | 6 $m^3$/h |
| **Kimyasallı Yıkama Debisi** | 3 $m^3$/h |
| **UF Modül Adedi** | 2 |
| **UF Modül Tipi** | PES (Polietersülfon) |
| **Bağlantı** | 2" Kelepçeli |
| **Kontrol Parametreleri** | Fark basınç, alçak basınç ve yıkama hattında pH kontrolleri mevcut |
| **Debi Ölçümü** | Giriş, çıkış ve atık hatlarında rotametrelerle ölçüm |

### 3.2.4. Dezenfeksiyon üniteleri

Sulama suyu olarak kullanılacak suda arıtma sisteminin en verimli şekilde çalışabilmesini sağlamak ve AAT Teknik Usuller Tebliği EK 7'de, 30 dakikalık temas süresi sonunda bakiye klor için istenen değeri sağlayabilmek için pilot tesis, 3 ayrı noktada klor veya UV ile dezenfeksiyon yapılabilecek şekilde dizayn yapılmıştır. Buna göre, pilot sistemde; Girişte ön klorlama - UV dezenfeksiyonu - Çıkışta son klorlama alternatifleri mevcuttur. Bilindiği gibi klorlama, arıtma teknolojilerinde dezenfeksiyon amacıyla kullanıldığı gibi, oksidasyon amacıyla da kullanılmaktadır. Oksidasyon için harcanan klorun dışında sulama suyunun sonunda da bakiye klor gerektiğinden; istenen kalitede sulama suyunun elde edilebilmesi için tasarlanan pilot sistem için 2 ayrı noktada (ön klorlama - son klorlama) klor dozajı yapabilen sistem seçilmiştir.

UV dezenfeksiyonunun klorlamadan farkı ise, suya herhangi bir kimyasal madde vermeden fiziksel olarak mikroorganizmaları sistemden gidermesidir. Buna karşılık, sadece UV 'nin pilot sistemde kullanılması, Tebliğ'de istenen bakiye klor değerinin sağlanması şartını yerine getirmediğinden, sistemde en azından nihai klorlama yapılması gerekmektedir.

**Çizelge 3.7.** Pilot Tesis Ultraviyole Dezenfeksiyon Cihazı Teknik Özellikleri

| **UV Teknik Detayları** | |
|---|---|
| **Debi** | 1 $m^3$/h |
| **Gövde Boyutları** | 200 x 290 x 1000 mm |
| **Gövde Malzemesi** | AISI304L Paslanmaz Çelik |
| **Giriş Çıkış Bağlantı Çapı** | 1" |
| **Lamba Sayısı** | 2 adet |
| **Lamba Ömrü** | 9.000 saat |
| **Dozaj Miktarı** | 30.000 microwatt/$cm^2$ |
| **Tüp Malzemesi** | Quartz |
| **İç Çap x Dış Çap x Uzunluk** | 20 x 20.5 x 880 mm |
| **Tüp Geçirgenliği** | %95 |
| **Çalışma Basıncı** | 2-8 bar |
| **Basınç Kaybı** | 0.5-1 bar |
| **Toplam Güç** | 2x 40 watt |

### 3.2.5. Koagülant ilavesi

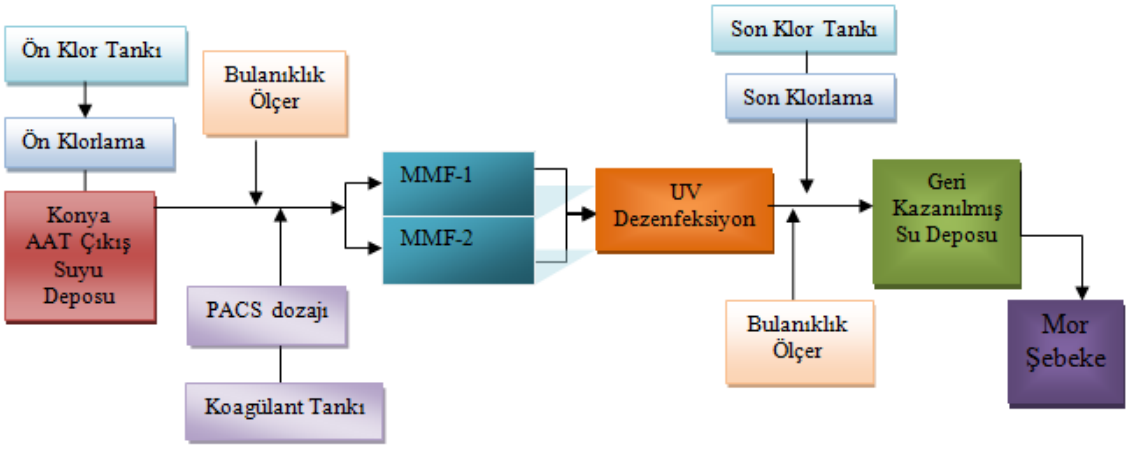
AAT çıkışından sisteme beslenen sudaki koloidal partikülleri suda giderebilmek için, sistemde PAC dozaj sistemi kurulmuştur. Öncelikle; PAC dozajı + MMF şeklinde çalıştırılan sistem, daha sonra PAC dozajı + MMF + MF şeklinde çalıştırılarak arıtma performansı izlenmiştir. Koagülant ilavesinden sonra sistemin AKM ve bulanıklık giderme verimine etkisi izlenmiştir.

### 3.3. Gerçek Ölçekli Geri Kazanım Tesisi

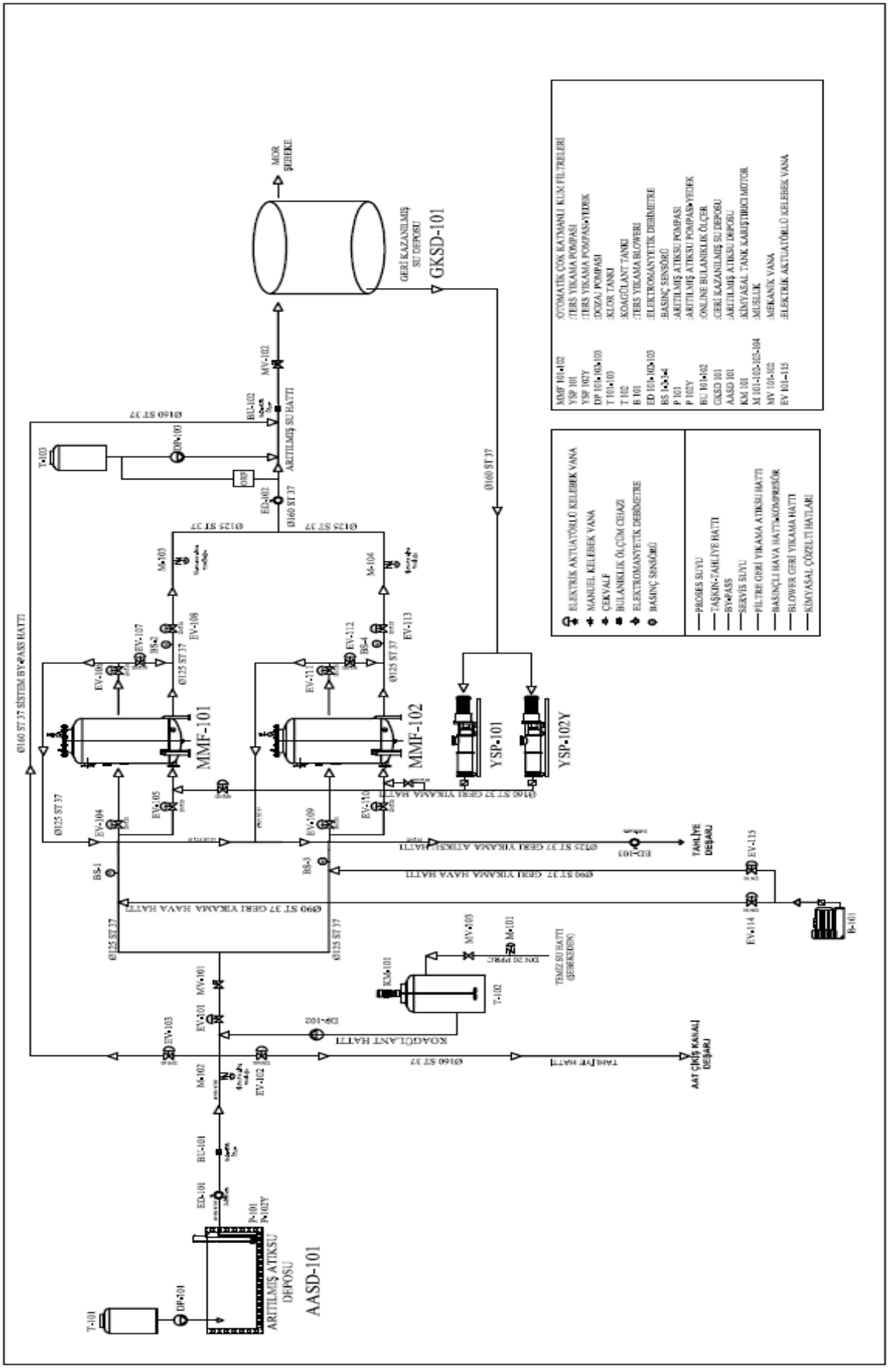
Konya Atıksu Arıtma Tesisinde ileri biyolojik arıtma (kısmi azot gideren aktif çamur sistemi, 4 Kademeli Bardenpho) ve UV dezenfeksiyon sistemi uygulanmaktadır. Yapılan arıtılmış atıksu analizlerinde, daha fazla askıda katı madde ve fekal koliform gideriminin gerektiği anlaşılmıştır. Bu nedenle, proje kapsamında ileri filtrasyon ve dezenfeksiyon ünitesinden oluşan bir geri kazanım tesisi kurulmuştur. Pilot tesis verilerinden hareketle Konya AAT çıkış sularının yeniden kullanılabilmesi için gerçek ölçekli 3600 $m^3$/gün kapasiteli ileri atıksu geri kazanım tesisi projelendirilmiş ve KOSKİ Genel Müdürlüğü tarafından inşa edilmiştir. Tesis; Çok katmanlı basınçlı kum filtrasyon sistemi, Dezenfeksiyon Sistemi, Geri Kazanılmış Atıksu Deposu ve Mor şebekeden oluşmaktadır.

Pilot tesisin işletme verilerinin değerlendirilmesi sonucu projelendirilen ve inşa edilen Konya AAT Geri Kazanım Tesisi ve işletme sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

Gerçek ölçekli geri kazanım tesisi Şekil 3.4. 'te görüldüğü gibi Ön klor tankı, Arıtılmış atıksu deposu (Konya AAT Çıkış Suyu), Bulanıklık ölçer, PACS (Koagülant) tankı, Çok katmanlı Kum Filtresi (MMF-1 / MMF-2), UV dezenfeksiyon, Son klor tankı, Geri kazanılmış su deposu ve Mor şebekeden oluşmaktadır.




**Şekil 3.4.** Gerçek ölçekli geri kazanım tesisi akım şeması




**Şekil 3.5.** Gerçek ölçekli geri kazanım tesisi P&I diyagramı

### 3.3.1. Geri kazanım tesisi binası

Proje kapsamında kurulacak filtrasyon ve dezenfeksiyon sistemi ile, pompalar, panolar ve diğer ekipman ve malzemelerin dış ortam şartlarından korunması amacıyla, arıtılmış atıksu deposundan yaklaşık 10 metre uzaklıkta geri kazanım binası inşa edilmiştir. Toplam 478.27 $m^2$ kapalı alana sahip binada, işletmede kullanılmak üzere 1 adet teknisyen odası bulunmaktadır. Atıksu geri kazanımı için seçilecek teknoloji tipini etkileyen faktörler; atıksuyun nerede geri kullanılacağı, atıksu karakteristikleri, geri kazanılacak atıksuyun kalitesi, ağır metallerin miktarı, prosesin esnekliği, işletme, enerji ve personel ihtiyacıdır. Arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı ile ilgili teknik esaslar, 20 Mart 2010 tarih ve 27517 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde yer almaktadır. Tebliğin 13. maddesinin c fıkrasında, "Atıksuların sulama amaçlı olarak geri kazanılmasının planlandığı durumlarda, UV sistemleri kullanılır. UV dezenfeksiyonuna etki eden en önemli husus, atıksu içerisindeki askıda katı madde konsantrasyonudur. UV, organizmaların temel yapısını bozduğu için patojen mikroorganizmaların zarar vermesini önler." denmektedir. Yine tebliğin Ek 7 bölümünde, "Park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, insanların bitkilere ve sulama suyuna teması olabileceği için iyi kalitede sulama suyu gerekmektedir." şeklinde ifade kullanılmıştır.




**Fotograf 3.5**. KOSKİ arıtılmış atıksu geri kazanım tesisi




**Fotograf 3.6.** KOSKİ atıksu geri kazanım tesisi, geri kazanılmış atıksu deposu ve ham su deposu

### 3.3.2. Geri kazanılmış atıksu deposu

Konya Atıksu Arıtma Tesisinde arıtılan atıksular, yeniden kullanımı için çıkış kanalına 996.88 m kotunda tesis edilmiş olan 4 adet 800 mm çaplı çelik borular vasıtasıyla, arıtılmış sular çıkış kanalından ayrılabilmektedir. Proje kapsamında arıtılmış atıksuyun geri kazanım sistemine basılabilmesi için çelik boruların sonuna 100 $m^3$ kapasiteli betonarme bir depo inşa edilmiştir. Çelik borulardan ikisine monte edilen DN 800'lük aktüatörlü vanalar vasıtasıyla, proje için kullanılacak arıtılmış sular 100 $m^3$'lük betonarme bir depoya alınacak ve dalgıç tip pompayla 1001.70 m zemin kotuna kurulacak geri kazanım sistemini beslemektedir.

Proje kapsamında, geri kazanım tesisinde elde edilecek ürün suyunun mor şebekeye düzenli olarak beslenebilmesi, kum filtrasyonun yıkama suyu tankı olarak kullanılması ve geri kazanım tesisindeki filtrasyon sisteminin ilk yatırım maliyetinin düşük olması için, 1568 $m^3$ hacminde bir depo inşa edilmiştir.

Deponun 1.568 $m^3$ hacminde olması, geri kazanılan atıksuyun 13 saat depolanmasına imkân verecektir. Geri kazanılmış atıksu deposu, yapım kolaylığı, düşük maliyeti ve kapasite artırımına imkan sağladığı için, içme suyu depolarında kullanılan PVC membran malzemeden yapılmıştır. Üretilen suyun miktarını tespit etmek amacıyla depo çıkışına 1 adet DN 250 debimetre tesis edilmiştir.




**Fotoğraf 3.7.** KOSKİ geri kazanılmış atıksu deposu

### 3.3.3. Çok katmanlı basınçlı kum filtrasyon sistemi

Askıda katı madde, damla sulama sistemini tıkadığı için önemlidir. Klasik atıksu arıtma tesisi çıkışında AKM konsantrasyonu, 5-25 mg/L aralığında değişmektedir. Üçüncül arıtma uygulandığında, 10 mg/L'nin de altına düşmektedir.

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Tablo E7.1'de kentsel yeşil alanların sulanmasında kullanılacak arıtılmış atıksuların arıtma tipinin kum filtreleri, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon veya membran filtreler olabileceği belirtilmiştir.

Arıtılmış atıksu içindeki askıda katı maddelerin giderilmesi sulama suyu kalitesi için yeterli ise, ilk yatırım ve işletme maliyeti düşük olan basınçlı kum filtrelerinin kullanılması yeterlidir. Şayet suyun askıda katı maddeleri haricinde giderilmesi gereken tuzluluk ve ağır metal gibi sulamada kullanımı engelleyici özellikler varsa mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon veya membran filtreler gibi ilk yatırım ve işletme maliyeti oldukça yüksek sistemler gerekmektedir.




**Fotograf 3.8.** Atıksu geri kazanım üniteleri

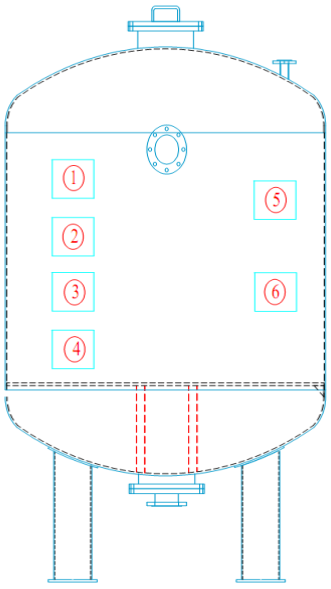
Arıtılmış suların sulamaya uygunluğunu belirleyen önemli kalite parametreleri olan iletkenlik, tuzluluk, sodyum absorbsiyon oranı, bor ve diğer ağır metal ve toksik madde konsantrasyonları açısından Konya Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının uygun olduğu analiz sonuçları ile tespit edilmiştir. Konya Atıksu Arıtma Tesisi arıtılmış atıksu askıda katı madde (AKM) tasarım değeri 20 mg/L'dir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Tablo E7.1'e göre yeşil alan sulaması için gereken 5 mg/L'ye değerinin sağlanması için proje kapsamında geri kazanım tesisi bünyesinde çok katmanlı basınçlı kum filtrasyon ünitesi kurulmuştur. Proje kapsamında tesis edilen çok katmanlı basınçlı kum filtrasyon sistemi; tank, medya, vanalar ve yıkama blowerinden oluşmaktadır. Medya, antrasit, kum ve çakıl katmanlarından oluşmaktadır. 1–2 bar basınç altında çalışan bu filtreler ters yıkama özelliğine sahiptir. Tesiste 2 adet Q=110$m^3$/h kapasiteli otomatik çok katmanlı basınçlı kum filtrasyonu ve 1 adet yıkama bloweri kullanılmıştır. Bu sayede, arıtılmış atıksular daha ileri filtrasyona tabi tutulacaktır. Atıksu içinde bulunan askıda katı maddeler 5 mg/L 'ye kadar giderilerek sulamada kullanılacak damla sulama ve yağmurlama sistemlerinin tıkanması önlenmiş olacaktır.

Filtrant Malzemesi; Kum filtresi içerisinde bulunan filtrant malzemesi cinsi, miktarı, ölçü ve yoğunluklarının olduğu Çizelge 3.8.'de aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Çok katmanlı kum filtresi filtrant malzeme özellikleri

| NO | MEDYA CİNSİ | ÖLÇÜ (mm) | YOĞUNLUK ($gr/cm^3$) | MİKTAR (kg) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | KABA ÇAKIL | 5-8 | 1.7 | 500 |
| **2** | ORTA ÇAKIL | 3-5 | 1.7 | 500 |
| **3** | İNCE ÇAKIL | 1.5-2.5 | 1.7 | 500 |
| **4** | KUM | 0.4-0.8 | 1.5 | 4350 |
| **5** | ANTRASİT | 0.8-1.6 | 0.73 | 2124 |

Filtre Kesit Hızı; filtrelenecek suyun tank boş iken 1 saatte aldığı yol olarak tanımlanır. Literatür ve tecrübeler atıksu arıtma çıkış suyunun filtre kesit hızının 10 m/sa ' i geçmemesi yönündedir. Tank Çapı ( D ) = 2.85 m ve filtreye geçen su miktarı bilindiğinden filtre kesit hızı hesaplanmıştır. Kesit hızı ortalama 25 m/sa olarak hesaplanmıştır. Ancak sistem deneme aşamasında olduğundan sisteme verilen su ayarlanarak gereken kesit hızında çalışmalar sürdürülmüştür. Sisteme verilen koagülant dozu ise ortalama 6.6 L/sa olarak çalışılmıştır. Tesiste filtre besleme debisi 150-160 $m^3$ /sa 'tir.




**Şekil 3.6.** Çok katmanlı kum filtre görünüşü




**Fotoğraf 3.9.** Gerçek ölçekli geri kazanım tesisi basınçlı kum filtresi

### 3.3.2. Dezenfeksiyon sistemi

Kentsel atıksular yeşil alan sulamasında kullanılacak ise iyi bir şekilde dezenfeksiyon gerekir. Çünkü sulama alanında patojen mikroorganizmaların hala yaşama ve halkın bu yeşil alanlara girme riski vardır.

Konya Atıksu Arıtma Tesisi'nde yer alan ultraviyole dezenfeksiyon sistemi sayesinde arıtılmış suların fekal koliform değeri 50 adet/100 ml'dir.




**Fotograf 3.10.** Gerçek ölçekli geri kazanım tesisi UV dezenfeksiyon sistemi ve bulanıklık ölçüm panosu

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Tablo E7.1'de yer alan 0 adet /100 ml ve son sulama noktalarında 0.5 mg bakiye klor değerinin sağlanması için proje kapsamında geri kazanım tesisi bünyesinde tam otomatik klor dezenfeksiyon ünitesi kurulmuştur.

Bu ünite sayesinde, proje kapsamında sulanacak yeşil alanlarda sulamada görev alan işçiler veya diğer kişiler olası patojen mikroorganizma temasına karşı korunmuş olacaktır. Kurulacak sistemde, 2 adet 121 $m^3$/saat kapasiteli otomatik klor dozaj ünitesi ve 2 adet bakiye klor sensörü kullanılmıştır.




**Fotograf 3.11.** Gerçek ölçekli geri kazanım tesisi klorlama sistemi

### 3.3.4. Mor şebeke

Proje kapsamında Konya Atıksu Arıtma Tesisi sahasında kurulan geri kazanım tesisinde ileri arıtmaya tabi tutularak elde edilecek geri kazanılmış atıksuların sulanması planlanan yeşil alanlara iletilmesi için 24 km mor şebeke adı verilen ana iletim hatları döşenmiştir. Mor şebeke ana iletim hatları Adana Çevre Yolu, Ereğli Çevre Yolu, Aslım Caddesindeki ve yakın çevresindeki kentsel yeşil alanlara da ulaştırılmıştır. Mor şebeke ana iletim hatları sulaması yapılacak refujlarda, kavşaklarda ve ağaçlandırma alanlarında bulunan DN90, DN110 ve DN125'lik sulama borularına bağlantıları yapılarak yeşil alanlara geri kazanılmış sulama suyu ulaştırılmıştır.



**Fotograf 3.12.** Geri kazanılmış atıksu ile sulanacak kentsel yeşil alanlar (yol refujları, yol sağ ve sol peyzaj alanları, kavşaklar, ağaçlık alanlar)




**Fotograf 3.13.** Mor Şebeke hattı ile sulanan yeşil alan

### 3.3.5. Pompa sistemlerinin kurulması ve enerji temin işleri

Projede, arıtılmış atıksuyun geri kazanım sistemine beslenmesinde, basınçlı kum filtrasyonu sisteminde ters yıkama pompalarında ve geri kazanılmış atıksuyun mor şebekeye basılmasında 3 farklı yerde 3 farklı pompa sistemi kurulmuştur.

Pompa kapasitelerinin seçiminde filtrasyonun çalışma basıncı, mor şebekedeki kot farkları, yük kayıpları ve sulama alanlarında sulama için gerekli 5 bar basınç değerinin sağlanması dikkate alınmıştır. Pompaların herhangi bir arıza durumunda sistemin durmaması için by-pass yedekleri vardır.

Arıtılmış atıksuyun geri kazanım sistemine beslenmesinde 2 adet dalgıç pompa (Q= 121$m^3$/saat, Hm= 12 mSS), 2 adet ters yıkama pompası (Q=191 $m^3$/saat, Hm= 15mSS) ve 2 adet ana besleme pompası (Q= 315 $m^3$/saat, Hm= 73.2 mSS) olmak üzere toplam 6 adet pompa kullanılmıştır. Pompa sisteminin stabil çalışması için gerekli olan 4 adet 5 $m^3$ kapasiteli kapalı genleşme tankı tesis edilmiştir. Boruların bağlantıları için 1 set vana, boru, dirsek, flanş, çekvalf malzemeler kullanılmıştır.



**Fotoğraf 3.14.** Gerçek ölçekli geri kazanım tesisi pompa istasyonu

### 3.3.6. Kentsel yeşil alanların sulanması

Proje kapsamında sulanması planlanan kentsel yeşil alanların su ihtiyacı, proje sahibi KOSKİ Genel Müdürlüğü'nce temin edilmekte, sulanması ise proje sahibi olan Konya Büyükşehir Belediyesi ve Karatay Belediyesi'ne bağlı Park ve Bahçeler Şube Müdürlükleri'nce yapılmaktadır.

Proje uygulayıcısı Konya Büyükeşehir Belediyesi'nce 10.000 $m^2$ çim alan ve 379.500 $m^2$ ağaçlık alan olmak üzere toplam 389.500 $m^2$ kentsel yeşil alan sulaması yapılmaktadır. Bu kentsel yeşil alanlar, refüj, kavşak ve yolların kenarlarındaki yeşil alanlardan oluşmaktadır.

Mevcut durumda sadece 34.000 $m^2$ alanda yağmurlama ve damla sulama sistemi kullanılmaktadır. Projenin kabulü ile, geriye kalan 355.500 $m^2$ alanda Konya Büyükşehir Belediyesi'nce eksik olan damla sulama sistemi tamamlanarak tüm alanda modern sulama yöntemine geçilmiştir. Yeşil alanların mevcut içme suyu şebekesi bağlantıları iptal edilecek ve su arazözleri kiralanmasına son verilmiş olacaktır.

Karatay Belediyesi'nce, toplam 670.000 $m^2$ ağaçlık alandan oluşan kentsel yeşil alanın sulaması yapılacaktır. Bu alanlarda 19.000 adet ağacın su ihtiyacı 1 adet kuyudan karşılanmakta ve damla sulama sistemi ile sulama yapılmaktadır. Projenin uygulanmasıyla, su ihtiyacı mor şebekenin damla sulama sistemine bağlanmasıyla geri kazanılmış atıksudan karşılanmıştır. Bu durumda mevcut kuyu bağlantısı iptal edilmiştir.




**Fotograf 3.15.** Mor şebeke öncesi vahşi sulama



**Fotograf 3.16.** Mor şebeke sonrası damlama sulama

Atıksuların yeniden kullanılmasından kaynaklanan çevre ve sağlık risklerini bertaraf etmek için, su kalitesine ilişkin standartların geliştirilmesi ve atıksuların bu standartları sağlayacak düzeyde arıtılması gereklidir. Ülkemizde, arıtılmış atıksuların kullanım amaçlarına göre sağlaması gereken kalite standartları ve uygun arıtma yöntemleri, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği ile tanımlanmıştır. Tebliğde arıtılmış atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri AATTUT 'de Tablo E7.10 da; ikincil arıtma, nütrient giderimi, filtrasyon, yüzey filtrasyonu, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, flotasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz, elektrodiyaliz, karbon adsorpsiyonu, iyon değiştirme, ileri oksidasyon ve dezenfeksiyon olarak belirtilmiştir.



**Fotoğraf 3.17.** KOSKİ AAT yeşil alanlarının geri kazanılmış su ile sulanması - 1

Atıksu kalitesine ilişkin olarak daha çok atıksuların içeriğindeki çözünmüş organik karbon ve sodyum konsantrasyonları, ağır metaller ile patojenler gibi kirleticiler üzerinde durulmaktadır. Çünkü klasik atıksu arıtma yöntemleri ile bu kirleticiler giderilememektedir. Suların içerdiği anyon ve katyonları arıtmak için ters ozmos, membran filtrasyonu gibi arıtma yöntemleri gerekmektedir. Bu da sulamada kullanılacak atıksular için çok pahalı yöntemlerdir. Patojen mikroorganizmalardan kaynaklanan riskler ise dezenfeksiyon yöntemi kullanılarak önlenebilmektedir.



**Fotoğraf 3.18.** KOSKİ AAT yeşil alanlarının geri kazanılmış su ile sulanması - 2



**Fotoğraf 3.19.** KOSKİ AAT yeşil alanlarının geri kazanılmış su ile sulanması - 3

Projede uygulanacak ileri filtrasyon yönteminde, çok katmanlı basınçlı kum filtrasyonu uygulanarak, arıtılmış atıksulardaki askıda katı maddeler (AKM) 20 mg/L'den 5 mg/L'ye indirilmesi amaçlanmıştır. Böylece, dezenfeksiyon ünitesi daha verimli çalışacağı gibi, sulamada kullanılacak damla ve yağmurlama sulama teknolojilerinde olası tıkanmaların da önüne geçilmiştir. Projede uygulanacak dezenfeksiyon yönteminde ise, Konya Atıksu Arıtma Tesisinde kurulmuş olan ultraviyole dezenfeksiyon sistemi ile 50 adet/100 ml seviyesine indirilen fekal koliform değeri, kurulacak tam otomatik klor dezenfeksiyon ünitesi ile 0 adet/100 ml değerine indirilmiştir. Ayrıca son sulama noktalarında 0.5 mg/L bakiye klor değeri sağlanmıştır. Böylece sulamada çalışan işçiler ve muhtemel insan temaslarına karşı patojen mikroorganizmalar için önlem alınmıştır.

Konya Atıksu Arıtma Tesisinden çıkan mevcut arıtılmış atıksu miktarı günlük ortalama 140.000 $m^3$'tür. Proje kapsamında bu miktarın 3600 $m^3$'ü, kurulacak geri kazanım sisteminde ileri arıtıma tabi tutularak mevzuatta belirtilen sulama suyu kalite kriterleri sağlanmış ve inşa edilecek mor şebeke hattı ile bölgedeki yaklaşık 3200 ha kentsel yeşil alan sulamasında kullanılmaktadır.

# 4. DENEYSEL SONUÇLAR

Pilot tesis; 24 Şubat 2011- 11 Temmuz 2011 tarihleri arasında 24 gün süre işletilmiştir. Pilot sistem kurulduğu ilk andan itibaren, Konya AAT çıkış sularının uyması gereken AAT Teknik Usuller Tebliği 'ne göre verim değerlendirmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlar buna göre yorumlanmıştır. AAT Teknik Usuller Tebliği'nde izlenmesi gereken parametreler arasında yer alan; bulanıklık, fekal koliform, pH, bakiye klor ve KOİ parametrelerinin sistem çıkışındaki değerleri ve arıtma verimleri değerlendirilmiştir. Analizi yapılan parametre, anlık numunede analiz edilmesi gerekiyorsa (örneğin fekal koliform), anlık numunede analizi yapılmıştır. Koagülant madde olarak PAC'ın dozlandığı günde her bir sistem çıkışında elde edilen değerler aşağıda grafiklere aktarılmıştır. Koagülant ilaveli sistemlerin, diğer sistemlere göre AKM ve bulanıklık gideriminden daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır.

Gerçek ölçekli tesis; 15 Ağustos 2012 - 8 Ekim 2012 tarihleri arasındaki 32 gün süre işletme verileri değerlendirilmiştir. Deneyler ve temin işi KOSKİ Genel Müdürlüğü tarafından yapılmıştır.

Gerek dünya çapında yapılan pilot ve büyük ölçekli çalışmalar neticesinde elde edilen değerler; gerek pilot tesisin işletilmesi sırasında elde edilen değerler dikkate alındığında filtre hızı regüle edilmiş, uygun dozajda koagülant dozlanan bir multimedya filtre sistemi sayesinde, KOSKİ 'nin ihtiyaç duyacağı nicelik ve nitelikte; AAT Teknik Usuller Tebliği'nde verilen Kentsel Alanların Sulanması başlığı altındaki temel kontrol parametreleri ile kimyasal maddeler açısından sınır değerleri sağlayan bir atıksu geri kazanım sistemi oluşturulması hem teknik hem de ekonomik açıdan uygun görülmüştür.

AAT Teknik Usuller Tebliği'nde sürekli olarak izlenmesi gereken parametrelerden olan bulanıklık parametresinin gideriminde en uygun koagülant maddenin seçimi ve dozu, kurulan geri kazanım tesisinde de dikkate alınmıştır. Pilot tesiste koagülant madde olarak PAC (Poli Alüminyum Klorür) denenmiştir. Geri kazanım tesisinde ise arıtma verimi daha etkili olan koagülant PACS (Polialüminyum Klorür Hidroksit Sülfat) kullanılmıştır. Bakiye klorun sulama suyunda elde edilmesi ise sisteme verilecek olan klorun oransal olarak dozlanması ile ( hattaki klorun ölçülüp, gerektiği kadar dozlanması ) ayarlanabilmektedir.

## 4.1. Pilot Ölçekli Tesis Çalışmaları

KOSKİ Atıksu Arıtma Tesisi'nde kurulan 2$m^3$/sa kapasiteli Pilot tesis 24.02.11-11.07.11 tarihleri arasında toplam 24 gün süresince çalışıldı. Pilot tesiste; çalışılan sistemlerin arıtım verimleri, günlük/saatlik alınan numunelerde incelenmiştir. İncelenen parametreler pH, sıcaklık, iletkenlik, bulanıklık, AKM, KOİ, fekal koliform ve ağır metallerdir. Pilot tesis çalıştırıldıktan sonra, yarım saatlik aralıklarla günde 6 kez numune alınmış (sabah 3 öğleden sonra 3 defa olmak üzere) ve elde edilen kompozit numune KOSKİ bünyesindeki laboratuvarlarda analiz edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Konya AAT çıkış suyu özellikleri (24.02.11- 17.07.11 Tarihleri arasında 24 günlük, her bir parametre 48 numune için ort., min., maks., değerleri)

| **Parametreler** | **Ortalama** | **Minimum** | **Maksimum** |
|---|---|---|---|
| **AKM(mg/L)** | 35.9 | 18.5 | 52.5 |
| **Bulanıklık(NTU)** | 24.56 | 10.15 | 47.2 |
| **KOİ (mg/L)** | 76.98 | 40.5 | 140.5 |
| **Fekal Koliform** | 55. $10^4$ | $10^4$ | $10^5$ |



**Fotograf 4.1.** Konya atıksu arıtma tesisi genel görünüşü

AATTUT 'de Tablo E7.1'de verilen sınıflandırmalar genel bir sınıflandırma olup, özel gereksinimler için farklı sınıflandırmalar yapmak mümkündür. AATTUT 'de Tablo E7.2'de sulama suyu için kimyasal kalite kriterleri verilmiştir. Evsel nitelikli atıksular hariç sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların da bu kimyasal kriterleri sağlaması gerekmektedir. Atıksuların araziye verilmeye veya sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler şunlardır:

- Su içindeki çözünmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
- Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
- Bazı şartlarda $Ca^{+2}$ ve $Mg^{+2}$ iyonlarının toplam konsantrasyonu
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen organizmaların miktarı

Atıksudaki çözünmüş tuzlar, bor, 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, arıtılmış 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. Aşağıda sırasıyla pilot tesiste çalışılan parametreler AATTUT 'e göre değerlendirilmiştir.

### 4.1.1. pH

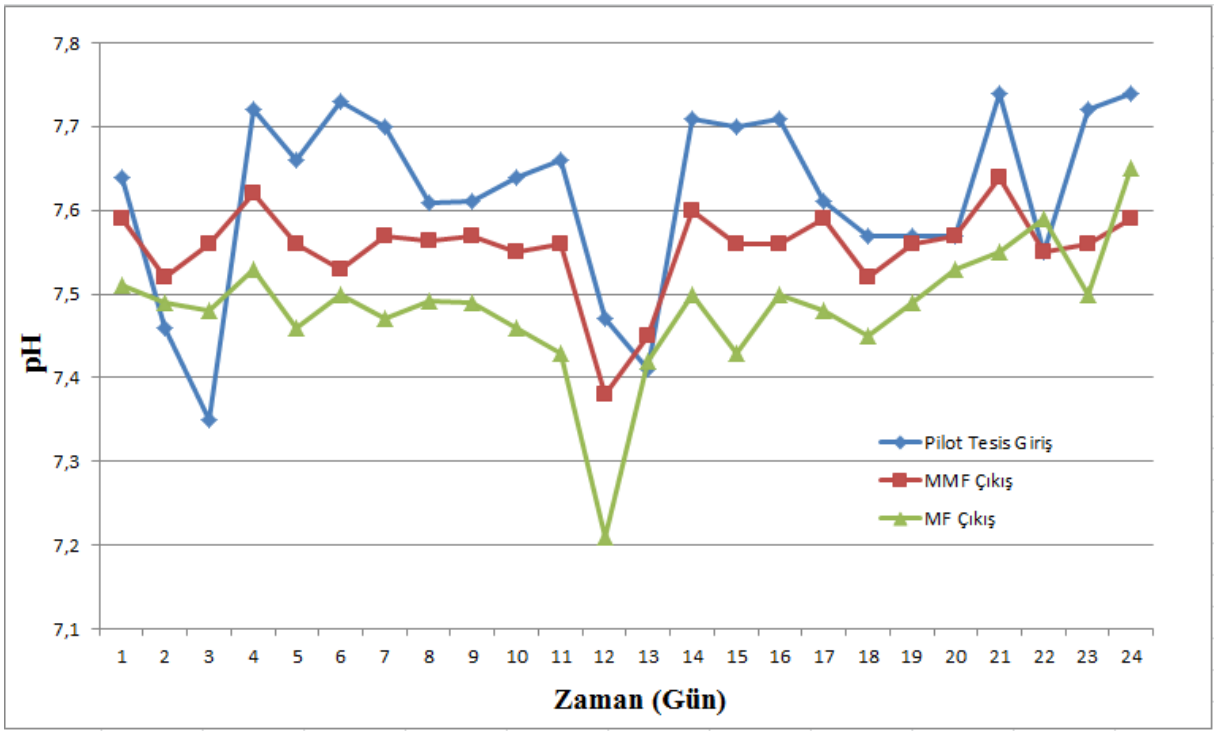
pH hidrojen iyonun aktivitesi cinsinden bir asit veya bazın derecesini ifade etme yoluyla ihtiyaç duyulan niceliksel bilgiyi sağlar. Bir maddenin pH değeri hidrojen iyonu [$H^+$] ile hidroksil iyonunun [$OH^-$] derişimlerinin oranına direk bağlıdır. Eğer $H^+$ derişimi $OH^-$ derişiminden fazla ise çözelti asidik; yani pH değeri 7 den düşüktür. Eğer $OH^-$ derişimi $H^+$ derişiminden fazla ise maddemiz bazik; yani pH değeri 7 den büyüktür. Eğer $OH^-$ ve $H^+$ iyonlarından eşit miktarlarda mevcutsa, madde 7 pH değerine sahip olmak üzere nötrdür. Asit ve bazlar her biri serbest hidrojen ve hidroksil iyonlarına sahiptirler. Belli koşullarda ve belli bir çözeltide hidrojen ve hidroksil iyonlarının ilişkileri sabit olduğu için, birini tesbit etmek diğerini bilmek ile mümkündür. Bu anlamda, pH, tanımsal açıdan hidrojen iyonu aktivitesinin seçici bir ölçümü olsa da, hem alkalinilik hem de asitliğin bir ölçüsüdür. pH logaritmik bir fonksiyon olması açısından, pH değerindeki bir birimlik değişim hidrojen iyon derişimindeki on-katlık değişime karşılık gelir.

AATTUT 'de yer alan Ek7 Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri; "Tablo E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması" başlığı altında kentsel yeşil alanların sulanmasında (Sınıf A) pH: 6-9 aralığında olmalıdır. Aynı şekilde Sınıf B de pH: 6-9 aralığında olmalıdır. Konya AAT çıkışında elde edilen pH değeri 7-8 aralığındadır. Pilot ileri arıtma tesisinde pH analizi için numune; giriş, MMF çıkış ve MF çıkış olmak üzere üç noktadan anlık olarak alınmıştır. Pilot ileri arıtma tesisinde giriş pH değerleri ölçümü için numuneler sabah ve öğleden sonra olmak üzere iki kere alınmış olup ortalama değer hesaplanmıştır. MMF ve MF pH değerleri ise sabah 4 defa öğleden sonra 4 defa olmak üzere ölçülmüştür ve bu değerlerin ortalamaları hesaplanmıştır. Çizelge 4.2. 'den görüldüğü üzere pH değerleri AATTUT' de Ek7 kapsamındaki Tablo E7.1 de belirtilen kentsel alanların sulanmasında kullanılan Sınıf A da belirtilen pH değerleri aralığında izlemektedir.

**Çizelge 4.2.** Pilot ölçekli ileri arıtma tesisi pH değerleri

| pH | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Pilot tesis Giriş** | 48 | 7.62 | 7.35 | 7.74 |
| **MMF Çıkış** | 96 | 7.56 | 7.38 | 7.64 |
| **MF Çıkış** | 96 | 7.48 | 7.21 | 7.65 |

Pilot tesis Giriş, MMF Çıkış ve MF Çıkış pH değişimleri Şekil 4.1 de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi değerler pH: 7.35- 7.75 aralığında seyretmektedir. Pilot sistemde pH değerinin değişmesine sebep olacak bir kimyasal (asit veya baz nitelikli) dozlanmadığından AATTUT Tebliği'nde pH için istenen 6-9 aralığı tesiste sağlanmış durumdadır.




**Şekil 4.1.** Pilot ileri arıtma tesisi pH değerleri değişimi

Al-Shammiri ve ark. (2005) Kuveyt'te yaptığı atıksuların geri kazanımı konusundaki pilot tesis çalışmasında pH parametresini izlemiştir. Al-Shammiri ve arkadaşlarının ölçtüğü pH değeri 6.6-7.61 aralığındadır. Yine İspanya'da yapılan bir pilot tesis çalışmasında pH parametresi izlenmiş olup pH 7.5-7.7 aralığında ayarlanmıştır (Munoz ve ark., 2007).

Al-Shammiri (2005) ve Munoz (2007) her iki çalışmada da pH değerinin AATTUT' de istenen değerleri sağladığı görülmektedir. Pilot tesis çalışmalarındaki pH değerleri de hem literatür kapsamında hem de AATTUT 'e göre hemen hemen aynı değerlerde izlenmiştir.

### 4.1.2. Sıcaklık

Sıcaklık; bir cismin sıcaklığının ya da soğukluğunun, bir sistemin ortalama moleküler kinetik enerjisinin, bir cismin etrafına kendiliğinden enerji verme eğiliminin bir ölçüsüdür. Enerji veren madde daha yüksek sıcaklıktadır.

Su kütlesinin sıcaklığı fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerin çoğunu doğrudan etkiler. Suyun akımı iletme becerisi sıcaklığa bağlıdır. Akım; çevresel su kalitesini ve mansap süreçlerini etkileyen suyun miktarı ve oranı (akım hızı ve deşarj) (Nas, 2013).

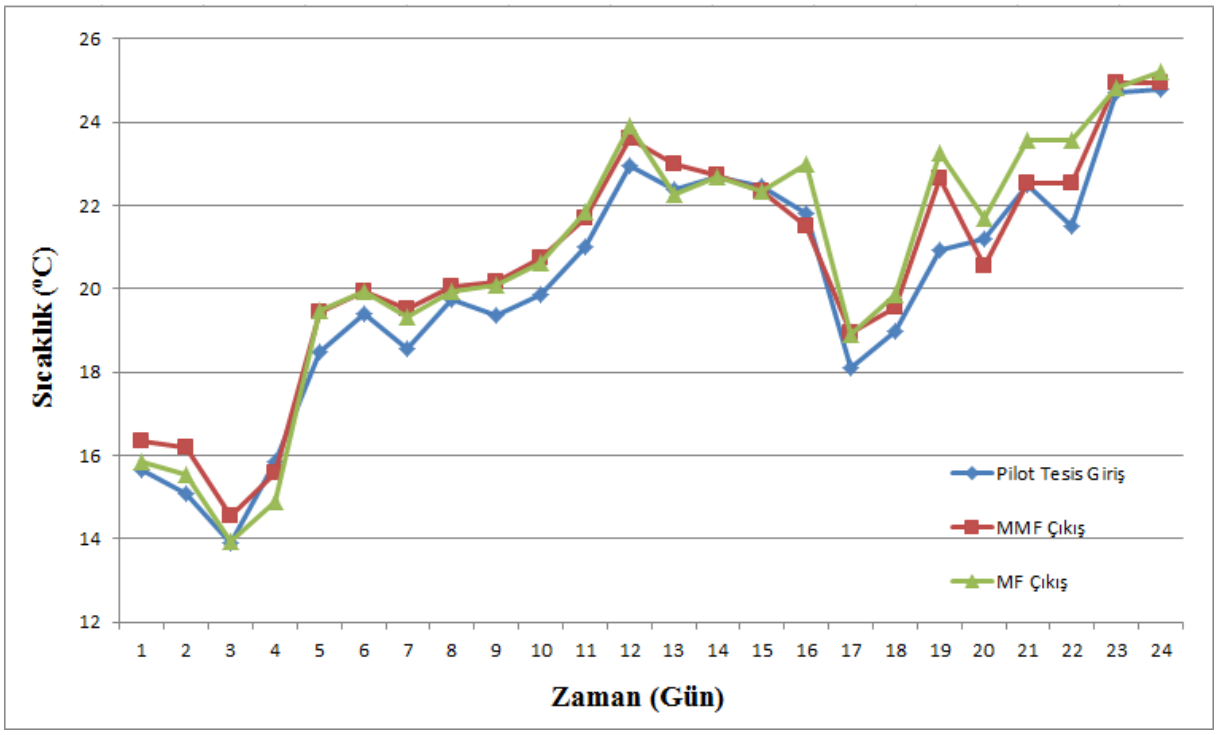
AATTUT Ek7 Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterlerinde sıcaklık parametresine ait değer verilmemiştir. Ancak AATTUT Ek7 Tablo E7.1 'de sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu durumlarda atıksuda bulunan yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir şeklinde ifade yer almaktadır. Sıcaklık atıksu arıtma tesislerinde nütrientlerle birlikte alg büyümelerine katkıda bulunmaktadır. Bu da AAT 'lerde atıksu giderimini olumsuz yönde etkileyerek tıkanmalara sebep olmaktadır. Bu nedenle AAT 'lerde sıcaklık rutin olarak izlenmektedir.

Sıcaklık ölçümü için Pilot ileri arıtma tesisi girişinde sabah ve öğleden sonra olmak üzere iki kere numune alınarak ortalama değer hesaplanmıştır. MMF ve MF pH değerleri ise sabah 4 defa öğleden sonra 4 defa olmak üzere ölçülmüştür ve bu değerlerin ortalamaları hesaplanmıştır. Çizelge 4.3.'te pilot tesiste çalışılan dönemlerdeki minimum sıcaklık pilot tesis girişinde, 13.9 $^{o}$C iken maksimum sıcaklık MF çıkışta 25.23 $^{o}$C ölçülmüştür.

**Çizelge 4.3.** Pilot ileri arıtma tesisi sıcaklık değerleri

| **Sıcaklık ($^{o}$C)** | **Numune Sayısı** | **Ortalama** | **Minimum** | **Maksimum** |
|---|---|---|---|---|
| **Pilot tesis Giriş** | 48 | 20.08 | 13.9 | 24.8 |
| **MMF Çıkış** | 96 | 20.59 | 14.55 | 24.95 |
| **MF Çıkış** | 96 | 20.68 | 13.93 | 25.23 |

Şekil 4.3. 'te Sıcaklık değerleri ortalama olarak Atıksu Arıtma Tesisinden çıkan arıtılmış atıksu ile Pilot tesis giriş suyu sıcaklık değeri hemen hemen aynı seyretmektedir. Şekil 4.2. 'de görülen değerler ilkbahar yaz mevsimi sıcaklık değerleridir.




**Şekil 4.2.** Pilot ileri arıtma tesisi sıcaklık değerleri değişimi

Pilot tesis çalışmaları şubat ayından temmuz ayına kadar devam etmiştir. Şubat ayında sıcaklık değerleri ortalama 14-15 $^{o}$C iken temmuz ayında 24-25 $^{o}$C 'ye ulaşmıştır. Pilot sistemde sıcaklık değerlerine etki edecek bir sistem mevcut olmadığından pilot tesis giriş, MMF çıkış ve MF çıkış sıcaklık değerleri aynı seviyede ölçülmüştür.

### 4.1.3. İletkenlik

Elektriksel iletkenlik kavramı (EC) suyun içilebilirliğinin sınıflandırılmasında bir araç olarak kullanılabilir. İçilebilir su; insanlar ve hayvanlar için tüketimi uygun sudur. Çizelge 4.4'te iletkenlik ($\mu S.cm^{-1}$) ölçümüne dayalı içilebilirlik sınıflandırılmasını göstermektedir. 1970'lerin sonlarına kadar, EC birimleri santimetre başına düşen mikromho (μmhos/cm) ile gösterilirdi ve daha sonra microSiemens/cm (1μS/cm = 1 μmhos/cm)'ye dönüştürüldü. Literatürde her iki birimle de karşılaşılır, ancak sayısal değerleri aynıdır (Nas ve ark., 2013 ).

**Çizelge 4.4.** İletkenlik ölçümüne dayalı olarak suyun içilebilirliğinin sınıflandırılması (Nas ve ark., 2013)

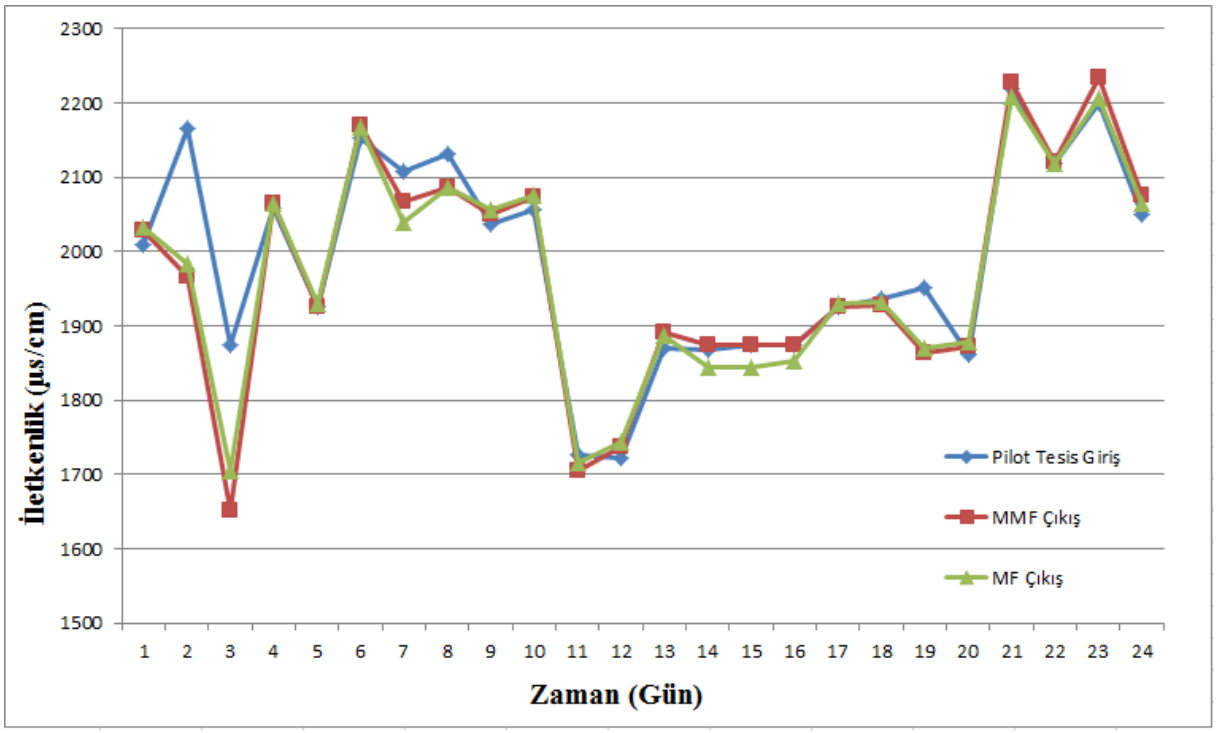
| Sınıflama | İletkenlik Aralığı | Açıklama |
|---|---|---|
| **Tatlı** | < 325 | İçilebilir Su |
| **Marjinal** | 325 - 975 | Çiftlik hayvanları ve sulama için uygun |
| **Acımsı** | 975 - 3250 | Seçici şekilde çiftlik hayvanları ve sulamada kullanılabilir. |
| **Tuzlu** | >3250 | Kaba endüstriyel prosesler için uygundur. |

Elektriksel iletkenlik (EC), TÇM 'nin bir diğer gösterim tarzıdır. Dahası, EC tatlı sularda toplam çözünmüş katı (TÇKM) konsantrasyonunu (ppm) hesaplamada da kullanılabilir. Toplam çözünmüş katılar inorganik tuzlar (kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum, bikarbonat, sülfat ve klorürler) ve suda çözünmüş az miktarlarda organik madde içerir. Bir su numunesinin elektriksel iletkenliğini TÇKM'nin yaklaşık konsantrasyonuna manuel olarak dönüştürmek için, μS/cm TÇKM'nin kimyasal bileşiğine bağlıdır ve 0.54 ile 0.96 arasında değiştiği belirlenen bir dönüştürme faktörüyle çarpılır. Eğer gerçek faktör yoksa, genellikle 0.67 değeri yaklaşık değer olarak kullanılır: $TÇKM_{ppm}$ =İletkenlik μS/cm × 0.67. Ayarlamalar arazi şartlarında genellikle karşılaşılan sıcaklık değerlerine göre yapılmalıdır ( Nas, 2013 ). Çizelge 4.5. 'te görüldüğü gibi MMF çıkışta minimum değer 1652 $\mu S.cm^{-1}$, maksimum değer 2235 $\mu S.cm^{-1}$,ortalama değer ise 1970 $\mu S.cm^{-1}$ aralığında izlemiştir.

**Çizelge 4.5.** Pilot ileri arıtma tesisi iletkenlik değerleri

| İletkenlik (µs/cm) | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Pilot tesis Giriş** | 48 | 1989 | 1722 | 2220 |
| **MMF Çıkış** | 96 | 1970 | 1652 | 2235 |
| **MF Çıkış** | 96 | 1969 | 1706 | 2208 |

Şekil 4.3. 'te iletkenlik değerleri pilot tesis giriş, MMF çıkış ve MF çıkışında alınan numunelerde yapılan analizlerin sonuçları aynı değerlerde izlemiştir. Pilot tesis giriş, MMF çıkış ve MF çıkış iletkenlik değerleri Şekil 4.3. 'te görüldüğü gibi ortalama 1900 µS/cm seviyesinde izlenmiştir.




**Şekil 4.3.** Pilot ileri arıtma tesisi iletkenlik değerleri değişimi

AATTUT 'de Tablo E7.2 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tabloda tuzluluk parametresi başlığı altında iletkenlik ve toplam çözünmüş madde olarak değerlendirilmiştir. AATTUT ’e göre pilot tesis çıkış suyu iletkenlik değeri 2.Sınıf su özelliği göstermektedir.

Çin pilot tesisinde membran biyoreaktör (MBR) / ters ozmos (RO) ve mikrofiltrasyon (MF) / ters ozmos(RO) şeklinde kurulan sistemde iletkenlik MF 'de 659 µs/cm iken RO 'da 33 µs/cm olarak izlenmiştir. Sistemin kurulma amacı ikincil arıtmadan çıkan arıtılmış atıksuyun geri kazanımıyla sulama ve yeniden kullanım amaçlı kullanılmasıdır (Tam ve ark., 2006). AATTUT 'e göre Çin pilot tesisi kullanımında zarar derecesi olmayıp 1.Sınıf su sınıfına girmektedir. AATTUT: Tablo E7.2' de verilen değerlerde 700- 3000 µs/cm aralığında az-orta zararlı sınıfına girmektedir. Pilot tesis iletkenlik verileri Tuzluluğun göstergesi olan iletkenlik ve toplam çözünmüş madde (TÇM) parametreleri kullanımında zarar derecesi bakımından 2. Sınıf sulama suyu özelliği göstermektedir.

### 4.1.4. Bulanıklık

Sudaki bulanıklık kil, silt, parçalanmış organik ve inorganik maddeler, çözünmüş renkli organik bileşikler, plankton ve mikroskobik organizmaların meydana getirdiği askıda katı maddelerden kaynaklanır. Bulanıklık, çözeltide ışığın saçılma ve absorbe olmasına neden olan optik bir özelliktir. Suların bağıl bulanıklığı, bulanıklık derişimiyle doğrusal olarak değişen ve içme suyu standartlarında bulanıklık şiddeti ölçümünde kullanılan NTU birimine uygun süspansiyon meydana getirebilen standart bir maddenin değişik derişimlerdeki süspansiyonları ile numune doğrudan karşılaştırılarak veya kolorimetrik metotla tayin edilebilir. Bulanıklığı tayin edilecek su numunelerinde çabuk çöken kaba ve serbest parçaların bulunması, deney esnasında okuma tüpünde hava kabarcıklarının oluşması, su yüzeyinin sarsıntı nedeniyle oynaması ve kullanılan cam kaplardaki lekeler hatalı sonuçlara neden olur. Deneysel işlemlere dikkat edilerek hatalar minimuma indirilebilir. Bulanıklığı ölçülecek numune iyice çalkalanarak doğrudan ölçme yapılır.

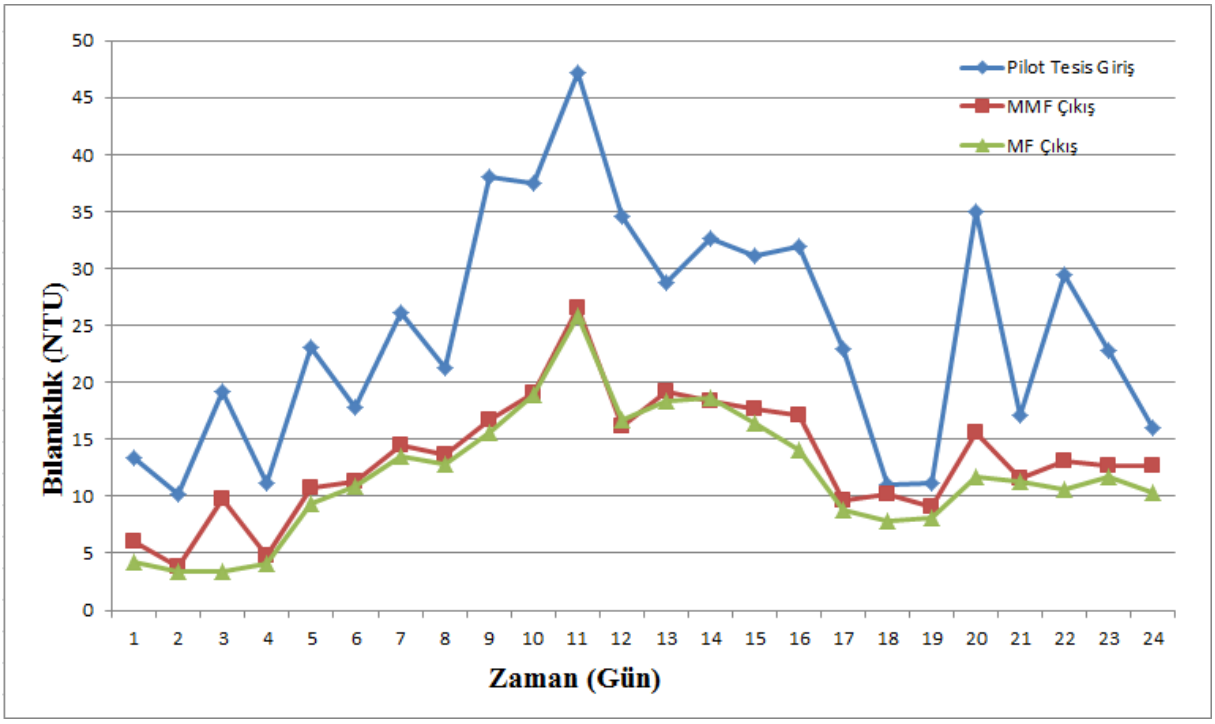
Kentsel yeşil alan sulamada kullanılacak olan arıtılmış atıksuda bulanıklık değerleri AATTUT Tablo E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması 'nda bulanıklık < 2NTU olarak ifade edilmektedir. Tablo Ek 7.1'e göre bulanıklık hiçbir zaman 5 NTU 'yu geçmemelidir. Çizelge 4.6. 'da Pilot tesis giriş, MMF çıkış ve MF çıkış için minimum, ortalama ve maksimum değerler aktarılmıştır. Pilot tesis girişte maksimum değer 47.2 NTU iken MF çıkışta minimum değer 3.34

NTU olarak ölçülmüştür. Yapılan bulanıklık deneylerinde Konya AAT deneme aşamasında olduğundan sapmalar görülmüştür.

**Çizelge 4.6.** Pilot ileri arıtma tesisi bulanıklık değerleri

| Bulanıklık (NTU) | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Pilot tesis Giriş** | 48 | 24.56 | 10.15 | 47.2 |
| **MMF Çıkış** | 96 | 13.33 | 3.79 | 26.58 |
| **MF Çıkış** | 96 | 11.95 | 3.34 | 25.8 |

Şekil 4.4. 'te bulanıklık değerinin standart değerin altına düştüğü günlerde AAT 'nin verimli bir şekilde çalıştığını anlayabiliriz. Şekil 4.4. 'te pilot tesis girişinde bulanıklığın maksimum seviyeye ulaştığı 11.günde 47.2 NTU olarak ölçülen değer MMF çıkışında yaklaşık 27 NTU iken MF çıkışında yaklaşık olarak 25 NTU olarak okunmuştur. 11. günde bulanıklık giderimi %50 olarak hesaplanmıştır. Bulanıklığın minimum seviyeye ulaştığı 3.günde Pilot tesis girişinde yaklaşık 19.56 NTU, MMF çıkış 10 NTU ve MF çıkış 3.34 NTU olarak analiz edilmiştir. 3.günde bulanıklık giderimi yaklaşık % 83 'e ulaşmıştır.




**Şekil 4.4.** Pilot ileri arıtma tesisi bulanıklık değerleri değişimi

Alonso ve arkadaşları evsel AAT çıkış sularının MF ve UF sistemleriyle arıtılarak, bulanıklık için arıtma verimi % 92 olarak hesaplanmıştır (Alonso ve ark., 2001). Tez çalışmasında ise çalışılan süreçte ulaşılan maksimum arıtma verimi %83 olarak hesaplanmıştır. Bulanıklık sonuçlarının standart değerlerin üzerinde çıkmasının önemli bir nedeni AAT çıkış suyu AKM değerinin çok yüksek değerlerde izlemesi olmuştur. Bunun için geri kazanım tesisinde koagülant türü ve miktarı ayarlanmıştır.

### 4.1.5. Askıda Katı Madde (AKM)

Toplam askıda katı madde, su numunesi içerisindeki çökebilen ve çökemeyen katı maddelerin toplamıdır. Genellikle sediment maddeleri, kaya zerreleri, çamur veya kil mineralleri, kolloidal organik madde parçaları ve planktonlardan ibarettir. İnsan faaliyetleri sonucu olarak yüzey sularındaki askıda katı maddelerin miktarı artabilir. Aynı zamanda tarım arazilerinde meydana gelen erozyon da askıda katı madde miktarını arttırır. Toplam askıda katı madde belli bir miktardan sonra genellikle suyun fiziksel olarak kirlenmesine sebep olur. Dolayısıyla suyun bulanıklaşmasını, yoğunlaşmasını, toksisitesini artırabileceği gibi ışık geçirgenliğini ve oksijen miktarını azaltarak fauna ve flora üzerine çökelerek su canlılarına zarar verir. Askıda katı maddelerin etki derecesi bu maddelerin türüne, miktarına, su canlılarının cinsi ve büyüklüğüne göre değişmektedir.

AATTUT Tablo E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılmasında tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiç bir zaman 5 NTU ’yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM’nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L’nin altında olmalıdır.

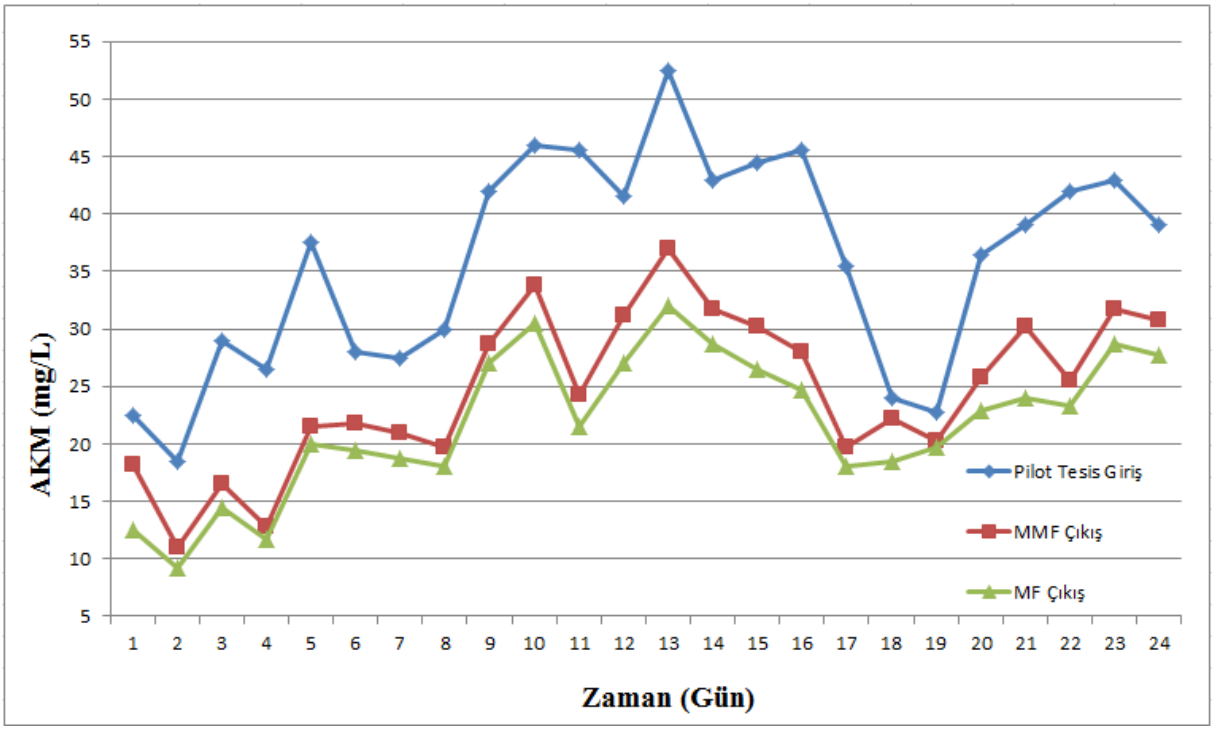
Çizelge 4.7. 'de görüldüğü üzere sadece MMF ve MF sistemleri kullanılarak AKM maksimum değeri pilot tesis girişte 52.5 mg/L iken AKM minimum değeri MF çıkışta 9.25 mg/l seviyesinde seyretmektedir. Bu değerler gerçek ölçekli geri kazanım tesisi çalışmalarında koagülant dozajı ve cinsi düzenlenerek standart değere ulaşılmıştır.

**Çizelge 4.7.** Pilot ileri arıtma tesisi AKM değerleri

| AKM (mg/L) | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Pilot tesis Giriş** | 48 | 35.9 | 18.5 | 52.5 |
| **MMF Çıkış** | 96 | 24.74 | 11 | 37 |
| **MF Çıkış** | 96 | 21.87 | 9.25 | 32 |

Şekil 4.5. 'te Pilot tesis AKM değerleri değişimi yansıtılmıştır. Analiz yapılan 2. günde AKM değeri pilot tesis girişinde 19 mg/L , MMF çıkış 11 mg/L, MF çıkış 9 mg/L olarak izlenmiştir. Aynı günde AKM giderimi %53 olarak hesaplanmıştır.

Pilot tesiste durum böyle iken; Kuveyt 'te yapılan çalışmada evsel atıksu klasik hızlı kum filtreleri ile arıtılmış ve çıkışta klorlama yapılmış ve çalışmada AKM giderimi %55-75 civarında izlenmiştir (Hamoda ve ark., 2004).




**Şekil 4.5.** Pilot ileri arıtma tesisi AKM değerleri değişimi

AATTUT 'de Askıda katı madde, sulama sistemini tıkadığı için önemlidir. Klasik atıksu 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 yanında, sıcaklık, güneş ışığı ve debi gibi diğer faktörlerde rol oynamaktadır.

### 4.1.6. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) sudaki yükseltgenebilir maddelerin kimyasal yolla oksitlenmeleri için gerekli oksijen miktarıdır. Atıksu numunesi $H_2SO_4$ ve standardize edilmiş $K_2Cr_2O_7$'in fazlası ile geri döngülü olarak 2-3 saat kaynatılır. Atıksuda bulunan çoğu organik maddeler $K_2Cr_2O_7$ ile aşağıdaki reaksiyona girerler.

$$\text{Organik madde} + K_2Cr_2O_7 \longrightarrow CO_2 + H_2O + K_2Cr_2O_4$$

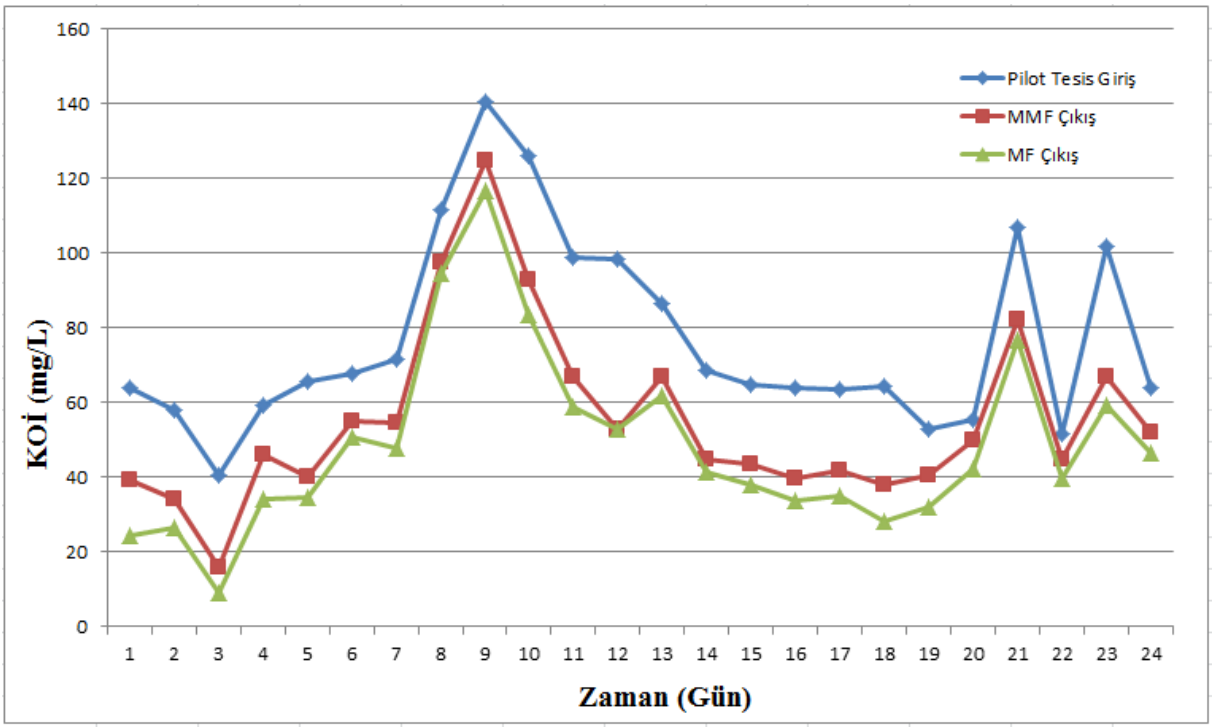
Bu esnada stokiyometrik olarak numune içindeki yükseltgenebilir maddeye eşdeğer miktarda $K_2Cr_2O_7$ kullanılır ve geriye kalan $K_2Cr_2O_7$, standart demir-2-amonyum sülfat ile titre edilerek bulunur. Harcanan $K_2Cr_2O_7$ oksitlenen organik madde miktarını gösterir. Oksitlenme derecesi organik maddelerin türüne ve konsantrasyonuna, $K_2Cr_2O_7$ ve $H_2SO_4$'in konsantrasyonuna, reaksiyon sıcaklığına ve zamanına bağlıdır. Bu nedenle şartların tam olarak sağlanması gerekir. KOİ içme ve atıksu numunelerine uygulanır. Metot genellikle atıksu numuneleri için kullanılır. 15 - 300 mg/L KOİ içeren sularda kullanılır. KOİ değeri 300 mg/L 'den fazla olan numunelerde seyreltme yapılması uygundur. Atıksu numuneleri için tayin sınırı >15 mg/L 'dir. Temiz su numuneleri için tayin sınırı >5 mg/L 'dir.

AATTUT 'de Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu KOİ < 90 mg/l olmalıdır ki bu değer Çizelge 4.8. 'de görüldüğü gibi Pilot tesis giriş suyu KOİ değeri ortalama 76.98 mg/ L'dir. Bu değer MMF çıkış ve MF çıkışta düştüğü görülmektedir.

**Çizelge 4.8.** Pilot ileri arıtma tesisi KOİ değerleri

| KOİ (mg/L) | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Pilot tesis Giriş** | 48 | 76.98 | 40.5 | 140.5 |
| **MMF Çıkış** | 96 | 55.57 | 15.75 | 125 |
| **MF Çıkış** | 96 | 48.75 | 9 | 116.75 |

AATTUT 'de Ek7'de $BOİ_5$ < 20mg/L olması istenmektedir. $BOİ_5$ değeri AAT çıkışında 10-20 mg/L aralığındadır. Bu değer aralığı şu anki haliyle tebliğde istenen haftalık ortalamada maksimum 20 mg/L değerini sağlamaktadır. Multimedya kum filtreleri genel olarak %15-30 mertebesinde BOİ giderimi yapmaktadır. Pilot sistemde de BOİ giderimi %10-30 mertebesinde ölçülmüştür. Ortalama değerin üstünde görülen KOİ değerindeki sapmalar ise tesise gelen atıksu yükünün fazla olduğu günlerde görülmektedir. KOİ giderimi Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi % 40-60 mertebesindedir.




**Şekil 4.6.** Pilot ileri arıtma tesisi KOİ değerleri değişimi

Kuveyt 'te yapılan bir çalışma ile evsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyu mikrofiltrasyon ile arıtılmıştır. Sistemde KOİ giderimi %30 sağlanmıştır (Al-Shammiri ve ark., 2005). İspanya 'da yapılan bir çalışmada ise; Quart Benager atıksu arıtma tesisi çıkış sularına 2 adet $2m^3$/saat kapasiteli pilot tesis kurularak, arıtılan suyun tarımsal sulamada kullanımı amaçlanmıştır. Çalışmanın amacı, özellikle Valencia civarındaki su sıkıntısını aşabilmek amacıyla belediyelerde atık suyun geri kazanım oranını artırmak ve bu suyun tarımsal sulamada kullanımını sağlamaktır. Bu pilot tesiste 3 alternatif değerlendirilmiştir. 1.Koagülasyon&Flokülasyon, çöktürme, filtrasyon, UV., 2.Filtrasyon &UV Rasyasyon, 3.UF sistemleridir. Kontrol parametrelerinden en yüksek giderimi; KOİ 'de %50 ile ultrafiltrasyon sistemi sağlamıştır ( Munoz ve ark., 2008 ).

Çizelge 4.9. 'da Pilot ileri arıtma tesisinde yapılan çalışmalardan bir örnek aktarılmıştır. Pilot tesiste çalışılan günlerde yapılan analizler Çizelge 4.9. örneğinde olduğu gibi günlük olarak tabloya aktarılmıştır. Rutin olarak; yapılan deney sonuçları tablolara aktarılmış ve grafikler üzerinden verim analizleri izlenmiştir. Ayrıca bu çizelgelerde pilot tesis çalışma saati ve numune alım saatleri belirtilmiştir. Pilot tesiste kullanılan koagülant madde ( PAC ) çözeltisi ihtiyaç durumunda hazırlanmış, dozaj pompası ayarı (Dozlama pompası kapasitesi 2L/h; %25 kapasitede 0.5 L/h = 5.5 mg/L pompalanır.) ve rotametre ayarı yapılarak o güne ait çizelgeye eklenmiştir.

**Çizelge 4.9.** Pilot ileri arıtma tesisinin performans örneği

| | **09:00** | **09:30** | **09:30** | **10:00** | **10:00** |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Pilot Tesis Giriş** | **MMF Çıkış** | **MF Çıkış** | **MMF Çıkış** | **MF Çıkış** |
| **pH** | 7.34 | 7.58 | 7.46 | 7.54 | 7.43 |
| **Sıcaklık ($^{o}$C)** | 13.5 | 14.7 | 14 | 13.9 | 13.5 |
| **İletkenlik (µs/cm)** | 2028 | 1609 | 1706 | 1609 | 1691 |
| **Bulanıklık (NTU)** | 20.8 | 5.1 | 3.99 | 4.45 | 4.61 |
| **AKM (mg/L)** | 32 | 27 | 19 | 18 | 17 |
| **KOI (mg/L)** | 45 | 24 | 12 | 18 | 12 |
| | | | | | |
| | **13:00** | **13:30** | **13:30** | **14:00** | **14:00** |
| | **Pilot Tesis Giriş** | **MMF Çıkış** | **MF Çıkış** | **MMF Çıkış** | **MF Çıkış** |
| **pH** | 7.36 | 7.55 | 7.44 | 7.55 | 7.44 |
| **Sıcaklık ($^{o}$C)** | 14.3 | 14.4 | 13.8 | 15.2 | 14.4 |
| **İletkenlik (µs/cm)** | 1723 | 1699 | 1713 | 1693 | 1714 |
| **Bulanıklık (NTU)** | 17.7 | 3.22 | 2.74 | 2.48 | 2.45 |
| **AKM (mg/L)** | 60 | 11 | 11 | 10 | 11 |
| **KOI (mg/L)** | 36 | 6 | 3 | 15 | 9 |
| | | | | | |
| MMF AKM giderimi %29 ve MF AKM giderimi %26 hesaplandı. | | | | | |
| PAC çözeltisi hazırlandı.(400g PAC saf suda çözüldü ve 20L 'ye tamamlandı.) | | | | | |
| Tesis 09:00' da çalıştırıldı. | | | | | |
| Dozaj pompası %25 açıldı. | | | | | |
| Rotametre 30 LPM(L/dk) = 1800L/h | | | | | |

### 4.1.7. Fekal koliform giderim verimleri

Pilot tesiste ilk işletilen dezenfeksiyon alternatifi olan ön klorlama, sistemde iki yönde etkin olmuştur. Klorun, henüz UV sistemi çalışmayan AAT çıkış suyunda bulunan mikroorganizmaları gidermesi, aynı zamanda multimedya filtre yatağında olası mikroorganizma büyümesinin de önüne geçerek filtrasyon verimine olumlu yönde etki etmiştir. Ön klorlamanın yapıldığı gün boyunca girişte ölçümü yapılan $10^4$ - $10^5$ mertebesinde olan fekal koliform ve toplam koliform değeri, sıvı klor dozajı sayesinde %100 giderilebilmiştir. Ön klorlamanın ardından işletilen UV dezenfeksiyonlu sistemde de koliform giderimi % 100 mertebesine ulaşmıştır.

### 4.1.8. Pilot tesis verilerinin sulama suyu açısından değerlendirilmesi

AAT Teknik Usuller Tebliği Tablo E7.2'de sulama suyu için kimyasal kalite kriterleri verilmiştir. Evsel nitelikli atıksular hariç sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların da bu kimyasal kriterleri sağlaması gerekmektedir.

Buna göre pilot tesis çıkış suları Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Tablo E7.2' de verilen sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo ile karşılaştırılarak sonuçlar Çizelge 4.10.'da sunulmuştur.

**Çizelge 4.10**.Pilot ileri arıtma tesisi çıkış değerlerinin AATTUT Tablo E7.2 ile karşılaştırılması (Nas ve Kaynak, 2010)

| **Parametreler** | | **Birimler** | **Kullanımında zarar derecesi** | | | **Pilot Tesis Çıkışı Min - Max** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Yok (I. sınıf su)** | **Az – orta (II. sınıf su)** | **Tehlikeli (III. sınıf su)** | |
| **Tuzluluk** | | | | | | |
| **İletkenlik** | | µS/cm | < 700 | **700-3000** | >3000 | **970-1980** |
| **Toplam çözünmüş Madde** | | mg/L | < 500 | **500-2000** | >2000 | **839-1109** |
| **Geçirgenlik** | | | | | | |
| **$SAR_{Tad}$** | 0-3 | - | EC ≥ 0.7 | 0.7-0.2 | < 0.2 | **3.1-5.6** |
| | **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** | | | | | | |
| **Sodyum (Na)** | | | | | | |
| **Yüzey sulaması** | | mg/L | < 3 | 3-9 | > 9 | **140-250** |
| **Damlatmalı sulama** | | mg/L | < 70 | **> 70** | | |
| **Klorür (Cl)** | | | | | | |
| **Yüzey sulaması** | | mg/L | < 140 | 140 –350 | > 350 | **246-310** |
| **Damlatmalı sulama** | | mg/L | < 100 | **> 100** | | |
| **Bor (B)** | | mg/L | **< 0.7** | 0.7-3.0 | > 3.0 | **0.12-0.39** |

Buna göre çizelgede verilen kimyasal kalite kriterlerinin uygulanacak olan ileri arıtma metodundan bağımsız olduğu ve MMF, MF veya UF uygulanması ile bu parametrelerin çok değişkenlik göstermeyeceği ve su sınıfını değiştirmeyeceği söylenebilir.

**Tuzluluk:** Tuzluluğun göstergesi olan iletkenlik ve toplam çözünmüş madde (TÇM) parametreleri açısından pilot tesis çıkış suları 2. sınıf sulama suyu özelliği göstermektedir. Tuzluluk, su veya topraktaki tuzların toplu olarak belirtilmesidir. Elektriksel iletkenlik (EC), TÇM 'nin bir diğer gösterim tarzıdır. Tuzluluk arttıkça, toprağın suyu ile bitki hücresi zarı arasındaki osmotik gradyan azalmaktadır. Bitki, topraktaki tuzlu suyu seyreltmek için kendi hücresindeki suyu toprağa geri bırakmakta ve bu durum bitkinin gelişmesini önlemektedir. Tebliğde Tablo E7.3'de bitkilerin tuzluluğa olan hassaslıkları verilmektedir. Buna göre, çayır bitkileri, özellikle çim bitkilerinin 1500-2000 mg/L TÇM konsantrasyonlarına kadar orta toleranslı olduğu görülmektedir. Pilot tesis çıkışında; TÇM 839-1109 mg/lt aralığında ölçüldüğünden geri kazanım tesisinden sulanacak olan yeşil alanlardaki çimlerin daha da toleranslı olacağı görülmektedir.

**SAR:** Sodyum adsorpsiyon oranı, toprak bünyesindeki suda ve sulama suyunda sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak partikülleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu durumda, topraktaki porozite azalmakta ve büyük boşluklar tıkanmaktadır. Böylelikle, su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir. Pilot tesis çıkışında ölçülen SAR değerleri 3.1-5.6 aralığındadır. Buna göre, iletkenlik parametresi ile ilişkilendirildiğinde geri kazanılacak su SAR parametresi açısından 1. sınıf su özelliği göstermektedir.

**Özgül iyon toksisitesi:** Geri kazanılmış sudaki birçok iyon, yüksek konsantrasyonlarda bitki üzerinde birikebilmektedir. Sodyum, klorür ve bor bunların başlıcalarıdır. Sodyum toksisitesi, yapraklara zarar vermektedir. Klorür de benzer şekilde zarar vermektedir. Klorürün etkisi daha çok kavak gibi ağaçlarda olmaktadır. Sebze ve tarla bitkileri, SAR değeri çok yüksek değilse, sodyum ve klorürden etkilenmemektedir. Bor, bitki büyümelerinde gerekli dozdan yüksek olduğunda zarar vermekte, yaprak yanması ve sararması gibi etkiler ile kendini göstermektedir. Na ve Cl parametreleri açısından pilot tesis çıkış suları değerlendirildiğinde, projede damlatmalı sulama kullanılacağından sulama suyunun 2. sınıf kalitede olacağı görülmektedir. Bor parametresi açısından ise 1. sınıf su elde edilecektir.

### 4.1.9. Pilot tesis verilerinin ağır metaller açısından değerlendirilmesi

Pilot sistemde kullanılan üniteler arasında ağır metal giderimi yapabilecek bir ünite bulunmamaktadır. Ancak; AAT çıkışında elde edilen suyun içerdiği ağır metaller açısından sulama suyu olarak kullanımı açısından herhangi bir tehlike bulunmamaktadır. Teknik Usuller Tebliği'nde ağır metaller açısından konulan sınır değerler Çizelge 4.11. 'de gösterilmektedir. Pilot tesis çıkışında yapılan analizler neticesinde elde edilen eser elementlerin minimum, maksimum ve ortalama konsantrasyonları Çizelge 4.11. 'de verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Pilot tesis çıkış değerlerinin AATTUT Tablo E7.7 ile karşılaştırılması (Nas ve Kaynak, 2010)

| Elementler | Birim alana verilebile-cek maksimum toplam miktarlar, kg/ha | İzin verilen maksimum konsantrasyonlar | | Pilot Tesis Çıkışı | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler mg/lt | pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/lt | Min – Max mg/lt | Ortalama mg/lt |
| **Alüminyum(Al)** | 4600 | 5.0 | 20.0 | 0.04-0.11 | 0.08 |
| **Arsenik (As)** | 90 | 0.1 | 2.0 | 0.001-0.002 | 0.0012 |
| **Berilyum(Be)** | 90 | 0.1 | 0.5 | 0.0001-0.0009 | 0.0006 |
| **Bor (B)** | 680 | - | 2.0 | 0.1-0.4 | 0.21 |
| **Kadmiyum(Cd)** | 9 | 0.01 | 0.05 | 0.0002-0.0005 | 0.0004 |
| **Krom (Cr)** | 90 | 0.1 | 1.0 | 0.010-0.016 | 0.012 |
| **Kobalt (Co)** | 45 | 0.05 | 5.0 | 0.00075-0.02 | 0.0011 |
| **Bakır (Cu)** | 190 | 0.2 | 5.0 | 0.005-0.02 | 0.011 |
| **Florür (F)** | 920 | 1.0 | 15.0 | 0.11-0.18 | 0.13 |
| **Demir (Fe)** | 4600 | 5.0 | 20.0 | 0.09-0.38 | 0.16 |
| **Kurşun (Pb)** | 4600 | 5.0 | 10.0 | 0.001-0.006 | 0.0048 |
| **Lityum (Li)** | - | 2.5 | 2.5 | 0.02-0.05 | 0.045 |
| **Manganez (Mn)** | 920 | 0.2 | 10.0 | 0.078-0.084 | 0.081 |
| **Molibden (Mo)** | 9 | 0.01 | 0.05[2] | 0.0013-0.002 | 0.0011 |
| **Nikel (Ni)** | 920 | 0.2 | 2.0 | 0.014-0.0206 | 0.017 |
| **Selenyum (Se)** | 16 | 0.02 | 0.02 | < 0.001 | < 0.001 |
| **Vanadyum (V)** | - | 0.1 | 1.0 | 0.001-0.0031 | 0.0018 |
| **Çinko (Zn)** | 1840 | 2.0 | 10.0 | 0.016-0.031 | 0.023 |

Çizelge 4.11. 'de görüldüğü gibi, pilot tesis çıkışında elde edilen ağır metal konsantrasyonları, AATTU Tebliğ 'inde öngörülen “her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumundaki sınır değer” sütunundaki değerlerin altında kalmakta ve bu haliyle pilot tesis çıkışında elde edilen çıkış suyu, sulama suyu olarak kullanılabilecek nitelikte kabul edilmektedir.

Bor, bitki büyümelerinde gerekli dozdan yüksek olduğunda zarar vermekte, yaprak yanması ve sararması gibi etkiler ile kendini göstermektedir.

Ülkemizde bazı yörelerde bor elementinin taşıdığı önem dolayısıyla, AATTUT Tablo E7.2’de verilen sulama suyu sınıflamalarına ek olarak bitkilerin bora dayanıklılığını göz önünde bulunduran ek bir arıtılmış atıksu sulama suyu sınıflandırmasına gerek duyulmaktadır.

Aslında, bütün bitkilerin normal gelişmeleri için az bir miktar bora ihtiyaçları vardır. Ancak borun bitkilere gerekli miktarı ile zehirlilik seviyesi arasında çok dar bir sınır vardır ve bu sınır bitki türlerine göre değişmektedir. Toprakta veya sulama suyunda kritik sınırların üstünde bor bulunması bitki yapraklarında sararma, yanma ve yarılmalara, olgunlaşmamış yapraklarda dökülme ve büyüme hızının yavaşlaması ile verimde azalmaya neden olmaktadır. Tablo E7.6’de bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri verilmiştir. Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasında bu sınıflandırmanın göz önüne alınması gerekmektedir.

AATTUT Tablo Ek7.6. ’da bor elementi hassasiyet derecelerine göre; toleranslı (bor > 4mg/L), orta toleranslı (bor: 2.0-4.0 mg/L), orta hassas (bor: 1.0-2.0 mg/L) ve hassas (bor: 0.5-1.0 mg/L)olarak ayrılmıştır. Bu durumda pilot tesis sonuçları hassas derecesine girmektedir. Hassaslık; iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişebilir.

## 4.2. Gerçek Ölçekli Geri Kazanım Tesisi Çalışmaları

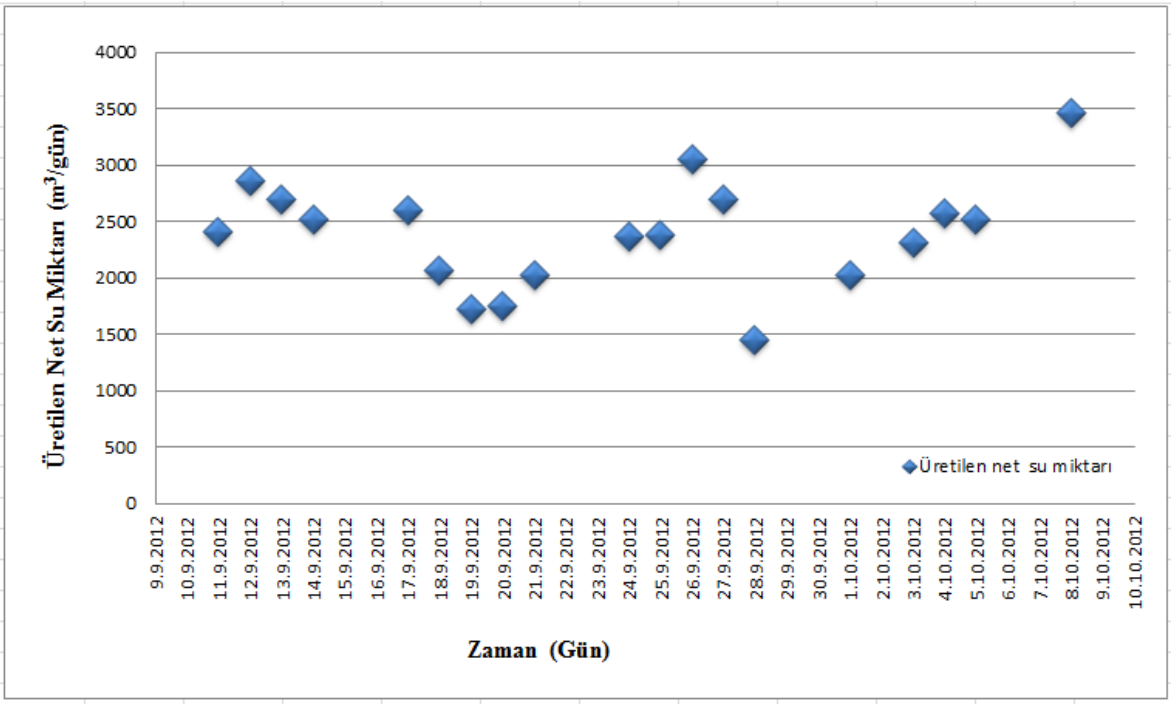
Konya Atıksu Arıtma Tesisinde ileri biyolojik arıtma (azot gideren aktif çamur sistemi) ve UV dezenfeksiyon sistemi uygulanmaktadır. Yapılan arıtılmış atıksu analizlerinde, daha fazla askıda katı madde ve fekal koliform gideriminin gerektiği anlaşılmıştır. Bu nedenle, proje kapsamında ileri filtrasyon ve dezenfeksiyon ünitesinden oluşan bir geri kazanım tesisi kurulmuştur.

Pilot tesisin işletme verilerinin değerlendirilmesi sonucu projelendirilen ve inşa edilen Konya AAT Geri Kazanım Tesisinin özellikleri ve işletme sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

11.09.12 – 07.10.12 tarihleri arasında üretilen net su miktarı Şekil 4.7.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.12.** Geri kazanım tesisi üretilen net su miktarı değerleri

| Üretilen Net Su Miktarı | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| $m^3$ / gün | 19 | 2389 | 1440 | 3456 |



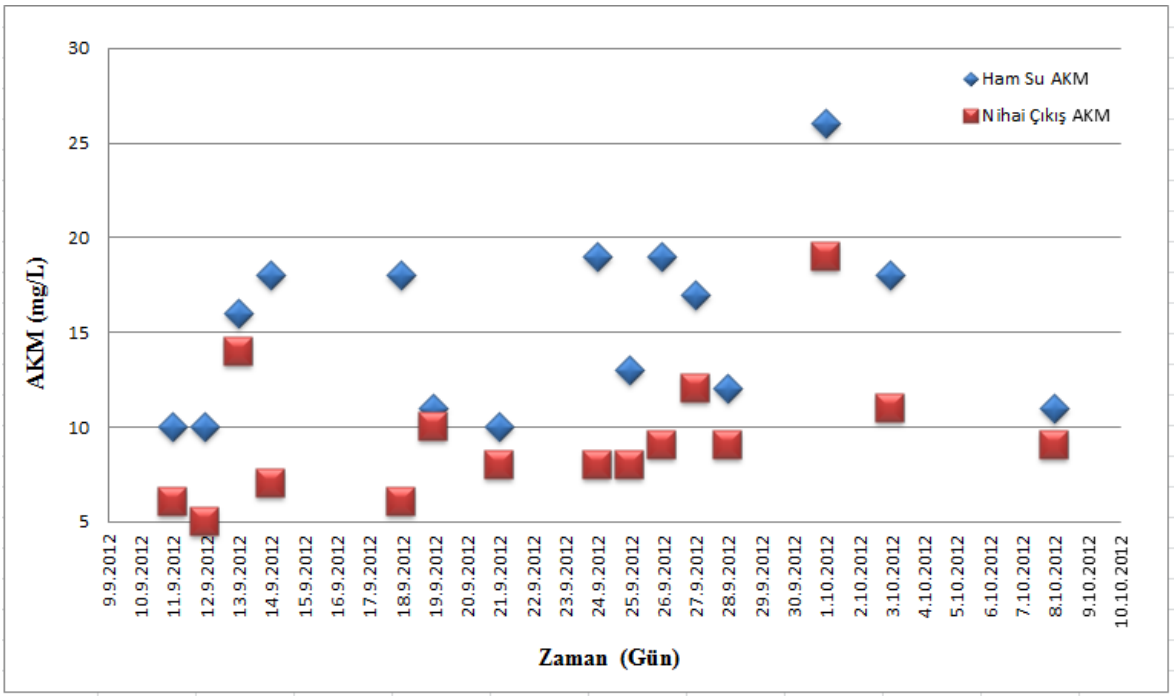

**Şekil 4.7.** Atıksu geri kazanım tesisi üretilen su miktarı değişimi

### 4.2.1. Askıda Katı Madde (AKM)

AATTUT 'e göre AKM < 5mg/L mertebesinde ve daha düşük seviyelerde seyretmelidir. AKM değeri geri kazanım tesisi çıkış suyu bulanıklık değerini kıyaslamak amacıyla analiz edilmiştir. AATTUT 'de klasik atıksu arıtma tesisi çıkış suyu AKM değeri 5 mg/L - 25 mg/L olarak belirtilmiştir. Çizelge 4.13. 'te görüldüğü üzere AKM değeri Konya AAT çıkış suyunda minimum 10 mg/L iken geri kazanım tesisi çıkış suyunda minimum 5 mg/L olarak ölçülmüştür.

**Çizelge 4.13.** Geri kazanım tesisi AKM değerleri

| AKM (mg/L) | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Ham su** | 15 | 15.2 | 10 | 26 |
| **Nihai Çıkış** | 15 | 9.4 | 5 | 19 |




**Şekil 4.8.** Atıksu geri kazanım tesisi AKM değişimi

Şekil 4.8.'de AKM değerlerinde günlük değişimlerin farklı olmasının nedenlerinden birisi Konya AAT Geri Kazanım tesisinin işletme aşamasında olmasıdır. Koagülant malzeme dozajı ayarlanarak AKM değerlerinde istenilen değerlere ulaşılmıştır. Konya AAT geri kazanım tesisine emsal olan tesislerden; Güney Kıbrıs: Ayia Napa – Paralimni Atık Su Geri Kazanım Tesisi çıkış suyu AKM değeri 1.95-2.65 mg/L seviyesinde izlenmiştir. Bu tesiste kullanılan arıtma sistemleri ise kum filtresi ve klorlamadır ayrıca çıkış suları yeşil alan sulamasında kullanılmaktadır (Fatta, 2005 ). Güney Kıbrıs Larnaka AAT 'de AKM 1.7 mg/L (AKM giderim verimi %99) olarak analiz edilmiştir (Fatta, 2005). Dan Bölgesi AAT çıkış suları geri kazanım hattına verilerek tarımsal alanların sulanması amacıyla kullanılmaktadır. Bu tesiste izlenen TAKM değeri 1mg/L olarak izlenmiştir (Fatta,2005). Almeria AAT çıkış suları ileri arıtmaya tabi tutularak tarım arazilerinde kullanılmaktadır. Bu tesiste AKM değerleri 30mg/L'nin altında izlenmiştir (Fatta, 2005).

### 4.2.2. Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)

Biyolojik oksijen ihtiyacı tarif olarak; organik maddelerin aerobik şartlarda bozunarak kararlı hale gelmeleri sırasında, bu ortamdaki bakteriler için gerekli olan oksijen miktarıdır. Organik maddeler bakteriler için gıda maddesidir. BOİ deneyinde, kanalizasyon ve endüstri atıklarının organik yük cinsinden kirlenme derecesi eşdeğer oksijen miktarı cinsinden tayin edilir. BOİ deneylerinde meydana gelen reaksiyonlar biyolojik faaliyetlerin sonucudur. Reaksiyon hızı, sıcaklık ve suyun kirliliğine bağlıdır. Deneyde, yaşayan organizmalar organik maddelerin su ve karbodioksite oksidasyonu için ortam görevindedirler. Gerekli oksijen ve organik madde arasındaki ilgi kantitatiftir. Bu nedenle BOİ deneylerini organik madde veya reaksiyonda kullanılacak oksijen miktarı cinsinden ifade etmek mümkündür. Deney sırasında oksijen miktarının tükenmemesi gereklidir. $20^{o}$ C'deki oksijenin sudaki çözünebilen miktarı 9 mg/lt'dir. Bu nedenle kirli suların istenen düzeye kadar seyreltilmesi gerekir. Ortamın bu süre sırasında bakterilerin faaliyetlerini engellemeyecek şekilde uygun olması gereklidir. Ortamda zehirli maddeler bulunmamalıdır. Ayrıca gerekli yiyecek maddesi ve bakterilerin büyümesi için azot, fosfor gibi belirli elementlerin bulunması gereklidir.

Teorik olarak tam bir biyolojik oksidasyon için, çok uzun zaman gerekir. Pratikte reaksiyonun 20 günde tamamlandığı kabul edilir. Ancak tecrübeler biyolojik oksijen ihtiyacının büyük bir kısmının ilk 5 günde sarfedildiğini göstermiştir. Kullanma suları ve birçok endüstri atıksularında 5 günlük BOİ 'nin, toplam BOİ'nin % 70 veya % 80'ni içerdiği gözlenmiştir. Bu durum ortamdaki organik madde miktarı ve aşının kalitesi ile ilgilidir. Kanalizasyon suları, kirli su ve endüstri atıklarının oksijen ihtiyacı şu 3 gruptaki elemanlar tarafından harcanır.

a) Aerobik organizmalar tarafından yiyecek kaynağı olarak kullanılan karbonlu organik maddeler,

b) Bazı özel bakteriler için (Nitrosomons, Nitrobacter gibi) yiyecek kaynağı olarak hizmet eden azotlu organik bileşikler; nitrit ve amonyaktan toplanan yükseltgenebilen azot,

c) İndirgenebilen bazı belirli kimyasal bileşikler (ferrodemir, sülfit ve sülfürler) molekül halinde çözünmüş oksijen ile reaksiyon verirler. Hamsu ve tasfiye edilmiş kanalizasyon suyunun oksijen ihtiyacı için çoğunlukla birinci gruptaki maddeler gereklidir ve BOİ aşağıda açıklanan BOİ deneyine göre yapılır. Biyolojik olarak parçalanması mümkün olmayan veya deney süresi 5 gün içinde parçalanamayan maddeler BOİ içine dahil edilemezler. Bu sebeple BOİ ve KOİ arasındaki ilişki suların organik yükünün tipini belirler.

$$\text{Organik Madde} + O_2 \longrightarrow \text{Bakteri} \longrightarrow CO_2$$

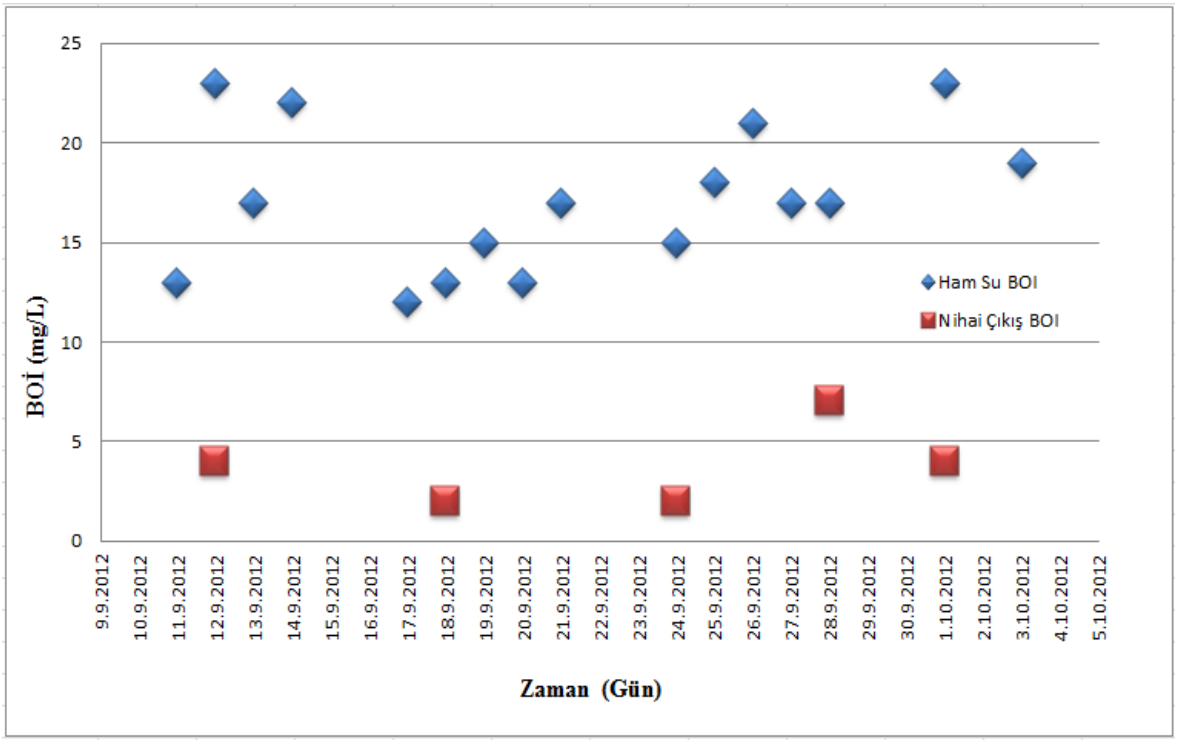
Deney şartlarında organik madde parçalanırken oluşan $CO_2$, şişelerin kapağının altındaki KOH bileşiği tarafından tutulur. $2KOH + CO_2 \longrightarrow K_2CO_3 + H_2O$

Şişenin üst kısmındaki hava hacmi sınırlı olduğundan bu azalan $CO_2$ içerde negatif bir basınç oluşturur ve şişelere üstten bağlı olan civa kolonunun içindeki havayı emer, bu vakum tesiri ile civanın kolonda yükselmesini sağlar. Böylece $O_2$'e eşdeğer bir vakum oluşur. Civa sütunundaki yükselme bu azalan $O_2$'nin doğrudan BOİ olarak okunmasını sağlar.

**Çizelge 4.14.** Geri kazanım tesisi BOİ değerleri

| **BOİ (mg/L)** | **Numune Sayısı** | **Ortalama** | **Minimum** | **Maksimum** |
|---|---|---|---|---|
| **Ham su** | 16 | 17.18 | 12 | 23 |
| **Nihai Çıkış** | 5 | 3.8 | 2 | 7 |

BOİ değeri AATTUT ‘e göre 20 mg/L ’nin altında olmalıdır. Şekil 4.9 ’da görüldüğü üzere ham su BOİ değeri standart değeri karşılamaktadır. Nihai çıkış değerleri ise ortalama 5 mg/L seviyesinde izlemektedir. Benzer şekilde diğer ülkelerdeki çalışmalardaki sonuçlar şöyledir; Güney Kıbrıs: Larnaka Atık Su Geri Kazanım Tesisinde Oksidasyan Hendekleri + Çökeltim havuzları + Kum filtresi + Klorlama uygulanan sistemin çıkış suları sulama sistemine iletilmektedir. Güney Larnaka örneğinde $BOİ_5$ değeri 2.6 mg/L olarak analiz edilmiştir (Fatta, 2005). İsrail: Dan Bölgesi Atık Su Geri Kazanım Tesisinde oksidasyon havuzları, kimyasal oksidasyon, pH ayarlaması veya mekanik-biyolojik arıtma ile arıtılmakta ;çıkış suları da toprak-akifer arıtımı ve klorlama ile ileri arıtmaya tabi tutulmaktadır. Elde edilen geri kazanılmış su zirai sulamada kullanılmaktadır, çıkış suyu BOİ değeri ise < 0.5 mg/L mertebesindedir ( Fatta, 2005 ). İspanya: Almeria Atık Su Geri Kazanım Tesisinde hızlı kum filtresi ve ozonlama yapılarak atık su geri kazanımı yapılmaktadır. Arıtılan bu suyun $BOİ_5$ değeri 35mg/L’dir ve tarımsal sulamada kullanılmaktadır ( Fatta, 2005 ).




**Şekil 4.9.** Atıksu geri kazanım tesisi BOİ değerleri

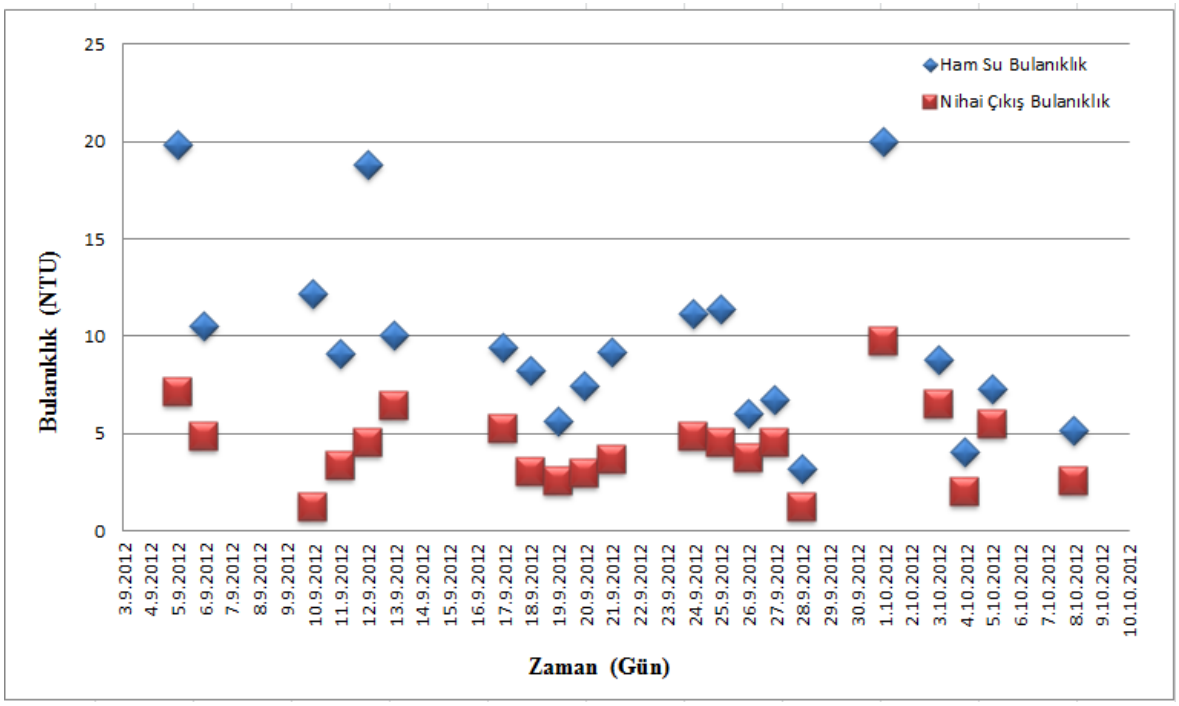
### 4.2.3. Bulanıklık

Bulanıklık değeri AATTUT'e göre < 2 NTU olmalıdır. Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde olmalıdır. Bu hiçbir zaman 5 NTU 'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda AKM değeri 5 mg/L 'yi geçmemelidir. Şekilde 4.10 'da görüldüğü gibi bulanıklık değeri 5 NTU civarında izlemiştir. Bu da kentsel alanların sulanması için gerekli standartları sağladığını göstermektedir.

**Çizelge 4.15.** Geri kazanım tesisi bulanıklık değerleri

| **Bulanıklık (NTU)** | **Numune Sayısı** | **Ortalama** | **Minimum** | **Maksimum** |
|---|---|---|---|---|
| **Ham su** | 21 | 9.7 | 3.2 | 20 |
| **Nihai Çıkış** | 21 | 4.25 | 1.2 | 9.68 |

Petala ve arkadaşları tarafından Yunanistan'da yapılan benzer bir çalışmada ise 800-1000 $m^3$/gun kapasiteli klasik aktif çamur tesisi çıkış suları, 45 $m^3$/saat kapasiteli, kum filtresi, aktif karbon filtresi ve ozon cihazından oluşan sistemle ileri arıtmaya tabi tutulmakta, çıkışta bulanıklık, TOK, NH4-N ve koliform parametreleri analiz edilmiştir. Çıkış değerleri, hem organik maddeler, hem de mikroorganizmalar acısından analiz edildiğinde sistem sayesinde yüksek verim elde edildiği görülmüştür. 45 $m^3$/saat kapasiteli ileri arıtma sistemi sayesinde bulanıklık giderme verimi sadece filtrasyonun uygulandığı sistemde %42 iken, filtrasyon ve aktif karbon adsorbsiyonunun birlikte uygulandığı sistemde %60'a ulaştığı görülmüştür Yunanistan'da yapılan çalışmalarda farklı konsantrasyonlarda uygulanan ozonun da bulanıklık giderimine etkisi ozon dozajı arttıkça %8'den %78'e kadar ulaşmıştır ( Petala ve ark., 2006).

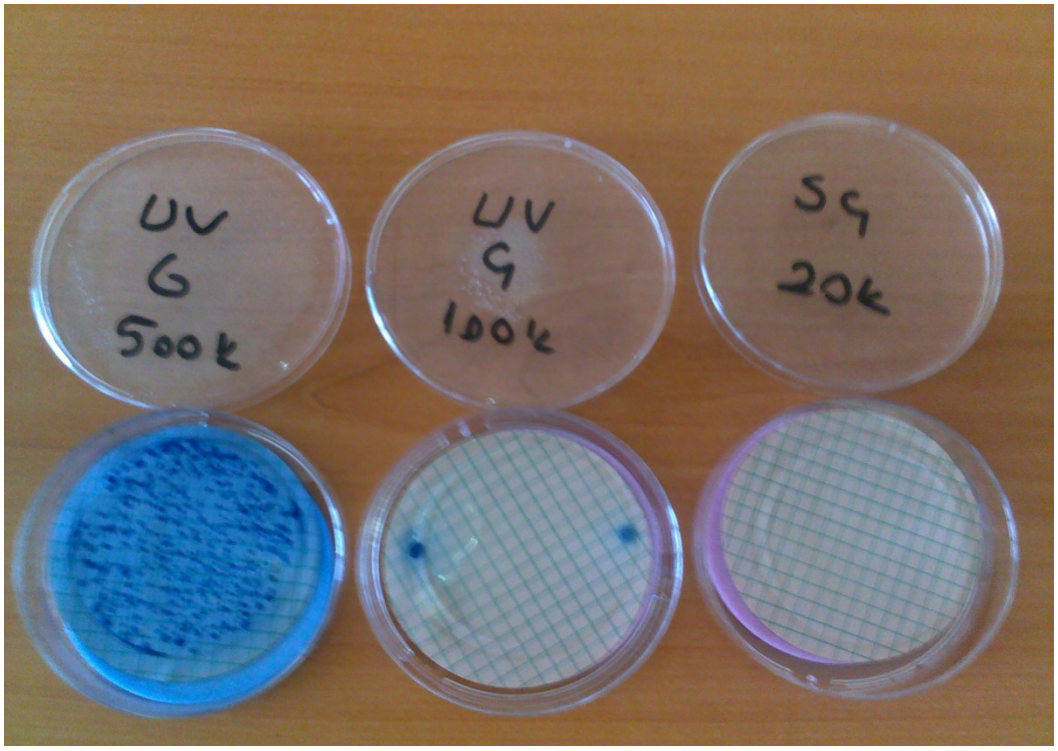



**Şekil 4.10.** Atıksu geri kazanım tesisi bulanıklık değerleri

Şekil 4.10. 'da atıksu geri kazanım tesisi giriş ve çıkışındaki bulanıklık değerleri verilmiştir. Geri kazanım tesisi bulanıklık giriş değeri ortalama 9.7 NTU, minimum 3.2 NTU, maksimum değer ise 20 NTU olarak analiz edilmiştir. Geri kazanım tesisi çıkışındaki bulanıklık değeri ise; ortalama 4.25 NTU, minimum 1.2 NTU, maksimum 9.68 NTU olarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından anlaşılacağı gibi bulanıklık gideriminde %55 başarı sağlanmıştır.

### 4.2.4. Fekal koliform

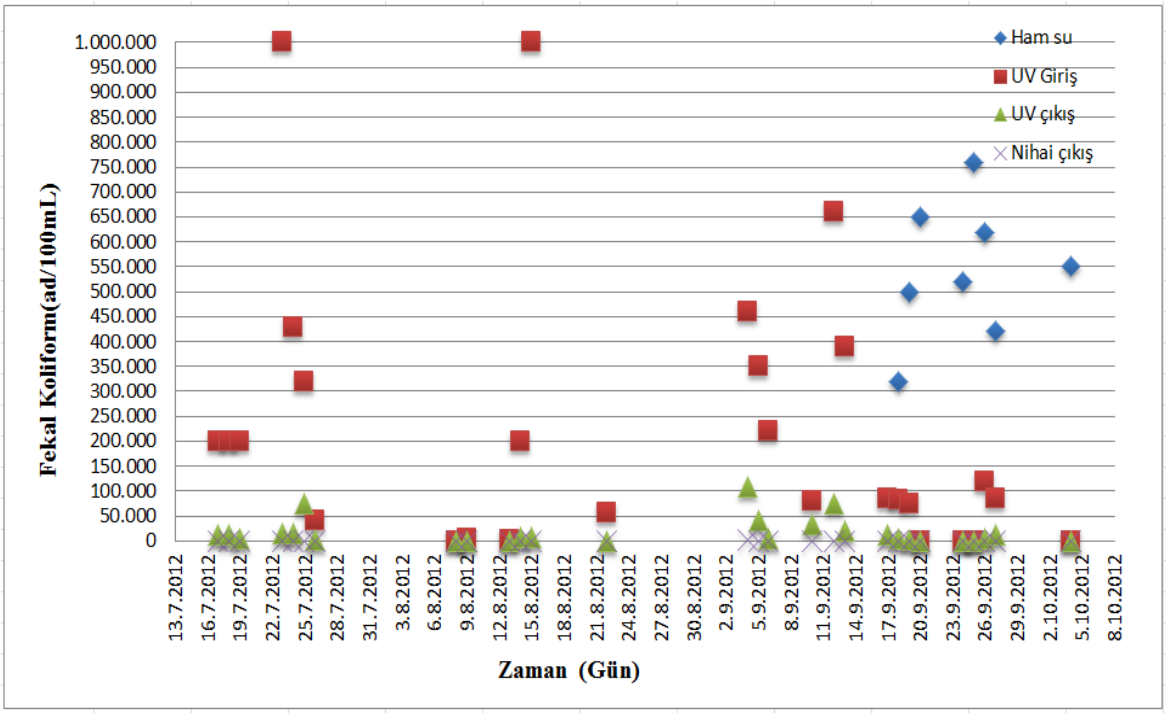
Fekal koliform AATTUT'e göre 0/100mL olmalıdır. Bu değer 7 günlük ortalama değerleri karakterize eder ve fekal koliform değeri hiçbir zaman 14ad / 100mL'yi geçemez. Bu ifade sonucunda kentsel alanların sulanmasında kullanılacak olan geri kazanılmış sudaki fekal koliform miktarı 0 /100mL olmalıdır. Fotograf 4.2. 'de görüldüğü üzere nihai çıkış değeri 0 ad/100mL olarak analiz edilmiştir.




**Fotoğraf 4.2.** Fekal koliform analiz sonucu örneği (UV giriş, UV çıkış ve Son çıkış değerleri)

**Çizelge 4.16.** Geri kazanım tesisi fekal koliform değerleri

| Fekal Koliform (ad/100L) | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Ham su** | 32 | 542.500 | 320.000 | 760.000 |
| **UV Giriş** | 32 | 223.686 | 0 | 1.000.000 |
| **UV Çıkış** | 32 | 16.834 | 0 | 110.000 |
| **Nihai Çıkış** | 32 | 64 | 0 | 1800 |




**Şekil 4.11.** Atıksu geri kazanım tesisi fekal koliform değerleri

Fekal koliform için; 13.07.12 tarihinden 8.10.12 tarihine kadar elde edilen analiz sonuçları Şekil 4.11. 'de görülmektedir. Çalışmanın ilk tarihlerinde hamsu için fekal koliform analizi yapılmamıştır. Ancak geri kazanım tesisi çıkışında fekal koliform bulunmadığı gözlenmiştir. Geri kazanım tesisinde fekal koliform gideriminde %100 başarıya ulaşılmıştır.

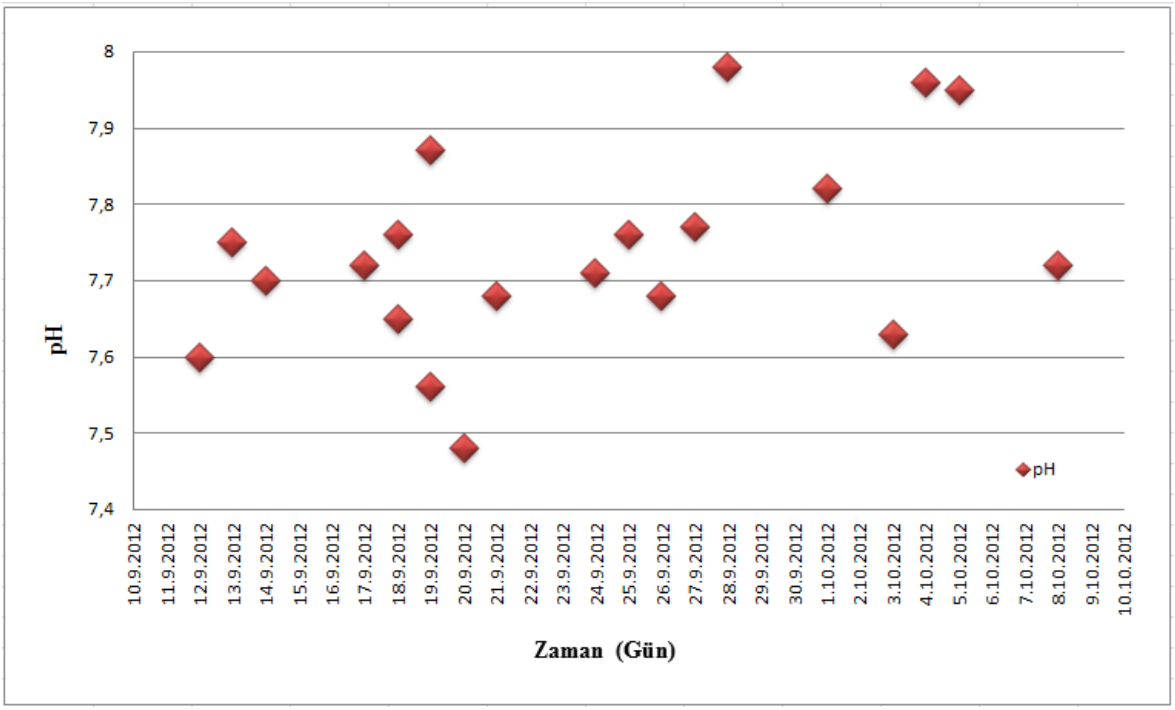
Benzer şekilde; İsrail: Dan Bölgesi Atık Su Geri Kazanım Tesisinde ise fekal koliform değerleri 1 /100mL olarak ölçülmüştür ( Fatta, 2006 ). Yunanistan'da yapılan çalışmalarda uygulanan ozon dozajları 7.1 mg/L 'den 26.7 mg/L 'ye kadar çıkmıştır. Koliform giderimi için 26.7 mg/lt'lik ozon dozajında maksimum giderim sağlanmış mikroorganizmaların tamamı giderilmiştir ( Petala ve ark., 2006).

### 4.2.5. pH

AATTUT 'e göre pH değeri kentsel alanların sulamasında kullanılacak sularda 6-9 değerleri aralığında olmalıdır. Konya Atıksu Geri Kazanım Tesisinde izlenen değer Şekil 4.12.'de aktarılmış olup standart değerler aralığında olduğu görülmektedir. Aynı şekilde emsal tesislerden olan Güney Kıbrıs: Larnaka Atıksu Geri Kazanım Tesisinde de pH değeri 7.5 değerinde izlenmiştir.

**Çizelge 4.17.** Geri kazanım tesisi pH değerleri

| pH | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Nihai Çıkış** | 20 | 7.74 | 7.48 | 7.98 |




**Şekil 4.12.** Atıksu geri kazanım tesisi pH değerleri

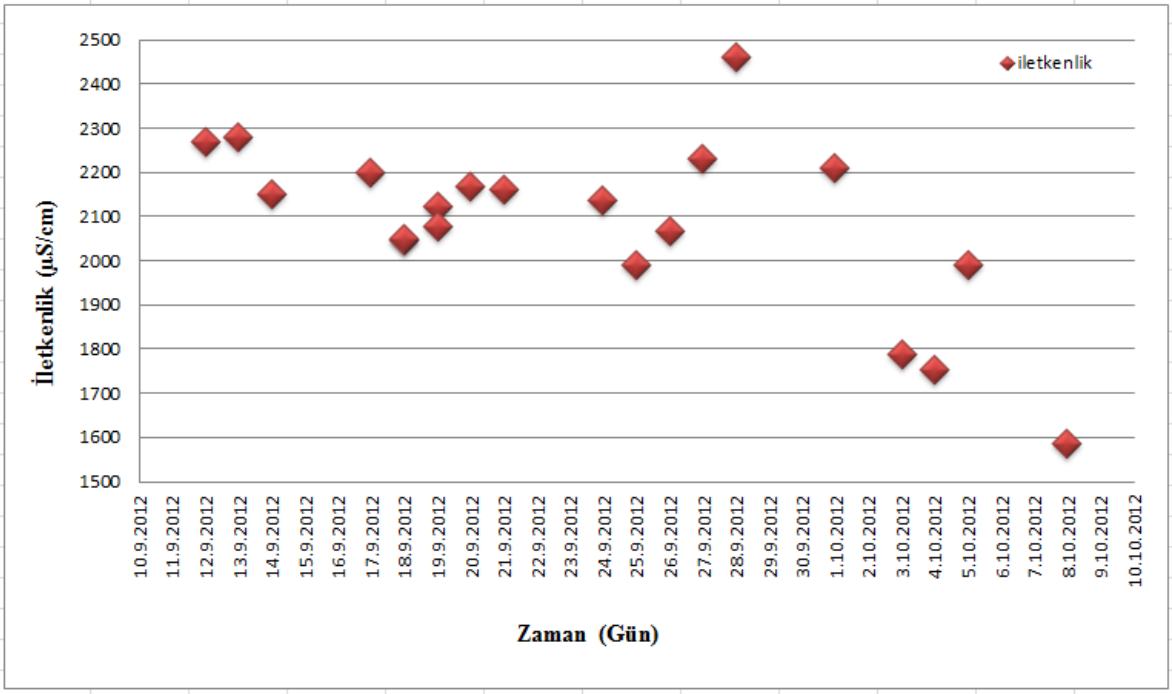
### 4.2.6. İletkenlik

İletkenlik AATTUT'de kullanımında zarar derecesine göre yok, az-orta ve teklikeli sınıflarına ayrılmaktadır. İletkenlik < 700 µS/cm ise zarar derecesi yok (1.sınıf), 700-3000 µS/cm zarar derecesi az-orta (2.sınıf), > 3000 µS/cm zarar derecesinde (3.sınıf) ise tehlikeli sınıfına girmektedir. Şekil 4.13.'te görülen değerler 1586-2460 µS/cm aralığındadır. Nihai çıkış suyu 2.sınıf su aralığına yani az –orta zarar derecesine girmektedir.

Emsal çalışmalardan Larnaka AAT çıkış suyu bulanıklık değeri 3.4 µS/cm olarak ölçülmüştür (Fatta, 2005).

**Çizelge 4.18.** Geri kazanım tesisi iletkenlik değerleri

| İletkenlik | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Nihai Çıkış** | 20 | 2086 | 1586 | 2460 |



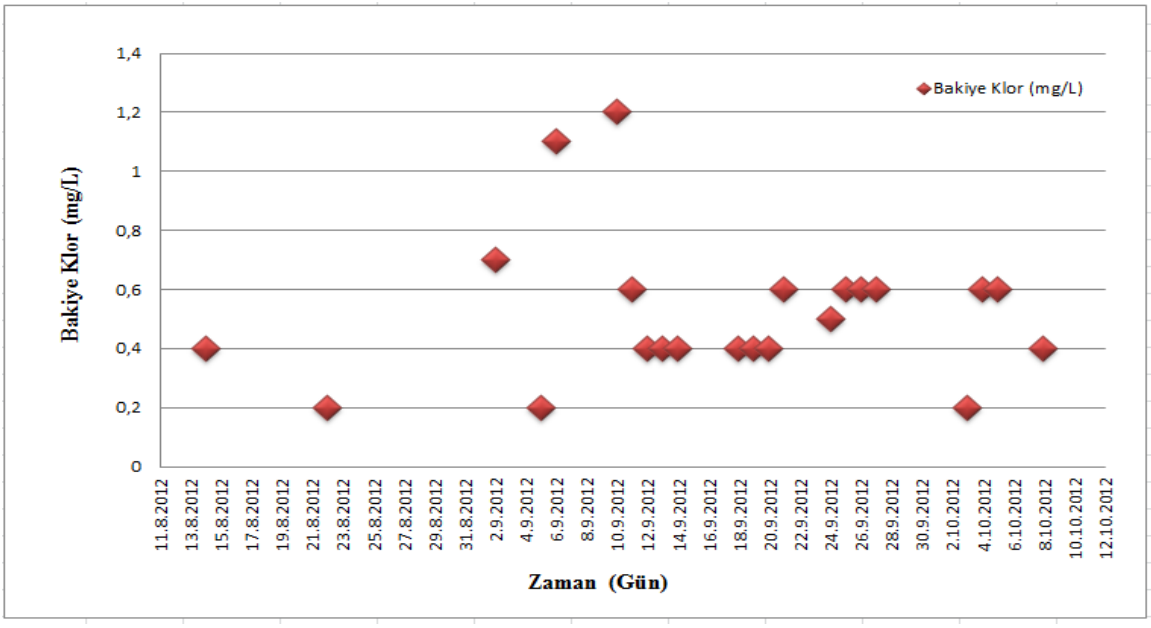

**Şekil 4.13.** Atıksu geri kazanım tesisi iletkenlik değerleri

### 4.2.7. Bakiye Klor

Bakiye klorun AATTUT 'de verilen değeri 1mg/L 'nin üzerinde olması yönündedir. Şebeke de ulaşılan son noktada ise 0.5 mg/L 'den az olmaması gerekmektedir. Çizelge 4.19.'da görüldüğü gibi ortalama 0.52 mg/L olarak bu değer sağlanmıştır. UV dezenfeksiyonunun klorlamadan farkı ise, suya herhangi bir kimyasal madde vermeden fiziksel olarak mikroorganizmaları sistemden gidermesidir. Buna karşılık, sadece UV 'nin tesiste kullanılması, AATTUT 'de istenen bakiye klor değerinin sağlanması şartını yerine getirmediğinden, sistemde en azından nihai klorlama yapılması gerekmektedir. Klorlama, arıtma teknolojilerinde dezenfeksiyon amacıyla kullanıldığı gibi, oksidasyon amacıyla da kullanılmaktadır. Oksidasyon için harcanan klorun dışında sulama suyunun sonunda da bakiye klor gerektiğinden; istenen kalitede sulama suyunun elde edilebilmesi için tesiste 2 ayrı noktada (Ön klorlama -Son klorlama) klor dozajı yapabilen sistem seçilmiştir. Emsal tesislerden Larnaka AAT 'de bakiye klor analiz sonuçları 0.2 mg/L mertebesindedir (Fatta,2005).

**Çizelge 4.19.** Geri kazanım tesisi bakiye klor değerleri

| Bakiye Klor (mg/L) | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Nihai Çıkış** | 22 | 0.52 | 0.2 | 1.2 |



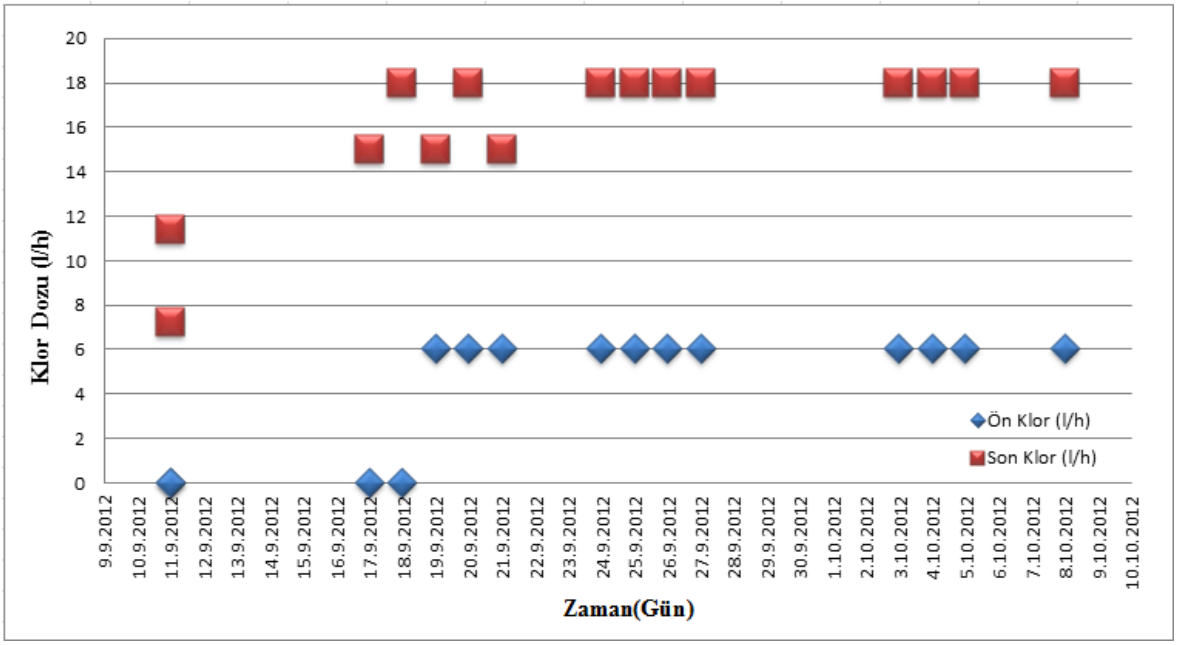

**Şekil 4.14.** Atıksu geri kazanım tesisi bakiye klor değerleri

### 4.2.8. Klor Dozu

Klorlama ön klorlama ve son klorlama olmak üzere iki kere uygulanmıştır. Son klorlama ön klorlamaya nazaran daha fazla dozajda yapılmıştır. Bu bakiye kloru sağlamak amacıyla uygulanmaktadır. Çünkü yeşil alanların sulanmasında suyun ulaştığı son noktada AATTUT 'e göre bakiye klorun 0.5 mg/L den az olmaması istenmektedir.

**Çizelge 4.20.** Geri kazanım tesisi klor dozu değerleri

| Klor Dozu (l/h) | Numune Sayısı | Ortalama | Minimum | Maksimum |
|---|---|---|---|---|
| **Ön Klor** | 15 | 4.4 | 0 | 6 |
| **Son Klor** | 15 | 16.24 | 7.2 | 18 |




**Şekil 4.15.** Atıksu geri kazanım tesisi klor dozu değerleri

Çalışmanın ilk günlerinde sadece son klorlamanın yapıldığı Şekil 4.15.'te görülmektedir. İlerleyen haftalarda hem ön klorlama hem de son klorlama yapılarak mor şebekede bakiye klor miktarının 0.5 mg/L 'nin üzerinde kalması sağlanmıştır. Bu kapsamda üçüncü haftadan sonra ön klorlama dozajı 6 L/sa, son klorlama dozajı ise 18 L/sa olarak sabitlenmiştir.

# 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Konya Havzası hemen hemen kurak iklim özelliğine sahiptir ve her geçen gün gerek iklimsel faktörlerden, gerekse tarımda ve yeşil alanlarda aşırı su kullanımından dolayı su kaynakları azalmaktadır. Yüzey sulama suyu kaynakların yetersiz olmasından dolayı çiftçilerin büyük çoğunluğu sulamada yeraltı sularını tercih etmektedir. Özellikle salma sulama yöntemleri ile aşırı sulama suyu uygulaması hem su kaynaklarının israfına ve hem de drenajın yetersiz olduğu alanlarda toprakların çoraklaşmasına sebep olur. Bu sebeple, Konya gibi kurak ve yarı-kurak iklime sahip alanlarda önemli oranda su tasarrufu sağlayan damla sulama veya en azından yağmurlama sulama yöntemi tercih edilmelidir. Ancak, her iki sulama yöntemlerinde de sulama suyunun iyi bir şekilde yönetilmesi gerekir.

Konya Büyükşehir sınırları içerisinde bulunan yeşil alan yüzölçümü, oransal olarak Türkiye standartlarının üzerindedir ve bu alanların sulanması için önemli miktarda sulama suyuna ihtiyaç vardır. Konya Kenti'nde yeşil alan sulanması için gerekli sulama suyu, diğer kentlerde de olduğu gibi, genellikle belirli bir maliyet sonucu elde edilen şehir içme ve kullanma şebekesinden karşılandığı için söz konusu suyun tasarruflu kullanılması zorunludur. Dış mekân sulamasında şehir şebekesinin kullanımı olabildiğince azaltılarak alternatif su kaynakları oluşturulmalıdır.

Diğer bir çözüm ise, evsel atıksuların arıtıldıktan sonra yeşil alan sulamasında kullanılmasıdır.

Konya ili atıksularının geri kazanılmasında en uygun ve en ekonomik sistemin kurulabilmesi için öncelikle, mevcut atıksu arıtma tesisinin çıkış sularından beslenecek bir pilot tesis kurulmasına karar verilmiştir. Buna göre, KOSKİ AAT arazisi içinde mevcut deşarj kanalının yanındaki alanda 2 $m^3$/saat ürün (çıkış) suyu kapasiteli bir pilot tesis kurulmuştur. Sistem; multimedya (çok katmanlı) kum filtresi, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve dezenfeksiyon (UV ve klor) ünitelerinden oluşmaktadır.

Tez çalışmasında; multimedya filtre ve mikrofiltrasyon sistemlerinin arıtma verimleri analiz edilmiştir. Pilot ileri arıtım tesisi verim analizleri şu parametreler için araştırılmıştır; pH, Sıcaklık, AKM, KOİ, Bulanıklık, İletkenlik, Fekal koliform ve Ağır metaller.

Konya AAT çıkış sularının uyması gereken parametrelerin ve tez çalışmasında pilot ölçekli tesiste izlenmesi gereken parametrelerin AATTUT 'ne göre verim değerlendirmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlar buna göre yorumlanmıştır.

AATTUT ‘e göre izlenmesi gereken parametreler arasında yer alan bulanıklık, fekal koliform, pH, bakiye klor ve BOİ (veya KOİ) parametreleri bunlara ek olarak sıcaklık ve iletkenlik parametreleri pilot ölçekli tesis çalışmalarında izlenmiştir.

Pilot ölçekli tesiste multimedya filtreye giren akım miktarını ölçebilmek amacıyla bir rotametre kullanılmıştır. PAC; hazırlanan koagülant tankından çözeltinin dozlama pompası yardımıyla boru üzerinden iletilerek rotametreden önce sisteme iletilmesi sağlanmıştır. Sistemde rotametre üst çizgisi 30 LPM (≈1800L/dk) olarak ayarlanmıştır. Pilot ölçekli tesis çalışmalarında çalışma süresince koagülant olarak PAC kullanılmış olup koagülant dozu verimi incelenmiştir. Uygun koagülant dozunu bulmak amacıyla koagülant dozu dozaj metre aracılığıyla çalışma süresince değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilk tarihlerinde PAC 5.5 mg/L olarak sisteme dozlanmıştır. Çalışmaların ilerleyen günlerinde AKM ve Bulanıklık giderim verimlerinde istenilen giderim verimine ulaşabilmek amacıyla 11.1 mg/L sisteme dozlanmıştır. Pilot ölçekli tesis için AKM giderim verimleri Şekil 4.5.’te, bulanıklık giderim verimleri ise Şekil 4.4.’te verilmiştir. İlk günlerde pilot ölçekli tesise giriş bulanıklık değeri 10 -15 NTU civarında seyretmiştir; sistem çıkışında ise bu değer 3-6 NTU değerine ulaşmıştır. Buna göre bulanıklık gideriminde %75 verim elde edilmiştir. Çalışmanın ilerleyen günlerinde pilot ölçekli tesise giriş suyundaki bulanıklık değerlerinin artmasıyla sistem çıkış suyu bulanıklık değerlerinde artış görülmüştür. Bu artışın akabinde PAC koagülant dozu ayarlanarak bulanıklık gideriminde istenilen değerlere ulaşması sağlanmıştır. Şekil 4.5.te görüldüğü gibi AKM gideriminde bulanıklık giderimine benzer bir değişim izlenmiştir. AKM sisteme girişte 20-25 mg/L olarak ölçüldüğü ilk günlerde sistemden çıkış değerleri 9-15 mg/L olarak izlenmiştir. AKM gideriminde PAC koagülant dozajının artırılmasına bağlı olarak istenilen verime ulaşılmıştır. AKM gideriminde %55 verim elde edilmiştir. AATTUT ’e göre bulanıklık değeri < 2NTU olmalıdır ve 5NTU ‘yu geçmemelidir; Bulanıklık yerine AKM kullanıldığı durumlarda ise AKM < 5mg/L olmalıdır.

AATTUT 'de yer alan Ek7 Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri; "Tablo E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması" başlığı altında kentsel yeşil alanların sulanmasında (Sınıf A) pH: 6-9 aralığında olmalıdır. Aynı şekilde Sınıf B de pH: 6-9 aralığında olmalıdır. Konya AAT çıkışında elde edilen pH değeri 7-8 aralığındadır. Pilot ölçekli tesis çalışmaları süresince; pH: 7.35- 7.75 aralığında ölçülmüştür.

Sıcaklık AATTUT ’e göre ölçülmesi gereken parametreler arasında yer almamaktadır ancak pilot ölçekli tesis çalışmalarında kontrol amacıyla izlenmiştir. Sıcaklık; 14 - 25 $^{o}$C aralığında ölçülmüştür.

AATTUT: Tablo E7.2’ de verilen değerlerde 700- 3000 µs/cm aralığında az-orta zararlı sınıfına girmektedir. Pilot ölçekli tesiste iletkenlik değerleri pilot tesis girişte ortalama 1989 µs/cm, MMF çıkışta ortalama 1970 µs/cm, MF çıkışta ise ortalama 1969 µs/cm değerinde izlenmiştir. Pilot ölçekli tesis iletkenlik verileri Tuzluluğun göstergesi olan iletkenlik ve toplam çözünmüş madde (TÇM) parametreleri kullanımında zarar derecesi bakımından AATTUT ‘e göre 2. Sınıf sulama suyu özelliği göstermektedir.

AATTUT ‘de Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu KOİ < 90 mg/L olmalıdır. Pilot tesis giriş suyu olan Konya AAT çıkış suyunda KOİ değeri çalışma süresince ortalama 76.98 mg/L olarak analiz edilmiştir. Bu değer MMF çıkış ve MF çıkışta azaldığı görülmektedir. Pilot ölçekli tesis girişinde minimum KOİ değeri 40.5 mg/L, MMF çıkışında minimum KOİ değeri 15.75 mg/L iken MF çıkışında ise minimum KOİ değeri 9mg/L olarak analiz edilmiştir. Pilot ölçekli tesis analizlerinde KOİ gideriminin %20-%65 seviyesinde olduğu gözlemlenmiştir.

AATTUT 'de Ek7’de $BOİ_5$ < 20mg/L olması istenmektedir. $BOİ_5$ değeri AAT çıkışında 10-20 mg/lt aralığındadır. Bu değer aralığı şu anki haliyle tebliğde istenen haftalık ortalamada maksimum 20 mg/L değerini sağlamaktadır. Multimedya kum filtreleri genel olarak %15-30 mertebesinde BOİ giderimi yapmaktadır. Pilot sistemde de BOİ giderimi %10-30 mertebesinde ölçülmüştür. Ortalama değerin üstünde görülen sapmalar ise tesise gelen atıksuyun yükünün fazla olduğu günlerde görülmektedir.

Pilot tesiste ilk işletilen dezenfeksiyon alternatifi olan ön klorlama, sistemde iki yönde etkin olmuştur. Klorun, henüz UV sistemi çalışmayan AAT çıkış suyunda bulunan mikroorganizmaları gidermesi, aynı zamanda multimedya filtre yatağında olası mikroorganizma büyümesinin de önüne geçerek filtrasyon verimine olumlu yönde etki etmiştir. Ön klorlamanın yapıldığı gün boyunca girişte ölçümü yapılan $10^4$ - $10^5$ mertebesinde olan fekal koliform ve toplam koliform değeri, sıvı klor dozajı sayesinde %100 giderilebilmiştir. Son klorlamayla mor şebeke hattında ulaşılan son noktada istenilen bakiye klor değerine ulaşılmaya çalışılmıştır. AATTUT ’e göre arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0.5 mg/L’nin üzerinde olmalıdır.

Pilot ölçekli tesiste kullanılan üniteler arasında ağır metal giderimi yapabilecek bir ünite bulunmamaktadır. Ancak; AAT çıkışında elde edilen suyun içerdiği ağır metaller açısından sulama suyu olarak kullanımı açısından herhangi bir tehlike bulunmamaktadır. Teknik Usuller Tebliği'nde metaller açısından konulan sınır değerler Çizelge 4.11. 'de gösterilmektedir. AATTU Tebliğ 'inde öngörülen "her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumundaki sınır değer" sütunundaki değerlerin altında kalmakta ve bu haliyle pilot ölçekli tesis çıkışında elde edilen çıkış suyu, sulama suyu olarak kullanılabilecek nitelikte kabul edilmektedir. AATTUT çerçevesinde kullanılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı mevcut rezervlerimiz korunması için büyük önem arz etmektedir.

Pilot ölçekli tesis analizleri sonucunda; Konya Atıksu Arıtma Tesisinde arıtılmış atıksuların kentsel yeşil alanlarda sulama suyu olarak kullanılabilmesi için 3.600 $m^3$/gün kapasiteli arıtılmış atıksu geri kazanım tesisi kurulmuştur. AATTUT 'de, "Atıksuların sulama amaçlı olarak geri kazanılmasının planlandığı durumlarda, UV sistemleri kullanılır. UV dezenfeksiyonuna etki eden en önemli husus, atıksu içerisindeki askıda katı madde konsantrasyonudur. UV, organizmaların temel yapısını bozduğu için patojen mikroorganizmaların zarar vermesini önler." denmektedir. Yine AATTUT Ek 7 bölümünde, "Park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, insanların bitkilere ve sulama suyuna teması olabileceği için iyi kalitede sulama suyu gerekmektedir." şeklinde ifade kullanılmıştır.

Gerçek ölçekli tesis Ön klor tankı, Arıtılmış atıksu deposu (Konya AAT Çıkış Suyu), Bulanıklık ölçer, PACS (Koagülant) tankı, Çok katmanlı Kum Filtresi (MMF-1 / MMF-2), UV dezenfeksiyon, Son klor tankı, Geri kazanılmış su deposu ve Mor şebekeden oluşmaktadır. Bu tesis, ülkemizde kentsel yeşil alan sulaması için ilk "atıksu geri kazanım tesisi" olmuştur. 24 km bağımsız bir arıtılmış atıksu şebekesi (mor şebeke) 3.117.700 $m^2$ kentsel yeşil alanların sulanması için döşenmiştir. Şekil 3.4.'te Gerçek ölçekli tesis genel akım şeması verilmiştir.

Pilot ölçekli tesiste koagülant olarak PAC kullanılmış olup gerçek ölçekli tesiste ise verim analizine istinaden PAC'a göre bulanıklık gideriminde daha verimli olan PACS kullanılmıştır.

Gerçek ölçekli tesiste bulanıklık değeri tesis girişinde ortalama 9.7 NTU, minimum 3.7 NTU, maksimum 20 NTU olarak ölçülmüştür. Gerçek ölçekli tesis çıkışında ise bulanıklık değeri ortalama 4.25 NTU, minimum 1.2 NTU, maksimum 9.68 NTU olarak izlenmiştir. AATTUT 'e göre arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve kentsel yeşil alanların sulanmasında kullanılması açısından olması gereken bulanıklık değeri < 2NTU olarak belirtilmiştir ve bu değer 5NTU'yu geçmemelidir şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 4.10.'da gerçek ölçekli tesis çıkış suyu bulanıklık değerleri <5NTU seviyesinde izlemektedir. Şekil 4.10. Atıksu geri kazanım tesisi bulanıklık değerleri gerçek ölçekli tesis suyunda AATTUT Ek7'de istenilen bulanıklık değerine ulaşmıştır.

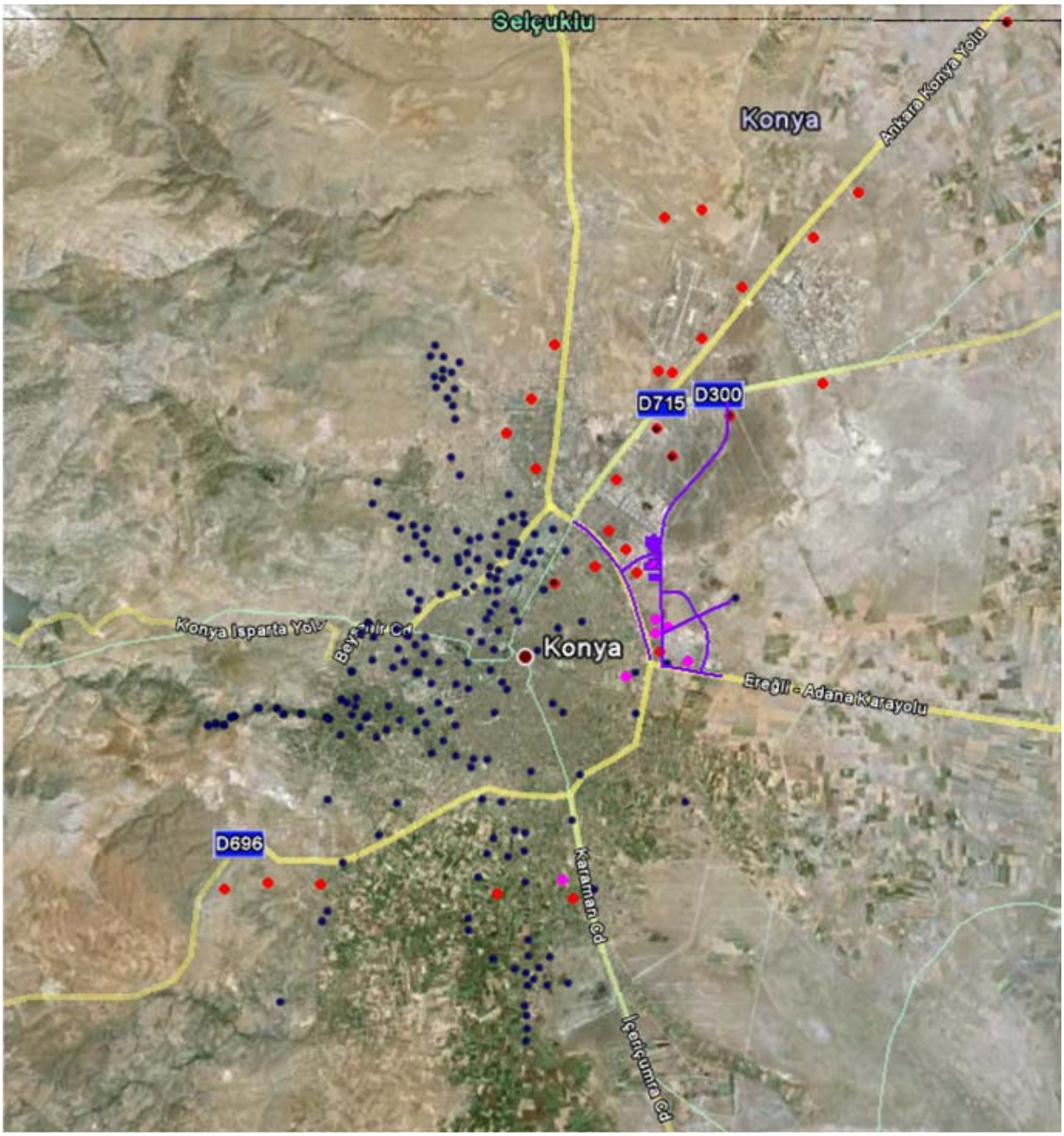
AATTUT 'de klasik atıksu arıtma tesisi çıkış suyu AKM değeri 5mg/L - 25mg/L olarak belirtilmiştir. Gerçek ölçekli tesis giriş suyu ortalama AKM değeri 15.2 mg/L, minimum 10 mg/L, maksimum 26 mg/L'dir. Gerçek ölçekli tesis çıkışında ise AKM değeri ortalama 9.4 mg/L, minimum 5mg/L, maksimum 19mg/L olarak analiz edilmiştir. Bulanıklık değerini AKM değeriyle karşılaştırmak amacıyla AKM parametresi analizleri takip edilmiştir. Tesiste AKM giderimi %60 civarında seyretmiştir.

BOİ değeri AATTUT 'e göre sulamada kullanılacak su Sınıf A ise 20mg/L 'nin altında; Sınıf B ise 30mg/L'nin altında bir değer olmalıdır. Şekil 4.9 'da görüldüğü üzere BOİ değeri tesis çıkışında 5mg/L'nin altında izlemiştir. Bu durumda AATTUT 'e göre BOİ değeri açısından Sınıf A grubuna girmektedir.

AATTUT 'e göre pH değeri kentsel alanların sulamasında kullanılacak sularda 6-9 değerleri aralığında olmalıdır. Gerçek ölçekli tesiste ölçülen pH değerleri 7.48-7.98 aralığında izlemiştir.

İletkenlik AATTUT 'de kullanımında zarar derecesine göre yok, az-orta ve teklikeli sınıflarına ayrılmaktadır. İletkenlik < 700 µS/cm ise zarar derecesi yok (1.sınıf), 700-3000 µS/cm zarar derecesi az-orta (2.sınıf), >3000 µS/cm zarar derecesinde (3.sınıf) ise tehlikeli sınıfına girmektedir. Gerçek ölçekli tesis iletkenlik değerleri 1586-2460 µS/cm aralığındadır. Bu da 2.sınıf su aralığına yani az –orta zarar derecesine girmektedir.

Fekal koliform AATTUT'e göre 0/100mL olmalıdır. AATTUT'e göre bu değer 7 günlük ortalama değerleri karakterize eder ve fekal koliform değeri hiçbir zaman 14ad/100mL'yi geçemez. Bu ifade sonucunda kentsel alanların sulanmasında kullanılacak olan geri kazanılmış sudaki fekal koliform miktarı 0 /100mL olmalıdır. Gerçek ölçekli tesis çıkış değeri 0 ad/100mL olarak analiz edilmiştir.




**Şekil 5.1.** Konya mor şebeke

AATTUT ’e göre bakiye klor 1mg/L’nin üzerinde olmalıdır. Gerçek ölçekli tesiste AATTUT ’de istenen bakiye klor sınır değeri sağlanması şartı sağlanamadığından; sistemde en azından nihai klorlama yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda gerçek ölçekli tesiste hem ön klorlama hem de son klorlama yapılmıştır. AATTUT’e göre şebeke de ulaşılan son noktada ise 0.5 mg/L’den az olmaması gerekmektedir. Bakiye klor mor şebeke son noktasında 30 dakikalık temas süresi sonrasında bu değeri sağlamaktadır.

Proje kapsamında sulanması planlanan yeşil alanların su ihtiyaçları içme suyu ve kuyular yerine geri kazanılmış atıksu ile karşılanmıştır. Geri kazanılmış atıksuların sulamada kullanılmasıyla temiz su kaynakları korunmuştur.

Gerek pilot ölçekli tesis sonuçlarında gerekse gerçek ölçekli tesis sonuçlarında esas alınan konu; arıtılan atıksuyun kentsel yeşil alanların sulanmasında uygun olması ve bu anlamda uygun olan sistemlerin kombinasyonunun sağlanması olmuştur. Ayrıca yapılan maliyet analizleri sonucunda mühendislikte ekonomik seçim mantığında tercih yapılmıştır. Bu tercih ileri arıtma sistemleri arasından pilot ölçekli tesis analizleri ışığında MMF (çok katmanlı kum filtre) yönünde olmuştur. Gerçek ölçekli tesis analizleri sonucunda sulama suyu kriteri açısından AATTUT 'e göre Sınıf B kapsamında arıtılmış atıksu elde edilmiştir. Üretilen suyun Sınıf B'den Sınıf A seviyesine çıkarılması amacıyla ilerleyen dönemlerde gerçek ölçekli tesise ilave bir sistem eklenmesi mümkündür. Bu sistem çok katmanlı kum filtresinden sonra daha ileri arıtım yapabilecek mikrofiltasyon veya ultrafilrasyon sistemlerinden biri olabilir.

Tez çalışması sonucunda; Kentsel yeşil alan sulama suyu ana iletim hatları (mor şebeke) inşa edilerek modern sulama yöntemi olan damlama sulama sistemine geçilmiştir. Proje, arıtılmış atıksuların daha ileri arıtımını, geri kazanılmış suyun yeniden kullanımı ile suyun dönüşümünü ve su kaynaklarının korunmasını ayrıca kentsel altyapının geliştirilmesini içeren bir vizyon projesidir.

**KAYNAKLAR**

Angelakis A.N., M.H.F Marecos Do Monte, Bontoux L., Asano T., 1999 , *"The Status of Wastewater Reuse Practice in the Mediterranean Basin : Need for Guidelines"*, Water Research, 33,10, 2201-2217.

Alaton İ.A., Tanık A., Övez S., İskender G., Gürel M., Orhon D. , 2007, *"Reuse potential of urban wastewater treatment plant effluent in Turkey: a case study on selected plants",* Desalination, 215, 159-165.

Alonso E., Santos A. , Solis G.J., Riesco P. ,2001, *"On the feasibility of urban wastewater tertiary treatment by membranes : a comperative assessment",* Desalination, 141, 39-51.

Al-Shammiri M., Al-Saffar A., Bohamad S., Ahmed M. , 2005 , *"Waste water quality and reuse in irrigation in Kuwait using microfiltration technology in treatment",* Desalination, 185, 213-225.

Atış i., Saraçoğlu M.E. , 1999, *"İzmir Kenti Atıksularının Sulamada Kullanılması Olanakları*", 3. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi.

Asano T., 2001, *"Water from (Waste) Water – The Dependable Water Source",* University of California Davis, USA.

*Devlet Planlama Teşkilatı Başbakanlık 9. Kalkınma Planı*, 2007-2013.

*Devlet Planlama Teşkilatı Başbakanlık 10. Kalkınma Planı*, 2014-2018.

Berktay A., Aydın M.E. , 1996, *"A Technique of Biological Wastewater Treatment Under the Influence of Pressure", Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences,* TUBITAK, 20, 357-362.

Betuw V., Rijs W., 2009, *"Implementation of the water frame directive at wastewater treatment plants in the netherlands"*,1-9.

*Birleşmiş Milletler Nüfus Dağılımı*, 1994.

Brissaud F. , 2008, *"Criteria for water recycling and reuse in the Mediterranean countries",* Desalination, 218, 24-33.

Fatta D.,2005, *"Good Practice Examples on the Utilization of Treated Wastewater for Irrigation Purposes",* University of Cyprus Civil and Environmental Engineering Department, Israel.

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.

Karataş B., Akkuzu E., Asık S. , 2005, *"İzmir Kentsel Atıksularının Sulamada Kullanım Olanaklarının İncelenmesi"*, Ege Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, 42(3), 111-122.

*Konya Merkez Yeraltı Suyu Araştırma Raporu*, 2009.

Lubello C., Gori R., Nicese F.P., Ferrini F. , 2004, *"Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation",* Water Research, 38, 2939-2947.

Munoz J.I, 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.

Nas B., Kaynak G., 2010, *"KOSKİ Arıtılmış Atıksu Geri Kazanım Tesisi Projesi Değerlendirme Raporu"*.

Nas B., Toröz İ., Uyanık S., 2013, *"Çevre Kimyasında Temel Kavramlar Problemler ve Çözüm Notları İlaveli",* 4. Bölüm, 134-137.

Papaiacovou I. , 2001, *"Case Study - Wastewater reuse in Limassol as an alternative water source"*, Desalination, 138, 55-59.

Petala M., Tsiridis V., Samaras P., Zouboulis B., Sakellaropoulos G.P. , 2006, *"Wastewater reclamation by advanced treatment of secondary effluents",* Desalination, 195, 109-118.

Salladini A., Prisciandaro M., Barba D ,2007, *"Ultrafiltration of biologically treated wastewater by using backflushing",* Desalination, 207, 24-34.

Salgot M., Huertas E. , Weber S. , Dott W., Hollender J. , 2006, *"Wastewater reuse and risk : definition of key objectives"*, Desalination, 187, 29-40.

Sarıkaya E., Demirer Göksel N. , 2010, *"Agricultural Reuse of Water and Nutrients from Wastewater Treatment in Turkey",*Uluslar arası sürdürülebilir su ve atıksu yönetimi sempozyumu bildiriler kitabı,Cilt 2, 1166-1178.

Tam L.S., Tang T.W., Lau G.N., Sharma K.R., Chen G.H., 2006*,"A pilot study for wastewater reclamation and reuse with MBR/RO and MF/RO systems",* Desalination 202, 106–113.

Toze S. , 2006, *"Reuse of effluent water – benefits and risks",* Agricultural Water Management, 80, 147-159.

Tokgöz S.,2008, *"Evsel Arıtılmış Atıksuların Sulama Amaçlı Kullanılabilirliği",* DEU, Çevre Mühendisliği Bölümü.

UN, *"World Water Development Report No 3"* , 2009.

*Türkiye Çevre Durum Raporu*, 2011.

*Türkiye Çevre Durum Raporu Özeti-İller*, 2012.

US EPA, *"Guidelines for Water Reuse"*, EPA/625/R-04/108, 2004.

Wintgens T., Melin T., Schafer A., Khan S., Muston M., Bixio D., Thoye C. , 2005, *"The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse"*, Desalination, 178, 1-11.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER


| | | |
|---|---|---|
| **Adı Soyadı** | **:** | Hatice KURTKULAK |
| **Uyruğu** | **:** | T.C. |
| **Doğum Yeri ve Tarihi** | **:** | REYHANLI 03.01.87 |
| **Telefon** | **:** | 0538 576 17 43 / 0507 061 82 62 |
| **e-mail** | **:** | haticekurtkulak@gmail.com , kurtkulakhatice@gmail.com |


## EĞİTİM

| **Derece** | | **Adı, İlçe, İl** | **Bitirme Yılı** |
|---|---|---|---|
| Lise | : | **İsmet-Ayşe Behzetoğlu A.L., Reyhanlı, Hatay** | **2004** |
| Üniversite | : | **Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya** | **2010** |
| Yüksek Lisans | : | **Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya** | |

## İŞ DENEYİMLERİ

| **Yıl** | **Kurum** | **Görevi** |
|---|---|---|
| 2013 | **Ferhanoğulları Geri Dönüşüm Tesisi** | **Çevre Mühendisi** |

## YABANCI DİL

**İngilizce**