



Alınış tarihi (Received): 02.08.2022

Kabul tarihi (Accepted): 01.02.2023

Gri Su Arıtımında Teknolojik Yaklaşımlar ve Yeniden Kullanımı

Mustafa Bünyamin KARAGÖZOĞLU^{1,*}, Zinnur YILMAZ¹

¹*Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas/Türkiye*

**Sorumlu yazar: bkaragoz@cumhuriyet.edu.tr*

ÖZET: Su kaynaklarının korunması için en önemli yöntemlerden biri suyun yeniden kullanımınıdır. Bu bağlamda atıksuyun yeniden kullanımıyla ilgili ilginç seçeneklerden birisi ise gri su geri kazanım yöntemidir. Bu çalışmada gri suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri verilerek gri suyun arıtım yöntemleri ve yeniden kullanımı ele alınmıştır. Gri suyun geri dönüştürülmesinin bir avantajı, gri suyun düşük konsantrasyonlarda organik kirletici ve patojenlere sahip olması nedeniyle arıtılması nispeten kolay olan bol, alternatif bir kentsel su kaynağı olmasıdır. Arıtılmış gri suyun kullanım suyu olarak kullanılması su kaynaklarının korunmasına katkı sağlayacağı gibi doğadaki su dengesini de olumlu etkileyecektir. Su kaynaklarının eksikliği göz önüne alındığında, gri suyun geri dönüşümü iyi bir seçenek gibi görünmektedir. Günümüzde teknolojik araçlarla vatandaşların yaşam kalitesini artırmak ve sonuçta daha sürdürülebilir bir gelecek sunan; ileri yaşamsal teknolojiler ile desteklenmiş akıllı şehir projelerinde şehir içi alanlarda gri su arıtma sistemlerinin dizaynı ve yeniden kullanımıyla ilgili gerçekleştirilen çeşitli çalışmalara rastlanabilmektedir. Ancak gri suyun yeniden kullanımı Türkiye’de nadiren uygulanmaktadır. Gri suyun arıtılıp tekrar kullanım suyu olarak kullanılması su kaynaklarının korunmasına katkı sağlayacağı gibi kullanılan su miktarını da azaltacaktır. Dolayısıyla sulama başta olmak üzere bir çok amaç için geri kazanılabilen gri suların arıtımı için doğru teknolojiyi seçmek önemlidir.

Anahtar Kelimeler – *Gri Su, Arıtma, Yeniden Kullanım*

Technological Approaches and Reuse of Gray Water Treatment

ABSTRACT: One of the most important methods for the protection of water resources is the reuse of water. In this context, one of the interesting options related to wastewater reuse is the gray water recovery method. In this study, the treatment methods and reuse of gray water were discussed by giving the physical and chemical properties of gray water. One advantage of recycling gray water is that it is a abundant, alternative source of urban water, which is relatively easy to treat due to the fact that gray water has low concentrations of organic pollutants and pathogens. The use of treated gray water as a use water will contribute to the protection of water resources as well as positively affect the water balance in nature. Given the lack of water resources, the recycling of gray water seems to be a good option. Today, there are various studies on the design and reuse of gray water treatment systems in urban areas in smart city projects supported by advanced vital technologies, which increase the quality of life of their citizens and ultimately offer a more sustainable future with technological tools. However, the reuse of gray water is rarely applied in Turkey. Treating gray water and using it as reusable water will not only contribute to the protection of water resources, but will also reduce the amount of water used.

Keywords – *Gray Water, Treatment, Reuse*

1. Giriş

Atıksuyun geri dönüşümü çevresel ve kentsel yeniden kullanım, rekreasyonel ve endüstriyel amaçlarla kullanılabilir de tarımsal sulamada çok önemli bir role sahiptir (Al-Kalbani ve ark., 2017). Kentsel atıksuyun yeniden kullanımı için olası kaynaklar kanalizasyon, gri su (özellikle tuvalet sifonu hariç evsel atıksu) ve yağmur suyu birikimidir (Juan ve ark., 2016; Zha ve ark., 2018; Prodanovic ve ark., 2018; Busgang ve ark., 2018). Evsel atıksuyu gri ve siyah su olarak iki kısma ayırmak mümkündür. Gri su evlerde, yurtlarda, ofis binalarında, okullarda, otellerde, spor merkezlerinde vb. yerlerde tuvalet girdilerini içermeyen banyolarda, duşlarda, el lavabolarında, çamaşır makinelerinde ve mutfak lavabolarında üretilen atıksuya karşılık gelir. Gri su, yeniden kullanım ve uygulama için yüksek potansiyele sahip yüksek hacimli, düşük dayanımlı atıksu olarak kabul edilir (Javadinejad ve ark., 2020; Thomaidi ve ark., 2022). Açık gri su lavabolardan, duşlardan, banyolardan kaynaklanan atıksular olarak bilinir ve toplam gri suyun yaklaşık yüzde 50-60'ını oluşturur. Evye, bulaşık makinesi, mutfak lavaboları, çamaşırhaneden çıkan atık sular daha kirlidir ve koyu gri su olarak adlandırılır (Edwin ve ark., 2014; Albalawneh ve Chang, 2015). Atıksuyun tuvalet kaynaklı kısmına “siyah (kara) su” adı verilir (Huelgas-Orbecido ve Funamizu, 2019). Gri su, siyah suya (banyo ve tuvalet kanalizasyonu) kıyasla patojenite açısından çok daha düşük derecede kirliliğe sahiptir ve tuvalet yıkama ve sulama faaliyetlerinde tatlı su yerine yeniden kullanılabilir (Leong ve ark., 2018; Oh ve ark., 2018). Aslında, atıksu arıtma ve bertaraf sistemleri tarafından yeniden kullanılmak üzere arıtılabilmeyi mümkün kılan genel atıksuyun alt kümesidir. Dolayısıyla alternatif bir kentsel su kaynağı olması nedeniyle düşük konsantrasyonlarda organik kirlenici ve patojen içeriğine sahip gri suyun arıtılarak kullanım suyu olarak kullanılması, su kaynaklarının korunmasına katkı sağlayacağı gibi doğadaki su dengesini de olumlu etkileyecektir. Gri su geri kazanımı, tesislerinde kullanılan içme suyu miktarını da azaltacağından dolayı hem maddi tasarruf hem de çevrenin korunması için oldukça etkili bir kaynak olarak değerlendirilebilir.

2. Gri Su Özellikleri ve Yeniden Kullanım Standartları

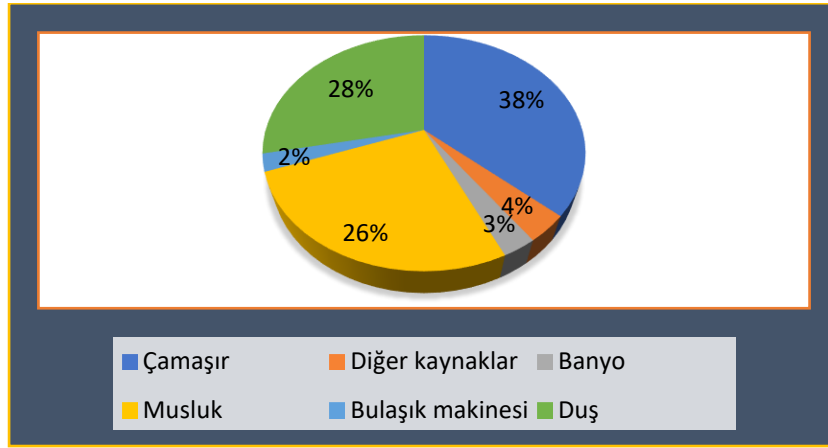
Gri suyun geri dönüştürülmesinin bir avantajı, gri suyun düşük konsantrasyonlarda organik kirlenici ve patojenlere sahip olması nedeniyle arıtılması nispeten kolay olan bol, alternatif bir kentsel su kaynağı olmasıdır (Revitt ve ark., 2011). Gri suyun içme dışı amaçlarla geri kazanılması ve yeniden kullanılması, kentsel alanlarda arıtılmış su tüketiminin azaltılmasında önemli bir role sahiptir (Al-Ghazawi ve ark., 2018). Bu konu, yeşil bina ve sürdürülebilir kentsel kalkınmanın hedeflerinden biri olarak tanımlanmaktadır (Al-Gheethi ve ark., 2019). Çamaşır, banyo ve duşta kaynaklanan kanalizasyon kirliliği, tuvaletlerden gelen siyah atık sudan daha azdır (Shafiquzzaman ve ark., 2018). Bu nedenle gri atıksu bir veya birden fazla yerleşim biriminde toplanarak yerinde arıtılarak kullanıma uygun bir su kaynağı olarak kullanılabilir. Evsel bölümdeki gri su geri dönüştürülerek, suyun büyük bir hacmi, tuvalet sifonu, bahçe sulama, araba yıkama, yangın söndürme ve yeraltı suyunu besleme gibi dış mekân kullanımları için kullanılabilir. Ancak gri suyun tamamen güvenli olmadığı unutulmamalıdır. Gri suyun geri dönüştürülmesinin avantajı, düşük organik içeriğe sahip önemli bir kaynak olmasıdır. Gri su, içilebilir suyun yaklaşık %70'ini oluşturmakla birlikte tipik olarak, toplam su tüketimine, insanların alışkanlığına, iklime vb. bağlı olarak toplam evsel olarak üretilen atıksuyun %55-75'ini oluşturur. Ancak organiklerin sadece %30'unu ve besinlerin %8 ila %21'ini içerir. Karışık evsel atık su ile karşılaştırıldığında düşük kirlenici yükü içerir (Santasma ve ark., 2013; De Gisi ve ark., 2016; Fountoulakis ve ark., 2016; Liberman ve ark., 2016). Örneğin Türkiyede duş, banyo, lavabo, çamaşırhane ve bulaşık makinesinden gelen suyun yaklaşık %65'i (± 10) geri dönüştürülebilen gri su içerir

(Üstün ve Tırpancı, 2015). Ayrıca daha büyük ölçekte golf sahaları, parklar, okul bahçeleri, yangın koruma ve iklimlendirme amaçlı sulamada kullanılır. Kişi başına gri su üretimi 15-55 L'dir ve bu miktar kullanım yerinin durumuna ve kullanıcıların alışkanlıklarına göre farklılık gösterir (Pidou ve ark., 2007). Aşağıda toplam evsel su tüketimi Tablo 1'de, farklı gri su kaynaklarının yüzde dağılım oranları ise Şekil 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Toplam evsel su tüketiminin dağılımı (Edwin ve ark., 2014)

Table 1. Distribution of total domestic water consumption

Evsel Su Tüketimi							
İçme ve Yemek Pişirme	Tuvalet sifonu	Bahçe işleri/Diğerleri	Ev temizliği	Banyo ve duş	Lavabo	Mutfak/bulaşık yıkama	Çamaşır yıkama
% 3	% 26	% 2	% 6	% 31	% 4	% 17	% 10
Gri Su = % 62							



Şekil 1. Çeşitli kaynaklardan gri su üretimi (%) (Ceconet ve ark., 2019)

Figure 1. Gray water production from various sources (%)

Gri suyun özellikleri oldukça değişkendir ve suyun mevcudiyetine ve tüketimine, beslenme alışkanlıklarına, yaşam tarzına vb. bağlıdır (Uddin ve ark., 2016). Yayınlanmış literatürde, gri suyun özelliklerinin bir haneden haneye, komplekslerden toplum merkezlerine ve ayrıca bir coğrafi konumdan başka bir yere büyük ölçüde değiştiği bulunmuştur. Gri su, askıda katı maddeler, farklı organik maddeler (Halalsheh ve ark., 2008), metaller, inorganik iyonlar (Palmquist ve Hanæus, 2005; Eriksson ve Donner, 2009), ksenobiyotik bileşikler (Karnapa, 2016) ve eser miktarda mikroorganizma, özellikle *E. coli* (Winward ve ark. 2008; Albalawneh, 2017) içerir. Bazı çalışmalarda gri suda mevcut fiziksel ve kimyasal kirletici parametre konsantrasyon değerlerinin Bulanıklık için 29-375 NTU, Biyolojik Oksijen İhtiyacı için (BOİ5) 47-466 mg/L, Kimyasal Oksijen İhtiyacı için (KOİ) 100-700 mg/L, Askıda Katı Maddeler için ise (AKM) 25-183 mg/L aralığında değiştiği rapor edilmiştir (Li ve ark. 2009a ; Hourlier ve ark., 2010; Eslami ve ark., 2018). BOİ ve KOİ konsantrasyonları kullanılan su miktarına ve evde tüketilen ürünlerin (özellikle deterjan, sabun ve yağ) miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. BOİ ve KOİ çözülmüş değerleri yüksek yüklü gri suda; 44-1056 ve 50-2568 mg/L aralığında, düşük yüklü gri suda ise 23-300 ve 23-633 mg/L aralığında değişmektedir (Tablo 2) (Boyjoo ve ark., 2013).

Tablo 2. Gri Suyun fiziksel ve kimyasal kirletici parametrelerin aralıkları (Oron ve ark., 2014)**Table 2.** Ranges of physical and chemical pollutant parameters of Gray Water

Parametre	Çamaşır yıkama	Tuvalet/banyo	Mutfak lavabosu	Bulaşık makinesi
Renk (Pt/Co)	50-70	60-100	-	-
Toplam Katı Madde (TKM) (mg/L)	380-430	220-280	3900-2500	1300-1700
Askıda Katı Madde (AKM) (mg/L)	70-250	40-120	130-1300	100-440
Bulanıklık (NTU)	50-210	60-250	-	-
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/L)	1300-1800	95-650	650-1100	1300
Sıcaklık (°C)	25-35	15-35	27-38	35-42
pH	8.1-10.0	6.7-7.4	6.5	8.2
Fekal Koliform (CFU 100/mL)	1.0x10 ¹ -2.5x10 ⁵	< 1-2.5x10 ⁶	1.5x10 ⁵ -4.0x10 ⁷	-

Çamaşır yıkama gri suyu, mutfak ve banyo suyuna kıyasla doğası gereği daha alkalidir. Yiyecek ve toz partikülleri, saç vb. askıda katı madde miktarına katkıda bulunur. Genel olarak mutfak gri suyunda yüksek BOİ içeriği gözlenirken, çamaşırhane ve banyo gri suyunda yüksek KOİ içeriği gözlenir. Çamaşır atık suyu ayrıca daha yüksek miktarda sodyum, fosfat ve çeşitli ksenobiyotik bileşiklere katkıda bulunur (Boyjoo ve ark., 2013; Manna, 2018). Gri sudaki mikrobiyal yük genellikle daha azdır, özellikle banyo ve çamaşır atık suları, mutfak atık sularına göre mikroorganizmalarla daha az kirler (Albalawneh ve Chang, 2015). Ancak nadiren Salmonella ve Campylobacter gibi enterik patojen bakteriler mutfak atık sularında bulunabilir. Gri sudaki dışkı kontaminasyonu, dışkıyla kontamine olmuş giysilerin yıkanmasından, çocuk bakımından ve çığ etlerin yıkanmasından kaynaklanabilir (O'Toole ve ark., 2012). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) yönergelerine göre, gri sudaki ana tehlike fekal kontaminasyondur ve gri su ile temas halinde insanlarda enfeksiyon ve hastalığa neden olur (WHO, 2006). Gri su için ortalama BOİ5/KOİ oranı 0.45 ± 0.13 olarak rapor edilmiştir, bu da uygun biyolojik bozunma potansiyelini gösterir. Gri su, askıda katı madde ve bulanıklık bakımından orta derecede düşüktür, bu da kirleticilerin daha büyük bir bölümünün çözüldüğünü gösterir. Besin madde konsantrasyonları ve KOİ:N:P oranı (KOİ: Azot: Fosfor), gri su tipine bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. Bildirilen KOİ:N:P oranları, karışık gri su için 100:3.5 ± 1.3:1.6 ± 0.7 (Hernandez ve ark., 2011) banyo, duş ve lavabo gri suyu için sırasıyla 100:2.25:0.06, 00:2.91:0.05 ve 100:1.77:0.06 olarak değerlendirilmiştir (Jefferson ve ark., 2004). Kanalizasyon atıksuları için optimum değer olarak kabul edilen 100:20:1 oranı ile karşılaştırıldığında, genel olarak, gri suda idrar, dışkı olmaması nedeniyle, nitrojen ve fosfor eksikliğinden dolayı bu oranlar değişiklik göstermektedir (Abed ve Scholz, 2016).

Gri suların geri kazanımı ve yeniden kullanımı ile atıksu arıtma tesislerinde işletme problemlerini, taşıma maliyetlerini ve arıtma çamuru miktarını ve giderim maliyetlerini azaltmak için öncelikle içme suyu kaynaklarının korunması ve evsel atıksu hacminin azaltılması hedeflenmiştir (Ghunmi ve ark., 2011). Çeşitli uygulamalar açısından, geri

kazanılan gri su, güvenli ve sürdürülebilir yeniden kullanımını sağlamak için uygun su kalitesi standartlarını veya yönergelerini karşılamalıdır (Maimon ve ark., 2010; Oron ve ark., 2014; Al-Gheethi ve ark., 2016). Dolayısıyla gri sular için arıtma teknolojilerinin seçimi, bir yerden diğerine farklılık gösterdiği için gri suyun bertarafı veya yeniden kullanılması bu şartlara bağlıdır. Geri kazanılmış gri suyun yeniden kullanımına ilişkin ulusal, uluslararası standartlar ve yönergeler genellikle kullanım ve kalite parametreleri açısından sınırlamalar getirir (Tablo 3). Atık suyun yeniden kullanımı için arıtılmış su kalitesi Tablo 3'de özetlendiği gibi listelenen özellikleri karşılamalıdır.

Tablo 3. Farklı ülkelerde geri kazanılan suyun yeniden kullanımı için ulusal standartlar ve uluslararası yönergeler

Table 3. National standards and international guidelines for the reuse of recovered water in different countries

Ülke/ kurum	BOİ (mgL ⁻¹)	TAKM (mgL ⁻¹)	Bulanıklık (NTU)	pH	Klor kalıntısı (mgL ⁻¹)	Mikroorganizma (CFU 100mL ⁻¹)	Amaç
USAPA ^a	≤ 10	-	≤ 2	6-9	≥ 1	Fekal koliform: tespit edilemedi	Sınırsız kentsel yeniden kullanım
WHO ^b	≤ 10	≤ 10	-	-	-	Isıya dayanıklı koliformlar : ≤ 10	Tuvalet sifonu
Kanada ^c	≤ 20	≤ 20	≤ 5	-	≥ 5	E.coli: ≤ 200 Isıya dayanıklı koliformlar : ≤ 200	Tuvalet ve pisuar yıkama
Almanya ^d	< 5	-	-	-	-	Toplam koliform: < 100 Fekal koliform: < 10 P. Aeruginosa: < 1	Kullanma suyu
Japonya ^e	≤ 20	-	-	5.8-8.6	-	Toplam koliform: < 1000	Tuvalet sifonu
	≤ 20	-	-	5.8-8.6	≥ 0.4	Toplam koliform: < 50	Bahçe sulama
İtalya ^f	≤ 20	≤ 10	-	6.0-9.5	-	E.coli: <10	Genel
Güney Kore ^g	< 10	-	< 2	5.8-8.5	≥ 0.2 mL ⁻¹	E.coli: tespit edilemedi	Tuvalet sifonu
İsrail ^h	< 10	≤ 10	-	-	-	Fekal koliform: < 1	Genel
	< 10	-	< 5	6-9	>1 (30dk sonra) >2 (kullanım noktasında)	Fekal koliform: < 3	Tuvalet sifonu
	< 20	-	< 20	6-9	>1 (30dk sonra) >2 (kullanım noktasında)	Fekal koliform: < 3	Sulama
Çin ⁱ	< 6	-	< 5	6-9	>1 (30dk sonra) >2 (kullanım noktasında)	Fekal koliform: < 3	Yıkama
	< 20	-	< 2	6-9	>1	Fekal koliform: 0100 mL ⁻¹	Her türlü yeşil alan sulaması (parklar, golf sahaları vb.,)
Türkiye ^j	< 30	< 30	-	6-9	>1	Fekal koliform: <200ad100 mL ⁻¹	Meyve bahçeleri, üzüm bağları ve mera sulamaları

^aUSEPA (2012), ^bWHO/UNEP (2006), ^cHealth Canada (2010), ^dNolde (2000), ^eMaeda ve ark., (1996), ^fFountoulakis ve ark., (2016), ^gJong ve ark., (2010), ^hPidou ve ark., (2007), ⁱLi ve ark., (2009b) ve Zhu ve Dou (2018), ^j Türkiye (AATTUT, (2010). TAKM: Toplam Askıda Katı Madde, BOİ; Biyolojik Oksijen İhtiyacı

3. Gri Su Geri Dönüşümü için Arıtma Teknolojileri

Gri suyun arıtılması için evrensel olarak kabul edilmiş belirli bir teknoloji yoktur. Arıtım derecesi, elde edilecek arıtma kalitesine göre kararlaştırılabilir. Gri su arıtımı için, özellikleri, biçimleri, kirlilik yükleri ve arıtma prosedürleri bakımından farklılık gösteren çok sayıda yöntem vardır. Uygun teknolojinin seçimi esas olarak gri suyun hacmine, fiziko-kimyasal ve biyolojik özelliklerine, enerji ihtiyacına ve arıtılmış suyun kullanım amaçlarına (çıkış standartların kabulüne) bağlıdır. Ayrıca kabul edilen gerçek, gri suyun çevre dostu bir teknolojiyle ve kimyasal katkı maddeleri veya toksik yan ürünler olmadan arıtılması

gerektiğidir. İçilebilir olmayan suyun kalite standardını elde etmek için gri su, asılı partiküllerin, yağ ve gresin, bulanıklığın, mikroorganizmaların vb. giderilmesine ihtiyaç duyar. Ayrıca arıtılmış suda uygun pH, BOİ, KOİ seviyelerine ihtiyaç duyar.

Evrensel olarak görülen arıtma yöntemlerinin çoğu, birincil ve ikincil işlemler gibi geleneksel işlemlerden üretilenden daha yüksek gri su kalitesi üretme potansiyeline sahip olabilen sıralı kesikli reaktörler, MBR'ler ve biyolojik olarak havalandırılmış filtrelerdir. Ancak bu yöntemlerin enerji tüketimi ve sermaye maliyeti yüksektir. Bu nedenle, düşük ve orta gelirli veya gelişmekte olan ülkeler için uygun teknikler değildir (Jung ve ark., 2018). Kullanılan sistem, ileri teknoloji kullanmaya gerek kalmadan küçük ölçekte çalışma potansiyeline sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır (Wurochekke ve ark., 2016). Ortaya çıkan gri su arıtma teknolojileri, gri su geri dönüşümü alanında yapılan araştırmaların bir sonucudur. Gri su arıtımında kullanılan teknolojiler arasında fiziksel (ön), kimyasal (birincil), biyolojik (ikincil) ve doğal sistemler veya bunların bir kombinasyonu yer alır (Karnapa, 2016; Albalawneh ve ark., 2017; Manna, 2018). Ham gri suyun arıtılması genellikle bir eleme işlemi ile başlar ve askıda katı maddeleri ve kaba parçacıkları ortadan kaldırmak için çöktürme ile devam eder. Ön arıtılmış gri su daha sonra nihai dezenfeksiyon işlemi gerçekleşmeden önce biyolojik, fiziksel, kimyasal ve/veya kapsamlı arıtma ünitelerinden oluşan ana arıtma tesislerine yönlendirilir. Ön arıtma sistemleri tıkanmayı önlemek için kaba partikül, yağ ve gresin ayrılması için ön işlem olarak kullanılır. Herhangi bir fiziko-kimyasal veya biyolojik arıtma adımından önce ön arıtma adımı takip edilmelidir. Filtrasyon ve dezenfeksiyon yöntemleri, fiziksel/kimyasal gri su arıtma sistemlerinde ağırlıklı olarak kullanılırken, havalandırma ve membran biyoreaktörler (MBR'ler) biyolojik arıtma yöntemleridir. Fiziko-kimyasal ve biyolojik arıtma içme suyu eldesinden farklı amaçlar için kullanılacak arıtılmış suyun kalite standardına ulaşmak için gri suyun arıtılmasında ana arıtma adımlarıdır. Pıhtılaştırma ile çöktürme, ardından filtrasyon ve/veya dezenfeksiyon, açık gri sudaki askıda katı maddeleri, organik maddeleri ve yüzey aktif maddeleri içilemez amaçlarla kullanılmak üzere kabul edilebilir bir düzeye indirebilir. Ana arıttıktan sonra dezenfeksiyon yani arıtılmış suda toplam koliform (TC) ve artık klor (RC) standardını elde etmek için klorlama veya UV arıtımı da gereklidir.

Gri suyun geleneksel yöntemlerle arıtılmasına ilişkin genel bir akış şeması Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Gri suyun geleneksel yöntemlerle arıtılması için akış şeması

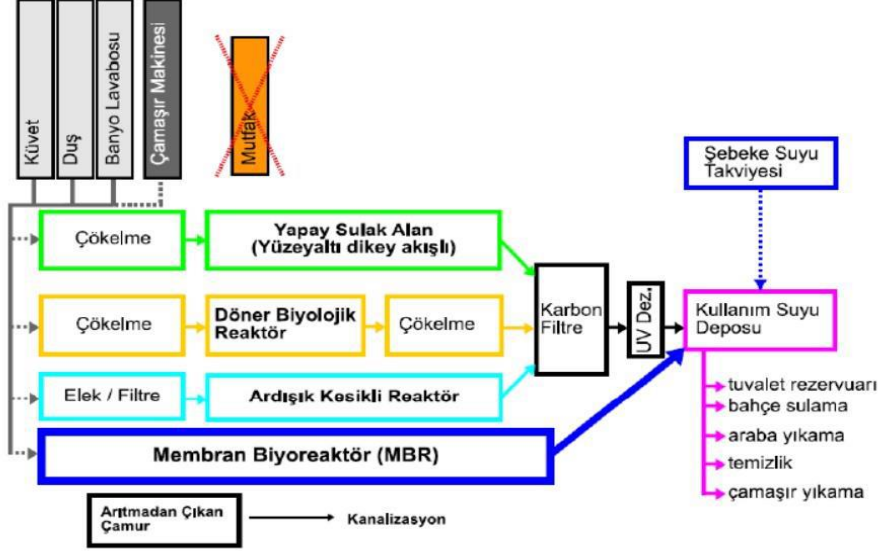
Figure 2. Flow chart for the treatment of gray water by conventional methods

Filtrasyon normalde biyolojik ve kimyasal işlemlere geçmeden önce esas olarak patojenleri ve askıda katı maddeleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için bir ön arıtma işlemi olarak kabul edilir (Katukiza ve ark., 2014; Devikar ve ark., 2021). Özellikle orta ve yüksek

mukavemetli gri su için sadece fiziksel süreçlerin yani sade çöktürme ve filtrasyonun su kalite standartlarını karşılamaya yetmediği görülmektedir. Çünkü bunlar esas olarak ön arıtma aşamalarında olduğu kadar su kalitesinin daha az vurgulandığı uygulamalarda da kullanılır (Li ve ark., 2009b). Daha geleneksel yöntem, kimyasal pıhtılaşma ve ardından filtrasyon ile çöktürmedir. Kombine adımlar, çok ince askıda kalan maddeleri ve mikroorganizmaları büyük ölçüde ortadan kaldırır. Katı partiküllerin dezenfektanlardan (UV, klor) patojen oluşumunu indükleyebileceği, organik partiküllerin ise dezenfektan yan ürünlerinin (kloraminler, trihalometanlar) oluşumunu destekleyebileceği ve dolayısıyla dezenfeksiyon aktivitesini artırabileceği bilinmelidir. İkincil arıtma ise fosfor, nitrat ve ağır metalleri gidererek yüksek kaliteli gri su elde etmeyi amaçlayan bir prosestir. Biyolojik sistemler normalde kaba filtrasyon aşamasından önce ve ayrıca biyokatılları veya çamuru uzaklaştırmak için sedimentasyon/filtreleme aşamasından sonra uygulanır. Ayrıca biyolojik arıtma anaerobik ve aerobik arıtma olarak da sınıflandırılabilir (Khalil ve Liu, 2021). Anaerobik arıtma, kirletici biyobozunmanın son ve önemli aşaması olan yeterli metanojenik aktiviteye ulaşmada yavaş ve verimsiz olabilir. Bununla birlikte, uygun izolasyon ve dezenfeksiyonun gerçekleştirilmesi koşuluyla, anaerobik arıtma en iyi şekilde bir ön arıtma olarak ve ayrıca aerobik arıtma ile birlikte kullanılabilir. Aerobik arıtma, anaerobik arıtma ile karşılaştırıldığında, gri sudaki toksik etkilerin giderilmesinde nispeten daha iyidir (Leal ve ark., 2011b-2012). Biyolojik arıtma prosesleri genellikle havalandırılmalı biyoreaktör ve biyolojik havalandırılmalı filtreleri içerir. Bu proseslerin organikler, nitrojen ve bulanıklık için mükemmel giderim verimlilikleri sağladığı gösterilmiştir (Leal ve ark., 2007). Bununla birlikte bu arıtım modellerinin iyi planlanması gerekir. Aksi takdirde düşük arıtma verimleri gri suyun arıtılması ve geri dönüşümü için önerilen gri su kullanım standartlarını sağlamak açısından bu prosesleri uygunsuz hale getirir (Wu, 2018; Babaei ve ark., 2019). Gri suyu arıtmak için membran biyoreaktör (MBR) (Huelgas ve Funamizu, 2010; Melhem ve ark., 2015; Ding ve ark., 2017; Zhoua ve ark., 2020), membran havalandırılmalı biyofilm reaktörleri (MABR) (Saidi ve ark., 2017; Chrispim ve Nolasco, 2017; Jabri ve ark., 2019), yukarı akışlı anaerobik çamur battaniyesi (UASB) (Elmitwalli ve Otterpohl, 2007), biyolojik havalandırılmalı filtre (Lodge ve ark., 2004), akışkan yataklı reaktör (Nolde, 2000) dönen biyolojik diskler (RBC) (Friedler ve ark., 2005) ve sıralı kesikli reaktör (SBR) (Kraume ve ark., 2010; Mohammadi ve ark., 2017) gibi çeşitli biyolojik sistemler geliştirilmiş ve benimsenmiştir. Bununla birlikte, MBR sistemleri için, daha uzun çalışma sürelerinden sonra meydana gelebilecek ciddi membran biyolojik kirlenmesi, gri su arıtma maliyetini artırabilir. MBR işleminin yanı sıra diğer çoğu biyolojik işlemi, genel maliyeti ve sistem karmaşıklığını artıran, içilebilir olmayan yeniden kullanım yönergelerini karşılamak için tipik olarak bir filtrasyon ve dezenfeksiyon adımı takip eder (Shaikh ve ark., 2019). Kimyasal sistemler, biyolojik arıtmanın ardından son arıtma adımı olarak gri suyun arıtılmasında etkilidir. Kimyasal pıhtılaşma ve elektrokoagülasyon gibi kimyasal arıtma süreçleri de gri su arıtımı için değerlendirilmiştir ve gri su arıtımı için en yaygın kullanılan ön arıtma seçeneklerinden biridir (Melhem ve ark., 2017; Chitra ve Muruganandam, 2020; Sharon, 2020). Bu ön arıtma seçeneği, askıda katı maddeleri, biyolojik olarak parçalanabilen organik maddeleri ve besin maddelerini azaltmayı amaçlar. Bu ön işleme de mikroorganizmaların bir miktar uzaklaştırılmasının sağlanacağı bildirilmiştir (Friedler ve ark., 2008). Pıhtılaştırma ve ardından filtrasyon ve/veya dezenfeksiyon işlemleri gibi kimyasal işlemlerle gri suyun arıtımı ile düşük mukavemetli askıda katı maddeler, organik maddeler ve yüzey aktif maddeler, içilemez kentsel kaynakları karşılamak için arzu edilen bir seviyeye indirebilir (Lin ve ark., 2005). Fotokatalitik oksidasyon (Sanchez ve ark., 2010; Onga ve ark., 2019), manyetik iyon değişim reçinesi (Pidou ve ark., 2008), toz halinde aktif karbon ve gelişmiş oksidasyon süreçleri (Leal ve ark., 2011a), granüler aktif karbon (GAC) kullanılarak adsorpsiyon (García ve ark., 2018; Jawaduddin ve ark., 2019; Sharaf ve ark., 2020; Sharaf

ve Liu, 2021), doğal zeolitler (Widiastuti ve ark., 2011) ve ultraviyole C (UVC)/H₂O₂ (Chin ve ark., 2009; Dubowski ve ark., 2020) gri suyun kimyasal arıtımı ile ilgili literatürdeki başlıca çalışmalardır.

Gri su arıtma teknolojileri genel olarak Şekil 3' te gösterilmiştir.



Şekil 3. Gri su arıtma teknolojileri (Üstün ve Tırpancı, 2015)

Figure 3. Gray water treatment Technologies

Daha yüksek arıtma seviyelerinde, genellikle yukarıda bahsedilen arıtma yöntemlerinin maliyet ve enerji gereksinimleri farklıdır. Bu nedenle, maliyeti düşürmek için gri suyun doğal sistemle arıtılması hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde önem kazanmaktadır. Gri su arıtımında diğer bir yöntem Fitoremediasyon yöntemidir. Fitoremediasyon yöntemi, gri su arıtımında bitkilerin kullanıldığı doğal bir süreçtir. Bitkilerin türü, bu arıtma yönteminin etkinliğinde kilit rol oynar (Prasad ve ark., 2021). Gri suyu iyileştirmek için bir araç olarak bitki özelliklerinden yararlanmak, bitkinin besinlerini almasına fayda sağlar. Çeşitli doğal arıtma önlemleri arasında, düşük işletme ve bakım maliyetleri ve çevre dostu olması nedeniyle fitoremediasyon popülerlik kazanmıştır. Fitoremediasyonun uygun maliyetli, kullanımı ve bakımı kolay, istikrarlı ve sağlam olduğu kanıtlanmıştır (Chandekar ve Godbole, 2015; Arden ve Ma, 2018). Fitoremediasyon tekniği, Fitodegradasyon, Fitofiltrasyon, Fitoelektrostatik, Fitostabilizasyon, Fitovolatilizasyon, Rizodegradasyon olmak üzere 6 temel strateji üzerinde çalışır. Fitoidler, kirleticileri atık sudan çıkarır ve büyümeleri için gerekli olanların bir kısmını kullanır, diğerleri hücre duvarında tutulur ve çözünmez materyal olarak atılır. Diğer kirleticiler, kirleticiler makrofitler tarafından emilir ve makrofitlerin sürgün ve yapraklarında depolanır ve daha sonra atmosfere aktarılır. Bu bitkilerin kökleri, ağır metalleri daha basit forma parçalayan enzimler salgılar. Bu stratejiler, gri suyun özelliklerine bağlı olarak hep birlikte veya bazen teker teker çalışır. (Bute ve ark., 2017).

4. Sonuç

Günümüzde su kaynaklarının korunması için yeniden kullanımı önem kazanmaya başlamıştır. Artan nüfus ile doğru orantılı olarak artan su tüketimi, mevcutta bulunan su rezervlerinin hızlı bir şekilde tüketilmesine sebep olmaktadır. Su kaynaklarının önemi gün

geçtikçe artmaktadır ve alternatif kullanılabilir su kaynakları aranmaktadır. Dolayısıyla sürdürülebilir su kaynakları yönetimi önem kazanmıştır ve yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir. Gri su, tüm dünyada gittikçe artmakta olan bir kavramdır. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Avustralya gri suyun yeniden kullanımı konusunda hassas politikalar geliştiren önemli ülkelerdir ve gri suyu alternatif kaynak olarak görmektedirler.

Gri su, insanlar için yeterli miktarda su sağlamak için yüksek bir geri dönüşüm ve yeniden kullanım potansiyeline sahiptir, ancak uygulamaları hala sınırlıdır. Türkiye’de gri suyun değerlendirilmesi için henüz oluşturulmuş zorunlu bir yasal çerçeve bulunmamaktadır. Türkiye’de gri su geri kazanımının uygun hale getirilmesi ile kişi başına düşen su miktarının dünya ülkelerinin gerisinde olan ülkemiz için yaklaşık %50’ye yakın su tasarruf edilebileceği anlamına gelmektedir. Temel düzeyde yeniden kullanım uygulamalarını artırmak için gri suyun yeniden kullanımına yönelik teknolojilerin, eylemlerin ve stratejilerin ve yasal düzenlemelerin sürekli olarak geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Gri suların kirlilik yüklerinin daha düşük olması, arıtılmalarını hem daha ucuz hem de daha kolay kılmaktadır. Gri suyun yeniden kullanımı, hem fayda hem de maliyet anlamına gelmektedir. Gri suyun kanalizasyon sisteminden ayrılmasıyla atıksu bileşik toplama ağıyla ilişkili maliyetlerden tasarruf edilebilir. Gri suyun sifon suyu veya sulama amacıyla yeniden kullanımı sayesinde su sarfiyatını azaltacağından aylık su ve atıksu bedelleri faturaya daha düşük yansyacaktır. Gri su geri kazanımı, arıtma tipine ve gerekli ekipmana bağlı olarak farklılık gösterir. Gri su arıtım derecesi, elde edilecek arıtma kalitesine göre kararlaştırılabilir. Evsel atık suyun içilebilir kullanım için yeniden kullanımı, üçüncül arıtma dahil olmak üzere daha yüksek derecede arıtma gerektirir. Ancak peyzaj sulama, tarım, tuvalet sifonu ve yeraltı suyu şarjı gibi içilebilir olmayan çeşitli kullanımlar için su kalitesi, pıhtılaşma, filtrasyon ve biyolojik arıtma sistemleri gibi geleneksel ve uygun maliyetli arıtma teknikleri kullanılarak daha kolay elde edilebilir. Bu şekilde, seçilen yöntemde geri kazanım maliyetinin hesaplanması gerekir ve geri kazanım yöntemi ile ilişkili maliyetler ve beklenen tasarruflar dikkate alınarak geri kazanım fonksiyonu ekonomik olarak hesaplanabilir.

5. Kaynaklar

- AATTUT, 2010. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. Resmî Gazete Tarihi: 20.03.2010 Resmî Gazete Sayısı: 27527
- Albalawneh, A., Chang, T.K., 2015. Review of the Greywater and Proposed Greywater Recycling Scheme for Agricultural Irrigation Reuses. *International Journal of Research Granthaalayah*, 3 (12): 16-35. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v3.i12.2015.2882>
- Albalawneh, A., Chang, T.K., Alshawabkeh, H., 2017. Greywater treatment by granular filtration system using volcanic tuff and gravel media. *Water Sci Technol*, 75 (10): 2331–2341. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.102>
- Abed, S.N, Scholz, M., 2016. Chemical simulation of greywater. *Environmental Technology*, 37:1631-1646. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1123301>
- Al-Ghazawi, Z., Qasaimeh, A., Bani-Melhem, K., 2018. Ablution gray water qualitative assessment and treatment by submerged membrane bioreactor: a case study in Jordan. *Desalination and Water Treatment*, 127: 213-221. doi: 10.5004/dwt.2018.22790
- Al-Gheethi, A.A.S., Noman, E.A., Mohamed, R.M.S.R., Talip, B.A., Abdullah, A.H., Kassim, A.H.M., 2019. Reuse of Greywater for Irrigation Purpose. In *Management of Greywater in Developing Countries*. Springer, 87: 73-87. ISBN 978-4-431-56833-9, ISBN 978-4-431-56835-3 (eBook). <https://doi.org/10.1007/978-4-431-56835-3>
- Al-Gheethi, A.A., Radin Mohamed, R.M.S., Efaq, A.N., Amir Hashim, M.K., 2016. Reduction of microbial risk associated with greywater by disinfection processes for irrigation. *J Water Health*, 14 (3): 379–398. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.220>

- Al-Kalbani, M.S., Price, M.F., Ahmed, M., Abahussain, A., O'higgins, T., 2017. Environmental quality assessment of groundwater resources in Al Jabal Al Akhdar, Sultanate of Oman. *Applied Water Science*, 7(7): 3539-3552. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0621-6>
- Arden, S., Ma, X., 2018. Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: A review. *Science of The Total Environment*, 630: 587- 599. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.218>
- Babaei, F., Ehrampoush, M.H., Eslami, H., Ghaneian, M.T., Fallahzadeh, H., Talebi, P., Fard, R.F., Ebrahimi, A.A., 2019. Removal of linear alkylbenzene sulfonate and turbidity from greywater by a hybrid multi-layer slow sand filter microfiltration ultrafiltration system. *Journal of Cleaner Production*, 211: 922-931. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.255>
- Bani-Melhem, K., Al-Qodah, Z., Al-Shannag, M., Qasaimeh, A.M., Qtaishat, R., Alkasrawi, M., 2015. On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system. *Journal of Membrane Science*, 476: 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.11.010>
- Bani-Melhem, K.B., Al-Shannag, M., Al-Rousan, D., Al-Kofahi, S., Al-Qodah, Z., Al-Kilani, M.R., 2017. Impact of soluble COD on grey water treatment by electrocoagulation technique. *Desalination and Water Treatment*, 89:101-110. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21379>
- Boyjoo, Y., Pareek, V.K., Ang, M., 2013. A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Sci Technol*, 67 (7): 1403–1424. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.675>
- Bute, R., Waghmare, E., Sarode, A., Chandekar, A., Sawwalakhe, A. and Bondre, K., 2017. Treatment Of Grey Water Using Technique Of Phytoremediation. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 4(3): 2760-2766. e-ISSN: 2395 -0056 p-ISSN: 2395-0072
- Busgang, A., Friedler, E., Gilboa, Y., Gross, A., 2018. Quantitative Microbial Risk Analysis for Various Bacterial Exposure Scenarios Involving Greywater Reuse for Irrigation. *Water*, 10(4): 1-15. <https://doi.org/10.3390/w10040413>
- Cecconet, D., Callegari, A., Hlavínek, P., Capodaglio, A.G., 2019. Membrane bioreactors for sustainable, fit-for-purpose greywater treatment: a critical review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21:745–762. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01679-z>
- Chandekar, N., Godbole, B., 2015. A Review on Phytoremediation A Sustainable Solution for Treatment of Kitchen Wastewater. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6:1850-1855. ISSN (Online): 2319-7064
- Chin, W.H., Roddick, F.A., Harris, J.L., 2009. Greywater treatment by UVC/H₂O₂. *Water Res*, 43(16):3940-3947. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.06.050>
- Chitra, D., Muruganandam, L., 2020. Performance of Natural Coagulants on Greywater Treatment. *Ingenta Connect*, 13(1): 81-92(12). <https://doi.org/10.2174/2405520412666190911142553>
- Chrispim, M.C., Nolasco, M.A., 2017. Greywater treatment using a moving bed biofilm reactor at a university campus in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142(1):290-296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.162>
- De Gisi, S., Casella, P., Notarnicola, M., Farina, R., 2016. Grey water in buildings: a mini-review of guidelines, technologies and case studies. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 33(1): 35-54. <http://dx.doi.org/10.1080/10286608.2015.1124868>
- Devikar, S., Ansari, K., Waghmare, C., 2021. Solar based hybrid combination of electrocoagulation and filtration process in domestic greywater treatment. *Indian Journal of Science and Technology* 14 (26): 2215-2222. <https://doi.org/10.17485/IJST/v14i26.890>
- Ding, A., Liang, H., Li, G., Szivak, I., Traber, J., Pronk, W., 2017. A low energy gravitydriven membrane bioreactor system for grey water treatment: Permeability and removal performance of organics. *Journal of Membrane Science*, 542:408-417. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.08.037>
- Dubowski, Y., Alfiya, Y., Gilboa, Y., Sabach, S., Friedler, E., 2020. Removal of organic micropollutants from biologically treated greywater using continuous-flow vacuum-UV/UVC photo-reactor. *Environmental Science and Pollution Research*, 27:7578–7587. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07399-7>
- Edwin, G.A., Gopalsamy, P., Muthu, N., 2014, Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review. *Appl. Water Sci.*, 4:39 – 49. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0128-8>
- Elmitwalli T, Otterpohl R, 2007. Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Research*, 41:1379–1387. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.016>
- Eriksson, E., Donner, E., 2009. Metals in greywater: sources, presence and removal efficiencies. *Desalination*, 248(1-3): 271-278. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.065>
- Eslami, H., Ehrampoush, M.H., Falahzadeh, H., Hematabadi, P.T., Khosravi, R., Dalvand, A., Esmaeili, A., Taghavi, M., Ebrahimi, A.A., 2018. Biodegradation and nutrients removal from greywater by an integrated fixed-film activated sludge (IFAS) in different organic loadings rates. *Amb Express*, 8 (3):1-8. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0532-9>

- Fountoulakis, M.S., Markakis, N., Petousi, I., Manios, T., 2016. Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing. *Science of The Total Environment*, 551–552:706-711. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.057>
- Friedler, E., Kovalio, R., Galil, N.I., 2005. On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. *Water Sci. Technol.*, 51(10): 187–194. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0366>
- Friedler, E., Katz, I., Dosoretz, C.G., 2008. Chlorination and coagulation as pretreatments for greywater desalination. *Desalination*, 222(1–3): 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.130>
- García, E.A., Barceló, M.A., Bond, P., Keller, J., Gernjak, W., Radjenovic, J., 2018. Hybrid electrochemical-granular activated carbon system for the treatment of greywater. *Chemical Engineering Journal*, 352: 405-411. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.07.042>
- Ghunmi, L.A., Zeeman, Z., Fayyad, M., van Lier, J.B., 2011. Grey Water Treatment Systems: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(7):657-698. <https://doi.org/10.1080/10643380903048443>
- Halalsheh, M., Dalahmeh, S., Sayed, M., Suleiman, W., Shareef, M., Mansour, M., Safi, M., 2008. Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. *Bioresource Technology*, 99(14): 6635-6641. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.029>
- Health Canada, 2010. ANNUAL REPORT. 2010–2011”, p 178. ISSN: 0842-3202
- Hernández, L., Zeeman, G., Temmink, H., Buisman, J.N., 2011. Grey water treatment concept integrating water and carbon recovery and removal of micropollutants. *Water Practice and Technology*, 6 (2): wpt2011035. <https://doi.org/10.2166/wpt.2011.035>
- Hourlier, F., Masse, A., Jaouen, P., Lakel, A., Gerente, C., Faur, C., Cloirec, P.L., 2010. Formulation of synthetic greywater as an evaluation tool for wastewater recycling Technologies. *Environmental Technology*, 31(2): 215–223. <https://doi.org/10.1080/09593330903431547>
- Huelgas, A., Funamizu, N., 2010. Flat-plate submerged membrane bioreactor for the treatment of higher-load graywater. *Desalination*, 250(1):162-166. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.05.007>
- Huelgas-Orbecido, A., Funamizu, N., 2019. Membrane System for Gray Water. In *Resource-Oriented Agro-sanitation Systems*. Springer, 185-193. ISBN 978-4-431-56833-9, ISBN 978-4-431-56835-3 (eBook). <https://doi.org/10.1007/978-4-431-56835-3>
- Jabri, K.M., Fiedler, T., Saidi, A., Nolde, E., Ogurek, M., Geissen, S.U., Bousselmi, L., 2019. Steady-state modeling of the biodegradation performance of a multistage moving bed biofilm reactor (MBBR) used for on-site greywater treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26:19047–19062. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3984-9>
- Javadinejad, S., Dara, R., Jafary, F., 2020. Gray Water Measurement and Feasibility of Retrieval Using Innovative Technology and Application in Water Resources Management in Isfahan-Iran. *Journal of Geographical Research*, 03(02):11-19. <https://doi.org/10.30564/jgr.v3i2.1997>
- Jawaduddin, M., Memon, S.A., Bheel, N., Ali, F., Nisar, A., Abro, A.W., 2019. Synthetic grey water treatment through FeCl₃-activated carbon obtained from cotton stalks and river sand. *Civil Engineering Journal*, 5(2):340-348.
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., Judd, S., 2004. Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Sci Technol.*, 50 (2): 157–164. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0113>
- Jung, H., Broesicke, O.A., Drew, B., Crittenden, J.C., 2018. Life cycle assessment of small-scale greywater reclamation systems combined with conventional centralized water systems for the city of Atlanta. Georgia. *Journal of Cleaner Production*, 174:333-342. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.193>
- Jong, J., Lee, J., Kim, J., Hyun, K., Hwang, T., Park, J., Choung, Y., 2010. The study of pathogenic microbial communities in graywater using membrane bioreactor. *Desalination*, 250:568–572. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.025>
- Juan, Y.K., Chen, Y., Lin, J.M., 2016. Greywater reuse system design and economic analysis for residential buildings in Taiwan. *Water*, 8(546): 1-11. <https://doi.org/10.3390/w8110546>
- Karnapa, A., 2016. A review on gray water treatment and reuse. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 03(02): 2665 – 2668. e-ISSN: 2395 -0056. p-ISSN: 2395-0072
- Katukiza, A.Y., Ronteltap, M., Niwagaba, C.B., Kansime, F., Lens, P.N.L., 2014. Grey water treatment in urban slums by a filtration system: Optimisation of the filtration medium. *Journal of Environmental Management*, 146: 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.033>
- Khalil, M., Liu, Y., 2021. Greywater biodegradability and biological treatment technologies: A critical review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 161: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105211>
- Kraume, M., Scheumann, R., Baban, A., El Hamouri, B., 2010. Performance of a compact submerged membrane sequencing batch reactor (SM-SBR) for greywater treatment. *Desalination*, 250(3):1011-1013. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.093>

- Leal, L.H., Zeeman, G., Temmink, H., Buisman, C., 2007. Characterisation and biological treatment of greywater. *Water Sci. Technol.*, 56(5):193-200. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.572>
- Leal, L.H., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C.J.N., 2011a. Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon. *Water Research*, 45(9):2887-2896. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.009>
- Leal, L.H., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C.J.N., 2011b. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination*, 270(1-3):111-115. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.11.029>
- Leal, L.H., Soeter, A.M., Kools, S.A.E., Kraak, M.H.S., Parsons, J.R., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C.J.N., 2012. Ecotoxicological assessment of grey water treatment systems with *Daphnia magna* and *Chironomus riparius*. *Water Research*, 46(4):1038-1044. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.079>
- Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R., 2009a. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of The Total Environment*, 407(11):3439-3449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.004>
- Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R., 2009b. Evaluation of appropriate technologies for grey water treatments and reuses. *Water Sci Technol*, 59(2): 249–260. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.854>
- Liberman, N., Shandalov, S., Forgacs, C., Oron, G., Brenner, A., 2016. Use of MBR to sustain active biomass for treatment of low organic load grey water. *Clean Techn Environ Policy*, 18:1219–1224. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1112-4>
- Lin, C.J., Lo, S.L., Kuo, C.Y., Wu, C.H., 2005. Pilot-Scale Electrocoagulation with Bipolar Aluminum Electrodes for On-Site Domestic Greywater Reuse. *Journal Of Environmental Engineering*. 491-495. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2005\)131:3\(491\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:3(491))
- Leong, J.Y.C., Chong, M.N., Poh, P.E., 2018. Assessment of greywater quality and performance of a pilot-scale decentralised hybrid rainwater-greywater system. *Journal of Cleaner Production*, 172: 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.172>
- Lodge, B., Judd, S.J., Smith, A.J., 2004. Characterisation of dead-end ultrafiltration of biotreated domestic wastewater. *Journal of Membrane Science*, 231: 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2003.09.026>
- Maeda, M., Nakada, K., Kawamoto, K., Ikeda, M., 1996. Area-wide use of reclaimed water in Tokyo, Japan. *Water Sci Technol*, 33(10-11):51-57. <https://doi.org/10.2166/wst.1996.0661>
- Maimon, A., Tal, A., Friedler, E., Gross, A., 2010. Safe on-Site Reuse of Greywater for Irrigation-A Critical Review of Current Guidelines. *Environ. Sci. Technol.*, 44:3213–3220. <https://doi.org/10.1021/es902646g>
- Manna, S., 2018. Treatment of Gray Water for Reusing in Non-potable Purpose to Conserve Water in India. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 13(8): 703-716. ISSN 0973-6077
- Mohammadi, M.J., Takdastan, A., Jorfi, S., Neisi, A., Farhadi, M., Yari, A.R., Dobaradaran, S., Khaniabadi, Y.O., 2017. Electrocoagulation process to Chemical and Biological Oxygen Demand treatment from carwash grey water in Ahvaz megacity, Iran. *Data in Brief*, 11: 634-639. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.03.006>
- Nolde, E., 2000. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, 1(4): 275-284. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00023-6)
- O’Toole, J., Sinclair, M., Malawaraarachchi, M., Hamilton, A., Barker, S.F., Leder, K., 2012. Microbial quality assessment of household greywater. *Water research*, 46: 4301-4313. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.001>
- Oh, K.S., Leong, J.Y.C., Poh, P.E., Chong, M.N., Lau, E.V., 2018. A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 171: 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.267>
- Onga, Z.C., Asadsangabifard, M., Ismail, Z., Tama, J.H., Roushenas, P., 2019. Design of a compact and effective greywater treatment system in Malaysia. *Desalination and Water Treatment*, 146: 141–151. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23631>
- Oron, G., Adel, M., Vered, A., Friedler, E., Halperin, R., Leshem, E., Weinberg, D., 2016. Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects. *Water Research*, 58: 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.032>
- Palmquist, H., Hanæus, J., 2005. Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households. *Science of the Total Environment*, 348:151-163. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.12.052>
- Pidou, M., Memon, F.A., Stephenson, T., Jefferson, B., Jeffrey, P., 2007. Greywater recycling: treatment options and applications. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers -Engineering Sustainability*, 160:119–131. <https://doi.org/10.1680/ensu.2007.160.3.119>

- Pidou, M., Avery, L., Stephenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S.A., Liu, S., Memon, F.A., Jefferson, B., 2008. Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere*, 71: 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.10.046>
- Prasad, R., Sharma, D., Yadav, K.D., Ibrahim, H., 2021. Preliminary study on greywater treatment using water hyacinth. *Applied Water Science*, 11(88): 1-8. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01422-4>
- Prodanovic, V., Hatt, B., McCarthy, D., Zhang, K., Deletic, A., 2018. Green walls for greywater reuse: Understanding the role of media on pollutant removal. *Ecological Engineering*, 102: 625-635. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.045>
- Revitt, D.M., Eriksson, E., Erica Donner, E., 2011. The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads. *Water Research*, 45(4): 1549-1560. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.11.027>
- Saidi, A., Masmoudi, K., Nolde, E., El Amrani, B., Amraoui, F., 2017. Organic matter degradation in a greywater recycling system using a multistage moving bed biofilm reactor (MBBR). *Water Sci. Technol.*, 76 (12): 3328–3339. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.499>
- Sanchez, M., Rivero, M.J., Ortiz, I., 2010. Photocatalytic oxidation of grey water over titanium dioxide suspensions. *Desalination*, 262(1-3):141-146. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.060>
- Santasmassas, C., Rovira, M., Clarens, F., Valderrama, C., 2013. Grey water reclamation by decentralized MBR prototype.» *Resources. Conservation and Recycling*, 72: 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.004>
- Shafiquzzaman, M., Haider, H., AlSaleem, S.S., Ghumman, A.R., Sadiq, R., 2018. Development of Consumer Perception Index for assessing greywater reuse potential in arid environments. *Water SA*, 2018, 44(4): 771-781. <https://doi.org/10.4314/wsa.v44i4.25>
- Shaikh, I.N., Ahammed, M.M., Krishnan, M.P.S., 2019. Chapter 2 -Graywater treatment and reuse, *Sustainable Water and Wastewater Processing*, 19–54. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816170-8.00002-8>
- Sharaf, A., Guo, B., Shoultz, D.C., Ashbolt, N.J., Liu, Y., 2020. Viability of a Single-Stage Unsaturated-Saturated Granular Activated Carbon Biofilter for Greywater Treatment. *Sustainability*, 12(21):1-16. <https://doi.org/10.3390/su12218847>
- Sharaf, A., Liu, Y., 2021. Mechanisms and kinetics of greywater treatment using biologically active granular activated carbon. *Chemosphere*, 263:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128113>
- Sharon, V., 2020. Effect of Greywater Characteristics on its Chemical Coagulation. *International Journal of Engineering Technology and Management Sciences[IJETMS]*, 4(2):pp 1-6. <https://doi.org/10.46647/ijetms.2020.v04i02.001>
- Thomaidi, V., Petousi, I., Kotsia, D., Kalogerakis, N., Fountoulakis, M.S., 2022. Use of green roofs for greywater treatment: Role of substrate, depth, plants, and recirculation. *Science of the Total Environment*, 807(3): pp1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151004>
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2012. Guidelines for Water Reuse. 26:642. doi: EPA/600/R-12/618
- Üstün, G.E., Tirpancı, A., 2015. The Treatment and Reuse of Gray Water. *Uludağ University Journal of Engineering Faculty*, 20(2):119-139 (Gri Suyun Arıtımı ve Yeniden Kullanımı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 20(2):119-139) <https://doi.org/10.17482/uujfe.79618>
- Uddin, S.M.N., Li, Z., Adamowski, J.F., Ulbrich, T., Mang, H.P., Ryndin, R., Norvanchig, J., Lapegue, J., Wriege-Bechthold, A., Cheng, S., 2016. Feasibility of a greenhouse system for household greywater treatment in nomadic-cultured communities in peri-urban Ger areas of Ulaanbaatar, Mongolia: an approach to reduce greywater-borne hazards and vulnerability. *Journal of Cleaner Production*, 114:431-442. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.149>
- World Health Organization (WHO), 2006. Guidelines For The Safe Use Of Wastewater, Excreta And Greywater, 1: 19-30. ISBN 92 4 154682 4 (v. 1)
- Widiastuti, N., Wu, H.W., Ang, H.M., Zhang, D.K., 2011. Removal of ammonium from greywater using natural zeolite. *Desalination*, 277(1-3):15-23. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.030>
- Winward, G.P., Avery, L.M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., Jefferson, B., 2008. A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. *Ecological engineering*, 32(2):187-197. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.11.001>
- Wu, B., 2018. Membrane-based technology in greywater reclamation: a review. *Science of The Total Environment* 656: 184-200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.347>
- Wurochekke, A.A., Mohamed, R.M.S., Al-Gheethi, A.A., Hauwa Atiku, H., Amir, H.M., Matias-Peralta, H.M., 2016. Household greywater treatment methods using natural materials and their hybrid system. *Journal of Water and Health*, 14(6):914-928. <https://doi.org/10.2166/wh.2016.054>
- Zha, X., Ma, J., Lu, X., 2018. Performance of a coupling device combined energy-efficient rotating biological contactors with anoxic filter for low-strength rural wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 196:1106-1115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.138>

- Zhu, Z., Dou, J., 2018. Current status of reclaimed water in China: an overview. *J Water Reuse Desalin*, 8:293–307. <https://doi.org/10.2166/wrd.2018.070>
- Zhoua, Y., Lia, R., Guo, B., Zhang, L., Zou, X., Xia, S., Liua, Y., 2020. Greywater treatment using an oxygen-based membrane biofilm reactor: Formation of dynamic multifunctional biofilm for organics and nitrogen removal. *Chemical Engineering Journal*, 386: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123989>