

Agricultural Reuse of Water and Nutrients from Wastewater Treatment in Turkey

Proje No: 108Y242

Prof. Dr. Göksel N. Demirer

Araş. Gör. Ebru Sarıkaya

Merve Böğürücü

Emrah Alkaya

İbrahim Can Akbayır

Mart 2012

ANKARA

ÖNSÖZ

Ülkemizde artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için endüstriyel, kentsel ve tarımsal faaliyetler hızla artmaktadır ve bu faaliyetler sonucunda ortaya çıkan kirleticiler doğal su kaynaklarını kirletmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanılması önem kazanmaktadır. Sosyal faktörlerin yanı sıra ekonomik ve çevresel faktörler de su kaynakları yönetimini yeni bir yaklaşım olan atıksuların yeniden kullanılmasına yönlendirmektedir. Bu çalışmanın amacı mevcut su ve besiyer kaynaklarını tarımsal faaliyetlerde kullanmak için atıksuların geri kullanım teknolojilerinin uygulanabilirliğini ve potansiyelini belirlemektir. Bu kapsamda Türkiye'deki mevcut su kaynakları, evsel ve endüstriyel su ihtiyaçları ve tüketim değerleri belirlenmiştir. Detaylı bir araştırmanın sonucunda mevcut atıksu arıtma tesislerinin teknolojileri ve atıksu deşarj kaliteleri belirlenmiş ve ilgili yasal mevzuatlar çerçevesinde değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Arıtılmış atıksuyun tarımsal faaliyetlerde yeniden kullanılması esnasında gerekli olan kriterleri de göz önünde bulunduran modüler atıksu arıtma tesisi tasarımı çalışılması yapılmış olup, farklı senaryolar ışığında, atıksu arıtma sistemi maliyet ve arıtma performansı açısından karşılaştırılabilir; sağlayacağı altyapı ile işletim sistemlerinde yapılacak değişikliklerin maliyet ve arıtma performansını nasıl etkileyeceği kolaylıkla görebilecek; özellikle tarımsal sulama için önem arz eden çıkış suyundaki toplam fosfor ve azot miktarlarının sistemler arası değişikliği rahatça karşılaştırılabilir; sulamanın yanı sıra arıtma sonucu ortaya çıkacak çamurunun miktarı, toplam fosfor ve azot miktarının sistemler arası değişikliği rahatça karşılaştırılabilir ve ülke, hatta bölge şartlarına göre işletim ve maliyet parametrelerindeki değişiklikler rahatlıkla modüler sistemlere işlenebilecek ve anında yarattığı değişiklikler gözlemlenebilecektir.

İçindekiler

ÖNSÖZ.....	2
ÖZET	8
ABSTRACT.....	9
1. Giriş.....	10
2. Tarım ve Su Kaynakları Verileri.....	11
2.1 Ekilebilir Alanlar	11
2.2 Tarımın Ekonomi ve İstihdama Katkısı	11
2.3 Tarımda istihdam edilmiş iş gücü yüzdesi	11
2.4 Ekilen ürün çeşitleri	13
2.5 Türkiye’de Su Kaynaklarında Genel Durum	14
2.6 Tarım ve Sulama	14
2.7 Yeniden Kullanılan Atıksularla veya Diğer Alışılmış Olmayan Su Kaynaklarıyla Sulanan Alanlar.....	18
3. Endüstriyel Atıksu Kaynakları.....	20
3.1 İmalat Sanayi.....	20
3.2 Organize Sanayi Bölgeleri	20
3.3 Türkiye’deki Sanayilerin Değerlendirilmesi..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
4. Evsel Atıksu Kaynakları ve Arıtımı	22
4.1 Atıksu Arıtma Tesislerinin Sayısı ve Yerleri.....	22
4.2 Atıksu Arıtma Tesislerinde Uygulanan Teknolojiler	32
4.3 Atıksu Arıtma Tesislerinin Deşarj Kaliteleri	32
5. Atıksuyun Tarımda Kullanılması.....	35
5.1 Tarımsal Amaçlı Atıksuyun Yeniden Kullanılması.....	35
5.2 Tarımsal Amaçlı Çamurun (Biyokatı) Kullanılması	35
6. Yasal Mevzuat	36
6.1 Atıksu	36
6.2 Atık Çamur (Biyokatı).....	47
7. Örnek Çalışmalar	49
8. Modüler İşletim Sistemleri Genel Özellikleri	53
8.1 Klasik Aktif Çamur	53
8.2 Uzun havalandırılmalı Aktif Çamur Sistemi.....	54

8.3	Damlatmalı Filtre	56
8.4	Stabilizasyon Havuzu	60
9.	Modüler İşletim Sistemleri Genel Çalışma Prensipleri	62
10.	Modüler İşletim Sistemleri İşletme, Kütle ve Enerji Dengesi.....	65
11.	Modüler Atıksu Arıtma Tesisi Tasarımı- Kalibrasyon.....	70
11.1	İlk yatırım maliyeti.....	71
11.2	İşletme Maliyeti	72
11.3	Birim atıksu arıtma maliyeti.....	73
12.	Proje Kapsamında Yapılan Örnek Çalışmalar	76
12.1	Menemen Atıksu Arıtma Tesisi	76
12.2	Bayındır Atıksu Arıtma Tesisi.....	80
12.3	Selçuk Atıksu Arıtma Tesisi.....	83
13.	Proje Kapsamında Gerçekleştirilen Çalışma Sonuçları	85
13.1	Menemen Atıksu Arıtma Tesisi	85
13.2	Bayındır Atıksu Arıtma Tesisi.....	88
13.3	Selçuk Atıksu Arıtma Tesisi.....	90
13.4	Optimizasyon sonuçları	92
14.	Sonuçlar ve Öneriler.....	95
15.	KAYNAKÇA.....	98

TABLO LİSTESİ

Tablo 1 Tarımsal Arazi ve Orman Alanı Dağılımı (TÜİK, 2004)	13
Tablo 2 Tarla bitkileri, sebze üretimi ve meyve üretimi oranları (TÜİK, 2004)	13
Tablo 3 Sulama kaynaklarına göre sulama yapan işletme sayısı ve sulanan alan.....	16
Tablo 4 DSİ tarafından yönetilen havzalara göre sulama alanları (DSİ, 2009)	17
Tablo 5 2008 Yılı İmalat Sanayi Su ve Atıksu Göstergeleri (TUİK, 2010).....	20
Tablo 6 2008 Yılı Organize Sanayi Bölgeleri Su ve Atıksu Göstergeleri (TUİK, 2010)	21
Tablo 7. 2008 Yılı Türkiye Atıksu Arıtma Tesisi Mevcut Durumu (TUİK, 2010)	25
Tablo 8 Tablo 3. 2008 Kanalizasyon şebekesi ve arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye sayıları ve nüfusu (TUİK, 2010)	29
Tablo 9 Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri (SKKY,1991)	37
Tablo 10 Sulama Sularında İzin Verilebilen Maksimum Ağır Metal ve Toksik Elementlerin Konsantrasyonları (SKKY, 1991)	38
Tablo 11 Atıksuların Tarımda Kullanılması ile İlgili Esaslar ve Teknik Sınırlamalar (SKKY,1991)	39
Tablo 12 Endüstriyel Atıksuların Sulama Suyu Olarak Kullanılmaya Uygunluğu (SKKY, 1991).....	39
Tablo 13 Arıtılmış Evsel Atıksuların Dezenfekte Edilmeden Sulamada Kullanılıp Kullanılamayacağını Gösteren Tablo (- İşaret Suyun Kullanılamayacağını, + İşaret İse Kullanılabileceğini Gösterir.) (SKKY, 1991)	40
Tablo 14 Bitkilerin Bor Mineraline Karşı Dayanıklılıklarına Göre Sulama Sularının Sınıflandırılması (SKKY, 1991)	40
Tablo 15. Toprakta Kullanılabilecek Stabilize Arıtma Çamurunda Müsaade Edilecek Maksimum Ağır Metal Muhtevaları (KAKY, 2001)	48
Tablo 16. Toprak Kirlilik Parametreleri Sınır Değerleri	48
Tablo 17 İZSU Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu analiz sonuçları (Karataş vd., 2005)	51
Tablo 18. Elazığ atıksu arıtma tesisi ve KÖY-TÜR atıksu arıtma tesisi arıtma çamurunun ihtiva ettiği ağır metal konsantrasyonları ve bu konsantrasyonların sınır değerlerle karşılaştırılması (mg/kg kuru çamur) (Öbek vd., 2004).....	52
Tablo 19. Ankara, İzmir, Kayseri ve Tekirova'nın susuzlaştırılmış çamurlarının ağır metal konsantrasyonlarının TKKY ile karşılaştırılması (Özsoy, 2006).....	53
Tablo 20. Giriş Parametreleri	63
Tablo 21. Çıkış Parametreleri.....	63
Tablo 22. Toplam Alan, Enerji ve Maliyet Değerleri	64
Tablo 23. Çıkış Parametreleri.....	64
Tablo 24. Toplam Alan, Enerji ve Maliyet Değerleri	65
Tablo 25. Kütle Denge Profili-1	67
Tablo 26. Kütle Denge Profili-2.....	68
Tablo 27. İşletme ve Enerji Profili-1	69
Tablo 28. İşletme ve Enerji Profili-2.....	69
Tablo 29. Kalibrasyon için kullanılan veriler (Erdoğan ve ark., 2006)	70

Tablo 30. Kalibrasyon- Boyutlandırma sonuçları	71
Tablo 31. Atıksu Arıtımı- Minimum tarife değerleri	74
Tablo 32 Menemen Atıksu Arıtma Tesisinin giriş-çıkış suyu karakterizasyonu	78
Tablo 33 M-2a, M-2b, M-2c, M-3 ve M-4 için kullanılan girdiler	78
Tablo 34 M-2a, M-2b ve M-2c için tanımlanan parametreler.....	79
Tablo 35 M-2a, M-3 ve M-4 için tanımlanan parametreler	80
Tablo 36 Bayındır Atıksu Arıtma Tesisinin giriş-çıkış suyu karakterizasyonu	81
Tablo 37 B-2a, B-2b, B-2c, B-3, B-4 için kullanılan girdiler	81
Tablo 38 B-2a, B-2b ve B-2c için kullanılan parametreler	82
Tablo 39 B-2a, B-3 ve B4 için kullanılan parametreler	82
Tablo 40 Selçuk AAT giriş ve çıkış suyu karakterizasyonu	83
Tablo 41 S-2a, S-2b, S-3 ve S-4 için kullanılan değerler.....	84
Tablo 42 S-2a, 2b, 3 ve 4 için tanımlanan parametreler.....	85
Tablo 43. Menemen ana tarım ürünleri dağılımı.....	92

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 Türkiye’de Arazi Kullanımı (TÜİK, 2004).....	12
Şekil 2 Atıksu Arıtma Tesisi ile Hizmet Veren Belediyeler (ÇOB, 2009)	22
Şekil 3. 1994–2008 Yılları Arasında Atıksu Arıtma Tesisi Durumu (Atıksu Arıtımı Eylem Planı 2008-2012, ÇOB).....	33
Şekil 4. Belediyelere Ait Atıksu Arıtma Tesislerinin Arıtma Türü (%) (Atıksu Arıtımı Eylem Planı 2008-2012, ÇOB).....	33
Şekil 5. Sulama sularının sınıflandırılmasında kullanılan diyagram (SKKY, 1991).....	41
Şekil 6. Modüler atıksu arıtma tesisi tasarımları- Nüfus için hesaplanan yatırım maliyetleri .	72
Şekil 7. Modüler atıksu arıtma tesisi tasarımları- Nüfus için hesaplanan birim yatırım maliyetleri.....	72
Şekil 8. İlk yatırım ve işletme maliyetinin birim arıtma maliyeti üzerindeki etkisi- Aktif çamur	75
Şekil 9. Birim atıksu maliyetinin nüfusa göre değişimi	75
Şekil 10. İzmir arım bölgesi için su, azot ve fosfor ihtiyacı dağılımı	92
Şekil 11. Menemen AAT için optimizasyon sonucu.....	93
Şekil 12 Bayındır AAT için optimizasyon sonucu.....	94

ÖZET

Atıksu arıtma tesisleri işletilmeye başlatıldığı tarihten bu yana hem kentsel hem de endüstriyel alanlarda çevre korunmasına katkı sağlamaktadır. Ancak konvansiyonel atıksu arıtma teknikleri modern bir sürdürülebilir kaynak yönetimi gereksinimlerini çoğunlukla sağlayamamaktadır. Bu teknolojilerinin ana özelliği nutrient ve karbon kaynağı gibi atıksu içinde bulunan değerli kaynakları ve kirleticileri ortadan kaldırılmaktır. Diğer bir deyişle konvansiyonel atıksu arıtma teknolojileri doğal kaynaklardan değerli nutrient kaynakların kaybına sebep olmaktadır. Özellikle yüksek su ve nutrient talebi olan bölgelerde, yenilikçi atıksu arıtma sistemleri ile değerli bileşiklerin kullanılmasını sağlamak gerekmektedir. Atıksu artık bir atık olarak görülmemeli, yeniden kullanılabilir ve değerli kaynakların bir karışımı olarak kabul edilmelidir. Suyun yeniden kullanımı tarımsal sulamada, çevre sulamada, endüstriyel geri dönüşümde ve yeraltı suyu geri beslemesinde umut verici bir kaynak olarak gösterilmektedir. Tüm bu uygulamalar arasında tarım en büyük bölümü temsil eder ve bu ihtiyaç gelişmekte olan ülkelerde yüksek bir ivmeyle artmaktadır. Bu projede, Türkiye'de atıksuyun yeniden kullanılabilirliğine yönelik yapılan potansiyel çalışması sonuçları ve belirli bölgelerde atıksuyun yeniden kullanılabilirliğinin teknoloji açısından değerlendirilmesi sunulmuştur. Yeni ve yenilikçi bir yaklaşım olarak, sunulan koşullar altında en iyi teknolojiyi belirlemek için modüler atıksu arıtma tesisi tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, farklı senaryolar için sistemlerin enerji tüketimi ve enerji üretimi; bunun yanı sıra yatırım ve işletme giderleri analiz edilebilir. Sonuçlar göstermektedir ki atıksuyun geri kullanımı özellikle tarımsal üretime katkı sağlamaktadır. 1.000 MWh'dan fazla enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve tarımsal faaliyetlerde kullanılacak ek fosfor ve azot kaynağı oluşturulabilecektir. Sonuç olarak, eğer bir atıksu arıtma tesisi yapılacaksa veya bir tesiste değişiklikler öngörülüyorsa, modüler atıksu arıtma tesisi tasarımları kullanılarak geri kullanım açısından en uygun sistem seçilebilecektir.

ABSTRACT

Wastewater treatment systems have undoubtedly improved environmental protection in urban and industrial areas since their introduction. However it has to be considered that conventional wastewater treatment techniques are mostly incompatible with the requirements of a modern sustainable resource management. The main characteristics of these end-of-pipe technologies is an extensive resource demand and elimination of valuable resources contained in wastewater such as nutrients and energy. In other words, conventional wastewater treatment technologies withdraw nutrients from the natural cycle thus interrupting the resource cycles. Especially in regions with high water and nutrient demand, innovative systems should be developed and implemented in order to allow a reuse of wastewater or its valuable compounds. Wastewater should no more be considered as an interfering waste product but rather as a mixture of valuable resources which should be recovered. Water reclamation has been shown to be promising in agricultural irrigation, landscape irrigation, industrial recycling and reuse and groundwater recharge. Among all applications agriculture represents the large reuse volume and accelerating increase is expected in developing countries. In this study, the results of an on-going international joint research project, aiming to determine the potential and feasibility of wastewater reuse techniques in specific regions in Turkey, are presented. As a new and innovative approach, a modular concept estimating best available technology for a given set of conditions has been developed. In this context, energy demand and energy production as well as investment and operating costs of considered modules can be analysed. Over 1.000 MWh can be saved by adopting the existing WWTP to agricultural reuse concepts while supplying the local farmers with additional phosphorus and nitrogen. As a result, transferring the modular investigation to cases where the wastewater treatment system has to be newly constructed, the overall most reasonable option can be identified.

1. Giriş

Bu projenin amacı, Türkiye’de atıksu ve arıtma çamurlarının tarımda yeniden kullanım teknolojilerinin uygulanması yönündeki potansiyel ve uygulanabilirliğin belirlenmesidir. Bu bağlamda öncelikle tarımsal kullanım için var olan gereksinim ile atıksu ve nutrient (azot ve fosfor) kaynaklarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Sonrasında evsel atıksu ile içerdiği nutrientlerin yeniden kullanımı için ekonomik, çevresel, teknolojik ve operasyonel gereklilikler tanımlanacaktır. Bunun yanı sıra, bu tür yeniden kullanımlar için bütünsel planlama metodlarının uygulandığı örnek çalışmalar da incelenmektedir. Araştırmanın temel hedefi tarımsal kullanım için gerekli olan sulama suyu ve nutrientlerin (gübre) Türkiye’nin özgün koşullarına uyumlu olarak atıksu ve artıma çamurlarından eldesine yönelik çözümler önermektir. Bu nedenle, farklı atıksu ve arıtma çamuru yeniden kullanım metodları karşılaştırılarak ve yerel koşullara en uygun olan en etkili metodlar tanımlanacaktır.

Projenin ilk altı aylık döneminde ülkemizin tarımsal üretim ve sulamaya ilişkin durumu derlenmiş ve bunları takiben ikinci altı aylık dönemde, daha sonraki iş paketlerinde kullanılmak üzere, ülkemizin ilgili endüstriyel atıksu kaynaklarının araştırılmıştır. Üçüncü altı aylık dönemde 4. Çalışma paketi kapsamında Türkiye’deki mevcut atıksu arıtma teknolojileri araştırılmıştır. 5. Çalışma Paketinde, “ İşletme, Kütle ve Enerji Dengelerinin Belirlenmesi”, ve 6. Çalışma Paketinde, “Modüler Atıksu İşletim Sistemleri” ile ilgili çalışmaların sonuçları yer almaktadır. 7. Çalışma Paketinde, “Modüler Atıksu İşletim Sistemlerinin Ekonomik Analiz Kaynakları ve Proses Değerlendirmesi” ve 8. Çalışma Paketinde ise, “ Senaryoların tanımlanması ve Örnek Çalışmalar” ile ilgili çalışmaların ilk sonuçları yer almaktadır.

Yukarıda bahsi geçen çalışma paketleri “Sonuçların değerlendirilmesi ve elde edinilen bilgilerin aktarılması” başlığı ile 9. Çalışma Paketi kapsamında nihayetlenmiştir; projeden elde edilen çıktılar Proje Final Raporu’nda derlenmiştir.

2. Tarım ve Su Kaynakları Verileri

2.1 Ekilebilir Alanlar

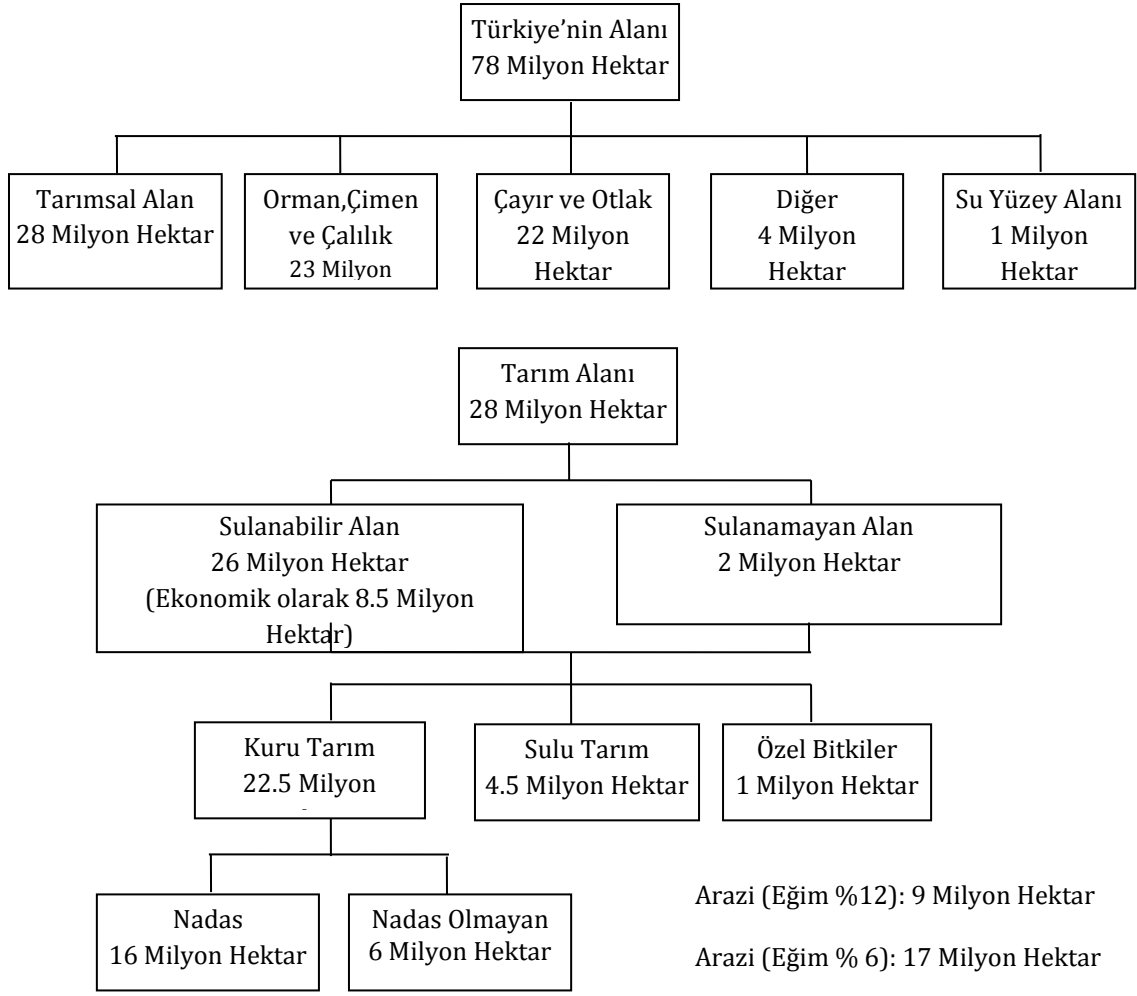
Türkiye, coğrafi yapısı ve ekolojik durumu nedeniyle, tarımsal üretim miktarları ve ürün çeşitliliği bakımından büyük bir potansiyele sahiptir. 1991 tarım istatistiklerine göre, toplam tarım alanı 23 451 087 hektar'dır. 2000 yılı itibari ile bu alanın 18.207.000 hektarı işlenmiş ve 4.826.000 hektarı ise nadasa bırakılmak üzere ayrılmıştır. Sebze bahçeleri 793.000 hektar, üzüm bağları 535.000 hektar, meyve bahçeleri 1.418.000 hektar ve zeytin bahçeleri 600.000 hektarlık alan kaplamaktadır. Türkiye'deki ormanlar ise 20.703.000 hektarlık bir alana karşılık gelmektedir. Türkiye'deki arazi kullanımını Şekil 1'de verilmektedir.

2.2 Tarımın Ekonomi ve İstihdama Katkısı

Tarım sektörü Türkiye'deki toplam istihdamın %45'ine ve ulusal gelirin ise %15'ine karşılık gelmektedir. Ülke içi tüketim ve ihracat bazlı tarımsal ürünlerin eldesi ve diğer sektörlerle ham madde sağlanmasının yanı sıra, tüketim maliyetlerindeki ve ihracattaki payı tarım sektörünü sosyo-ekonomik açıdan önemli kılmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti'nin ilk yıllarında tarım sektörünün Gayrisafi Milli Hasıla'daki payı %40 seviyesindeydi. Fakat bu pay 1970'de %36, 1990'da %16 ve 2000'de %13.5 seviyelerine gerilemiştir.

2.3 Tarımda istihdam edilmiş iş gücü yüzdesi

1980-2000 yılları arasında Türkiye'de istihdam edilmiş kişi sayısı sürekli artış göstermiştir. Fakat, toplam istihdamda en büyük paylardan birine sahip olan tarım sektöründeki işgücü payı bu zaman aralığı içinde sürekli bir düşüş göstermiştir. 1980'de bu sektörde istihdam edilen kişi oranı %60 iken bu rakam 2000 yılında %48.4'e düşmüştür. Tarım sektöründe istihdam edilen kadın çalışanların oranı %75.6 ve erkek çalışanların %42.8'i hizmet sektöründe yoğunlaşmıştır. (TÜİK, 2004)



Şekil 1 Türkiye’de Arazi Kullanımı (TÜİK, 2004)

2.4 Ekilen ürün çeşitleri

Türkiye bir tarım ülkesidir. Zengin ekim alanlarına ve önemli bir ürün çeşitliliğine sahiptir. Türkiye’de ekilmiş olan ürünlerin ana çeşitlerini tarla bitkileri, meyveler ve sebzeler oluşturur. Bunlar aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur:

Tarla Bitkileri : Tahıllar, Bakliyat, Endüstri Ürünleri, Yağlı Tohum, Yumru Bitkiler

Meyveler :Yumuşak Çekirdekli, Sert Çekirdekli, Turunçgiller, Sert Kabuklular, Üzüm, Yeşil Çay

Sebzeler :Yaprak veya Kök Sebzeleri, Baklagiller, Meyvesi Yenen Sebzeler, Soğansu Yumru Kök Sebzeler, Diğer Sebzeler

2012 yılının verilerine göre, Türkiye’deki tarımsal alanlarının ve orman alanlarının son üç yıldaki (2008-2011) dağılımı Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 2’de son üç yılın (2008-2011) toplam işlenen tarım alanı ve uzun ömürlü bitkilerin alanı, sebze bahçeleri alanı, diğer meyveler, içecek ve baharat bitkileri alanı, bağ alanı, zeytin ağaçlarının kapladığı alan ve çayır ve mera arazisi dağılımı verilmiştir.

Tablo 1 Tarım ve Orman Alanı Dağılımı (bin hektar) (TÜİK, 2012)

Yıl	Toplam tarım alanı	Toplam orman alanı
2008	39112	21 189
2009	38911	21 390
2010	39011	21 537

Tablo 2 (TÜİK, 2012)

Yıl	Toplam işlenen tarım alanı ve uzun ömürlü bitkilerin alanı	Sebze bahçeleri alanı	Diğer meyveler, içecek ve baharat bitkileri alanı	Bağ alanı	Zeytin ağaçlarının kapladığı alan	Çayır ve mera arazisi
2008	16 460	836	1 693	483	774	14 617
2009	16 217	811	1 686	479	778	14 617
2010	16 333	802	1 748	478	784	14 617

2.5 Türkiye’de Su Kaynaklarında Genel Durum

Ülkemize yılda 501 milyar m³ yağış düşmekte, bunun % 37’sine karşılık gelen 186 milyar m³’ü akışa geçerek, 95 km³’ü ekonomik olarak kullanılabilir forma dönüşmektedir. Ülke yüzeyine yılda düşen ortalama 630-643 mm yağışa karşılık ülkemizin yenilenebilir su potansiyeli 234 km³ olup, bunun 41 km³’ü yeraltı suları, 193 km³’ü ise akarsulardan meydana gelmektedir. Ülkemizde çeşitli amaçlara yönelik kullanımlarda teknik ve ekonomik anlamda tüketilebilir yerüstü ve yeraltısuyu miktarı, yurt içindeki akarsulardan 95 km³, komşu ülkelerden yurdumuza gelen akarsulardan 3 km³ olmak üzere yılda ortalama toplam 98 km³ yerüstü ve 12 milyar m³ yeraltısuyu olmak üzere toplam 110 milyar m³ olarak belirlenmiştir. DSİ’nin 2005 yılı verilerine göre, ülkemizin tüketilebilir yüzey ve yeraltı suyu potansiyeli miktarı, 98 milyar m³ yerüstü ve 14 milyar m³ yeraltısuyu olmak üzere toplam 112 milyar m³/yıl olarak belirtilmektedir. Bu miktarın bölgesel ve mevsimsel dağılımındaki dengesizlik önemli bir sorundur. Bu suyun % 35’i çeşitli amaçlara yönelik olarak kullanıma sunulmuş, kalan % 65’i ise halen kullanılmamaktadır. Su zengini olmayan ülkemizde kişi başına düşen yenilenebilir su potansiyeli, 2000 yılında belirlenen nüfusumuz göz önüne alındığında yaklaşık 3 500 m³’dür. Dünya ortalaması olan 7 600 m³’ün yaklaşık yarısına karşılık gelen bu değer nedeniyle ülkemiz, su fakiri olmamakla birlikte, su kısıtı bulunan ülkeler arasında sayılmaktadır. Kişi başına düşen teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir yıllık su miktarı 1 500 - 1 735 m³ civarındadır ve ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. TÜİK’in tahminlerine göre 2030 yılına kadar ülkemiz nüfusunun 100 milyona ulaşması durumunda, kişi başına kullanılabilir su miktarı 1 000 m³’e düşecektir. Türkiye’de sektörler itibarıyla en büyük pay % 75 ile tarım sektöründedir (DSİ, 2011).

2.6 Tarım ve Sulama

Tarımsal gelişmede, su en önemli girdilerden biri olup, toprakta bitki için gerekli olan nemi temin ederek verimi artırır. Ayrıca, sektörü iklim şartlarından bağımsız kılmakta, ilave istihdam yaratmakta, kırsal alanda gelir dağılımını düzeltmekte, gübre kullanımına imkan sağlamakta, üretimin çeşitlenmesine ve yetiştirme süresinin uzunluğuna bağlı olarak birim alandan birden fazla ürün alınmasına imkan vermektedir. Kırsal alandaki nüfusun gelirlerini artırarak, onların kente göçünü önlemektedir. Sulama suyu ile artan tarımsal ürünler, ülkenin gıda güvenliğini sağlamaya büyük katkıda bulunur. Türkiye dünya pazarında tarım ürünleri

üretimim bakımından kendi kendine yeten birkaç ülkeden biridir. Türkiye'nin avantajı, geniş tarım arazisinin yanında çok değişik iklim özelliklerine sahip olmasıdır. Çeşitli iklim koşulları, ılıman ve yarı tropik iklim çeşitlerine kadar birçok çeşitli tarımsal ürünün yetişmesine imkan verir. Bu iklim çeşitliliği Türkiye'yi en iyi kalitede çok çeşitli tarımsal ürün yetiştiren ülkelerden bir yapar. Orta doğu ve Kuzey Afrika ülkeleri arasında en fazla tarım ürünleri üreten ve ihraç eden ülkedir (DSİ, 2009).

Türkiye'de yapılan sulu tarım göstermiştir ki, sulu tarım ile gayri safi milli zirai gelir yaklaşık 5-6 kat artmaktadır. Yaklaşık olarak, sulama öncesi durumda hektar başına ortalama tarımsal gelir 500 ABD Dolar (660 TL/ha) iken, sulama sonrasında 3 000 ABD Doları (4 160 TL/ha) olmuştur(DSİ, 2009).

Türkiye'nin yüzölçümü 78 milyon hektar olup tarım arazileri bu alanın yaklaşık üçte biri, yani 28 Milyon hektar mertebesindedir. Yapılan etütlere göre ekonomik olarak sulanabilecek alan 8,5 milyon ha olan Türkiye'de 2008 yılı itibarı ile toplam 5,28 Milyon ha arazi sulanmaktadır. Bu miktarın 3,06 Milyon hektarı DSI tarafından geliştirilmiştir. 2023 yılına kadar geri kalan 3,22 milyon hektarının DSİ tarafından işletmeye açılması hedeflenmiştir. Bu, sulama projeleri için 26 Milyar ABD Doları yatırım demektir.

Sulama projelerini geliştirilen en büyük kuruluş DSİ Genel müdürlüğüdür. Bunun dışında küçük ölçekli çiftçilerin geliştirdiği sulama projeleri 1 Milyon hektarı bulmaktadır. Bu tip sulama alanları, nehirler, göller ve rezervuar alanlarının yakınında bireysel çiftçiler tarafından geliştirilmiştir (DSİ, 2009).

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün çalışmalarına göre, 26 milyon hektar toplam sulama alanının 8.5 milyon hektarı teknik ve ekonomik olarak sulanabilir durumdadır. Sulama kaynaklarına göre sulama yapan işletme sayısı ve sulanan alan ise Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3 Sulama kaynaklarına göre sulama yapan işletme sayısı ve sulanan alan
(Kaynak: Sulama kaynaklarına göre sulama yapan işletme sayısı ve sulanan alan,
http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=44&ust_id=13)

	İşletme sayısı	Sulanan alan (dekar)
Kuyu	393 454	13 167 094
Kaynak	253 120	3 524 031
Akarsu	494 802	10 038 564
Göl	34 691	676 663
Gölet	44 926	997 151
Baraj	119 782	5 563 463
Diğer Kaynaklar	71 741	1 090 521
Toplam İşletme sayısı: 3 022 127		
Sulama yapan işletme sayısı: 1 295 676		
Sulanan alan: 35 057 488		

2000 yılı içinde nehir havzaları kenarında bulunan ve DSİ tarafından yönetilen sulama alanları Tablo 4’de gösterilmektedir. DSİ tarafından geliştirilmiş Türkiye’nin farklı illerinde bulunan sulama alanlarının çoğunun işletmesi çiftçilere ve özel sektöre devredilmiştir. (DSİ, 2009)

Tablo 4 DSİ tarafından yönetilen havzalara göre sulama alanları (DSİ, 2009)

No	Ad	Sulama alanı (ha)
1	Meriç Ergene	50 669
2	Marmara	19 694
3	Susurluk	79 562
4	Kuzey Ege	12 728
5	Gediz	110 869
6	Küçük Menderes	1 545
7	Büyük Menderes	151 031
8	Batı Akdeniz	44 234
9	Antalya	85 645
10	Burdur Göller	23 145
11	Akarçay	21 271
12	Sakarya	97 567
13	Batı Karadeniz	26 520
14	Yeşilirmak	79 077
15	Kizilirmak	103 019
16	Konya Kapalı	162 593
17	Doğu Karadeniz	40 049
18	Seyhan	130 966
19	Asi	20 150
20	Ceyhan	155 524
21	Fırat	311 433
22	Doğu Karadeniz	-
23	Çoruh	11 455
24	Aras	77 900
25	Van Kapalı	48 400
26	Dicle	25 804
Toplam		1 890 850

2.7 Yeniden Kullanılan Atıksularla veya Diğer Alışılmış Olmayan Su Kaynaklarıyla Sulanan Alanlar

Türkiye’de 2003 yılının başında yıllık toplam su tüketimi 40,1 km³’dür. Bu suyun % 74’ü (29,6 km³)’ü sulama; % 15’i (6,2 km³) içme-kullanma, % 11’i (84,3 km³) ise sanayi sektöründe kullanılmıştır. 1990 yılında tarım için kullanılan su miktarı 22.016 milyon m³ olup, bu değer 2003 yılında 29.600 milyon m³’e ulaşmıştır. Yapılan hesaplamalar ile 2030 yılında sulamada ihtiyaç duyulacak su miktarı 71.500 milyon m³ olarak belirlenmiştir (Çakmak ve Aküzüm, 2006).

Türkiye’de 1980’li yılların ortalarından başlayarak, atıksu ile tarımsal sulamanın gerçekleştirilmesine yönelik olarak bilimsel çalışmalar yapılmaya başlanmış ancak uygulamalar sınırlı kalmıştır. Türkiye’de yıllık olarak evsel atıksu 3.7 km³, sanayi atıksu ise 3.0 km³ tür. Bu verilere göre Türkiye’de atıksu potansiyelinin yetersiz olduğu söylenebilir. Ancak rakamların küçüklüğü eldeki verilerin eksikliği ile de ilgilidir (Kanber, 2006).

Alternatif su kaynaklarının (Atıksuların geri kazanımı, yüzey sularının suyun kıt olduğu alanlara yönlendirilmesi, su tasarrufu sağlayan sulama yöntem ve tekniklerinin geliştirilmesi, atıksulardan ve drenaj sularından yararlanma olanakları) geliştirilmesi gerekmektedir (Çakmak vd. 2008).

Atıksuların yeniden kullanılmasıyla ya da diğer alışılmış olmayan su kaynaklarıyla yapılan tarımsal sulama uygulamaları resmi olarak yürütülmemektedir. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü’nün ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’nün sulama için ortak kaynağı yeraltı su kaynaklarının ve temiz yüzey sularının kullanımındır.

Tarımsal alanların alışılmış olmayan su kaynaklarıyla sulanması ile ilgili yerel uygulama örneklerinden bahsedilebilir. Örneğin, tarımsal uygulamalar için atıksuların yeniden kullanılması Güney Doğu Anadolu Bölgesi’nde yaygındır. Atıksu, bölgede genellikle sebzelerin sulanmasında kullanılmaktadır. Siverek’te, Güney Doğu Anadolu Bölgesi’nde yer alan bir bölge, daha önce nehirlere deşarj edilen evsel atıksular tarımsal uygulamalar için yeniden kullanılmaktadır. Pamuk, buğday ve çeşitli sebzeler çoğunlukla atıksu ile sulanan tarımsal ürünlerdir. Bu bölgede, ön olarak patlıcan, biber ve domates ekilmektedir. Ayrıca ikincil ürünler olarak bilinen lahanaya, havuç ve ıspanak ekimi de yükselmektedir. Bu ürünlerin belli karlarla satılabileceği gerçeğine dayanarak, çiftçiler yeniden kullanılan atıksularla yapılan sulama metodunu seçmektedirler. Bu alanların bir kısmı cazibeyle yüzey sularıyla ve

diğer bir kısmı ise atıksu kanallarından pompalamayla sulanmaktadır. Siverek'te 2001 yılında atıksuyla sulanan toplam alan 165 hektar ve sulama suyu kullanımını da 1.9 milyon m³'tür.

Yetersiz kanalizasyon hizmetleri ve arıtma nedeniyle, evsel atıksuların büyük bir kısmı nehirlere deşarj edilmektedir. Bu su kaynakları da sulama için kullanılmaktadır. Örneğın, Trakya'da, Kuzey Batı Anadolu'da yer alan bir bölge, 1 560 620 m³ evsel atıksu Evros Nehri'ne deşarj edilmektedir ve 9.000 hektar'lık tarımsal alan kirli sularla sulanmaktadır (www.tekirdag.gov.tr, www.dsi.gov.tr).

3. Endüstriyel Atıksu Kaynakları

3.1 İmalat Sanayi

İmalat Sanayi Su, Atıksu ve Atık İstatistiklerine göre 2008 yılında toplam 1 milyar m³ atıksu deşarj etmiştir. Deşarj edilen atıksuyun %66'sının denize, %14'ünün akarsuya, %9'unun OSB kanalizasyon şebekesine, %7'sinin şehir kanalizasyonuna ve %4'ünün ise diğer alıcı ortamlara boşaltıldığı tespit edilmiştir. Bu atıksuların 2008 yılında toplam 189 milyon m³'ü arıtılmıştır. Arıtılan atıksuyun %67,9'una biyolojik, %23'üne fiziksel ya da kimyasal ve %9'una gelişmiş arıtma uygulanmıştır. Tablo-5'de 2008 yılına ait İmalat Sanayi'nin Su, Atıksu ve Atık değerleri verilmiştir (TUİK, 2010).

Tablo 5 2008 Yılı İmalat Sanayi Su ve Atıksu Göstergeleri (TUİK, 2010)

Çekilen su miktarı (bin m ³ /yıl)	1.313.878
Tüketilen su miktarı (bin m ³ /yıl)	1.311.748
Deşarj edilen atıksu miktarı (bin m³/yıl)	1.027.838
Arıtılarak	165.486
Arırlmadan	862.352
Atıksu arıtma tesisi sayısı	1.431
Fiziksel/Kimyasal	458
Biyolojik	892
Gelişmiş	81
Atıksu arıtma tesisi kapasitesi (bin m³/yıl)	367.967
Fiziksel/Kimyasal	95.435
Biyolojik	248.416
Gelişmiş	44.116
Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarı (bin m³/yıl)	189.359
Fiziksel/Kimyasal	43.638
Biyolojik	128.652
Gelişmiş	17.069

3.2 Organize Sanayi Bölgeleri

Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) Su, Atıksu ve Atık İstatistiklerine göre 2008 yılında toplam 153 milyon m³ atıksu deşarj etmiştir. Deşarj edilen atıksuyun %71'inin akarsuya, %9'unun şehir kanalizasyonuna, %8'inin kuru dere yatağına, %5'inin diğer alıcı ortamlara boşaltıldığı, %7'sinin ise kooperatiflere ait atıksu arıtma tesislerine gönderildiği tespit edilmiştir. Bu atıksuların 2008 yılında toplam 113 milyon m³'ü arıtılmıştır. Arıtılan atıksuyun %55'ine biyolojik, %43'üne gelişmiş, %2'sine ise fiziksel ya da kimyasal arıtma uygulanmıştır. Ayrıca OSB şebekeleri ile toplanan 11,5 milyon m³ atıksu arıtmak üzere kooperatiflere ait atıksu

arıtma tesislerine gönderilmiştir. Tablo-6'da 2008 yılına ait Organize Sanayi Bölgesi'nin Su, Atıksu ve Atık değerleri verilmiştir (TUİK, 2010).

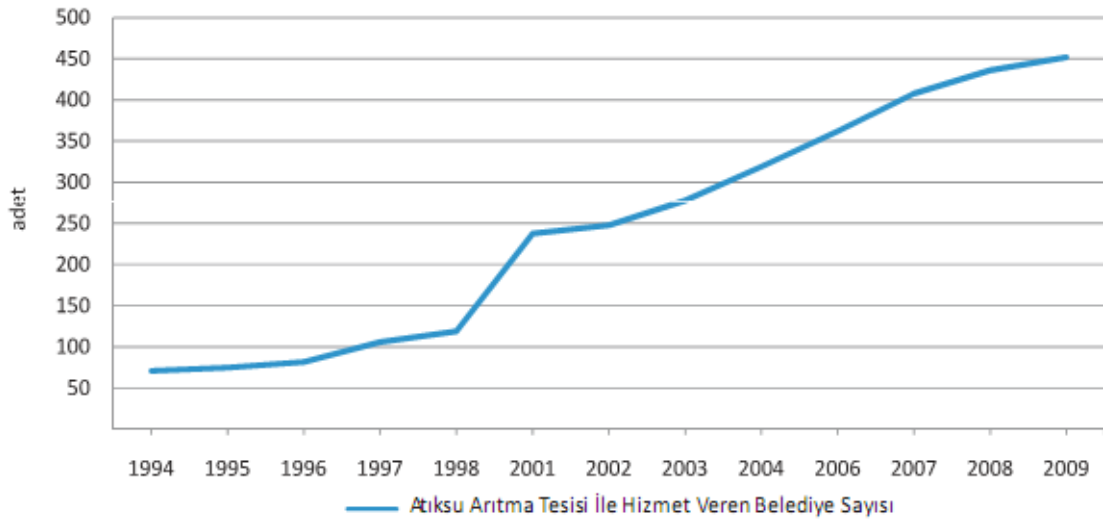
Tablo 6 2008 Yılı Organize Sanayi Bölgeleri Su ve Atıksu Göstergeleri (TUİK, 2010)

Anket uygulanan OSB sayısı	97
Su şebekesi	
Kendine ait su şebekesi olan OSB sayısı	75
Belediyenin su şebekesinden faydalanan OSB sayısı	14
Su şebekesi olmayan OSB sayısı	8
Kanalizasyon şebekesi	
Kendine ait kanalizasyon şebekesi olan OSB sayısı	79
Belediyenin kanalizasyon şebekesinden faydalanan OSB sayısı	10
Kanalizasyon şebekesi olmayan OSB sayısı	8
Çekilen su miktarı (bin m ³ /yıl)	116.300
Deşarj edilen atıksu miktarı (bin m³/yıl)	153.309
Arıtılarak	112.647
Arırlmadan	40.662
Atıksu arıtma tesisi sayısı	27
Fiziksel/Kimyasal	2
Biyolojik	18
Gelişmiş	7
Atıksu arıtma tesisi kapasitesi (bin m³/yıl)	221.255
Fiziksel/Kimyasal	4.015
Biyolojik	112.823
Gelişmiş	104.417
Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarı (bin m³/yıl)	112.647
Fiziksel/Kimyasal	2.410
Biyolojik	62.382
Gelişmiş	47.855
Çamur yoğunlaştırma/ıslah işlemi uygulayan OSB sayısı	23

4. Evsel Atıksu Kaynakları ve Arıtımı

4.1 Atıksu Arıtma Tesislerinin Sayısı ve Yerleri

Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 2009 yılında yayınlanan Çevresel Göstergeler Kitabına göre atıksu arıtma tesisi ile hizmet veren belediye sayısı 1994 yılında 71 iken bu rakam 2009 yılının ilk 6 aylık dönemi sonunda 6 kattan fazla artarak 452'ye ulaşmıştır. 2002 yılında 145 olan atıksu arıtma tesisi sayısı ise, 2009 yılının ilk 6 aylık dönemi sonunda 222'ye ulaşmıştır. Atıksu arıtma tesisi ile hizmet verilen nüfusun toplam belediye nüfusuna oranı 2002 yılında %51, 2008 yılı sonu itibari ile de %65 olarak belirlenmiştir. Atıksu arıtma tesislerinden faydalanan nüfusun, 2017 yılına kadar nüfusu 10.000'den büyük olan belediyelerde %100'e, 2000'den büyük olan belediyelerde ise %90'ın üzerine çıkartılması hedeflenmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde arıtıma tabi tutulan atıksuların %79'u biyolojik, %11'i mekanik, %10'u ileri yöntemler ile arıtılmaktadır (ÇOB, 2009). Şekil 2'de Türkiye'deki Atıksu Arıtma Tesisi ile hizmet veren belediyelerin 1994-2009 yılları arasındaki değişimi verilmiştir (ÇOB, 2009).



	1994	1995	1996	1997	1998	2001	2002	2003	2004	2006	2007	2008	2009
Atıksu Arıtma Tesisi İle Hizmet Veren Belediye Sayısı	71	75	82	106	119	238	248	278	319	362	408	436	452

Kaynak: 1994-2006 yılları arası Türkiye İstatistik Kurumu, 2007-2009 yılları arası Çevre ve Orman Bakanlığı
Not: 2009 yılı rakamı ilk altı aylık döneme aittir.

Şekil 2 Atıksu Arıtma Tesisi ile Hizmet Veren Belediyeler (ÇOB, 2009)

Tablo 7’de ise 2008 yılı için Türkiye’deki atıksu arıtma tesisleri, toplam kapasiteleri ve arıtma tiplerine göre arıtma tesisinde arıtılan miktarlar verilmiştir (TUİK, 2008). 2008 yılında 3225 Belediyeye uygulanan anket sonuçlarına göre, Türkiye’deki toplam tesis sayısı 236, toplam kapasite 4.143.140.000 m³/yıl, toplam arıtılan miktar 2.251.581.000 m³/yıl, fiziksel arıtma tesisi sayısı 29, biyolojik arıtma tesisi sayısı 158, ileri (gelişmiş) arıtma tesisi sayısı 32 ve doğal arıtma tesisi sayısı 17’dir. Tablo 1’de yer alan terimlerin açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

- **Fiziksel arıtma:** Atıksu içerisinde çözünmemiş halde bulunan kirleticilerin çöktürülerek ya da yüzdürülerek atıksudan ayrıldığı arıtma sistemlerine verilen genel isimdir. Izgaralar, elekler, kum tutucular, dengeleme, çökeltim ve flotasyon havuzları en yaygın fiziksel arıtma üniteleridir.

- **Kimyasal Arıtma:** Atıksuda çözünmüş halde bulunan ya da askıda bulunup kendiliğinden çökemeyen maddelerin çökmesini sağlamak amacıyla koagülant ve polielektrolit vb. kimyasal maddeler kullanılarak atıksudan ayrılmasıdır.

- **Biyolojik arıtma:**Atıksuda çözünmüş halde bulunan ve fiziksel veya kimyasal yöntemlerle istenilen düzeyde giderilemeyen organik esaslı katı maddelerin mikroorganizmalar yardımıyla atıksudan uzaklaştırılması işlemidir. Damlatmalı filtre, aktif çamur, stabilizasyon havuzu (oksidasyon havuzu) başlıca biyolojik arıtım üniteleridir.

- **İleri (gelişmiş) arıtma:** Fiziksel veya biyolojik arıtma yöntemleriyle yeterli düzeyde arıtılmayan ya da arıtımı mümkün olmayan kirletici maddelerin (azot, fosfor, ağır metaller, toksik organik maddeler vb.) giderilmesinde kullanılan arıtma işlemidir. Nitrifikasyon, denitrifikasyon, adsorpsiyon, iyon değiştirme v.b. başlıca gelişmiş arıtma yöntemleridir.

- **Doğal Arıtma Sistemi:** Yapay sulak alanlarda yaşayabilen bitkilerle atıksuların arıtılması işlemidir.

- **Kirlilik yükü:** Bir alıcı ortama deşarj edilen edilen kirletici miktardır. Genellikle birim zamanda (gün, yıl, vb.) deşarj edilen kirletici kütlesi (kilogram, ton, vb.) olarak ifade edilir.

Tablo 7. 2008 Yılı Türkiye Atıksu Arıtma Tesisi Mevcut Durumu (TUİK, 2010)

İl	Toplam tesis sayısı	Toplam kapasite (m ³ /gün)	Toplam arıtılan miktar (m ³ /gün)	Fiziksel arıtma tesisi sayısı	Fiziksel arıtma tesisi kapasitesi (m ³ /gün)	Fiziksel arıtma tesisinde arıtılan miktar (m ³ /gün)	Biyolojik arıtma tesisi sayısı	Biyolojik arıtma tesisi kapasitesi (m ³ /gün)	Biyolojik arıtma tesisinde arıtılan miktar (m ³ /gün)	Gelişmiş arıtma tesisi sayısı	Gelişmiş arıtma tesisi kapasitesi (m ³ /gün)	Gelişmiş arıtma tesisinde arıtılan miktar (m ³ /gün)	Doğal arıtma sistemi sayısı	Doğal arıtma sistemi kapasitesi (m ³ /gün)	Doğal arıtma sistemi ile arıtılan miktar (m ³ /gün)
Türkiye	236	4 143 140	2 251 581	29	1 537 719	735 710	158	1 594 640	861 428	32	1 000 814	648 536	17	9 967	5 906
Adana	4	134 217	106 532	-	-	-	4	134 217	106 532	-	-	-	-	-	-
Adıyaman	1	445	17	-	-	-	1	445	17	-	-	-	-	-	-
Afyonkarahisar	2	29 013	10 500	-	-	-	2	29 013	10 500	-	-	-	-	-	-
Ağrı	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amasya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ankara	2	279 955	176 020	-	-	-	2	279 955	176 020	-	-	-	-	-	-
Antalya	24	210 975	105 187	-	-	-	15	84 132	33 012	9	126 843	72 175	-	-	-
Artvin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aydın	11	74 697	33 794	1	3 784	1 440	7	70 488	32 225	-	-	-	3	425	129
Balıkesir	6	63 805	35 317	-	-	-	6	63 805	35 317	-	-	-	-	-	-
Bilecik	1	200	100	1	200	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bingöl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bitlis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bolu	2	1 240	1 214	-	-	-	2	1 240	1 214	-	-	-	-	-	-
Burdur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bursa	11	161 238	97 905	3	33 118	13 450	6	8 583	2 840	2	119 538	81 615	-	-	-
Çanakkale	3	5 428	1 127	-	-	-	3	5 428	1 127	-	-	-	-	-	-
Çankırı	1	47	47	-	-	-	1	47	47	-	-	-	-	-	-
Çorum	2	23 617	7 752	-	-	-	1	23 179	7 557	-	-	-	1	438	25195
Denizli	4	69 914	15 370	1	40	40	1	66 951	12 630	1	2 555	2 555	1	368	145

Diyarbakır	1	105 120	32 415	1	105 120	32 415	-	-	-	-	-	-	-	-	
Edirne	2	523	100	-	-	-	1	365	45	-	-	-	1	158	55
Elazığ	1	38 325	12 730	-	-	-	-	-	-	1	38 325	12 730	-	-	-
Erzincan	2	10 038	5 952	-	-	-	2	10 038	5 952	-	-	-	-	-	-
Erzurum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eskişehir	2	109 700	15 260	-	-	-	1	109 500	15 200	-	-	-	1	200	60
Gaziantep	2	154 609	80 000	-	-	-	2	154 609	80 000	-	-	-	-	-	-
Giresun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gümüşhane	1	946	60	1	946	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hakkari	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hatay	5	47 912	22 885	-	-	-	4	47 882	22 870	-	-	-	1	30	15
Isparta	3	18 218	12 632	-	-	-	3	18 218	12 632	-	-	-	-	-	-
Mersin	6	53 957	17 082	-	-	-	6	53 957	17 082	-	-	-	-	-	-
İstanbul	22	1 354 510	796 414	8	1 246 066	669 876	12	62 187	99 738	2	46 256	26 800	-	-	-
İzmir	17	251 890	230 122	-	-	-	9	4 384	1 883	4	240 134	223 458	4	7 373	4 782
Kars	1	63	63	1	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kastamonu	2	97 236	337	1	94 608	167	1	2 628	170	-	-	-	-	-	-
Kayseri	2	83 835	51 892	-	-	-	1	5 360	1 533	1	78 475	50 359	-	-	-
Kırklareli	1	80	30	-	-	-	1	80	30	-	-	-	-	-	-
Kırşehir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kocaeli	6	145 367	70 809	-	-	-	2	36 503	19 669	4	108 864	51 140	-	-	-
Konya	10	35 786	11 871	-	-	-	8	35 602	11 746	-	-	-	2	184	125
Kütahya	2	30 653	14 545	-	-	-	1	1 545	1 545	1	29 108	13 000	-	-	-
Malatya	1	49 056	29 689	-	-	-	-	-	-	1	49 056	29 689	-	-	-
Manisa	5	25 388	19 755	1	40	10	4	25 348	19 745	-	-	-	-	-	-
Kahramanmaraş	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mardin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Muğla	19	76 777	42 179	-	-	-	16	59 403	32 164	2	17 239	9 886	1	135	129
Muş	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nevşehir	2	5 585	3 000	-	-	-	2	5 585	3 000	-	-	-	-	-	-
Niğde	3	38 830	32 059	-	-	-	2	8 871	2 100	1	29 959	29 959	-	-	-

Ordu	2	7 050	2 821	1	5 700	2 661	1	1 350	160	-	-	-	-	-	-
Rize	1	2 523	1 069	1	2 523	1 069	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sakarya	2	104 359	40 880	-	-	-	1	5 101	4 380	1	99 258	36 500	-	-	-
Samsun	4	34 712	5 415	-	-	-	4	34 712	5 415	-	-	-	-	-	-
Siirt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinop	1	840	690	1	840	690	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sivas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tekirdağ	4	2 472	566	-	-	-	4	2 472	566	-	-	-	-	-	-
Tokat	5	5 414	2 627	1	70	55	1	438	110	1	4 250	2 190	2	657	272
Trabzon	2	10 501	1 759	2	10 501	1 759	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tunceli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Şanlıurfa	3	13 798	5 434	1	3 650	2 305	2	10 148	3 130	-	-	-	-	-	-
Uşak	1	10 955	6 480	-	-	-	-	-	-	1	10 955	6 480	-	-	-
Van	4	48 051	42 849	-	-	-	4	48 051	42 849	-	-	-	-	-	-
Yozgat	2	9 543	5 353	-	-	-	2	9 543	5 353	-	-	-	-	-	-
Zonguldak	3	26 610	10 368	1	21 854	7 702	2	4 756	2 666	-	-	-	-	-	-
Aksaray	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bayburt	2	150	96	1	50	11	1	100	86	-	-	-	-	-	-
Karaman	1	15 326	5 600	-	-	-	1	15 326	5 600	-	-	-	-	-	-
Kırıkkale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Batman	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Şırnak	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bartın	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ardahan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İğdır	1	8 546	1 839	1	8 546	1 839	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yalova	1	2 459	2 410	-	-	-	1	2 459	2 410	-	-	-	-	-	-
Karabük	1	15 642	7 309	-	-	-	1	15 642	7 309	-	-	-	-	-	-
Kilis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Osmaniye	1	23 652	11 000	-	-	-	1	23 652	11 000	-	-	-	-	-	-
Düzce	3	11 345	4 254	-	-	-	3	11 345	4 254	-	-	-	-	-	-

(1) Faal olmayan atıksu arıtma tesislerinin kapasiteleri dahil edilmiştir.

Tablo 8’de kanalizasyon şebekesi ve arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye sayıları ve nüfusu verilmiştir. Buna göre 2008 yılında toplam belediye sayısı 3225, toplam belediye nüfusu 58.581.515 iken, kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye sayısı 2421 ve belediye nüfusu %88 oranla 51.673.078’dir. Arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye sayısı 442 olup, belediye nüfusu %56’lık oranla 32.518.318’dir. 49 arıtma tesisi ile hizmet vererek en çok arıtma tesisine sahip il İstanbul olup; Osmaniye, Iğdır, Karaman, Uşak, Sinop, Rize, Kırklarleri, Kars, Gümüşhane, Çankırı, Bilecik ve Adıyaman 1 arıtma tesisi ile hizmet vermektedir. Giresun, Erzurum, Muş ve diğer bazı illerimizin bazılarında arıtma tesisi bulunmayıp, bazılarının ise arıtma tesisleri proje aşamasında olarak bildirilmiştir. Ek 3 Tablo 1’ de 2001-2008 yılları arası Kanalizasyon şebekesi ve arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye sayıları ve nüfusu verilmiştir.

Tablo 8 2008 Kanalizasyon şebekesi ve arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye sayıları ve nüfusu (TUIK, 2010)

İl	Toplam belediye sayısı	Toplam belediye nüfusu	Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye sayısı	Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye nüfusu	Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen nüfusun belediye nüfusu içindeki oranı (%)	Arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye sayısı	Arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye nüfusu	Arıtma tesisi ile hizmet verilen nüfusun belediye nüfusu içindeki oranı (%)
Türkiye	3 225	58 581 515	2 421	51 673 078	88	442	32 518 318	56
Adana	53	1 798 916	36	1 739 579	97	20	1 578 935	88
Adıyaman	28	378 554	22	345 341	91	1	233	0
Afyonkarahisar	107	550 886	95	501 202	91	6	191 251	35
Ağrı	12	292 224	10	227 784	78	-	-	-
Amasya	29	236 083	28	229 317	97	-	-	-
Ankara	67	4 365 555	60	4 310 472	99	16	3 589 585	82
Antalya	103	1 511 383	39	769 926	51	31	699 306	46
Artvin	12	100 210	10	89 775	90	-	-	-
Aydın	54	688 430	26	503 105	73	15	398 555	58
Balıkesir	53	777 740	47	730 891	94	9	365 695	47
Bilecik	15	160 455	15	159 344	99	1	1 382	1
Bingöl	13	153 615	12	143 437	93	-	-	-
Bitlis	15	205 644	12	174 281	85	-	-	-
Bolu	13	167 629	13	166 987	100	2	28 873	17
Burdur	30	179 946	21	151 673	84	-	-	-
Bursa	55	2 198 068	46	2 037 748	93	23	1 728 496	79
Çanakkale	34	307 161	29	273 869	89	3	20 191	7

Çankırı	31	123 726	30	117 491	95	1	1 619	1
Çorum	38	376 282	37	366 355	97	2	201 426	54
Denizli	100	736 379	79	656 146	89	15	248 086	34
Diyarbakır	32	1 078 864	26	1 009 962	94	7	559 851	52
Edirne	26	293 517	23	270 576	92	2	2 164	1
Elazığ	26	438 834	17	386 367	88	4	319 875	73
Erzincan	29	163 806	18	128 263	78	5	91 990	56
Erzurum	40	523 363	36	506 945	97	-	-	-
Eskişehir	32	657 347	18	579 860	88	5	353 511	54
Gaziantep	28	1 405 420	22	1 366 414	97	4	1 197 404	85
Giresun	33	276 661	25	198 141	72	-	-	-
Gümüşhane	18	86 738	17	77 258	89	1	1 671	2
Hakkari	8	155 643	3	68 105	44	-	-	-
Hatay	76	1 093 666	33	622 816	57	5	378 331	35
Isparta	51	345 267	48	331 107	96	3	221 826	64
Mersin	70	1 386 814	35	1 159 247	84	6	285 816	21
İstanbul	74	12 460 170	72	11 328 858	91	49	11 107 794	89
İzmir	89	3 467 834	79	3 259 380	94	23	2 999 454	86
Kars	10	140 277	8	120 497	86	1	2 984	2
Kastamonu	21	186 092	20	171 594	92	2	6 723	4
Kayseri	68	1 049 128	53	966 803	92	22	861 146	82
Kırklareli	26	261 321	23	248 916	95	1	1 029	0
Kırşehir	30	181 329	14	132 921	73	-	-	-
Kocaeli	45	1 346 092	44	1 278 787	95	31	1 278 787	95
Konya	206	1 753 490	128	1 479 948	84	11	182 591	10
Kütahya	75	447 610	74	441 904	99	2	231 662	52
Malatya	54	599 783	47	558 285	93	12	463 155	77
Manisa	84	1 019 764	76	956 730	94	5	410 308	40
Kahramanmaraş	64	764 676	30	620 604	81	-	-	-
Mardin	31	530 789	28	386 973	73	-	-	-
Muğla	61	515 436	29	288 555	56	21	194 472	38

Muş	28	216 507	9	112 643	52	-	-	-
Nevşehir	45	223 284	36	186 183	83	6	37 273	17
Niğde	52	269 541	28	177 225	66	6	136 473	51
Ordu	72	535 180	59	382 678	72	2	65 688	12
Rize	21	223 132	16	168 155	75	1	7 927	4
Sakarya	40	649 693	32	555 898	86	16	471 563	73
Samsun	51	835 575	34	706 380	85	4	107 220	13
Siirt	13	197 437	13	190 697	97	-	-	-
Sinop	11	102 251	11	99 575	97	1	10 881	11
Sivas	46	477 233	45	461 709	97	-	-	-
Tekirdağ	33	627 892	29	580 610	92	4	7 634	1
Tokat	77	471 983	73	452 913	96	5	64 016	14
Trabzon	77	565 643	52	431 722	76	3	33 680	6
Tunceli	10	57 208	9	53 063	93	-	-	-
Şanlıurfa	26	997 759	17	931 067	93	3	118 418	12
Uşak	24	247 281	23	233 667	94	1	119 460	48
Van	20	567 440	8	451 921	80	5	404 648	71
Yozgat	65	359 003	55	308 619	86	2	38 399	11
Zonguldak	32	411 504	27	359 625	87	3	142 612	35
Aksaray	48	304 416	13	197 108	65	-	-	-
Bayburt	9	45 568	9	44 909	99	2	2 239	5
Karaman	16	168 257	6	124 916	74	1	110 528	66
Kırıkkale	27	253 991	22	244 643	96	-	-	-
Batman	12	358 047	11	328 790	92	-	-	-
Şırnak	20	308 103	13	253 191	82	-	-	-
Bartın	9	73 092	9	68 888	94	-	-	-
Ardahan	9	41 398	7	27 730	67	-	-	-
Iğdır	8	114 351	4	68 427	60	1	45 556	40
Yalova	15	153 993	11	141 764	92	4	14 616	9
Karabük	8	168 797	8	163 573	97	2	140 736	83
Kilis	5	84 278	5	80 774	96	-	-	-
Osmaniye	16	351 113	5	276 783	79	1	178 672	51
Düzce	11	181 948	9	166 691	92	2	53 902	30

4.2 Atıksu Arıtma Tesislerinde Uygulanan Teknolojiler

Türkiye’de uygulanan atıksu arıtma yöntemleri; ön, mekanik (ön), biyolojik (ikincil) ve ileri arıtmadan oluşmaktadır. Ülkemizde ön arıtma daha çok, atıksuların derin deniz deşarjı uygulaması ile bağlantılı olarak kullanılmaktadır. Kıyı şeridinde bulunan atıksu arıtma tesislerinin çoğunda, ön arıtma kullanılmakta olup, yönetmelik; atıksuyun derin deniz deşarjına tabi tutulduğu yerlerde, kirleticilerin derişimlerinin azaltılmasını şart koşmaktadır.

Ön arıtma; ızgara, çakıl ve kum gideriminden oluşmaktadır, mekanik arıtma ise ek ön çökeltme ünitesi içermektedir. Türkiye’de en yaygın atıksu arıtma tesisi tipi olan biyolojik arıtma ise, mekanik arıtma ve organik maddelerin biyolojik veya kimyasal giderimi sonrasında kullanılan son çökeltme ünitesinden oluşmaktadır.

Azot ve fosfor giderimi açısından besi kontrolü, üçüncül (ileri) arıtma tesisleri ile gerçekleştirilmektedir.

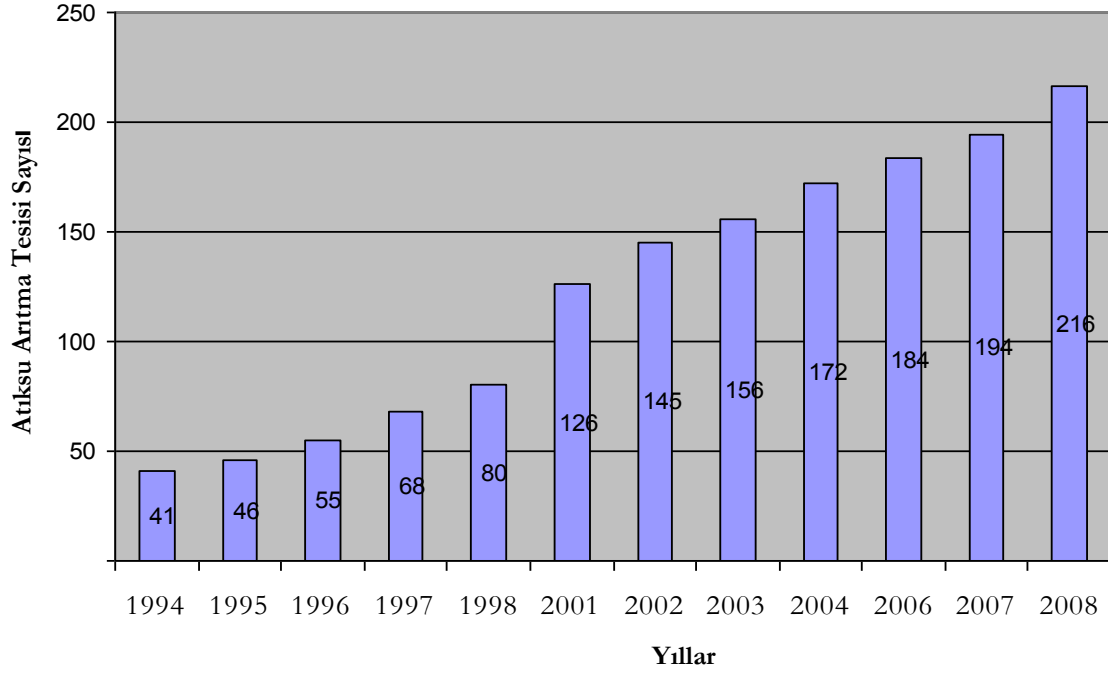
TÜİK Başkanlığı tarafından, belediye teşkilatları kurulmuş bütün belediyelerden elde edilen “Belediye Atıksu Temel Gösterge Sonuçları”na göre; 2001 yılından sonra atıksu arıtma tesislerinde gerçekleştirilen atıksu arıtımında kayda değer bir artış görülmüştür.

Atıksuyun arıtımında fiziksel arıtma yöntemi uygulama alanı bulmuş olmasına rağmen, atıksuyun büyük bir bölümü biyolojik arıtma yöntemi ile arıtılmıştır. Diğer taraftan; 2001 yılında, atıksulara fiziksel ve biyolojik olarak arıtma yöntemi uygulayan atıksu arıtma tesisi sayısı toplam 123 olarak belirlenmiş olup, bu değer 2004 yılında, 172’ye, 2006 yılında 184’e ulaşmıştır. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından elde edilen verilere göre 2007 yılı sonu itibarıyla toplam atıksu arıtma tesisi sayısı 194’e ulaşmıştır (Şekil 3).

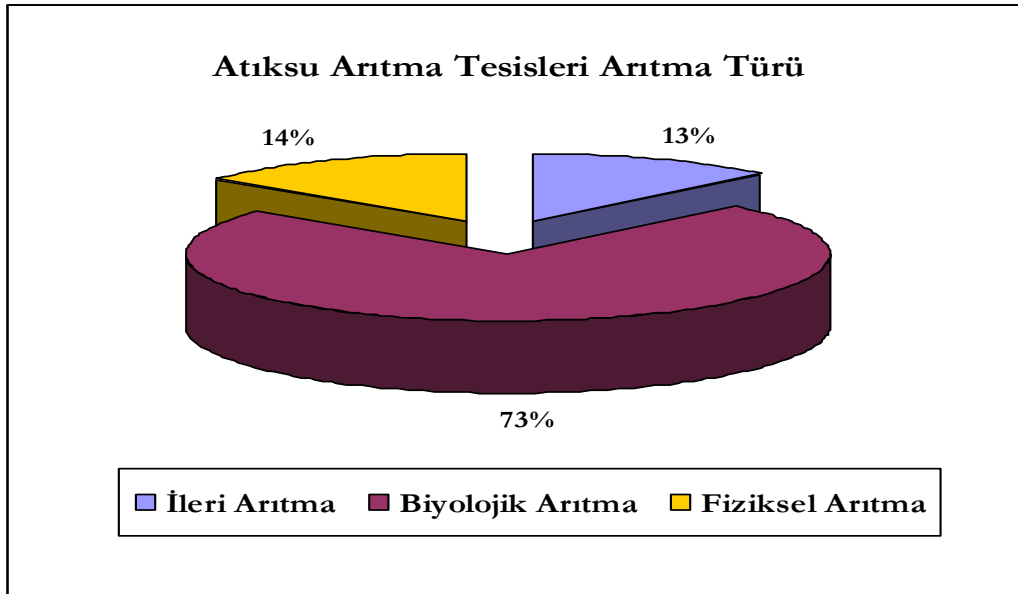
Ayrıca, 2006 yılı verilerine göre; bu atıksu arıtma tesislerinin 26’sı fiziksel, 135’i biyolojik, 23’ü ileri arıtım yöntemleri ile arıtım yapmaktadır (Şekil 4). İleri arıtım yapan başlıca Büyükşehir Belediyeleri Ankara, İstanbul ve İzmir’dir.

4.3 Atıksu Arıtma Tesislerinin Deşarj Kaliteleri

Türkiye’deki mevcut arıtma tesislerinin çıkış suyu kalitelerinin analizi, arıtma teknolojilerinin kıyaslanması, arıtılmış atıksuyun yeniden kullanılması, vd. konular Çevre İl Durum Raporlarının hazırlanması başta olmak üzere bir çok araştırmaya konu olmuştur. Projenin bu döneminde, bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar derlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. 1994–2008 Yılları Arasında Atıksu Arıtma Tesisi Durumu (Atıksu Arıtımı Eylem Planı 2008-2012, ÇOB)



Şekil 4. Belediyelere Ait Atıksu Arıtma Tesislerinin Arıtma Türü (%) (Atıksu Arıtımı Eylem Planı 2008-2012, ÇOB)

Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanılmasına yönelik mevcut yönetmelik Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği (1991) olup, başlıca kontrol edilen parametreler BOİ-Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, AKM-Askıda Katı Madde, pH ve Fekal Koliformdur. Sulama suyu kalitelerine göre sınır değerler Tablo 4’de verilmiştir.

Atıksu miktarının fazla olduğu illerden Adana'da Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu parametrelerinden BOİ₅ ve AKM parametreleri için 3. Sınıf Sulama Suyu (kullanılabilir) kalitesini sağlayabilmiştir. Atıksu miktarı bakımından Adana'ya yakın olan Bursa ili İnegöl Atıksu Arıtma Tesisi ise aynı parametreler için 2. Sınıf Sulama Suyu (İyi) kalitesini sağlayabilmiştir. Bu iki atıksu arıtma tesisinin arıtma teknolojilerine baktığımızda Adana-Seyhan'da Izgara +Toplayıcı +Kum Tutucu +Birinci Çöktürme Havuzu +Havalandırma Havuzu + İkinci Çöktürme Havuzu +Oksidasyon Pondu; Bursa-İnegöl'de Izgara+Uzun Havalandırma Havuz+İkinci Çöktürme Havuzu+Belt Filtre Pres'tir. Bu işletim sistemlerinden İnegöl'deki sistemin BOİ₅ ve AKM giderimi için daha uygun bir sistem olduğunu yine uzun havalandırma sistem kullanan Balıkesir-Edremit-Edremit Atıksu Arıtma Tesisi sonuçları da desteklemektedir.

Sulama suyu kriterlerine göre yapılan detaylı çalışma Ek 3 Tablo 1'de sunulmuştur. Yapılan çalışmada atıksuyun yeniden kullanılmasına yönelik kriterler göz önünde bulundurulmuştur.

5. Atıksuyun Tarımda Kullanılması

5.1 Tarımsal Amaçlı Atıksuyun Yeniden Kullanılması

Arıtılmış atıksu arazi sulamasında veya tarımsal sulamada kullanılabilir. Tarımsal sulama, genelde toplam su ihtiyacının % 40'ı gibi oldukça önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Dolayısıyla, tarımda, arıtılmış atıksuyun geri kullanımı önemli miktarda su korunumu sağlamaktadır ve diğer kullanımlarla birlikte planlanması halinde ise, geri kullanımda önemli bir yüzdeyi oluşturmaktadır (EPA, 1992). Ayrıca atıksu ile sulama, yüzey ve yer altı sularına doğrudan boşaltılarak oluşturulan kirliliği en aza indirmek için atık yönetimi olarak öngörülmektedir (Mohammad ve Mazahreh, 2003).

Bir suyun sulama yönünden elverişliliğinin tayini için en önemli özellikler çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonu, sodyum ve diğer katyonların nisbi oranı, 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 miktarıdır (EPA, 1992). Bunların dışında insan sağlığı yönünden bakıldığında dikkat edilmesi gereken en önemli kirleticiler patojen mikroorganizmalardır (Pescod, 1992).

5.2 Tarımsal Amaçlı Çamurun (Biyokatı) Kullanılması

Ülkemizde çamurun bertarafı için en sık kullanılan yöntem çamurun katı atık depolama sahalarına atılmasıdır. Fakat artan çamur miktarları ve kısıtlı depolama sahaları bu yöntemi giderek geçersiz kılmaktadır. Çamurların tarımda kullanımı alternatif bertaraf yöntemlerindedir (Özsoy, 2006). Kentsel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların azot, fosfor ve diğer besiyerleri içermesi nedeniyle tarımsal alanlarda kullanılmasına mümkündür. Fakat arıtılan atıksuyun tipine ve arıtma proseslerine bağlı olarak arıtma çamurları farklı oranlarda toksik organik kimyasalları, ağır metalleri ve patojenleri içermektedir ve bu nedenlerle tarımsal amaçlı kullanımı kontrol gerektirmektedir (Hanay, 2007).

6. Yasal Mevzuat

6.1 Atıksu

Konuyla ilgili uluslararası ve özellikle de son yıllarda ülkemizde bazı düzenlemeler yapılmıştır. 07.01.1991 yıl, 20747 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”nin 46’ncı maddesinde arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması ile ilgili olarak; atıksuların araziye verilmeye veya sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler belirtilmiştir. Bunlar;

1. Suyun içindeki çözülmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
2. Sodyum iyonu konsantrasyonu ve Na iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
3. Bor, ağır metal ve zehir etkisi olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
4. Bazı koşullarda Ca ve Mg iyonlarının toplam konsantrasyonu
5. Toplam katı madde, organik madde yükü, yağ ve gres gibi yüzen maddelerin miktarı
6. Patojen mikroorganizmaların miktarı

Yasal mevzuata ilişkin ilgili kriterleri gösteren bilgiler Tablo9-10-11-12-13-14 ve Şekil 5’de verilmiştir.

Tablo 9 Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri (SKKY,1991)

Kalite kriterleri	Sulama suyu sınıfı				
	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. sınıf su (zararlı) uygun değil
EC ₂₅ ×10 ⁶	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	> 3000
Değişebilir Sodyum Yüzdesi (% Na)	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80
Sodyum Adsorbsiyon oranı (SAR)	< 10	10-18	18-26	> 26	
Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) meq/l	> 1.25	1.25-2.5	> 2.5		
mg/l	< 66	66-133	> 133		
Klorür (Cl ⁻), meq/l	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
mg/l	0-142	142-249	249-426	426-710	> 710
Sülfat (SO ₄ ⁼) meq/l	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
mg/l	0-192	192-336	336-575	575-960	> 960
Toplam tuz konsantrasyonu (mg/l)	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	> 2100
Bor konsantrasyonu (mg/l)	0-0.5	0.5-1.12	1.12-2.0	> 2.0	-
Sulama suyu sınıfı *	C ₁ S ₁	C ₁ S ₂ , C ₂ S ₂ , C ₂ S ₁	C ₁ S ₃ , C ₂ S ₃ , C ₃ S ₃ , C ₃ S ₂ , C ₃ S ₁	C ₁ S ₄ , C ₂ S ₄ , C ₃ S ₄ , C ₄ S ₄ , C ₄ S ₃ , C ₄ S ₂ , C ₄ S ₁	-
NO ₃ ⁻ veya NH ₄ ⁺ mg/l	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50
Fekal Koliform ** 1/100 ml	0-2	2-20	20-100	100-1000	> 1000
BOİ ₅	0 – 25	25 – 50	50 – 100	100 – 200	> 200

* Şekil 1'den bulunur

** Bitki türüne göre daha az veya çok olabilir (Bak. Tablo 8).

Tablo 10 Sulama Sularında İzin Verilebilen Maksimum Ağır Metal ve Toksik Elementlerin Konsantrasyonları (SKKY, 1991)

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler mg/l	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/l
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	- ³	2.0
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li) ¹	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05 ²
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

¹Sulanan narenciye için 0.075 mg/l'dir.

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

³Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 11 Atıksuların Tarımda Kullanılması ile İlgili Esaslar ve Teknik Sınırlamalar (SKKY,1991)

Tarım Türü	Teknik Sınırlamalar
Meyvecilik ve Bağcılık	- Yağmurlama metodu ile sulama yasaktır.
	- Yere düşen meyveler yenmemelidir.
	- Fekal koliform sayısı 1000/100 ml
Elyafli Bitki ve Tohum Üretimi	- Salma veya yağmurlama sulama yapılabilir.
	- Yağmurlama sulamada biyolojik olarak arıtılmış ve klorlanmış atıksular kullanılabilir.
	- Fekal koliform 1000/100 ml
Yem Bitkileri, Yağ Bitkileri, Çiğ Yenmeyen Bitkiler ve Çiçekçilik	- Salma sulama, mekanik arıtılmış atıksu

Tablo 12 Endüstriyel Atıksuların Sulama Suyu Olarak Kullanılmaya Uygunluğu (SKKY, 1991)

I	II	III
Yakınında uygun arazi varsa, sulama suyu olarak kullanılabilir	Belirli koşullarda sulama suyu olarak kullanıma uygun^x	Sulama suyu olarak kullanım için uygun değil
Bira, Malt, Şarap, Patates, Sebze, Konserve, Marmelat, Meyve Konserve, Süt, Patates Nişastası Fabrikaları	Maya, Şeker, Pirinç ve Tahıl nişastası, Deri tutkalı, Kemik Tutkalı Fabrikaları, Mezbaha, Et kombina Tesisleri, Tabak-hane, Margarin Fabrikası, Kağıt Fabrikası, Karton Fabrikası, Tekstil Sanayii (Ağartma, Mercerize, Boyahane, Baskı-hane v.s.) Yün Yıkama, Balık Unu, Balık Konservesi, Madencilik.	Cila ve Boya Fabrikaları, Sabun Fabrikası, Anorganik Ağır Kimyasal Madde Sanayi; İlaç Fabrikaları, Metal Fabrikası, Sülfite Selüloz Fabrikası, Viskoz Suni İpek Fabrikası, Piroliz Tesisleri, Havagazı Tesisleri Jeneratör Gaz Türbinleri, Madeni Yağ Sanayi, Kömür Yıkama, Dinamit Sanayi, Odun Koklaştırma Tesisleri.

^x Bu Endüstrilerin Atıksularının Tablo 4 ve 5'deki Değerlere Kadar Arıtılması Durumunda

Tablo 13 Arıtılmış Evsel Atıksuların Dezenfekte Edilmeden Sulamada Kullanılıp Kullanılmayacağını Gösteren Tablo (- İşaret Suyun Kullanılmayacağını, + İşaret İse Kullanılabileceğini Gösterir.) (SKKY, 1991)

	Tarla		Çayır-Mera		Sebze		Yem Bitkisi		Meyvecilik		Koru Ormanlık
	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BV	
Biyolojik Arıtma tesisi veya en az 2 saat beklemeli çökeltim havuzu şeklindeki ön arıtma tesisi çıkış suları	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+
Aerobik stabilizasyon havuzları veya lagünlerin çıkış suları	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+

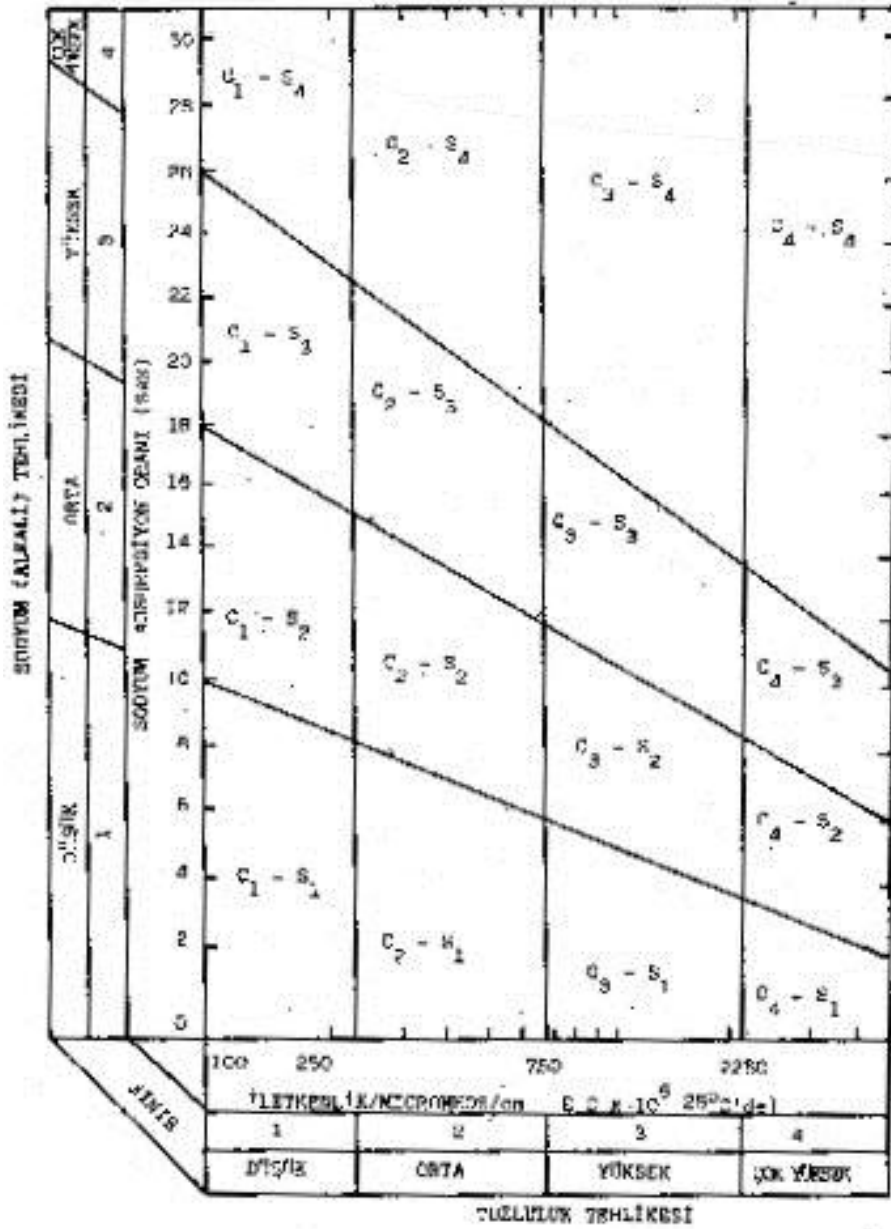
Tablo 14 Bitkilerin Bor Mineraline Karşı Dayanıklılıklarına Göre Sulama Sularının Sınıflandırılması (SKKY, 1991)

Sulama Suyu Sınıfı	Sulama Suyundaki Bor Konsantrasyonu (mg/l)		
	Duyarlı Bitkiler ¹ (mg/l)	Orta Derecede ² Dayanıklı Bitkiler	Dayanıklı ³ Bitkiler
I	0.33'ten az	0.67'den az	1.0'den az
II	0.33-0.67	0.67-1.33	1.00-2.00
III	0.67-1.00	1.33-2.00	2.00-3.00
IV	1.00-1.25	2.00-2.50	3.00-3.75
V	1.25'ten fazla	2.50'den fazla	3.75'den fazla

¹ : Örnek ; Ceviz, Limon, İncir, Elma, Üzüm ve Fasulye

² : Örnek : Arpa, Buğday, Mısır, Yulaf, Zeytin ve Pamuk

³ : Örnek : Şeker Pancarı, Yonca, Bakla, Soğan, Marul ve Havuç



Şekil 5. Sulama sularının sınıflandırılmasında kullanılan diyagram (SKKY, 1991)

2010 Yılında yayınlanan yeni mevzuat:

Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması bu yönetmelikle geri kazanım türü, arıtma türü, geri kazanılmış suyun kalitesi, izleme periyodu ve uygulama mesafesine göre incelenmektedir.

Arıtılmış atıksular 2 sınıfa ayrılmışlardır;

Sınıf A: *a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri*
b-Kentsel alanların sulanması

Sınıf B: *a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri*
b-Girişi kısıtlı sulama alanları
c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler

pH, BOİ5, AKM, Fekal koliform, Bulanıklık ve Bakiye klor sınır değerleri verilmiştir.

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi ^a	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi ^b
Sınıf A				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri^l</i>				
<i>b-Kentsel alanların sulanması</i>				
a) Yüzeysel ve yağmurlama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	-İkincil arıtma ^c -Filtrasyon ^d - Dezenfeksiyon ^e	-pH=6-9 -BOİ5 < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTUf -Fekal koliform: 0/100 mL ^{g,h}	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık -Bulanıklık: Sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
b) Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)		-Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L ⁱ	-Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	

Açıklamalar:

-Tarımsal sulamada tavsiye edilen ağır metal analizlerine dikkat edilmelidir.

-Standarları sağlamak üzere filtrasyon öncesinde koagülant ilavesi yapılabilir.

-Geri kullanılacak arıtılmış atıksu renksiz ve kokusuz olmalıdır.

-Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.

-Arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0.5

mg/L'nin üzerinde olmalıdır.

-Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.

-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.

Sınıf B

a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri^m

b-Girişi kısıtlı sulama alanları

c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler

a) Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması	-İkincil arıtma ^c - Dezenfeksiyon ^e	-pH=6-9 -BOİ5 < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık -AKM: günlük -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. - Yağmurlama sulama yapılıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede
b)Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler		-Fekal koliform < 200 ad/100 mL ^{g,j,k} -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir.		
c)Otlak hayvanları için mera sulaması		-Bakiye klor > 1 mg/L ¹		

Açıklamalar:

-Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde gözönünde bulundurulmalıdır.

-Püstkürtmeli sulama yapılıyor ise AKM < 30 mg/L olmalıdır.

-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.

-Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.

Sulama suyunun kimyasal kalitesi için ise ele alınan parametreler sırasıyla Tuzluluk-İletkenlik, Toplam çözünmüş madde, Geçirgenlik - SAR, Özgül iyon toksisitesi- Sodyum, Klorür, Bor'dur. Bu parametreler kullanımdaki zarar derecelerine göre 1. Sınıf su (yok), 2. Sınıf su (az-orta), ve 3. Sınıf su (tehlikeli) değerlendirilmiştir.

Kullanımında zarar derecesi				
Parametreler	Birimle r	Yok	Az – orta	Tehlikeli
		(I. sınıf su)	(II. sınıf su)	(III. sınıf su)
Tuzluluk				
İletkenlik	µS/cm	< 700	700-3000	>3000
Toplam çözünmüş Madde	mg/L	< 500	500-2000	>2000
Geçirgenlik				
SAR _{Tad}	0-3	EC ≥ 0.7	0.7-0.2	< 0.2
	3-6	≥ 1.2	1.2-0.3	< 0.3
	6-12	≥ 1.9	1.9-0.5	< 0.5
	12-20	≥ 2.9	2.9-1.3	< 1.3
	20-40	≥ 5.0	5.0-2.9	< 2.9
Özgül iyon toksisitesi				
Sodyum (Na)				
Yüzey sulaması	mg/L	< 3	3-9	> 9
Damlatmalı sulama	mg/L	< 70	> 70	
Klorür (Cl)				
Yüzey sulaması	mg/L	< 140	140 –350	> 350
Damlatmalı sulama	mg/L	< 100	> 100	
Bor (B)	mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0

Bunların yanı sıra sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementler için bir önceki yönetmelikle aynı sınıflandırma ve aynı değerler kullanılmıştır.

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler mg/1	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/1
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	- ³	2.0
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li) ¹	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05 ²
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

Bir önceki yönetmelikten farklı olarak;

- Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları ikincil arıtma, üçüncül arıtma, ters ozmoz, ve EPA tavsiyeleri olarak verilmiştir.

Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları (mg/l)

Elementler, mg/L	İkinci arıtma		Üçüncü 1 arıtma	Ters osmoz	Tavsiye edilen değer*	
	Aralık	Ortalama			Kısa süreli	Uzun süreli
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

- Bitkilerin tuzluluğa, sodyuma, klorüre ve bora olan hassaslıkları da değişik tarla bitkileri, sebzeler, çayır bitkileri ve meyve bitkileri için 4 sınıfa, toleranslı, orta toleranslı, orta hassas ve hassas olarak verilmiştir.
- Geri kazanılmış atıksuda olabilecek nütrient seviyeleri, toplam azot, nitrat azotu ve toplam fosfor, farklı arıtma teknolojileri için (klasik aktif çamur, BNR, BNR+filtrasyon+dezenfeksiyon, MBR, BNR+MF+RO+dezenfeksiyon) verilmiştir.

Geride kazanılmış atıksuda olabilecek nütrient seviyeleri

Elementler, mg/L	Birim	Ham atıksu	Klasik Aktif amur	BNR	BNR+filtrasyon+ dezenfeksiyon	MBR	BNR+MF+RO +dezenfeksiyo n
Toplam azot	mg N/L	20-70	15-35	2-12	2-12	7-18	<1
Nitrat azotu	mg N/L	0-az	10-30	1-10	1-10	5-11	<1
Toplam fosfor	mg P/L	4-12	4-10	1-2	<2	0.3-5	<0.05

- *BNR: Biyolojik nütrient giderimi MBR: Membran biyoreaktör*

6.2 Atık amur (Biyokatı)

Türkiye’de çamurun tarım arazilerine kullanılması ile ilgili standartlar Ağustos 2010’da yürürlüğe giren evsel ve Kentsel Arıtma amurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik’te yer almaktadır. Bu Yönetmeliğin amacı arıtma amurlarının toprakta kullanımında gerekli tedbirlerin alınması esaslarını sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir Şekilde belirlemektir. İlgili sınır değerler Tablo 15 ve 16’da sunulmuştur.

Tablo 15. Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerler (Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, 2010)

Ağır Metal (Toplam)	6≤pH<7 mg. kg⁻¹ Fırın Kuru Toprak	pH≥7 mg. kg⁻¹ Fırın Kuru Toprak
Kurşun	70	100
Kadmiyum	1	1,5
Krom	60	100
Bakır	50	100
Nikel	50	70
Çinko	150	200
Civa	0,5	1

Tablo 16. a) Toprakta Kullanılabilecek Stabilize Arıtma Çamurunda Müsaade Edilecek Maksimum Ağır Metal Muhtevaları(Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, 2010)

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg kg⁻¹ kuru madde)
Kurşun	750
Kadmiyum	10
Krom	1000
Bakır	1000
Nikel	300
Çinko	2500
Civa	10

b) Toprakta Kullanılacak Stabilize Arıtma Çamurundaki Organik Bileşiklerin Konsantrasyonlarının ve Dioksinlerin Sınır Değerleri (Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, 2010)

Organik Bileşikler	Sınır değerler (mg kg⁻¹ kuru madde)
AOX (Adsorblanabilen organik halojenler)	500
LAS (Lineer alkilbenzin sülfonat)	2 600
DEHP (Diftalat(2-ethylhexyl))	100
NPE (Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir)	50
PAH (Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı)	6
PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı)	0.8

Dioksinler	ng Toksik Eşdeğer.kg⁻¹ kuru madde
PCDD/F Poliklorlu dibenzodioksin/dibenzofuranlar	100

7. Örnek Çalışmalar

Üstün ve Solmaz (2005), Bursa ilinde kurulu bulunan bir Organize Sanayi Bölgesinden (OSB) kaynaklanan atıksuların mevcut arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra sulama suyu olarak tekrar kullanılabilirliği araştırmışlardır. OSB'de mevcut olan atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtılmış atıksu, kimyasal çöktürme ve iyon değişimi yöntemlerine tabi tutularak sulama suyu standartlarını aşan kirletici parametreler üzerinde giderim verimleri tespit edilmiştir. Çalışma neticesinde, uygulanan kombine atıksu arıtma sistemi ile atıksuyun kalitesinin 1. sınıf sulama suyu kalitesine ulaştığı ve tekrar kullanılabilirliğinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

Karataş vd. (2005), İzmir ilinde oluşan evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların arıtıldıktan sonra denize deşarj edilmesi yerine Menemen Ovasında sulama suyu olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. 2002'den 2004 yılına kadar geçen 3 yıllık süre içerisinde değişik tarihlerde yapılan çıkış suyu analiz sonuçlarının yıllık ortalamaları Tablo-17'de verilmiştir. Biyolojik arıtma işleminden geçirilen İzmir evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların, bazı sulama suyu kalite parametreleri yönünden sulamaya uygunluğu, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik

Usuller Tebliği ve ilgili literatür ışığında irdelenmiştir. Sonuç olarak İzmir kentsel arıtılmış atıksuyunun, toplam tuz, EC, ÇKM, SAR, DSY ve Cl açısından birçok bitkinin tolerans sınırını aştığı gözlemlenmiştir. Söz konusu parametrelerin konsantrasyonlarının yüksek çıkmasının temel nedenini olarak sisteme deniz suyunun girmesi gösterilmiş ve bunun engellenmesi durumunda bu suların kontrollü bir şekilde kullanılabilceği belirtilmiştir.

Tablo 17 İZSU Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu analiz sonuçları (Karataş vd., 2005)

Parametreler	Birim	Yıllık Ortalamalar			3 yıllık ortalama
		2002	2003	2004	
AKM	mg/l	31.8	31.0	23.4	28.7
KOİ	mg/l	53.0	67.7	60.4	60.4
BOİ	mg/l	24.8	15.5	19.4	19.9
PO ₄ -P	mg/l	1.9	3.9	5.23	3.7
NH ₄ -N	mg/l	6.4	2.0	2.2	3.5
NO ₃ -N	mg/l	9.6	16.9	22.1	16.2
pH		7.3	7.6	7.8	7.6
Toplam Tuz	mg/l	4068	3391	3040	3500
ÇKM	mg/l	5199	3981	3469	4216
EC	µmhos/cm	8123	6220	5420	6588
SAR		36	15	13	21
Sulama Su. Sın.		C4S4	C4S2	C4S2	C4S3
RSC	me/l	0.79	0.70	0.69	0.73
DSY	%	79	70	69	73
Cl	mg/l	2358	1785	1384	1842
SO ₄	mg/l	409	328	318	352
B	mg/l	0.023	0.252	0.478	0.251
Al	mg/l	0.000	0.022	0.079	0.034
As	mg/l	0.020	0.010	0.012	0.014
Be	mg/l	0.000	0.000	0.000	0.000
Cd	mg/l	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	mg/l	0.001	0.000	0.000	0.000
Co	mg/l	0.000	0.000	0.000	0.000
Cu	mg/l	0.006	0.001	0.000	0.002
F	mg/l	0.317	0.458	0.260	0.345
Fe	mg/l	0.570	0.390	0.690	0.550
Pb	mg/l	0.000	0.001	0.001	0.001
Li	mg/l	0.007	0.026	0.029	0.021
Mn	mg/l	0.169	0.050	0.014	0.078
Mo	mg/l	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	mg/l	0.006	0.001	0.002	0.003
Se	mg/l	0.005	0.000	0.000	0.002
V	mg/l	0.001	0.000	0.000	0.000
Zn	mg/l	0.000	0.042	0.087	0.043

Aşık ve Katkat (2005) tarafından, Bursa’da bulunan bir gıda sanayi arıtma tesisi atıksuyunun sulama suyu olarak kullanım olanağı araştırılmıştır. Bu amaçla atıksu analiz değerleri 7.01.1991 tarih, 20748 sayılı resmi gazetede yayımlanan ‘Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği’ nde belirtilen ve suların araziye verilmesi ve sulamaya uygunluğu açısından önerilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada; arıtma tesisinden bir üretim periyodu boyunca belli zamanlarda alınan atıksu örneklerinde, pH, EC başta olmak üzere HCO₃, CO₃, Cl, SO₄, B, Na, K, Ca, Mg, BOİ₅, KOİ, AKM analizleri yapılmıştır. Arıtma tesisi atıksuyunun sulama suyu olarak kullanım olanağını belirlemek amacıyla yapılan analizler sonucunda, atıksuyun zamana bağlı olarak C₃S₁ (yüksek tuzlu) ve C₄S₂ (çok yüksek tuzlu) sulama suyu sınıflarına girdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak analizleri yapılan atıksuyun yüksek ve yüksek tuzluluk tehlikesine sahip su olması ayrıca sulama suyunun C₃S₁ ve C₄S₂ sınıfına girmesi nedeniyle bu suların kontrollü kullanımı veya seyreltilip tuz etkisi

azaltıldıktan sonra kullanılması gibi tedbirlerin alınması tarımsal kullanım açısından yararlı olacağı belirtilmiştir.

Öbek vd. (2004) tarafından Elazığ Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi ile KÖY-TÜR Kesimhane Arıtma Tesisi arıtma çamurlarında ağır metal düzeyleri araştırılmıştır. Bu amaçla her iki arıtma tesisinden arıtma çamuru numuneleri alınmış ve ağır metal düzeyleri belirlenmiştir. Tablo 18'den E.A.A.T ve KÖY-TÜR arıtma tesisleri çamurlarının içerdiği ağır metal konsantrasyonları ve sınır değerlerle karşılaştırılması verilmiştir. Analizi yapılan Belediye arıtma çamuru ile KÖY-TÜR arıtma çamurlarındaki ağır metal düzeyleri yönetmeliklerde belirtilen toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal içerikleri değerleriyle karşılaştırıldığında her iki arıtma çamurunun da Ni hariç tarımsal alanlarda kullanılması güvenli olarak görülmektedir. Tarımsal amaçlı güvenli bir şekilde kullanılması için de ağır metal konsantrasyonlarının giderimine yönelik çalışmaların gerekliliği vurgulanmıştır.

Tablo 18. Elazığ atıksu arıtma tesisi ve KÖY-TÜR atıksu arıtma tesisi arıtma çamurunun ihtiva ettiği ağır metal konsantrasyonları ve bu konsantrasyonların sınır değerlerle karşılaştırılması (mg/kg kuru çamur) (Öbek vd., 2004)

	Fe	Zn	Cu	Ni	Mn	Cr	Pb	Co
E.A.A.T	2349±545,3	73,1±10,9	148,5±20,5	310,9±42,7	56,2±11,3	299±52,6	74,8±12,3	48,7±8,4
KÖY-TÜR	2115±248,5	40,7±7,7	173,1±15,1	1450,1±148,7	5,42±0,85	203±16,59	98,9±7,78	1,68±0,18
Türkiye1		4000	1750	400		1200	1200	
Türkiye2		3000	1200	300		1500	1500	

1-Toprakta kullanılacak arıtma çamurunda müsaade edilebilecek maksimum ağır metal konsantrasyonları (mg/kg) (Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği).

2-Toprakta on yıllık dönem esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü (Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği).

Bunların yanı sıra Şanlıurfa'da atıksudaki ağır metallerin sulanan soğanda meydana getirdiği toksik elementlerin birikimi üzerine yapılan bir araştırmada kullanılan atıksuda, As, Cu ve Cd elementlerinin sulama suları için sınır değerlerinin üzerinde olduğu vurgulanmıştır. Sonuçta, araştırmacılar, soğan bitkisinde biriken Cd miktarının, insan ve çevre sağlığı için yaratabileceği tehlikeyi belirtmişlerdir (Doğan, 2003).

Özsoy (2006)'un çalışmasında Türkiye'deki evsel atıksu arıtma tesislerinden ortaya çıkan çamurların tarımda gübre olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesini hedeflemektedir. BU doğrultuda Ankara, Kayseri, İzmir ve Tekirova atıksu arıtma tesislerinden alınan numuneler ile çalışmalar yürütülmüştür. Bu dört atıksu arıtma tesisinin giriş sularına bakıldığında endüstriyel atıksu yüzdesinin %25 ile en yüksek olduğu tesis Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi

olarak tespit edilmiştir. Tablo-19'dan de görüleceği gibi Kayseri Atıksu Arıtma tesisi susuzlaştırılmış çamuruyla yapılan ağır metal analizleri TKKY sınır değerlerinin altında kalmaktadır. Fakat Çinko ve Nikel konsantrasyonlarının dikkatli bir şekilde takip edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Tablo 19. Ankara, İzmir, Kayseri ve Tekirova'nın susuzlaştırılmış çamurlarının ağır metal konsantrasyonlarının TKKY ile karşılaştırılması (Özsoy, 2006)

Numune Tarihi	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)
Ankara							
04.01.2006	184.00±10.81	94.75±3.38	4.51±0.66	43.48±3.36	2863.00±208.10	304.80±14.99	1.400±0.008
17.11.2005	357.33±37.46	73.04±3.79	10.07±0.58	59.80±5.47	3195.00±342.53	232.10±24.41	nm
19.10.2005	166.83±5.53	62.15±3.59	5.85±0.17	43.22±9.78	1695.00±201.68	279.90±21.88	nm
14.07.2005	364.17±15.50	112.87±8.47	7.52±0.43	94.18±5.46	4065.00±78.10	310.33±54.29	nm
13.05.2005	238.50±18.36	126.50±18.46	6.57±0.50	71.15±3.53	2143.33±116.44	261.17±52.12	nm
İzmir							
04.07.2006	255.10±25.08	0.00	0.00	94.79±1.29	1319.00±187.56	154.75±25.20	0.511±0.019
28.02.2006	136.30±7.38	0.00	0.00	54.47±5.89	968.00±49.82	312.80±17.67	nm
26.12.2005	229.20±9.07	59.78±8.21	0.00	42.47±2.71	602.00±41.92	181.30±8.87	nm
30.05.2005	246.50±25.93	0.00	2.47±0.48	79.82±4.56	1496.67±205.93	199.33±7.15	nm
31.03.2005	264.23±3.41	100.35±2.61	1.90±0.51	50.87±3.14	561.00±51.40	195.67±19.83	nm
Kayseri							
24.05.2006	301.60±50.99	196.02±7.56	0.00	529.88±100.03	1146.00±167.23	577.80±28.21	2.026±0.185
06.12.2005	762.00±51.83	184.70±21.25	0.00	324.50±78.35	881.00±196.67	715.10±37.09	nm
19.04.2005	526.17±20.59	138.47±26.78	4.45±0.15	355.00±22.11	1276.67±85.78	734.33±33.93	nm
Tekirova							
27.06.2006	95.13±6.37	0.00	0.00	51.11±8.89	452.40±49.31	34.48±11.18	0.493±0.033
31.01.2006	171.63±10.94	0.00	0.00	86.05±10.44	726.25±31.98	60.81±1.07	nm
TKKY	1750	1200	40	400	4000	1200	25

8. Modüler İşletim Sistemleri Genel Özellikleri

8.1 Klasik Aktif Çamur

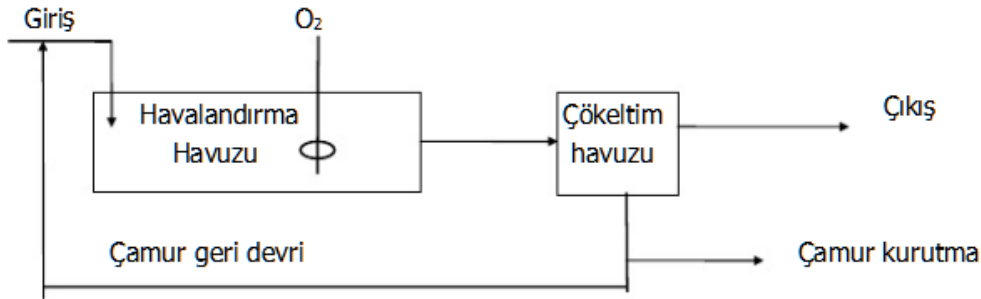
Klasik Aktif Çamur sisteminin (Şekil 6) genel tanımı, havuz içerisindeki kirletici madde konsantrasyonu ile mikroorganizma konsantrasyonunun havuzun her noktasında aynı olduğu şeklinde yapılmaktadır. Giren atıksu hızla tüm havuz içeriğine yayılır ve katılar, solunum hızı ve çözülmüş BOİ₅ bazında ölçülen işletme özellikleri havuzun her kesiminde aynı olmaktadır. Havuzun her noktasındaki özellikler aynı olduğundan, çıkış suyu kalitesi de havuz içeriğine özdeştir. Çıkış suyu büyük miktarda mikroorganizma ve kısıtlı besin maddesi içerir. Klasik Aktif Çamur sisteminin bu özelliği sayesinde, organik yüklemelerdeki salınımlar, çıkış suyu kalitesinde azalma yaratmadan sönmelenmektedir.

Bir havuzun tam karışımly veya piston akımlı olduğunu uzunluk : genişlik oranı, sisteme

verilen hava miktarı ve havuz içerisindeki sıvının akım hızını belirler. Tam karışımli veya piston akımlı bir reaktörü gerçekte elde etmek mümkün değildir. Mekanik yüzeysel havalandırıcıların kullanımı ile sistem tam karışımli koşullara olabildiğince yakın tutulabilmektedir. Genelde, havalandırma sistemine bakılmaksızın, en az 2 ila 4 saatlik hidrolik bekletme süresine sahip kare veya daire planlı havuzlar tam karışımli olarak dikkate alınabilir (klasik aktif çamur süreci). "Konvansiyonel" veya klasik olarak da tanımlanan bu süreçler, 0.15 ila 0.40 kg BOİ₅/kg MLSS.gün arasında değişen ve orta aralık olarak tanımlanan F:M oranı ile karakterize edilir. İyi bir son çökeltme işlemi ile % 90 ila 95 oranında BOİ₅ giderimi sağlanabilir. Bu süreçlerin MLSS konsantrasyonları 1,500 ila 4,000 mg/L arasındadır. Bu süreçlerde bazen istenmese de nitrifikasyon oluşabilir. Eğer tesis kış şartlarına göre tasarlanmış ise organik yüklemenin düşük olduğu yaz şartlarında nitrifikasyon gerçekleşir. Nitrifikasyon oluşuyorsa, son çökeltme havuzunda, yüzücü çamura neden olan denitrifikasyon da meydana gelebilmektedir.

Klasik Aktif Çamur sisteminde önerilen MLSS konsantrasyonu 3,000 ila 5,000 mg/L'dir. Çamur geri çevrim oranının ise genelde % 50 ila 100 arasında olması önerilmektedir (Toprak, 2000).

F/M in tipik literatür değeri 0,05- 1 arasında değişmektedir.



Şekil 6. Klasik aktif çamur sistemi

8.2 Uzun havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi

Uzun havalandırmalı aktif çamur süreci ya tam karışımli ya da piston akımlı reaktör olarak tasarımlanır. Tek farkı hidrolik bekletme süresinin en az 18 saat olmasıdır. Süreç düşük F:M'de işletilir ve tüm mikroorganizmalar için yeterli substrat yoktur. Bunun sonucunda mikroorganizmalar birbirleriyle rekabet ederler ve substrat yokluğunda iç solunuma girerek kendi hücrelerini tüketirler. Bu durum çıkış suyu kalitesinin yükselmesine ve düşük çamur üretimine neden olur. Bununla birlikte, bu sürecin çıkış suyunda iğne uçlu yumaklara bol miktarda rastlanır. Arıtma verimi % 90'dan daha fazladır. Bu süreçlerde ön çökeltme havuzu

genellikle uygulanmaz. Küçük yerleşim bölgelerinin ve tatil sitelerinin atıksularının arıtılmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sistemin olumsuz yanları, yüksek oksijen gereksinimine sahip olması ve gerekli bekletme süresinin sağlanması için büyük havuz hacmi gerektirmesidir.

Bu süreçte, ham atıksu doğrudan havalandırma havuzuna alınır ve yüksek bekletme süresince havalandırılır. Diğer özellikleri, yüksek MLSS konsantrasyonu, yüksek çamur geri çevrim oranı ve düşük çamur atım hızıdır. Bu süreçler ABD'nde, özellikle 20,000'den küçük nüfuslar için yaygın bir uygulama alanı bulmaktadır. Uzun bekletme süresinin uygulanmasının (18 ila 36 saat) en önemli avantajı hidrolik ve organik yüklemelerdeki salınımların sönmülenebilmesidir. Çökeltme havuzlarının tasarımında bu salınımlar dikkate alınmalıdır.

Reaktör içindeki aktif çamur aerobik olarak stabilize edildiğinden, gerekli olan oksijen miktarı, diğer sistemlere kıyasla daha fazladır. Birçok uzun havalandırılmalı süreçte, özellikle organik yüklemenin daha fazla olduğu gündüz saatlerinde oksijen eksikliğine rastlanabilir. Bununla birlikte, gece saatlerindeki uzun KAS (katı alıkonma süresi) ve aşırı oksijen, gündüz saatlerinde de gerçekleşen nitrifikasyona olanak tanımaktadır.

Oksijen gereksinimi de genellikle yüksektir. Yüksek mikroorganizma konsantrasyonlarından kaçınmak ve sistemden mikroorganizma kaçmasını engellemek için sistemden periyodik olarak fazla çamurun uzaklaştırılması gerekir. İnert katıların birikimi aslında çamur uzaklaştırma hızını kontrol eder. Bu sistemlerin olumsuz yanı, çok küçük yumakların sistemden kaçabilmesidir. Uzun havalandırma süresi ile birlikte uygulanan son çökeltme havuzundaki uzun bekletme süresi çamurun yükselmesine ve yüzmesine neden olabilir. Ön arıtım uygulanmadığı için, yüzücü bazı maddelerin son çökeltme havuzunda sürekli olarak yüzeyden sıyırılmaları gerekir. Isı kaybı kontrol edilemiyorsa, soğuk aylarda reaksiyon hızı yavaşlar. Çok değişken iklimlere sahip yörelerde, yüzeysel havalandırıcılar ile teçhiz edilmiş açık havuzların uygulanması önerilmemektedir.

Karbonlu ve azotlu madde giderimi aynı üniteye gerçekleştirilmektedir. Bu işlem basit tasarım ve kolay işletme şartlarına sahip olduğundan tercih edilmektedir. Biyolojik arıtımın gerçekleştiği reaktör, tam karışım, piston akımlı, temas stabilizasyon, kademeli besleme veya oksidasyon hendeği şeklinde düzenlenebilir. Ön arıtımın uygulanması zorunlu değildir. İki kademeli nitrifikasyon süreci ile kıyaslandığında aşağıdaki üstünlüklere sahiptir:

(a) Ara çökeltme havuzunun teşkil edilmemesi ve ikinci kademe için çamur geri çevrim hattının uygulanmaması ile ilk yatırım maliyetinde azalma

(b) Nispeten daha düşük fazla çamur oluşumu

(c) Yüksek çamur yaşı ile çamurun çökeltme özelliklerinin iyileştirilmesi

(d) Çökeltme havuzu sayısının daha az olması nedeniyle süreç kontrolünde kolaylık ve çamur miktarını belli bir seviyede tutmak için iki kademedeki uygulanan ayrı çevrim hatlarının olmaması (Toprak, 2000)

8.3 Damlatmalı Filtre

Temelde, sabit ortamlı filtreler veya damlatmalı filtreler, biyolojik büyümenin hareket etmeyen sabit bir ortamda gerçekleştiği ve çamur geri devri işleminin yapılmadığı süreçlerdir. Diğer taraftan, aktif çamur sürecinde olduğu gibi, biyolojik büyümenin askıda halde bulunduğu ve mikroorganizma konsantrasyonunun çamur geri çevrimi ile sabit bir değerde tutulduğu süreçler de mevcuttur. Gerek yapışık büyüme sistemlerinde olsun gerekse de askıda büyüme sistemlerinde olsun, ayrışabilir organik madde, karbon dioksit ve su gibi son ürünlere aerobik biyolojik parçalanma sonucunda dönüştürülür. Oksidasyon sırasında açığa çıkan enerjinin büyük bir kısmı yeni hücrelerin sentezinde kullanılır. Filtre işletmeye alındıktan hemen sonra, sabit filtre ortamının yüzeyinde, bakteri ve diğer biyokatıyı içeren viskoz, jel yapısında, yapışkan bir tabaka oluşur. Ön çökeltimden geçirilen atıksu filtre ünitesine alınır ve aşağıya doğru ortamdan geçmesi sağlanır. Organik madde giderimi adsorbsiyon ve biyota tarafından asimilasyon işlemleri sonucunda gerçekleşir.

Organik maddenin aerobik ayrışımı için gerekli oksijen, filtre ortamında gerçekleştirilen doğal hava sirkülasyonu ve atıksuyun bünyesinde bulunan çözülmüş oksijen ile sağlanır. Damlatmalı filtre işletmeye alındıktan sonra, sabit filtre ortamının üst kısımlarında aerobik, orta tabakada fakültatif ve alt tabakada ise anaerobik bakteriler gelişir. Üretilen biyolojik kütle miktarı mevcut besi maddesi ile kontrol edilir. Filtre ortamı üzerinde maksimum etkin kalınlığa ulaşılan kadar, artan organik madde yüklemesi bakteriyel kütle miktarının hızla artmasına neden olur. Maksimum büyüme, hidrolik yükleme hızı, filtre ortamı tipi, organik maddenin cinsi, mevcut gerekli besinlerin miktarı, sıcaklık ve biyolojik büyümenin özellikleri ile kontrol edilir. Filtre işletimi süresince, biyolojik film tabakası periyodik veya sürekli olarak yenilenecektir.

Filtre ortamından kopan bu biyolojik kütle miktarının çıkış suyundan uzaklaştırılması için son çökeltme havuzu inşa edilmelidir. Filtre ortamının tıkanmaması için ön çökeltme havuzu

mutlaka uygulanmalıdır. Bununla birlikte, atıksu içerisindeki katı maddeler öğütücülerde küçük tanecikler haline dönüştürülüyorsa ve filtre ortamı plastik ve açıklıkları büyük olan elemanlardan oluşturulmuşsa ön çökeltme havuzu kullanılmayabilir. Damlatmalı filtre çıkış suyunun geri çevrimi, birçok durumda, atıksu arıtım veriminin artırılması amacıyla uygulanmaktadır. Hidrolik yükleme hızının artırılması, tesise minimum atıksu debisinin gelmesi durumunda, filtre ortamının sürekli olarak ıslak kalmasını ve biyolojik film tabakasının kurumamasını sağlar. Bu durumda arıtım kapasitesi artacaktır. Ayrıca, yüksek hidrolik yükleme hızı, artan kesme kuvveti etkisi ile aşırı kalın film tabakalarının koparılmasını ve sonuçta filtrenin tıkanmamasını da sağlar.

Sonuç olarak, filtre ortamından ilk geçişte tam olarak arıtılamayan organik madde ikinci geçişinde daha yüksek oranda ayrıştırılabilir. Damlatmalı filtreler, uygulanan hidrolik ve organik yükleme hızına göre sınıflandırılırlar. Hidrolik yükleme, birim filtre alanına birim zamanda verilen geri çevrim debisini de içeren sıvı hacmi olarak tanımlanabilir. Birimi, genelde $m^3 / m^2.gün$ 'dür. Organik yükleme hızı ise, birim filtre hacmine birim zamanda verilen organik madde miktarıdır ve birimi $kg BOI / m^3.gün$ 'dür. Atıksuyun geri çevrimi söz konusu ise, hidrolik ve organik yükleme değerlerinin düzeltilmesi gerekebilir. İlk düşük ve yüksek hızlı damlatmalı filtreler 1936 yılında ABD'nde uygulanmıştır. "Düşük hızlı" damlatmalı filtrelerin hidrolik yükleme hızları 1.9 ila 3.7 $m^3 / m^2.gün$ arasında değişirken, "yüksek hızlı"ların ki ise 9.4 $m^3 / m^2.gün$ 'den daha büyük değerlere ulaşmıştır. Tıkanma sorununun 3.8 ila 9.4 $m^3 / m^2.gün$ 'lük hidrolik yükleme hızlarında ortaya çıkmadığı gözlenmiştir. Bu aralıktaki hidrolik yükleme hızlarında çalıştırılan damlatmalı filtreler "orta hızlı" olarak tanımlanmışlardır. Bazı filtreler "kaba arıtımı sağlayan damlatmalı filtreler" olarak da tanımlanmaktadır. Bu tip filtrelerde uygulanan hidrolik ve organik yükleme hızları oldukça yüksektir. Küçük bir hacim içerisinde yüksek oranda organik madde giderimi sağlamalarına karşın, çıkış sularında hala yüksek oranda BOI mevcuttur. Kaba ön arıtım amacı ile veya çok kademeli biyolojik arıtma sistemlerinin ilk üniteleri olarak uygulanmaktadırlar. Plastik filtre ortamlarının geliştirilmesi sonucunda "süper hızlı" damlatmalı filtreler uygulanmıştır. Bunların kullanım amacı ya kaba arıtımı sağlamak ya da çok kirli atıksuların arıtımlarının tamamlanmasını gerçekleştirmek içindir.

Sentetik ortamlı filtreler bazen "oksidasyon kuleleri" olarak da adlandırılmaktadır. Yüksek ve süper hızlı damlatmalı filtrelerin büyük bir kısmında geri çevrim uygulanır. Geri çevrim çıkış suyunun filtreye geri verilmesi şeklinde yürütülür. Geri çevrilen debinin atıksu debisine oranı

geri çevrim oranı olarak tanımlanır. Bazı damlatmalı filtreler birbiri ardına seri olarak bağlanmaktadır. İlk kademede yüksek ikinci kademede ise düşük hızlı tip kullanılabilir. Bu tip sistemler iki veya çok kademeli üniteler olarak adlandırılır. Damlatmalı filtreler aerobik biyolojik arıtmaya tabi tutulabilecek tüm atıksular için ikincil arıtım süreci olarak kullanılmaktadır.

Çıkış suyu BOİ konsantrasyonunun 20 ila 30 mg/L olarak istendiği durumlarda, evsel atıksuyun arıtımı için cazip bir seçenektir. Damlatmalı filtreler, yukarıdan sisteme verilen atıksu damlacıklarının yüksek bir hacim içerisinde dış hava sıcaklığı ile temas etmesinden ötürü sıcaklığa oldukça duyarlıdır. Yaz ve kış sıcaklık değerleri arasında büyük fark olan bölgelerde inşa edilen damlatmalı filtrelerin arıtma verimleri büyük değişim arzeder. Sıcaklık etkisi özellikle geri çevrim durumunda daha da önem kazanır. Damlatmalı filtreler geçmişte kaba arıtım yapan üniteler olarak kullanılmışlardır. Özellikle yüksek kirlilik içeren endüstriyel atıksuların ön arıtımında uygundur. Yukarıda tanımlanan filtre tiplerinin tamamı herhangi bir atıksu için kullanılabilir. Ancak, günümüzde en yaygın kullanılan tip, plastik ortamlı yüksek hızlı damlatmalı filtrelerdir. Organik yüklemenin arttırılması zorunluluğu karşısında, düşük hızlı filtrenin geri çevrimli yüksek hızlı filtre olarak çalıştırılması en pratik ve ekonomik çözüm yöntemidir.

Atıksuyun damlatmalı filtrede arıtımı, temelde bir biyokimyasal oksidasyon süreci olduğundan, BOİ₅ 20 °C ölçümleri hem giriş suyunun kirlilik şiddeti hem de son çökeltme havuzundan çıkan arıtılmış suyun kalitesi hakkında kesin bilgi veren bir parametredir. Filtreye uygulanan organik yükleme hızının ve filtrenin veriminin saptanmasında debi ile birlikte kullanılır. Atıksu arıtma tesisine gelen atıksuyun nicelik ve niteliğinde saatlik, günlük ve mevsimsel salınımlar olduğu açıktır. Bu salınımların elimine edilmesinde, giriş suyu ve geri çevrim debisini değiştirmek için pompaj yapılması, sürecin önünde dengeleme havuzunun inşa edilmesi veya atıksuyun niteliğindeki salınımları azaltmak için geri çevrim yapılması gibi işlemler uygulanabilir. Oldukça kirli endüstriyel atıksuların arıtımında ortaya çıkan bu tip sorunlar karşısında, tasarım, atıksuyun nicelik ve niteliğinin gün içerisindeki 8 ila 16 saatlik bir periyot için sabit kaldığı kabulüne dayandırılmalıdır.

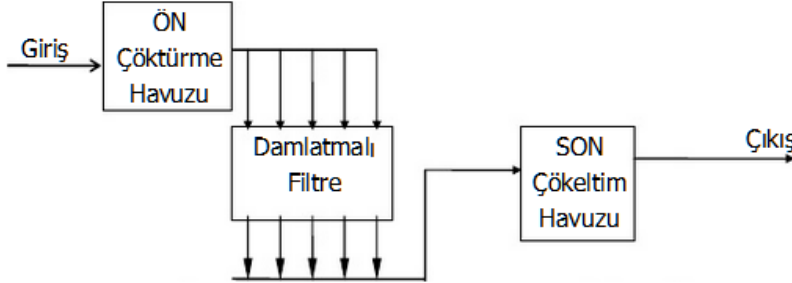
Damlatmalı filtrenin bir kısmının anaerobik olmasına rağmen, temelde aerobik arıtım gerçekleşir. Septik hale geçmemiş atıksuyun arıtımı için zaten bu gereklidir. Bunun için, kanalizasyon sistemi içerisinde düşük akım hızları nedeni ile çökelmeye izin verilmemelidir.

Ayrıca, muayene bacaları içerisinde ve ön çökeltme havuzunda aşırı bekletme süresi yaratılmamalı ve ön çökeltme havuzunda tabana çökelen çamur, anaerobik ayrışma izin vermemek amacı ile belirli aralıklarla çekilmelidir. Askıda katı madde konsantrasyonu düşük olan bazı tip endüstriyel atıksular ön çökeltme havuzuna alınmadan damlatmalı filtreye verilebilir. Damlatmalı filtrelerde oluşan reaksiyonlar bakımından, belirli bir atıksuyun arıtılabilirliği, koloidal madde konsantrasyonunun çözülmüş organik madde konsantrasyonuna oranına bağlıdır. Filtre süreci, sadece biyolojik oksidasyon ve sentez ile değil, biyolojik yumaklaşma, adsorbsiyon ve enzim kompleksleşmesi ile de önemli ölçüde koloidal madde tutumu sağlamaktadır.

Çözülmüş organiklerin tutulması, filtre içerisindeki kısa bekletme süresi nedeni ile gerçekleşemez. Bu nedenle, damlatmalı filtre süreci, yüksek oranda çözülmüş organik madde içeren endüstriyel atıksuların arıtımında pek kullanılmaz. Ön arıtımın uygulanması filtre tasarımını ve verimini önemli ölçüde etkiler. Kimyasal arıtma, dengeleme, yüksüzleştirme, ön klorlama ve ön havalandırma süreç verimini arttıran ön arıtma sistemleridir. Filtre ortamının tıkanması sorununu ortadan kaldırmak amacı ile ön arıtımın uygulanması birçok durumda gereklidir. Ön arıtma sistemlerinin verimi doğrudan süreç verimini etkiler. Plastik dolgu malzemelerinin kullanılmaya başlanması ile, kaya ortamlı filtrelere nazaran daha geniş bir aralığa sahip olan hidrolik ve organik yükleme hızları uygulanabilmiştir. İki önemli fiziksel parametre vardır; özgül yüzey alanı ve boşluk oranı. Yüksek birim yüzey alanı birim hacim içerisinde daha fazla biyolojik film tutunmasına neden olur. Bunun yanında, büyük boşluk oranı daha yüksek hidrolik yükleme hızlarının uygulanmasına ve daha fazla hava sirkülasyonuna olanak tanımaktadır.

Filtrelerde hava sirkülasyonunun sağlanması, aerobik biyolojik arıtım için gerekli oksijenin transferi bakımından son derece önemlidir. Eğer yeterli boşluk oranı sağlanmışsa, hava ve atıksu sıcaklığına bağlı olarak ortam içerisinde bir sirkülasyonun oluşacağı açıktır. Bazı durumlarda, örneğin filtre duvarları zemin üzerinde teşkil edilmişse, sirkülasyon rüzgar tarafından etkilenebilir. Filtrelerin tabanları iyi bir sirkülasyon sağlayacak özellikte olmalıdır. Filtrenin yukarisından verilen suyun aşağıdan toplanması için düzenlenecek drenaj yapısı gerekli havalanmayı temin etmelidir. Havalandırma, genelde, filtre çevresi boyunca hava deliklerinin düzenlenmesi ile sağlanmaktadır. Plastik dolgu malzemesi üreten firmalar, evsel atıksu arıtan damlatmalı filtrelerde, her 3 ila 4.6 m'lik çevre boyunca 0.1 m²'lik boşlukların

bırakılmasını önermektedirler. Diğer bir kriter ise, yan duvarlarda filtre yüzey alanının % 15'i oranında boşluk bırakılması gereğini vurgulamaktadır. Drenaj yapısındaki boru veya kanallardaki doluluk oranı, tasarım hidrolik yükleme hızı için % 50'yi aşmamalıdır (Tchobanoglous, ve Burton, 1994).



Şekil 7. Damlatmalı Filtre

8.4 Stabilizasyon Havuzu

Stabilizasyon havuzları, genelde, anaerobik, fakültatif ve aerobik (olgunlaştırma) havuzlarından oluşur. Atıksuyun organik madde ve askıda katı madde içeriği düşükse, anaerobik lagünler çoğu zaman uygulanmaz. Bu durumda, fakültatif lagünlerin tasarımında, tabanda birikecek çamur dikkate alınmalıdır.

Artılacak atıksuyun kalitesi sadece lagün sisteminin yükünü ve dolayısı ile yüzey alanını etkilemez, aynı zamanda anaerobik lagünlerin kullanılıp kullanılmayacağını da belirler. Ayrıca, uygulanabilecek ön arıtım sistemlerini de saptar.

Çıkış suyunun sağlaması gereken standart değerler olgunlaştırma havuzlarının bekletme süresini de etkiler. Özellikle çıkış suyunun bakteri konsantrasyonu olgunlaştırma havuzlarının tasarımında en önemli faktördür. Çıkış suyundaki algler bunların giderilmesini zorunlu kılabilir.

Bünyesinde biyolojik arıtımı inhibe edebilecek toksik endüstriyel atıksu içermeyen ve BOI değeri 600 mg / L'den daha az olan atıksuların arıtımında anaerobik lagünler tesis edilmeyebilir. 60 mg / L'lik çıkış BOI konsantrasyonu eldesi için 1.50 m derinliğe sahip fakültatif lagünlere, iklimsel özelliklere bağlı olarak 100 ila 350 kg BOI / ha . gün arasında değişen yükleme hızı uygulanabilir. Bekletme süresi 24 ila 48 gün arasındadır.

Artılacak su kısmen veya tamamen endüstriyel nitelikli ise, organik madde içeriği yüksek olmasa bile, fakültatif lagünlerde daha uzun bekletme süreleri uygulanmalıdır. Birçok

endüstriyel nitelikli atıksu bakteri metabolizmasını inhibe edebilecek toksik madde (Hg, Zn, Cu, Cd, fenoller, siyanürler, sülfürler, yağlar) içerebilir. Özellikle yağlar havuz yüzeyini kaplarlar ve güneş ışınlarının geçmesini ve oksijen transferini engeller. Bu tür atıksuların arıtımı için yüzey alanı, dolayısı ile bekletme süresi arttırılmalıdır (Toprak, 2000).

9. Modüler İşletim Sistemleri Genel Çalışma Prensipleri

Modüler İşletim Sistemleri tasarım hesaplamaları yapılırken boyutlandırma, enerji ihtiyacının belirlenmesi ve ihtiyaç duyulacak maliyet analizleri yapılırken mümkün olduğunca gerçeği yansıtması için projenin Almanya ekibi tarafından güncel veriler kullanılması hedeflenmiş ve bu doğrultuda modüller tasarlanmaya başlanmıştır. Türkiye'deki koşulları yansıtabilecek şekilde gerekli parametrelerde modüllere dahil edilmeye başlanmış ve çalışmalar devam etmektedir.

Modüler İşletim Sistemlerinin altında yatan en temel özelliklerden biri de giriş suyu kalite değerleri sabit tutulurken, sistemin içinde gerçekleştirilebilecek değişikliklerin çıkış suyu parametreleri, toplam alan, toplam enerji ve maliyet parametrelerine olan yansımalarını gözlemleyebilmektir. Aşağıda verilen örneklerle bunun nasıl gerçekleştirilebildiği sunulmaktadır.

Örnek 1: Klasik Aktif Çamur

Örnek 1'de Klasik Aktif Çamur Sistemi ele alınmış, eş değer nüfus 100.000 olarak; günlük atıksu üretim miktarı 216 L/kişi.gün olarak kabul edilmiş ve ilgili giriş suyu kalite değerleri (Tablo 20) hipotetik olarak belirlenmiştir. Modüler sistem öncelikle fosfor arıtımı olmayacak koşulda, akabinde de kimyasal fosfor arıtımı olacak şekilde çalıştırılmış ve çıkış suyu parametreleri Tablo 21'de sunulmuştur. Toplam Fosfor yaklaşık %94 azalmış ve 177,9 kg/gün'den 10,1 kg/gün'e düşmüştür. Bununla birlikte Tablo 22'de de sistemde yapılabilecek bu değişimin ihtiyaç duyulacak toplam alan, enerji ve maliyet üzerindeki yansımaları verilmektedir.

Tablo 20. Giriş Parametreleri

Giriş Parametreleri		
Nüfus	100.000	-
Günlük su tüketimi	216	L/kişi.gün
Atıksu miktarı	21.600	m ³ /g
BOİ	4.860	kg/g
KOİ	10.530	kg/g
AKM	6.480	kg/g
TOK	3.240	kg/g
TKN	1.264	kg/g
Ptoplam	202	kg/g
K	194	kg/g
Mg	972	kg/g
Ca	1.944	kg/g
NO3	0	kg/g

Tablo 21. Çıkış Parametreleri

Çıkış Parametreleri	Fosfor Arıtımı Yok	Kimyasal Fosfor Arıtımı Var	Birim
BOİ	121,5	121,5	kg/g
KOİ	1.123,2	1.123,2	kg/g
AKM	194,4	194,4	kg/g
TOK	324,0	324,0	kg/g
N toplam	1.044,9	1.044,9	kg/g
P toplam	177,9	10,1	kg/g
K	77,8	77,8	kg/g
Mg	388,8	388,8	kg/g
Ca	777,6	121,5	kg/g

Tablo 22. Toplam Alan, Enerji ve Maliyet Değerleri

	Toplam Alan (m²)	Toplam Enerji (kWh/gün)	Toplam Maliyet (€/yıl)
Fosfor arıtımı yok	3.965	14.290	877.566
Kimyasal Fosfor Arıtımı var	4.464	14.290	918.986

Örnek 2: Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur

Örnek 2’de Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur sistemi ele alınmış, eş değer nüfus 100.000 olarak; günlük atıksu üretim miktarı 216 L/kişi.gün olarak kabul edilmiş ve ilgili giriş suyu kalite değerleri (Tablo 20) hipotetik olarak belirlenmiştir. Modüler sistem öncelikle fosfor ve azot arıtımı olmayacak koşulda, akabinde de kimyasal fosfor ve denitrifikasyon işlemleri olacak şekilde çalıştırılmış ve çıkış suyu parametreleri Tablo 23’de sunulmuştur. Toplam P yaklaşık %94 azalmış ve 192,2 kg/gün’den 11,2 kg/gün’e düşmüştür; Toplam N yaklaşık %87 azalmış ve 1.112,4 kg/gün’den 140,4 kg/gün’e düşmüştür Bununla birlikte Tablo 24’de de sistemde yapılabilecek bu değişimin ihtiyaç duyulacak toplam alan, enerji ve maliyet üzerindeki yansımaları verilmektedir.

Tablo 23. Çıkış Parametreleri

Çıkış Parametreleri	P ve N Arıtımı Yok	Kimyasal P arıtımı ve Denitrifikasyon İşlemleri Var	Birim
BOİ	162,0	162,0	kg/g
KOİ	1.123,2	1.123,2	kg/g
AKM	0,0	0,0	kg/g
TOK	162,0	162,0	kg/g
N toplam	1.112,4	140,4	kg/g
P toplam	192,2	11,2	kg/g
K	77,8	77,8	kg/g
Mg	388,8	388,8	kg/g
Ca	777,6	777,6	kg/g

Tablo 24. Toplam Alan, Enerji ve Maliyet Değerleri

	Toplam Alan (m²)	Toplam Enerji (kWh/gün)	Toplam Maliyet (€/yıl)
N ve P Arıtımı Yok	1.779	20.508	1049502
Kimyasal P arıtımı ve Denitrifikasyon İşlemleri Var	1.989	20.508	1068382

10. Modüler İşletim Sistemleri İşletme, Kütle ve Enerji Dengesi

Modüler İşletim Sistemlerinde şu ana kadar dört farklı (klasik aktif çamur, uzun havalandırılmalı aktif çamur, damlatmalı filtre ve stabilizasyon havuzu) atıksu arıtma sistemi ele alınmış, ilgili tasarım hesaplamaları projenin Alman tarafı Braunschweig Teknik Üniversitesi tarafından gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda verilmiş olan;

1. İşletme, kütle ve maliyet denge profilinde (Tablo 25) kullanılan kabuller şu şekilde listelenebilir;

1. Eşdeğer nüfus 100.000 kabul edilmiştir.
2. Günlük atıksu tüketim miktarı 216 L/kişi.gün alınmıştır (Toplam Atıksu Arıtma Tesisi 216.000 m³/gün kabul edilmiştir.)
3. Tipik evsel atıksu karakterleri ilgili literatür kaynağından alınmıştır (Erdoğan vd., 2005).
4. Azot ve fosfor giderimi yapılmadığı kabul edilmiştir.
5. Bütün sistemler için aynı ön arıtım gerçekleştirilmiş ve ikincil arıtıma giren su kaliteleri böylece aynı kabul edilmiştir.

2. İşletme, kütle ve maliyet denge profilinde (Tablo 26) kullanılan kabuller şu şekilde listelenebilir;

1. Eşdeğer nüfus 100.000 kabul edilmiştir.
2. Günlük atıksu tüketim miktarı 216 L/kişi.gün alınmıştır (Toplam Atıksu Arıtma Tesisi 216.000 m³/gün kabul edilmiştir.)

3. Tipik evsel atıksu karakterleri ilgili literatür kaynağından alınmıştı (Erdoğan vd., 2005).
4. Azot ve fosfor giderimi yapıldığı kabul edilmiştir.
5. Bütün sistemler için aynı ön arıtım gerçekleştirilmiş ve ikincil arıtıma giren su kaliteleri böylece aynı kabul edilmiştir.

Ön arıtımdaki giderim verimleri aşağıdaki kabuller çerçevesinde hesaplanmıştır;

BOİ: %25

KOİ: %25

TSS: %25

TOK: %25

TKN: %10

Toplam P: %10

K: %10

Ca: %10

Denge profilleri incelendiğinde ilk kolonda bütün sistemler için ortak kullanılan parametreler yer almaktadır. Bunu izleyen ilk iki kolonda sisteme gelen atıksuyun karakteri ve ön arıtım sonrası çıkış kaliteleri mg/L değerinden görülmektedir. Bu kolondan sonraki tüm kolonlar kirletici yükü birimi olan kg/gün cinsinden verilmiştir.

Bugüne kadar tasarım hesapları yapılmış olan dört atıksu arıtma sistemi için kütle dengesi gerçekleştirilmiş olup, çıkış suyu ve çamurundaki kirletici yük değerleri tablolarda verilmiştir.

1. ve 2. profiller incelendiğinde yapılmış olan azot ve fosfor arıtımı seçeneği sonrası kütle dengesinde meydana gelen değişiklik rahatlıkla görülebilmektedir. Bu seçenek özellikle arıtılmış atıksuyun ve çamurun yeniden kullanımının değerlendirilmesi hususunda önem teşkil edeceği düşünülmektedir. Yeniden kullanım alanlarının ihtiyacına yönelik olarak, farklı arıtma sistemleri üzerinde azot ve fosfor arıtımının nasıl sonuçlar doğuracağı gözlemlenebilecek ve gereklilikler doğrultusunda sistemler tasarlanabilecek veya yeniden yapılandırılabilir.

Tablo 25. Kütle Denge Profili-1

Nüfus	100.000	Günlük su tüketimi (m ³ /kişi.gün)	216	Atıksu miktarı (m ³ /gün)	21.600	Giriş Parametreleri	Ön arıtım sonrası	Ön arıtım sonrası	Birim	Birim	Ön arıtım öncesi	Ön arıtım sonrası	Klasik Aktif Çamur		Uzun Havalandırmalı Aktif çamur		Damlatmalı Filtre		Stabilizasyon Havuzu	
													Çıkış suyu	Çıkış çamuru	Çıkış suyu	Çıkış çamuru	Çıkış suyu	Çıkış çamuru	Çıkış suyu	Çıkış çamuru
BOİ	300	225	mg/L	kg/g	6480	4860	162	0	162	0	162	0	162	0	162	0	162	0	162	0
KOİ	650	487,5	mg/L	kg/g	14040	10530	1123,2	5644,08	1123,2	6318	1123,2	6318	1123,2	6318	1123,2	6318	1123,2	6318	1123,2	0
AKM	400	300	mg/L	kg/g	8640	6480	0	0	0	0	194,4	0	194,4	0	194,4	0	194,4	0	194,4	0
TOK	200	150	mg/L	kg/g	4320	3240	162	0	162	0	324	0	324	0	324	0	324	0	324	0
Ntoplam	65	58,5	mg/L	kg/g	1404	1263,6	1112,4	218,7	1112,4	291,6	1112,4	291,6	1112,4	291,6	1112,4	291,6	1112,4	291,6	1112,4	291,6
Ptoplam	10,4	9,36	mg/L	kg/g	224,64	202,176	192,24	24,3	192,24	32,4	192,24	32,4	192,24	32,4	192,24	32,4	192,24	32,4	192,24	32,4
K	10	9	mg/L	kg/g	216	194,4	77,76	116,64	77,76	116,64	77,76	116,64	77,76	116,64	77,76	116,64	77,76	116,64	77,76	116,64
Mg	50	45	mg/L	kg/g	1080	972	388,8	583,2	388,8	583,2	388,8	583,2	388,8	583,2	388,8	583,2	388,8	583,2	388,8	583,2
Ca	100	90	mg/L	kg/g	2160	1944	777,6	1166,4	777,6	1166,4	777,6	1166,4	777,6	1166,4	777,6	1166,4	777,6	1166,4	777,6	1166,4

Tablo 26. Kütle Denge Profili-2

Giriş Parametreleri															
Nüfus	100.000	Ön arıtım sonrası	Birim	Birim	Ön arıtım öncesi	Ön arıtım sonrası	Klasik Aktif Çamur		Uzun Havalandırmalı Aktif çamur		Damlatmalı Filtre		Stabilizasyon Havuzu		
Günlük su tüketimi	216		m ³ /kişi				Çıkış suyu	Çıkış çamuru	Çıkış suyu	Çıkış çamuru	Çıkış suyu	Çıkış çamuru	Çıkış suyu	Çıkış çamuru	
Atıksu miktarı	21.600		m ³ /gün												
BOİ	300	225	mg/L	kg/d	6480	4860	121,5	0,0	162,0	0,0	162,0	0,0	162,0	0,0	
KOİ	650	487,5	mg/L	kg/d	14040	10530	1.123,2	5.644,1	1.123,2	6.318,0	1.123,2	0,0	1.123,2	0,0	
AKM	400	300	mg/L	kg/d	8640	6480	194,4	0,0	0,0	0,0	194,4	0,0	194,4	0,0	
TOK	200	150	mg/L	kg/d	4320	3240	324,0	0,0	162,0	0,0	324,0	0,0	324,0	0,0	
Ntoplam	65	58,5	mg/L	kg/d	1404	1263,6	196,6	218,7	140,4	291,6	210,6	291,6	210,6	291,6	
Ptoplam	10,4	9,36	mg/L	kg/d	224,64	202,176	10,1	24,3	11,2	32,4	11,2	32,4	11,2	32,4	
K	10	9	mg/L	kg/d	216	194,4	77,8	116,6	77,8	116,6	77,8	116,6	77,8	116,6	
Mg	50	45	mg/L	kg/d	1080	972	388,8	583,2	388,8	583,2	388,8	583,2	388,8	583,2	
Ca	100	90	mg/L	kg/d	2160	1944	777,6	1.166,4	777,6	1.166,4	777,6	1.166,4	777,6	1.166,4	

Tablo 27. İşletme ve Enerji Profili-1

Arıtma Sistemi	Toplam Enerji İhtiyacı (kW/saat.gün)	Toplam Alan (m ²)	Toplam Maliyet (€/yıl)
Klasik Aktif Çamur	14.290	3.965	877.566
Uzun Havalandırmalı Aktif ÇAmur	20.508	1.779	1.049.502
Damlatmalı Filtre	720,00	3038	314.848
Stabilizasyon Havuzu	14.106,57	121.500,00	--*

* Stabilizasyon havuzu hesaplamaları devam etmektedir.

Tablo 28. İşletme ve Enerji Profili-2

Arıtma Sistemi	Toplam Enerji İhtiyacı (kW/saat.gün)	Toplam Alan (m ²)	Toplam Maliyet (€/yıl)
Klasik Aktif Çamur	14.290	4.424	915.680
Uzun Havalandırmalı Aktif ÇAmur	20.508	1989	1.068.382
Damlatmalı Filtre	720,00	3358	346.332
Stabilizasyon Havuzu	--	--*	--*

* Stabilizasyon havuzu hesaplamaları devam etmektedir.

Tablo 27’de İşletme ve Enerji Profilinin N ve P giderimi olmadığı takdirde nasıl sonuçlanacağını gözlemlenirken, Tablo 28’da N ve P gideriminin yapılacağı durumda bunun toplam enerji, alan ihtiyacı ve toplam maliyete ne kadar yansıtacağı gözlemlenebilmektedir. Böylelikle arıtılmış atıksuyun veya çamurun yeniden kullanımının planlanması öncesinde bu işlemin gerektirecekleri farklı sistemler arasında değerlendirilebilecek ve karar aşamasında bu modüler işletme sistemleri kullanıcılara bir yol gösterecektir.

11. Modüler Atıksu Arıtma Tesisi Tasarımı- Kalibrasyon

Modüler Atıksu Arıtma Tesisi tasarımı boyutlandırma kalibrasyonu Tablo 29 ‘da verilen veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. modüler atıksu arıtma tesisi tasarımı boyutlandırma formülleri 20 Mart 2010 tarihinde yayınlanan Atıksu Arıtımı Teknik Usuller Tebliği’nde belirtilen ATV- DVWK, 2000 metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırma sonuçları uluslararası olarak da onay gören WEF (Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Tasarımı, 2010) tasarımı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kalibrasyon çalışmaları için Türkiye için yapılmış bir çalışmanın sonuçlarından faydalanılmıştır (Erdoğan ve ark., 2006). Kullanılan veriler Tablo 29’da karşılaştırma sonuçları da Tablo 30’da sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde farkın %11’den fazla olmadığı görülmüştür. Ortalama fark % 7,9 ve standart sapma da % 3,6’dır.

Tablo 29. Kalibrasyon için kullanılan veriler (Erdoğan ve ark., 2006)

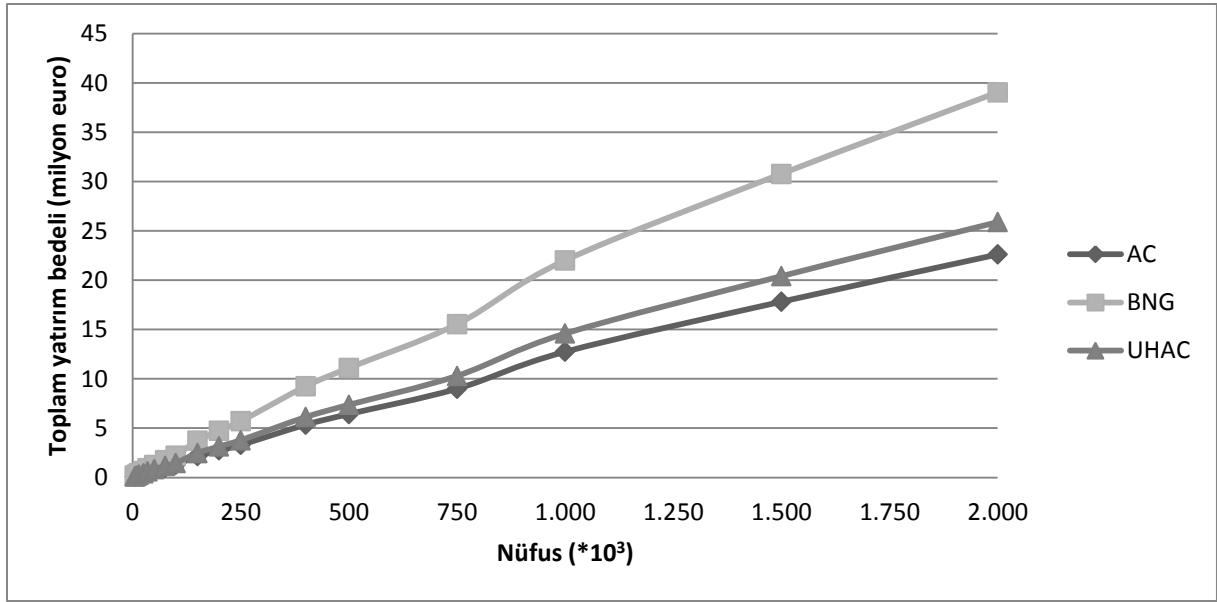
Parametre	Değer
Eşdeğer nüfus	100.000
Su tüketimi (L/kişi*gün)	200
Atıksu miktarı (m ³ /gün)	20.000
BOİ(mg/L)	299
KOİ (mg/L)	650
AKM (mg/L)	390
TOK (mg/L)	149
TKN (mg/L)	65
P _{top} (mg/L)	10,4
Sıcaklık (°C)	15

Tablo 30. Kalibrasyon- Boyutlandırma sonuçları

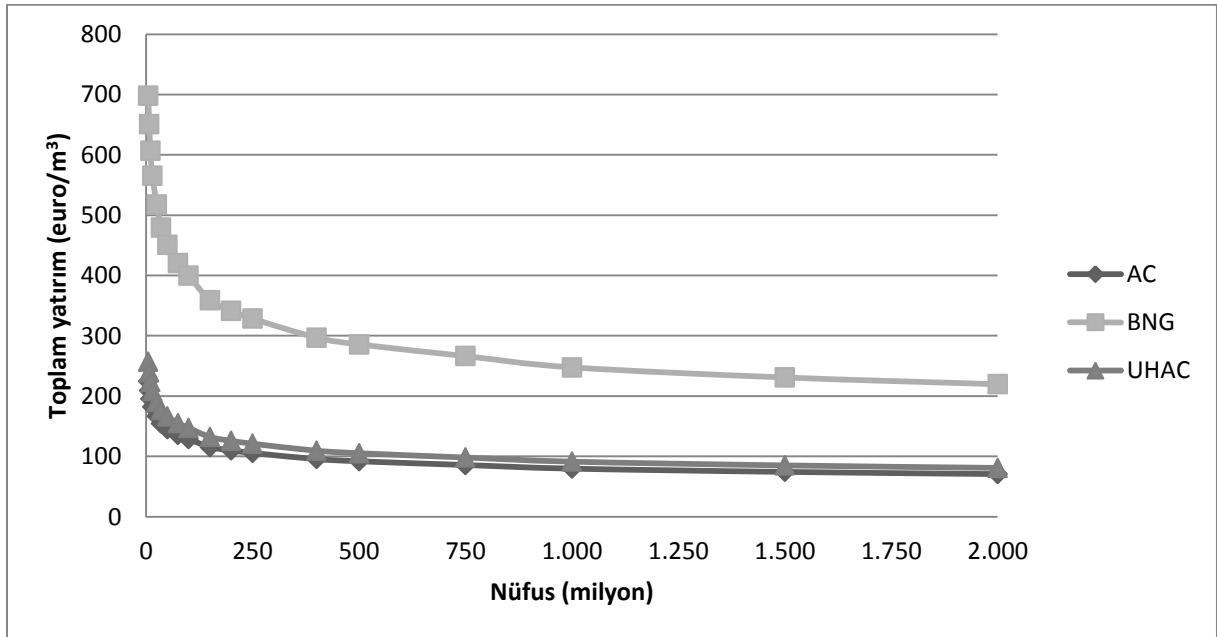
	Seçilen parametre	Modüler atıksu arıtma tesisi tasarımı	WEF	% fark
Ön çökeltim	Hacim	1.250 m ³	1.333 m ³	6,3
Aktif çamur-havalandırma havuzu	Hacim	7.423 m ³	6.651 m ³	10,4
Aktif çamur-ikincil çökeltim havuzu	Alan	1.200 m ²	1.309 m ²	9,1
Uzun havalandırılmalı aktif çamur-havalandırma havuzu	Hacim	31.962 m ³	29.046 m ³	9,2
Damlatmalı filtre	Hacim	11.213 m ³	9.968 m ³	11,1
Stabilizasyon havuzu	Alan	106.786 m ²	108.174	1,3
Ortalama				7,9
Standart sapma				3,6

11.1 İlk yatırım maliyeti

Modüler atıksu arıtma tesisi tasarımları kullanılarak hazırlanan atıksu arıtma tesislerinin inşaat, elektrik ve mekanik ekipman gibi yatırım bedelleri hesaplamalarında bazı temel kabuller yapılmış ve yatırım hesaplamalarında kullanılan fonksiyonların bileşenleri nüfus, arıtılan atıksu miktarı, ve kirlilik yükleri olmuştur. Proses hesaplamaları sonucunda aktif çamur, uzun havalandırılmalı aktif çamur ve biyolojik nutrient giderimi sistemleri için boyutlandırılan tesislerin toplam yatırım bedellerinin nüfusa göre değişimleri Şekil 6 ve Şekil-7'de verilmiştir. Farklı proses seçenekleri için elektrik/mekanik ekipman maliyetlerinin hesaplamasında ciddi farklılıklar olduğundan ilk yatırım maliyetlerinde de önemli farklılıklar gözlemlenmektedir. Biyolojik azot ve fosfor giderimi yapan BNG (biyolojik nutrient giderimi) sisteminin elektrik ve mekanik ekipman yatırım bedeli AC (aktif çamur) sistemine benzemekle birlikte, UHAC (uzun havalandırılmalı aktif çamur) sisteminde çamur stabilizasyonu biyolojik süreç içerisinde sağlanmakta olup ayrı bir sistem gerekli değildir. Bu nedenle UHAC sisteminin yatırım bedeli bu iki sistemin yatırım bedellerine benzer bir lineerliğe sahip olmakla birlikte daha düşüktür.



Şekil 6. Modüler atıksu arıtma tesisi tasarımları- nüfusa göre yatırım maliyetleri



Şekil 7. Modüler atıksu arıtma tesisi tasarımları- nüfusa göre yatırım maliyetleri

11.2 İşletme Maliyeti

Tasarımı yapılan atıksu arıtma tesislerinde uygun standartlarda bir işletmenin yapılabilmesi için bazı giderler oluşmaktadır. Bu giderlerin içerisinde yeterli sayıda personelin istihdam edilmesi, kimyasal maddelerin sağlanması, enerji maliyetlerinin sağlanması vb. gereklidir. İşletme maliyeti hesaplamaları sonucunda aktif çamur, uzun havalandırılmalı aktif çamur ve biyolojik nutrient giderimi sistemleri için boyutlandırılan tesislerin işletim bedellerinin nüfusa göre değişimleri incelendiğinde görülmektedir ki aktif çamur sisteminde artan nüfusa paralel

olarak işletme giderleri içerisindeki personel bedeli azalmakta ve yerini enerji bedeline bırakmaktadır. Bununla birlikte uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin enerji bedeli beklendiği gibi aktif çamur sisteminin yaklaşık olarak iki katı kadar olmaktadır. Biyolojik nutrient giderimi olan sistemin işletme maliyeti dağılımına bakıldığında aktif çamur sistemine benzer bir dağılım görülse de uzun havalandırmalı aktif çamur sistemine göre daha az bir maliyete sahiptir.

11.3 Birim atıksu arıtma maliyeti

Modüler atıksu arıtma tesisi tasarımı ile hem yatırım hem de işletim hesaplamaları sonuçları elde edilmektedir. Bu iki kalemden elde edilen veriler kullanılarak kar etmeyi amaçlamadan arıtılan birim atıksu için minimum tarife tutarı hesaplanabilmektedir.

27.10.2010 tarih ve 27742 sayılı “Atıksu Altyapı ve Evsel Katı Atık Tarifelerinin Belirlenmesinde Uygulanacak Usul ve Esaslara İlişkin Yönetmeliğe” göre konut-kentsel başlığı altında yer alan hesaplama kılavuzunda belirtildiği üzere 1 m³ atıksuyun arıtılması için kullanılacak minimum tarife tutarı aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$C_{min} = \frac{(c/a)}{q} + \frac{o}{q}$$

C_{min} = Minimum tarife tutarı (TL/m³)

a = Atıksu arıtma tesisi amortisman süresi (yıl)

c = Yıllık yatırım maliyeti (TL/yıl)

q = Yıllık tahakkuk edilen su miktarı (m³/yıl)

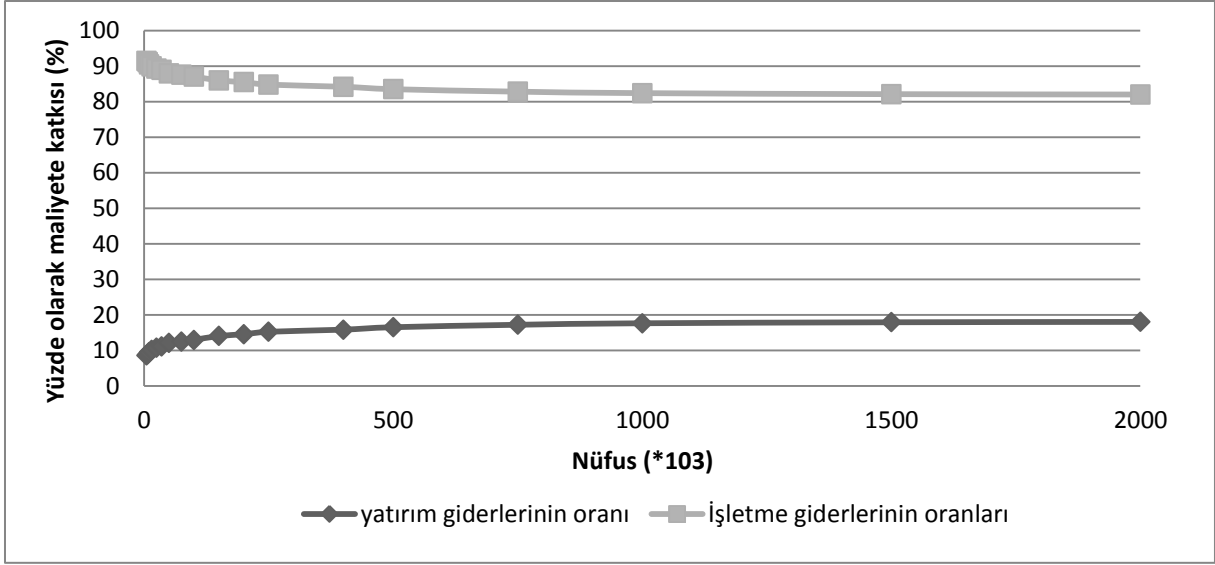
o = Atıksu arıtma tesisi işletme maliyeti (TL/yıl)

Bütün yatırım ve işletme giderlerinin hesaplanmasında kullanılan finansmanını geri ödenebilmesi için amortisman süresi bütün hesaplamalarda 30 yıl olarak kabul edilmiştir. Tablo-29’da atıksu hacmi başına tahsil edilmesi gereken minimum tarife değerleri verilmiştir.

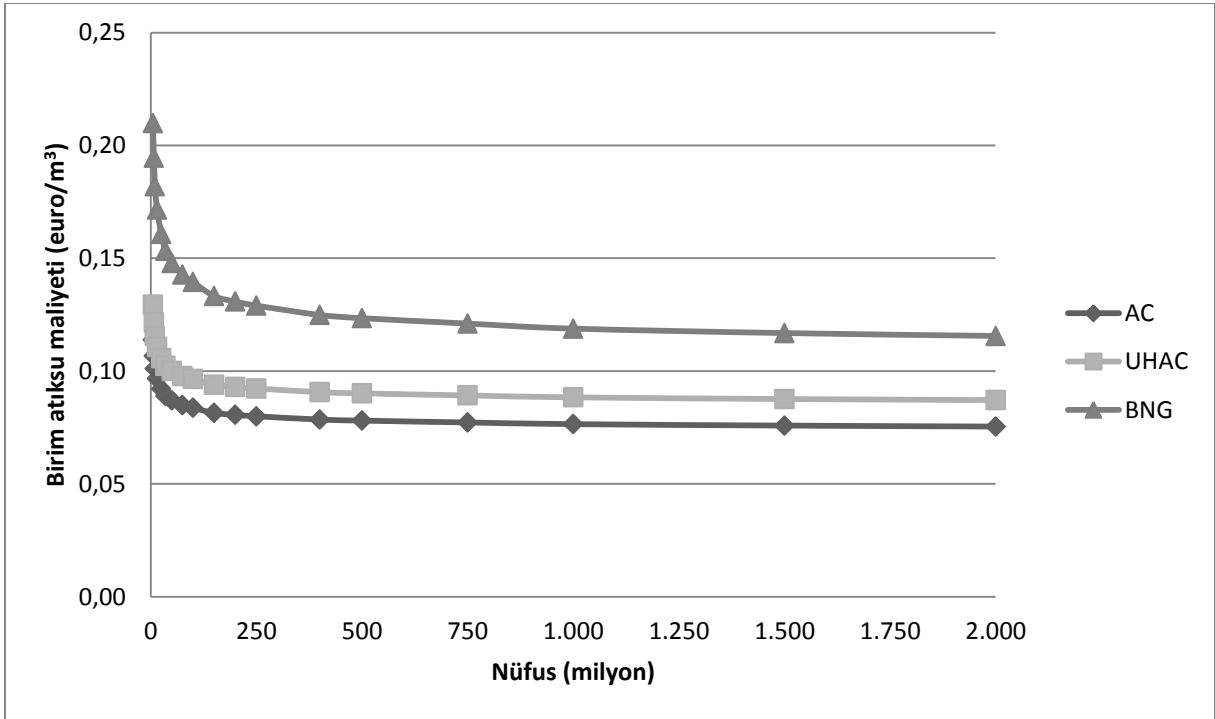
Tablo 31. Atıksu Arıtımı- Minimum tarife değerleri

Nüfus	Aktif çamur	Uzun havalandırmalı aktif çamur	Biyolojik nutrient giderimi
kişi	euro/m ³	euro/m ³	euro/m ³
5.000	0,1138	0,1293	0,2099
7.500	0,1067	0,1217	0,1945
10.000	0,1011	0,1155	0,1819
15.000	0,0966	0,1106	0,1715
25.000	0,0921	0,1057	0,1608
35.000	0,0890	0,1023	0,1532
50.000	0,0869	0,1000	0,1479
75.000	0,0849	0,0978	0,1427
100.000	0,0837	0,0965	0,1394
150.000	0,0814	0,0939	0,1332
200.000	0,0806	0,0930	0,1308
250.000	0,0799	0,0923	0,1290
400.000	0,0785	0,0906	0,1249
500.000	0,0780	0,0901	0,1234
750.000	0,0772	0,0892	0,1210
1.000.000	0,0765	0,0883	0,1188
1.500.000	0,0758	0,0876	0,1168
2.000.000	0,0754	0,0871	0,1156

İlk yatırım ve işletme maliyeti üzerindeki en önemli faktörlerden biri olan proses seçiminin etkisini aktif çamur örneğinde görebilmekteyiz (Şekil-8). Özellikle nüfusun küçük olduğu bölgelerde yatırımın da küçük olması nedeniyle birim arıtma maliyetinin büyük bir bölümünü işletme maliyeti oluşturmaktadır. Uzun havalandırmalı aktif çamur ve biyolojik nutrient giderimi sistemlerinde de benzer bir şekilde işletme maliyetlerinin birim arıtma maliyetleri üzerindeki etkisi artan nüfusla birlikte azalmaktadır.



Şekil 8. İlk yatırım ve işletme maliyetinin birim arıtma maliyeti üzerindeki etkisi- Aktif çamur



Şekil 9. Birim atıksu maliyetinin nüfusa göre değişimi

Yapılan hesaplamalardan elde edilen veriler ile Erdoğan A. ve arkadaşlarının çalışma sonuçları (2006) karşılaştırıldığında, optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı başlığı altında, bu proje kapsamında hazırlanan ve en önemli çıktılardan biri olan “Modüler Atıksu Arıtma Tesisi Tasarımı”nın sonuçları arasında bir örtüşme söz konusu olup modüllerin

karşılaştırma yaparken kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (İlgili çalışmanın sonuçlarını gösteren şekiller Ek-1’de verilmiştir).

12. Proje Kapsamında Yapılan Örnek Çalışmalar

Proje kapsamında 20.07.2011 tarihinde ODTÜ ve Braunschweig Üniversitesi proje ekipleri ile İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi (İZSU) ekibi ve Genel Müdür Sayın Dr. Ahmet Hamdi Alpaslan’ın da katılımı ile İzmir’de bir toplantı gerçekleştirilmiştir. Proje tanıtımının yapıldığı ve olası işbirliklerinin değerlendirildiği bu toplantının sonucunda İZSU’nun işlettiği atıksu arıtma tesislerinden Havza ve Ayrancılar (Güney Bölgesi), Menemen (Kuzey Bölgesi), Bayındır ve Selçuk (Güney Bölgesi) atıksu arıtma tesislerine (AAT) teknik geziler yapılmıştır.

Toplantıda proje ekibinin de üzerinde çalıştığı Menemen, Bayındır ve Selçuk AAT ile ilgili detaylı bilgi paylaşımları gerçekleşmiş, modüllerin ilk işletim sonuçları bu tesisten sorumlu teknik personel ile paylaşılmış ve saha gezisi ile de yerinde incelemeler yapılmıştır.

Bu dönemki proje çalışmaları kapsamında İzmir İli’nde bağlı Menemen, Bayındır ve Selçuk Atıksu Arıtma Tesisi ile Modüler Atıksu Arıtma İşletim Sistemleri çalışılmıştır.

12.1 Menemen Atıksu Arıtma Tesisi

Menemen Atıksu Arıtma Tesisi 1. aşaması, 100.000 eşdeğer nüfus ile 21.600 m³/gün bir tasarım kapasitesine sahip olup 2 Nisan 2010 tarihinde işletmeye açılmıştır. Menemen şehir merkezine, Asarlık, Koyundere, Seyrek ve Günerli’ye hizmet vermektedir. Bu tesis, Günerli köyü yakınlarındaki Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi ait tarım arazileri üzerine inşa edilmiştir.

Menemen Atıksu Arıtma Tesisi’nin arıtma tipi, uzun havalandırmalı azot ve fosfor giderimi de dahil olmak üzere ileri biyolojik arıtmadır. Arıtma üniteleri sırasıyla, kaba ve ince ızgaralar, havalandırmalı kum ve yağ tutucu, anaerobik P-giderim havuzları, havalandırma havuzları, çökeltme havuzu, mekanik çamur yoğunlaştırma ve çamur susuzlaştırma üniteleri.

Susuzlaştırılmış çamur Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi depolama alanlarına konveyörler aracılığıyla transfer edilmektedir. Belediye, Menemen Atıksu Arıtma Tesisi’nin arıtılan atıksuyunu çevresindeki tarım arazilerinde sulama suyu olarak kullanmayı planlamaktadır.

Arıtılmış atıksu deşarj kriterlerini (MoFWH 2010) sağlamaktadır. Arıtılan atıksuyun sulama için yeniden kullanılmasına yönelik bir plan olmasına rağmen, bir uygulama henüz gerçekleşmemiştir.

M-2a, 2b, 2c ve M-3, 4, Menemen Atıksu Arıtma Tesisi için çalıştırılmıştır. M-2a, Menemen Atıksu Arıtma Tesisinin mevcut durumunu temsil etmektedir. Atıksu Arıtma Tesisi 25 gün çamur tutma yaşına sahip olan uzun havalandırma sistemine sahiptir. Beş tane parametre periyodik olarak analiz edilmekte ve kaydedilmektedir (pH, AKM, KOİ, TP ve TN). Bu nedenle, bu parametreler giriş parametreleri olarak alınmıştır ve geri kalan parametreler (BOİ₅, TOK, K, Mg, Ca, NO₃ ve asit kapasitesi) literatürden alınmıştır (Erdoğan ve ark 2006 ; Metcalf ve Eddy, 2002). Atıksu giriş ve çıkış karakterizasyonu Tablo 32'de (İZSU, 2011), modülleri çalıştırmak için kullanılan giriş parametreleri de Tablo 33 'de özetlenmiştir. Giriş suyu AKM, KOİ, TP ve TN konsantrasyonları değerlendirildiğinde, bu atıksuyun tipik bir evsel atıksudan daha düşük kirlilik yükü ihtiva ettiği anlaşılmaktadır. Saha ziyareti sırasında, ham atıksudaki bu düşük konsantrasyonların nedeni İZSU personeline sorulmuş ve ana nedeninin yeraltı suyunun kanalizasyona karışması gösterilmiştir. Bu durum giriş kirlilik yükünde bir azalmaya neden olmaktadır. Bu nedenle, Menemen Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış atıksu konsantrasyonları tipik bir evsel atıksu kompozisyonu değerlerinden daha düşüktür

Giriş suyu karakterizasyonu normal bir evsel atıksu karakterizasyonuna göre çok düşük konsantrasyonlar ihtiva ettiği için seçilen arıtma sistemi (uzun havalandırmalı aktif çamur) gereğinden fazla gelişmiş bir teknoloji olarak kalmıştır. Sonuç olarak, İzmir Kuzey Bölgesi Atıksu arıtma tesislerinin (Aliağa, Kemelpaşa, Kozbeyli, Halilbeyli, Hacıömerli, Foça, Menemen ve Çiğli) ortalama giriş konsantrasyonları hesaplanmış ve çalışmalarda bu değerler dikkate alınmıştır. Modülleri çalıştırmak için kullanılan giriş parametreleri Tablo 32'de özetlenmiştir.

Tablo 32 Menemen Atıksu Arıtma Tesisinin giriş-çıkış suyu karakterizasyonu ¹

Parameter	pH	AKM	KOİ	TP	TN
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
100.000 E. N için tipik evsel atıksu karakterizasyonu (Erdoğan ve ark., 2006)	-	390	650	65	10,40
Giriş	7,8	149	153	3,0	19,6
Çıkış	7,78	25	34	2,8	11,7

Tablo 33 M-2a, M-2b, M-2c, M-3 ve M-4 için kullanılan girdiler

Parametreler	Girdiler	Birim
Eşdeğer nüfus	100.000	-
Günlük su tüketimi	216	L/EN*gün
Atıksu miktarı	21.600	m ³ /d
BOİ ₅	251,3	mg/L
KOİ	550,36	mg/L
AKM	864,52	mg/L
TOK	149	mg/L
TKN	35,35	mg/L
TP	11,2	mg/L
K	10	mg/L
Mg	40	mg/L
Ca	80	mg/L
NO ₃	0	mg/L
Asit kapasitesi	7	mmol/L

Giriş değerleri yanı sıra M-2a, M-2b, M-2c'ye özgü parametreler de vardır. Bunlar temelde, çamur yaşı, denitrifikasyon, kimyasal ve biyolojik fosfor giderimi, asit kapasitesi, çamur hacim indeksi, ve sıcaklıktır. İlk üç parametrenin değiştiği ve ön çökeltme sisteminin (M-1) eklendiği durumda, sıvı ve katı çıkış aşamalarında besin dağılımı değiştiği gözlemlenmiştir.

¹ İZSU-Atıksu Arıtması Dairesi Başkanlığı-2010 yılı ortalama değerleri

Bu bağlamda, M-2b ve M-2c çalıştırılmıştır. M-2a, M-2b ve M-2c için tanımlanmış parametreler Tablo 34'de özetlenmiştir.

Tablo 34 M-2a, M-2b ve M-2c için tanımlanan parametreler

Parametreler	M-2a Mevcut surum	M -2b + ön çökeltim	M-2c +ön çökeltim
Ön çökeltim	yok	var	var
Çamur yaşı	25	15	10
Sıcaklık	15	15	15
Denitrifikasyon	Preanoksik	yok	Preanoksik
Kimyasal fosfor giderimi	yok	yok	var
Biyolojik fosfor giderimi	var	yok	var

M-2b ve M-2c'de sadece operasyonel parametreleri değiştirilmiş ve ön çökeltme havuzu eklenmiştir. Bunlara ek olarak biyolojik arıtma teknolojisi de değiştirilebilir. M-3 ve M-4 – damlatmalı filtre ve stabilizasyon havuzu- bu doğrultuda çalıştırılmıştır. Bu sistemlerin seçim kriterleri esas olarak, operasyonel stabilite, arıtma performansı ve maliyet verimliliğidir (Fitzgerald ve Rohlich, 1958 ; Gujer ve Boller, 1986; Brissaud ve ark, 1991; Diks ve Ottengraf, 1991). Teknoloji değişikliğine ek olarak, ön çökeltme havuzu M-3 ve M-4'e de eklenmiştir. Bu nedenle mevcut durumdan (M-2a) farklı olarak bu çalışmalar için kirlilik yükü azalmıştır. M-3 ve M-4 için tanımlanmış parametreler Tablo 35' de özetlenmiştir.

Tablo 35 M-2a, M-3 ve M-4 için tanımlanan parametreler

Parametreler	M-2a Mevcut durum	M-3 + ön çökeltim	M-4 + ön çökeltim
Ön çökeltim	yok	var	var
Çamur yaşı	25	30	360
Sıcaklık	15	15	15
Denitrifikasyon	Preanoksik	yok	yok
Kimyasal fosfor giderimi	yok	yok	yok
Biyolojik fosfor giderimi	var	yok	yok

12.2 Bayındır Atıksu Arıtma Tesisi

Bayındır Atıksu Arıtma Tesisi, 40.000 eşdeğer nüfus ile 6,912 m³/gün bir tasarım kapasitesine sahiptir. Bu tesis Bayındır şehir merkezi, Canlı, Yakapınar, Çıplak, Elifli, Fırınılı ve civar yerleşim yerlerine hizmet vermektedir.

Bayındır Atıksu Arıtma Tesisi sistemi Menemen Atıksu Arıtma Tesisi ile aynı olup, uzun havalandırmalı azot ve fosfor giderimi de dahil olmak üzere ileri biyolojik arıtma tipindedir. Arıtma adımları sırasıyla, kaba ve ince ızgaralar, havalandırmalı kum ve yağ tutucu, anaerobik P-giderim havuzları, havalandırma havuzları, çökeltme havuzu, mekanik çamur yoğunlaştırma ve çamur susuzlaştırma üniteleridir.

Susuzlaştırılmış çamur Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi depolama alanlarına konveyör aracılığı ile yapılır. Belediye, Bayındır Atıksu Arıtma Tesisi'nin arıtılan atıksuyunu çevresindeki tarım arazilerinde sulama suyu olarak kullanmayı planlamaktadır.

Arıtılmış atıksu deşarj kriterlerini (MoFVH 2010) sağlamaktadır. Arıtılan atıksuyun sulama için yeniden kullanılmasına yönelik bir plan olmasına rağmen, bir uygulama henüz gerçekleşmemiştir.

B-2a, 2b, 2c ve B-3, 4, Bayındır Atıksu Arıtma Tesisi için çalıştırılmıştır. B-2a, Bayındır Atıksu Arıtma Tesisinin mevcut durumunu temsil eder. Uzun havalandırma sistemi 20 gün çamur tutma süresi ile çalıştırılmaktadır. Beş tane parametre periyodik olarak analiz edilmekte ve kaydedilmektedir. (pH, AKM, KOİ, TP ve TN). Bu nedenle, bu parametreler giriş parametreleri olarak alınmıştır ve geri kalan parametreler (BOİ₅, TOK, K, Mg, Ca, NO₃ ve

asit kapasitesi) literatürden alınmıştır (Erdoğan ve ark 2006 ; Metcalf ve Eddy, 2002). Atıksu giriş ve çıkış karakterizasyonu Tablo 36'da özetlenmiştir (İZSU, 2011) ve modülleri çalıştırmak için kullanılan giriş parametreleri Tablo 37'de özetlenmiştir.

Tablo 36 Bayındır Atıksu Arıtma Tesisinin giriş-çıkış suyu karakterizasyonu²

Parametre	pH	AKM	KOİ	TP	TN
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Giriş	7,62	183	416	6,0	30,48
Çıkış	7,97	8	14	3,8	17,4

Tablo 37 B-2a, B-2b, B-2c, B-3, B-4 için kullanılan girdiler

Parametre	Girdiler	birim
Eşdeğer nüfus	40.000	-
Günlük su tüketimi	172,8	L/EN*gün
Atıksu miktarı	6.912	m ³ /d
BOİ ₅	190	mg/L
KOİ	416	mg/L
AKM	183	mg/L
TOK	149	mg/L
TKN	30,48	mg/L
TP	6	mg/L
K	10	mg/L
Mg	40	mg/L
Ca	80	mg/L
NO ₃	0	mg/L
Asit kapasitesi	7	mmol/L

Yukarda verilen girdilerin yanı sıra, B-2a, B-2b, B-2c'ye özgü operasyonel parametreler de vardır. Bunlar temelde, çamur yaşı, denitrifikasyon, kimyasal ve/veya biyolojik olarak fosfor giderimi, asit kapasitesi, çamur hacim indeksi, ve sıcaklıktır. İlk üç parametre değiştiği ve ön çökeltim havuzu eklendiği zaman, sıvı ve katı çıkış aşamalarında besin dağılımının değiştiği

² İZSU-Atıksu Arıtma Dairesi Başkanlığı-2010 yılı ortalama değerleri

gözlemlenmiştir. Bu kapsamda, B-2b ve B-2c çalıştırılmıştır. B-2a, B-2b ve B-2c'yi çalıştırmak için kullanılan parametreler Tablo 38'de özetlenmiştir.

Tablo 38 B-2a, B-2b ve B-2c için kullanılan parametreler

Parametreler	B-2a Mevcut durum	B-2b+ ön çökeltim	B-2c+ ön çökeltim
Ön çökeltim	yok	var	var
Çamur yaşı	20	15	10
Sıcaklık	15	15	15
Denitrifikasyon	Preanoksik	yok	Preanoksik
Kimyasal fosfor giderimi	yok	yok	Yes
Biyolojik fosfor giderimi	var	yok	Yes

B-2b ve B-2c'de sadece operasyonel parametreler değiştirilmiş ve ön çökeltme havuzu eklenmiştir. Bunun dışında biyolojik arıtma teknolojisi de değiştirilebilir. Bu kapsamda B-3 ve B-4, damlatmalı filtre ve doğal arıtım kullanılarak çalıştırılmıştır. Bu sistemlerin seçimi esnasında dikkat edilen kriterler esas olarak, operasyonel stabilite, arıtma performansı ve maliyet verimliliği olmuştur (Gujer ve Boller, 1986; Brissaud ve ark, 1991; Diks ve Ottengraf, 1991; Fitzgerald ve Rohlich, 1958). Teknoloji değişikliğine ek olarak B-3 ve B-4 sistemlerine ön çökeltim havuzu da eklenmiştir. Bu nedenle mevcut durumdan (B-2a) farklı olarak bu çalışmalar için kirlilik yükü azalmıştır. B-3 ve B-4 için tanımlanmış parametreler Tablo 39 da özetlenmiştir.

Tablo 39 B-2a, B-3 ve B4 için kullanılan parametreler

Parametreler	B-2a Mevcut durum	B-3 + ön çökeltim	B-4 + ön çökeltim
Ön çökeltim	yok	var	var
Çamur yaşı	20	30	360
Sıcaklık	15	15	15
Denitrifikasyon	Preanoksik	yok	yok
Kimyasal fosfor giderimi	yok	yok	yok
Biyolojik fosfor giderimi	var	yok	yok

12.3 Selçuk Atıksu Arıtma Tesisi

Selçuk Atıksu Arıtma Tesisi, 50.000 eşdeğer nüfus 10.200 m³/gün bir tasarım kapasitesine sahiptir. Selçuk kasabasına hizmet vermekte ve kendi arıtma sistemi, bir tür doğal arıtma sistemi olan stabilizasyon havuzudur. Ancak arıtılmış atıksu kalitesi deşarj kriterlerini iki parametrede (BOİ₅ ve KOİ) sağlayamamaktadır (Tablo 40).

Tablo 40 Selçuk AAT giriş ve çıkış suyu karakterizasyonu³

Parametre	pH	AKM	KOİ	TP	TN
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Giriş	7,93	359	765	12,4	79,5
Çıkış	8,38	160	283	7,5	45,7
Yönetmelik gereğince uyulması gereken deşarj değerleri (UWTR, 2010)	-	35	125	2	15

S-2a, 2b ve S-3, 4, Selçuk Atıksu Arıtma Tesisi için çalıştırılmıştır. Modül S-4, Selçuk Atıksu Arıtma Tesisinin mevcut durumunu yansıtmaktadır. 360 gün çamur yaşı ile çalışan bir stabilizasyon havuzu mevcuttur. Çıkış suyu periyodik olarak analiz edilmekte ve beş parametrenin (pH, AKM, KOİ, TP ve TN) sonucu kaydedilmektedir. Bu nedenle, bu parametreler giriş parametreleri olarak alınmıştır ve geri kalan parametreler (BOİ₅, TOK, K, Mg, Ca, NO₃ ve asit kapasitesi) literatürden alınmıştır (Erdoğan ve ark 2006; Metcalf ve Eddy, 2002). Atıksu giriş ve çıkış karakterizasyonu Tablo 37'de özetlenmiştir (İZSU, 2011) ve modülleri çalıştırmak için kullanılan giriş parametreleri Tablo 41'de özetlenmiştir.

³ İZSU-Atıksu Arıtma Dairesi Başkanlığı-2010 yılı ortalama değerleri

Tablo 41 S-2a, S-2b, S-3 ve S-4 için kullanılan değerler

Parametre	Girdiler	Birim
Eşdeğer nüfus	50.000	-
Günlük su tüketimi	204	L/EN*gün
Atıksu miktarı	10.200	m ³ /d
BOİ ₅	349	mg/L
KOİ	765	mg/L
AKM	359	mg/L
TOK	149	mg/L
TKN	79,5	mg/L
TP	12,4	mg/L
K	10	mg/L
Mg	40	mg/L
Ca	80	mg/L
NO ₃	0	mg/L
Asit kapasitesi	7	mmol/L

Girişi değerler yanı sıra, çalışmalar için özel olan bazı tanımlı parametreler de vardır. Bunlar temelde, çamur yaşı, denitrifikasyon, kimyasal ve biyolojik fosfor giderimi, asit kapasitesi, çamur hacim indeksi, ve sıcaklıktır. Bu bağlamda, S-2a, S-2b (aktif çamur sistemi) ve G-3 (damlatmalı filtre) çalıştırılarak elde edilmiştir. Damlatmalı filtre sistemi seçimi kriterleri esas olarak, operasyonel stabilite, arıtma performansı ve maliyet verimliliğidir (Brissaud ve ark, 1991; Diks ve Ottengraf, 1991 Boller ve Gujer, 1986). S, S-2a-2b, S-3 ve S-4 için tanımlanmış parametreler Tablo 42'de özetlenmiştir.

Tablo 42 S-2a, 2b, 3 ve 4 için tanımlanan parametreler

Parametreler	S-4 Mevcut durum	S-2a	S-2b	S-3
Ön çökeltim	yok	var	var	var
Çamur yaşı	360	25	15	30
Sıcaklık	15	15	15	15
Denitrifikasyon	yok	Preanoksik	Preanoksik	Yok
Kimyasal fosfor giderimi	yok	yok	var	Yok
Biyolojik fosfor giderimi	yok	var	var	Yok

13. Proje Kapsamında Gerçekleştirilen Çalışma Sonuçları

13.1 Menemen Atıksu Arıtma Tesisi

Tablo 35 'de gösterildiği gibi, çamur tutma süresi (Ç.Y) veya azot-fosfor giderimleri seçeneği gibi operasyonel parametrelerin değiştirilmesi, sistemin enerji ihtiyacını ve atıksu kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. M-2a, mevcut durumu temsil etmekte ve ön çökeltim havuzu olmaksızın (aynı anda aerobik stabilizasyon) 25 günlük çamur yaşı ile işletilmektedir. M-2b'nin Ç.Y = 15 gün, N ve P-giderimi yok ve M-2c'nin Ç.Y= 10 gün, N ve P-giderimi vardır ve her ikisinde de ek bir ön arıtma ünitesi (ön çökeltim havuzu bulunmaktadır. Sonuç olarak giriş yükleri mevcut duruma göre düşüktür.

Tablo 43, Menemen için çalıştırılan M-2a, 2b ve 2c sonuçlarını göstermektedir. Tüm hesaplamalar mevcut Atıksu Arıtma Tesisi 100.000 nüfus eşdeğeri (E.N)' ne karşılık gelen kirlilik yüküne göre çalıştırılmıştır. Ham atıksu değerleri Tablo 32'de verilmiştir. Diğer tasarım parametreleri Tablo 33 'de verilmiştir.

Tablo 43 M-2a, 2b ve 2c sonuçları

Parametreler/çalışmalar	M-2a	M-2b	M-2c
Atıksu	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	4339	3254	3254
tN	279	251	251
tP	88	79	79
Aritılmış atıksu	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	986	499	499
tN	87	184	87
tP	49	72	32
Atık çamur	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	1108	1064	1155
tN	89	67	67
tP	40	7	48
TK	4673	2519	2978
Gaz çıkışı	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
N₂	103	0	97
CO₂	2245	1692	1600
İhtiyaç duyulan enerji	MWh/yıl	MWh/yıl	MWh/yıl
Toplam enerji ihtiyacı	4493	3533	3411
Toplam yatırım maliyeti	€ 5.575.747	€ 3.235.808	€ 2.814.649

Tablo 43'e göre, mevcut durum daha düşük çamur yaşı ile çalıştırılan sisteme veya ön çökeltim havuzu eklenen bir sisteme göre, daha fazla enerji (% 24 kadar) gerektirmektedir. Bunun yanı sıra M-2b ve M-2c daha düşük bir yatırım maliyeti (% 50) gerektirmektedir. Ayrıca 15 gün Ç.Y'nın karbon ve A&P giderimi için yeterli olduğu gözlemlenmiştir. 25 gün Ç.Y ile karşılaştırıldığında M-2b'nin % 21 daha az enerji gerektirdiği de görülmüştür. Çamur yaşını 10 güne çekerek de daha fazla enerji kazancı sağlanabilir ve nutrient kazanımı elde edilebilir.

Aktif çamur sistemine alternatif olarak, Tablo 44'de, düşük-teknoloji seçenekleri olan damlatmalı filtre ve stabilizasyon havuzları değerlendirilmiştir. Her iki sistem için çıkış suyu

nitelikleri aynı düzenlenmiştir. Modül sonuçları göstermiştir ki aktif çamur sistemi ile karşılaştırıldığında her iki sistemin de oldukça az enerji gereksinimi vardır ve maliyet açısından da oldukça düşüktür. Sonuç olarak, bu arıtma sistemleri, yüksek nutrient açısından zengin bir su sağlamakta ve tarımsal sulama için potansiyel arz etmektedir. Hesaplamalar karşılaştırmayı kolaylaştırması için 100.000 EN'lik bir yük için yapılmıştır.

Tablo 44 M-3 ve 4 sonuçları

Parametreler/çalışmalar	M-3	M-4
Atıksu	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	3254	3254
tN	251	251
tP	79	79
Arıtılmış atıksu	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	499	499
tN	184	184
tP	65	65
Atık çamur	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	950	818
tN	67	67
tP	14	14
TK	2414	2282
Gaz çıkışı	ton/yıl	ton/yıl
N₂	0	0
CO₂	1805	1937
İhtiyaç duyulan enerji	MWh/yıl	MWh/yıl
Toplam enerji ihtiyacı	552	79
Toplam yatırım maliyeti	€	€
	1.511.234	1.109.849

13.2 Bayındır Atıksu Arıtma Tesisi

B-2a, mevcut durumu temsil etmekte ve ön çökeltim havuzu olmaksızın (aynı anda aerobik stabilizasyon) 25 günlük çamur yaşı ile işletilmektedir. B-2b'nin Ç.Y = 15 gün, N ve P-giderimi yok ve B-2c'nin Ç.Y= 10 gün, N ve P-giderimi vardır ve her ikisinde de ek bir ön arıtma ünitesi (ön çökeltim havuzu bulunmaktadır. Sonuç olarak giriş yükleri mevcut duruma göre düşüktür.

Tablo 45, Bayındır için çalıştırılan B-2a, 2b ve 2c sonuçlarını göstermektedir. Tüm hesaplamalar mevcut Atıksu Arıtma Tesisi 40.000 nüfus eşdeğeri (E.N)' ne karşılık gelen kirlilik yüküne göre çalıştırılmıştır. Ham atıksu değerleri Tablo 36'da verilmiştir. Diğer tasarım parametreleri Tablo 37 'de verilmiştir.

Tablo 45 B-2a, 2b ve 2c sonuçları

Parametreler/çalışmalar	B-2a	B-2b	B-2c
Atıksu	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	1050	787	787
tN	77	69	69
tP	15	14	14
Arıtılmış atıksu	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	315	160	160
tN	28	53	28
tP	6	12	3
Atık çamur	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	219	231	253
tN	22	16	16
tP	10	2	11
TK	418	253	322
Gaz çıkışı	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
N₂	28	0	25
CO₂	515	396	375
İhtiyaç duyulan enerji	MWh/yıl	MWh/yıl	MWh/yıl
Toplam enerji ihtiyacı	1147	907	878
Toplam yatırım maliyeti	€ 686.448	€ 1.910.042	€ 2.814.649

Tablo 45'e göre, mevcut durum daha düşük çamur yaşı ile çalıştırılan sisteme veya ön çökeltim havuzu eklenen bir sisteme göre, daha fazla enerji (% 23 kadar) gerektirmektedir. Ayrıca 15 gün Ç.Y'nın karbon ve A&P giderimi için yeterli olduğu gözlemlenmiştir. 25 gün Ç.Y ile karşılaştırıldığında B-2b'nin % 20 daha az enerji gerektirdiği de görülmüştür. Çamur yaşını 10 güne çekerek de daha fazla enerji kazancı sağlanabilir ve nutrient kazanımı elde edilebilir.

Aktif çamur sistemine alternatif olarak, Tablo 46'de, düşük-teknoloji seçenekleri olan damlatmalı filtre ve stabilizasyon havuzları değerlendirilmiştir. Her iki sistem için çıkış suyu nitelikleri aynı düzenlenmiştir. Modül sonuçları göstermiştir ki aktif çamur sistemi ile karşılaştırıldığında her iki sistemin de oldukça az enerji gereksinimi vardır ve maliyet açısından da oldukça düşüktür. Sonuç olarak, bu arıtma sistemleri, yüksek nutrient açısından zengin bir su sağlamakta ve tarımsal sulama için potansiyel arz etmektedir. Hesaplamalar karşılaştırmayı kolaylaştırması için 40.000 EN'lik bir yük için yapılmıştır.

Tablo 46 B-3 ve 4 sonuçları

Parametreler/çalışmalar	B-3	B-4
Atıksu	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	787	787
tN	69	69
tP	14	14
Aritılmış atıksu	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	160	160
tN	53	53
tP	10	10
Atık çamur	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	205	174
tN	16	16
tP	4	4
TK	228	196
Gaz çıkışı	ton/yıl	ton/yıl
N₂	0	0
CO₂	422	453
İhtiyaç duyulan enerji	MWh/yıl	MWh/yıl
Toplam enerji ihtiyacı	177	25

13.3 Selçuk Atıksu Arıtma Tesisi

S-4, mevcut durumu temsil eder ve 360 günlük bir çamur yaşına sahiptir ve bir doğal arıtma metodu olan stabilizasyon havuzu ile çalıştırılır. Selçuk Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu kalite değerleri mevzuatta belirtilen deşarj kalite şartlarını sağlamamaktadır. S-4'ü çalıştırmak bu anlamda da önem arz etmektedir, çünkü S-4 de çıkış suyunu yerine getirmek için gerekli olan stabilizasyon havuzu boyutları, maliyeti hesaplanabilmektedir. İşletilen çalışmalar sırasıyla, S-2a (ÇY = 25 gün, A ve P-giderimi var) ve S-2b (ÇY = 15 gün, P ve A giderimi var). S-2a ve S-2b de bunlara ek olarak ön çökeltim havuzu da sisteme dahil edilmiştir. Aktif çamur alternatifi dışında, damlatmalı filtre, S-3, çalıştırılmıştır. Hesaplamaları karşılaştırmada kolaylaştırmak için 50.000 EN bir yük için yapılmıştır.

Tablo 47 Selçuk için yapılan çalışmaların sonuçlarını göstermektedir. Tüm hesaplamalar mevcut Atıksu Arıtma Tesisi boyutuna karşılık gelen 50.000 eşdeğer nüfusluk bir yük için yapılmıştır.

Tablo 47 S-4, S-2a, 2b ve S-3 sonuçları

Parametreler/çalışmalar	S-4	S-2a	S-2b	S-3
Atıksu	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	2848	2136	2136	2136
tN	296	266	266	266
tP	46	42	42	42
Arıtılmış atıksu	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	235	235	235	235
tN	238	41	41	223
tP	33	27	4	32
Atık çamur	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
tKOİ	842	701	761	684
tN	58	44	44	44
tP	13	15	38	10
TK	1009	688	899	643
Gaz çıkışı	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl	ton/yıl
N₂	0	182	182	0
CO₂	1771	1200	1140	1217
İhtiyaç duyulan enerji	MWh/yıl	MWh/yıl	MWh/yıl	MWh/yıl
Toplam enerji ihtiyacı	37	3232	3154	261

Yukarıda da belirtildiği gibi özellikle mevcut durumu yansıtan çalışma planlama aşamasında bu modüler tasarımların ne kadar faydalı olabileceğini göstermektedir. Stabilizasyon havuzu, 1,5 m derinliğinde, 127,5 m³ hacminde olur ve yüzey alanı da 85 m² olursa çıkış suyu istenilen kaliteye getirilecektir.

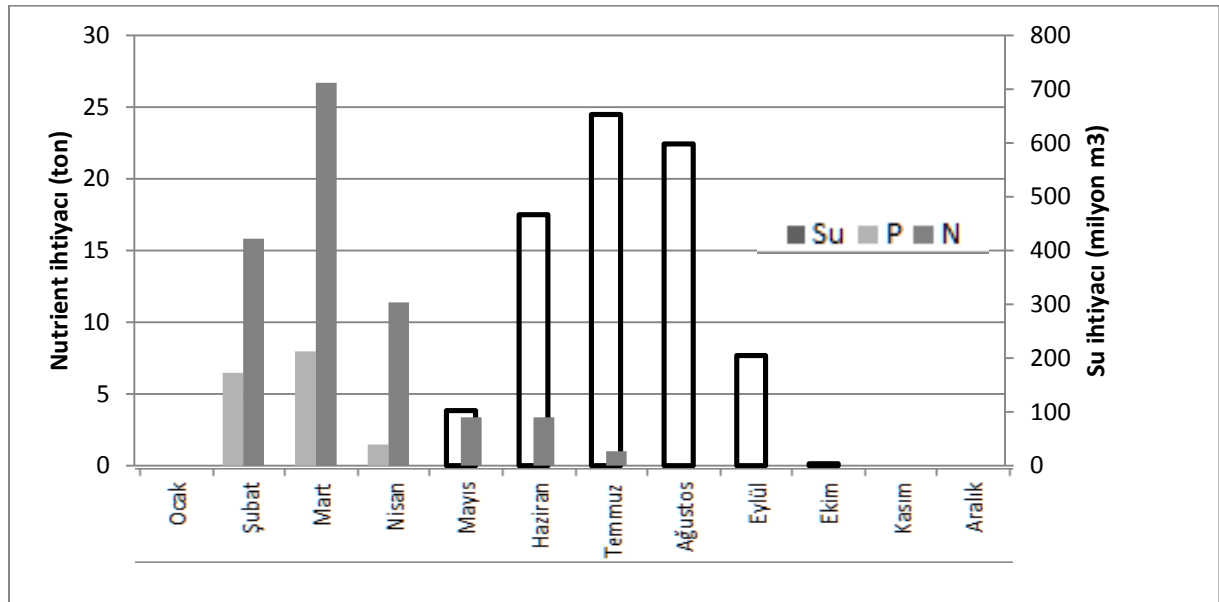
13.4 Optimizasyon sonuçları

Tarımsal ihtiyaçları karşılamak için yapılan çalışmalar

Tarımsal su ve nutrient ihtiyacını hesaplamak üzere Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü'nden gerekli veriler sağlanmıştır. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı Toprak Su Genel Müdürlüğü Yayınları'ndan İzmir İli Verimlilik Envanteri ve Gübre İhtiyaç Raporu'ndan Menemen bölgesinde yetiştirilen beş ana tarım ürünü (Tablo 48) için öncelikle ekim alanları alınmış ardından azot ve fosfor ihtiyaçları yine bu envanterde sunulan dağılımlara dayanılarak hesaplanmış ve son olarak da su ihtiyacı FAO (Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve Tarım Örgütü) tarafından sunulan CROPWAT 8.0 programı kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 10).

Tablo 48. Menemen ana tarım ürünleri dağılımı

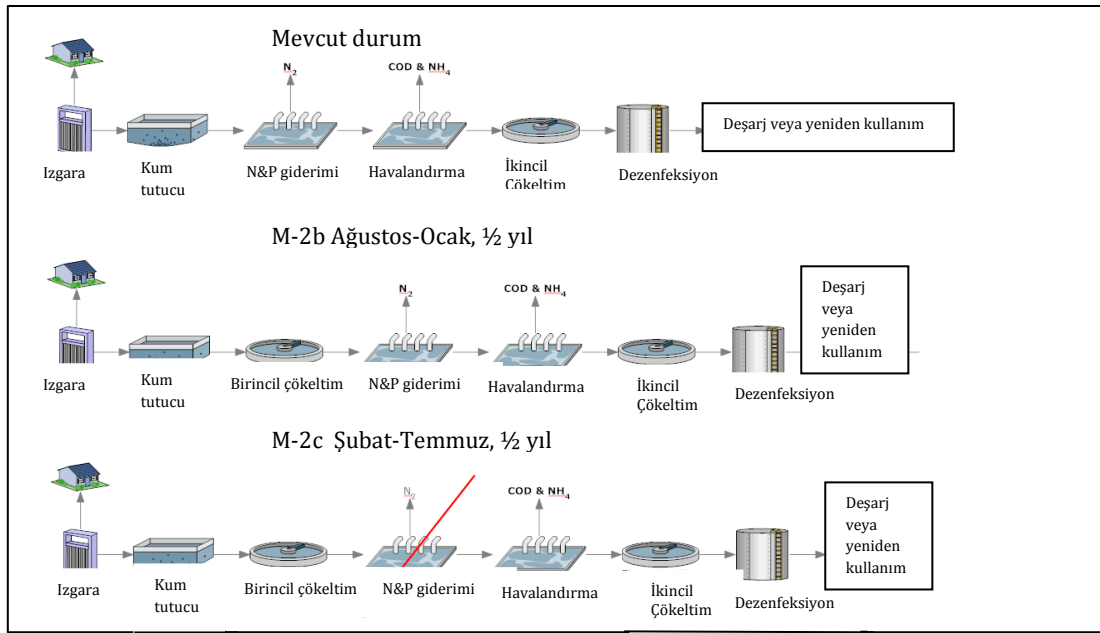
Ürün	Pamuk	Mısır	Bostan	Sebze	Meyve
Alan [ha]	8.760	3.340	1.470	1.340	960



Şekil 10. İzmir arım bölgesi için su, azot ve fosfor ihtiyacı dağılımı

Menemen AAT

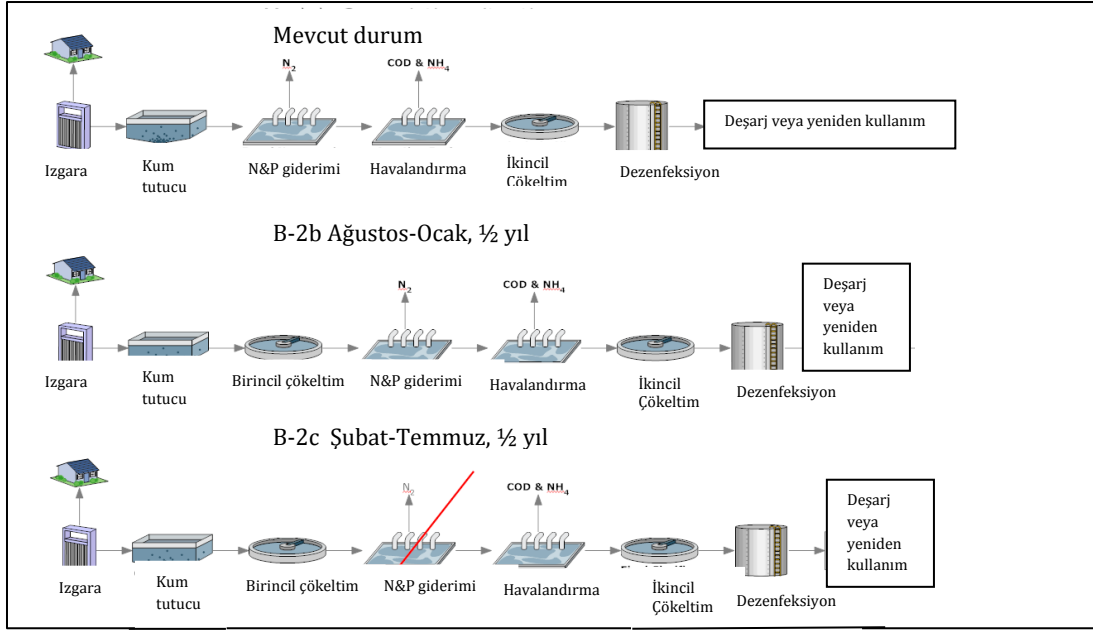
Arıtılmış atıksuyun tarımda yeniden kullanımı için modüler tasarım sonuçları kullanılırken tarımsal su ihtiyacı dönemsel olarak ele alınmıştır. Buna göre Menemen AAT'nin yılın Ağustos-Ocak ayı ayları arasında M-2b (Ç.Y:15 gün) ile çalıştırılıp azot ve fosfor giderimi yapıldığına; Şubat-Temmuz arasında ise M-2c (Ç.Y: 10 gün) ile çalıştırılıp azot ve fosfor gideri durdurulduğunda yıllık yaklaşık olarak 50 ton azot ve 3 ton fosfor kazancı sağlanabilmektedir.



Şekil 11. Menemen AAT için optimizasyon sonucu

Bayındır AAT

Arıtılmış atıksuyun tarımda yeniden kullanımı için modüler tasarım sonuçları kullanılırken tarımsal su ihtiyacı dönemsel olarak ele alınmıştır. Buna göre Bayındır AAT'nin yılın Ağustos-Ocak ayı ayları arasında B-2b (Ç.Y:15 gün) ile çalıştırılıp azot ve fosfor giderimi yapıldığına; Şubat-Temmuz arasında ise B-2c (Ç.Y: 10 gün) ile çalıştırılıp azot ve fosfor gideri durdurulduğunda yıllık yaklaşık olarak 13 ton azot ve 2 ton fosfor kazancı sağlanabilmektedir.



Şekil 12 Bayındır AAT için optimizasyon sonucu

Selçuk AAT

Selçuk Atıksu Arıtma Tesisi, stabilizasyon havuzu ile arıtma yapan bir sisteme sahiptir ve modüler tasarım sonuçları stabilizasyon havuzunun deşarj kriterlerini sağladığı koşulları yansıtmaktadır. Verilen boyutlandırma ile çalışan bir stabilizasyon havuzu çıkış suyu yüksek miktarda nutrient ihtiva edecektir. Bunun da sulama amaçlı kullanılması ekonomik açıdan ciddi katkı sağlayacaktır. Yıllık yaklaşık 240 ton azot ve 33 ton da fosfor kazancı sağlanabilecektir. Bu miktar su ve değerli nutrient Selçuk AAT çevresi için gereğinden fazla geleceği durumlarda ise uygun bir taşıma sistemi ile civar bölgelere nakledilebilecektir.

14. Sonuçlar ve neriler

Proje kapsamına  atıksu arıtma tesisi için çalışmalar yürütülmüş, modüler atıksu tasarımı bu üç tesis için uygulanmış ve optimizasyon sonuçları bu ervede çalışılmıştır. Bu tesisler İzmir il sınırları içinde olup isimleri ve kapasiteleri sırasıyla Menemen AAT-21.600 m³/gün, Bayındır AAT- 6912 m³/gün ve Selçuk AAT- 10.200 m³/gün'dür.

Menemen Atıksu Arıtma tesisi için beş senaryo çalışılmıştır, bunlardan ilki (M-2a) mevcut durumu yansıtmakla birlikte, ikincisi aktif çamur sistemini temsil etmekte (M-2b ve M-2c); kalan iki prosesten ilki damlatmalı filtreyi (M-3), diğeri de stabilizasyon sistemini (M-4) temsil etmektedir. Mevcut durum daha düşük çamur yaşı ile çalıştırılan sisteme göre, daha fazla enerji (% 24 fazla) gerektirmektedir. Bunun yanı sıra M-2b ve M-2c daha düşük bir yatırım maliyeti (% 50) gerektirmektedir. Ayrıca 15 gün .Y'nın karbon ve N&P giderimi için yeterli olduğu gözlemlenmiştir. 25 gün .Y ile karşılaştırıldığında M-2b'nin % 21 daha az enerji gerektirdiği de grlmştir. Çamur yaşını 10 güne çekerek de daha fazla enerji kazancı sağlanabilir ve arıtılmış atıksuyun tarım arazilerinde kullanımı için nutrient kazanımı elde edilebilir. Damlatmalı filtre ve stabilizasyon havuzları için çıkış suyu değerleri önceki üç proseste olduğu gibi sabit tutulmuştur. Modül sonuçları göstermiştir ki aktif çamur sistemi ile karşılaştırıldığında stabilizasyon ve damlatmalı filtre oldukça az enerjiye ihtiyaç duymaktadır (79 ve 552 MWh/yıl) ve maliyet açısından da oldukça düşüktür (1.109.894 ve 1.511.234 euro). Sonuç olarak, bu arıtma sistemleri, nutrient açısından zengin bir su kaynağı sağlamakta ve tarımsal sulama için de yüksek bir potansiyel arz etmektedir. Optimizasyon sonuçlarına göre de Menemen AAT'yi yılın Ağustos-Ocak ayı ayları arasında M-2b (.Y:15 gün) ile çalıştırılıp azot ve fosfor giderimi yapıldığında; şubat-Temmuz arasında ise M-2c (.Y: 10 gün) ile çalıştırılıp azot ve fosfor gideri durdurulduğunda yıllık yaklaşık olarak 50 ton azot ve 3 ton fosfor kazancı sağlanabilmektedir.

Bayındır AAT için de bir önceki örnekten olduğu gibi beş senaryo geliştirilmiştir. İlki mevcut durumu yansıtmaktadır (B-2a). Diğeri ikisi aktif çamur sistemini temsil etmektedir. (B-2b ve B-2c). Kalan iki prosesten ilki damlatmalı filtreyi (B-3), diğeri de stabilizasyon (B-4) temsil etmektedir. Mevcut durum daha düşük çamur yaşı ile çalıştırılan sisteme göre daha fazla enerji (1147 MWh/yıl) gerektirmektedir. Ayrıca 15 gün .Y'nın karbon ve N&P giderimi için yeterli olduğu gözlemlenmiştir. 25 gün .Y ile karşılaştırıldığında B-2b'nin % 20 daha az enerji (2696 MWh/yıl) gerektirdiği de grlmştir. Bunların yanı sıra çamur yaşı 10 güne çekilerek daha fazla enerji kazancı sağlanabilir ve nutrient kazanımı elde edilebilir. Bu

sistemlerin yanı sıra Bayındır AAT için de damlatmalı filtre ve stabilizasyon havuzları değerlendirilmiştir. Her iki sistem için de çıkış suyu değerleri diğer üç prosesle aynı tutulmuştur ve hesaplamalar bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Modül sonuçları göstermiştir ki aktif çamur sistemi ile karşılaştırıldığında her iki sistemin de oldukça az enerji gereksinimi vardır (177 ve 25 MWh/yıl). Optimizasyon sonuçları da göstermektedir ki Bayındır AAT'nin yılın Ağustos-Ocak ayı ayları arasında B-2b (Ç.Y:15 gün) ile çalıştırılıp azot ve fosfor giderimi yapıldığında; Şubat-Temmuz arasında ise B-2c (Ç.Y: 10 gün) ile çalıştırılıp azot ve fosfor gideri durdurulduğunda yıllık yaklaşık olarak 13 ton azot ve 2 ton fosfor kazancı sağlanabilmektedir.

Selçuk AAT için çıkış suyu kalite değerleri mevzuatta belirtilen deşarj kalite şartlarını sağlamamaktadır. S-4'ü (mevcut durumu yansıtan senaryo)çalıştırmak bu anlamda da önem arz etmektedir, çünkü S-4 de çıkış suyunu yerine getirmek için gerekli olan stabilizasyon havuzu boyutları ve gereken maliyet hesaplanabilmektedir. İşletilen çalışmalar sırasıyla, S-2a (ÇY = 25 gün, A ve P-giderimi var) ve S-2b (ÇY = 15 gün, P ve N giderimi var)'dir. S-2a ve S-2b'de mevcut durumdan farklı olarak ön çökeltim havuzu sisteme dahil edilmiştir ve aktif çamur prosesi işletilmiştir. Aktif çamur sistemi dışında, damlatmalı filtre, S-3, çalıştırılmıştır. Mevcut sistemin çıktıları göstermektedir ki stabilizasyon havuzu, 1,5 m derinliğinde, 127,5 m³ hacminde olur ve yüzey alanı da 85 m² olursa çıkış suyu istenilen kaliteye getirilecektir ve tesis bu şartlarda çalıştırılırsa düşük bir enerji ihtiyacı ile (37 MWh/yıl) yıllık 238 ton azot ve 33 ton fosfor kazanımı sağlanabilecektir.

Bu projede arıtılmış atıksuyun tarımda yeniden kullanımına yönelik olarak modüler atıksu tasarımları oluşturulmuştur. Bu modüler atıksu tasarımları tek başına bir atıksu arıtma ünitesini ele alabildiği gibi, bütün olarak da bir atıksu arıtma tesisi tasarımında kullanılabilir ve tasarım aşamasında olan tesisler için farklı arıtma teknolojilerinin karşılaştırılmasında değerlendirilebilir.

Örnek vaka çalışmaları da göstermiştir ki, çamur yaşı azaltılan bir tesis tasarımı ile enerjide ciddi kazançlar (1000MWh ve üzeri) sağlanabilmektedir. Arıtılmış atıksuyun içinde bulunan değerli nutrientlerinin de çamur yaşının düşürülmesi ve nutrient gideriminin durdurulması ile birlikte tarımsal sulamada kullanılabilir duruma geldiği ortaya çıkmıştır. Tarımsal sulamanın ihtiyaç duyulduğu dönemlerde operasyonel parametrelerde yapılacak birkaç değişikliğin suni gübre alımında yapacağı azalma dikkate alındığında ekonomik açıdan da tarımsal sulamada arıtılmış atıksuların yeniden kullanımının ne kadar önemli olduğu açıktır.

Arıtılmış atıksuyun yanı sıra arıtılmış çamurun da nutrient bakımından önemli bir kaynak olduğu göz ardı edilmemelidir. Bu sebeple, bir sonraki çalışmada çamur arıtımına ilişkin modüler çalışmalar hazırlanabilir, saha çalışmaları ile örneklendirmeler gerçekleştirilebilir. 3 Ağustos 2010 tarihinde yayınlanan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” de çamurun içermekte olduğu ağır metal, organik bileşikler ve mikrobiyolojik parametrelere ilişkin sınır değerler verilmiş olup, biyolojik, kimyasal veya ısıl işlemlerin uygulanması ile toprakta kullanılmasının uygun olduğu belirtilmiştir. Bu yönetmelik dikkate alınarak hazırlanacak modüler çalışmalar arıtılmış çamurun tarımda yeniden kullanılmasına yönelik potansiyeli gözler önüne çıkaracaktır. Yapılacak saha çalışmaları ile de çamur uygulamaları hayata geçirilebilecektir.

İleride yapılacak gerçek bir saha çalışması ile mevcut bir tesisin çıkış suyunun ve arıtılmış çamurun tarımsal amaçla kullanılması, bahsi geçen modüler atıksu tasarımından faydalanarak gerçekleştirilebilir ve bunlara ilişkin yöntemlerin oluşturulmasında ve bir standarda getirilmesinde kullanılabilir. Bu aşamada ilgili belediyeler, bölge toprak ve su müdürlükleri vb. gibi kurumlarla işbirliği yapılarak saha çalışmalarının sonuçları bilgi havuzuna aktarılıp gelecek projelerde değerlendirilebilir.

15. KAYNAKÇA

- A. Samsunlu, V. Eroğlu, I. Öztürk, L. Akça, 1990, "Sanayimizin Çevre Kirlenmesi Açısından Değerlendirilmesi", I.T.Ü. 2.Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu '90 Bildiriler, 24-26 Eylül 1990, s. 181 -190, İstanbul.
- Arceivala S.J., 2008, Wastewater Treatment for Pollution Control and Reuse, McGraw Hill Publishing Company, New Delhi
- Aşık B. B., Katkat A. V., 2005. Gıda Sanayii Arıtma Tesisi Atıksuyu'nun Sulama Suyu Olarak Kullanım Olanığı. Uludag.Üniv.Zir.Fak.Derg., (2005) 19(2): 23-31
- Bozkurt Sefer ve Ödemiş Berkant, Geri Dönüşüm Sularının Damla Sulamada Kullanım Olanakları, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Yaşam Çevre Teknoloji, 24-27 Ekim 2007, İzmir.
- Büyükkamacı Nurdan, Su Yönetiminin Etkin Bileşeni: Yeniden Kullanım, İzmir Kent Sorunları Sempozyumu, İzmir, 2009.
- Çakmak, B. ve Aküzüm, T. 2006. Türkiye'de Tarımda Su Yönetimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Su Politikaları Kongresi. Cilt:2, s.349-360, Ankara.
- Çakmak, B., M.Y. Yıldırım ve T. Aküzüm 2008. Türkiye'de tarımsal sulama yönetimi sorunlar ve çözüm önerileri TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, Ankara,
- Çevre ve Orman Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Teknik Usuller Tebliği, 1991
- Devlet Planlama Teşkilatı, 2007. Dokuzuncu Kalkınma Planı Toprak ve Su Kaynaklarının Kullanımı ve Yönetimi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Toprak ve Su Kaynaklarının Kullanımı ve Yönetimi Özel İhtisas Komisyonu, DPT Yayın No: 2718, ÖİK: 671, Ankara.
- Devlet Su İşleri, 2009. "Su ve DSİ"
- Doğan, M., 2003. Şanlıurfa'da Karakoyun Deresi Atıksuları ile Sulanan Soğanda (Allium cepa L.) Toksik Element Birikimi Üzerine Bir Araştırma. Ekoloji Çevre Dergisi. Cilt: 12 Sayı: 48
- Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Kenti Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Sulamada Kullanılması Projesi

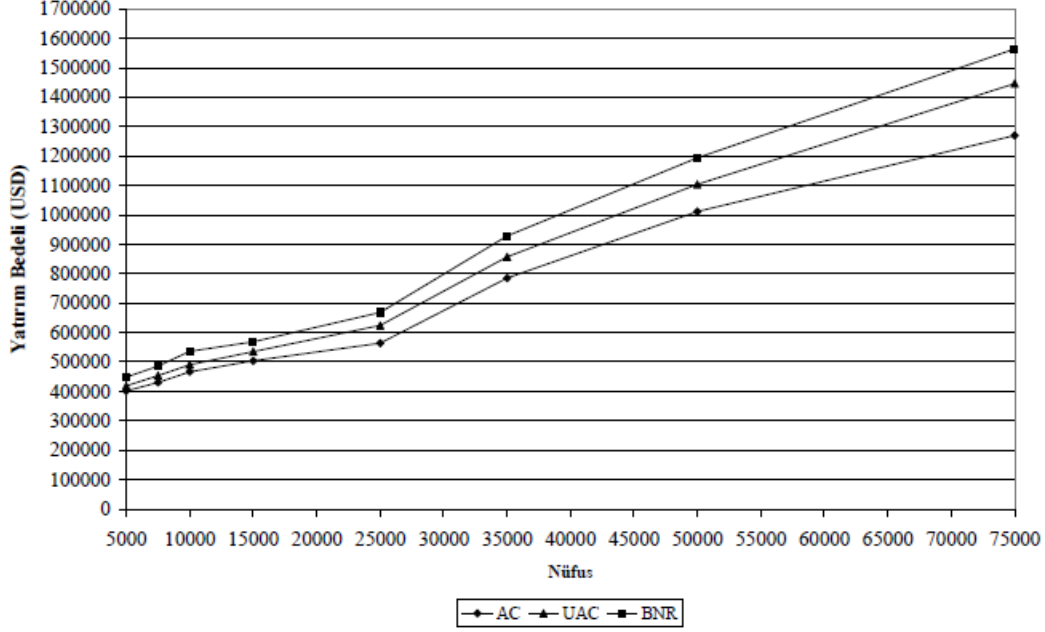
- EPA Manual, 1992. Guidelines for Water Reuse, EPA/62/R-92/004.
- Erdoğan A.O, Derin O., Sözen S., Görgün E., 2006. Türkiye’de optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı. İTÜ Dergisi, Cilt:15, Sayı:1-3, 57-69
- Erdoğan A.O, Zengin G. E, Derin O., 2005. Türkiye’de evsel atıksu oluşum miktarları ve karakterizasyonu. İTÜ Dergisi, Cilt:5, Sayı:2, 13-24
- Hanay, Ö., Hasar, H., 2007. Kayseri İli Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Tarımsal Amaçlı Kullanım Potansiyeli, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 19 (3), 333-337
- Kanber, R. 2006. Türkiye’de Su Kaynakları Potansiyeli: Kullanımı, Sorunları ve Çözüm Önerileri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Su Politikaları Kongresi. Cilt:1, s.1-12, Ankara
- Karataş B. S., Akkuzu E., Aşık Ş., 2005. İzmir Kentsel Arıtılmış Atıksularının Sulamada Kullanım Olanaklarının İncelenmesi. Ege Üniv. Ziraat. Fak. Derg., 2005, 42(3):111-122
- Kütahya Çevre Durum Raporu, 2008
- MEDAWARE, 2004, Development of Tools and Guidelines for the promotion of Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse in the Agricultural Production in the Mediterranean Countries
- Mohammad, M.J., Mazahreh, N., 2003. Changes in soil fertility parameter in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 34, 1281–1294.
- Neubert Susanne, Wastewater reuse: how “integrated” and sustainable is the strategy?, Water Policy, Vol.11, 37–53, 2009.
- Öbek E., Tatar Ş.Y., Hasar H., Arslan I. E., İpek U., 2004. Kentsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Değerlendirilmesi, F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 31-38.
- Özsoy G., 2006, An Investigation of Agricultural Use Potential of Wastewater Sludges in Turkey with Respect to Heavy Metals and Pathogens, Çevre Mühendisliği, ODTÜ
- Pescod, M.B. 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Irrigation and Drainage Paper, No. 47, FAO, Rome. 125 p.

- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Çevre Bakanlığı. 20747 Sayılı Resmi Gazete, 1991.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Türkiye Çevre Durum Raporu, Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2007.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., 1994. Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse, 3th Edition, MetCalf & Eddy Inc., ISBN : 0-07-100824-1.
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Çevre Bakanlığı. 24609 Sayılı Resmi Gazete, 2001.
- Toprak, H., 2000. (Genişletilmiş 3.Baskı) : Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları, Cilt-1 ve Cilt-2, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, No.240-241, ISBN : 975-441-148-4 ve 975-441-149-2, İzmir.
- Toze Simon, Reuse of effluent water—benefits and risks, Agricultural Water Management, Vol.80, 147–159, 2006.
- TUİK Haber Bülteni, Sayı:32, 25 Şubat 2010, İmalat Sanayi Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2008.
- TUİK Haber Bülteni, Sayı:52, 30 Mart 2010, Organize Sanayi Bölgeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2008.
- Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği (TUSİAD) ,2008. Türkiye’ de Su Yönetimi: Sorunlar ve Öneriler, Eylül.
- Türkiye İstatistik Kurumu, Genel Tarım Sayımı Köy Genel Bilgileri, Ankara 2004
- Üstün E.G. ve Solmaz S. K. A. 2007.Bir Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinden Çıkan Atıksuların Tarımsal Amaçlı Sulama Suyu Olarak Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Ekoloji Dergisi. 15, 62, 55-61

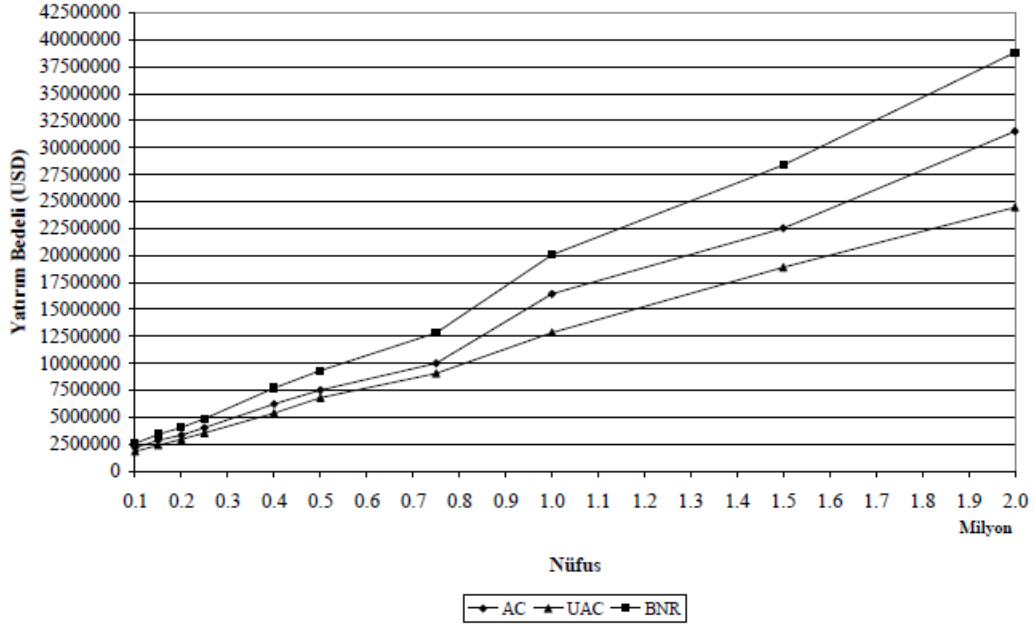
EK-1

Modüler Atıksu Arıtma Tesisi Tasarımı Kalibrasyon

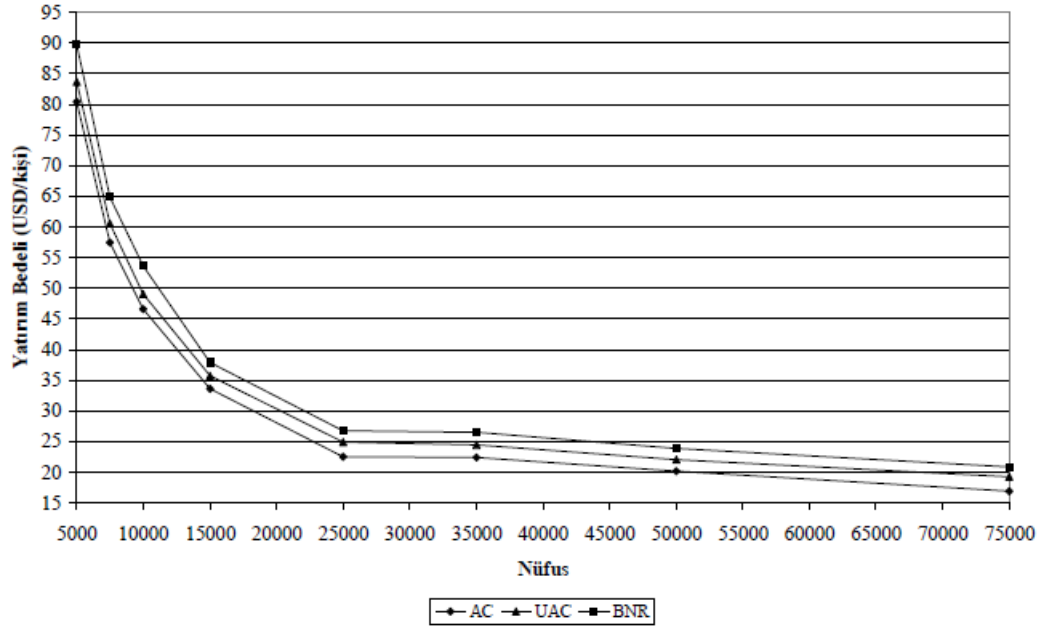
Erdoğan ve ark. (2006)



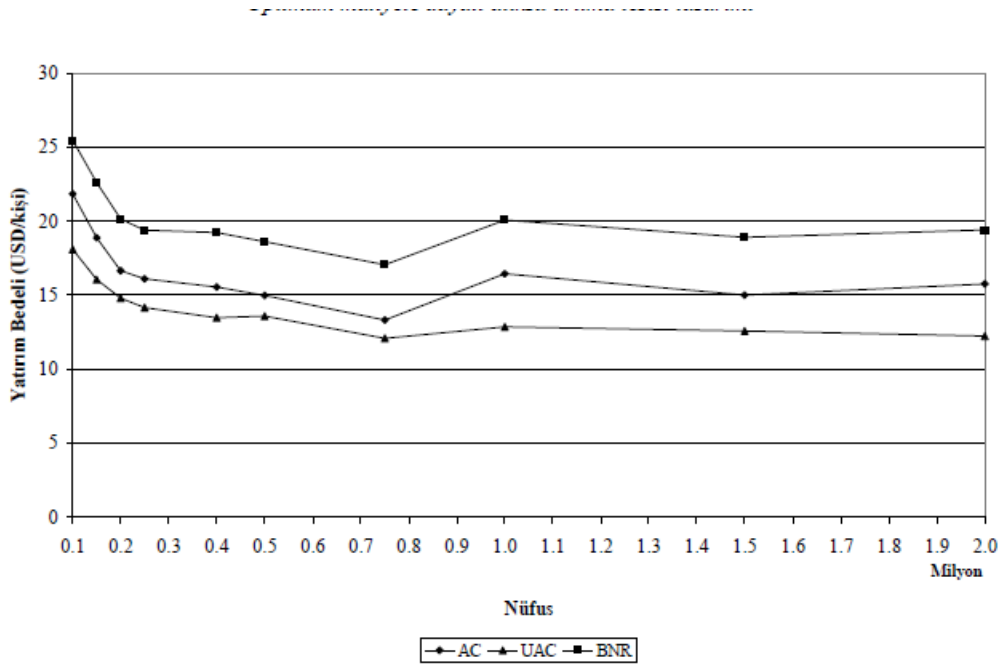
Şekil 1. 5 000-75 000 nüfuslu yerleşimlerin toplam yatırım bedeli



Şekil 2. 100 000-2 000 000 nüfuslu yerleşimlerin toplam yatırım bedeli



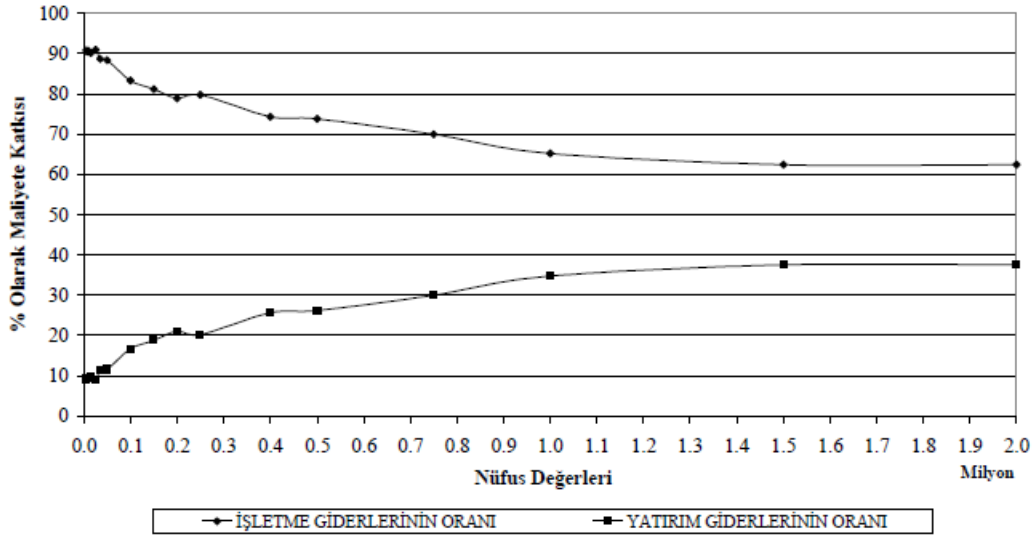
Şekil 3. Toplam yatırımın nüfusa göre dağılımı 5 000-75 000



Şekil 4. Toplam yatırımın nüfusa göre dağılımı 100 000-2 000 000

Tablo 4. 30 Yıllık işletmede önerilen minimum tarife değerlerinin ortalaması

Nüfus	Aktif Çamur	Uzun Havalandırmalı	Biyolojik Azot
Kişi	USD/ m ³	Aktif Çamur	Giderimi
		USD/ m ³	USD/ m ³
5 000	1.9025	1.9550	1.9654
7 500	1.3008	1.3417	1.3581
10 000	0.9539	0.9967	1.0044
15 000	0.6648	0.6957	0.7103
25 000	0.4964	0.5270	0.5383
35 000	0.3779	0.4016	0.4150
50 000	0.3298	0.3542	0.3659
75 000	0.2496	0.3221	0.3168
100 000	0.2543	0.2935	0.2951
150 000	0.1722	0.2143	0.2074
200 000	0.1459	0.1939	0.1821
250 000	0.1443	0.1914	0.1780
400 000	0.1131	0.1678	0.1497
500 000	0.1077	0.1652	0.1446
750 000	0.0976	0.1613	0.1390
1 000 000	0.0964	0.1533	0.1370
1 500 000	0.0878	0.1469	0.1255
2 000 000	0.0993	0.1642	0.1412



Şekil 7. AC Birim arıtma maliyeti üzerinde ilk yatırım ve işletmenin etkisi

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 108Y242
Proje Başlığı: Agricultural reuse of water and nutrients from wastewater treatment in Turkey
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof. Dr. Göksel N. Demirer, Araş. Gör. Ebru Sarıkaya, Merve Böğürücü, Emrah Alkaya, İbrahim Akbayır
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, Üniversiteler Mah. Dumlupınar Blv.No:1 06800 Çankaya Ankara/TÜRKİYE
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK ve BMBF (Almanya)
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.02.2009-01.02.2012
Öz (en çok 70 kelime) Ülkemizde artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için endüstriyel, kentsel ve tarımsal faaliyetler hızla artmakta ve bu faaliyetler sonucunda ortaya çıkan kirleticiler doğal su kaynaklarını kirletmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanılması önem kazanmaktadır. Sosyal faktörlerin yanı sıra ekonomik ve çevresel faktörler de su kaynakları yönetimini, yeni bir yaklaşım olan atıksuların yeniden kullanılmasına yönlendirmektedir. Bu projenin amacı mevcut su ve nutrient kaynaklarını tarımsal faaliyetlerde kullanmak için atıksuların geri kullanım teknolojilerinin uygulanabilirliğini ve potansiyelini belirlemektir.
Anahtar Kelimeler: atıksu, tarımsal sulama, yeniden kullanım, modüler atıksu arıtma tesisi tasarımı
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/>
Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: Esemen T., Klein D., Dockhorn T., Göcmez S., Sarıkaya E., Demirer G., 2011. "Agricultural water reclamation – Modular design of adapted wastewater treatment facilities for Turkey". IWA. 25-29 May, 2011. Barcelona. Spain. Sarıkaya E., Demirer G., Göcmez S., Esemen T., Klein D., Dockhorn T., 2011. "Türkiye'de Arıtılmış

Atıksu ve Nutrientlerin Tarımda Yeniden Kullanılması". Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi. 05-08 Ekim 2011, Samsun, Türkiye.

Sarıkaya E., Demırer G., Göçmez S., Esemen T., Klein D., Dockhorn T., 2012. Agricultural Reuse of Water and Nutrients from Wastewater Treatment Facilities in Turkey. IWA- Wastewater Purification and Reuse Conference. 28-30 March. 2012. Heraklion, Crete, Greece. Sözlü sunum olarak kabul edildi.