

T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI

**ARITILMIŞ KENTSEL ATIKSULARIN SULAMADA
YENİDEN KULLANIMI; KAYSERİ ATIKSU ARITMA
TESİSİ ÖRNEĞİ**

-UZMANLIK TEZİ -

**HAZIRLAYAN:
HATİCE DUMAN**

ANKARA – 2017

ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI

SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

HAZIRLAYAN
HATİCE DUMAN

TEZİN ADI
ARITILMIŞ KENTSEL ATIKSULARIN SULAMADA
YENİDEN KULLANIMI; KAYSERİ ATIKSU ARITMA
TESİSİ ÖRNEĞİ

TEZ DANIŐMANI:
Prof. Dr. MEHMET ÇAKMAKCI

BU TEZ ORMAN ve SU İŞLERİ UZMAN YÖNETMELİĞİ GEREĞİ
HAZIRLANMIŞ OLUP JÜRİMİZ TARAFINDAN UZMANLIK TEZİ
OLARAK KABUL EDİLMİŞTİR.

TEZ JÜRİSİ BAŐKANI : Prof. Dr. CUMALİ KINACI.

ÜYE : HÜSEYİN AKBAŐ.....

ÜYE : Dr. YAKUP KARAASLAN.....

ÜYE : MARUF ARAS.....

ÜYE : TANER KİMENÇE.....

T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI

**ARITILMIŞ KENTSEL ATIKSULARIN SULAMADA
YENİDEN KULLANIMI; KAYSERİ ATIKSU ARITMA
TESİSİ ÖRNEĞİ**

-UZMANLIK TEZİ -

**HAZIRLAYAN:
HATİCE DUMAN**

**TEZ DANIŐMANI:
Prof. Dr. MEHMET ÇAKMAKCI**

ANKARA – 2017

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu belge ile bu uzmanlık tezinde bütün bilgileri akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak hazırlayıp sunduğumu beyan ederim.

Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim.

Tezi Hazırlayan Uzman Yardımcısı

Hatice DUMAN

17.01.2017

TEŞEKKÜR

Tez sürecimde beni yönlendiren ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen Genel Müdürüm Prof. Dr. Sayın Cumali KINACI'ya,

Değerli görüşleri ve katkılarından dolayı tez danışmanın Prof. Dr. Sayın Mehmet ÇAKMAKÇI'ya,

Birlikte çalışmaktan sonsuz mutluluk duyduğum kıymetli mesai arkadaşlarım Aylin OKULDAŞ ÇETİN, Alper UĞURLUOĞLU, Ceren AKSU, Gizem KIYMAZ, Işıl KAYA MERT, Ozan SOYTÜRK'e ve özellikle manevi desteği ile bu süreçte beni hiç yalnız bırakmayan Fulya YAYCILI'ya,

Hayatım boyunca yanımda olduklarından ve bundan sonrada öyle olacağından emin olduğum sevgili aileme,

Bu süreçte fedakârlıkları ile desteğini ve güvenini her zaman yanımda hissettiğim canım eşim Sezer DUMAN'a,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. GİRİŞ.....	1
II. DÜNYA’NIN VE TÜRKİYE’NİN SU POTANSİYELİ, SEKTÖREL DAĞILIMI VE SU KİTLİĞİ.....	2
2. 1.Dünya’nın Su Potansiyeli ve Sektörel Dağılımı.....	2
2.1.1 Dünya’da Su Kıtlığı	3
2. 2.Türkiye’nin Su Potansiyeli ve Sektörel Dağılımı.....	4
2. 2. 1 Türkiye’de Su Kıtlığı	5
III. ARITILMIŞ ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIM ALANLARI.....	9
3. 1. Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımının Önemi	9
3. 1. 1 Kentsel ve Evsel Maksatlı Kullanım	10
3. 1. 2 Çevresel Maksatlı Kullanım.....	10
3. 1. 3 Endüstriyel Maksatlı Kullanım.....	11
3. 1. 4 Yeraltı Suyu Besleme Maksatlı Kullanım.....	11
3. 1. 5 Hayvan Suyu İhtiyacını Karşılama Maksatlı Kullanım.....	13
3. 1. 6 Tarımsal Maksatlı Kullanım.....	13
IV. ARITILMIŞ ATIKSUYUN YENİDEN KULLANILMASINA İLİŞKİN ULUSAL VE ULUSLARARASI UYGULAMALAR.....	15
4. 1. Uluslararası Ölçekte Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Örnekleri 15	
4. 1. 1 İspanya Örneği.....	15
4. 1. 2 İsrail Örneği.....	19
4. 1. 3 Diğer Ülke Örnekleri.....	22
4. 2. Ulusal Ölçekte Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Örnekleri.....	22
4. 2. 1 Konya Atıksu Arıtma Tesisinde Arıtılmış Atıksuların Yeşil Alan Sulamasında Yeniden Kullanımı (Mor Şebeke)	26
4. 2. 2 Akarçay Havzasında Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanılmasının Araştırılması Projesi ve Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Tesisi.....	28
4. 2. 3 Ergene Havzasında Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılmasının Uygulanabilirliğinin Araştırılması Projesi	29
V. ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMSAL SULAMADA KULLANIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	31
5. 1.Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Kullanımı için Kalite Değerlendirmesi....	31
5. 1. 1 Patojenler	31
5. 1. 2 Tuzluluk.....	35
5. 1. 3 Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR).....	37

5. 1. 4 Artıksal Sodyum Karbonat (RSC).....	39
5. 1. 5 Ağır Metaller ve Toksik Elementler.....	40
5. 1. 6 Toksik Organik Bileşikler	40
5. 1. 7 Nütrientler.....	41
5. 1. 8 Askıda Katı Maddeler.....	42
5. 1. 9 Özgül İyon Toksisitesi.....	42
VI. ARITILMIŞ ATIKSULARIN SULAMADA KULLANILMASINA İLİŞKİN ULUSAL VE ULUSLAR ARASI DÜZENLEMELER	43
6. 1.Ulusal Mevzuat.....	43
6. 1. 1 Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği.....	43
6. 1. 2 Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği.....	44
6. 1. 3 Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı	45
6. 2.Uluslararası Mevzuat.....	47
6. 2. 1 Avrupa Birliği Su Politikasında Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı	47
6. 2. 2 Uluslararası Organizasyonların Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımına İlişkin Düzenlemeleri	48
6. 2. 3 Amerika Birleşik Devletleri Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımına İlişkin Düzenlemeleri	50
VII. KAYSERİ İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ ARITILMIŞ SULARININ TARIMSAL MAKSATLI KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ	51
7. 1. Kayseri İli Genel Özellikleri.....	51
7. 2. Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi.....	52
7. 3. Kocasinan İlçesi Tarımsal Faaliyetleri	56
7. 3. 1 İncesu-Süksün Sulaması.....	56
7. 4.Kayseri AAT Arıtılmış Çıkış Suyu Kalitesi	58
7. 4. 1 Tesiste Analiz Edilen Parametreler	58
7. 4. 2 Bilimsel Çalışma Kapsamında Yapılmış Analizler	59
7. 4. 3 Literatür Taraması	60
7. 4. 4 Sonuç Analiz Çalışması.....	62
7. 5. Arıtılmış Atıksuyun Kalitesinin Değerlendirilmesi.....	64
7. 5. 1 Sulama Suyu Kriterleri Açısından Değerlendirme	65
7. 5. 2 Mevcut Sulama Suyu Kaynağının Değerlendirilmesi	67
7. 5. 3 Ürün Deseni Açısından Değerlendirme.....	68
7. 6. Geri Kazanım için Proses İhtiyacı	69
7. 7. Geri Kazanılmış Suyun Kullanım Alanı Açısından Değerlendirme.....	72
7. 8. Sulama Yöntemlerinin Ürün Desenine ve Geri Kazanılmış Suya Uygunluğu	74
7. 9. İyon Toksisitesi Açısından Değerlendirme.....	77
7. 10. Maliyet Değerlendirmesi	78

7. 10. 1 Geri Kazanım Proses Maliyetleri.....	78
7. 10. 2 Sulama Kullanım Hizmet Bedelleri.....	79
7. 10. 3 Proses Maliyetleri, İletim Maliyetleri ve Su Kullanım Hizmet Bedelleri	80
7. 11. Geri Kazanılmış Suyun İzleme Sıklığı	82
7. 12. Sulama Sistemleri ve Su İletim Randımanı	83
ÖNERİLER.....	91
KAYNAKÇA.....	93

KISALTMALAR

AAT: Atıksu Arıtma Tesisi

AATTUT: Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği

AKM: Askıda Katı Madde

Al: Alüminyum

AOX: Organik halojenler

As: Arsenik

B: Bor

Ba: Baryum

Be: Berilyum

BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı

Cd: Kadmiyum

Cl: Klorür

Co: Kobalt

Cr: Krom

Cu: Bakır

ÇO: Çözünmüş Oksijen

ÇOK: Çözünmüş Organik Karbon

ÇŞB: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

DBP: Dezenfeksiyon Yan Ürünleri

DSİ: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

EC: Elektriksel İletkenlik

EDC: Endokrin Bozucu Bileşikler

FAO: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü

Fe: Demir

Hg: Civa

ISO: Uluslararası Standartlar Teşkilâtı

KASKİ: Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü

KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Li: Lityum

Mn: Mangan

Mo: Molibden
NH₄: Amonyum
Ni: Nikel
NO₃: Nitrat
OSİB: Orman ve Su İşleri Bakanlığı
Pb: Kurşun
PhAc: Parmasötik Aktif Bileşikler
SAR: Sodyum Adsorbsiyon Oranı
Se: Selenyum
SKKY: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SKKYK: Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı
Sn: Kalay
SO₄: Sülfat
Th: Toryum
TN: Toplam Azot
TP: Toplam Fosfor
TÜBİTAK: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu
USEPA: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
V: Vanadyum
WHO: Dünya Sağlık Örgütü
WWF: Dünya Doğayı Koruma Vakfı
Zn: Çinko

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Türkiye’de Su Tüketimi ve Sektörel Dağılımı	4
Tablo 2. 2014 Yılı İllere Göre Atıksu Geri Kazanım Durumu	24
Tablo 3. Atıksuyla Sulamadan Kaynaklı Patojenik Organizmaların Hastalık Oluşturma Etkileri ve Epidemiyolojik Özellikleri	32
Tablo 4. Bazı Dışkı Kökenli Patojenlerin Hayatta Kalma Süreleri	33
Tablo 5. RSC İçeriğine Göre Sulama Suyu Sınıfı	39
Tablo 6. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımına İlişkin Düzenlemeleri	44
Tablo 7. Kayseri İli Arazisinin Genel Dağılımı	52
Tablo 8. Kayseri AAT Ortalama ve Toplam Atıksu Miktarı	55
Tablo 9. Kayseri İli Tarım Alanlarının İlçelere Göre Dağılımı	56
Tablo 10. Süksün Sulaması Ürün Deseni ve Ekiliş Oranları	57
Tablo 11. Kayseri AAT 2015 Yılı Analiz Sonuçları.....	58
Tablo 12. Bilimsel Çalışma Kapsamında Yapılmış Analiz Sonuçları	59
Tablo 13. AATTUT Geri Kazanılmış Evsel Atıksudaki Tahmini Eser Madde Konsantrasyonları	61
Tablo 14. Arıtma Sistemlerinin Uygulanması ile Elde Edilebilecek Çıkış Suyu Kalite Aralık Değerleri	61
Tablo 15. Arıtılmış Atıksu Çıkış Suyu Sonuç Karakterizasyonu	62
Tablo 16. SKKYK Genel Sulama Suyu Kriterleri-1.....	65
Tablo 17. SKKYK Genel Sulama Suyu Kriterleri-2.....	65
Tablo 18. SKKYK Genel Sulama Suyu Kriterleri-3.....	66
Tablo 19. SKKYK Genel Sulama Suyu Kriterleri-4.....	66
Tablo 20. SKKYK’e Göre Bitkilerin Tuzluluğa Karşı Hassasiyeti	69
Tablo 21. SKKYK Yeniden Kullanım için Uygulanması Gereken Arıtma Tipi	70
Tablo 22. Dezenfektanların Mikroorganizmalar Üzerinde Etkisi.....	72
Tablo 23. SKKYK Yeniden Kullanım için Geri Kazanılmış Suyun Kalitesi ve Uygulanması Gereken Arıtma Tipi.....	72
Tablo 24. AATTUT Sulama Türü ve Sınıfının Seçimi.....	75
Tablo 25. AATTUT Bitkilerin Sulama Suyundaki Sodyum Toleransı.....	77
Tablo 26. AATTUT Bitkilerin Yapraklarına Zarar Veren Klorür Konsantrasyonları.....	77
Tablo 27. Proses Yatırım, İşletme ve Bakım Maliyetleri-1	78
Tablo 28. Proses Yatırım, İşletme ve Bakım Maliyetleri-2	79
Tablo 29. 2017 Yılı Süksün Sulaması Su Kullanım Hizmet Bedeli	80
Tablo 30. 2017-2027 Su Kullanım Hizmet Bedelleri	82
Tablo 31. Tarımda Yeniden Kullanım için Geri Kazanılan Atık Suyun İzleme Sıklığı	83

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Suyun Küresel Dağılımı.....	2
Şekil 2. Dünya’da Su Kullanımının Sektörel Dağılımı.....	3
Şekil 3. Avrupa Ülkeleri için Falkenmark Su Stresi İndeksi	6
Şekil 4. 2004 Yılında İspanya’da Atıksuların Yeniden Kullanım Miktarı	15
Şekil 5. Monte Orgegia ve Rincón de León Tesis Konumları	17
Şekil 6. Alicante’de Arıtılmış ve Yeniden Kullanılmış Su Miktarı.....	18
Şekil 7. Katalonya’da Geri Kazanılmış Suyun Kullanım Alanları ve Miktarları	18
Şekil 8. İsrail’de Atıksuların Geri Kazanımı.....	19
Şekil 9. 2016 Yılı Türkiye’deki Atıksu Arıtma Tesislerinin Durumu	23
Şekil 10. Konya Atıksu Geri Kazanım Proses Akım Şeması.....	27
Şekil 11. Atıksu ile Ortama Geçen Organizmaların Hayatta Kalma Süreleri.....	34
Şekil 12. SAR ve EC’nin İnfiltrasyon Üzerindeki Etkisi.....	38
Şekil 13. Kayseri İli Haritası.....	51
Şekil 14. Kayseri AAT Akım Şeması	55
Şekil 15. Kayseri AAT ve Süksün Sulaması.....	57
Şekil 16. Sulama Yöntemleri	75
Şekil 17. Sulama Sistemleri	84

ÖZET

Bu tez kapsamında, alternatif kaynak olarak değerlendirilebilecek olan arıtılmış atıksuların uygun kaliteye getirildikten sonra yeniden kullanımı konusu çalışılmıştır. Birçok alanda kullanım imkânı olan arıtılmış atıksuların sulama ihtiyacının fazla olması nedeniyle özellikle tarım sektöründe yeniden kullanılması değerlendirilmiştir.

Öncelikle, atıksuların hangi alanlarda kullanılabileceği konuları araştırılmış, özellikle yüksek yeniden kullanım miktarına sahip iki ülke ele alınmış ve ulusal ölçekte de uygulanan/uygulanması için araştırılan projeler incelenmiştir. Tarımsal alanda arıtılmış atıksuyun kullanılacağı durumlarda önemli parametreler, ürün deseninin ve sulama sistemlerinin arıtılmış atıksuya uygunluğu konuları araştırılmıştır.

Ulusal mevzuatta sulama sularının kalitesi ve geri kazanım konusunda düzenlemeler içeren ‘Taslak Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmeliği’ ve ‘Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’ doğrultusunda Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi arıtılmış atıksularının tarımsal sulamada kullanılabilirliği incelenmiştir.

Bütün bu bilgiler ışığında, Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi arıtılmış atıksularının kalitesi gerek tesiste yapılan analizler gerekse literatür değerleri doğrultusunda belirlenerek atıksuyun Süksün sulama alanında yetiştirilen ürün desenine uygunluğu değerlendirilmiştir. Tesis arıtılmış atıksularının ilave proses ihtiyacı, ilk yatırım, işletme bakım maliyetleri ve sulamadan elde edilebilecek su kullanım hizmet bedelleri ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak, bu tez kapsamında yapılan çalışmalar ile; Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi arıtılmış atıksularının uygun kaliteye getirildikten sonra sulamada kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: arıtılmış atıksu, iyileştirme, yeniden kullanım, sulama suyu

ABSTRACT

Within the scope of this thesis, wastewater which can be assessed as an alternative resource, has been studied in terms of reuse after treating up to a decent quality. Reuse of treated wastewater having a wide range of application has been assessed especially in regards to irrigational purposes since irrigation water demand is high.

Primarily, the subjects about reuse options have been investigated, two countries having relatively high amount of wastewater reuse have been examined and projects that are implemented or planned to be implemented on national level have been studied significant parameters in the case of reuse of wastewaters at irrigational fields, suitability of crop pattern and irrigation systems to the treated wastewater subjects are investigated

The suitability of treated wastewater of Kayseri Advanced Biological Wastewater Treatment Plant for reuse has analyzed, in line with “Draft By-Law on Quality of Irrigation Water and Reuse of Wastewater” and “Technical Communique on Wastewater Treatment Plants” both of which include regulations about irrigation water quality and reuse.

In the light of all gathered information from analysis conducted at the treatment plant and literature values, quality of wastewaters coming from Kayseri Advanced Biological Wastewater Treatment Plant has assessed in terms of suitability for irrigation according to the crop patterns of Süksün agricultural land. Additional process requirements of Kayseri Advanced Biological Wastewater Treatment Plant and investment, operational maintenance costs and water utilization service costs to be gained from irrigation have been demonstrated

As a result, with the studies conducted within the frame of this thesis, it has been concluded that, after reaching a decent level of quality, treated wastewater coming from Kayseri Advanced Biological Wastewater Treatment Plant is suitable for reuse in irrigation.

Key Words: treated wastewater, reclamation, reuse, irrigation water

I. GİRİŞ

Su, canlılığın vazgeçilmez bir parçası olması nedeniyle artan nüfusla birlikte suya olan talep de gün geçtikçe artmaktadır. Yetersiz su kaynakları ve kaynakların kalitesinin bozulması Dünya'nın birçok yerinde kaygıyla karşılanmakta ve bu durumun yüzyılın başlıca sorunlarından biri olacağı uluslararası forumlarda açıkça belirtilmektedir (Polat, 2013).

İçinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli sorunlarından bir diğeri de iklim değişikliği ve buna bağlı olarak su kaynaklarının olumsuz etkilenmesidir. Su kaynakları bakımından zengin bölgelerde kirlenme ilerlemekte ve su potansiyelinin azalması ile de suyun maliyeti artmaktadır. Dünya Su Geliştirme Raporu'na göre, 2050 yılında Dünya nüfusunun 9,3 milyara ulaşmasının beklendiği ve iklim değişikliği nedeniyle 60 ülkede 7 milyar insanın su kıtlığı yaşayacağı raporlanmıştır (Özbay & Kavaklı, 2008).

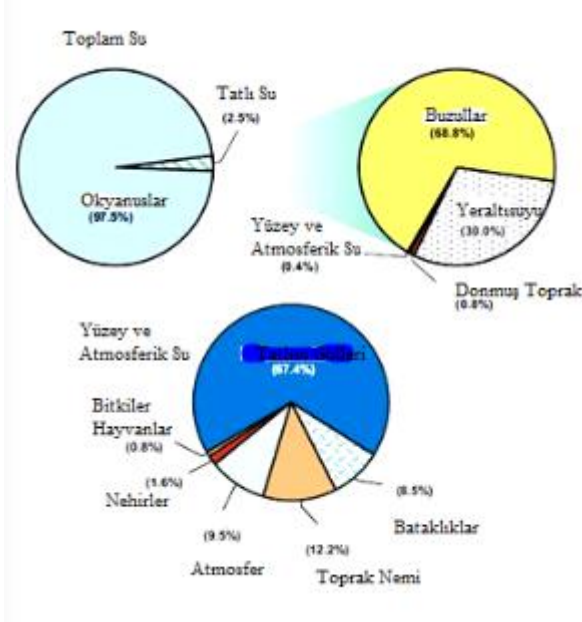
Bunun yanı sıra gelişen sanayi ve sulama suyu ihtiyacı bu talebi daha da artırmaktadır. Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de tarımsal suya duyulan ihtiyaç oransal olarak oldukça yüksektir. Nüfusun hızla artmasıyla birlikte beslenme ihtiyacının karşılanması için tarım geliştirmek ve sulanan alan artmaktadır. Türkiye'nin tarım arazisi, 78 milyon hektar olan ülke yüzölçümünün yaklaşık üçte biri yani 28 milyon hektar civarında olup ekonomik olarak sulanabilecek 8,5 milyon hektar alanın toplam 6,09 milyon hektarı sulamaya açılmıştır (DSİ, 2015).

Gıda sektörünün ve sanayinin ihtiyacı olan tarımsal ürünlerin karşılanması amacıyla geri kalan 2,41 milyon hektarlık alanın da sulamaya açılması önem arz etmektedir. Talep edilen sulamanın yapılabilmesi için ise en önemli koşul su kaynağının yeterli ve kalitesinin uygun olmasıdır. Giderek artan su sıkıntısı nedeniyle tarımsal sulama ihtiyacının karşılanması için alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Özellikle arıtılmış atıksuların uygun kaliteye getirildikten sonra tarımsal sulamada kullanılması yeni su kaynağı ihtiyacını ortadan kaldırması nedeniyle tercih edilen alternatiflerdendir.

II. DÜNYA’NIN VE TÜRKİYE’NİN SU POTANSİYELİ, SEKTÖREL DAĞILIMI VE SU KİTLİĞİ

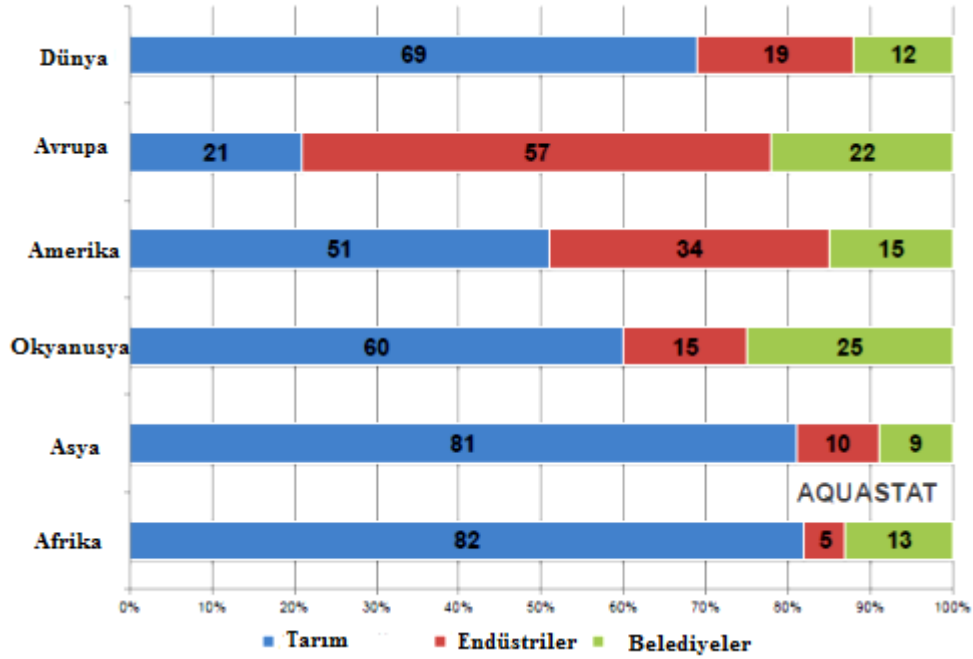
2. 1. Dünya’nın Su Potansiyeli ve Sektörel Dağılımı

Dünya üzerindeki suyun % 97,5’ini okyanuslardaki tuzlu su oluşturmakta, kalan % 2,5’lik tatlı su oranını ise buzullar, yeraltı suları, yüzey suları, atmosferik sular ve donmuş toprak tabakasından oluşturmaktadır. Tatlı suyun % 0,4’ü ise yüzey ve atmosferik su olup bu sular göller, nehirler, sulak alanlar, atmosfer, toprak nemi ve biyolojik su olarak bulunmaktadır (UNESCO, 2009).



Şekil 1. Suyun Küresel Dağılımı

Dünya’da suyun sektörel olarak kullanımı; tarımsal kullanım için % 69, endüstriyel kullanım için % 19 ve kentsel kullanım için % 12 oranındadır. Bu dağılım kıtalara göre farklılık göstermekle birlikte Avrupa dışında diğer bölgelerde tarımsal kullanım ilk sırada gelmektedir (FAO, 2015). Asya ve Afrika kıtalarında ise tarımsal amaçlı su kullanımı diğer kıtalara ve Dünya’daki kullanıma oranla daha fazladır.



Şekil 2. Dünya’da Su Kullanımının Sektörel Dağılımı

2.1.1. Dünya’da Su Kıtlığı

Dünya nüfusunun yaklaşık beşte biri yani 1,2 milyar insanın suya erişmekte sıkıntı çektiği bilinmektedir. Bu oranın 2025 yılında 2/3’e çıkması beklenmektedir. Diğer taraftan 1,6 milyar insan uygun altyapı ve maddi yetersizlikten dolayı sağlıklı suya erişmekte sıkıntı çekmektedir. Nüfus ve endüstriyel faaliyetlerdeki artış ve iklim değişikliği sebebiyle gün geçtikçe ulaşılabilir tatlı suya olan talep artmaktadır. Ulaşılabilir olan tatlı su kaynağı üzerindeki çeşitli baskılar su sıkıntısını beraberinde getirmektedir (WWF, 2014).

Gelecek 40 yıl içerisinde Dünya nüfusunun 2,5 milyar daha artacağı beklenmektedir. Dolayısıyla artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılayabilmek için suya olan talep de artacaktır. Ancak suya olan talebin artışı nüfus artışından daha hızlıdır. Son yüzyıl içerisinde üç kat artan Dünya nüfusuna karşılık su kaynağı talebi yedi kat artmıştır. 1940 yılında 1.000 milyar m³ olan Dünya su tüketimi 1960’da iki katına çıkmış 1990 yılında ise 4.130 milyar m³ olmuştur (WWF, 2014).

Gıda ürünlerine yönelik artan talep ile de tatlı suya olan ihtiyaç artmaktadır. Söz konusu gıda talebini karşılayabilmek için tarımsal sulamada kullanılan su miktarının 2050 yılında iki kat artması gerekmektedir. Diğer taraftan suyun kullanım alanlarının çeşitlenmesi, iklim değişikliği, su kirliliğinin artması ve temiz su kaynaklarının azalması gibi etkilere tatlı suya erişim sorunun büyümesindeki etkenlerdendir (WWF, 2014).

2.2. Türkiye'nin Su Potansiyeli ve Sektörel Dağılımı

Türkiye yıllık 643 mm ortalama yağış ile yılda 501 milyar m³ yağış miktarına sahiptir. Çeşitli maksatlarla tüketilebilecek yerüstü su potansiyeli ise;

- 95 milyar m³ akarsulardan,
- 3 milyar m³ komşu ülkelerden gelen,
- 16,4 milyar m³ yeraltısuyu potansiyeli (tahsis edilen miktar 13,56 milyar m³ /yıl) ile ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama 112 milyar m³ olup 44 milyar m³'ü kullanılmaktadır (DSİ, 2015).

Türkiye su kaynaklarının 2008 yılı sektörel dağılımına göre suyun %74'lük oranla en fazla kullanıldığı sektör tarımdır. Bunun yanında artan nüfus ve gelişen sanayi ile birlikte su ihtiyacı giderek artmaktadır. Türkiye Çevre Durum Raporunda 2023 yılında evsel su kullanımının %16 ve sanayi için su kullanımının ise %20 olacağı belirlenmiştir (ÇŞB, 2011).

Tablo 1. Türkiye'de Su Tüketimi ve Sektörel Dağılımı

Yıl	Toplam Su Tüketimi		Sektörler					
			Sulama		Evsel		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	43	38	32	74	6	15	5	11
2023	112	100	72	64	18	16	22	20

Sonuç olarak önümüzdeki 25 yıl içersinde ihtiyaç duyulan su miktarının bugünkü ihtiyaçtan üç kat fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakılabilmesi için kaynakların çok iyi korunup akılcı kullanılması şarttır (ÇŞB, 2011).

2. 2. 1. Türkiye’de Su Kıtlığı

Türkiye’de ki su sıkıntısı, nüfus, sanayi ve tarım sektöründe talebin artışı ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkisine göre birkaç açıdan incelenmiştir.

2. 2. 1. 1 Türkiye’de Nüfus Artışı, Sanayileşme, Tarım ve Su Stresi

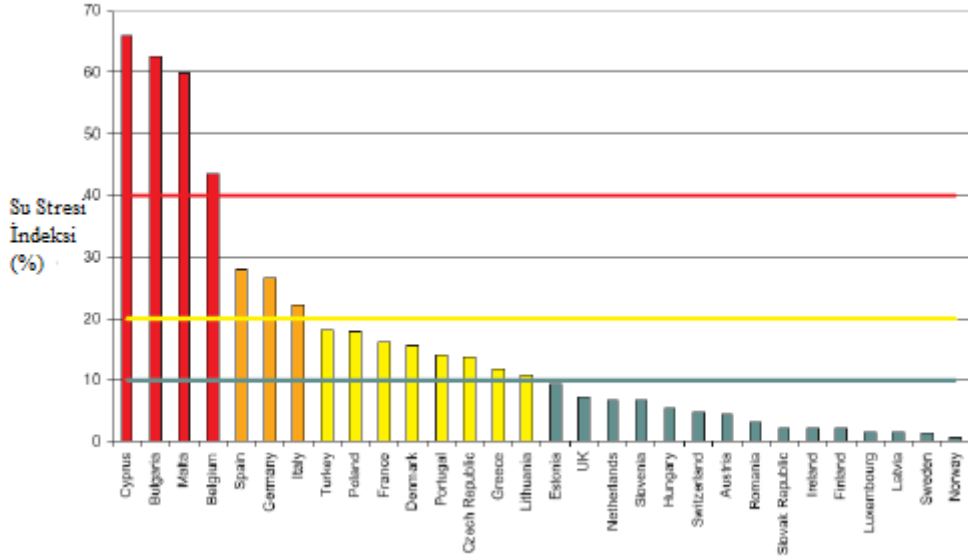
Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sisteminin 2015 yılı sonuçlarına göre Türkiye nüfusu 78.741.053 kişi olup nüfus yoğunluğu ise km²'ye 102 kişidir. Kişi başına yıllık kullanılabilir su miktarı ise 1.516 m³ civarındadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2023 yılı nüfusu 84.247.088 kişi, 2050 yılında ise 93.475.575 olacağı belirtilmektedir. Bu durumda giderek artan nüfusla kişi başına kullanılabilir su miktarı azalarak suya erişim zorlaşacaktır.

Kişi başına düşen su miktarına göre ülkeler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

- **Su Fakirliği:** Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1.000 m³ 'ten daha az.
- **Su Azlığı:** Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 2.000 m³ 'ten daha az.
- **Su Zenginliği:** Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 8.000-10.000 m³ 'ten daha fazla.

Bu sınıflandırmaya göre ülkemiz su azlığı yaşamakta olup artan nüfusla birlikte fakiri olma yolundadır.

Su stresi ölçümlerinden en yaygın kullanılanı Falkenmark göstergesi olarak bilinmektedir. Buna göre ülkelerin ‘Su Stresi İndeksi’ Şekil 3’de görülmektedir. Bu indekse göre insani tüketim için uygun yıllık toplam su tüketiminin toplam yenilenebilir tatlı su kaynaklarına oranı olarak belirlenir (Raso, 2013).



Şekil 3. Avrupa Ülkeleri için Falkenmark Su Stresi İndeksi

Su Stresi indeksine göre oranlar %10’un altında ise düşük, %10-%20 arasında orta, %20-%40 arasında yüksek, %40’dan fazla ise ciddi olarak belirlenmiştir. Bu durumda Türkiye su stresi indeksi %10-20 arasında bulunmakta olup su stresi ile karşı karşıyadır.

Bunun yanı sıra gıda, tekstil, metal, ağaç ve ağaç ürünleri kimya, maden ve petrol ürünleri özellikle suya ihtiyacın fazla olduğu sektörlerdir (Yetiş, 2013). Örneğin, bir hamburger üretmek için 4 litre, 1 kg pamuk ya da yün üretmek için 846 litre, 1 ton çelik üretmek için 240 litre su kullanılmaktadır (URL1). Türkiye’de sanayi sektörü için gerekli su ihtiyacı 2008 yılı için %11 iken bu oranın 2023 yılına kadar %20’ye çıkması beklendiği bilinmektedir.

2. 2. 1. 2 İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerinde Etkisi

Uzun süreli hava olaylarındaki meydana gelen ani, şiddetli ve önemli değişimler olarak tanımlanan iklim değişikliği, insan kaynaklı faaliyetlerdeki artışla birlikte yoğun olarak hissedilmektedir. Küresel ısınma ve sıcaklık artışı olarak düşünülen iklim değişikliğinin en önemli etkisi yağış rejiminin değişmesiyle gerçekleşecek etkilerdir. Türkiye’de iklim değişikliğinden kaynaklanan etkiler doğrudan su kaynaklarını tehdit etmektedir (OSİB, 2016).

Bu nedenle, iklim değişikliğinin yüzeysel ve yeraltı sularına su havzaları bazında etkisinin tespiti ve uyum faaliyetlerinin belirlenmesi amacıyla Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından ‘İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi’ yürütülmüştür. Proje çıktıları doğrultusunda, Kayseri İlinin bulunduğu Seyhan ve Kızılırmak Havzası için 2015-2100 dönemi için iklim değişikliği projeksiyonlarına göre ortalama sıcaklığın her iki havza içinde sürekli artış göstermesi beklenmektedir.

Kızılırmak Havzası; 1971-2000 yılları gözlem verilerine göre sıcaklık ortalaması 10,3 °C olan havzanın 2071-2100 döneminde en az 1,8°C, en fazla 5,1°C civarında artış yaşanması beklenmektedir. 1971-2000 yılları gözlem verileri doğrultusunda havzanın referans dönemi ortalama yıllık yağış miktarı 448,7 mm olarak belirlenmiş olup projeksiyon sonuçlarına göre toplam yağışların referans döneme göre azalma eğiliminde olduğu ve 2041-2070 döneminde referans döneme göre %6 oranında daha az yağış alacağı öngörülmektedir. Ayrıca iklim değişikliğinin etkisi ile havzanın brüt su potansiyelinin %60'lara varan azalma olacağı öngörülmüştür. Yıllık kullanılabilir su miktarının toplam su ihtiyacını karşılamayacağını ve su açığının yaklaşık 2.160 milyon m³/yıl olacağı beklenmektedir. Hidrojeolojik çalışma neticesinde ise yüzyılın sonunda havzanın hidrojeolojik rezervinde %7 ve mümkün rezervinde ise %13 oranlarında azalmalar meydana geleceği tahmin edilmektedir (OSİB, 2016).

Seyhan Havzası; 1971-2000 yılları gözlem verilerine göre sıcaklık ortalaması 12,3 °C olan havzanın 2071-2100 döneminde en az 2°C, en fazla 5,13°C civarında artış yaşanması beklenmektedir. 1971-2000 yılları gözlem verileri

doğrultusunda havzanın referans dönemi ortalama yıllık yağış miktarı 545,3 mm olarak belirlenmiş olup projeksiyon sonuçlarına göre toplam yağışların referans döneme göre azalma eğiliminde olduğu ve 2071-2100 döneminde referans döneme göre %15 oranında daha az yağış alacağı öngörülmektedir. Ayrıca iklim değişikliğinin etkisi ile havzanın brüt su potansiyelinin %30'lara varan azalma olacağı öngörülmüştür. Yıllık kullanılabilir su miktarının toplam su ihtiyacını karşılamayacağını ve su açığının yaklaşık 2.325 milyon m³/yıl olacağı beklenmektedir. Hidrojeolojik çalışma neticesinde ise yüzyılın sonunda havzanın hidrojeolojik rezervinde %5 ve mümkün rezervinde ise %8 oranlarında azalmalar meydana geleceği tahmin edilmektedir.

Proje kapsamında, 3 ana sektör olan içme ve kullanma suyu, tarım ve sanayi alanında alınabilecek önlemler kapsamında evsel atıksuların geri kazanımı, arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması faaliyetlerine vurgu yapılmıştır (OSİB, 2016).

III. ARITILMIŞ ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIM ALANLARI

3. 1. Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımının Önemi

Suya olan talebin artmasıyla birlikte su kaynaklarının planlanmasında veya yönetiminde bugüne kadar yaygın olarak yeni tatlı su kaynakları tüketime sunulmuştur. Ancak sürdürülebilir su yönetimi için yeni stratejilerin geliştirilmesi gerekliliği düşünüldüğünde alternatif su kaynakları bu stratejinin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Karakaya & Gönenç, 2005).

Su kaynakların kirlenmesi ve iklim değişikliği sebebiyle azalması, kalitesinin bozulması, kuraklık vb. gibi nedenlerden dolayı yeniden kullanım oldukça kritik hale gelmektedir. Yeni su kaynağı olarak düşünülen atıksuların yeniden kullanımı hem çevrenin hem de doğal kaynakların korunmasını sağladığı gibi sürekliliği de olan bir kaynaktır. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasının başlıca faydaları;

- Su kaynaklarının korunması,
- Kıyasal kirliliğin engellenmesi,
- Tarımda su ve gübre kazanımı,
- Temiz su kullanımında ve atıksu arıtma maliyetlerinde tasarruf vb. şeklindedir (Capra & Scicolone, 2006).

Böylece özellikle az yağış alan ve kaynak sıkıntısı çeken bölgelerde ilave kaynak oluşturarak iyi bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

Alternatif su kaynağı olan ve yeniden kullanım amacına uygun kaliteye getirilmiş atıksular birbirinden farklı alanlarda kullanılabilir. Bu alanlar; tarımsal sulama, kentsel, evsel ve endüstriyel amaçlı kullanım olabildiği gibi yeraltısuyunun beslenmesi, su akışını destekleme veya hayvan su ihtiyacını karşılama amacıyla da kullanılabilir.

Suyun bol olduğu bölgelerde kirlilik büyük su kütlelerinde dağılması ile azalabilir ama yok edilemez. Bu bölgelerde atıksuyun yeniden kullanımı su

kaynakları üzerindeki baskının, uzun mesafeler boyunca taşınması gereken su miktarının azaltılması ve sucul çevreye bırakılan atıkların azaltılmasına katkı sağlar (Raso, 2013). Bu nedenle, ulusal ve uluslararası ölçekte atıksuların geri kazanılarak yeniden kullanılması gittikçe önem kazanmaktadır.

3. 1. 1 Kentsel ve Eysel Maksatlı Kullanım

Arıtılmış atıksuların geri kazanılarak kentsel ve evsel alanlarda kullanım alternatiflerinin oldukça çeşitli olduğu yapılan literatür taramasıyla ortaya çıkmaktadır. Başlıca kullanım yerleri aşağıdaki gibidir.

- Park ve eğlence (rekreasyon) alanları,
- İşyeri, endüstri kuruluşları, okul bahçeleri, otoyol meydanları, binaların çevrelerindeki peyzaj alanları,
- Golf sahaları,
- Ticari amaçlı kullanım (araç yıkama tesisleri, çamaşırhane vb.)
- Manzara amaçlı dekoratif alanlar (kent içindeki havuzlar, fiskiyeler, şelaleler, vb.)
- Toz kontrolü ve inşaatlarda beton yapımı,
- Yangınla mücadele ve yangından korunma,
- Ticari binalarda tuvalet suyu gibi geniş alanda kullanım imkânına sahiptir (Karakaya & Gönenç, 2005) (Polat, 2013).

Bu tür kullanımlar genellikle suya erişimin sıkıntılı olduğu yerlerde ekonomik nedenlerden dolayı tercih edilmekte olup uygulamalar atıksu arıtma tesisine yakınlıkla da ilişkilidir.

3. 1. 2 Çevresel Maksatlı Kullanım

Çevresel olarak arıtılmış atıksular dere ve nehirlerin akışının ve sulak alanların desteklenmesi amacıyla yeniden kullanılmaktadır. Akifere besleme de çevresel yeniden kullanım olarak değerlendirilebilir ancak bu uygulama birçok

yeniden kullanım sistemini birlikte içerdği için ayrıca değerlendirilmelidir. Sulak alanların ve diğer doğal sistemlerin desteklenmesi amacıyla kullanımın gereklilikleri EPA tarafından belirlenmiştir (EPA, 2012). Ayrıca su akışının, sulak alanların desteklenmesinin yanında bataklıklar, parklar, göller gibi rekreasyonel alanlarda, balıkçılık, su kültürü oluşturma ve kar yapma gibi alanlarda da çevresel olarak kullanımı mümkündür (Başkan, 2006).

3. 1. 3 Endüstriyel Maksatlı Kullanım

Gelişmiş ülkelerde endüstriyel maksatlı arıtılmış suyun kullanımı daha yaygın olup tesis içerisinde suyun geri çevrimi veya evsel atıksu arıtma tesisinden çıkan suyun kullanılması ile yapılmaktadır. Çelik, bira, elektronik sanayi gibi çoğu endüstri, atıksularını sistem içerisinde yeniden kullanarak hem çıkış suyu standartlarını sağlama zorunluluğunu ortadan kaldırmış olmakta hem de su tasarrufu sağlamaktadırlar (Büyükkamacı, 2009).

Endüstrilerde en büyük su ihtiyacını soğutma suları oluşturmaktadır. Arıtılmış suların soğutma suyu olarak kullanılabilmesi için korozyon, çökelti oluşması, mikrobiyal büyüme gibi etkenler göz önüne alınmalıdır. Ayrıca her bir endüstrinin kullanacağı proses suyunun gerektirdiği parametreler çeşitlilik göstermektedir (Büyükkamacı, 2009).

3. 1. 4 Yeraltı Suyu Besleme Maksatlı Kullanım

Toprağın arıtma özelliğinden faydalanılarak gelişmiş ülkelerde uygulama alanı olarak yeraltı suyu besleme maksatlı kullanım mevcuttur. Arıtılmış atıksular yeraltı suyuna farklı yöntemlerle verilebilmekte olup bu yöntemlerin maksadı;

- Kıyı alanlarında akifere tuzlu su girişimini önlemek için bariyer oluşturmak,
- Atık suyun daha iyi arıtılmasını ve yeniden kullanımını sağlamak,
- Akiferlerin su kapasitesinin artırılmasını sağlamak,

- Geri kazanılmış suyun depolanmasını sağlamak,
- Yeraltı su seviyesinin düşmesini önlemektir (Büyükkamacı, 2009).

Akifer beslemesi avantajlı görünmekle birlikte uygulanması konusunda detaylı çalışma yapılması gerekmektedir. Özellikle içme suyu olarak kullanılan akiferlerin kirlenme olasılığı düşünüldüğünde dikkatli uygulanması gereken bir yöntemdir (Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015).

Arıtılmış atıksuların akifere beslenmesi konusunda 07.04.2012 tarihinde 28257 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren ‘Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik’ kapsamında düzenlemelere yer verilmiştir. Yönetmeliğin ikinci bölümü madde 5’de kalitesi her ne olursa olsun atıksuların yeraltısularına doğrudan deşarjına izin verilmemektedir hükmü yer almaktadır.

Madde 2’de ‘İçme suyu temini maksadıyla kullanılan ve/veya kullanımı planlanan YAS kütlelerinin kalite durumu 17/2/2005 tarihli ve 25730 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik eklerinde yer alan parametre listesi ve standartları dikkate alınarak bu Yönetmelikte belirtilen esaslara göre değerlendirilir. Bu su kütlelerinin koruma alanlarına, arıtılmış olsun ya da olmasın atık suların doğrudan ve/veya dolaylı deşarjı yasaktır.’ hükmü yer almaktadır.

Ayrıca, Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliğinin Ek-1 ve Ek-2 listelerinde yer alan maddeleri ihtiva eden atıksuların arıtılmış dahi olsa YAS kütlelerine doğrudan ve dolaylı deşarjı yasaktır. Risk altında olduğu belirlenen veya risk altında olma ihtimali bulunan YAS kütlelerinde yapılan izlemeler sonucunda yönetmeliğin Ek-2’sinde yer alan YAS kalite standartlarının ve o kütle için belirlenmiş olan parametrelere ait eşik değerlerin aşılması durumunda arıtılmış dahi olsa atıksuların bu su kütlelerine doğrudan ve/veya dolaylı deşarjı yasaklanmıştır.

Bunun dışında kalan durumlarda arıtılmış atıksuların YAS kütlelerine dolaylı olarak deşarjına, yeraltı suyunun kullanım maksadı, kalitesi ve verilecek olan

arıtılmış suların yeraltı suyuna karışması halinde yeraltı suyunun taşıma kapasitesi de dikkate alınarak yapılacak olan mühendislik çalışmaları sonucunda, 29/4/2009 tarihli ve 27214 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik hükümleri gereğince Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından izin verilir. Verilen izinlerin envanteri yılda bir kez Su Yönetimi Genel Müdürlüğü’ne bildirilir.

3. 1. 5 Hayvan Suyu İhtiyacını Karşılama Maksatlı Kullanım

Hayvansal tüketim amacıyla kullanılacak sulara ilişkin EPA tarafından kalite kriterleri belirlenmiştir. 21 adet parametre için sınır değere yer verilmiştir. (EPA, 2012). Ülkemizde hayvan suyu ihtiyacı için arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin düzenleme bulunmamakta olup kullanılacak suyun kalite kriterlerine ‘Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik’ taslağında yer verilmiştir.

3. 1. 6 Tarımsal Maksatlı Kullanım

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama maksadıyla kullanımı kurak bölgelerde özellikle tercih edilen bir yöntemdir. Arıtılan atıksuların tarımsal amaçlı kullanılması; su kıtlığına çözüm olabilir, atıksuların büyük miktarı yıl boyunca bertaraf edilebilir, kalitesi yüksek olan diğer kaynaklar içme suyu maksatlı kullanılabilir, atıksulardaki azot ve fosfor içeriğinin de araziye verilmesiyle tarımsal gübre ihtiyacını da azalarak ürün için katkı sağlayabilir (Polat, 2013).

Geri kazanılmış suyun tarımsal amaçlı kullanıma uygun olup olmadığı birçok faktöre bağlı olup uygunluğu iyi belirlenmelidir. Suyun sulamaya elverişli olduğunun belirlenmesinde en önemli özellikler aşağıdaki gibidir.

- Çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonu,
- Sodyum ve diğer katyonların nisbi oranı (SAR),
- Bor ve buna benzer toksik elementlerin konsantrasyonu,

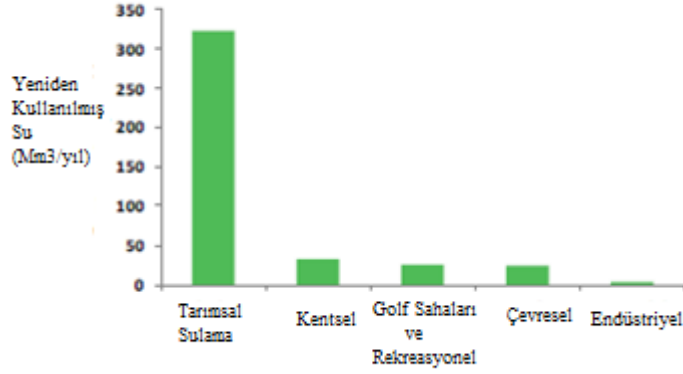
- Kalsiyum ve Magnezyum,
- Anyonlar (klor, sülfat, nitrat),
- Toplam katı madde, organik madde yükü, yağ ve gres gibi yüzen maddelerin miktarı,
- Patojen mikroorganizmaların miktarıdır (Tanık, ztrk, & Cüceloğlu, 2015).

IV. ARITILMIŞ ATIKSUYUN YENİDEN KULLANILMASINA İLİŞKİN ULUSAL VE ULUSLARARASI UYGULAMALAR

4.1. Uluslararası Ölçekte Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Örnekleri

4.1.1 İspanya Örneği

İspanya’da arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin uygulamalar 4 ana başlıkta toplanmaktadır; golf sahası sulaması, tarımsal sulama, özellikle kıyı akiferleri tuzlu sudan koruma amaçlı yeraltısuyu besleme ve nehir akışını desteklemek amaçlıdır. Sektörel olarak arıtılmış suların kullanım miktarı Şekil 4’de verilmektedir (Mudgal, et al., 2015).



Şekil 4. 2004 Yılında İspanya’da Atıksuların Yeniden Kullanım Miktarı

Çevre Bakanlığı’nın verilerine göre 2006 yılında İspanya’da yaklaşık 3.375 milyon m³ arıtılmış atıksu üretilmiştir. 2009 yılında ise arıtılmış atıksuların yeniden kullanım miktarı yaklaşık 430 milyon m³’tür.

Ülkenin Cataluna, Murcia, Madrid ve Andalucia bölgelerinde geri kazanılmış suyun parklar, bahçeler, sulak alanları destekleme, golf sahaları, tarımsal sulama ve endüstriyel amaçlı kullanımı için birçok plan mevcuttur. (Mudgal, et al., 2015).

2007 yılında yapılan çalışma ile yeniden kullanım veri tabanındaki bilgiler doğrultusunda İspanya’da;

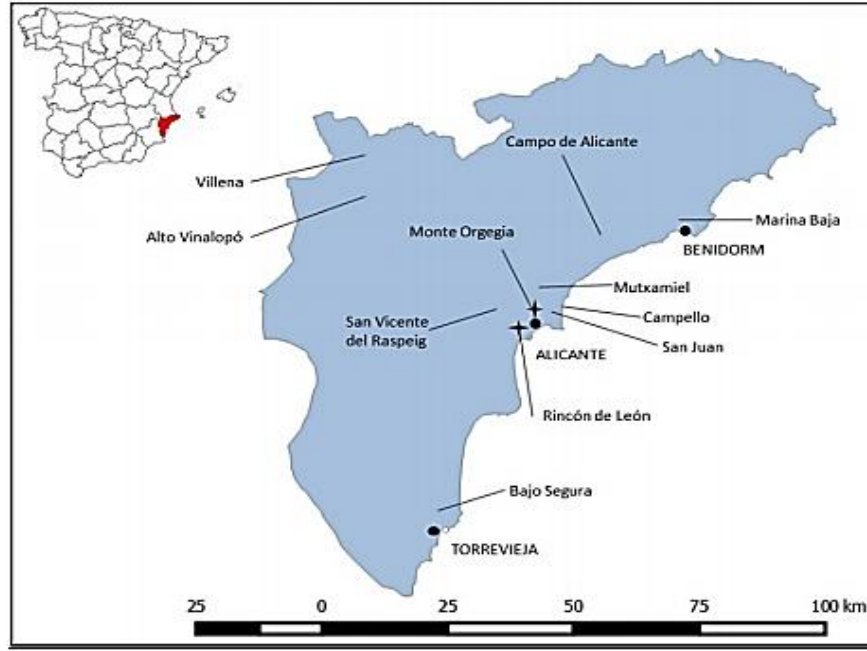
- 149 geri kazanım tesisi çalışmakta,
- Bu tesislerin %12'si sadece dezenfeksiyona sahip,
- Ülkedeki toplam yeniden kullanım miktarının %61'i uygun geri kazanıma sahip geri kalan %39'u ise arıtılmış su,
- Geri kazanım tesislerinin %13'ünde tuz giderme mevcut,
- Fiziksel-kimyasal arıtım sonrası kum filtresi ve dezenfeksiyon son yıllarda artmaktadır (Esteban, 2009).

4.1.1.1 Geri Kazanım Tesis Örneği

2015 yılında Valensiya Bölgesinde 419.73 milyon m³ atıksu arıtılmış ve %34.73'ü yeniden kullanılmıştır. Bu miktarın %91.87'si tarımsal ve %6.75'i kentsel amaçlı kullanılmıştır (Arahuetes, 2016).

Valensiya Bölgesinde % 46.26 yeniden kullanım oranı ile Alicante şehri atıksuların arıtılması ve yeniden kullanımı açısından temsil edici bir örnek oluşturmaktadır. Çünkü şehir hem kentsel hem de tarımsal kullanım talebini karşılayabilmek için atıksularını arıtarak yeniden kullanmak durumundadır. Rincón de León, Alicante'de bulunan kıyısız bir kasaba olup yaz ayları boyunca önemli derecede artan turist nüfusuna sahiptir. İspanya'da içme suyu oldukça sınırlı olması nedeniyle Valensiya Bölgesel Yönetimi şehrin yaşayanları ve ziyaretçilerine içme suyunu daha kolay sağlayabilmek amacıyla sulama suyu kaynağı olarak arıtılmış atıksuların kullanımının araştırılmasına karar vermiştir (Arahuetes, 2016) (URL2).

Bölge, Monte Orgegia ve Rincón de León olmak üzere yılda 18 milyon m³'ün üzerinde atıksu arıtan iki adet tesise sahiptir.

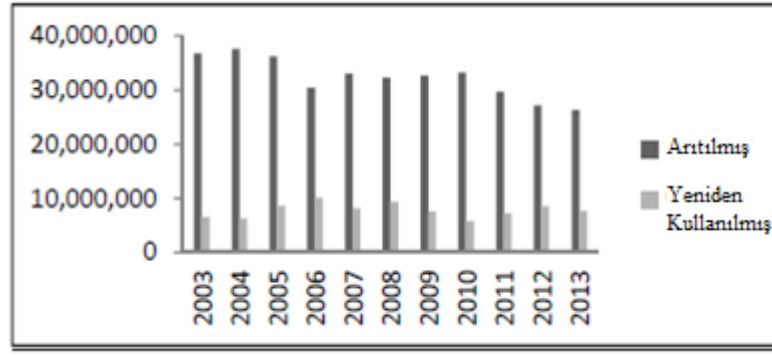


Şekil 5. Monte Orgegia ve Rincón de León Tesis Konumları

Monte Orgegia, aktif çamur ve anaerobik arıtım sağlayan 60.000 m³/gün kapasiteye, Rincón de León tesisi ise 75.000 m³/gün kapasiteye sahiptir. Rincon de Leon tesisinde tuz giderme ve tekrar kullanım için tesise giren akışlar farklı tuzluluk derecelerine göre alt bölümlere ayrılmıştır.

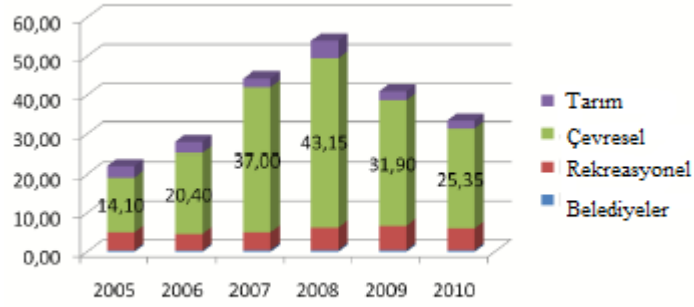
Rincón de León tesisi arıtılmış sularının bazı tarımsal kullanım için kalitenin artırılma ihtiyacını doğurmuştur. Tesis koagülasyon + flokülasyon + filtrasyon (kum yatağı), ultrafiltrasyon (50,000 m³ /gün) + UV dezenfeksiyonu (8,800 m³ /gün) + ters ozmoz (25,700 m³ /gün) ünitelerinden oluşmaktadır. Ters ozmoz tesisi ile 2,800 µs /cm tuzluluk 600 µs /cm'ye düşürülmektedir (Malgarejo, Prats, Molin, & Trapote, 2016). Sulama toplulukları ürün türünün ihtiyaçlarına bağlı olarak belli kalitede su ile karıştırabilmektedirler (Arahuetes, 2016).

Rincón de León tesisi çıkış suları yoğun olarak tarımsal sulama ve az miktarda kentsel amaçlı kullanılmakta olup Monte Orgegia tesisi suları yaklaşık olarak aynı oranda hem sulama hemde kentsel amaçlı kullanılmaktadır. Ancak Alicante şehrinde arıtılmış suların tamamı kullanılmamakta olup yaklaşık %25'i kullanılmaktadır (Arahuetes, 2016).



Şekil 6. Alicante’de Artılmış ve Yeniden Kullanılmış Su Miktarı

Özellikle turistik Costa Brava bölgesindeki Katalonya’da ise geri kazanılmış sular çevresel ve rekreasyonel amaçlı kullanılmaktadır. 2011 yılında Katalonya’da suyun kullanım yerleri ve miktarları Şekil 7’de verilmektedir (Mudgal, et al., 2015).



*Mm³/yıl

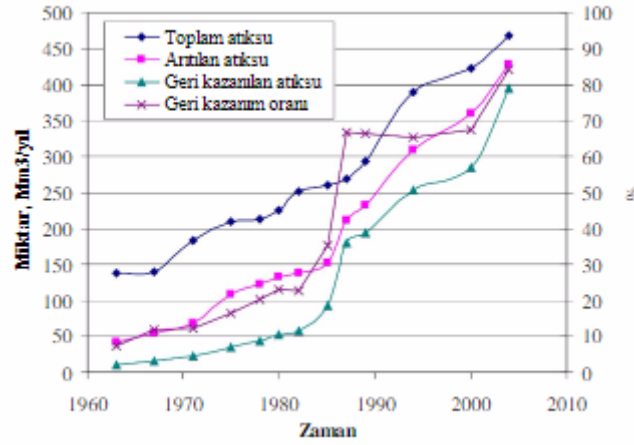
Şekil 7. Katalonya’da Geri Kazanılmış Suyun Kullanım Alanları ve Miktarları

Artılmış atıksuların İspanya’da kullanım oranı yıllar geçtikçe arttığı görülmekte olup yapılmış model tahminlerine göre 2025 yılında geri kazanılacak su miktarı 1.200 Mm³/yıl olacağı tahmin edilmektedir (Mudgal, et al., 2015).

4. 1. 1 İsrail Örneği

Son yıllardaki beklenen yağmur suyu miktarının elde edilememesi İsrail’de su sıkıntısının yaşanmasına neden olmuştur. Ardışık son 7 yıldaki kuraklık büyüyen nüfusla birleşince ülkenin su kaynaklarının aşırı kullanılmasına neden olmuştur. Sonuç olarak İsrail halkı uzun süredir mevcut olan her damla suyun yeniden kullanılması için yenilikçi yaklaşımlar aramış ve bu yollardan en ileri sulama için tatlı su yerine arıtılmış atıksuların kullanımını olmuştur (Gohary, Juhari, Chouckrallah, & DVH, 2013).

Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan su oranı %92-95 olup bu suların mevsimsel olarak sulama için kullanılması rezervuar sistemleri ve akifer deşarjı şeklindedir. İsrail’de yeniden kullanım uygulamaları hem sulama (%80’den fazla) ve endüstriyel (%2-3) hemde alıcı ortamların korunması amacıyla yapılmaktadır (Gohary, Juhari, Chouckrallah, & DVH, 2013).



(Koyuncu, 2013)

Şekil 8. İsrail’de Atıksuların Geri Kazanımı

2015 yılı verileri göre ise 508 milyon m³ atıksuyun yaklaşık %98’i merkezi olarak toplanmakta ve 80 arıtma tesisinde (yaklaşık 45 tanesi büyük tesis) arıtılarak 400 milyon m³’lük miktarı sulamada kullanılmaktadır (Tarchitzky, 2015).

Yaygın teknoloji klasik aktif çamur prosesi olup çeşitli türevleridir. Ancak son yıllarda bu yaklaşım değişmekte ve nüfus artışı ve yüksek çıkış suyu standartları

için daha ileri arıtma metotları (membran biyoreaktör, ardışık kesitli reaktörler vb.) uygulanması için arıtma tesisleri yenilenmektedir. Özellikle 2010 yılındaki halk sağlığı ile ilgili yeni düzenleme sıkı çıkış suyu standartları gerektirmektedir (Gohary, Juhari, Chouckrallah, & DVH, 2013).

İsrail’de arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı için uygulamalar aşağıdaki gibidir.

- Konvansiyonel Aktif Çamur (en çok tercih edilen yöntem),
- Ardışık Kesikli Reaktör,
- Membran Biyoreaktör,
- Havalandırılmalı Lagün,
- İkincil arıtma çıkışından biyolojik oksijen ihtiyacı ve askıda katıları gidermek için granüler medya uygulaması,
- Toprak Akifer Arıtma,
- Çıkış Suyu Yönetim Rezervuarları (320 adet bulunmakta ve 185 milyon m³ depolama kapasitesine sahiptir.)

Bunların yanı sıra geri kazanılmış suyun kullanılması için çiftçiler 2 yöntemle teşvik edilmiştir. Geri kazanılmış suyun maliyeti tatlı su kaynaklarına göre %30-50 daha ucuzdur. Arıtılmış atıksuyu kullanan her çiftçiye eski su dağıtımına göre %20 daha fazla tahsis yapılmasıdır (Gohary, Juhari, Chouckrallah, & DVH, 2013).

4. 1. 2. 1 Geri Kazanım Tesis Örneği

İsrail’deki Ben Gurion Havaalanı 2000-2005 yılları arasında büyük bir yenilenme geçirmiştir. Havaalanının yenilenmesi ile atıksu alt yapısı ve tüm atıkla ilgili eylemleri planlama ihtiyacı doğmuştur. Atıksuların arıtılması ve %100’ünün kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Tesisin dizayn debisi 5,250 m³/gün (2 aşama) olup performansı oldukça yüksektir (Gohary, Juhari, Chouckrallah, & DVH, 2013).



Resim 1. Ben Gurion Havaalanı Geri Kazanım Tesisi

Çıkış suyu konsatrasyonu BOİ için 1 mg/L, 0.1 mg/l amonyak, 1 mg/L'den daha düşük toplam askıda katı ve 1 NTU bulanıklık değerine sahiptir. Proses;

- 6 mm elek ve kum ve yağ giderimini içeren ön arıtma prosesini içermektedir.
- Debiyi dengelemek için 1500 m³'lük iki bölmeye ayrılmaktadır.
- Membranların korunması için 0,75 mm mikroeleden geçirilmektedir.
- Biyolojik reaktör fosfor giderimi için (mixed) anaerobik tank, denitrifikasyon için sirkülasyonlu anoksik tank ve BOİ giderimi ve nitrifikasyon için aerobik tanktan oluşmaktadır.
- 4 paralel membran bölmesi bulunmakta ve her bir bölme iki kasetten oluşmakta ve ileride kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Membranlar ortalama maksimum debide 18-24 L / (m².h) olarak tasarlanmış olup arıtılmış sudan katı maddenin arıtılmasını sağlamaktadır. Biyolojik süreçte oluşan biyolojik çamur çıkışta ayrılmakta ve geri döndürülmektedir. Son olarak çıkış suyu depolanmak üzere belirlenmiş alana gönderilmektedir. Membran biyoreaktör prosesi bakteri ve diğer maddeleri tamamen giderdiği için çıkış suları doğrudan birçok endüstri ve tarımsal amaçlı kullanılabilir.

Arıtılan su havalanı yeşil alanında, tarımsal amaçlı ve soğutma kulelerinde kullanılmaktadır (Gohary, Juhari, Chouckrallah, & DVH, 2013).

4. 1. 2 Diğer Ülke Örnekleri

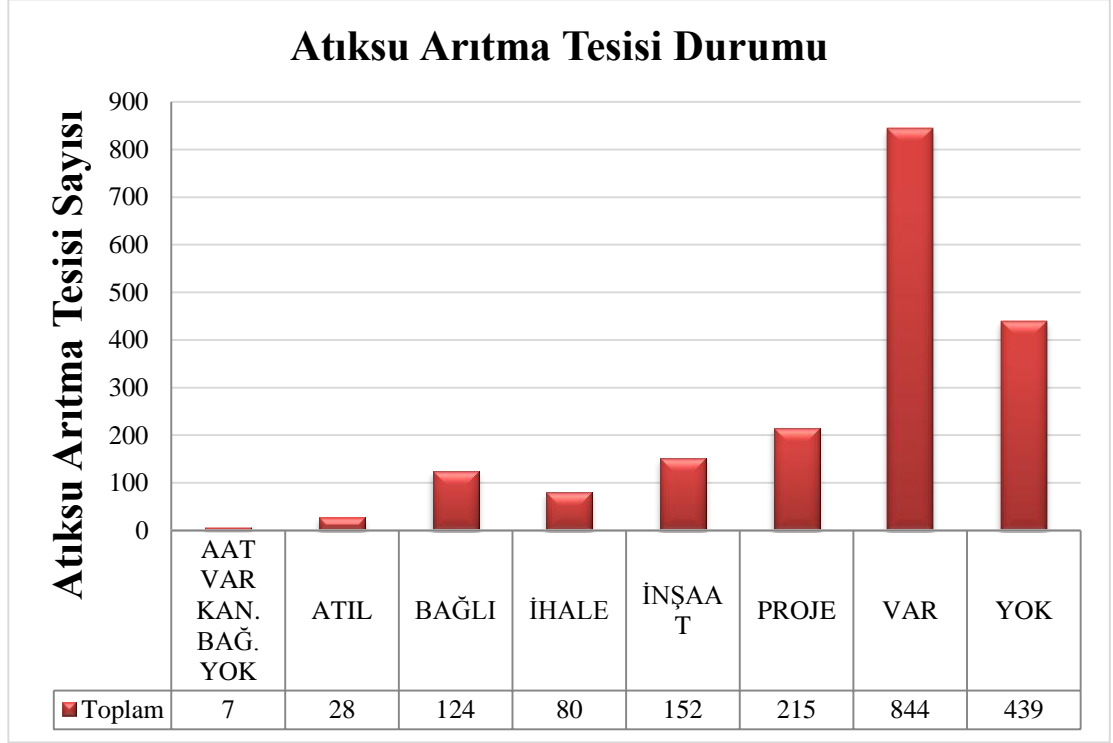
Geri kazanım uygulamalarının küresel ölçekte artmakta olduğu yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Her ülkenin geri kazanılmış sularının kullanım alanları çeşitlilik göstermekle birlikte oransal olarak da bu değerler farklıdır. Örneğin Güney Avrupa'da geri kazanılan suların %44'ü tarımsal sulamada, %37'si ise kentsel ve çevresel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu durum Kuzey Avrupa'da ise farklı olup %51 oranında kentsel ve çevresel kullanım %33 ise endüstriyel kullanım amaçlıdır. Kıbrıs'ta 20 AAT'de üçüncül arıtma ile arıtılan 6 milyon m³/yıl su sulama amaçlı kullanılmaktadır. 12 adet ikincil arıtma ile arıtılan atıksular ise sulama dışında başka alanlarda kullanılmaktadır (Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015).

Ortadoğu ve Arap ülkelerinde arıtılmış atıksuların kullanımı konusuna ilgi son yıllarda artmakta olup teknolojik olarak ilk 1950'li yıllarda Kuveyt'te başlamıştır. Ardından 60-70'li yıllarda diğer ülkelere yayılmıştır. Arap ülkelerinde arıtılmış atıksuların yeniden kullanım miktarı 1.200 milyon m³/yıl olarak belirlenmiş olup en çok bu konuda Suriye, Suudi Arabistan ve Mısır başta gelmektedir. Ancak bunun yanı sıra atıksuyun yeniden kullanımının gelişigüzel yapılması sonucunda sağlık riskleri de görülmüştür. Ürdün'ün Amman şehrinde bulunan 130.000 m³/gün kapasiteli Dünya'nın en büyük stabilizasyon havuzu ile Mısır'daki 80.000 m³/gün kapasiteli stabilizasyon havuzu ile arıtılmış atıksular sulama amaçlı kullanılmaktadır. Ürdün, Fas, Cezayir'de mekanik arıtma kullanılmaktadır. Bölgenin arıtılmış atıksu miktarı 2,6–6 milyar m³/yıl olup yarısından çoğu tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Arıtılmamış atıksu hacminin ise ne kadarının tarımda kullanıldığı bilinmemekle beraber yüksek olduğu tahmin edilmektedir (Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015).

4. 2. Ulusal Ölçekte Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Örnekleri

Türkiye'de kanalizasyon şebekesiyle hizmet verilen nüfusun belediye nüfusuna oranı 2002 yılında % 83 iken 2012 yılında % 92 olarak kaydedilmiştir. 2014 yılı verilerine göre atıksu arıtma tesisi ile hizmet verilen nüfusun toplam nüfusa oranı ise % 77'dir (ÇŞB, 2015). Ayrıca 2014 yılı TÜİK verilerine göre belediyeler

tarafından 4,3 milyar m³ atıksu deşarj edilmiştir. Deşarj edilen atıksuların % 81'i yani 3,5 milyar m³'ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan 2016 envanterine göre ise 844 adet AAT mevcuttur.



Şekil 9. 2016 Yılı Türkiye'deki Atıksu Arıtma Tesislerinin Durumu

Yapılan envanter çalışmasına göre toplam 844 adet arıtma tesisinden 340 tanesi ikincil arıtma yaparken, 180 tanesi doğal arıtma, 136 tanesi paket arıtma ve 74 tane tesis ise ileri arıtma yapmakta olup 30 tesise ait arıtma türü belirtilmemiştir (ÇŞB, 2016).

TÜİK verilerine göre Türkiye'nin 2015 yılı nüfusu 78.741.053 kişi olup belediye nüfusu 73.739.101 kişidir. Kişi başına atıksu oluşumu sızma dâhil 200L/kişi-gün olarak ve AAT'lerinde %5'lik su kaybı kabul edilmek üzere (Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015);

- 73.739.101 kişi* 200L/kişi-gün *0,95 *365 gün=5,11 x 10⁹ m³/yıl olarak bulunur.
- Üretilen bu suyun üçte ikisinin ekonomik olarak geri kazanılacağı kabulü ile bu miktar yaklaşık 3,41 x 10⁹ m³/yıl olarak bulunmaktadır. Söz konusu bu miktarın geri kazanılarak tarımda kullanılması ile yılda 3,41 x 10⁹ m³ su diğer kullanım (evsel, endüstriyel vb.) için tahsis edilebilecektir.

Türkiye’de atıksuların geri kazanımının su teminindeki faydası, maliyet analizi, teknik, ekonomik ve çevresel açıdan alternatiflerin değerlendirilmesi, yeniden kullanıma yönelik takip edilecek adımların belirlenmesi yeterli seviyede değildir. İllere göre atıksu geri kazanım durumları Tablo 2’de verilmiştir. (ÇŞB, 2015) (URL6)

Tablo 2. 2014 Yılı İllere Göre Atıksu Geri Kazanım Durumu

İL	BELEDİYE	ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI	AÇIKLAMA
Aksaray	-	Var	Sanayi atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksular sulama amaçlı kullanılmaktadır.
Aydın	Büyükşehir	Tesis içi yeşil alan	Sulamadan geriye kalan arıtılmış atıksu deşarj hattına gönderilmektedir.
Aydın	Didim	Site içi yeşil alan	Yazlık konutların yaklaşık %60’lık kısmı münferit arıtma tesislerinde arıttıkları atıksularını site içi yeşil alanların sulamasında kullanmakta olup, tesis kapasiteleri 20-100 m ³ /gün arasında değişmektedir.
Aydın	Kuşadası	Site içi yeşil alan	Yazlık konutların yaklaşık %80’lik kısmı münferit arıtma tesislerinde arıttıkları atıksularını site içi yeşil alanların sulamasında kullanmakta olup tesis kapasiteleri 20-100 m ³ /gün arasında değişmektedir.
Balıkesir	-	Bahçe sulama	Edremit ve Gömeç İlçelerindeki tatil sitelerinin bir kısmında, arıtılmış atıksular bahçe sulama amaçlı olarak yeniden kullanılmaktadır. Tatil sitelerinin atıksu arıtma tesisleri sezonluk olarak (Haziran-Eylül) faaliyet göstermektedir.

Bilecik	Bozüyük	Bahçe sulama	Tesis yalnızca bahar ve yaz aylarında bahçe sulaması yapmaktadır. Sulama amaçlı olarak günlük 60 m ³ su kullanılmaktadır.
Bitlis	Adilcevaz	Park, bahçe sulama	-
Eskişehir	İnönü	Ağaçlandırma sahası	-
İstanbul			Proses suyu, peyzaj sulama ve soğutma suyu: 7.586.525 m ³ /yıl; Riva deresi canlılığını korunması için kullanılan geri dönüşüm suyu: 20.258.230 m ³ /yıl
Kırklareli	Vize	Yeşil alan sulama	Sadece Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında yeşil alan sulaması yapılmaktadır.
Kocaeli*	İzmit	Sulama, temizlik ve proses suyu	Plajyolu AAT'nin 10.000 m ³ /gün kapasiteli arıtılmış atıksuyu hızlı kum filtresi, kanal tipi UV ve klor prosesi sonrası yeşil alan sulaması, saha temizliği, dekantör ve sanayi proses suyu olarak kullanılmaktadır.
Kocaeli*	İzmit	Sulama, temizlik ve proses suyu	Kullar AAT'nin 10.000 m ³ /gün kapasiteli arıtılmış atıksuyu arıtılmış suları hızlı kum filtresi, kanal tipi UV ve klor prosesi sonrası yeşil alan sulaması, saha temizliği, dekantör ve sanayi proses suyu olarak kullanılmaktadır.
Kocaeli*	Kandıra	Sulama ve temizlik	Kandıra Merkez AAT UV dezenfeksiyon ile 6.000 m ³ /gün kapasiteli geri kazanılmış atıksuyu yeşil alan sulaması ve saha temizliği amacıyla kullanılmaktadır.
Kocaeli*	Kandıra	Tesis içi temizlik ve yeşil alan sulaması	Kandıra Merkez AAT 6000 m ³ /gün ve Kandıra Cebeci AAT 9.000 m ³ /gün kapasiteli UV dezenfeksiyona sahip geri kazanım ünitesi çıkış suları yeşil alan sulaması ve saha temizliği amacıyla kullanılmaktadır.
Kocaeli*	Körfez	Proses suyu	Körfez AAT hızlı kum filtresi (45.000m ³ /gün) ve UV (10.000m ³ /gün) ile arıtılmış atıksuları geri kazanılmaktadır.
Kocaeli*	-		Gebze AAT hızlı kum filtresi ve UV ile arıtılmış 2.000 m ³ /gün kapasiteye sahip su geri kazanılmaktadır.
Kocaeli*	-	-	Cumaköy AAT hızlı kum filtresi ve UV ile arıtılmış 1.000 m ³ /gün kapasiteye sahip su geri kazanılmaktadır
Kocaeli*	-	-	Umuttepe AAT hızlı kum filtresi ve UV ile arıtılmış 1.000 m ³ /gün kapasiteye sahip su geri kazanılmaktadır

Kocaeli*	-	-	Akmeşe AAT UV ile arıtılmış 300 m ³ /gün kapasiteye sahip su geri kazanılmaktadır
Konya	Büyükşehir	Kent içi yeşil alan sulama	Her yıl 7 aylık sulama sezonunda 527.800 m ³ arıtılmış atıksu yeniden kullanılmaktadır.
Konya	Beyşehir	Park sulama	Tesise ait park sulamasında kullanılmaktadır.
Muğla	Bodrum	Park ve bahçe sulama	
Osmaniye	Bahçe	Park ve bahçe sulama	
Osmaniye	Düziçi	Park ve bahçe sulama	
Osmaniye	Kadirli	Park ve bahçe sulama	

* (URL10)

Yapılan envanter ve tez kapsamındaki ilavelerle Tablo 2’de açıklandığı üzere Türkiye’de atıksular geri kazanılarak çoğunlukla park, bahçe sulama ve proses suyu amacıyla kullanılmaktadır. Atıksuların arıtımı sonucu üretilen su miktarı, tesis prosesleri vb. konularda kapsamlı çalışmalar bulunmaktadır. Ancak geri kazanım ve yeniden kullanıma ilişkin yalnızca tesis veya bölge bazında çalışmalar yapılmış olup ulusal ölçekte mevcut durumun değerlendirilebilmesi için kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır.

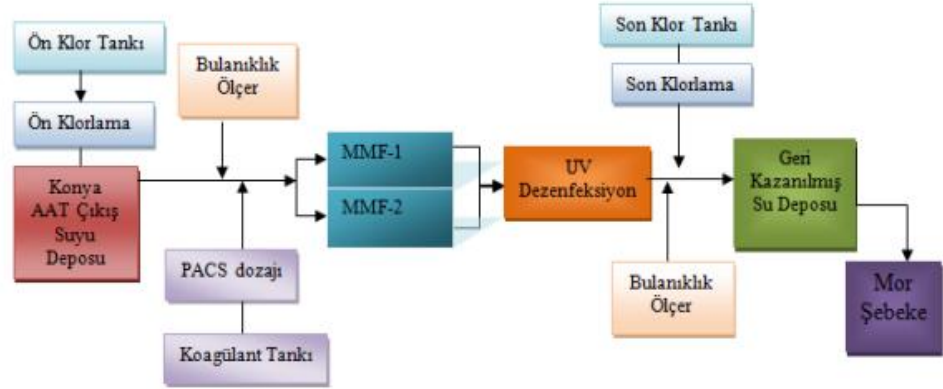
4.2.1 Konya Atıksu Arıtma Tesisinde Arıtılmış Atıksuların Yeşil Alan Sulamasında Yeniden Kullanımı (Mor Şebeke)

Su ihtiyacının artması ve kuraklık nedeniyle alternatif su kaynağı olarak arıtılmış atıksuların kullanılması amacıyla Konya Atıksu Arıtma Tesisinden çıkan arıtılmış atıksuların kentsel yeşil alan sulamasında kullanılması amaçlanmıştır.

2008 yılında yapılan fizibilite çalışması ile çıkış sularının kentsel yeşil alan sulaması veya drenaj kanallarına beslenerek rekreasyon ve tarımsal amaçlı kullanımı değerlendirilmiş olup her iki alternatifinde uygulanabilir olduğu ancak ikinci alternatifin ekonomik olarak daha uygun olduğu belirlenmiştir. 2009 yılında

işletmeye alınan ve 200.000 m³/gün kapasiteli arıtma tesisinden çıkan suların Konya Büyükşehir Belediyesi ve Karatay Belediyesi'ne ait yeşil alanlarda sulama suyu amacıyla kullanılması hedeflenmiştir. Tesis ileri biyolojik arıtma yapmakta olup çıkış sularında UV dezenfeksiyonu kullanılmaktadır (Küçükhemek, 2010).

Tesis çıkışı analiz sonuçları, kullanılacak olan sulama sistemleri de dikkate alınarak Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği ve uluslararası standartlara göre değerlendirdiğinde filtrasyon ve dezenfeksiyon ihtiyacı belirlenmiştir (Küçükhemek, 2010). Geri kazanım tesisi çok katmanlı basınçlı kum filtrasyonu, dezenfeksiyon, geri kazanılmış atıksu deposu ve mor şebekeden oluşmaktadır.



Şekil 10. Konya Atıksu Geri Kazanım Proses Akım Şeması

Çok katmanlı (çakıl, kum, antrasit) basınçlı kum filtresi ile 20 mg/L AKM değeri 5 mg/L'ye düşürülmüş olup sulama yöntemi olarak seçilen damlama ve yağmurlama sistemlerinde tıkanmalar engellenmiştir. Dezenfeksiyon ile çıkış suyunda 50 adet/100 ml olan fekal koliform değeri 0 adet / 100 ml'ye düşürülmesi ve son sulama noktasında bakiye klorsun 0,5 mg/L olması hedeflenmiştir. Böylece yeşil alan sulaması için uygun olan diğer standartların yanında uygun olmayan AKM ve fekal koliform değerleri de sağlanması hedeflenmiştir (Küçükhemek, 2010).

Ortalama 140.000 m³'lük atıksu miktarına sahip tesisten 3.600 m³'lük kısmı geri kazanım tesisine iletilmiş ve 3.200 ha kentsel yeşil alan sulamasında kullanılmıştır (Kurtkulak, 2014).

Toplamda Konya İli'nin yeşil alan miktarının %6,4'ü Karatay İlçesi'nin ise %17'sine karşılık gelmektedir. Sulama sezonu boyunca yaklaşık 528.000 m³ sudan tasarruf edilmiştir (Kurtkulak, 2014).

Tasarruf edilen suyun farklı ihtiyaçlar için kullanılmasının yanı sıra sulamaya açılmayan bölgelerin genişletileme imkânının artması, geri kazanılmış suyun içeriğinde bulunan besin maddelerinden bitkilerin faydalanarak gübre ihtiyacının azalması, sulama için maliyet oluşturan arızaların ortadan kalkması projenin diğer faydalarıdır (Küçükhemek, 2010).

4. 2. 2 Akarçay Havzasında Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanılmasının Araştırılması Projesi ve Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Tesisi

Yürütülen çalışma kapsamında Akarçay Havzasında yer alan ve tarım arazisinin büyük bölümü sulanamayan Afyonkarahisar İli Merkez Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının tarımda kullanılmaya elverişli kaliteye getirilmesi araştırılmıştır.

Arıtma tesisi çıkış analizleri ve kanalizasyon sisteminin farklı noktalarından alınan numuneler sonucunda yapılan değerlendirme ile geri kazanım sistemi mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca AATTUT'ne göre yapılan değerlendirme sonucunda pilot tesiste yapılacak çalışma ile ultrafiltrasyon sonrası ters ozmoz sistemi gerekliliğinin de olabileceği belirtilmiştir.

Çeşitli bölgelerde yapılan analizlerde çöp sızıntı sularının kanalizasyon sistemine verilmeden arıtılması gerektiği, mevcutta endüstriyel deşarjdan kaynaklı ağır metal ve toksik maddelerin sınır değerinin altında kaldığı ancak gelişmekte olan sanayi nedeniyle kaynaklanacak deşarjlar öncesi ön arıtım yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Atıksu arıtma tesisi çıkış suyu tuzluluk, sodyum, klorür, toplam çözünmüş madde ve SAR parametreleri açısından II. sınıf su kalitesi özelliği göstermekte olup birçok tarımsal ürünün yetiştirilmesi mümkün olduğu fakat endüstriyel tesislerden, otellerden ve hastanelerden kaynaklı atıksu girişi, yetiştirilmesi muhtemel ürün ve sulama suyu kalitesine etkisi bakımından sınırlama oluşturabileceği belirlenmiştir (Afyonkarahisar AAB, 2014).

Projede arıtma tesisinden çıkan ve sulama dönemi dışında depolanmayacak 44.000 m³'lük geri kazanılmış su ile sulama yapılması öngörülmüştür. Afyonkarahisar ili iklim, toprak ve bitki koşulları dikkate alınarak geri kazanılmış suyun 4.740 da'lık alanda kullanılabileceği hesaplanmıştır.

Bölgede kuru tarım yapılmakta olup projenin uygulanması ile sulamaya açılacak alanlarla birlikte arpa, buğday, şeker pancarı, silajlık mısır ve yonca yetiştirilebileceği belirlenmiştir.

Mevcutta kuru tarımdan elde edilen buğday ve fiğın yıllık net gelir 425 bin TL bulunmuş olup sulamaya açılma durumunda ise arpa, buğday, şeker pancarı, silajlık mısır ve yonca'dan elde edilecek toplam gelir ise 1.037 bin TL olarak hesaplanmıştır (Afyonkarahisar AAB, 2014).

4.2.3 Ergene Havzasında Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılmasının Uygulanabilirliğinin Araştırılması Projesi

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından 2014 yılında tamamlanan proje ile, Ergene Havzası'ndaki 13 adet evsel atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtılmış atıksuların sulamada kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda;

- Havzada yetiştirilen ürünler ve bitki su ihtiyaçları tespit edilmiş,
- Arıtma tesisi yakınında yetiştirilebilecek ürünlerin su ihtiyaçları belirlenmiş,
- Arıtma tesisi çıkış suları analiz edilerek sulamada kullanılabilirliği değerlendirilmiş,
- Sulamada kullanılabilmesi için gerekli proses ilaveleri belirlenmiş,

- Sulama dışındaki dönemlerde biriktirme alanları ve hayvan su ihtiyacını karşılaması amacıyla kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Proje sonucunda, arıtılmış sularda BOİ, fekal koliform ve bulanıklık parametrelerinin sulama için sınırlayıcı olduğu görülmüştür. Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılabilmesi için tesislere filtrasyon (hızlı kum filtresi) ve dezenfeksiyon (UV radyasyonu) ünitelerinin ilave edilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Havzada bulunan arıtma tesisleri tarım arazileri içerisinde dere, nehir ve göletlerin yakınına inşa edilmiş olduğu ve Mayıs-Eylül aylarında arıtılmış atıksuların sulamada kullanılabilmesi için ilave kanal veya boru hatlarının yapılmasına ihtiyaç duyulmadığı belirlenmiştir.

Ayrıca, Mayıs-Eylül ayları arasında (5 ay süreyle) arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması halinde araziye besi elementleri katkısı ve gübre ihtiyacının karşılanması ile gübre azaltım oranları da belirlenmiştir. Böylece, Trakya'da su ihtiyacı fazla olan çeltik üretiminin yapıldığı Keşan, Hayrabolu ve Uzunköprü'de arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması ile ihtiyaç duyulan gübre miktarlarının minimuma indirgeneceği tespit edilmiştir (Çakmakçı, Özkaya, & Kanat, 2014).

V. ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMSAL SULAMADA KULLANIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Atıksuların tarımsal sulama amacıyla kullanılması planlanırken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bu bölümde atıksuyun içeriğinde bulunan bazı parametrelerin sulamada kullanım açısından etkilerine, sulama sistemlerinin geri kazanılmış suya uygunluğuna ve sulanması planlanan ürün deseninin seçimi konusunda değerlendirmelere yer verilmiştir.

5. 1. Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Kullanımı için Kalite Değerlendirmesi

Arıtma tesisi çıkış sularının çeşitli amaçlarla yeniden kullanılabilmesi için yeterli kaliteye getirilerek uygulanması gerekmektedir. Çeşitli nedenlerle incelenmesi gereken başlıca kalite parametreleri; patojenler, tuzluluk, sodyum oranı, eser elementler, atıksudaki katı maddeler, bitki için toksik olabilecek maddeler olarak saymak mümkündür. Bu parametreler insan sağlığı, bitki gelişimi, toprak geçirgenliği açısından değerlendirilmiştir.

5. 1. 1 Patojenler

Arıtılmış atıksuyun tarımsal sulamada kullanılabilmesi için dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biri patojenlerden kaynaklı risklerdir. Atıksuların içeriğinde bulunan bu patojenlerin etkisi kısa sürede ortaya çıkabildiği gibi şiddeti ise temas potansiyeline göre değişmektedir. Arıtılmamış atıksuların sulamada kullanılması ile hastalık risklerinin artmasına neden olduğu bilinmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalar ile atıksularla ilişkili olan en yaygın hastalık etmenleri ve neden oldukları hastalıklar belirlenmiştir (Kukul, Çalışkan, & Anaç, 2007).

Atıksu ile sulama durumunda risk altındaki gruplar ise;

- Tarım arazisi çalışanları ve aileleri,
- Mahsul toplayan kişiler,
- Tüketiciler,

- Atıksu sulaması yapılan arazi civarında yaşayanlar olarak belirlenmiştir. (Başkan, 2006).

Tablo 3. Atıksuyla Sulamadan Kaynaklı Patojenik Organizmaların Hastalık Oluşturma Etkileri ve Epidemiyolojik Özellikleri

Patojen	Çevredeki Dayanıklılığı	Minimum Bulaşıcı Doz	Bağışıklılık	Rastlantısal Bulaşma Rotası	Gizlenme/Toprakta Gelişme Safhası
Virüsler	Orta Süre	Düşük Seviyede	Yüksek	Genelde Evde Yiyecek ve Su ile Temas	Yok
Bakteriler	Kısa- Orta Süre	Orta- Yüksek Seviyede	Düşük-Orta	Genelde Evde Yiyecek ve Su ile Temas	Yok
Protozoa	Kısa Süre	Düşük- Orta Seviyede	Hiç-Az	Genelde Evde Yiyecek ve Su ile Temas	Yok
Helmintler	Uzun Süre	Düşük Seviyede	Hiç- Az	Genelde Evin ve Yiyeceğin Dışında Toprak ile Temas	Var

Patojenlerin toprakta hayatta kalma süreleri farklı koşullara göre değişmektedir. Helmint (bağırsak solucanları-kurtlarının larvaları) grubunda yer alan patojen doğal koşullarda en dayanıklı olanıdır. Genellikle düşük sıcaklıklarda ve yağışlı iklimlerde patojenlerin hayatta kalma süreleri daha uzundur. Kurak ve yarı kurak iklimlerde toprak ve iklim koşulları patojenlerin ölmesi veya etkisiz hale gelmesini sağlamaktadır (Kukul, Çalışkan, & Anaç, 2007). Helmintler, toprak ile temas olduğu durumlarda bulaşıcılığı yüksek olup helmintlerin dışındaki diğer patojenlerde ise bulaşıcılık insanlara evlerindeki yiyecekler vasıtasıyla olmaktadır.

(Başkan, 2006). Bağışıklığı düşük olan helmintler ve protozolar yeterli arıtma ile giderimi söz konusu olup arıtma sonrası giderimin izlenmesi önemlidir.

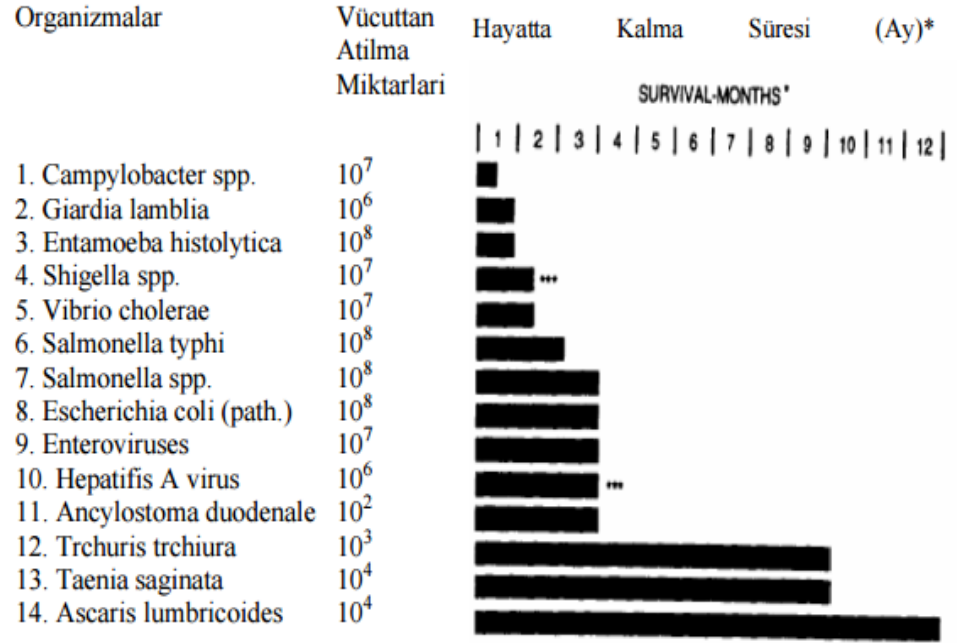
Bazı dışkı kökenli patojenlere ait toprak ve bitki yüzeyinde kalma süreleri aşağıdaki Tablo 4’de verilmiştir (Kukul, Çalışkan, & Anaç, 2007).

Tablo 4. Bazı Dışkı Kökenli Patojenlerin Hayatta Kalma Süreleri

Patojen	Hayatta Kalış Süresi (20-30°C)	
	Toprakta	Bitki Yüzeyinde
Virüsler		
Enterovirüsler ^a	<100gün, genellikle <20 gün	<60 gün, genellikle <15 gün
Bakteriler		
Fekal koliform	<70 gün, genellikle <20 gün	<30 gün, genellikle <15 gün
Salmonella spp.	<70 gün, genellikle <20 gün	<30 gün, genellikle <15 gün
Vibro kolera	<20 gün, genellikle <10 gün	<5 gün, genellikle <2 gün
Protozoa		
Entamoeba histolytica kistleri	<70 gün, genellikle <20 gün	<10 gün, genellikle <2 gün
Helmitler		
Ascaris lumbricoides yumurtaları	Aylarca	<60 gün, genellikle <30 gün
Kancalı kurt larvaları	<90 gün, genellikle <30 gün	<30 gün, genellikle <10 gün
Taenia saginata yumurtaları	Aylarca	<60 gün, genellikle <30 gün
Trichuris trichiura yumurtaları	Aylarca	<60 gün, genellikle <30 gün

^aPolio-, echo- ve coxsackievirüsleri kapsar

Metabolizma sonucu atılan patojenler ve hayatta kalma süreleri incelendiğinde Giardia, Salmonella, E.Coli, Vibrio kolera gibi patojenler yüksek dozda ortama atılmaktadır. Ancak hayatta kalma süreleri Trichuris trichiura, Taenia saginata ve Ascaris lumbricoides patojenlerine oranla daha düşüktür. Yeniden kullanımın yüksek olduğu ülkelerde Shigella, Salmonella, Giardia, Vibrio kolera gibi patojenlere ilişkin sınırlama getirilme eğilimi artmaktadır (Başkan, 2006).



* 20° 30°C de bulaşıcı evre tahmini ortalama yaşam süresi

** Tipik ortalama organizma sayısı/gm diski

*** Yaklaşık sekli

Şekil 11. Atıksu ile Ortama Geçen Organizmaların Hayatta Kalma Süreleri

Türkiye’de AATTUT’ne göre sulamada kullanılacak arıtılmış atıksular için; ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri ve insanların bitki veya çim ile temasının olabileceği park bahçe gibi kentsel alanların sulamasında kullanılacak sulama suyunda fekal koliform bulunmamalıdır. Ayrıca hiçbir numunede 14 ad/100 mL’yi geçmemelidir.

Ticari olarak işlenen gıda ürünleri, girişi kısıtlı sulama alanları, gıda ürünü olmayan bitkiler için mikrobiyolojik kalite daha düşük olabilmektedir. Bu durumda fekal koliform değeri <200 ad/100 mL (hiçbir numunede 800 ad /100 mL’yi geçmemeli) olarak sınırlandırılmıştır. Mikrobiyolojik kalite dikkatle takip edilmeli ve günlük olarak izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, tebliğe göre bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir ifadesi yer almaktadır.

SKKYK'ye göre ise, sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesinin e.coli sayısına göre bitki kalitesi üzerine etki ve uygulama yöntemlerine yer verilmiştir. Sulama suyunda <1 e.coli sayısı/100 mL değeri bitkide çok düşük etkiye sahip, tüm bitki ve tüm sulama yöntemleri için uygundur olarak belirlenmiştir.

Ayrıca yeniden kullanımında yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak yenilebilen her tür gıda ürünü için fekal koliform 0/100 mL (hiçbir numunede 14/100 mL yi geçmemeli), yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve insani tüketim maksatlı ticari olarak işlenen her tür gıda ürünü ve yem, elyaf ve tohum bitkilerini içeren, insanlar tarafından besin olarak tüketilmeyen bitkiler ya da mera, ticari fidanlıklar ve çim ekim alanları için fekal koliform ≤ 200 ad/100 mL (hiçbir numunede 800 /100 mL'yi geçmemeli) olarak sınırlandırılmıştır. Ayrıca, önerilen koliform sınırları son 7 günde tamamlanan biyolojik tahlil değerlerinin ortalamasıdır. Koliform değerleri günlük olarak izlenmelidir. Yönetmelikte 'Ticari olarak işlenen gıda ürünleri; pazarlama öncesi patojenleri yok etmek için gerekli düzeyde kimyasal veya fiziksel prosese tabi tutulan ürünlerdir.' olarak tanımlanmaktadır.

5. 1. 2 Tuzluluk

Tarımda kullanılacak su için en önemli parametrelerden biri de tuzluluktur. Elektriksel iletkenliğin kolay ölçülmesi ve sudaki tuz miktarı ile doğrusal ilişkisi olması nedeniyle suyun tuz içeriği bakımından kalitesi elektriksel birimler olarak verilmektedir (Özer, 2015). Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağlı konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ölçüm sıcaklığına bağlı olup suyun iletkenliği ölçülerek, sudaki iyon miktarı yaklaşık olarak tayin edilebilir. (EÜ, 2014).

Topraktaki tuzluluğun oranı su kalitesi, toprak geçirgenliği, organik madde içeriği, toprak drenajı ve taban suyu derinliği gibi diğer faktörlere de bağlıdır. Bütün bu nedenlerden dolayı topraktaki tuzlulaşma oranını tahmin edebilmek zordur. Tuzluluğun toprak üretkenliğine etkisi 4 yönlüdür.

- Yüksek tuz içeriği kök bölgesindeki osmotik basıncı değiştirir.
- Spesifik iyon (Sodyum, Bor, Klorür) toksisitesine neden olur.
- Sodyum, Klorür, Sülfat ile mücadeleden dolayı gerekli nütrientlerin bitkiye alımını engelleyebilir.
- Gözeneklerin tıkanması ve toprak ayrılmasına sebep olarak toprak yapısına zarar verebilir. Topraktaki Kalsiyum, Magnezyum konsantrasyonu ile ilgili olarak, sudaki yüksek Sodyum konsantrasyonu ve düşük tuzluluğa sahip sular bu durumu daha da tetikleyebilir (WHO, 2006). Bu durum SAR ile açıklanacaktır.

Toprakta biriken tuzlar toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini bozarak bitki gelişimine zarar verebildiği gibi yetiştirilen bitkinin verimi bitkinin tuza dayanımıyla da yakından ilgilidir. Çözünebilir tuzların bitki bünyesine alınması ve gereğinden fazla olması durumunda zehirleyici etki yapmaktadır (Ekmekçi, Apan, & Kara, 2005).

Toprakta yeterli miktarda su bulunması durumunda bile bitkilerin zarar görmeye başladıkları belirlenmiş olup bu duruma ‘fizyolojik kuraklık’ adı verilmektedir. Bunun nedeni yüksek osmotik basınç nedeniyle bitki köklerinin mevcut suyu alamamasıdır (Ekmekçi, Apan, & Kara, 2005).

Bitkilerin tümü tuzluluğa karşı aynı tepkiyi göstermeyip bazı bitkiler hassas iken bazıları tuzlu topraktaki suyu alabilmek için osmotik etkiye karşı daha fazla güç geliştirebilirler. Bu durum özellikle toprak tuzluluğunun belli bir düzeye düşürülemediği durumlarda ekonomik olarak ürün verebilecek bitkilerin seçimi açısından önemlidir. Bitkilerin tuza dayanımları, iklim koşulları, toprağın nem durumu, tuz çeşidi ve ortamdaki diğer tuzlara göre farklılaşmaktadır. Aynı zamanda bu duyarlılık bazı bitkilerde ekim ve ilk gelişme dönemlerine göre de farklılık göstermektedir (Ekmekçi, Apan, & Kara, 2005).

Ulusal mevzuatta bitkilerin tuzluluğa olan hassaslıklarına yer verilmiştir. TÇM > 2000 mg/L toleranslı, TÇM 1500-2000 mg/L orta toleranslı, TÇM 1000-1500 mg/L orta hassas ve TÇM 500-1000 mg/L hassas olarak ifade edilmiş ve tarla bitkileri, sebzeler, çayır bitkileri ve meyveli ağaçlar için hassasiyete yer verilmiştir.

5. 1. 3 Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

Bazı bitkilerin büyümesinde yararlı olan sodyum temel bitki besini olarak kabul edilmemektedir. Sodyum içeren su ile sulanmış ürünlerde sadece kökten emilim olmayıp yapraktan emilimde olmakta buda yaprak yanığına sebep olabilmektedir.

Topraktaki sodyumun etkisi SAR ile belirlenir. Ayrıca, toprak bünyesindeki suda ve sulama suyunda sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek SAR değeri tuzluluğun yüksek olduğuna işaretir (Başkan, 2006).

Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak partikülleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu durumda, topraktaki porozite azalmakta ve büyük boşluklar tıkanmaktadır. Böylece, su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir. Sodyum oranı, SAR ile gösterilmektedir. SAR, suyun sodyum (veya benzer alkaliler) açısından zararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılmakta ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

*Birimler: me/L

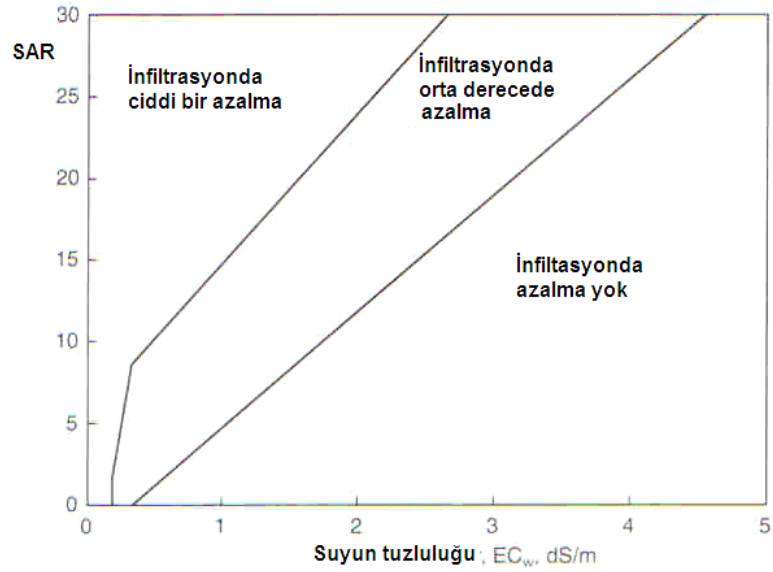
SAR değeri yerine son zamanlarda, revize edilerek tadil edilmiş SAR değeri (SAR_{Tad}) olarak önerilmiştir. Ca^{+2} çözünürlüğünün, sudaki HCO_3 konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenliği dikkate alınarak Ca_x değeri kullanılmaktadır. Ca_x , HCO_3/Ca ve EC'ye bağlı olarak değişmektedir.

$$SAR_{Tad} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}}$$

*Birimler: me/L

SAR ve SAR_{Tad} arasında çok önemli bir farklılık olmayıp SAR daha yaygın olarak kullanılmaktadır. SAR yerine, SAR_{Tad} değerinin kullanılması, su kalitesi ve topraktaki kimyasal karakteristiklerinin, kalsiyum dengesini bozabileceği durumlarda

tavsiye edilmektedir. Yüksek alkaliniteli sular, konsantrasyon dengesini bozabilmekte ve yüksek SAR_{tad} değerleri vermektedir. SAR ve EC'nin topraktaki infiltrasyon üzerindeki etkisi Şekil 12'de verilmiştir. SAR ve EC'nin bilinmesi ile topraktaki sızma problemi konusunda bilgi sahibi olunabilmektedir. Topraktaki kalsiyum oranının, magnezyuma göre daha yüksek olması tavsiye edilmektedir. Topraktaki geçirimsizliği düzenlemek üzere, kalsiyum sülfat (CaSO₄) kullanılmaktadır. Kalsiyum sülfat, toprağa direkt olarak veya sulama suyu içerisine karıştırılarak uygulanabilmektedir (SKKYK).



Şekil 12. SAR ve EC'nin İnfiltrasyon Üzerindeki Etkisi

Sulama suyunun toprakta kullanım kısıtlamasına SAR ve iletkenliğin birlikte değerlendirilmesiyle karar verilmektedir. Bu durumda SKKYK genel sulama suyu kriterlerine göre 20-30 aralığındaki yüksek SAR değerinde kullanım kısıtlamasının olmaması için iletkenlik >5,0 dS/m olmalıdır. Ancak bu durumda yüksek SAR değeri uzun vadede toprağın zarar görmesine neden olur. Ayrıca yüksek iletkenlik değeri de bitki üzerinde zararlı olmaktadır.

5. 1. 4 Artıksal Sodyum Karbonat (RSC)

Artıksal Sodyum Karbonat(RSC), topraktaki sodyum olasılığını önceden tahmin etmeye yarayan bir kavramdır. Ayrıca sulamada kullanılan suyun karbonat ve bikarbonat içeriğinin tehlike etkisinin tespiti için kullanılmaktadır. Toprakta sodikleşmeye neden olan yüksek RSC sulama suyunda istenilmemektedir. Toprakta sodyum oranı yükseldikçe toprak geçirgenliği azalır ve toprağın havalanması güçleşir. Toprak ıslanınca yapışkan, kuruyunca da çatlaklı ve kabuklu bir yapı kazanır (Çeliker, 2008).

RSC aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmakta ve sulamada uygunluğu için Tablo 5’de verilen sınıfa göre belirlenmektedir.

$$\text{RSC (meq/l)} = (\text{HCO}_3^{-2} + \text{CO}_3^{-2}) - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$$

Tablo 5. RSC İçeriğine Göre Sulama Suyu Sınıfı

RSC (meq/l)	Tehlike Boyutu
<0	Yok
0-1,25	Düşük, sulama suyundan bir miktar kalsiyum ve magnezyum giderilmesi ile
1,25 -2,5	Orta, sulama suyundan kayda değer miktarda kalsiyum ve magnezyum giderilmesi ile
>2,5	Yüksek, kalsiyum ve magnezyumun çoğunun çökerek sodyumu birikmesine sebebiyet verir

Tablo 5’e göre RSC değerinin 2,5’den büyük olması durumunda sulama suyu açısından uygun olmadığı görülmektedir. RSC değerinin negatif olarak çıkması durumunda kalsiyum ve magnezyum miktarlarının çökelmeye yetecek miktardan daha fazla olduğunu ve sodyum birikmesinin olası olmadığı anlamına gelmektedir (TÜBİTAK MAM, 2016).

Sulama suyu yüksek konsantrasyonda bikarbonat içeriyorsa, toprak çözeltisinin daha konsantre hale gelmesi durumunda, kalsiyum ve magnezyum karbonat olarak çöker. Böylece toprak eriyiğinde kalsiyum ve magnezyum azalarak sodyum oranı artar. Baskın duruma geçen sodyum iyonları zarara sebep olur. Ayrıca bitkilerin bikarbonat iyonuna dayanıklılığı türden türe göre farklılık göstermektedir (Özer, 2015).

5. 1. 5 Ağır Metaller ve Toksik Elementler

Tarımsal ürünlerin sulanması amacıyla kullanılacak suların ağır metal ve toksik element içeriği toprakta birikme ve yıkanarak yüzey ve yer altı suyuna geçmenin yanında bitkiler için de önemlidir.

Bütün bitkiler topraktan ve sudan büyüme ve gelişimleri için gerekli olan ağır metalleri alabilmektedir. Bunların bitkiler tarafından alınma miktarları farklıdır. Bazı bitkiler ise biyolojik fonksiyonu bilinmeyen ağır metalleri biriktirebilmektedirler. Bitkinin besin iyonları alımı seçici olmasına rağmen ağır metaller bitki bünyesine pasif yollarla geçebilmektedir. Bu da bitkilere ve bitkilerle beslenen insan ve hayvanlara toksik etkiler yapabilmektedir (Okcu, Tozlu, Kumlay, & Pehlivan, 2009).

Ağır metallerin bitki bünyesine alınabilirliği $pH < 5.5$ olan asidik toprak koşullarında artış göstermektedir. Tarımsal sulama için gerekli kurak ve yarı kurak bölgelerde toprağın pH değeri 6.5-8 arasında olup hafif alkalidir. Böylece toksik kimyasalların bitkilerce alımı zorlaşmaktadır (Kukul, Çalışkan, & Anaç, 2007).

Evsel atıksulardaki eser elementlerin konsantrasyonu genellikle düşük miktarda olup evsel atıksulara endüstriyel deşarjların olduğu durumlarda bu miktar artmaktadır. Bu nedenle endüstriyel kaynaklı arıtılmış suyun kullanılacağı durumlarda sulama için konsantrasyonların uygunluğuna dikkat edilmelidir. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda ve pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığı durumlarda izin verilen maksimum konsantrasyon değerleri ulusal mevzuatta yer verilmiştir.

5. 1. 6 Toksik Organik Bileşikler

Ham atıksuda çeşitli toksik organik bileşikler bulunabilmektedir. Evsel nitelikli atıksu genellikle düşük toksik organik içeriğe sahipken endüstriyel deşarj, tarımsal yüzey akışı (pestisit veya onun kalıntılarını içeren), kirlenmiş topraklardan sızmalar vb. gibi etkenlerle bu konsantrasyonlar artabilir. Bu bileşikler arasında

endüstriyel kaynaklı, pestisitler, petrol bileşenleri, dezenfeksiyon yan ürünleri veya onun öncülleri, hormonlar ve farmasötikler bulunmaktadır. Bu kirleticiler kanserojen, teratojenik veya mutajenik etkilere sahip olabilir. Ayrıca bunlardan bazıları insan ve hayvanlarda endokrin bozucu olabilmektedirler. Eğer tarımsal amaçlı suyun kullanımı öncesinde arıtma yapılırsa bu bileşiklerin konsantrasyonu azalacaktır. Ayrıca bu bileşenlerin yüksek molekül ağırlığı ve büyüklüğünden dolayı bitkiler tarafından absorblanması mümkün değildir. Ancak atıksuyla sulanması durumunda bitki yüzeyinden iletilebilmesi mümkündür (WHO, 2006).

Ön arıtma yapılması veya endüstriyel atıksuların sistemden ayrılması, endüstrilerde temiz üretimin teşvik edilmesi, toksik bileşiklerin daha az kullanılması için toplumun bilgilendirilmesi şeklinde önlemler alınabilir (WHO, 2006). Bu bileşiklerle ilgili ve hangi arıtma tekniği ile giderimin etkin olduğu konusunda daha fazla çalışma yapılmalıdır.

5. 1. 7 Nütrientler

Bitki için azot, fosfor, potasyum önemli nütrientlerden olup atıksu ve geri kazanılmış atıksu içeriğinde bulunmaktadır. Azot ve fosfor arıtılmış suda yeterli miktarda bulunmakta ve bitki gelişimini etkilemektedir. Bitki büyümesini teşvik eden azot sulama suyunda çoğunlukla amonyum nitrat şeklinde olup katı gübre etkisine sahiptir. Ancak aşırı miktarda azot bitkilerin büyümesi ve olgunlaştırmasını geciktirmektedir. Örneğin, azota karşı hassas olan şeker pancarı aşırı azota maruz kaldığı durumda fazla büyür, şeker içeriği ve saflığı düşer sonuç olarak da birim alandan elde edilebilecek verim ve kalite düşer (Erdoğan & Dağdelen, 2012).

Fosfor miktarının fazla olması bitkiler için olumsuz etki oluşturmamakta, ancak yüzey sularına karışma durumunda olumsuz etki oluşturmaktadır (Başkan, 2006).

5. 1. 8 Askıda Katı Maddeler

Tercih edilecek sulama sistemlerini tıkayabileceği için suda bulunan askıda katı maddeler (AKM) sınırlayıcı olmaktadır. Çoğu sulama sisteminde 30 mg/L AKM konsantrasyonunu tolere edilebilir. Bunun yanı sıra sulama sistemlerinin tıkanmasında; sıcaklık, güneş ışığı ve debi gibi diğer faktörlerinde etkilidir (AATTUT, 2010). Özellikle verimin yüksek olduğu damla sulama sistemleri tercih edileceği durumda tıkanmaya sebep olabilecek kalite kriterlerine AATTUT’de yer verilmiştir. Ayrıca, geri kazanılması planlanan atıksuda verimi etkileyeceğinden dolayı dezenfeksiyon öncesi bulanıklık değerine dikkat edilmelidir.

5. 1. 9 Özgül İyon Toksikitesi

Yüksek konsantrasyonlarda bitki için toksisiteye sebep olabilen iyonlardan başlıcaları sodyum, klorür ve bordur. Sodyum, öncelikle kök ve gövdenin alt kısmında birikir ve uzun ve yüksek konsantrasyonlarda zararlı etkilerini göstermeye başlar. Yüksek sodyum SAR ve klorun bitki üzerinde etkilerini ayırmak zordur. Yüksek klorda yaprak uçlarında yanma olurken yüksek sodyumda ilk olarak yaprağın kenarları yanmaya başlar. Sodyumun yüksek olması aynı zamanda toprak yapısını bozduğu için dolaylı olarak bitkinin de gelişimini engeller (Erdoğan & Dağdelen, 2012) (URL12). Klor, toprak tarafından absorbe edilmediğinde bitki tarafından topraktan kolayca alınır. İlk belirtisi yaprak ucu ve kenarlarından başlayarak yanma sonrasında kuruma ve yanıklar şeklindedir. Klor toksisitesinin sebep olduğu zarar çok hızlı ve şiddetlidir (Erdoğan & Dağdelen, 2012) (URL12).

Bitkilerin normal gelişmeleri için az bir miktar bora ihtiyaçları vardır. Ancak zehirlilik göstereceği miktar ile gerekli olan miktar arasındaki sınır çok dardır. Bazı bitkilerin ihtiyaç duyduğu bor değeri diğer bitki için toksik etki yapabilmektedir. Bor zehirlenmesine karşı direnç mevsime ve hava şartlarına göre de farklılık göstermektedir. Bitki üzerindeki etkisini ilk olarak yaşlı yapraklarda sararma, beneklenme ve yaprak ucundan kenarlara doğru kuruma şeklinde göstermektedir (Erdoğan & Dağdelen, 2012).

VI. ARITILMIŞ ATIKSULARIN SULAMADA KULLANILMASINA İLİŞKİN ULUSAL VE ULUSLAR ARASI DÜZENLEMELER

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımının uygunluğunun değerlendirilmesinde sınırlayıcı olan önemli parametreler, sulama yöntemleri ve bitki hassasiyeti konusuna beşinci bölümde yer verilmiştir. Bu doğrultuda hem Türkiye’de hem de Dünya’da uygulama konusunda sınırlayıcılara ilişkin standartlar belirlenmiş olup bu bölümde açıklanmıştır.

6.1. Ulusal Mevzuat

6.1.1. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

Ülkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi bir biçimde kullanımının sağlanması için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esaslarını belirlemek amacıyla Mülga Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan ‘Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’ 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Söz konusu yönetmelik ile, arıtılmış atıksuların sulamada kullanımına ilişkin Madde 28’de ‘Sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıdığı yörelerde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği’nde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlayacak derecede arıtılmış atıksuların, sulama suyu olarak kullanılması teşvik edilir. Bu amaçla uygulanacak ön işlemler ve yapılması gereken incelemeler Teknik Usuller Tebliğine göre yapılır. Bir atıksu kütlesinin bu tür kullanımlara uygunluğu, Valilikçe İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, İl Tarım Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri Bölge Müdürlüğü’nden oluşturulacak komisyonca belirlenir.’ hükmü yer almaktadır. 7 Ocak 1991 tarihi 20748 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan ‘Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği’ 20 Mart 2010 tarihi 27527 sayılı Resmi Gezete’de yayımlanan ‘Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’ ile yürürlükten kaldırılmıştır.

6.1. 2. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği(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 hazırlanmış olup tebliğin yedinci bölümünde ise arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımına ilişkin düzenlemeler yer almaktadır.

Bölümde arıtılmış atıksuların kullanım alanları, geri kazanım tesisinin yeri, depolanması, teknoloji seçimi ve sulama suyu olarak kullanım kriterleri yer almaktadır.

Tablo 6. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımına İlişkin Düzenlemeleri

BÖLÜM	MADDE	TABLO	AÇIKLAMA
Atıksu Geri Kazanımı için Teknoloji Seçim	21(1)	Tablo E7.10	Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler
		Tablo E7.12	Atıksu geri kazanım amacı ve uygulanabilecek teknolojiler
	21 (2)	Tablo E7.11	Değişik arıtma sistemlerinin logaritmik mikroorganizma giderim verimleri
	21 (3)	Tablo E7.13	Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler
		Tablo E7.14	Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılmayacağı
		Tablo E7.1 Tablo E7.2	Evsel nitelikli atıksuların Tablo E7.1' de belirtilen parametrelerin temelinde

Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Kullanım Kriterleri	22(1)	Tablo E7.3 Tablo E7.4 Tablo E7.5 Tablo E7.6	yapılan analiz sonucuna göre aynı Tablo'nun Sınıf A veya Sınıf B bölümünde belirlenen alanlarda ve bitki türlerinde sulama suyu olarak kullanılmasına izin verilir. Kentsel nitelikli atıksularda Tablo E7.1'e ilaveten Tablo E7.2'de belirtilen parametreler temelinde yapılacak analiz sonuçlarına göre Tablo E7.3, Tablo E7.4, Tablo E7.5 ve Tablo E7.6'da belirtilen bitkilerin hassasiyet durumları da sulamada dikkate alınır.
	22(2)	Tablo E7.1, Tablo E7.2 Tablo E7.7	Sanayi tesislerinden kaynaklanan atıksuların Tablo E7.1, Tablo E7.2 ve Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği EK-III'de bulunan sektörler hariç Tablo E7.7'de belirtilen parametreler temelinde yapılacak analiz sonuçlarına göre yapılacak değerlendirme neticesinde sulama suyu olarak kullanılmasına izin verilir.
Sulama suyu kriterleri ile ilgili detaylı bilgiler Ek 7'de verilmiştir.			

6.1.3. Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı

Sulamada kullanılan su kaynaklarının kalitesinin izlenmesi, iyi durumda olanların korunması, uygun kalitede olmayanların iyileştirilmesinde alınacak tedbirlerin belirlenmesi, kullanılmış sulardan alıcı ortamların korunması, bu suların kalitesinin iyileştirilmesi, başta sulama suyu olmak üzere yeniden kullanılması için

gereken kalite kriterlerine ilişkin usul ve esasları düzenlemek maksadıyla Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından 2014 yılında yönetmelik taslağı hazırlanmıştır.

Yönetmelik taslağının Ek 1’inde genel sulama suyu kriterlerine, sulamada kullanılacak sulara kabul edilebilen maksimum eser element konsantrasyonlarına, sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesine, bitkilerin tuzluluğa karşı hassasiyetlerine ilişkin standartlara yer verilmiştir. Ek 2 ‘de; kullanılmış suların kullanım alanları, yeniden kullanımı için uygulanması gereken arıtma tipleri ve yeniden kullanılması için gerekli sınır değerlere, kullanılmış suların, yeraltı ve yerüstü sularında biriktirme maksatlı kullanımı için gerekli kalite kriterlerine, yeniden sulamada kullanılacak drenaj suyu kalitesi için sağlanması gereken maksimum değerlere, hayvanların içme suyu kullanımı için gerekli kalite kriterlerine yer verilmiştir. Ek 3’de sodyum adsorbsiyon oranı (SAR)’ın hesaplanmasına ve Ek 4’de ise zirai sulama alanlarından dönen drenaj sularının sulamada yeniden kullanılmasında uygulanabilecek metotlara yer verilmiştir.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği ve Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı’nda yer alan ve arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımında çeşitli amaçlarla sulamada kullanılacak suda yapılması gerekli analizler irdelendiğinde;

- pH
- BOİ₅
- Bulanıklık
- Fekal Koliform
- AKM
- İletkenlik
- TÇM
- SAR
- Na
- Cl
- Ağır Metaller ve toksik elementler için standartlara yer verilmiştir.

Bu parametrelerin yanı sıra Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’nde geri kazanılmış atıksuda olabilecek nütrient seviyeleri ve Fekal Koliform, Salmonella, Cyryptosporidium, Giardia, Enterik Virus için değişik arıtma

sistemlerinin mikroorganizma logaritmik giderme verimleri ve damlatmalı sulama için tıkanmayı etkileyen su kalite kriterlerine yer verilmiştir. Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı'nda ise genel sulama suyu kriterlerine ilave olarak NO₃-N, Toplam Pestisit, Bikarbonat (HCO₃) (sadece tepeden püskürtme sulama için) ve mikrobiyolojik kalite için ise E. Coli sayısı için kalite kriterleri belirlenmiştir.

6. 2. Uluslararası Mevzuat

6. 2. 1. Avrupa Birliği Su Politikasında Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı

Avrupa Birliği (AB) su politikalarının gelişim süreci 1970-1980'li yıllarda içme suyu amaçlı kullanılan suların ve ilgili habitatın korunması maksadıyla çıkarılan standartlarla başlamıştır. Sonraki süreçte 1990'lı yıllarda kirliliğin azaltılması için yasal düzenlemeler getirilmiş olup bunlardan en önemlisi, kentsel atık suların toplanması, arıtılması ve deşarjı ve belli endüstriyel sektörlerden atık su deşarjının etkilerinden çevreyi korumak için kabul edilen '91/271/ECC sayılı Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi' olmuştur. Direktifin 12. bölümünde yer alan 'treated waste water shall be reused whenever appropriate.' maddesi ile arıtılmış atıksuların kullanımına yer verilmiştir.

2000'li yıllar itibariyle ise iç yerüstü sularının, geçiş sularının, kıyı sularının ve yeraltı sularının korunması için bir çerçeve oluşturmak amacıyla '2000/60/EC sayılı Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi' yürürlüğe girmiştir. Direktifin gerekliliklerinden bazıları suyun yeniden kullanım planlaması ve yeniden kullanım için faydalı düzenlemeler içermektedir. Direktifin EK-VI Kısım B(x)'inde 'efficiency and reuse measures, interalia, promotion of water efficient technologies in industry and water saving techniques for irrigation" ifadesi ile verimlilik ve suyun yeniden kullanım önemlerini de içeren bölümde endüstride verimli su teknolojilerinin ve su tasarruflu sulama tekniklerinin teşviki tamamlayıcı önlem olarak yer almaktadır.

AB düzeyinde suyun yeniden kullanımına ilişkin birçok çerçeve düzenleme yer almasına rağmen genel bir düzenleme veya rehber bulunmamaktadır. Suyun yeniden kullanım uygulamaları için birçok üye ülke kendi yasal çerçevelerini, düzenlemelerini veya rehberlerini belirlemişlerdir (Sanz & Gawlik, 2014, s. 22).

AB üyesi ülkelerden Güney Kıbrıs, Fransa, Yunanistan, İtalya, Portekiz ve İspanya'da suyun yeniden kullanımı maksadıyla düzenlemeler ve standartlar bulunmaktadır. Bu standartlar genel anlamda;

- Geri kazanılan suların kullanım alanlarını,
- Analiz parametrelerini,
- Her parametre için izin verilen maksimum limit değerlerini,
- İzleme protokollerini,
- Çevre ve halk sağlığı için ek koruyucu önlemleri kapsamaktadır (Sanz & Gawlik, 2014, s. 22,23).

6. 2. 2. Uluslararası Organizasyonların Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımına İlişkin Düzenlemeleri

Rehber dokümanlar suyun farklı yeniden kullanım amaçlarına göre birçok açıdan bilgi sağlamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarım ve akuakültür için atık suyun güvenli bir şekilde kullanılmasını belirlerken, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Avustralya kuralları, akifer besleme ve golf sahalarının sulama gibi birçok arıtılmış atık su uygulamasını da göz önüne almaktadır.

Bu dokümanlar;

- Suyun Yeniden Kullanım Uygulamaları; kentsel kullanım(sınırlı ve sınırlı olmayan), tarımsal yeniden kullanım (gıda bitkileri, gıda dışı bitkiler), akifer besleme, peyzaj sulama, çevresel destekleme ve diğer içme amaçlı olmayan her tür kullanım için önerileri,
- Arıtma Prosesleri; Her tür kullanım için gerekli olan arıtma türlerini,

- Su Kalite Kriterleri; Mikrobiyolojik, kimyasal, fiziksel parametreler için limitleri, bazen içme suyu standartlarını sağlamanın dâhil olduğu,
- İzleme; Suyun kullanımına bağlı olarak parametrelerin hangi sıklıkla izleneceği,
- Yerinde Önleyici Önlemler; Sağlık ve çevresel riskleri azaltmak için önlemleri (damlama sulama, içme suyu kaynaklarına tampon mesafe, sulama boyunca halk ulaşımının engellenmesi vb.),
- Çevresel İzleme; Potansiyel etkilenebilecek çevrenin izlenmesi (toprak, yeraltısuyu, biyota vb),
- İletişim Stratejisi; Suyun yeniden kullanımının kabulü ve paydaşların teşvik edilmesi için iletişim ve etkili danışmanın oluşturulması gibi konuları içermektedir (Sanz & Gawlik, 2014).

Söz konusu dökümanlar sanayi atıksularından sınırlı girişin olduğu atıksu arıtma tesislerinden ve evsel atıksular için uygulanmaktadır. Bu dökümanlar yasal veya zorunlu olmamasına rağmen, standartların benimsenmesini hedefe ulaştırır ve bölgesel ve yerel düzeyde farklı durumlara göre esneklik sağlar (Sanz & Gawlik, 2014).

Uluslararası Standartlar Teşkilâtı (ISO), 2013 yılında Çin, Japonya ve İsrail'in isteği üzerine yeniden kullanıma ilişkin çalışmaya başlamıştır. 2015 yılında ISO 16075 yayımlanan standartlar tarımsal ve peyzajlı sulama için halk sağlığı, mahsul, toprak ve su kaynakları üzerinde olumsuz etkilerin önlenmesine rehberlik eder. Rehber;

- Artılmış atıksu ile sulama projelerinin dizaynı,
- Sağlık riskleri ve artılmış atıksu kalitesi
- Artılmış atıksu ile sulanabilecek ürün deseni
- Artılmış suların yeniden kullanımından kaynaklı sağlık risklerinin azaltılması için stratejiler
- Artılmış atıksu sulaması ise konut alanlarındaki mesafe gibi konuları kapsamaktadır (TÜBİTAK MAM, 2016).

6. 2. 3. Amerika Birleşik Devletleri Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımına İlişkin Düzenlemeleri

Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'de suyun yeniden kullanımını ilişkin federal bir yönetmelik yoktur. Bu yüzden yönetmelikler eyalet temelinde yapılmış olup yönetmelikler eyaletten eyalete farklılıklar göstermektedir. Arizona, Kaliforniya, Florida ve Washington gibi eyaletler su kaynaklarının korunması stratejisi olarak suyun yeniden kullanımını konusunda teşvik düzenlemeleri veya yönergeleri hazırlamıştır. Bu eyaletler, su kalite gereklilikleri, arıtma prosesleri, yeniden kullanım uygulamalarının tüm alanları konusunda kapsamlı düzenlemeler veya rehberler geliştirmişlerdir. Amaç çevre ve halk sağlığını korurken arıtılmış sudan maksimum faydayı sağlamaktır (Sanz & Gawlik, 2014).

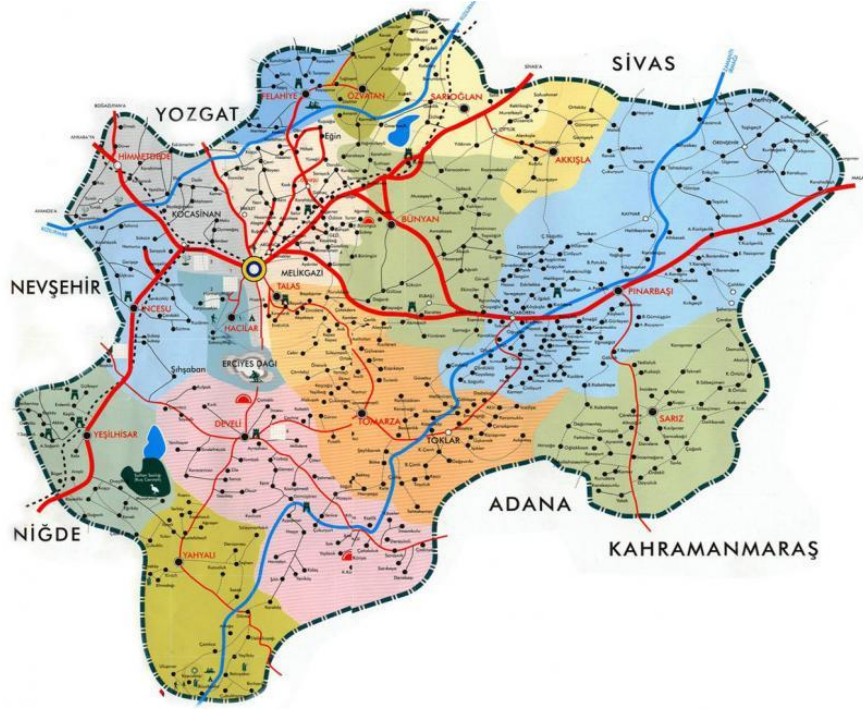
Diğer eyaletlerde yeniden kullanımdan ziyade atıksuyun bertarafı veya ilave arıtmayı vurgulayan, yerüstü sularına deşarjla ilgili alternatifleri içeren dokümanlar mevcuttur.

ABD'de arıtılmış atıksuların yeniden kullanım uygulamalarına ilişkin federal yönetmelik bulunmadığından Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından suyun yeniden kullanımına ilişkin rehber olan 'Guidelines for Water Reuse' yayımlanmış ve rehber son olarak 2012 yılında güncellenmiştir. Bu belgenin amacı suyun yeniden kullanımını uygulamaları konusunda referans olarak hizmet vererek yeniden kullanımın daha da geliştirilmesini kolaylaştırmaktır. Ayrıca bu doküman, yeniden kullanım konusunda düzenlemelere ve rehberlere güncel bakış açısı, uluslararası suyun yeniden kullanım uygulamaları, arıtma teknolojileri, yeni rehber veya standart geliştirmek isteyen yetkililere çerçeve sunmaktadır (Sanz & Gawlik, 2014).

VII. KAYSERİ İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ ARITILMIŞ SULARININ TARIMSAL MAKSATLI KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1. Kayseri İli Genel Özellikleri

Kayseri ili 37° 45' ve 38° 18' kuzey enlemleri ve 34° 56' ve 36° 59' doğu boylamları arasında 16.917 km²'lik yüzölçümüne sahiptir. Ülke topraklarının %2.2'lik kısmını oluşturmaktadır. İlin ortalama yüksekliği 1054 metre olup 16 ilçesi bulunmaktadır. Bu ilçeler; il merkezinde Kocasinan ve Melikgazi ilçeleri, Akkışla, Bünyan, Develi, Felâhiye, Hacılar, İncesu, Özvatan, Pınarbaşı, Talas, Sarıoğlan, Sarız, Tomarza, Yahyalı, Yeşilhisar'dır (URL5).



Şekil 13. Kayseri İli Haritası

İç Anadolu Bölgesinde yer alan ilde kış ayları soğuk, yaz ayları sıcak ve kuraktır. Kış mevsimi uzun süren ilde yağışlar genellikle kar şeklindedir. Nisan ve

Mayıs yağışın maksimum olduğu aylardır. Bozkır bitki topluluğu, hâkim bitki örtüsüdür (URL5).

Tablo 7. Kayseri İli Arazisinin Genel Dağılımı

Tarım Alanı (ha)	677.970	%39,93
Çayır ve Mera Alanı	691.028	%40,70
Orman-Fundalık Alanı	135.827	% 8,02
Tarım Dışı Alan	192.688	%11,35
TOPLAM	1.697.513	%100

İklim ve jeolojik yapı farklılıkları ve vejetasyondaki çeşitlilik, değişik toprak özelliklerine sahip olmasına neden olmuştur. I-IV sınıf tarım arazileri 546.221 ha olup tarım genelde bu arazilerde yapılmaktadır. İlin arazi genel dağılımı Tablo 7’de verildiği gibidir. Tarım arazisi yaklaşık olarak toplam arazinin %40’ını oluşturmaktadır (URL5).

Melikgazi, Kocasinan, Hacılar, İncesu, Talas ve Ağırnas belediyelerinin atıksularını kabul eden Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi tarımın da yoğun olarak yapıldığı Kocasinan İlçesinde bulunmaktadır.

7. 2. Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi



Resim 2. Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (Kayseri AAT) 07.08.2003 tarihi itibariyle ildeki atıksuları almaya başlamış olup tüm proseslerin çalışması 20.02.2004 tarihinde tamamlanmıştır. Atıksular ‘Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’ alıcı ortam deşarj standartları doğrultusunda arıtılarak Kızılırmak’a bağlanan Karasu’ya deşarj edilmektedir. Tesiste ayrıca karbon gideriminin yanı sıra azot fosfor giderimi de yapılmaktadır (URL4).

Izgaralar; Tesise alınan atıksu 9 cm aralıklı giriş ızgarasından geçmektedir. Terfi ile 12 m yükseltile su çamur üniteleri hariç sonraki ünitelerde cazibeyle akmaktadır. Kaba ızgara aralığı 3 cm, ince ızgara aralığı ise 3 mm’dir. Burada atıksu içerisinde kaba ve mekanik yapılara zarar verecek maddeler ayrılmaktadır.

Kum ve Yağ Tutucu; Atıksu içerisindeki kum ve yağın ayrılması ve mekanik ekipmana zarar vermesinin önüne geçilmesi için 4 adet havalandırılmalı kum ve yağ tutucu bulunmaktadır. Ünite tabanında yer alan difüzörler aracılığı ile organik maddeler çökmeden diğer ünitelere geçmekte ve diğer katıların çökmesi sağlanmaktadır. Aynı zamanda hava yardımıyla yüzeyde biriken yağ ve gres sıyrıcıyla toplanmaktadır.

Ön Çöktürme Tankı: Tesiste 2 adet ön çöktürme tankı bulunmakta olup atıksudaki askıda katı maddelerin kısmi olarak giderimi sağlanmaktadır. Çöken çamur merkezdeki çamur konisinden pompa istasyonuna cazibeyle iletilmektedir.

Selektör/Bio-fosfor Tankı: Ön çökeltme tankından çıkan su ile geri devir çamuru pompa istasyonundan gelen çamur selektör tankı girişinde dalgıç mikser ile karıştırılmaktadır. Ardından 4 adet dalgıç mikserle sahip selektör tankına iletilen atıksu anaerobik ortamda tutulmaktadır. Mikroorganizmalar anaerobik koşullarda bünyelerindeki orto-fosfatı bırakmaktadırlar. Ardından aerobik ortamda aktif mikroorganizmalar bıraktıkları fosfordan daha fazlasını bünyelerine alırlar. Fosforun biyolojik giderimi bu tankta gerçekleşmektedir.

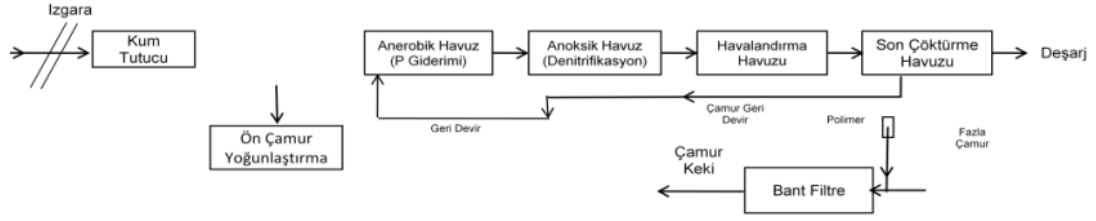
Havalandırma Havuzu: 8 adet havalandırma havuzu bulunmaktadır ve oksidasyon hendeği şeklinde inşa edilmiştir. Oksijen ölçümüyle tanklara verilecek havanın kontrolü sağlanmaktadır. Tesis için 25 günlük çamur yaşı seçilmiştir.

Son Çöktürme Havuzu: 4 adet son çöktürme tankı bulunmaktadır. Çöken çamur merkezdeki çamur konisinden geri devir çamuru pompa istasyonuna cazibeyle iletilmektedir. Çamur kısmi olarak selektör tankı girişine geri devir çamuru olarak iletilirken bir kısmı da fazla çamur olarak çamur susuzlaştırma ekipmanı öncesi karışım tankına verilmektedir.

Ön çöktürme havuzu çamuru cazibeyle ön çamur pompa istasyonuna iletilmekte ve burada çamur ızgara presi ile diğer ünitelerde soruna neden olabilecek malzemelerin çamurdan ayrılması sağlanmaktadır. Katı madde muhtevasının artırılması amacıyla ön yoğunlaştırmada dinlendirilmektedir. Dinlendirilen çamur havuz dibinden alınarak çürütme tankına iletilmektedir. İlk ham çamur çürütme tankına basılırken çürümüş çamurla karıştırılmakta ve ısı eşanjörü 37 °C'ye ısıtılmaktadır. Homojen hale getirme işlemi için 24 saat karıştırılmaktadır. 20 gün sonunda taşkan çamur son yoğunlaştırmaya iletilmekte ve tank üstündeki metan gazı ise gaz tankına iletilmektedir. Susuzlaştırma ünitesine son yoğunlaştırma ve geri devir pompa istasyonundan gelen çamur karıştırılarak belt prese basılmaktadır. Belt prese gönderilmeden önce susuzlaştırmaya yardımcı seyreltilmiş polimer dozlanmakta ve katı madde muhtevası %18-21'e getirilerek çamur depolama sahasında depolanmaktadır. Gaz tankında depolanan metan gazı ısı-güç ünitesindeki gaz jeneratörlerinde yakılarak elektrik enerjisi elde edilip tesis içerisinde kullanılmaktadır (URL4).

Tesiste azot giderimi, anoksik reaktörde nitrat azotunun azot gazına dönüştürülmesi ve aerobik reaktörde ise amonyum iyonun nitrata dönüştürülmesi prosesi ile gerçekleştirilmektedir (Çakmakçı, Özkaya, & Kanat, 2014).

Fosforun biyolojik olarak uzaklaştırma prosesi; anaerobik ortamda fosfor salınımının gerçekleşmesi ve ardından oksik veya aerobik ortamda salınan bu fosforun aşırısının alınması ile gerçekleşmektedir (Çakmakçı, Özkaya, & Kanat, 2014). Tesise ait akım şeması Şekil 14'de verilmiştir (TÜBİTAK, 2013).



Şekil 14. Kayseri AAT Akım Şeması

Tesise ait 2015 yılı ortalama debi değişimi Tablo 8’de verildiği gibidir (KASKİ, 2015).

Tablo 8. Kayseri AAT Ortalama ve Toplam Atıksu Miktarı

Ay	Ortalama Debi m ³ /gün	Giren Atıksu m ³
Ocak	163.313	5.062.775
Şubat	161.053	4.509.495
Mart	187.638	5.816.784
Nisan	178.817	5.364.515
Mayıs	184.719	5.726.278
Haziran	178.797	5.363.913
Temmuz	166.475	5.160.718
Ağustos	168.680	5.229.095
Eylül	160.439	4.813.164
Ekim	175.443	5.438.722
Kasım	168.475	5.054.241
Aralık	170.157	5.274.858
TOPLAM		62.814.558

Kayseri AAT önceden yapılmış olan protokol gereği endüstriyel tesislerden kaynaklı atıksuları da 2011 yılına kadar kabul etmiştir. 2008 yılında yapılan sözleşme ile birinci kademe için 40.000 m³/gün debiye sahip Kayseri Organize Sanayi Bölgesi AAT 2011 yılında işletmeye alınmıştır (Gültekin, 2016).

7.3. Kocasinan İlçesi Tarımsal Faaliyetleri

Kayseri AAT konumu itibariyle Kocasinan ilçesinde bulunmaktadır. İlçe de tarımsal faaliyet oldukça fazla olup 2015 yılı verilerine göre 466.735 da alanda tahıl ve diğer bitkisel ürünler yetiştirilmiştir (URL13).

Tablo 9. Kayseri İli Tarım Alanlarının İlçelere Göre Dağılımı

İlçe Adı	Toplam Alan(dekar)	Tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin ekilen alanı(dekar)	Nadas alanı(dekar)	Sebze bahçeleri alanı(dekar)	Meyveler, içecek ve baharat bitkilerinin alanı(dekar)
Kocasinan	1.005.801	466.735	525.192	6.790	7.075
Melikgazi	166.749	59.526	102.478	658	4.074
Akkışla	95.587	64.923	29.722	160	782
Bünyan	540.675	340.357	196.755	864	2.699
Develi	669.514	465.682	105.738	92.389	5.705
Felahiye	178.267	94.483	81.993	34	1.757
Hacılar	27.122	12.355	12.299	637	1.831
İncesu	281.598	132.172	107.615	4.806	37.005
Özvatan	139.223	76.126	55.345	63	7.689
Pınarbaşı	985.086	470.647	512.454	1.017	968
Sarıoğlan	408.618	212.324	195.758	307	229
Sarız	163.915	125.032	38.168	35	680
Talas	227.252	114.036	46.121	53.825	13.270
Tomarza	496.679	371.688	14.349	110.250	392
Yahyalı	262.301	196.175	24.881	1.500	39.745
Yeşilhisar	354.215	250.538	55.519	16.951	31.207
TOPLAM	6.002.603	3.452.799	2.104.387	290.286	155.108

Kayseri AAT yakınında bulunan ve tesisten geri kazanılacak suyun iletebileceği İncesu-Süksün Sulaması bulunmaktadır.

7.3.1. İncesu-Süksün Sulaması

Kayseri ilinin 25 km batısında Karasu Çayı üzerinde bulunan ve regülatör sulaması olan Süksün sulaması, toplamda 1135 ha (799 ha sağ sahil, 336 ha sol sahil) olup sağ sahil sulaması 2002 yılında işletmeye açılmış, sol sahil sulaması ise yatırım programı kapsamındadır.



Şekil 15. Kayseri AAT ve Süksün Sulaması

DSİ su veri tabanı 2015 yılı için sulama modülünden elde edilen verilere göre Süksün sulamasında ekilen ürünler ve alanlarına ilişkin bilgi Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Süksün Sulaması Ürün Deseni ve Ekiliş Oranları

BİTKİ DESENİ	EKİM ALANI (da)	ÜRÜN EKİLİŞ ORANI (%)
Mısır	990	13,01
Patates	200	2,63
Ayçiçeği	1.690	22,21
Hububat	1.510	19,84
Her Çeşit Sebze	330	4,34
Çayır, Mera	20	0,26
Yem Bitkileri	360	4,73
Şeker Pancarı	2.510	32,98
TOPLAM	7.610 da	100%

Süksün sulama alanında ağırlıklı olarak şeker pancarı, ayçiçeği, hububat ve mısır yetiştirilmektedir.

7. 4. Kayseri AAT Arıtılmış Çıkış Suyu Kalitesi

Beşinci bölümde sulamada kullanılacak sulara ilişkin önemli parametrelere yer verilmiştir. Bu parametreler, AAT arıtılmış sularının tarımsal sulamada kullanılabilmesi için önemlidir. Sulama maksatlı kullanımın değerlendirilebilmesi için öncelik, arıtma tesisi çıkış suyu analizlerinin yapılmasıdır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) atıksuların alıcı ortama deşarj kriterlerine göre Kayseri AAT'de KOİ, BOİ, AKM ve pH analizleri yapılmaktadır. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT) ve Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı'na (SKKYK) göre ise sulamada kullanılacak geri kazanılmış atıksuların kalitesinin değerlendirilmesi için bazı analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan analizlerin mevcut olmaması nedeniyle arıtılmış atıksuyun kalitesinin belirlenmesinde;

- SKKY alıcı ortam deşarj kriterlerine göre tesiste analiz edilen parametreler,
- I. Arslan-Alaton vd. tarafından 2007 yılında yapılmış olan çalışma ile analiz edilmiş parametreler,
- Literatürde yer alan atıksu arıtma tesisi çıkış suyu tipik değerleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır.

7.4.1. Tesiste Analiz Edilen Parametreler

Kayseri AAT arıtılmış atıksularını SKKY Tablo 21.4 alıcı ortam deşarj standartları kapsamında nüfusu 100.000'den büyük yerler için sağlanması gereken çıkış suyu kalitesine göre Karasu Deresi'ne deşarj etmektedir. Tesisin 2015 yılı atıksu giriş ve çıkış ortalama değerleri Tablo 11'de verildiği gibidir (KASKİ, 2015).

Tablo 11. Kayseri AAT 2015 Yılı Analiz Sonuçları

Parametre	Giriş Değerleri (mg/L)	Çıkış Değerleri (mg/L)	Verim (%)
AKM	630	10	98,4
BOİ	447	4	99,1
KOİ	1007	36	96,4
Toplam N	74,47	9,2	87,7
Toplam P	8,5	0,5	94,1

2015 yılı Ocak-Haziran tesis çıkışı pH değerleri deşarj kriteri olarak belirlenen 6-9 aralığında kalmaktadır (URL8). Tesise kabul edilen atıksuyun karakteristiği incelendiğinde kuvvetli nitelikte atıksu olduğu görülmekte ve yüksek kirlilik yükü getiren sanayi deşarjlarının tesisten ayrıldığı durumda yeniden kullanımın olacağı varsayılarak parametreler belirlenmiştir.

7.4.2. Bilimsel Çalışma Kapsamında Yapılmış Analizler

2004-2007 yılları arasında yürütülmüş olan “Development of Tools and Guidelines for the Promotion of the Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse in the Agricultural Production in the Mediterranean Countries” (MEDAWARE) projesi kapsamında Türkiye’deki kentsel atıksu arıtma tesislerinin durumunun araştırılması, sürdürülebilir atıksu yönetiminin geliştirilmesi için veritabanı oluşturulması, mevcut kanunların incelenmesi ve atıksu arıtma tesislerinin etkin bir şekilde işletilmesi için kılavuz hazırlanması amaçlanmış ve ATT çıkış sularının geri kazanımı ve sulama suyu olarak kullanımı da değerlendirilmiştir. Ayrıca, I. Arslan Alaton vd. tarafından yapılan çalışma ile Kayseri AAT giriş ve çıkış suyu kalitesinin belirlenmesi amacıyla analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Bilimsel Çalışma Kapsamında Yapılmış Analiz Sonuçları

PARAMETRELER	BİRİM	GİRİŞ	ÇIKIŞ
pH		7,73	7,4
KOİ	mg/L	325	70

BOİ₅	mg/L	130	25
TN	mg/L	92,5	51,2
TKN	mg/L	92	43,1
NH₄⁺-N	mg/L	87,8	36,1
TP	mg/L	5,48	2,24
TSS	mg/L	274	20
TDS	mg/L	1020	760
Tuzluluk	%	0,7	0,5
NO₃⁻-N	mg/L	0,46	8,1
Cl⁻	mg/L	197	182
SO₄⁻²	mg/L	103	125
Alkalinite	mg CaCO₃/l	495	390
EC_w	µS/cm	1376	900
Na⁺	mg/L	177	188
K⁺	mg/L	33,5	31,4
Mg²⁺	mg/L	22,5	20
Ca²⁺	mg/L	110	77,8
T Cr	mg/L	<0,02	<0,02
Cd	mg/L	<0,02	<0,02
Ni	mg/L	0,2	0,19
Fe	mg/L	2,17	0,138
Zn	mg/L	0,934	0,141
Pb	mg/L	<0,1	<0,1
Hg	mg/L	0,0006	0,0003
B	mg/L	0,515	<0,05
F. Koliform	cfu/100 mL	>10 ⁶	600
T. Koliform	cfu/100 mL	>10 ⁶	1250

7.4.3. Literatür Taraması

Tesis çıkış suyunun tarımsal sulamada kullanması için arıtılmış su içeriğindeki ağır metaller ve eser elementlerin değerlendirilmesi için AATTUT Tablo E7.8’de ikincil arıtma için geri kazanılmış sudaki elementlerin ortalama değerleri

dikkate alınmıştır.

Tablo 13. AATTUT Geri Kazanılmış Evsel Atıksudaki Tahmini Eser Madde Konsantrasyonları

Elementler, mg/L	İkinci arıtma		Üçüncül arıtma	Ters Osmoz	Tavsiye edilen değer*	
	Aralık	Ort.			Kısa sürelili	Uzun sürelili
Arsenik (As)	<0.005-0.023	<0.005	<0.001	0.00045	0.10	10.0
Bor (B)	<0.1-2.5	0.7	0.3	0.17	0.75	2.0
Kadmiyum (Cd)	<0.005-0.15	<0.005	<0.0004	0.0001	0.01	0.05
Krom (Cr)	<0.005-1.2	0.02	<0.01	0.0003	0.10	20.0
Bakır (Cu)	<0.005-1.3	0.04	<0.01	0.015	0.20	5.0
Civa (Hg)	<0.002-0.001	0.0005	0.0001	-	-	-
Molibden (Mo)	0.001-0.018	0.007	-	-	0.01	0.05
Nikel (Ni)	0.003-0.6	0.004	<0.02	0.002	0.2	2.0
Kurşun (Pb)	0.003-0.35	0.008	<0.002	0.002	5.0	20.0
Selenyum (Se)	<0.005-0.02	<0.005	<0.001	0.0007	0.02	0.05
Çinko (Zn)	0.004-1.2	0.04	0.05	0.05	2.0	10.0

* EPA' nın tavsiyesi. Birimler; (mg/l)

Ayrıca, analiz edilmemiş bazı eser elementler ve toplam çözünmüş madde (TÇM), Nitrat Azotu için Tablo 14'de aralıkları verilen literatür değerleri dikkate alınmıştır. (Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015).

Tablo 14. Arıtma Sistemlerinin Uygulanması ile Elde Edilebilecek Çıkış Suyu Kalite Aralık Değerleri

Parametre	Birim	Ham Atıksu	Konvansiyonel Aktif Çamur*	Filtrasyon İlaveli Konvansiyonel Aktif Çamur*	BNR İlaveli Aktif Çamur*	BNR ve Filtrasyon İlaveli Aktif Çamur**
Bulanıklık			2-15	0,5-4	2-8	0,3-2
Nitrat Azotu	mg N/L	0-eser	10-30	10-30	2-8	2-8

TÇM	mg/L	270-860	500-700	500-700	500-700	500-700
Eser(iz) Maddeler	µg/L	10-50	5-40	5-30	5-30	5-30

* Konvansiyonel ikincil arıtma nitrifikasyon yapan aktif çamur sistemi olarak tanımlanmaktadır.

** BNR azot ve fosfor giderimi yapan biyolojik nütrient giderimi olarak tanımlanmaktadır.

*** Anoksik aşaması dâhil

7.4.4. Sonuç Analiz Çalışması

Tesiste sürekli olarak yapılan, bilimsel çalışma kapsamında yapılmış analizler ve literatür taraması sonucunda Kayseri AAT arıtılmış atıksuyunun karakterizasyonu için Tablo 15’de verilen sonuç tablosu elde edilmiştir.

Tablo 15. Arıtılmış Atıksu Çıkış Suyu Sonuç Karakterizasyonu

PARAMETRELER	BİRİM	ÇIKIŞ	AÇIKLAMA	KAYNAK
pH		7,9	Tesis ölçümü mevcuttur.	(KASKİ, 2015)
Elektriksel İletkenlik(EC)	dS/m	0,9	TÇM (mg/L) = EC (dS/m) x 640 (Metcalf & Eddy, 2003)	(I.Arslan Alaton vd.)
Toplam Çözünmüş Madde(TÇM)	mg/L	600	500-700 mg/L	(Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015)
Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)		4,92	Beşinci bölümde hesaplamaya yer verilmiştir.	
Klorür	me/L	5,1	182 mg/L/ (35.5)	(I.Arslan Alaton vd.)
Bor	mg/L	<0.05		(I.Arslan Alaton vd.)
Nitrat (NO ₃ -N) ⁴	mg/L	8,1	2-8 mg/L (Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015)	(I.Arslan Alaton vd.)
Toplam Pestisit	mg/L	-	Evsel atıksularda yaygın değildir.	(Metcalf & Eddy, 2003)
Biyokimyasal				

oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	mg/L	4	Tesis ölçümü mevcuttur.	(KASKİ, 2015)
Askıda katı madde (AKM)	mg/L	10	Tesis ölçümü mevcuttur.	(KASKİ, 2015)
Bulanıklık	NTU	-	AKM değeri dikkate alınmaktadır. Filtrasyon sonrası bulanıklık 0,3-2 NTU (Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015)	(KASKİ, 2015)
Kimyasal oksijen ihtiyacı(KOİ)	mg/L	36	Tesis ölçümü mevcuttur.	(KASKİ, 2015)
Sodyum (Na)	me/L	8,18	188 mg/L / 22,99	(I.Arslan Alaton vd.)
Kalsiyum (Ca)	me/L	3,88	77,8 mg/L / 20,04	(I.Arslan Alaton vd.)
Magnezyum (Mg)	me/L	1,64	20 mg/L / 12,16	(I.Arslan Alaton vd.)
Alüminyum (Al)	mg/L	0,0175	Eser(iz) Maddeler; 5-30 µg/L	(Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015)
Arsenik (As)	mg/L	<0.005	İkincil arıtma ortalaması dikkate alınmıştır.	AATTUT Tablo E 7.8
Berilyum (Be)	mg/L	0,0175	Eser(iz) Maddeler; 5-30 µg/L	(Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015)
Kadmiyum (Cd)	mg/L	<0.005	İkincil arıtma ortalaması dikkate alınmıştır.	AATTUT Tablo E 7.8
Krom (Cr)	mg/L	<0.02	İkincil arıtma ortalaması dikkate alınmıştır.	AATTUT Tablo E 7.8
Kobalt (Co)	mg/L	0,0175	Eser(iz) Maddeler; 5-30 µg/L	(Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015)
Bakır (Cu)	mg/L	<0.04	İkincil arıtma ortalaması dikkate alınmıştır.	AATTUT Tablo E 7.8
Florür (F)	mg/L		Eser(iz) Maddeler;	(Tanık, Öztürk, &

		0,0175	5-30 µg/L	Cüceloğlu, 2015)
Demir (Fe)	mg/L	0,138		(I.Arslan Alaton vd.)
Kurşun (Pb)	mg/L	<0.008	İkincil arıtma ortalaması dikkate alınmıştır.	AATTUT Tablo E 7.8
Lityum (Li)	mg/L	0,0175	Eser(iz) Maddeler; 5-30 µg/L	(Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015)
Mangan (Mn)	mg/L	0,0175	Eser(iz) Maddeler; 5-30 µg/L	(Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015)
Molibden (Mo)	mg/L	0.007	İkincil arıtma ortalaması dikkate alınmıştır.	AATTUT Tablo E 7.8
Nikel (Ni)	mg/L	<0.004	İkincil arıtma ortalaması dikkate alınmıştır.	AATTUT Tablo E 7.8
Selenyum (Se)	mg/L	<0.005	İkincil arıtma ortalaması dikkate alınmıştır.	AATTUT Tablo E 7.8
Vanadyum (V)	mg/L	0,0175	Eser(iz) Maddeler; 5-30 µg/L	(Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015)
Çinko (Zn)	mg/L	0.04	İkincil arıtma ortalaması dikkate alınmıştır.	AATTUT Tablo E 7.8
Fekal koliform	MPN/100 mL	10 ⁵	10 ⁶ -10 ⁸ * Aktif çamur ikincil arıtma 0-2 log giderim	(Metcalf & Eddy, 2003) (AATTUT, 2010)

*ham atıksuda

** MPN: most probable number

7.5. Arıtılmış Atıksuyun Kalitesinin Değerlendirilmesi

Arıtılmış atıksuların herhangi bir amaçla yeniden kullanılabilmesi için kalitesinin belirlenmesinde analizlerin yapılması, ardından uygun prosesin seçilmesi

gerekmektedir. Kayseri AAT çıkış suyu değerlendirmesi sonucunda elde edilen kalite kriterleri SKKYK ve AATTUT'ne göre bu bölümde değerlendirilmiştir.

7.5.1. Sulama Suyu Kriterleri Açısından Değerlendirme

SKKYK Yönetmeliğine Göre Değerlendirme

Taslak yönetmelik kapsamında genel sulama suyu kriterlerine EK-1 Tablo 1'de yer verilmiştir. Sulama suyunda; tuzluluk, geçirgenlik, özgül iyon toksisitesi ve diğer etkiler açısından kullanım kısıtlaması belirlenmiştir. Kayseri AAT arıtılmış atıksu kalitesi için belirlenmiş sonuçlara göre;

Tablo 16. SKKYK Genel Sulama Suyu Kriterleri-1

Kalite Kriteri	Birim ⁵	Kullanım Kısıtlaması Yok	Az-Orta Kullanım Kısıtlaması	Yüksek Kullanım Kısıtlaması
Tuzluluk (Sulama suyunun bitki için uygunluğunu etkiler) ¹				
Elektriksel İletkenlik (EC _w)	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Toplam Çözünmüş Madde (TÇM)	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000

Tuzluluk açısından, tesis çıkış suyu EC değeri 0,9 dS/m ve TÇM ise 600 mg/L belirlenmiş olup az-orta kullanım kısıtlamasına sahiptir.

Tablo 17. SKKYK Genel Sulama Suyu Kriterleri-2

Geçirgenlik (Suyun toprakta emilim oranını etkiler. SAR ve EC _w birlikte değerlendirilmelidir.) ²					
SAR	0 - 3	ve EC _w	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
	3 - 6		> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
	6 - 12		> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
	12 - 20		> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
	20 - 40		> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9

Geçirgenlik için SAR ve EC değeri birlikte değerlendirilmektedir. Çıkış suyu SAR değeri 4,92 olup EC ile birlikte değerlendirildiğinde az-orta kullanım kısıtlamasına sahiptir. Belli bir SAR değerinde suyun tuzluluğu arttıkça topraktaki geçirgenlik artar

böylece kullanım kısıtlaması ortan kalkar. Ancak uzun süreli kullanım durumunda yüksek SAR değeri toprağı olumsuz etkilemektedir.

Tablo 18. SKKYK Genel Sulama Suyu Kriterleri-3

Özgül İyon Toksisitesi (Hassas bitkiler için)					
Sodyum (Na) ³	Yüzey sulama	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	Püskürtme sulama	me/L	< 3	> 3	
Klorür (Cl) ³	Yüzey sulama	me/L	< 4	4 – 10	> 10
	Püskürtme sulama	me/L	< 3	> 3	
Bor (B)		mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0

Çıkış suyunda Sodyum 8,18 me/L, Klorür 5,1 me/L, Bor 0,05 mg/L belirlenmiştir. Bu durumda arıtılmış atıksu sodyum ve klorür için az-orta kullanım kısıtlamasına sahiptir. Bor için ise kullanım kısıtı yoktur.

Tablo 19. SKKYK Genel Sulama Suyu Kriterleri-4

Diğer Etkiler (Hassas bitkiler için)				
Nitrat (NO ₃ -N) ⁴	mg/L	< 5	5– 30	> 30
Toplam Pestisit	mg/L	<0,01	0,01-0,1	> 0,1
Bikarbonat (HCO ₃) (sadece tepeden püskürtme sulama için)	me/L	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
pH		Normal Aralık 6,5 – 8,4		

* Amerikan Çevre Koruma Ajansının “Suyun Yeniden Kullanım Kılavuzu (2012)” dokümanından faydalanılmıştır.
1 ECw: Elektriksel iletkenlik suda tuzluluğun bir göstergesi olup, 25°C’de desisiemens/metre (dS/m) veya millimhos/santimetre(mmhos/cm) olarak ifade edilir (dS/m = mmhos/cm).
2 SAR (Sodyum Adsorpsiyon Oranı): Belirli bir SAR değerinde suyun tuzluluğu arttıkça toprağın geçirgenliği artar. Geçirgenlik sorunları olan bölgelerde SAR ve elektriksel iletkenlik parametreleri birlikte değerlendirilmelidir. SAR’ın hesaplanması ile SAR ve iletkenliğin birlikte değerlendirilmesine ilişkin bilgiler Ek-3’de detaylı olarak verilmiştir.
3 Ağaç tohumları ve odunsu bitkiler sodyum ve klorüğe karşı hassas olduklarından bunlar için yüzeysel sulamada tablo verilen değerlere uyulur. Yıllık tohumların çoğunluğu sodyum ve klorüğe karşı hassas olmadığından sulama suyu kalitesine karar verilirken bitkilerin tuza karşı hassasiyetleri göz önünde bulundurulur. Bitkilerin tuzluluğa karşı hassasiyetleri Tablo 6’da verilmiştir.
4 NO₃-N: Nitrat azotu (Atıksuyun sulama suyu olarak kullanılacağı durumlarda NH₄ -N ve Organik-N tahlilleri de yapılır.)
5 dS/m = desisiemens/metre (1 mmhos/cm = 1 millimhos/santimetre ye eşittir)
Sıvı akışkanlar için mg/L = miligram/litre ≈ milyonda bir (ppm) alınabilir.
me/L = miliequivalent/litre (mg/L ÷ eşdeğer ağırlık = me/L); 1 me/L= 1 milimol/litre elektron yükü için uyarlanmıştır.
Eşdeğer ağırlık, bir element veya bileşiğin 1 gr hidrojenle veya 8 gram oksijenle birleşen veya yer değiştirebilen miktarının ağırlık olarak miktarıdır. Başka bir deyişle 1 mol elektron ile birleşebilen ağırlık olarak element miktarıdır.

Nitrat azotu 8,1 mg/L değeri için az-orta kullanım kısıtlaması bulunmaktadır. Yönetmeliğe göre atıksuyun sulamada kullanılacağı durumlarda NH₄-N ve Organik-N analizlerinin de yapılması gerekmektedir. 2015 yılı ortalama pH değeri 7,9 olup

normal aralık değerlerindedir. Toplam pestisit evsel nitelikli atıksularda yaygın bileşen olmayıp aralık değer belirlenememiştir.

Taslak yönetmeliğin EK-1 Tablo 2'sinde sulamada kullanılacak sularda kabul edilebilen maksimum eser element konsantrasyonları yer almaktadır. Bu elementler tesis için yapılan kabuller doğrultusunda sulama için belirlenen ve tüm topraklarda sürekli yapılan sulamalar için uygun görünmektedir.

SKKYK Tablo 3'de sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesine yer verilmiş olup e. coli sayısı <1/100 mL için tüm bitki ve sulama yöntemleri için çok düşük etki, 1-1000 aralığında çiğ tüketilmeyen bitkiler için tüm sulama yöntemlerinde çok düşük etki, >1000 olduğu durumlarda ise doğrudan temasın olmadığı park, bahçe gibi sulamalar için kriterler belirlenmiştir.

Tesis arıtılmış suyu genel sulama suyu kriterleri ve değerlendirilen eser element konsantrasyonları açısından uygun olup mikrobiyolojik açıdan SKKYK Tablo 5'e göre değerlendirilecektir.

7.5.2. Mevcut Sulama Suyu Kaynağının Değerlendirilmesi

Mevcutta Süksün sulamasının kaynağı Karasu'dur. DSİ Genel Müdürlüğü ve 12. Bölge Müdürlüğü tarafından Haziran 2016'da Karasu kaynağındaki kirliliği araştırmak amacıyla bölgeye ziyaret gerçekleştirilmiş olup 8 noktadan numuneler alınarak analizlerin yapılmasına karar verilmiştir (URL15). Karasu ana kanalında yapılan analizler SKKYK'e göre bazı parametreler açısından sulama suyu kriterlerine göre değerlendirildiğinde;

Karasu Ana Kanalı;

Elektriksel İletkenlik; 2,93 dS/m olup az-orta kullanım kısıtı aralığındadır. Ancak yüksek kullanım kısıtlama sınır değeri olan >3 değerine oldukça yakındır.

SAR; 9,07 olup SAR ve Elektriksel iletkenliğin birlikte değerlendirilmesi ile kullanım kısıtı bulunmamaktadır ancak yüksek iletkenlik değeri ve yüksek SAR değerinin bitki ve toprak üzerinde olumsuz etkileri değerlendirilmelidir.

pH: 7,58 olup yönetmelik normal sınır değerleri arasındadır.

Sodyum: 443,81 mg/L olup yüzey sulama için SAR değeri belirlenmiştir. SAR 9,07 değeri yüksek kullanım kısıtı aralığındadır.

Klorür: 606,94 mg/L olup 17,1 me/L değeri yönetmelikte yüzeysel sulama için yüksek kullanım kısıtı aralığındadır.

Bor: 0,8 mg/L değeri az-orta kullanım kısıtına sahiptir.

Bu kapsamda, Kayseri AAT sularının sulama suyu kalitesinde elde edilecek geri kazanılmış su ile Süksün sulaması uygun kalitede sulama suyuna sahip olacaktır.

7.5.3. Ürün Deseni Açısından Değerlendirme

SKKYK Yönetmeliğine Göre Değerlendirme

TÜİK 2015 yılı verilerine göre Kocasinan ilçesinde ekilen alanlarda buğday, arpa, ayçiçeği (çerezlik), şeker pancarı, çavdar, mısır, nohut, yonca, tritikale, fiğ, patates, fasulye, korunga ve nispeten daha az bir alanda yulaf ve mercimek yetiştirilmiştir. Sebzelerden ise; domates, kabak, patlıcan, fasulye (taze), hıyar, soğan, kavun, ıspanak, lahana, karpuz, pırasa, marul, maydanoz, turp, havuç, biber, tere, sarımsak yetiştirilmiştir. Meyvelerden ise üzüm, elma ceviz, kayısı, badem, kiraz, vişne, zerdali, ayva, erik, dut, şeftali ve armut yetiştirilmiştir.

Süksün sulama alanında ise; yüksek oranlarda şeker pancarı, ayçiçeği, hububat yetiştirilmektedir. Nispeten daha az olarak; patates, yem bitkileri, her türlü sebze ve çayır mera alanı bulunmaktadır. Yetiştirilen ürünlerden tuzluluk açısından toleranslı (arpa, şeker pancarı), orta toleranslı (yulaf, çavdar, buğday) veya orta hassas (mısır, patates, yonca) sınıfında olup tuzluluk açısından sorun oluşturmamaktadır.

Artılmış atıksu TÇM değeri 600 mg/L olarak belirlenmiş olup TÇM 500-1000 mg/L aralığında hassas olan tarla bitkileri, sebze ve meyveler Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20. SKKYK'e Göre Bitkilerin Tuzluluğa Karşı Hassasiyeti

Bitki ismi	Hassaslık*			
	Toleranslı	Orta toleranslı	Orta hassas	Hassas
	TÇM > 2000	TÇM:1500-2000	TÇM:1000-1500	TÇM: 500-1000
Tarla bitkileri				
Fasulye				+
Sebzeler				
Havuç				+
Soğan				+
Meyveler				
Badem				+
Kayısı				+
Böğürtlen				+
Portakal				+
Şeftali				+
Erik				+
Çilek				+

Bu durumda sulama alanında yetiştirilmesi olası olan fasulye tuzluluğa hassas olduğu için etkilenebilir. Hassaslık toprak durumu iklime ve kültürel şartlara göre değişkenlik gösterebilir.

Yönetmelikte yer almayan diğer bazı ürünler için FAO tarafından bitkilerin tuzlulukla verim ilişkisi ve birbirlerine göre duyarlılıkları belirlenmiştir. Buna göre; ayçiçeği, tritikale, kavun, karpuz orta duyarlı sınıfında yer almaktadır. Ayrıca turp için 0.8 EC(ds/m)'den 1.3 EC(ds/m) değeri için % 90 verim azalması, ıspanak için 1,3 EC(ds/m) değerinde %100 verim, zerdali için 1.1 EC(ds/m) değerinde %100 verim, biber için 1 EC(ds/m) değerinde %100 verim kaydedilmiştir (URL11). Ancak tuzluluk açısından hassas olmamasına karşın çiğ olarak tüketilecek ürünler için geri kazanılmış suda sağlanması gereken kriterlere ve önlemlere dikkat edilmelidir.

7. 6. Geri Kazanım için Proses İhtiyacı

Kayseri AAT arıtılmış atıksularının bölgedeki tarımsal alanlarda kullanılabilmesi için geri kazanım arıtma tipinin belirlenmesi ve ardından en uygun arıtma yönteminin seçilmesi gerekmektedir.

SKKYYK Yönetmeliğine Göre Değerlendirme

SKKYYK Yönetmeliği kapsamında tarımsal amaçlı kullanım için gerekli arıtma tipi EK-2 Tablo 5’de belirlenmiştir. Yüzeysel sulama ile sulanan ve ham olarak yenilebilen her türlü gıda ürünü yetiştirilen Süksün sulaması için proses ihtiyacı Tablo 21’de verildiği gibidir.

Tablo 21. SKKYYK Yeniden Kullanım için Uygulanması Gereken Arıtma Tipi

Geri kazanım türü	Arıtma tipi
<i>Gıda ürünleri</i> ⁹ : Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	-İkincil arıtma ² -Filtrasyon ¹¹ -Dezenfeksiyon ¹²

2 İkincil arıtma; aktif çamur prosesleri, damlatmalı filtre, döner biyolojik disk, ve stabilizasyon havuz sistemlerini içerir. İkincil arıtma BOI ve AKM değerleri 30 mg/L yi geçmeyen çıkış suyu üretirler.

9 Ticari olarak işlenen gıda ürünleri pazarlama öncesi patojenleri yok etmek için gerekli düzeyde kimyasal veya fiziksel prosese tabi tutulan ürünlerdir..

11 Filtrasyon; Atıksuyun doğal olarak topraktan, kum ve/veya antrasit gibi filtre malzemelerinden geçmesi, atıksuyun mikrofiltreler veya diğer membran proseslerinden geçmesidir.

12 Dezenfeksiyon, patojenik mikroorganizmaların kimyasal fiziksel veya biyolojik yollarla etkisizleştirilmesi, yok edilmesi veya giderilmesidir. Dezenfeksiyon; klorlama, ozonlama, diğer kimyasal dezenfektan, UV, membran prosesleri ve diğer proseslerle sağlanabilir.

Tabloya göre, sulamalara uygun arıtılmış atıksular için arıtma tipi filtrasyon ve dezenfeksiyondur.

AATTUT’ne Göre Değerlendirme

AATTUT’ne göre tarımsal sulamada kullanılacak su için Tablo E7.12’de arıtma sistemi klasik aktif çamur + filtrasyon + klorlama olarak belirlenmiştir. Ayrıca Tablo E.13’de ham olarak tüketilen sebzeler için ikinci kademe + filtrasyon + dezenfeksiyon olarak, tarla bitkileri için arıtma ihtiyacı ikinci kademe + dezenfeksiyon olarak belirlenmiştir.

Tesise uygulanabilecek filtrasyon yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları Çakmakçı vd. tarafından belirlenmiştir (Çakmakçı, Özkaya, & Kanat, 2014).

Hızlı Kum Filtresi; Bulanıklık ve fekal koliform giderimi sağlaması, enerji ihtiyacının mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyona göre daha az olması, partiküler maddelerden kaynaklı kirletici giderimi avantaj sağlamaktadır.

Alan ihtiyacının fazla olması, geri yıkama suyu ihtiyacının bulunması, 20 µm ve daha küçük ebatlı kirleticilerin giderilmesi için koagülant kullanımının gerekliliği ve iyonları giderememesi gibi dezavantajları mevcuttur.

Mikrofiltrasyon; 0,1 µm ve daha büyük partikülleri giderir, alan ihtiyacı konvansiyonel sistemlere göre daha azdır, enerji ihtiyacı ultrafiltrasyona göre düşüktür, 2 bar ve daha düşük basınçlarda işletilebilir. Modülerdir.

Bunun yanında virüsler ve bazı koloidal maddelerin giderilememesi, uygun ön arıtma ihtiyacı, zamanla tıkanma, ömrünün 3-5 yıl olması ve enerji ihtiyacının kum filtresinden yüksek olması gibi dezavantajları mevcuttur.

Ultrafiltrasyon; Virüsler dâhil mikrobiyolojik kirleticiler ile makro moleküller giderilir, dezenfektan ihtiyacını azaltır, konvansiyonel sistemlere göre alan ihtiyacı azdır. Modülerdir.

Uygun ön arıtma ihtiyacı gerektirir, tıkanma sorunu, membranın ömrünün 3-5 yıl olması, 1-10 bar da iletilir, enerji ihtiyacının kum filtresi ve mikrofiltrasyona göre fazla olması dezavantajlarıdır.

Membran Biyoreaktör; mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranları kullanılabilir, ultrafiltrasyon membranı kullanılması durumunda virüsler dahil mikrobiyolojik kirleticilerin giderilmesi, dezenfektan ihtiyacını azaltması, yüksek çamur yaşlarında işletilmesi, çamur oluşma miktarının az olması avantajlarıdır. Modülerdir.

Bunun yanında, tıkanma problemi, uygun ön arıtma ihtiyacı, 1-10 bar basınç altında veya -1 bara kadar vakum altında işletilmesi, basınç/vakum ve havalandırma için enerjiye ihtiyacının olması dezavantajlarındandır.

Tesis çıkış suyunda kalitesine göre fekal koliform değerinin sulama için uygun olmadığı görülmektedir. Filtrasyon sonrası uygulanacak dezenfeksiyon ile gerekli kriter sağlanabilecektir.

Dezenfeksiyon için UV uygulaması; suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmemesi, etkili dezenfektan olması, klora göre bazı virüs, spor, cysts ve oocysts türleri üzerinde daha etkili olması, dezenfeksiyon yan ürünü oluşturmaması,

güvenli olması, TÇM seviyesini artırmaması gibi avantajlarından dolayı tercih edilmiştir. Ancak bunun yanında, bakiye etkisinin olmaması, düşük dozlarda bazı virüs, spor ve cysts türleri üzerinde etkili olmaması, ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu gibi dezavantajları da bulunmaktadır (AATTUT, 2010).

Tablo 22. Dezenfektanların Mikroorganizmalar Üzerinde Etkisi

Mikroorganizma tipi	Klorlama	Ozonlama	UV
Bakteri	Çok etkili	Çok etkili	Etkili
Protozoa	Etkisiz-az etkili	Etkili	Çok etkili
Virüs	Çok etkili	Çok etkili	Etkili

Kayseri AAT arıtılmış atıksuyunda dezenfeksiyon için UV sistemi uygun görünmekte olup sebebi;

- Yüksek debilerde de arıtılmış atıksu üretilmesi,
- Bitki üzerinde olumsuz etki oluşturabilecek TÇM seviyesinin artırmaması,
- Mikroorganizmalar üzerinde etkili olmasıdır.

7.7. Geri Kazanılmış Suyun Kullanım Alanı Açısından Değerlendirme

SKKYK Yönetmeliğine Göre Değerlendirme

Tez kapsamında atıksuların kullanım alanları üçüncü bölümde açıklanmıştır. Kayseri AAT çıkış suları tarımsal maksatlı kullanılmasının incelenmesi maksadıyla Yönetmeliğin EK-2 Tablo 5'ine göre değerlendirildiğinde;

Süksün sulama alanlarında yetiştirilen hububat, şeker pancarı, mısır, patates, ayçiçeği, her çeşit sebze, çayır mera alanı için; yüzey sulama yapılması ve ham olarak yenilebilen ürün içermesi açısından aşağıdaki Tablo 23'de verilen arıtma tipleri ve su kalitesi dikkate alınmalıdır.

Tablo 23. SKKYK Yeniden Kullanım için Geri Kazanılmış Suyun Kalitesi ve Uygulanması Gereken Arıtma Tipi

	Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi ¹
Zirai Kullanım	<i>Gıda ürünleri</i> ⁹ : Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	-İkincil arıtma ² -Filtrasyon ¹¹ -Dezenfeksiyon ¹²	- pH = 6-9 - BOİ ₅ ≤ 10 mg/L - Bulanıklık ≤ 2 NTU ³ - Fekal koliform: 0/100 mL ^{4,5} - Bakiye klor ≥ 1 mg/L (Ozon ve UV kullanıldığı durumlarda bakiye klora bakılmaz.) ^{6, 15}
	<i>a-Ticari olarak işlenen gıda ürünleri</i> ⁹ : Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve insani tüketim maksatlı ticari olarak işlenen her tür gıda ürünü <i>c- Gıda ürünü olmayan bitkiler:</i> Yem, elyaf ve tohum bitkilerini içeren, insanlar tarafından besin olarak tüketilmeyen bitkiler ya da mera, ticari fidanlıklar ve çim ekim alanları	-İkincil arıtma ² -Dezenfeksiyon ¹²	- pH = 6-9 - BOİ ₅ ≤ 30 mg/L - AKM ≤ 30 mg/L - Fekal koliform ≤ 200 ad/100 mL ^{4,8, 13} - Bakiye klor ≥ 1 mg/L (Ozon ve UV kullanıldığı durumlarda bakiye klora bakılmaz.) ^{6, 15}

Tesis aktif çamur prosesi olması açısından uygun olup tabloya göre, yüzeysel sulama ile sulanan ve ham olarak yenilebilen her tür gıda ürünü için filtrasyon ve dezenfeksiyon ünitesi eklenmesi gerekliliği belirlenmiştir.

pH; Tesis ölçümlerine arıtılmış suda 6-9 aralığında kalmaktadır.

BOİ₅; Tesis ölçümlerine göre arıtılmış suda 4 mg/L olup uygundur. Ayrıca tesise eklenmesi planlanan hızlı kum filtresi sonrası azalma sağlanacaktır.

Bulanıklık: Tesis arıtılmış suyu 2015 yılı ortalama AKM değeri 10 mg/L'dir. Bulanıklık değeri yerine AKM kullanılacağı durumlarda ise 5 mg/L'yi geçmemelidir. 10 mg/L AKM değeri hızlı kum filtresi sonrası daha da düşecektir. Bulanıklık değeri için ise dikkate alınan 0,3-2 değeri (filtrasyon sonrası) geri kazanılmış su kalitesi için

uygun aralıktadır. Bulanıklık dezenfeksiyon verimini etkileyeceği için dikkatle takip edilmelidir.

Fekal Koliform; Tesise eklenecek UV dezenfeksiyon ünitesi ile, çıkış suyunda 10^5 adet /100 mL olarak kabul edilen değer filtrasyon sonrası, dezenfeksiyon öncesi 1-log giderim (%90 verim) ile 10^4 adet/100mL'ye düşecektir. Ardından dezenfeksiyon ile 0/ 100 mL değerinin sağlanması durumunda kullanımı uygun olacaktır. Yönetmeliğe göre koliform değeri günlük olarak izlenmeli ve organizma sayısı hiçbir numunede 14/ 100 mL'yi geçmemelidir.

Çıkışta sağlanması gereken 0 fekal koliform değeri, dezenfeksiyon için kullanılması planlanan UV sistemlerinin yatırım maliyetini artırması, performansını etkileyecek su kalitesi değişimleri durumunda sağlanamayacağı tespit edilirse AAT geri kazanılmış suyu ticari olarak işlenebilen gıda ürünleri, gıda ürünü olmayan bitkiler için kullanılmalıdır. Bu durumda ise fekal koliform sayısı ≤ 200 ad/100 mL olmalı ve hiçbir numunede 800 adet/ 100 mL'yi geçmemelidir. Ayrıca, süt veren hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu sürenin daha kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.

Uygulama mesafesi ise, içme suyu temin edilen kuyuların mutlak ve birinci koruma alanlarına deşarj yapılmamalıdır. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanılacağı alanda bu konu detaylı incelenmelidir.

7.8. Sulama Yöntemlerinin Ürün Desenine ve Geri Kazanılmış Suya Uygunluğu

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanılma seçeneklerinin değerlendirilmesinde önemli etkenlerden biri de sulama yöntemleridir. Sulama yöntemleri genel olarak ikiye ayrılabilir ve bu yöntemler Şekil 16'da belirtildiği gibidir (TİGEM).

Sulama Yöntemleri

Yüzey Sulama Yöntemleri

- Salma Sulama Yöntemi
- Tava (Göllendirme) Sulama Yöntemi
- Karık Sulama Yöntemi

Basınçlı Sulama Yöntemleri

- Yağmurlama Sulama Yöntemi
- Center Pivot Sulama Yöntemi
- Mikro Yağmurlama Sulama Yöntemi
- Damla Sulama Yöntemi

Şekil 16. Sulama Yöntemleri

AATTUT'e Göre Değerlendirme

Arıtılmış atıksu sulaması için sulama yöntemleri özelinde dikkat edilmesi gereken hususlara AATTUT Tablo E 7.15'de yer verilmiştir. Bu yöntemlerden salma, karık usulü ve kenar sulaması; düşük veya nispeten daha düşük maliyetli olarak tanımlanmasına rağmen bu yöntemde çalışanların korunması gerekmektedir. Yağmurlama sulamada ile su kaynakları, yollar ve evlere uzaklığına dikkat edilmesi gerekmektedir. Damlatmalı sulama yöntemi ise yüksek maliyetli olmasına karşın özel koruma gerektirmemektedir. Ancak sistem tıkanmalarını engellemek için AATTUT Tablo E7.17'de su kalite verilerine yer verilmiştir.

AATTUT'de Sınıf A ve Sınıf B olarak belirlenmiş olan sulama sınıfına göre sulama türü seçenekleri detaylandırılmıştır. Sınıf A; tarımsal sulama, ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri ve kentsel alanların sulaması için gerekli kriterleri içermekte olup 0/100mL fekal koliform değeri sağlanmalıdır. Sınıf B; ticari olarak işlenen gıda ürünleri, girişi kısıtlı sulama alanları, gıda ürünü olmayan bitkileri kapsamakta ve fekal koliform sınır değeri <200 ad/100 mL'dir

Tablo 24. AATTUT Sulama Türü ve Sınıfının Seçimi

Bitki türü	Sulama türü	Sulama suyu sınıfı
Büyük yapraklı, yüzeyde veya yüzeye yakın büyüyen bitkiler (Brokoli, lahana, karnıbahar, kereviz, marul)	Yağmurlama	A
	Damlatmalı	B

Ham olarak yenen köklü bitkiler (havuç, soğan)	Yağmurlama, Damlatmalı, salma, karık usulü	A
Yer ile teması olmayan bitkiler (domates, fasulyeler, dolmalık biber, turunçgil olmayan meyve ağaçları, şaraplık üzüm dışındaki üzümler)	Yağmurlama Damlatmalı, salma, karık usulü	A B
Yer ile teması olmayan ve yenmeden önce kabuğu soyulan bitkiler (turunçgiller, fındık)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yer ile teması olan ve yenmeden önce kabuğu soyulan bitkiler (kavun, karpuz)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yenmeden önce işleme tabii tutulan bitkiler (patates, pancar)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yenmeden önce işleme tabii tutulan yüzeysel bitkiler (Brüksel lahanası, balkabağı, tahıl, şarap yapımı için üzüm)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
İnsan tüketimi için olmayan bitkiler, kültür tarımı, mera ve otlaklar	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B

Süksün sulaması, yüzeysel sulama yöntemine sahip olup AAT çıkış suyu kalitesi, uygulanacak geri kazanım sistemi ile (hızlı kum fitresi ve UV dezenfeksiyon) Sınıf A kalitesine getirilebilecektir. Burada en önemli husus fekal koliform değerinin 0 adet/100ml olarak sağlanmasıdır. Ayrıca, sulama alanında yetiştirilen her çeşit sebze ve diğer ham olarak tüketilebilecek ürünler için damlama sulama sistemlerinin tercih edilmesi gerekmekte olup böylece ilave koruma önlemleri ile hem risk etmenleri ortadan kaldırılabilir hem de su tasarrufu sağlanabilecektir. Sınıf B kalitesi sağlanması durumunda ise, marul gibi büyük yapraklı yüzeyde veya yüzeye yakın büyüyen bitkilerin, havuç ve soğan gibi ham olarak yenen köklü bitkilerin sulanması sakıncalıdır.

7.9. İyon Toksisitesi Açısından Değerlendirme

Bitkiler üzerinde toksik etkiye sebep olabilecek iyonlara beşinci bölümde yer verilmiştir. SKKYK Genel sulama suyu kriterlerinde verilen sodyum, klorür ve bor parametreleri için kullanım kısıtları belirlenmiştir.

AATTUT'ne göre sodyum, klorür ve bor için tolerans sınır değerlerine yer verilmiştir. Artırılmış atıksuyun SAR değeri 4,92 Klorür konsantrasyonu 182 mg/L, Bor değeri ise <0,05'dir.

Tablo 25. AATTUT Bitkilerin Sulama Suyundaki Sodyum Toleransı

Toleransı	SAR değeri	Bitki	Durum
Çok hassas	2-8	Yaprak döken meyve ağaçları, turunçgiller, avokado	Yaprakta yanma

SAR değeri çok hassas bitkiler için belirlenen 2-8 aralığında kaldığı için sulama alanında yetişen yaprak döken meyve ağaçları için zarara sebep olabilir. Bölgede yetişen diğer ürünler için sorun oluşturmamaktadır.

Tablo 26. AATTUT Bitkilerin Yapraklarına Zarar Veren Klorür Konsantrasyonları

Hassaslık	Klorür Konsantrasyonu, mg/L	Etkilenen Bitki
Hassas	< 178	Badem, kayısı, erik
Orta hassas	178-355	Üzüm, biber, patates, domates

Klorür konsantrasyonu için sulama alanında yetiştirilen meyve belirlenmemiş olup Kocasinan ilçesi sınırlarında yetiştirilen ürünler dikkate alındığında; badem, kayısı, üzüm, biber, patates ve domates klorürden etkileneceği için uygun değildir. Ayrıca yönetmelikte SAR değeri çok yüksek olmadığı durumda sebze ve tarla bitkilerinin sodyum ve klorürden etkilenmeyeceği belirtilmiştir.

Hassas aralık olarak belirlenen 0,5-1 mg/L'nin altında olan bor değeri için sınırlayıcı ürün deseni bulunmamaktadır.

7. 10. Maliyet Değerlendirmesi

7.10.1. Geri Kazanım Proses Maliyetleri

Kayseri AAT'nde oluşan atıksuların sulama suyu olarak kullanılabilmesinde tesise eklenmesi uygun görülen hızlı kum filtresi ve UV prosesi için iki durumda maliyet belirlenmiştir. Birinci durumda, tesisin 1. Kademe yağışlı debisi için maliyet belirlenmiş, ikinci durumda ise arıtılmış sularının Süksün sulamasında kullanılacak miktarı kadar geri kazanılması durumu için hızlı kum filtresi ve UV maliyeti belirlenmiştir.

2015 yılı tesise ait debi ölçümleri;

- Q_{max}; 203.333 m³/gün
- Q_{ort}; 172.095 m³/gün
- Q_{min}; 113.979 m³/gün olarak ölçülmüştür.

Hızlı kum filtresi için m³ yatırım maliyeti 25 €, işletme ve bakım maliyeti 0,01-0,05 €/gün aralığında olup, UV için m³ yatırım maliyeti ise 4-9 € aralığında, işletme ve bakım maliyeti 0,004 €/gün olarak hesaplamalar yapılmıştır. (Çakmakçı, Özkaya, & Kanat, 2014).

Birinci Durum; Tesis arıtılmış atıksuları 1. Kademe Qyağışlı hava; 215.000 m³/gün olup yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır.

Tesis için 1. Kademe yağışlı debi dikkate alınarak hızlı kum fitresi ve UV maliyetleri Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27. Proses Yatırım, İşletme ve Bakım Maliyetleri-1

Atıksu Debisi	Hızlı Kum Filtresi		UV	
	Yatırım Maliyeti		Yatırım Maliyeti	
Q yağışlı 215.000	25 €/m ³		4 €/m ³	9 €/m ³
	5.375.000		860.000	1.935.000
	İşletme Maliyeti		İşletme Maliyeti	
	0,01 €/gün	0,05 €/gün	0,004 €/gün	
	2.150	10.750	860	

İkinci Durum; Süksün sulaması için maksimum sulama suyu ihtiyacı Temmuz ayındadır. Bu durumda, Süksün sulaması için sulama suyu ihtiyacının maksimum olduğu Temmuz ayı verileri dikkate alınarak hızlı kum filtresi ve UV maliyetleri hesaplanmıştır. Bu durumda pik dönem debisi;

$Q=A \cdot q \cdot f$ eşitliğinden;

Q : Pik dönem debisi, m³/s,

A : Sulama alanı, ha,

q : Sulama modülü, lt/s/ha,

f : Fleksibilite katsayısı,

Temmuz ayı sulama modülü 0,73 l/sn/ha, net sulama alanı (1.135 ha x 0,846) 960 ha, fleksibilite katsayısı 1,28;

Sulama alanı için gerekli geri kazanım tesisi debisi 77.503 m³/gün olarak hesaplanmıştır. Geri kazanım tesisi debisi yaklaşık olarak 78.000 m³/gün olarak kabul edilirse;

Tablo 28. Proses Yatırım, İşletme ve Bakım Maliyetleri-2

Atıksu Debisi	Hızlı Kum Filtresi		UV	
	78.000 m ³ /gün	Yatırım Maliyeti		Yatırım Maliyeti
25 €/m ³		4 €/m ³	9 €/m ³	
1.950.000		312.000	702.000	
İşletme Maliyeti		İşletme Maliyeti		
0,01 €/gün		0,05 €/gün	0,004 €/gün	
780		3.900	312	

7.10.2. Sulama Kullanım Hizmet Bedelleri

Süksün sulama alanında yetiştirilen bitki deseni bölüm 7.3’de verilmiştir. 30.10.2016 tarihli ve 29873 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan ‘2017 Yılında Sulama Birliklerince İşletilen Sulama Tesislerinde Uygulanacak Su Kullanım Hizmet Bedeli Tarifelerine İlişkin Karar’ ile sulama birliklerince işletilen sulama tesisleri

grupları ve ücret tarifeleri belirlenmiştir. Sulama hizmet bedelleri hesaplanmasında bedeller bu karar doğrultusunda belirlenmiş olup Süksün cazibe sulaması Grup 2’de yer almaktadır.

Tablo 29. 2017 Yılı Süksün Sulaması Su Kullanım Hizmet Bedeli

2017 YILI SU KULLANIM HİZMET BEDELİ TL/DA				
7.610 da Süksün Sulaması				
Cazibe Sulamaları Grup 2				
ÜRÜNLER	TL/da	%	Ekim Alanı (da)	TL
Mısır	21	13,01	990	20.791
Patates	21	2,63	200	4.203
Ayçiçeği	15,5	22,21	1.690	26.198
Hububat	13	19,84	1.510	19.628
Her Çeşit Sebze	26	4,34	330	8.587
Çayır, Mera	15,5	0,26	20	307
Yem Bitkileri	23,5	4,73	360	8.459
Şeker Pancarı	27,5	32,98	2.510	69.019
TOPLAM		100	7.610	157.191

Su kullanım hizmet bedellerinin uygulanmasına ilişkin esaslar doğrultusunda, bir yıl içerisinde aynı parselde ürün hasadından sonra yenisi ekildiğinde her bir bitki için su kullanım hizmet bedeli alınmaktadır. Süksün sulaması için ikinci ürün ekimi yapılmamaktadır. Suyun metreküp olarak ölçülebildiği sulama şebekelerinde işletme ve bakım ücreti karar da yer alan metreküp üzerinden uygulanır. Hesaplamalar dekar sulama alanı üzerinden yapılmıştır.

7.10.3. Proses Maliyetleri, İletim Maliyetleri ve Su Kullanım Hizmet Bedelleri

Bu bölümde gerekli olan sulama suyu ihtiyacının karşılanması için yapılacak yatırım ile su kullanım hizmet bedelleri karşılaştırılmıştır.

Hızlı kum filtresi yatırım maliyeti ikinci durum için; 1.950.000 € olup 30.12.2016 Merkez Bankası döviz satışı avro için 3,72 TL olarak dikkate alınır;

Yatırım maliyeti 7.254.000 TL olmaktadır. UV yatırım maliyeti ikinci durum için; 702.000 € için 30.12.2016 Merkez Bankası döviz satışı avro için 3,72 TL olarak dikkate alınır; Yatırım maliyeti 2.611.440 TL olmaktadır.

Hızlı kum filtresi ve UV dezenfeksiyon ünitesi için toplam yapılması gereken yatırım maliyeti; 9.865.440 TL'dir. Eklenmesi öngörülen prosese ait 9.865.440 TL tesisin bugünkü değeri olup 10 yıl sonraki değerine ilişkin faiz oranı %10 olarak hesaplandığında (Öner);

- $G_n = S(1+i)^n$

G_n = Gelecek değer [n. yılın (dönemin) sonundaki para tutarı],

S = Anapara,

i = Yıllık faiz oranı,

n = Yıl (dönem) sayısı

- $G_n = 9.865.440 \text{ TL } (1+0.1)^{10} = 25.588.411 \text{ TL}$ olacaktır.

Toplam işletme ve bakım maliyeti açısından incelendiğinde ise; hızlı kum filtresi işletme bedeli tesisin enerji teşvikinden yararlandığı düşünülerek literatür değeri olarak minimum değer dikkate alındığı durumda 780 €/gün yıllık işletme gideri (5 aylık sulama dönemi) 435.240 TL olacaktır. UV için işletme gideri (5 aylık sulama dönemi) ise 312 €/gün olup yıllık 174.096 TL olmaktadır.

Atıksu arıtma tesisi deşarj noktasından sulama alanına kadar olan 410 metre kanal için yapılması gereken yaklaşık maliyet; 1 metre genişliğinde, 0,67 cm su yüksekliği ve 0,23 cm hava payı, %20 eğim ile inşa edilecek kanalın maliyeti 265 TL/m olup 410 m'lik kanal için beton, kazı ve dolgu maliyeti 108.650 TL olacaktır. Kanala ait yaklaşık maliyet hesabında sanat yapıları ve ayrıca arazi bedelleri tez kapsamına dâhil edilmemiştir.

Süksün sulaması 2017 yılı su kullanım hizmet bedeli toplamı 157.191 TL olarak hesaplanmıştır. Her yıl su kullanım hizmet bedelinin %10 arttığı varsayılarak 2017-2027 yılları arasında toplam su kullanım hizmet bedelleri Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30. 2017-2027 Su Kullanım Hizmet Bedelleri

YIL	Süksün Sulaması Su Kullanım Hizmet Bedeli (TL)
2017	157.191
2018	172.910
2019	190.201
2020	209.221
2021	230.143
2022	253.158
2023	278.473
2024	306.321
2025	336.953
2026	370.648
2027	407.713
TOPLAM(2018- 2026)	2.348.029

Bu da 2018 yılında Süksün sulamasından elde edilecek gelir ile yaklaşık UV işletme giderine karşılık gelmektedir. Ancak sulama dönemi ve boyunca aylık üretilebilecek su miktarı yaklaşık 2.340.000 m³ olmakta ve sulama suyu ihtiyacının az olduğu aylarda (Mayıs, Haziran, Ağustos, Eylül) suyun farklı alanlarda yeniden kullanım alternatifinin değerlendirilmesi ile elde edilecek gelir proses işletme maliyetinin karşılanmasında değerlendirilebilecektir.

7. 11. Geri Kazanılmış Suyun İzleme Sıklığı

Kayseri AAT geri kazanılmış suları özellikle bazı parametreler açısından sıkça izlenmelidir. SKKYK Tablo 5'e göre tarımsal kullanım için parametrelerin izleme periyodu belirlenmiştir. Tesiste pH, BOİ, AKM izlemesi sürekli olarak yapılmakta olup bunlara ilave olarak geri kazanım tesisi sonrası bulanıklık sürekli olarak izlenmeli koliform ise günlük olarak izlenmelidir. Ayrıca çeşitli parametreler farklı sıklıklarda izlenmelidir. (Margane & Steinel, 2011).

Tablo 31. Tarımda Yeniden Kullanım için Geri Kazanılan Atık Suyun İzleme Sıklığı

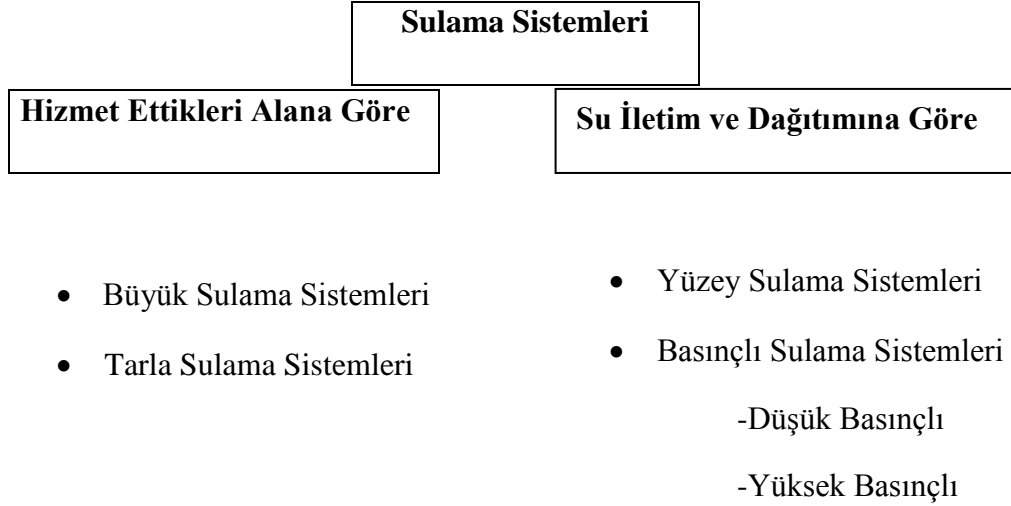
	SÜREKLİ- HAFTALIK	AYDA BİR VEYA İKİ	AYLIK - YILDA BİR	1-5 YILDA BİR
Mikrobiyolojik Analiz	E.coli., Salmonella, bakteriyofaj	-	Helmint yumurtası, Taenia	Legionella, Giardia, Cryptosporidium
Fiziko-Kimyasal, İnorganik	pH, EC, Bulanıklık, AKM, KOİ, BOİ, ÇO, AOX, TN, NH ₄ , artık Cl ₂	SAR, UV ₂₅₄ , ÇOK, NO ₃ , SO ₄ ²⁻ , Cl, TP	B	-
Ağır Metaller	-	-	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Al, Ba, Be, Co, Fe, Li, Mn, Mo, Se, Sn, Th, V
Organik Kirlenmeler	-	-	Yüzey aktif maddeler, hidrokarbonlar	Aldehid, fenoller, diuron, 2,4-D, EDTA, benzen ve benzo(a)piren, PAH
Mikrokirlenmeler	-	-	-	PhAc, EDC, DBP

UV 254: Humik asit konsantrasyonu için analiz

7. 12. Sulama Sistemleri ve Su İletim Randımanı

Suyun bitkinin kök bölgesine verilmiş biçimi olan sulama yöntemleri ve arıtılmış suyun geri kazanıldığı durumlarda ne gibi önlemler alınması gerektiği önceki bölümde yer verilmiştir. Bu bölümde ise sulama sistemleri ve sulama randımanlarına ilişkin bilgiye yer verilmiştir. Çünkü yatırım yapılarak geri kazanılan ve tarımda kullanılacak suyun en az su kaybıyla sulanacak alana iletilmesi önem arz etmektedir.

Suyun kaynaktan alınarak sulanacak alana iletilmesi ve alan içerisinde dağıtımını için gereken yapı, makine gibi unsurların tamamını içerir.



Şekil 17. Sulama Sistemleri

Su iletim ve dağıtımının genellikle açık kanallarla vasıtasıyla yapılması yüzey sulama sistemleri olarak adlandırılır. Basınçlı sulama sistemlerinden, düşük basınçlı sistemlerin kurulduğu alanlara genellikle yüzey sulama yöntemi uygulanırken yüksek basınçlı sistemler ile yağmurlama, damla, ağaçaltı mikro yağmurlama projeleri uygulanmaktadır (URL3).

Bitki Su Tüketim Rehberi'nde basınçlı borulu sulama sistemleri için su iletim randımanı %98 olarak alınmıştır. Cazibeli sulama (tavalar ve kanallar) sistemlerinde verim %42-65 aralığındadır (Tanık, Öztürk, & Cüceloğlu, 2015). Geri kazanılmış atıksuyun kullanıldığı durumlarda hem uygulanan sulama yönteminin standartlara uygunluğu hem de su kaybını en aza indirecek şekilde seçim yapılmalıdır. Bu durumda yüzeysel sulama yapılan Süksün sulamasında sulama yöntemi damla sulama olarak değiştirildiğinde hem sulama randımanı artacak hem de geri kazanılmış suyun kullanım kısıtlaması azalacaktır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tez kapsamında çalışılan Kayseri İli'nin bulunduğu Kızılırmak ve Seyhan Havzalarında 2015-2100 dönemi için iklim değişikliğinin etkileri doğrultusunda ortalama sıcaklığın sürekli artış göstereceği, her iki havzada da brüt su potansiyelinde azalma olacağı ve yıllık kullanılabilir su ihtiyaçlarının karşılanamayacağı tahmin edilmektedir.

Bütün bunlar doğrultusunda su kaynaklarının dikkatli kullanılması ve alternatif su kaynakları kullanımı için stratejiler geliştirilmesi gerektiği önem kazanmaktadır. Bu noktada, alternatif su kaynağı olarak arıtılmış atıksuların geri kazanılarak yeniden kullanılması öne çıkmaktadır.

Bu tez kapsamında, arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alanları araştırılmış, ulusal ve uluslararası ölçekte çeşitli alanlarda uygulamaların olduğu görülmüştür. Kullanım alanlarının belirlenmesinin; ihtiyaç duyulan miktara, arıtılmış su alanına olan yakınlığına, ilave geri kazanım proses maliyetlerine, çıkış suyu kalitesine vb. değişkenlere bağlı olduğu görülmüştür. Çalışmada özellikle arıtılmış atıksuların tarımsal sulama maksatlı yeniden kullanımı detaylandırılmıştır.

Arıtılmış atıksuların sulama maksatlı yeniden kullanımı hususunda, ulusal ve uluslararası ölçekte geri kazanım miktar ve alanlarına bakılarak Türkiye için durum ortaya konulmuştur. İlk olarak Avrupa'da geri kazanım miktarının en yüksek olduğu İspanya ele alınarak geri kazanım tesis örneğine yer verilmiştir. İspanya'da geri kazanılmış suların dört farklı alanda kullanılmakta olduğu görülmektedir. Bunlar; golf sahası sulaması, tarımsal sulama, özellikle kıyı akiferleri tuzlu sudan koruma amaçlı yeraltısuyu besleme ve nehir akışını desteklemek amaçlıdır. 2009 yılı verilerine göre ülkede 430 milyon m³ su geri kazanılmıştır. 2015 yılında Valensiya Bölgesinde 419.73 milyon m³ arıtılmış ve %34.73'ü yeniden kullanılmıştır. Bu miktarın büyük çoğunluğu tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Alicante şehri atıksuların arıtılması ve yeniden kullanımı açısından temsil edici bir örnek olması bakımından ele alınmıştır. Bölgede bulunan Monte Orgegia ve Rincón de León tesislerine ait geri kazanım prosesleri incelenmiş ve yeniden kullanım alanlarına yer

verilmiştir. Geri kazanılmış sular yoğun olarak tarımsal sulama ve az miktarda kentsel amaçlı kullanılmakta olup bu sayede bölgede ihtiyaç duyulan sulamayı karşıladığı oranda içme ve kullanma suyu için gerekli olan miktarın diğer su kaynaklarından sağlanmasına olanak verdiği görülmektedir.

İsrail'deki durum incelendiğinde arıtılan atıksuların yüksek oranlarda yeniden kullanıldığı görülmektedir. Ülkede konvansiyonel aktif çamur prosesi, membran biyoreaktör, havalandırılmalı lagün vb. yöntemlerle atıksular geri kazanılmaktadır. İsrail'deki Ben Gurion Havaalanı için geri kazanım prosesi incelenmiştir. Arıtılmış atıksular havaalanının tüm yeşil alanları ve tarımsal sulamanın yanı sıra soğutma kuleleri için ana kaynaktır. Ayrıca, tesis prosesine ilişkin bilgiye yer verilmiştir.

Türkiye'de 2016 yılı envanterine göre 844 adet atıksu arıtma tesisi bulunmakta olup bu sayı yürütülen çalışmalar ile güncellenmektedir. Yapılan envanter ve tez çalışması kapsamındaki ilavelerle atıksular geri kazanılarak çoğunlukla park, bahçe sulama ve proses suyu amacıyla kullanıldığı görülmüştür. Ancak miktarsal ve yüzde oranında bilgiler, veri eksikliği nedeniyle elde edilememiştir. Yeşil alan sulaması için oluşturulan geri kazanım tesisi ve mor şebeke Türkiye'de öne çıkan çalışmalardan olup arıtılmış atıksular çok katmanlı basınçlı kum filtresi ve dezenfeksiyon ünitelerine ile gerekli sulama kriterlerini sağlanarak Konya şehrinde yeşil alan sulamasında kullanılmaktadır. Bunun yanında havza bazlı yürütülen çalışma ile Ergene Havzasında arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı ve Afyonkarahisar atıksu arıtma tesisi sularının tarımsal amaçlı kullanımı konusunda yürütülmüş projeler incelenmiştir.

Tarımsal sulama amacıyla kullanım için kalite kriterlerinden en önemlileri olan patojenler, tuzluluk, sodyum adsorbsiyon oranı, artıksal sodyum karbonat, ağır metaller, nütrientler, askıda katı madde, özgül iyon toksisitesi incelenerek bitki ve toprak üzerindeki etkilerine yer verilmiştir.

Bu tez kapsamında arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusunda ulusal ve uluslararası düzenlemelerin neler olduğu incelenmiş ve özellikle ulusal ölçekte bu konuda düzenlemeler içeren 'Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği' ile 'Taslak Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması

Hakkındaki Yönetmelik' gereklilikleri doğrultusunda Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi arıtılmış sularının tarımsal amaçlı kullanılabilirliği irdelenmiştir.

Bütün bu bilgiler ışığında 'Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi' arıtılmış atıksularının geri kazanılarak tarımsal amaçlı kullanıma uygunluğu araştırılmıştır. Tesis Kayseri'nin Kocasinan ilçesinde bulunup tarımın yoğun olarak yapıldığı ilçelerdendir. Tesis çıkış sularının deşarj edildiği noktadan itibaren yeniden kullanım imkânı olan sulama projesi mevcuttur. Süksün sulaması 2002 yılında açılmış olup 2015 yılında net olarak 761 ha alan sulanmıştır. Bahse konu sulama alanında ağırlıklı olarak şeker pancarı, ayçiçeği, hububat ve mısır bunun yanında patates, yem bitkileri, her türlü sebze de yetiştirilmekte olup 'Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi' çıkış suyunun yeniden kazılması ile bu arazilerin tamamının sulama suyu ihtiyacı karşılanabilecektir.

Arıtılmış atıksuların bu sulama alanında kullanılması planlandığında ilk olarak arıtma tesisi çıkış sularının karakteristiği belirlenmiştir. Ancak bu aşamada tesis deşarj standartlarına göre yapılan KOİ, BOİ, AKM, pH dışında analizlerin olmaması nedeniyle literatürde evsel atıksu arıtma tesisi çıkış sularında bulunabilecek parametre değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca bazı parametreler için (Sodyum, Klorür, Mangan, Kalsiyum, Nitrat Azotu, Bor) I. Arslan Alaton vd. tarafından 2007 yılında yapılan çalışma kapsamında yer verilmiş analiz sonuçları dikkate alınmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde tesis atıksularının kuvvetli konsantrasyonda atıksu olduğu ve yüksek kirlilik yükü getiren sanayi deşarjlarının tesisten ayrıldığı durumda yeniden kullanımın olacağı varsayılarak parametreler belirlenmiştir. Belirlenen tüm parametreler 'Taslak Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkındaki Yönetmeliği' ile 'Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği' kapsamında değerlendirilerek ürün deseni için uygunluğu ve proses ihtiyacı belirlenmiştir.

Bu doğrultuda tesis çıkış suyunun elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş madde, sodyum adsorbsiyon oranı ve elektriksel iletkenliğin birlikte değerlendirilmesi, sodyum, klorür, nitrat azotu için sulama suyu kriterleri bakımından az-orta kullanım kısıtlamasına sahip olduğu görülmektedir. Bor

parametresi için ise kullanım kısıtı bulunmamaktadır. Sulamada kullanılacak sularda kabul edilebilen maksimum eser element konsantrasyonları için belirlenen ortalama değerler açısından çıkış suyu uygun bulunmuştur.

Mevcutta Süksün sulamasının kaynağı olan Karasu deresinde yapılan analizler doğrultusunda Karasu kaynağının elektriksel iletkenlik açısından yüksek kullanım kısıtı sınırına yakın değerde olduğu ve özgül iyon toksisitesi açısından klorür ve sodyum adsorbsiyon oranı sulama suyu kriterlerine göre yüksek kullanım kısıtına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durumda Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının geri kazanılması ile Süksün sulaması için daha uygun kalitede su sağlanabilecektir.

Tesis çıkış sularının kullanılması önerilen arazide ekilen ürün desenine göre iyon toksisitesi açısından değerlendirilmiş olup toplam çözünmüş madde açısından yetiştirilen ürünler tuzluluk açısından toleranslı(arpa, şeker pancarı), orta toleranslı (yulaf, çavdar, buğday) veya orta hassas (mısır, patates, yonca) sınıfında olup tuzluluk açısından yetiştirilmesi sorun oluşturmamaktadır. Sulanması önerilen Kocasinan İlçesinde ekilen arazilerde mevcut ürün deseninde yer alan sebzeler için Türkiye İstatistik Kurumu 2015 yılı verileri dikkate alınmıştır. Bu durumda ilçede yetiştirilen fasulye tuzluluğa hassas olduğu için etkilenebileceği tespit edilmiştir. Sodyum, Klorür ve Bor açısından Süksün sulaması için değerlendirme yapıldığında,

- SAR değeri için sulama alanında yetişen yaprak döken meyve ağaçları için zarara sebep olabileceği,
- Klorür konsantrasyonu açısından Kocasinan ilçesi sınırlarında yetiştirilen ürünler dikkate alındığında; badem, kayısı, üzüm, biber, patates ve domates klorürden etkileneceği için toksik etkilerinin olabileceği,
- Hassas aralık olarak belirlenen 0,5-1 mg/L'nin altında olan bor değeri için sınırlayıcı ürün deseni bulunmadığı tespit edilmiştir.

'Taslak Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkındaki Yönetmeliği'nde yeniden kullanım için kriterler Tablo 5'de verilmiş olup gerekli olan arıtma tipi ikincil arıtma, filtrasyon ve dezenfeksiyon olarak belirlenmiştir. Tesis çıkış suyunda uygun olmayan parametrelerin sulama suyu

kriterlerine uygun hale getirilebilmesi için hızlı kum filtresi ve UV ile dezenfeksiyon prosesleri uygun olarak belirlenmiş olup filtrasyon ile askıda katı madde ve patojen giderimi sağlanacak, UV dezenfeksiyonu ile de yönetmelikte belirlenen 0/100ml fekal koliform değeri sağlanabilecektir. Bu noktada dezenfeksiyon yönteminin etkinliği ve UV dezenfeksiyonu sonrası sağlanabilecek fekal koliform değeri birçok faktöre bağlı olup verimin yapılan analizler ve uygulamada belli olacağı düşünülmektedir. Fekal koliform değerinin <200ad/100 mL olması durumunda ise ticari olarak işlenen gıda ürünleri ve gıda ürünü olmayan bitkilerin sulanması uygun bulunmuştur. Uygulanacak sulama yöntemleri ise sağlık risklerini minimize edecek olup özellikle atıksu ile ham olarak yenilebilen gıdaların temasını engelleyen damla sulama yönteminin tercih edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Kayseri AAT geri kazanılmış sularının kullanılması önerilen Süksün sulamasında Mayıs-Eylül ayları arasında sulama suyu ihtiyacı olduğu görülmektedir. Kayseri AAT'nden çıkan suların sulama suyu olarak kullanılabilmesi için tesise eklenmesi uygun görülen hızlı kum filtresi ve UV prosesi için iki durum için maliyet belirlenmiştir. Birinci durumda, tesisin 1. Kademe yağışlı debisi için maliyet belirlenmiş, ikinci durumda ise arıtılmış sularının Süksün sulamasında kullanılacak miktarı kadar geri kazanılması durumu için hızlı kum filtresi ve UV maliyeti belirlenmiştir. İkinci durumda 78.000 m³/gün kapasiteli geri kazanım tesisi için;

- Hızlı kum filtresi yatırım maliyeti; 1.950.000 € olup 30.12.2016 Merkez Bankası döviz satışı avro için 3,72 TL olarak dikkate alınır; Yatırım maliyeti 7.254.000 TL,
- UV yatırım maliyeti; 702.000 € için 30.12.2016 Merkez Bankası döviz satışı avro için 3,72 TL olarak dikkate alınır; Yatırım maliyeti 2.611.440 TL olmaktadır.
- Hızlı kum filtresi ve UV dezenfeksiyon ünitesi için toplam yapılması gereken yatırım maliyeti; 9.865.440 TL'dir.
- Toplam işletme ve bakım maliyeti açısından incelendiğinde ise; hızlı kum filtresi işletme bedeli tesisin enerji teşvikinden yararlandığı düşünülerek literatür değeri olarak minimum değer dikkate alındığı durumda 780 €/gün yıllık işletme gideri (5 aylık sulama dönemi) 435.240 TL olarak, UV için

işletme gideri (5 aylık sulama dđnemi) ise 312 €/gđn olup yıllık 174.096 TL'dir.

- Atıksu arıtma tesisi deşarj noktasından sulama alanına kadar olan yaklaşık 410 metre kanal için yapılması gereken yaklaşık maliyet 108.650 TL olarak hesaplanmıştır.
- Süksün sulaması 2017 yılı su kullanım hizmet bedeli toplamı 157.191 TL olmakta ve bu da Süksün sulamasından elde edilecek gelir yaklaşık UV işletme giderine karşılık gelmektedir.

Yapılan hesaplamalarda UV yatırım maliyetlerinin belirlenmesinde literatürde verilen aralıkların maksimum olduğu değerleri dikkate alınmış olup tesise yapılacak enerji teşviki ile elektrik tüketiminden kaynaklı işletme maliyetinin ise daha düşük olacağı düşünülerek hesaplama yapılmıştır.

Sonuç olarak, Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi arıtılmış atıksularının tesis yakınında bulunması nedeniyle uygulanması muhtemel olabilecek Süksün sulama alanı için gerekli olan su ihtiyacı doğrultusunda değerlendirmeler ortaya konulmuştur. Arıtılan atıksuların tamamının geri kazanılması durumunda tez kapsamında yer verilen diğer sektörlerde de kullanımı değerlendirilmelidir.

ÖNERİLER

Bu tez kapsamında arıtılmış atıksuların yeniden kullanımının ne derece önemli olduğu ve gerekli kalite kriterlerine getirilen atıksuyun kullanılabilir alanlarının oldukça çeşitli olduğu görülmüştür.

Türkiye’de altyapı, oluşan atıksu, arıtma tesislerinde arıtılan miktar vb. konularda çalışmalar yürütülmekte olup arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin mevcut durumun detaylarını içeren güncel çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle;

Öncelikli olarak, Türkiye’nin yeniden kullanım konusunda mevcut durumunun tespit edilebilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda;

- Türkiye’de mevcut olan ve planlanan uygulamaların tespiti,
- Yeniden kullanılan atıksu miktarının belirlenerek geri kazanılan atıksuyun hangi alanlarda, ne amaçla kullanıldığının belirlenmesi,
- Geri kazanım için uygulanan proseslerin incelenmesi,
- Kullanım alanında hedeflenen kalite parametrelerinin tespiti,
- Uygulanan proseslerin yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin ortaya konulması,
- Türkiye’de arıtılmış atıksuların geri kazanım potansiyelinin net olarak görülmesi gerekmektedir.

Arıtılmış atıksuların çeşitli kullanım alanlarına sahip olması göz önünde bulundurulduğunda büyük, orta, küçük ölçekli tesisler için yeniden kullanım alternatifleri değerlendirilmelidir.

Farklı kullanım alanları (endüstriyel, rekreasyon alanları, tuvaletler vb.) için yapılacak detaylı çalışmalar ile yol gösterici ‘rehberler’ oluşturulmalıdır.

Ulusal ve uluslararası mevzuatın incelenmesi doğrultusunda, kurumlar arası koordinasyonun sağlanarak yeniden kullanım konusunun bütün kullanım alanlarını içerecek şekilde düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

Uygulamaların hızlanması için teşvik sistemlerinin geliştirilmesi ve konunun öneminin uygulayıcılara ve kullanıcılara açıklayıcı faaliyetlerde bulunulması gerekmektedir.

Yapılan pilot çalışma ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda ise;

Tarımsal amaçlı kullanılacak arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımının uygunluğunun değerlendirilmesinde dikkate alınan parametreler için öncelikli olarak analizlerinin yapılması gerekmektedir. Analiz edilen bu parametreler sonucunda ilave edilmesi gereken prosesler net olarak belirlenecek olup farklı parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösteren UV dezenfeksiyon maliyeti tam olarak belirlenebilecektir.

Geri kazanılmış suyun yeniden kullanımında gerekli kalite parametreleri dikkatle izlenmeli ve tez kapsamında yer verilmiş diğer parametreler için de (mikrobiyolojik, fizikokimyasal parametreler, ağır metaller, mikrokirleticiler vb.) izleme sıklığı belirlenerek periyodik olarak takip edilmesi gerekmektedir.

Geri kazanılmış suyun tarımsal alana iletilmesinde sulama suyunun verimli kullanılması, yaşanacak kayıpların azaltılması ile uygulanan sulama yöntemleri oldukça önemli olup, su kayıplarının en aza indirilmesi gerekmektedir.

Bunun yanı sıra, yapılan analizler doğrultusunda ilave yatırım veya proses ihtiyacı getireceği düşünülen parametreler için kaynağında önleme yöntemi değerlendirilerek yüksek kirlilik yüküne sahip deşarjların atıksu arıtma tesisine getireceği özel kirletici yükünün azaltılmasının tesise faydasının değerlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- AATTUT. (2010, Mart 20). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Birliği. (2014). *Akarçay Havzasında Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanılmasının Araştırılması Projesi*.
- Akkaya, C., Efeoğlu, A., & Yeşil, N. Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve Türkiye'de Uygulanabilirliği. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, (s. 196).
- Arahuetes, A. (2016). Wastewater treatment and reuse in Alicante (Spain) . *Proceedings of the 8th International Conference on Waste Management and The Environment*. Inter-university Institute of Geography, University of Alicante, Spain .
- Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (Metcalf & Eddy 2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. New York.
- Başkan, T. (2006). *Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması*.
- Büyükkamacı, N. (2009). Su Yönetiminin Etkin Bileşeni: Yeniden Kullanım., (s. 367,368,369). İzmir.
- Capra, A., & Scicolone, B. (2006). *Recycling of Poor Quality Urban Wastewater By Drip Irrigation Systems*. Journal of Cleaner Production.
- Çakmakçı, M. (2014, Kasım 27-29). Türkiye'de Su Yönetimi ve Geleceği Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması. Afyonkarahisar.
- Çakmakçı, M., Özkaya, B., & Kanat, G. (2014). *Ergene Havzasında Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılmasının Uygulanabilirliğinin Araştırılması Projesi*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- Çeliker, M. (2008). *Uluova'nın (Elazığ) Hidrojeolojisinin Coğrafi Bilgi Sistemleri İle İncelenmesi*. Adana.

- ÇŞB. (2015). *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atıksu Arıtımı Eylem Planı, 2015-2023*.
- ÇŞB. (2016). *www.csb.gov.tr*. Temmuz 2016 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü:
<http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=sayfa&Tur=webmenu&Id=425>
- ÇŞB, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). *Türkiye Çevre Durum Raporu*.
- DSİ. (2013). *İzmir Kemalpaşa Armutlu Barajı ve Sulaması, Malzeme Ocakları, Kırma Eleme Yıkama ve Beton Santrali Projesi ÇED Raporu*. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- DSİ. (2015). *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2015 Yılı Faaliyet Raporu*.
- Ekmekçi, E., Apan, M., & Kara, T. (2005). Tuzluluğun Bitki Gelişimine Etkisi. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 118-125.
- EPA. (2012, September). *Guidelines for Water Reuse, EPA/600/R/618*. Types of Reuse Applications. United States Environmental Protection Agency.
- Erdoğan, N., & Dağdelen, E. (2012). *Sulama Suyu Kalitesinin Önemi, Etkileri, Değerlendirilmesi*.
http://www.researchgate.net/.../Ender_Dagdelen/.../5523a0e50cf2881f4e3a6dc3.pdf
- Esteban, R. I. (2009). INNOVA-MED CONFERENCE: Water Reclamation and Reuse. Girona, Spain.
- EÜ, Erciyes Üniversitesi (2014). *pH, İletkenlik, Çözünmüş Oksijen, Sıcaklık, TDS ve Bulanıklık Tayini*.
- FAO. (2015). *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Water Uses*. 2016 tarihinde AQUASTAT Web sitesi:
http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm
- FAO, *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (1985). *Water quality for agriculture*. Rome.

- Gohary, F. E., Juhari, N., Chouckrallah, R., & DVH. (2013). *Sustainable Water Integrated Management (SWIM) - Support Mechanism. Documentation of Best Practices in Increased Efficiency in Wastewater Reuse in Egypt, Israel, Jordan, Morocco*. European Union.
- Gültekin, Y. (2016, 26 Mayıs). Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi Sunumu.
- Karakaya, N., & Gönenç, İ. E. (2005, Eylül 21-24). Alternatif Su Kaynakları, II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu.
- KASKİ. (2015). *Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu*.
- Koyuncu, İ. (2013). Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı Sunumu. *Bursa 2. Su Sempozyumu*. Bursa.
- Kukul, Y. S., Çalışkan, A. D., & Anaç, S. (2007). Arıtılmış Atık Suların Tarımda Kullanılması ve İnsan Sağlığı Yönünden Riskler. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 101-116.
- Kurtkulak, H. (2014). Kentsel Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeşil Alanların Sulanmasında Yeniden Kullanımı: Konya Kenti Örneği.
- Küçükhemek, D. M. (2010). *Konya Atıksu Arıtma Tesisinde Arıtılmış Atıksuların Pilot Ölçekte Geri Kazanımı ve Alternatif Bir Su Kaynağı Olarak Yeşil Alan Sulamasında Yeniden Kullanımı Projesi*.
- Margane, A., & Steinel, A. (2011). Proposed National Standard for Treated Domestic Wastewater Reuse for Irrigation.
- Melgarejo, J., Prats, D., Molin, A., & Trapote, A. (2016). A case study of urban wastewater reclamation in Spain: comparison of water quality produced by using alternative processes and related costs.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. G. Tchobanoglous, F. L. Burton, & H. D. Stensel.

- Mudgal, S., Van Long, L., Saïdi, N., Haines, R., McNeil, D., Jeffrey, P., . . . Knox, J. (2015). *Optimising Water Reuse in the EU Final Report- Part I*. European Commission.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. M., & Pehlivan, M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alınları Zirai Bilimler Dergisi*, 14-26.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2012, 04 07). Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*. Ankara.
- Özbay, İ., & Kavaklı, M. (2008, Mayıs 14-17). Türkiye'de ve Diğer Ülkelerde Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanım Uygulamalarının İncelenmesi. *Çevre Sorunları Sempozyumu*.
- Özer, M. N. (2015). Sulama Sularının Sınıflandırılması. *III. Ulusal Sulama Sistemleri Sempozyumu*. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Öztürk, İ. (2005). *Atıksu Arıtımının Esasları, Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü*.
- Polat, A. (2013). Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği İçin Arıtılan Atıksuların Yeniden Kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 6(1), 58-62.
- Raso, J. (2013). *Update of the Final Report on Wastewater Reuse in the European Union*.
- Sanz, L. A., & Gawlik, B. M. (2014). *Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Steinel, A., & Margane, A. (2011). *Best management practice guideline for wastewater facilities in karstic areas of Lebanon with special respect to the protection of ground- and surface waters*. Ballouneh.

- TAGEM, DSİ. (2016). *Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi*. Ankara: Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Tanık, A., Öztürk, İ., & Cüceloğlu, G. (2015, Mayıs). *Aritılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Hasadı Sistemleri*. Ankara: Türkiye Belediyeler Birliği.
- Tarchitzky, J. (2015). *ISO TC 282 International Water Reuse Workshop*.
- The Texas A&M University System. *Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies*. College Station, Texas.
- TİGEM. *Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü*. Teknik Bilgiler:
<http://www.tigem.gov.tr/Icerik.aspx?mid=7cc7b48e-770d-4d34-80d9-ebba5126111e>
- TÜBİTAK. (2013). *Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Kızılırmak Havzası*.
- TÜBİTAK MAM. (2016). *GAP Bölgesinde Sulamadan Dönen Suların Kontrolü ve Yeniden Kullanımı için İyileştirilmesinin Araştırılması Projesi*. Ankara: Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- UNEP. (2005). United Nations Environment Programme. Guidelines for municipal water reuse in the Mediterranean region: Mediterranean Action Plan. Athens.
- UNEP, (2005). Water and Wastewater Reuse. *An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management*. UNEP International Environmental Technology Centre.
- UNEP, (2005). Water and Wastewater Reuse; An Environmentally Sound Approach for Sustainable., (s. 10,11).
- UNESCO. (2009). *Global Distribution of Water*. Cambridge Energy Research Associates.
- UNESCO. (2009). *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Cambridge Energy Research Associates 81017-1*.

URL1. <https://prezi.com/a6bzxsoudkrr/endustride-su/> adresinden alındı

URL2.

https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwif183axpTQAhWLbhQKHXd2Cr4QFggaMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.gewater.com%2Fkcpguest%2Fsalesedge%2Fdocuments%2FCase%2520Studies_Cust%2FAmericas%2FEnglish%2FCS-RINCON-MU adresinden alındı

URL3. 2016 tarihinde <file:///C:/Users/user/Downloads/4--sulma-sistemleri.pdf> adresinden alındı

URL4. 2016 tarihinde <http://www.kaski.gov.tr/tr/360/aritma/index.html> adresinden alındı

URL5. 2016 tarihinde <http://kayseri.tarim.gov.tr/Menu/80/Cografı-Yapı> adresinden alındı

URL6. 2016 tarihinde <https://www.isu.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=329> adresinden alındı

URL7. <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum01.pdf> adresinden alındı

URL8. <http://www.kaski.gov.tr/haber.asp?id=25> adresinden alındı

URL10. <https://www.isu.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=329> adresinden alındı

URL11. <http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E03.htm> adresinden alındı

URL12. <http://www.hzafercan.com/tuzluluk-sorunu-ve-tuz-tolerans305.html#.WF-pzvmLTIU> adresinden alındı

URL13. <http://kayseri.tarim.gov.tr/Menu/79/Arazi-Durumu> adresinden alındı

URL14. *DSİ*. <http://www.dsi.gov.tr/haberler/2016/07/05/yamula-projesi-mansap-ve-cazibe-sulamas%C4%B1-h%C4%B1zla-devam-ediyor> adresinden alındı

URL15. *DSİ*. 2016 tarihinde <http://bolge12.dsi.gov.tr/haberler/2016/06/23/genel-m%C3%BCd%C3%BCrl%C3%BCk-heyeti-incesu-->

s% C3% BCks% C3% BCn-sulamasında-incelemelerde-bulundu adresinden alındı

WHO (1989). *Health Guideline for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, (WHO Technical Report Series, No.778)*. Geneva, Switzerland.

WHO (2006). *A compendium of Standards for Wastewater Reuse in the Eastern Mediterranean Region*.

WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2 Wastewater Use in Agriculture*.

WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume II Water Reuse in Agricultural*.

WWF (2014). *Türkiye'nin Su Riskleri Raporu*.

Yetiş, Ü. (2013). *21.Yüzyılda Su Yönetimi 'Bütünleşik Su Yönetimi Çerçevesinde Türkiye'de ve Dünya'da Su'*.

ÖZGEÇMİŞ
Hatice DUMAN

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri: Kayseri

Doğum Tarihi: 22.08.1988

Medeni Hali: Evli

EĞİTİM

2007-2012 Lisans, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

İŞ DENEYİMİ

2013-.....:

Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Değerlendirme Daire Başkanlığı, Arıtma Şube Müdürlüğü

Unvanı: Orman ve Su İşleri Uzman Yardımcısı

2012-2013:

Yeşil-ÇED Çevre Teknolojileri Mühendislik ve Danışmanlık Ltd. Şti

Unvanı: Çevre Görevlisi