
GRİ SUYUN ARITIMI VE YENİDEN KULLANIMI

*Gökhan Ekrem ÜSTÜN **
*Ayşenur TIRPANCI **

Özet: Çalışmanın amacı, gri su arıtımının ve yeniden kullanılması konusunun incelenmesidir. Bu amaç için daha önce yapılmış literatür çalışmaları araştırılıp, yorumlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında gri suyun tanımlanması ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristiği açıklanmıştır. İkinci kısımda, gri suyun arıtım yöntemleri ve yeniden kullanımı incelenmiştir. Üçüncü kısımda gri suların arıtımında kullanılan teknolojiler tek tek açıklanmıştır. Son olarak gri su arıtımı ve yeniden kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalardan ve maliyetlerden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: gri su, yeniden kullanım, arıtma teknolojileri

Greywater Treatment and Reuse

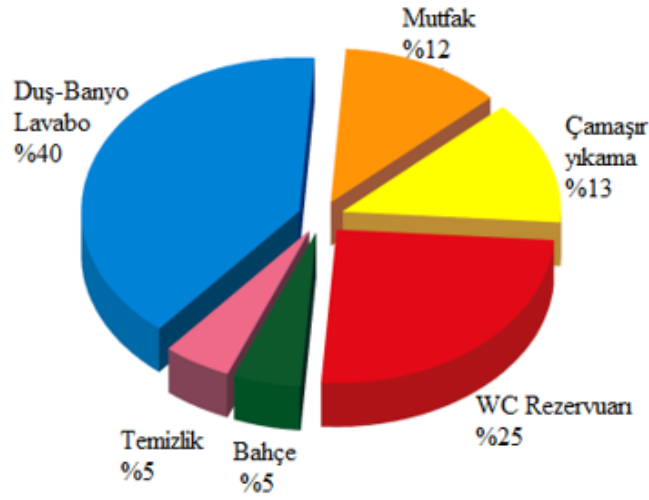
Abstract: The aim of this study, to examine greywater treatment and reuse. For this aim, previous literature studies been research on and interpreted. Project began with study of physical, chemical and biological characteristics of the greywater. At the second part; greywater treatment and reuse were examined. At the third part; the technologies used for the methods treatment of greywater were explained. Then from costs and previous studies about greywater reuse were mentioned.

Keywords: grey water, reuse, treatment technologies

1. GRİ SU

Konutlardan ve okul, hastane gibi küçük işletmelerden kaynaklanan, insanların günlük yaşam faaliyetlerindeki ihtiyaç ve kullanımları nedeniyle oluşan atık sular evsel atık sular olarak tanımlanmaktadır. Evsel atık sular gri su ve siyah su olmak üzere iki akımda değerlendirilmektedir. Genellikle duştan, banyodan, lavabodan, çamaşır ve bulaşık makinelerinden gelen sular gri su olarak tanımlanırken geriye kalan tuvalet suları ise siyah su olarak tanımlanmaktadır. Gri sular az kirli gri su ve çok kirli gri sular olarak iki ayrı şekilde değerlendirilebilmektedir. Az kirli gri sular duş, banyon ve lavabodan gelen atık suları, çok kirli gri sular ise mutfak ve çamaşır makinesinden gelen atık suları içermektedir. Gri su %75'lik pay ile hacimsel olarak evsel atık suyun en büyük yüzdesini oluşturmaktadır (Karahana, 2011) (Şekil 1).

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Görükle, 16059 Bursa.
İletişim Yazarı: G.E. Üstün (gokhaneu@uludag.edu.tr)



Şekil 1:
Günlük Evsel Su Tüketim Oranları (Karahan, 2011)

2.1. Gri Suyun Karakteristiği

Gri su, evlerde kullanılan şebeke suyunun kimyasallarla kirlenmesiyle oluşmaktadır. Gri su içeriği yaşam standardına, sosyal ve kültürel alışkanlıklara, evde yaşayan insan sayısına ve evde kullanılan kimyasallara bağlı olarak değişmektedir. Suda kirliliğe neden olan kirletici maddeler; oluşan kirlilik, kullanılan kişisel hijyen ürünlerinin, deterjanların, kirli kıyafetlerin ve vücut kirinin bir sonucudur (Tablo 1). Duş ve lavabodan gelen atık sular düşük konsantrasyonda bakteri ve kimyasal içerirken mutfak lavabosundan gelen atık suların yüksek konsantrasyonda bakteri, katı madde ve kimyasal ve yağ içerdiği Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 1. Gri Suyun Kaynağına Göre Oluşan Kirletici Maddeler (Allen ve diğ.,2010)

Gri Su Kaynağı	Kirletici Maddeler
Çamaşır Makinesi	Askıda katı madde, organik madde, yağ ve gres, tuzluluk, sodyum, nitrat, fosfor(deterjandan), çamaşır suyu, pH
Bulaşık Makinesi	Askıda katı madde, organik madde, yağ ve gres, artan tuzluluk, pH, bakteri ve deterjan
Küvet-Duş	Bakteri, saç, askıda katı madde, organik madde, yağ ve gres, sabun, şampuan kalıntıları
Lavabo (Mutfak dâhil)	Bakteri, askıda katı madde, organik madde, yağ ve gres, sabun, şampuan kalıntıları

Tablo 2. Gri su bileşenleri (Bell ve diğ. 2010)

Parametre	Ticari	Eysel (mutfak lavabosu dahil)				Eysel (mutfak lavabosu dahil)				Az kirli gri su	Çok kirli gri su
		Eriksson, 2003	Rose ve ark., 1991	Casanova ve ark., 2001	Siegrist, 1980	Travis, 2008*	Hueigas, 2009*	Jong, 2010			
Referans	Veneman, 2002										
BOİ ₅ , mg/L	22-360	26-130		65	145-324	1042		23.5-392.4	59-424	48 - 890	
KOİ, mg/L		77-240				2180		119-3740	100 - 645	361 - 1815	
TSS, mg/L	10-200	7-207	35		100-204	1250		72,5-4250	30-303	35-625	
N _{toplam} , mg/L		3.6-6.4	1,7			22		21.9-43.5			
TKN, mg/L	3.1-32.7				5.9-18.4						
NO ₃ -N, mg/L	<1-17.5	<0.02-0.26	0,98					0.9-5.3			
Orto-P, mg/L	<0.5-3.7										
P _{toplam} , mg/L		0.28-0.78			2.8-7.8	3,8		2.9-14.5			
pH	5.3-10.8	7.6-8.6	6,5	7,5	7.3-8.7	5,7		7.02-7.86	6,4-8,1	5,2-10,0	
Yağ ve gres						195					
Toplam Koliform, CFU/100ml	2×10 ² - >10 ⁵	6×10 ³ - 3.2×10 ⁵			2.4×10 ⁷ - 3.8×10 ⁸						
Bulamlık (NTU)									23-240	103-148	
Amonyak mg/L									<0.1-15.0	<0.1-4.6	
TOC mg/L									40-120	84-582	
Toplam koliform 1/ml									10 ¹ - 10 ⁵	10 ² - 10 ⁶	
Toplam E-koli 1/ml									10 ¹ - 10 ⁵	10 ² - 10 ⁶	
Fekal Koliform, CFU/100ml	ND - 3.5×10 ⁴	1.8×10 ⁴ - 8×10 ⁶	5.6×10 ⁵	2.1×10 ⁷ - 2.5×10 ⁷							
*Sadece mutfak lavabosu											

2.1.1. Gri Suyun Fiziksel Karakteristiği

Gri suyun fiziksel parametreleri arasında sıcaklık, bulanıklık, renk, gıda parçacıklarından kaynaklı askıda katı madde, saç, iplik ve elektriksel iletkenlik sayılabilmektedir. Elektriksel iletkenlik ve bulanıklık aralığı yüksek yüklü gri suda sırasıyla; 190-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 19-444 NTU, düşük yüklü gri suda sırasıyla; 14-1241 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 12,6-375 NTU değerleri ölçülmüştür (Boyjoo ve diğ., 2013).

Sıcaklık; gri suyun sıcaklığı çoğu zaman su kaynağına göre daha yüksek olup 18-30 $^{\circ}\text{C}$ aralığına değişmektedir. Yemek yapımı ve kişisel hijyen için kullanılan ılık sulardan kaynaklandığı düşünülen bu sıcaklık değerleri biyolojik arıtma proseslerini olumsuz yönde etkilememektedir (Morel ve diğ., 2006). Diğer yandan daha yüksek sıcaklıklar bakteriyel büyüme de artışa ve depolama tanklarında çökelmelere neden olabilmektedir.

Askıda Katı Madde (AKM); Banyondan, çamaşırhaneden ve mutfaktan gelen yemek artıkları, yağ ve katı parçacıklar gri su da yüksek katı madde içeriğine yol açmaktadır. Bu parçacıklar ve kolloidler su da bulanıklığına neden olduğu gibi arıtma kullanılan filtre ve borularda da tıkanmalara neden olabilmektedir. AKM konsantrasyonu yüksek yüklü gri suda su da 29-505 mg/L aralığında, düşük yüklü gri suda ise 12-315 mg/L aralığında değişmektedir (Boyjoo ve diğ., 2013).

2.1.2. Gri Suyun Kimyasal Karakteristiği

Gri suyun kimyasal parametreleri arasında çözünmüş organik maddeler (biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam organik karbon (TOK)), nutrientler (azot ve fosfor), pH, alkalinite, ağır metal içeriği, tuzluluk, yağ ve gres, yüzey aktif maddeler ve diğer evsel kimyasal maddeler sayılabilmektedir

pH ve alkalinite; pH değeri bir sıvının asit ya da baz olup olmadığını gösterir. Genellikle yüksek yüklü gri suyun pH değeri düşük yüklü gri suyun pH değerinden daha yüksek olmaktadır. pH değeri yüksek yüklü gri suda; 6,35-10 düşük yüklü gri suda; 6,4-8,1 aralığındadır (Boyjoo ve diğ., 2013). Gri suyun genellikle alkalinite değeri 20-340 mg/L aralığında değişmektedir (Morel ve diğ., 2006). En yüksek alkalinite değerleri mutfak ve çamaşırhanelerden gelen gri sularda gözlenmektedir.

BOİ, KOİ; BOİ ve KOİ konsantrasyonları kullanılan su miktarına ve evde tüketilen ürünlerin (özellikle deterjan, sabun ve yağ) miktarına bağlı olarak değişmektedir. BOİ ve KOİ_{çözünmüş} değerleri yüksek yüklü gri suda; 44-1056 ve 50-2568 mg/L aralığında, düşük yüklü gri suda; 23-300 ve 23-633 mg/L aralığında değişmektedir (Boyjoo ve diğ., 2013).

Besin maddeleri (Azot, Fosfor); Gri su normalde tuvalet atık suyu ile karşılaştırıldığında daha az nutrient içermektedir. Azot, fosfor gibi besin maddeleri önemli parametrelerdir. Özellikle yüksek fosfor içeren gri su ötrofikasyon problemine yol açmaktadır. Bu durum oksijene ihtiyaç duymayan canlıların oluşmasına sebep olmaktadır. Fosfatlar, sularda gübre görevi görüp, bitki, yosun ve alglerin aşırı çoğalmasına ve gri suyun istenmeyen kokular yaymasına sebep olmaktadır. Gri suda azot seviyesi oldukça düşüktür. Mutfaktan gelen gri su, gri sudaki azotun ana kaynağıdır. Gri sudaki azot; amonyaktan, şampuandan, temizlik ürünlerinden ve diğer evsel ürünlerden kaynaklanmaktadır. Fosfor içeren deterjanların yasaklanmadığı ülkelerde çamaşır ve bulaşık makinelerinde kullanılan deterjanlar gri suda ki fosforun ana kaynağıdır.

Fosfor içermeyen deterjanın kullanıldığı yerlerde ortalama fosfor konsantrasyonu 4-14 mg/L aralığında değişmektedir. Tayland gibi fosfor içeren deterjanların kullanıldığı ülkelerde ise fosfor konsantrasyonu 45-280 mg/L aralığında değişmektedir (Moral ve diğ., 2006).

Yağ ve Gres; Gri sudaki yağ ve gresin kaynağını mutfak lavabosu ve bulaşık makinesinden gelen gri sular oluşturmaktadır. Yağ ve gres konsantrasyonları sırasıyla 37 -78 mg/L ve 8-35 mg/L aralığında değişmektedir (Moral ve diğ., 2006). Banyo ve çamaşırhanelerde de önemli yağ ve gres konsantrasyonları gözlenebilmektedir.

Yüzeysel Aktif Maddeleri ve Diğer Evsel Kimyasallar; Yüzeysel aktif maddelerinin temel bileşeni evsel temizlik ürünleridir. Çamaşır ve bulaşık makinelerinde kullanılan deterjanlar gri sudaki yüzeysel aktif maddelerin ana kaynağını oluşturmaktadır. Diğer kaynaklarda evsel temizlik ürünleri ile kişisel temizlik ürünleridir. Gri sudaki mevcut yüzeysel aktif maddelerin konsantrasyonları kullanılan deterjan miktarına bağlı olarak değişmektedir.

3. GRİ SU ARITIMI VE YENİDEN KULLANIMI

3.1. Gri Suyun Doğrudan Yeniden Kullanımı

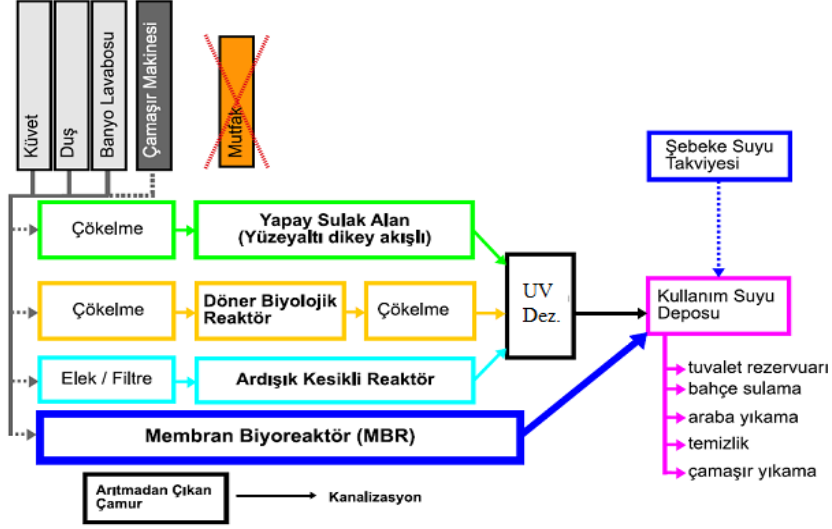
Gri suyun doğrudan yeniden kullanımı yaygın bir uygulamadır. Banyodan çıkan gri su yüzyıllardır bahçe sulama işlerinde doğrudan kullanılmaktadır. Gri su Avustralya, Suriye ve Güney Afrika'da bahçe ve peyzaj sulamada, İsrail de ise meyve ağaçlarını sulamada doğrudan kullanılmaktadır (Boyjoo ve diğ., 2013). Buna rağmen gri suyu kullanmadan önce arıtılması şiddetle tavsiye edilmektedir. Gri suyun doğrudan uzun vadeli sulama amaçlı kullanımı, suda tuzların, yüzeysel aktif maddelerin, yağ ve gresin birikmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda bitki sağlığını ve toprağın yapısını olumsuz yönde etkilemekte olup sonucunda yer altı sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Gri suyun arıtılmadan doğrudan rezervuarlarda kullanımı ise klozet üzerinde leke bırakmaktadır. Bu durum tüketicileri daha çok miktarda tuvalet temizleyicisi kullanması konusunda teşvik etmektedir.

Gri su herhangi bir arıtma işlemine tabi tutulmadan doğrudan kullanılması durumunda gri suyun depolanma süresi uzun sürmemelidir. Örneğin banyodan çıkan gri su soğuduktan sonra doğrudan bahçe sulamak amaçlı doğrudan kullanılabilir. Gri suyun doğrudan kullanımı ile su tasarrufu sağlandığı gibi gri suyu depolama sorunları da ortadan kalkmaktadır. Gri suyun doğrudan kullanımı bazı ülkelerde (Avustralya, Amerika, Kaliforniya) gri su aktarım sistemi (Grey Water Diversion Device - GDD) olarak geçmektedir. Bu sistemin iki uygulaması vardır. İlk uygulamada banyodaki lavabo ve çamaşır makinesinden çıkan gri suların atık su hattına bağlanmadan doğrudan rezervuarlarda kullanımı sağlanmaktadır.

İkinci uygulama ise gri suyu doğrudan bahçe sulama kullanılmaktadır. Bu uygulamada genellikle ek olarak sıhhi tesisat ve sulama borusuna gerek duyulurken aynı zamanda suyun dış mekana aktarımı içinde elektrikli pompa gerekebilmektedir ama bazı basit sistemlerde suyun dış mekana aktarımı elektrikli pompa yerine yerçekimi kuvveti ile sağlanmaktadır. Bu her iki uygulamada düşük maliyetli olup, bu uygulamalarda ek bir araziye gerek duyulmamaktadır.

3.2. Gri Suyun Arıtıldıktan Sonra Yeniden Kullanımı

Gri su arıtımının da suyun karakteristiğine bağlı olarak istenilen standartlara ulaşmak için fiziksel, kimyasal ya da biyolojik arıtma teknolojileri kullanılmaktadır. Çöktürme ve filtrasyon işlemleri fiziksel arıtma teknolojisi olarak kullanılmaktadır. Filtrasyon işlemi genellikle biyolojik ya da kimyasal arıtma ünitelerinden önce ön arıtım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Filtrasyon işleminde ön arıtım olarak kum filtre, kaba filtre ya da membran filtre kullanılarak AKM ile bazı organik maddeler ve patojenler giderilebilmektedir. Fiziksel arıtma teknolojileriyle nutrient giderimi sağlanamaz. Bu yüzden bazı çalışmalarda hem partikül hem de nutrient gideriminin sağlandığı kimyasal arıtma teknolojileri kullanılmaktadır. Kimyasal arıtma teknolojileri olarak elektrokoagülasyon, fotokatalitik oksidasyon, iyon değiştiriciler ve granüler aktif karbon uygulanmaktadır. Ancak kimyasal kullanımını engellemek için biyolojik arıtma teknolojileri ile de gri su arıtımı sağlamak mümkündür. Gri suyun biyolojik arıtımında yapay sulak alan (CW), döner biyolojik reaktör (RBC), ardışık kesikli reaktör (SBR), membran biyoreaktörü (MBR) teknolojileri kullanılmaktadır. Membran biyoreaktörü dışında ki diğer biyolojik proseslerde gri su geri kazanım standartlarını sağlayabilmek için ön arıtım olarak filtrasyon ya çöktürme işlemi, son arıtım olarak UV ya klor ile dezenfeksiyon işlemi uygulanmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2:
Biyolojik Arıtma Teknolojilerinin Karşılaştırılması

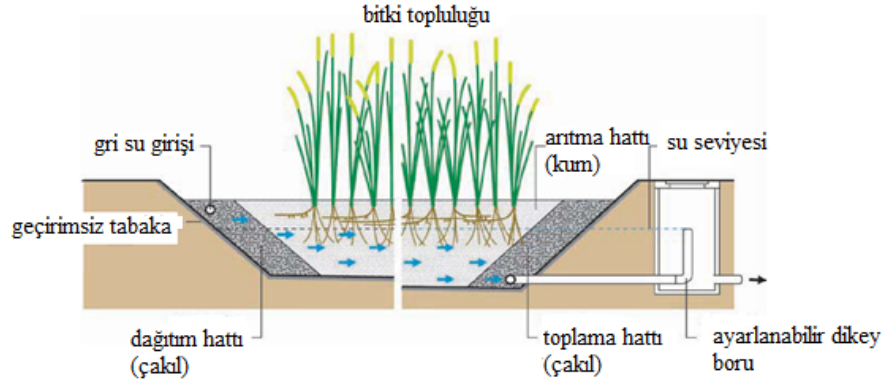
Banyo, duş ve lavabodan gelen sular, mutfak ve bulaşık makinesinden gelen sulara göre daha az kirli olduklarından geri kazanım teknolojilerinde en çok kullanılan gri sulardır. Gri suyun yeniden kullanımı için önemli gri su arıtma teknolojileri aşağıdaki gibi sayılabilir:

- Yapay Sulak Alan (CW)
- Döner Biyolojik Reaktörler (RBC)
- Ardışık Kesikli Reaktörler (SBR)
- Membran Biyoreaktörler (MBR)
- Elektrokoagülasyon (EC)
- Fotokatalitik Oksidasyon

3.2.1. Yapay Sulak Alan (CW)

İki çeşit yapay sulak alan arıtma sistemi vardır. Bunlar; yatay akışlı yapay sulak alan ve dikey akışlı yapay sulak alanıdır.

3.2.1.1. Yatay Akışlı Yapay Sulak Alan



Şekil 3:
Yatay Akışlı Yapay Sulak Alan

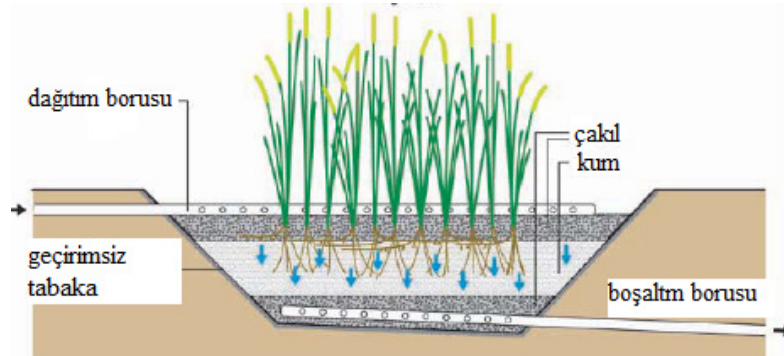
Yatay akışlı yapay sulak alan kum ve çakıl dolu geçirimsiz bir yataktan oluşmaktadır (Şekil 3). Ön arıtması yapılmış olan gri su, sistemde kesintisiz ve yatay olarak dolgu maddesi ve bitki köklerinin arasından geçerek akmaktadır. Bitkiler, mikroorganizmaların gelişimleri ve köklerine oksijen transferi için uygun ortam koşullarını sağlamaktadır. Filtrasyon ve mikrobiyal parçalanma (aerobik, anaerobik ve anoksik şartlarda) ile organik madde ve AKM giderimi sağlanmaktadır ve sistemde elde edilen giderim verimleri Tablo 3'te verilmektedir. Sistemde erozyonu önlemek için filtrenin üst yüzeyi yatayken alt yüzeyinde gri suyun sisteme girdiği noktadan çıktığı noktaya kadar tercihen % 0,5-1 eğim mevcuttur. Dolgu malzemesinin tane boyutu, sistem içerisinde tıkanma olmaksızın gri su akışının kesintisiz devam etmesine izin verecek şekilde olmalıdır. Gri suyun sisteme girdiği ve sistemden çıktığı bölge bulunan kaba tanecikler gri suyun sistemde düzgün olarak dağılmasını sağlamakla görevlidirler. Sistemdeki üst tabakanın dikkate alınması gereken özellikleri; toprağın organik madde içeriği, dokusu, pH'ı ve elektriksel iletkenliğidir. Toprağın pH özelliği nutrientlerin ve ağır metallerin kullanılabilirliğini ve tutulmalarını etkilemektedir. Toprak pH'ı 6,5- 8,5 arasında değişiklik göstermelidir. Mikrobiyal faaliyetler için toprağın elektrik iletkenliği 4 dS/m'den az olmalıdır. Toprağın düşük konsantrasyonda nutrient içermesi mikroorganizmaların büyüme ve gelişmesini sınırlandırabilir (Morel ve diğ., 2006).

Yatay akışlı yapay sulak alan sisteminde hidrolik alıkonma süresi 3-7 gün arasında, hidrolik yük oranı 5-8 cm/gün arasında, organik yük oranı da 6-10 gr BOİ/m²/gün arasında değişmektedir. Sistemde oksijen varlığında aerobik, oksijen yokluğunda anaerobik ve nitrat kullanımı sırasında anoksik prosesler gözlenmektedir. Organik madde ve AKM giderimi yatay akışlı yapay sulak alanlar oldukça etkilidir. Yatay akışlı yapay sulak alan, gri suyun arıtılarak sulama amaçlı yeniden kullanılması hedeflenen yerlerde ya da gri suyun doğrudan yüzeysel sulara deşarjı yapılan yerlerde gri suyun gerekli kriterleri sağlaması için sıklıkla kullanılan bir sistemdir.

Tablo 3. Yatay Akışlı Yapay Sulak Alanların Giderim Verimleri (Morel ve diğ., 2006)

Parametre	Giderim Verimi
BOİ	% 80-90
AKM	% 80-95
Toplam Azot	% 15-40
Toplam Fosfor	% 30-45
Fekal Koliform	≤2-3log
Lineer Alkil Benzen Sülfonat (LAS)	< %90

3.2.1.2. Dikey Akışlı Yapay Sulak Alan



Şekil 4:
Dikey Akışlı Yapay Sulak Alan

Dikey akışlı yapay sulak alan sisteminde, ön arıtılması yapılmış gri su sistemin yüzeyine pompa yardımı ile kesintili olarak gönderilir (Şekil 4). Dolgu malzemesi ile kaplı yataktan aşağı doğru akan gri su bu sırada hem filtrasyona uğrar hem de sistemin yüzeyinde ve bitki köklerinde yoğun mikroorganizma popülasyonu ile teması sağlanır. Son olarak tabana gelen su boşaltım borusuna toplanarak sistemi terk eder. Dikey akışlı yapay sulak alanların dizaynı hidrolik yük ve organik yüke bağlıdır ve bu sistemde hidrolik yük oranı 10-20 cm/gün organik yük oranı ise 10-20 gr BOİ/gün arasında değişmektedir. Dikey akışlı yapay sulak alanlarda tipik filtre derinliği ise 0,8-1,2 m arasında değişmektedir. Bu sistemden elde edilen giderim verimleri Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Dikey Akışlı Yapay Sulak Alanların Giderim Verimleri (Morel ve diğ., 2006)

Parametre	Giderim Verimi
BOİ	% 75-95
AKM	% 65-85
Toplam Azot	< 60%
Toplam Fosfor	< %35
Fekal Koliform	≤ 2-3log

Dikey akışlı yapay sulak alan sisteminde BOİ, KOİ ve patojen giderim verimi yatay akışlı yapay sulak alan sisteminde göre daha yüksektir. Ancak AKM giderimi verimi ise yatay akışlı sulak alan sisteminde daha yüksektir (Morel ve diğ., 2006).

3.2.2. Döner Biyolojik Disk (RBC)

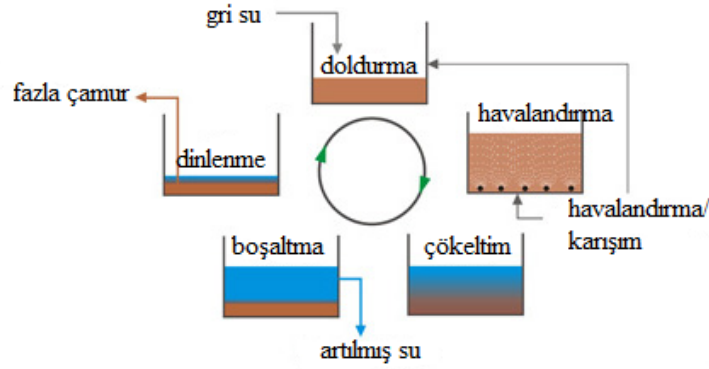
Birincil arıtma sonrası atık su arıtımı için kullanılan döner biyolojik diskler aynı zamanda gri su arıtımı ve geri kazanımı içinde kullanılmaktadır. Gri su arıtımı için çok kademeli döner biyolojik diskler kullanılmaktadır. Bu döner diskler az yer kaplamaktadır. Bu sistemler plastikten yapılan belli kalınlıklarda disklerden oluşmaktadır. Diskler bir şaft üzerine birbirine paralel olarak yerleştirilir ve şaft bir motor yardımı ile dönmektedir (Şekil 5). Diskler, uzun ve sığ tanklara konan gri su içinde % 40-50 oranında batık şekilde döndürülmektedir. Gri sudaki organik bileşikler, mikroorganizmaların disk üzerinde oluşturduğu biyofilm içine tutularak biyolojik reaksiyon meydana gelmektedir. Mikroorganizmalar oksijen gereksinimini diskin dönüşü sırasında hava ile temas ederek sağlamaktadırlar. Gri su arıtımında genellikle döner biyolojik disklerden sonra çökeltim tankı kullanılır ve çökeltim tankını da her zaman dezenfeksiyon ünitesi takip etmektedir.



Şekil 5:
Döner Biyolojik Disk

3.2.3. Ardışık Kesikli Reaktörler (SBR)

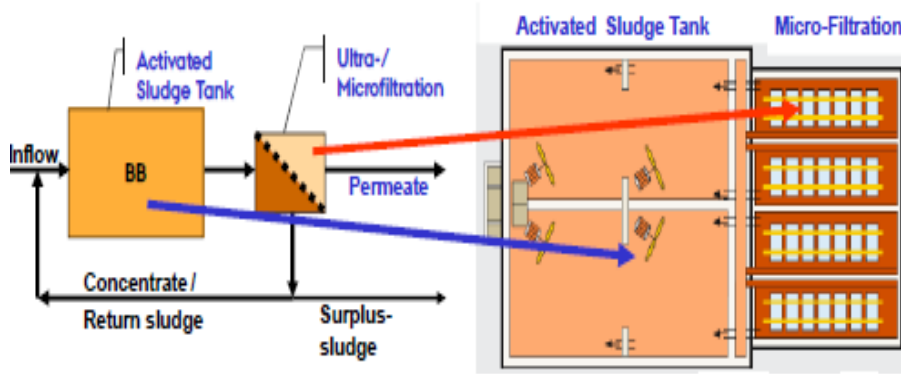
Ardışık kesikli reaktörler gri su arıtımında da kullanılmaktadır. Ardışık kesikli reaktörlerin avantajı gri suda ki organik madde, azot ve fosfor problemlerini aynı tankta çözüme ulaştırıyor olmasıdır. SBR giriş suyu özelliklerini hızlı bir şekilde düzenler bu yüzden ardışık kesikli reaktörler gri su arıtımında özellikle nutrientlerin yerinde giderimi için tercih edilen bir teknolojidir. Ardışık kesikli reaktör arıtma sistemi doldurma, havalandırma, çökme, boşaltma ve dinlenme fazlarının aynı tank içerisinde sırayla gerçekleştiği doldur-boşalt prensibine dayanmaktadır. Ardışık kesikli reaktör sistemi gri su miktarına bağlı olarak tek bir tank ve ya birbirine paralel olarak çalışan birkaç tanktan oluşmaktadır. Ardışık kesikli reaktör sisteminin doldurma evresinde gri suyun reaktöre beslenmesi sağlanır ve reaktörler bir karıştırıcı ile karıştırılır, reaksiyon fazında hava pompası ve difüzör yardımı ile gri suyun havalandırılması sağlanmaktadır. Çökeltme, boşaltma ve dinlendirme fazlarında karıştırma ve havalandırma uygulanmamaktadır (Şekil 6).



Şekil 6:
Ardışık Kesikli Reaktörler

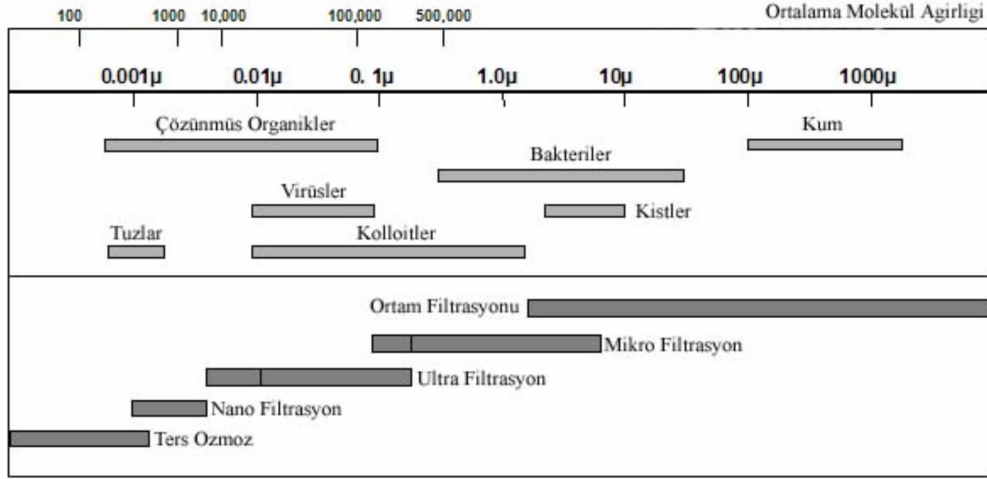
3.2.4. Membran Biyoreaktörler (MBR)

Membran biyoreaktörler gelişmiş aktif çamur yöntemleri olarak nitelendirilmektedir. Membran biyoreaktör arıtma sistemi, membran ultrafiltre ve aerobik biyolojik arıtma reaktörünün bileşiminden oluşmaktadır. Sistemde biyolojik arıtmadan sonra, çöktürme havuzu yerine ultrafiltrasyon (UF) veya mikrofiltrasyon (MF) membranları kullanılarak, katı/sıvı fazı birbirinden ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7:
Membran Biyoreaktörlerin Çalışma Prensibi

Sistemin çalışma prensibi kısaca şöyledir, ön arıtma deposuna alınan gri su biyolojik olarak arıtıldıktan sonra 0,10 – 0,15 bar basınç altında membran zarına doğru ilerler ve membran filtrelerden süzülerek partiküllerden, bakterilerden ve virüslerden arındırılmaktadır. Membran biyoreaktör arıtma sisteminden elde edilen suyun kalitesi diğer sistemlere göre çok daha yüksektir. Membran proseslerinin çalışma aralığı Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 8:
Membran Proseslerinin Çalışma Aralığı

Ayrıca Almanya’da ispatlanmış teknolojisi ile MicroClear® filtreler gri su geri kazanım sistemlerinde öncelikli tercih edilen filtrelerdir. Şu ana kadar dünyanın çeşitli yerlerinde 1000’in üzerinde sistem MicroClear® filtreler ile gri suyu bakteri ve virüslerden arındırarak geri kazanımını sağlamaktadır. Geri kazanılan gri su AB yönetmeliklerine göre yıkanma suyu niteliğindedir (Tablo 5). Sistem yeni olmasına rağmen şu ana kadar iki tane ödül kazanmıştır.

Tablo 5. Arıtılmış Gri Suyu Kalitesi (Anonim, 2013)

Parametre	Birim	Değer
BOİ	mg/L	< 5
KOİ	mg/L	< 30
AKM	mg/L	< 1
Bulanıklık	NTU	< 1
E-Koli	1/100 mL	Bulunamadı
Koliformlar	1/100 mL	< 1
Virüs giderimi	%	99.9999

3.2.5. Elektrokoagülasyon (EC)

Elektrokoagülasyon, elektroliz sonucu anotun çözünmesi ile arıtılacak olan su ve atıksu içerisinde metal hidroksit floklarının oluşturulması esasına dayanmaktadır. Elektrokoagülasyon da yaygın olarak alüminyum (Al^{+3}) ve demir (Fe^{+3} , Fe^{+2}) metal anotları kullanılmaktadır. Bu anotlar, prosesin işletme aşamasında suda ki hidroksit iyonları ile birleşerek suda çok az çözünen $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksitler oluşturmaktadır. Adsorpsiyon kapasitesi çok yüksek olan metal hidroksitlerin sudaki kirletici parametreleri adsorbe ederek çökelti yoluyla sudan uzaklaştırma prensibine dayanan bu arıtım metodu gri su arıtımında da kullanılmaktadır.

3.2.6. Fotokatalitik Oksidasyon

Fotokatalitik oksidasyon, gri su arıtımında başarıyla uygulanmış bir yöntemdir. Fotokatalitik oksidasyon, doğal güneş ışığından ya da bir UV lambasından sağlanan UV ışınları ile oksijen ve fotokatalizörden oluşan sistemin kimyasal reaksiyonlar sonucunda organik ve inorganik kirleticilerin sudan uzaklaştırılması işlemidir. Fotokatalitik bir sistem, bir çözücünde süspanse halde bulunan yarı iletken partiküllerden meydana gelmektedir (Akbal ve Balkaya, 2002). Birçok metal oksidin yarı iletken olduğu bilinmekle beraber fotokatalitik prosese en uygun aktif yarı iletkenin TiO_2 olduğu belirlenmiştir. Hidroksil radikallerinde fotokatalitik sistemde başlıca oksidanlardır. Güneş ışığından yararlanarak sulardaki kirleticilerin bozunumu diğer arıtım teknolojileri ile karşılaştırıldığında, düşük enerji gereksinimi ve yerinde arıtım imkânı gibi avantajlara sahiptir.

4. ARITILMIŞ GRİ SUYUN KULLANIM YERLERİ VE KULLANIM SUYU İÇİN KALİTE STANDARTLARI

Geri kazanımı sağlanan gri suyun kullanılacağı yerin standartlarını sağlıyor olması gerekmektedir. Arıtılmış gri sular tuvalet rezervuarları, çamaşır yıkama, bahçe sulama, süs havuzlarında kullanılmaktadır.

4.1. Tuvalet Rezervuarları

Tablo 6’da verilen değerler Berlin Senato Ofisi adına açıklanmıştır. Toplam koliform ve E-Koli için değerler AB standartlarındaki yıkama suyu değerleri (76/160/EEC) doğrultusunda belirlenmiştir. Sınır değerler sabit olduğunda insanların bu suyla temasları herhangi bir sağlık riskine neden olmaz. BOI_7 ve oksijen doygunluğu da arıtılmış gri su için önemli kalite kriterleridir.

Tablo 6. Tuvalet Rezervuarları İçin Gerekli Kalite Şartları (Karahan, 2011)

Parametre	Değerler
BOI_7	<50 mg/L
Oksijen Doygunluğu	>50%
Toplam Koliform ^{A)}	<100/mL
Dışkısal Koliform ^{A)} (E Koli)	<10/mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ^{B)}	<1/mL

^{A)} AB 76/160/EEC yönetmeliğine uygun

^{B)} Alman içme suyu standartlarına uygun

4.2. Çamaşırhane

Çamaşır yıkamak için tavsiye edilen kullanım suyu kalite şartları Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6’daki değerlere sahip arıtılmış gri su ve şebeke suyu ile yıkanan çamaşırlar üzerinde yapılan bilimsel araştırmalar sonucunda şebeke suyu ve arıtılmış gri su ile yıkanan çamaşırlar arasında kurutma işleminden sonra da sıhhi açıdan hiçbir fark olmadığı ortaya çıkmıştır (Karahan, 2011).

4.3. Bahçe Sulama

Sulama suyu için gerekli olan su değerleri DIN 19650 standartları (The German Institute For Standardisation) tarafından düzenlenmiştir. Bu kalite standartları tarım, bahçecilik, parklar ve spor tesislerinde kullanılan suların sıhhi ve mikrobiyolojik yönleriyle ilgilidir. Sulama sularının sıhhi güvenilirliği her kullanım için onaylanmış 4 bölüme ayrıldığı Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 7. Sulama Sularının ve Uygulamalarının Hijyenik/Mikrobiyolojik Niteliklerinin Sınıflandırılması

Kalite sınıfları	Uygulamaları	100ml Suda Faecal streptococci'nin koloni miktarı (Alman içme suyu yönetmeliğine veya AB yıkanma Suyu tüzüğüne göre)	100ml Suda E.Koli'nin koloni miktarı (Alman içme suyu yönetmeliğine veya AB yıkanma Suyu tüzüğüne göre)	1000ml sudaki salmonellae (DIN3841413e göre)	1000ml sudaki insan ve hayvan parazitlerinin potansiyel bulaşma dereceleri
1) içme suyu	Seralarda ve açık alanlarda sınırlanma olmadan tüm bitkiler	Yok	Yok	Yok	Yok
2	Açık alanlarda ve seralardaki ürünlerin çiğ tüketimi, okullardaki spor sahaları ve parklar için	<100	<200	Yok	Yok
3	Seralarda tüketim amaçlı olmayan ürünler.meyvelenme dönemine gelene veya toplanılmasına 2 hafta kalana kadar açık alanlardaki yetiştirilen çiğ tüketimi olan ürünler. Meyve ve sebzelerin konservelenmesi için.Sera veya yenilebilir bitkilerin kesilmesinden veya toplanılmasından 2 hafta kadar önce açık diğer spor alanlarından kısıtlanma olmaksızın alanlardaki diğer bütün ürünler	<400	<2000	Yok	Yok
4	Toplanılmasına 2 hafta kalana kadar şarap ve meyve kültürleri, şeker kamışı, yeme amaçlı kullanılmayan veya endüstriyel amaçlı kullanılacak ürünler için	En az bir kere biyolojik işlemden geçirilmiş atık su			Yok

5. SİSTEM DİZAYNI

Gri su geri kazanım sistemin büyüklüğü kabullere bağlı olarak her bir sistem için ayrı olarak hesap edilmektedir. Hesaplamalar sistemin kurulacağı yerin özellikleri, su ihtiyacı ve gri su miktarı (duştan, lavabodan, küvetten gelen su) göz önünde bulundurularak yapılmaktadır.

Genel bir kural olarak, dairelerde kullanılan kullanım suyunun miktarı, gri su miktarından oldukça azdır (Karahana, 2011). Genellikle, gri suyun tamamını arıtmak gerekli değildir. Bu yüzden dolayı az kirli olan gri suyu (duştan, lavabodan, küvetten gelen suyu) sisteme alıp arıtmak çok daha avantajlı olmaktadır.



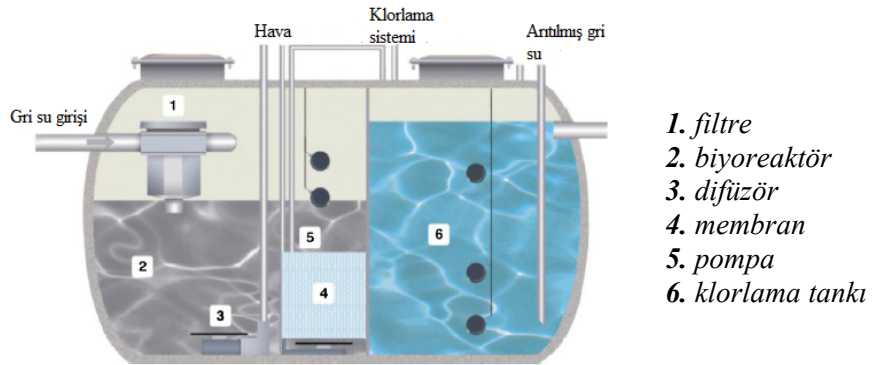
Şekil 9:
Standart Gri Su Geri Kazanım Sisteminin Kurulum Şeması (Karahana, 2011)

Sistemde, şebeke ve kullanım suyu hatlarının hiç bir şekilde birbiriyle bağlantısı olmamalıdır (Şekil 9). Kullanım suyunun geçtiği boru hattı farklı bir renk yapılarak şebeke suyu hattı ile arasındaki farkın kolayca anlaşılabilmesi sağlanmaktadır. Gri su geri kazanım sisteminde kullanılan depolarda oluşabilecek kokuları önlemek için havalandırma hattı kullanılmalıdır. Saç gibi gri su içerisindeki bazı maddeler uygulama problemlerine sebep olmaktadır. Arıtılmamış gri su ile temas eden borular, saçların tutunabileceği keskin köşe yerine saçların çökmesini sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir. Pompalar, filtreler ve diğer mekanik ekipmanlar tamir, bakım ve temizlenme işlemleri için kolayca ulaşılabilir ve temizlenebilir yerde olmalıdır.

6. YAPILAN ÇALIŞMALAR DÖRNEKLER

6.1. MBR ile Gri suyun Geri Kazanımı

Santasmanas ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışma kapsamında, gri suyun geri kazanımı, ızgara, biyolojik oksidasyon, filtrasyon ve klor ile dezenfeksiyon olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Biyolojik oksidasyon ve filtrasyonun sağlanması için membran biyoreaktör teknolojisi kullanılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10:
Gri su arıtımı için kullanılan MBR akım şeması

1mm'lik gözeneklere sahip ızgaradan geçirilen gri suyun, aktif çamur tankında suda ki organik maddelerin biyolojik oksidasyonu gerçekleştirilmiş olup sonrasında ultrafiltrasyon membran prosesi ile katı sıvı faz ayrımı gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemlerin sonunda oluşabilecek her hangi bir sağlık riskini ortadan kaldırmak içinde klor ile dezenfeksiyon işlemi uygulanmıştır. MBR teknolojisi ile arıtılan gri su rezervuarlarda kullanılabilir. Gri suyun sisteme giriş karakteristiği ile membran prosesinden çıkan gri suyun karakteristiği sırasıyla Tablo 8 ile Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 8. Sisteme gelen gri suyun karakteristiği

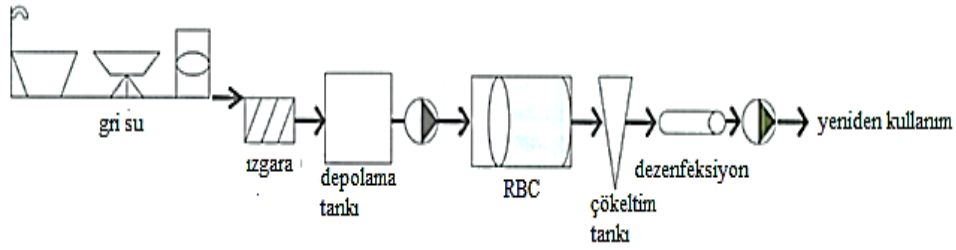
Parametre	Numune sayısı	Gri su		
		minimum	ortalama	maksimum
pH	50	7,2	7,7	8,3
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	50	910	1267	1652
Bulanıklık (NTU)	50	50	68	158
BOİ ₅ (mgO_2/L)	50	50	138	258
KOİ (mgO_2/L)	50	153	302	461
Yüzey aktif madde ($\text{mg LSS}/\text{L}$)	25	0,1	7,1	20
E-koli (CFU/100mL)	25	80	$3,3 \times 10^4$	$4,4 \times 10^5$
Nematod yumurtaları (yumurta/10L)	25	<1	<1	<1
P _{toplam} (mg/L)	25	0,8	3	15
N _{toplam} (mg/L)	25	11	23	36

Tablo 9. Arıtılmış gri suyun dezenfeksiyondan önceki karakteristiği

Parametre	Numune Sayısı	Gri su			Giderim Verimleri (%)
		minimum	ortalama	maksimum	
pH	50	7,5	7,9	8,3	
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	50	931	1244	1633	
Bulanıklık (NTU)	50	0,2	1,2	4,3	98
BOİ ₅ (mg/L)	50	1	6	16	95
KOİ (mg/L)	50	5	29	74	90
Yüzey aktif madde ($\text{mg LSS}/\text{L}$)	25	0,06	0,1	0,6	98
E.koli (CFU /100mL)	25	<5 ^a	<5 ^a	100	log4
Nematod yumurtaları (yumurta/10L)	25	<1	<1	<1	
P _{toplam} (mg/L)	25	2	3	8	
N _{toplam} (mg/L)	25	14	22	30	
a: saptama sınırı					

6.2. Döner Biyolojik Disk İle Gri Suyun Geri Kazanımı

Baban ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışma kapsamında gri su arıtımında döner biyolojik disk teknolojisi kullanılarak arıtılan gri suyun yeniden kullanım potansiyeli incelenmiştir (Şekil 11). Bu sistemde ızgara ve depolama tankından geçen gri su birbirine paralel bağlanmış iki döner biyolojik diske pompalanır (RBC1 ve RBC2). Bu döner biyolojik disklerden ilki (RBC1) 16 m² alana ve 36 diske sahipken, ikinci döner biyolojik disk (RBC2) 2,8 m² alan ve 20 diske sahiptir. Tüm bu işlemlerin sonunda UV ışınları ile dezenfeksiyon işlemine tabi tutulan arıtılmış gri su rezervuarlarda yeniden kullanılabilir. Bu çalışma kapsamındaki gri suyun giriş ve çıkış değerleri Tablo 10'da verilmektedir.



Şekil 11:

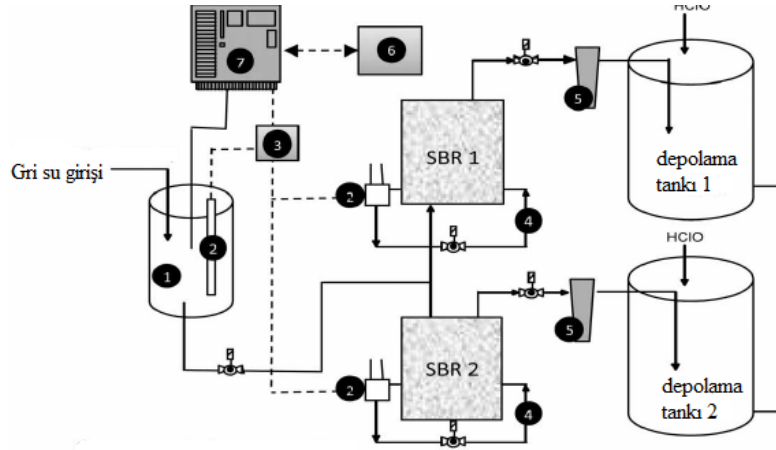
Gri su arıtımı akım şeması

Tablo 10. RBC ile arıtılmış gri suyun giriş ve çıkış karakteristiği

Parametre	Gri su ort. giriş değerleri (min.-maks.)	Gri su ort. çıkış değerleri (RBC1) (min.-maks.)		Gri su ort. çıkış değerleri (RBC2) (min.-maks.)	
		Q=400 L/gün	Q=150 L/gün	Q=86 L/gün	Q= 43 L/gün
pH	7,1 (6,9-7,4)	7,9	8,1	7,7	7,8
T, °C	22	22	22	22	22
KOİ _{toplam} , mg/L	347 (179-525)	42 (21-52)	41 (24-56)	55 (32-68)	35,5 (23-54)
KOİ _{çöz} , mg/L	214 (89-286)	33 (18-60)	30 (20-40)	31 (26-37)	18 (11-24)
BOİ ₅ , mg/L	119 (72-182)	6,3 (5-8)	6,8 (5-8)	NA	NA
Toplam koliform/100mL	>10 ⁶	5,6×10 ⁴ 0*	2,8×10 ⁴ 0*	6,3×10 ⁴ NA	1,5×10 ⁵ NA
Bulanıklık, NTU	103 (39-254)	6 (1-10,5)	13 (8-17,6)	17,1 (7,3-31,4)	4,4 (2-11,1)
Toplam askıda katı madde, mg/L	79 (28-146)	11 (2-35)	14 (8-19)	21 (6-47)	10 (6-18)
TKN, mg/L	8 (2-13)	2,3 (0,3-5,6)	1,5 (0,4-3,2)	3,5 (1,7-8,8)	2,6 (1,1-5,2)
NH ₄ ⁺ -N, mg/L	2,2 (0,6-5,5)	0,7 (0,1-2,7)	0,1	1,4 (0,3-6,1)	0,5 (0,1-1,6)
NO ₃ -N, mg/L	NA	0,9 (0,1-2,7)	1,1 (0,7-1,3)	2,8 (0,2-6,8)	2,5 (1,5-3,8)
P _{toplam} , mg/L	9,8 (3,7-14,6)	NA	NA	NA	NA
*UV ile dezenfeksiyon işlemi sonrası, NA:mevcut değil					

6.3. Ardışık Kesikli Reaktör İle Gri Suyun Geri Kazanımı

Gabarro ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışma kapsamında bir spor merkezinden çıkan gri suyun sulama amaçlı yeniden kullanımı için ardışık kesikli reaktör teknolojisi ile arıtımı incelenmiştir (Şekil 12). Bu çalışma kapsamındaki gri suyun giriş karakteristiği Tablo 11'de verilmektedir.



Şekil 12:

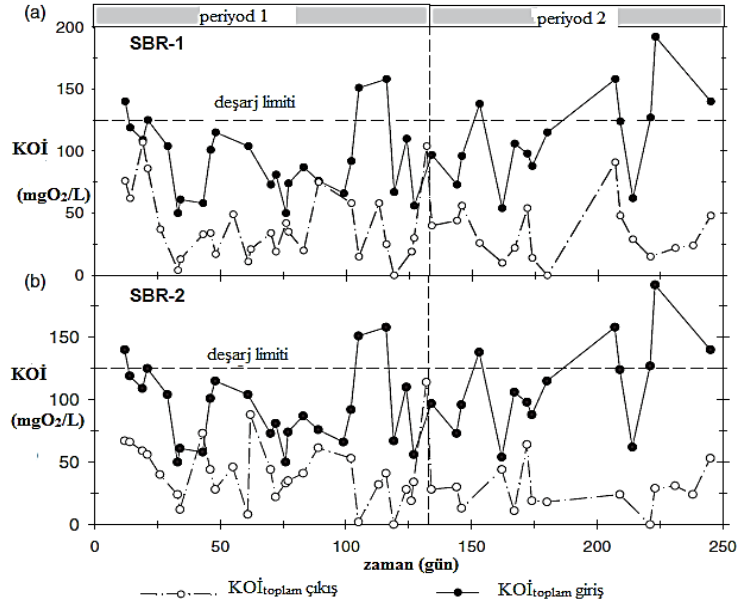
SBR İle Gri Su Arıtım Şeması: 1.Homojenizasyon Tankı, 2.pH ve Redoks Sensörleri, 3.Sensör İletimi, 4.Geri Devir Sistemi, 5.Filtre, 6.Veri Sistemi, 7.Kontrol Paneli

Bu çalışma ve her biri en fazla 500 L kapasiteye sahip birbirine paralel olarak faaliyet gösteren iki ardışık kesikli reaktör kullanılmıştır. Ardışık kesikli reaktörlerden çıkan gri su 5µm gözenekli ızgaradan geçirildikten sonra iki farklı 1500 L'lik depolama tanklarında gönderilmiş ve dezenfeksiyon için arıtılmış gri suya hipoklorit dozlaması yapılmıştır.

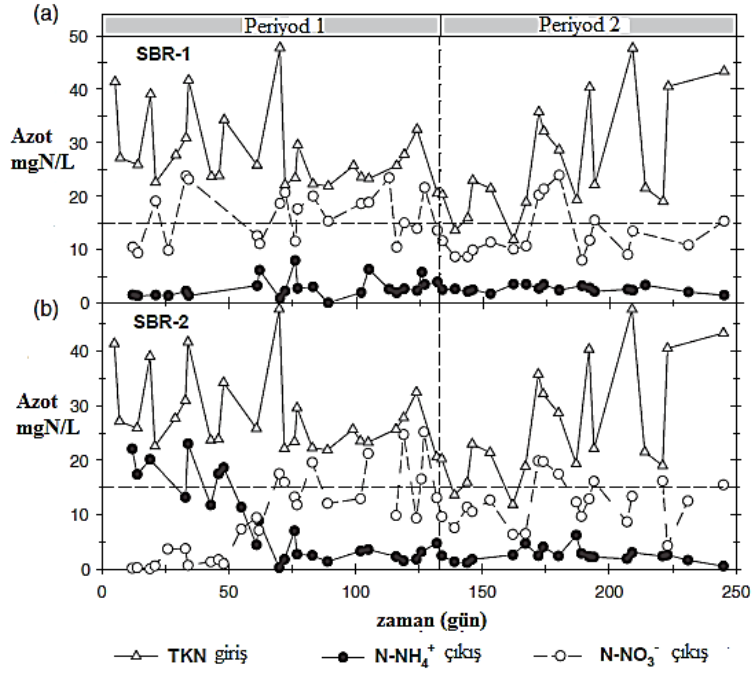
Tablo 11. Gri suyun ana karakteristiği

Parametre	Birim	Ortalama	Standart Sapma	Değer Aralığı
KOİ _{toplam}	mgKOİ/L	110	58	50-317
KOİ _{çözünmüş}	mgKOİ/L	72	27	37-137
BOİ ₅	mgBOİ/L	65	35	39-205
TKN	mgN/L	27,17	10,04	6,38-205
NH ₄ ⁺	mgN-NH ₄ ⁺ /L	20,95	10,05	2,75-51,22
NO ₃ ⁻	mgN-NO ₃ ⁻ /L	0,26	0,59	0,00-3,45
Toplam Askıda Katı Madde	mgTSS/L	32	24	6-110
Uçucu Askıda Katı Madde	mgVSS/L	30	23	2-106
P _{toplam}	mgP/L	1,28	1,16	0,00-8,69
Debi	L/gün	341	85	33-449

Bu deneysel çalışma iki döneme ayrılmıştır. İlk periyod (ilk 133 gün) her biri 1 saat süren anoksik ve aerobik fazlar ile periyod sonunda gerçekleşen 40 dk süren çökeltim fazı ile 20 dk süren boşaltım fazını içermektedir. İkinci periyod (133-245 gün arası) ise denitrifikasyon verimi arttırmak için 3 saat süren anoksik faz ile başladıktan sonra periyod sonunda ki 40 dk süren çökeltim ve 20 dk süren boşaltım fazlarına kadar anoksik-aerobik faz dizileri devam etmiştir. Bu çalışma süresince gri su karakteristiğinde meydana gelen değişimler Şekil 13 ve Şekil 14'de gösterilmektedir.



Şekil 13:
Çalışma süresince organik madde değişimi (a) SBR1 (b) SBR2



Şekil 14:
Çalışma süresinde azot bileşiklerinin değişimi (a) SBR1 (b) SBR2

6.4. Elektrokoagülasyon İle Gri Suyun Geri Kazanımı

Lin ve diğ (2005) tarafından yapılan çalışma kapsamında, gri su arıtımı için elektrokoagülasyon ve dezenfeksiyon işlemleri uygulanmıştır. Bu sistemden çıkan suyun kalitesi gri suyun yeniden kullanım için istenen standartları karşılamıştır. Bu çalışma kapsamındaki gri su giriş ve çıkış karakteristiği Tablo 12’de verilmektedir.

Tablo 12. Sistemdeki Gri suyun karakteristiği

Parametre	Giriş	Çıkış
KOİ (mg/L)	55	22
BOİ ₅ (mg/L)	23	9
Bulanıklık (NTU)	43	4
AKM (mg/L)	29	9
Toplam Koliform		Saptanamadı

7. MALİYET

Sistemler için ilk yatırım maliyeti işletmenin büyüklüğüne göre değişim göstermektedir. Sistem büyüdükçe daire başına düşen maliyet azalmaktadır. İşletme maliyeti; bakım, tamir ve kontrol, enerji tüketimi ücretini kapsamaktadır. Tamir, bakım ve onarım masrafları seçilen teknolojiye bağlıdır. Basitçe yapılandırılmış bir işletme için genel olarak her yıl ilk yatırım maliyetinin %1 i yeterlidir; makineler/ teknik ekipmanlar için ise her yıl ilk yatırım maliyetinin %4 ü gibi düşünülmektedir (Karahan, 2011). Gri suyu temizlemek için gerekli olan enerji, kullanım suyunun hidroforla sisteme basılması ve şebeke suyu takviyesi dâhil, kullanılan teknolojiye bağlı olarak 1 m³ kullanım suyu için 1,5 ile 3 kW arasındadır (Karahan, 2011). Tablo 13'te bazı gri su arıtım teknolojilerinin maliyeti verilmektedir.

Tablo 13. Gri Su Arıtım Teknolojileri Maliyeti (Boyjoo ve diğ. 2013)

Arıtma Teknolojisi	Kapasite	Maliyet			Referans
		Yatırım	İşletim	Bakım	
CW	25 m ² /2 m ³ , 1-2m ² /200L	US\$170 m ⁻²	US\$340 y ^{-1c,e} + US\$280 ^{e,f}	-	Dalalmeht ve ark. 2009
SBR	-	>US\$1,420 ^{e,d}	Çamur bertarafı, hava üfleme gücü	-	Dalalmeht ve ark. 2009
RBC	-	RBC (US\$)= 3,590Q ^{0,6776} Klorlama Ünitesi: (US\$)=1,670	Hava üfleme gücü Güç(W)=42.2e ^(2,5104Q) Klor US\$y ⁻¹ =62.11Q, ya da Geniş sistemler için işletim=1,5 kWhm ⁻³	İş Gücü: US\$1,040 y ⁻¹	Nolde,2000; Friedler ve ark. 2006
MBR	-	Pompa fiyatı (US\$) = 594Q ^{0,0286} ; MBR(US\$)= 18,853+17,945lnQ	1-1.5kWhm ⁻³ (küçük üniteler), 0.5-0.75 kWhm ⁻³ (büyük üniter 650-10000m ³ g ⁻¹)	İş Gücü: US\$1,040 y ⁻¹ ; Membran arıtım: US\$0.02- 0.03m ³ y ⁻¹	Friedler ve ark. 2006

- a- Herbisitlerin arıtımı
- b- Endüstriyel Bayer liquor arıtımı
- c- JOD1 = US\$1.42 (2009)
- d- Hava üfleyciler, difüzörler ve vanalar için gerekli
- e- Hasat maliyeti
- g- Laboratuvar ölçeğinde askıda TiO₂ sistemi,
- h- Pilot ölçekte askıda TiO₂ sistemi

- CW- Yapay Sulak Alan
- SBR- Ardışık Kesikli Reaktör
- RBC- Döner Biyolojik Disk
- MBR- Membran Biyoreaktör
- GAC- Granüllü Aktif Karbon

Tablo 13 (devamı). Gri Su Arıtım Teknolojileri Maliyeti (Boyjoo ve diğ. 2013)

Arıtma Teknolojisi	Kapasite	Maliyet			Referans
		Yatırım	İşletim	Bakım	
Koagülasyon	–	–	£0.0012–0.0048 m ⁻³ £0.0040–0.0185 m ⁻³	–	Pidou ve ark. 2008
Flokülasyon- Kum Filtrasyonu- GAC adsorpsiyonu	200 m ³ g ⁻¹	€0.11m ⁻³	€0.07 m ⁻³	€0.33 m ⁻³	Sostar- Türk ve ark. (2005)
Elektrokoagülasyon- Flotasyon- Dezenfeksiyon	28 m ³ g ⁻¹	US\$0.08 m ⁻³	US\$0.19 m ⁻³	–	Lin ve ark. 2005
Fotokatalitik Oksidasyon ^a	0.134 L ^g	–	€3.75 m ⁻³	–	Li Puma ve ark. 2007
Fotokatalitik Oksidasyon ^b	18 L ^h	–	US\$60–270m ⁻³	–	Pareek ve ark. 2001

a- Herbisitlerin arıtımı

b- Endüstriyel Bayer liquor arıtımı

c- JOD1 = US\$1.42 (2009)

d- Hava üfleyiciler, difüzörler ve vanalar için gerekli

e- Hasat maliyeti

g- Laboratuvar ölçeğinde askıda TiO₂ sistemi,h- Pilot ölçekte askıda TiO₂ sistemi

CW- Yapay Sulak Alan

SBR- Ardıışık Kesikli Reaktör

RBC- Döner Biyolojik Disk

MBR- Membran Biyoreaktör

GAC- Granüllü Aktif Karbon

8. SONUÇ

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda; istenilen standartların sağlanması için gri suya uygun olan biyolojik, fiziksel ya da kimyasal arıtma teknolojileri uygulandığı ve gri suyun arıtıldıktan sonra bahçe sulamada, araba yıkamada, yangın söndürmede ve rezervuarlarda yeniden kullanıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan bu çalışmada gri su arıtımında kullanılan teknolojilerinin ayrı ayrı avantaj ve dezavantajları olduğu görölmektedir

Yapay sulak alan tüm gri su kaynaklarından gelen gri suyu arıtmak için kullanılabilir. Yatay yapay sulak alan ile dikey sulak alan birlikte kullanıldığında giriş suyunda ki dalgalanmalarla başa çıkılabilmektedirler. Yapay sulak alan inşa etmesi, bakımı ve iletişimi açısından da ucuz bir arıtma teknolojisidir. Aynı zaman az enerji üreten ve enerji gereksinimi bakımından çevre dostu olan bir teknolojidir. Ancak yapay sulak alanlar için büyük arazilere ihtiyaç duyulmaktadır ve sıcak iklim koşullarında aşırı buharlaşma nedeniyle kullanılmayan bir teknolojidir. Zayıf patojen giderimi nedeniyle dezenfeksiyona ihtiyaç duyulmaktadır. Yapay sulak alanların şehirlerde ve yoğun nüfusa sahip alanlarda kullanılması uygun bulunmamaktadır.

Membran biyoreaktör ve döner biyolojik disk teknolojileri küçük alan kaplamakta ve kaliteli çıkış suyu vermekteler. Membran biyoreaktörlerde, döner biyolojik diske göre patojen giderimi daha verimli sağlanmaktadır. Ancak çevreye zararlı olan toksik kimyasallar membran temizlenmede sık sık kullanılmaktadır.

Ardışık kesikli reaktörlerden kaliteli çıkış suyu elde edilmektedir. Ardıışık kesikli reaktörler fazla alan kaplamamaktadır. İşletim, bakım ve maliyet açısından avantaj sağlayan bir arıtma teknolojisidir.

Fotokatalitik oksidasyon, yüksek arıtma süresi, UV kaynağı, soğutma ekipmanları ve kuvars tüpler ile TiO₂ gibi pahalı tüketim malzemeleri gerektirdiğinden dolayı yüksek bir çevresel etkiye sahiptir.

KAYNAKLAR

1. Akbal, F., Balkaya, N. (2002). Toksik Organik Kirleticilerin Gideriminde İleri Oksidasyon Teknolojileri. Derleme Yazısı.
2. Allen, L., Smith, J. C., Palaniappan, M. (2010). Overview Of Greywater Reuse: The Potential Of Greywater Systems To Aid Sustainable Water Management. Pacific Institute, California.
3. Anonim, (2013). fbr (Association For Rainwater Harvesting And Water Utilisation.) Greywater Recycling and Reuse. <http://www.fbr.de/fileadmin/user_upload/files/Englische_Seite/Greywater_Recycling_Introduction.pdf>. (08.11.2013).
4. Baban, A., Hocaoğlu, S.M., Atasoy, E.A., Güneş, K., Ayaz, S., Regelsberger M. (2010). Grey Water Treatment And Reuse By Using Rbc: A Kinetic Approach. *Desalination And Water Treatment*, 23: 89-94.
5. Bell, B., Bounds, T., Conners, D., Lando, P., Paretchan, L., Pearlson, N., Richmond, B., Roach, P., Schiffer, G., Sheets, M., Simpson, V., Taylor, S., Vanderford, K., Zekan, B. (2010). Recommendations On Graywater Treatment, Disposal and Reuse. Graywater Advisory Committee Report. Portland.
6. Boyjoo, Y., Pareek, V. K., Ang, M. (2013). A Review Of Greywater Characteristics And Treatment Processes. *Water Science & Technology*, 67: 1403-1422.
7. Casanova, L.M., Little, V., Frye, R.J., Gerba, C.P. (2001). A Survey of the Microbial Quality of Recycled Household Graywater. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5): 1313-1319.
8. Diler, E. (2010). Sulu Ortamda Bulunan Azo Boyar Maddelerinin Fotokatalitik Oksidasyon Yöntemi ile Parçalanması ve Kinetik Parametrelerinin Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Adana.
9. Environment Agency. (2011). Greywater For Domestic Users: An Information Guide.
10. Eremektar, G., Tanık, A., Alaton, İ., Gürel, M., Övez, S., Orhon, D. (2005). Türkiye’de Doğal Arıtma Uygulamaları ve Projeleri. Medaware Projesi. Ankara.
11. Eriksson, E., Auffarth, K., Eilersen, A.M., Henze, M., Ledin, A. (2003). Household chemicals and personal care products as sources for xenobiotic organic compounds in grey wastewater. *Water SA*. 29: 135-146.
12. Gabarro, J., Batchellı, L., Balaguer, M.D., Puig, S., Colprim, J. (2012). Grey Water Treatment at a Sports Centre for Reuse in Irrigation: A Case Study. *Environmental Technology*, 34: 1385-1392.
13. Gürtekin, E. (2009). Ardışık Kesikli Reaktörde Süt Endüstrisi Atık Sularının Biyolojik Arıtımı. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1): 1-6.
14. Huelgas, A., Nakajima, M., Nagata, H., Funamizu, N. (2009). Comparison between treatment of kitchen-sink wastewater and a mixture of kitchen-sink and washing machine wastewater. *Environmental Technology*, 30(1): 111-117.
15. Jong, J., Lee, J., Kim, J., Hyun, K., Hwang, T., Park, J. and Choung, Y. (2010). The study of pathogenic microbial communities in graywater using membrane bioreactor. *Desalination*, 250:568-572.
16. Karahan, A. (2011). Gri Suyun Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1155-1164.

17. Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. (2009). Evaluation of Appropriate Technologies for Grey Water Treatments And Reuses. *Water Science & Technology*, 59: 249-260.
18. Lin, C. J., Lo, S. L., Kuo, C. Y., Wu, C. H. (2005). Pilot-scale electrocoagulation with bipolar aluminum electrodes for onsite domestic greywater reuse. *Journal of Environmental Engineering*, 131: 491.
19. Morel, A., Diener, S. (2006). Grey water Management in Low and Middle-Income Countries. Eawag Aquatic Research. Switzerland.
20. Özyonar, F., Karagözoğlu, B., Atmaca, E. (2011). İçme Suyundan Elektrokoagülasyon Prosesi ile Doğal Organik Madde Giderimi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4): 309-316.
21. Rose, J., Sun G., Gerba, C.P., Sinclair, N.A. (1991). Microbial Quality and Persistence of Enteric Pathogens in Graywater from Various Household Source. *Water Research*, 25: 37-42.
22. Santasmasas, C., Rovira, M., Clarens, F., Valderrama C. (2013). Grey Water Reclamation By Decentralized Mbr Prototype. *Grey Water Reclamation by Decentralized MBR Prototype*, 72: 102-107.
23. Siegrist, R.L. (1980). Greywater Treatment by Coarse Sand Media Filtration of Septic Tank Effluent. 3rd Northwest On-Site Wastewater Disposal Short Course.
24. Travis, M.J., Weisbrod, N., Gross, A. (2008). Accumulation of oil and grease in soils irrigated with greywater and their potential role in soil water repellency. *Science of Total Environment*, 394(1): 68-74.
25. Veneman, P.L., Stewart, B. (2002). Greywater Characterization and Treatment Efficiency. Department of Plant and Soil Sciences. University of Massachusetts.

Alınma Tarihi (Received) : 23.01.2015
Düzeltilme Tarihi (Revised) : 25.06.2015
Kabul Tarihi (Accepted) : 26.06.2015