

DERLEME MAKALESİ

Sürdürülebilir Yağmur Suyu Hasadı

Muhammed Nimet HAMİDİ¹, Nizamettin HAMİDİ², Onur IŞIK³, Hüseyin GÜVEN⁴, Hale ÖZGÜN⁵, Mustafa Evren ERŞAHİN⁶

Yazışma yazarı:
Muhammed Nimet
HAMİDİ,
hamidim@itu.edu.tr

Referans:
Hamidi, M.N., Hamidi, N., Işık, O.,
Güven, H., Özgün, H. ve Erşahin,
M.E. (2023), Sürdürülebilir Yağmur
Suyu Hasadı, *İTÜ Çevre, İklim ve
Sürdürülebilirlik*, 24(2), 97-110.

Makale Gönderimi: 13 EYLÜL 2023
Online Kabul : 27 EYLÜL 2023
Online Basım : 9 EKİM 2023

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.
ORCID:0000-0002-6609-9977

²Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye.

ORCID: 0000-0003-0244-0264

³İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.
ORCID:0000-0001-5595-9807

⁴İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.
ORCID:0000-0001-6754-0106

⁵İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.
ORCID:0000-0001-8784-8351

⁶İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.
ORCID:0000-0003-1607-0524

Özet

Hızla artan nüfus ve sanayileşme, tatlı su kaynaklarının tükenmesine ve su stresine sebep olmaktadır. Yağmur suyu hasadı (YSH), alternatif bir tatlı su kaynağı olarak değerlendirilmekte ve su stresinin azaltılması için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yağmur suyu kalitesine etki eden faktörler, YSH sisteminin bileşenleri (çatı, oluk, ilk sifon, depolama tankı ve arıtma sistemi), toplanan yağmur suyunun kullanım alanları, YSH sistemlerinin maliyeti ve YSH ile ilgili mevzuat değerlendirilmiştir. Yağmur suyu ıslak birikim ve kuru birikim süreçleriyle kirlenmektedir. Ayrıca, çatı ve depolama tankı malzemesi de toplanan yağmur suyu kalitesine etki etmektedir. Çatılardan toplanan yağmur suyunun belirli bir kısmı yağışın ilk dakikalarında ilk sifon sistemi kullanılarak ayrılarak atmosferde ve çatı üzerinde biriken kirleticilerin depolama tankına girişi engellenmektedir. Toplanan yağmur suları tuvalet rezervuarlarında, çamaşır ve araba yıkamada, rekreasyon alanlarında, içme suyunda, bahçe ve peyzaj sulamasında kullanılabilir. Yağmur suyu arıtma ihtiyacı kullanım amacına göre değişmektedir. Yağmur suyu arıtımında basit ızgaralar, elekler, kum filtrasyonu, granüler aktif karbon ve membran filtrasyon; dezenfeksiyonunda ise klor ve ultraviyole (UV) en sık kullanılan yöntemlerdir. YSH sisteminin geri ödeme süresi birim su fiyatına, faiz oranına, YSH'nin ilk yatırım ve işletme maliyetine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Geri ödeme sürelerinin kısaltılması için hükümetler ve yerel yönetimler tarafından teşvik mekanizmaları uygulanmalıdır. Bu derleme makalesinin, YSH sisteminin bileşenleri, maliyeti ve dünya genelindeki mevzuat hakkında bilgi vererek uygulayıcılara ve bilim insanlarına yol gösterici olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yağmur Suyu Hasadı, Çatı, Depolama, Yağmur Suyu Arıtma

Sustainable Rainwater Harvesting

Abstract

Rapid population growth and industrialisation are leading to pollution of water resources. Rainwater harvesting (RWH) is considered as an alternative freshwater source and has a significant potential for reducing water stress. In this study, factors affecting rainwater quality, components of the RWH system (roof, gutter, first flush, storage tank and treatment system), utilisation areas of harvested rainwater, cost and legislation of RWH systems were evaluated. Rainwater is polluted by wet deposition and dry deposition mechanisms. In addition, roof and storage tank material also affect the quality of harvested rainwater. A certain portion of the rainwater collected from the roofs is separated in the first minutes of the rainfall by using the first flush system and the pollutants deposited in the atmosphere and on the roof are prevented from entering the storage tank. Harvested rainwater can be used in toilet reservoirs, laundry and car washing, recreation areas, drinking water, garden and landscape irrigation. The need for rainwater treatment varies according to the intended use. Simple grids, screens, sand filtration, granular activated carbon and membrane filtration are the most commonly used methods for rainwater treatment, while chlorine and ultraviolet (UV) are the most commonly used methods for disinfection. The payback period for RWH systems depend on water prices, interest rate, investment and operational costs of RWH system. Governments and local authorities should implement incentive mechanisms to shorten the payback periods. This review article is expected to provide guidance to practitioners and scientists by providing information on the RWH components, costs and legislation.

Keywords: Rainwater Harvesting, Roof, Storage, Rainwater Treatment

1.Giriş

Hızlı nüfus artışı ve sanayileşme ile beraber su tüketimi her geçen yıl artmaktadır. Birleşmiş Milletler raporuna göre 2022 yılında yaklaşık olarak 8 milyar olan dünya nüfusunun 2050'de 9,7 milyara ve 2100'de 10,4 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (UN, 2022). Birleşmiş Milletler verilerine göre küresel nüfusun yaklaşık %10'unun yüksek seviyede su stresi etkisi altında olduğu belirtilmektedir (UN-Water, 2023). Nüfus artışı ile bölgesel ve küresel düzeyde gıda ve su kaynakları üzerinde ciddi baskı oluşmaktadır (Richards vd., 2021). Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), 2000 yılından bu yana kuraklığın %29 arttığını ve 2022'de 2,3 milyar insanın su kıtlığından etkilendiğini bildirmiştir. Ayrıca 2050 yılına kadar dünya nüfusunun dörtte üçünden fazlasının kuraklıktan etkileneceği (WMO, 2022) ve iklim değişikliğinin büyük olasılıkla sel ve kuraklık olaylarını arttıracığı tahmin edilmektedir (Guerreiro vd., 2018; Cea ve Costabile, 2022). Birleşmiş Milletler 6. Sürdürülebilir Kalkınma Amacı ile (Temiz Su ve Sanitasyon), 2030 yılına kadar tüm dünyanın güvenilir ve erişilebilir içme suyuna eşit bir şekilde ulaşması hedeflenmektedir (UN, 2022). Böylelikle, suyun dünya tarihindeki stratejik önemi gelecekte de artarak devam edecektir.

Kentlerde yaşayan insanların su ihtiyacı genellikle yeraltı su kaynaklarından ve yerüstü su kütlelerinden karşılanmaktadır (Scanlon vd., 2023). Tatlısu kaynaklarına ulaşmada zorluk çeken Suudi Arabistan, İsrail, Birleşik Arap Emirlikleri ve Singapur gibi ekonomisi gelişmiş olan ülkeler deniz suyundan tatlısu elde edebilmektedirler (Zhang vd., 2022a). Ancak deniz suyundan tatlısu elde etmek oldukça maliyetlidir ve söz konusu durumda olumsuz çevresel etki yüksektir (Zapata-Sierra vd., 2021). 1950'den 2020'ye kadar şehirlerde yaşayan insan sayısı 0,8 milyardan 4,4 milyara yükselmiş ve 2050'de 6,7 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (World Bank, 2023). Diğer bir ifadeyle dünya nüfusunun 1950 ve 2020 yılında sırasıyla %29,6'sı ve %56,2'si şehirlerde yaşarken, 2050 yılında bu oranın %68,4 olacağı tahmin edilmektedir (World Bank, 2023). Kırsal alanlardan kentlere göçlerin artışıyla beraber büyük şehirlerde yeraltı su kaynaklarının ve yerüstü tatlısu kaynaklarının yetersiz hale gelmesiyle su krizleri yaşanmaktadır (He vd., 2021). Bu durum alternatif su kaynaklarına duyulan ihtiyacı arttırmaktadır (Bhaga vd., 2020). Yağmur suyu hasadı (YSH), alternatif bir su kaynağı olarak değerlendirilmektedir ve su stresinin azaltılmasında önemli bir potansiyele sahiptir (Morales-Figueroa vd., 2023). YSH, çatılar ve yağmur bahçeleri gibi suyun toplanabileceği alanlardan suyun toplanması, uygun şartlarda depolanması ve daha sonra farklı amaçlar için kullanılması sürecidir (Nandi vd., 2022).

İnsanlığın yerleşik hayata geçmesi ile suyu daha sonra kullanmak üzere depolama ihtiyacı ortaya çıkmıştır. İlk olarak Antik Yunan, Orta Doğu ve Hindistan'da uygulanmaya başlanan yağmur suyu toplama ve depolama uygulamaları milattan önce 4500'lü yıllara kadar uzanmaktadır (Gwenzi vd., 2015). Günümüzde Yunanistan sınırlarında bulunan Minoan ve İndus Vadisi medeniyetleri gelişmiş su yönetimi ve YSH sistemleriyle tarihte önemli bir yer tutmaktadır (Yannopoulos vd., 2017). Roma, Bizans ve Osmanlı imparatorlukları su temini için yağmur suyunu toplayıp sarnıçlarda depolamışlardır. Sarnıçlar yağmur suları ile dere ve pınarlardan su kemerleri ile taşınan suyun depolandığı yapılardır (Mays vd., 2013). Günümüzde

teknolojinin ilerlemesi ve altyapının gelişmesi ile suya erişim eski dönemlere göre daha kolay hale gelmiştir. Ancak artan nüfus ve sanayileşme ile beraber su ihtiyacı da artmıştır. Bu nedenle, YSH uygulamalarının geçmişte olduğu gibi gelecekte de su ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Günümüzde YSH daha gelişmiş tekniklerle uygulanmaktadır. Modern şehirlerde sarnıç ve su kemerlerinin kullanımı oldukça azalmış ve yerini çatı, teras ve yağmur bahçelerine bırakmıştır (Yannopoulos vd., 2017).

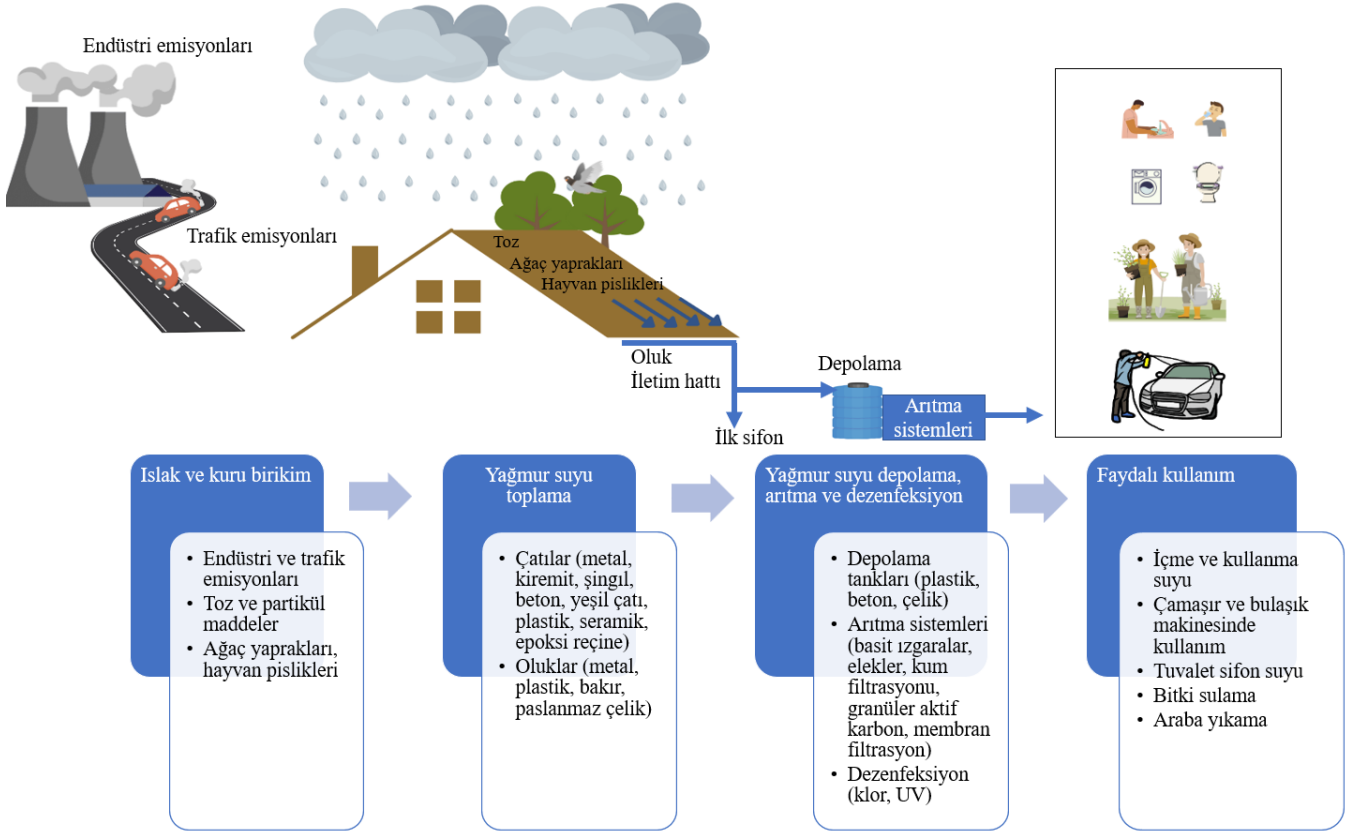
Günümüz kentlerinde çatı ve teras gibi geçirimsiz yüzeylerden toplanan yağmur suları tuvalet sifon suyunda, çamaşır yıkamada, araba yıkamada, rekreasyon alanlarında, bahçe ve peyzaj sulamada kullanılabilir (Campisano vd., 2017; Morales-Figueroa vd., 2023). Ayrıca toplanan yağmur sularının uygun arıtmalardan geçirilmesiyle içme suyu elde etmek mümkündür (Alim vd., 2020). Örneğin, yoğun su stresi altında olan Afrika ülkelerinde yağmur suyu arıtdıktan sonra içme suyu olarak tüketilmektedir (Dobrowsky vd., 2015). Özellikle içme suyu kalitesinde su gerektirmeyen kullanımlarda yağmur suyu kullanılması, şebeke suyu talebine olan baskıyı azaltmak ve su stresiyle mücadele etmek için önemli bir potansiyel teşkil etmektedir (Maniam vd., 2022).

Kentlerdeki yoğun yapılaşma yol ve bina gibi geçirimsiz yüzeylerin artmasına sebep olmakta ve geçirimsiz yüzeylerin artışı da suyun yeterince toprağa sızmasına engel olmaktadır (Xu vd., 2023). Ayrıca, küresel ölçekteki iklim değişikliği yağış rejimlerini de önemli ölçüde etkilemektedir (Guerreiro vd., 2018; Cea ve Costabile, 2022). Küresel sıcaklıktaki artışın atmosferin su buharı tutma kapasitesini artırmasıyla sağanak yağışların sıklığı artmaktadır (IPCC, 2021). Son 20 senede, dünya genelinde yılda ortalama 163 sel felaketi gerçekleşmiş ve yalnızca 2021'de 223 büyük ölçekli sel meydana gelmiştir (Raimondi vd., 2023). Dünya üzerinde sel felaketlerinden dolayı hayatını kaybedenler tüm doğal afetlerde hayatını kaybedenlerin %84'ünü oluşturmaktadır (Jamali vd., 2020). YSH sağanak yağış meydana geldiğinde bir miktar yağışın tutulmasıyla geciktirme etkisi yaratmaktadır. Bu sayede sel, su taşkını ve kanalizasyon taşmalarının meydana gelme ihtimalini azaltmaktadır (Freni vd., 2019). Buna ek olarak, YSH özellikle birleşik kanalizasyon sistemine sahip olan şehirlerde (yağmur suyu ve atıksu için tek hat kullanıldığı), kanalizasyona karışan yağmurun miktarını azaltarak atıksu arıtma tesislerindeki baskıyı azaltmaktadır (Devkota vd., 2015). İklim değişikliğinin diğer bir olumsuz etkisi de kuraklıktır (Mukherjee vd., 2018). Dünyada bazı bölgelerde aşırı yağışlar meydana gelirken diğer bölgelerde kuraklıklar görülmektedir (Mujumdar vd., 2020). YSH ile kurak dönemlerde su talebi karşılanabilmekte ve aşırı yağışlı dönemlerde sel riski azaltılabilmektedir (Gwoździej-Mazur vd., 2022). Kentlerde binaların çatıları kent alanının büyük bir kısmını kaplamaktadır. Bu nedenle yağış sularını tutmada çatıların önemli bir rolü vardır. Kentlerde geçirimsiz yüzeyleri azaltmak için Sünger Şehir kavramı son yıllarda önem kazanmıştır. Sünger Şehir kavramı şehirlerde yüzey akışına geçen suların yönetiminde suyun akışını, miktarını, kalitesini, biyoçeşitliliği ve estetik bir çevre oluşturmayı gözeterek yaklaşımların bütünüdür ifade etmektedir (Tunçay, 2022). YSH ve Sünger Şehir kavramları gelecekte sel riskinin ve su stresinin azaltılmasında önemli araçlar olma potansiyelini taşımaktadır.

YSH uygulamalarında hava kirliliği, atmosferik koşullar, yağış toplama alanının yapısı toplanan yağmur suyu kalitesine etki etmektedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi ıslak ve kuru birikim sebebiyle kirlenen yağmur suyu çatı

yüzeylerinden akarak oluk ve iletim hatlarıyla toplanmakta, yağışın ilk zamanlarında toplanan yağmur suyunun belirli bir kısmı ilk sifonla ayrılmakta, kalan yağmur suyu depoya ve arıtma sistemine aktarılmakta ve bu adımlardan sonra çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bu derleme makalesinde

sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi için yağmur suyu kalitesine etki eden faktörler, YSH sistemlerinin bileşenleri (çatı, oluk, ilk sifon ve depolama tankları), yağmur suyu arıtma sistemleri, hasat edilen suyun kullanım alanları, YSH sistemlerinin maliyeti ve ilgili mevzuatlar değerlendirilmiştir.



Şekil 1. YSH sisteminin bileşenleri ve faydalı kullanım alanları.

2. Yağmur Suyu Kalitesine Etki Eden Faktörler

2.1 Islak Birikim

Islak birikim atmosferdeki çeşitli kirlenmelerin yağmur, kar ve sis gibi hava olaylarıyla çatı ve yol gibi geçirimsiz yüzeylere ulaşması sürecidir (Shi vd., 2021). Saf yağmur suyunun kirlenici içermediği varsayılabilir; ancak havada ve düştüğü yüzeyde çeşitli kirlenmelere maruz kalarak kirlenmektedir (Murphy vd., 2015). Atmosferde bulunan tozlar, partikül maddeler, aerosoller ve gazlar yağmur suyunun kalitesine etki etmektedir (Huston vd., 2011). Yoğun trafik ve endüstrilerin bulunduğu bölgelerde toplanan yağmur sularında katı madde, azot oksitler, sülfat ve ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olması muhtemeldir (Norman vd., 2019). Bu nedenle hava kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde toplanan yağmur suları kullanılmadan önce genellikle arıtmaya ihtiyaç duymaktadır.

Yağmur suyu atmosferdeki karbondioksitten dolayı genellikle hafif asidik karakterdedir ve pH'sı hava kalitesinden büyük ölçüde etkilenmektedir. 25°C sıcaklıkta ve 1 atm basınç altında pH'sı 5,6 civarındadır (Ramaswamy vd., 2017). Sanayi devrimiyle beraber atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonunun artışı yağmur suyunun pH değerinin azalmasına sebep olmaktadır. pH'sı 5,6'dan düşük olan yağmurlar asit yağmuru olarak tanımlanmaktadır (Abbasi vd., 2013). Atmosferdeki SO_x ve NO_x gazlarının artışıyla yağmur suyundaki NO₃⁻ ve SO₄²⁻ anyonlarının konsantrasyonu artmaktadır ve asit yağmurları meydana gelmektedir (Majumdar vd., 2022). Örneğin Çin'de yüksek miktarda fosil

yakıt kullanımı, yoğun trafik ve sanayileşme ile sıklıkla asit yağmurları görülmektedir. Dünya'da asit yağmurlarının sık görüldüğü diğer bölgeler Kuzey Doğu Amerika ve Orta Avrupa'dır (Qu ve Han, 2021). Çöl ikliminin hâkim olduğu bölgelerde tozların etkisiyle yağmur suyu asidik karakterden uzaklaşmaktadır. Alkali kanyonlar (Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, Na⁺ ve K⁺) yağmur suyunun pH'sını arttırmaktadır (Abbasi vd., 2013). Bölgenin coğrafi konumu ve topoğrafik yapısı yağmur suyu kalitesini etkilemektedir (Vieira-Filho vd., 2015). Denize yakın bölgelerde deniz tuzları sebebiyle yağmur suyunda Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının konsantrasyonu artmaktadır (Payus vd., 2020).

2.2 Kuru Birikim

Kuru birikim, atmosferdeki kirlenmelerin zaman içinde rüzgâr ve yerçekimi etkisiyle çatı ve yol gibi geçirimsiz yüzeylerde birikmesi sürecidir. Yağışsız geçen gün sayısı arttıkça kuru birikim artmaktadır. YSH uygulanan yüzeylerde kuru birikimin artışı toplanan yağmur suyunun kalitesinin düşmesine yol açmaktadır (Hamilton vd., 2019). Kuş pislikleri, böcekler, ağaç yaprakları, trafik ve endüstri kaynaklı emisyonlar kuru birikimi arttırmaktadır (Tengan ve Akoto, 2022). Ayrıca, rüzgâr hızının artışı da daha fazla partikül maddenin taşınmasına ve çatılarda birikmesine sebep olmaktadır (Murphy vd., 2015).

Islak ve kuru birikimin yağmur suyu kalitesi üzerinde etki derecesi coğrafyaya ve mevsimlere göre farklılık gösterir. Tablo 1'de verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere farklı koşullarda toplanan yağmur sularının karakterizasyonları farklılık göstermektedir. Huston vd. (2011), yağmur suyu

içerisindeki kirleticilerin %65'inin ıslak birikim kaynaklı olduğunu, %35'inin ise kuru birikimden kaynaklandığını belirtmektedir. Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi için ıslak

ve kuru birikimden kaynaklanan kirleticilerin yağmur suyu kalitesine etkisi göz ardı edilmemelidir.

Tablo 1. Farklı koşullarda toplanan yağmur sularının karakterizasyonu

Yağmur suyu hasadı koşulları	İletkenlik (µS/cm)	Askıda katı madde (AKM) (mg/L)	pH	Bulanıklık (NTU)	Fekal koliform (EMS/100mL)	Kaynaklar
Yağmur suyu pilot ölçekli şingil çatıdan toplanmıştır.	18-57	12-54	6,7-6,9	8-24	9-87	Mendez vd. (2011)
Yağmur suyu pilot ölçekli metal çatıdan toplanmıştır.	9-56	20-87	6-6,8	7-30	1-8	Mendez vd. (2011)
Kırsal alanda 30 derece eğimli kiremit çatıdan yağmur suyu toplanmıştır.	63±31	2,6±2,6	6,75±0,46	-	5-200	Gikas ve Tshrintzis. (2012)
Kırsal alanda düz beton çatıdan toplanan yağmur suyu toplanmıştır.	68±20	1,4±1,0	6,64±0,58	-	0-3	Gikas ve Tshrintzis. (2012)
Pilot ölçekli kiremit çatıdan yağmur suyu toplanmıştır.	15,54	-	5,79	3,2	-	Meera ve Mansoor Ahammed. (2018)
Metal çatıdan ilkbahar aylarında yağmur suyu toplanmıştır.	28,2	-	6,28	6	-	Marszałek ve Dudziak. (2021)
Vietnam'da tam ölçekli metal çatıdan 5 sene boyunca yağmur suyu toplanmıştır.	86,59±14,90	-	6,78±0,38	1,52±0,80	-	Tran vd. (2021)
Vietnam'da tam ölçekli kiremit çatıdan 5 sene boyunca yağmur suyu toplanmıştır.	124,29±46,75	-	6,95±0,39	3,00±1,45	-	Tran vd. (2021)
Gana'da tam ölçekli metal çatıdan ekim ve kasım aylarında yağmur suyu toplanmıştır.	2,82±1,03	-	5,30±0,08	2,13±0,60	424±95	Tengan ve Akoto (2022)

3. Yağmur Suyu Hasadın Sisteminin Bileşenleri

3.1 Çatı ve Oluk Yapıları

Çatılar eğimli yapıları sayesinde YSH sistemlerinde suyun belirli bir yerde toplanmasını sağlamaktadır. Çatı alanı ve eğimi, malzemesinin gözenek yapısı, pürüzlülüğü, yaşı, dayanıklılığı ve maliyeti YSH sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdir. Çatı alanı arttıkça daha fazla yağmur suyu toplanabilmektedir. Ayrıca, pürüzlülük ve gözenek yapısı arttıkça suyun akış katsayısı azalmakta ve çatı üzerinde liken oluşumu artmaktadır (Lee vd., 2012). Pürüzlülük ve gözenek artışı toplanan yağmur suyu kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Özellikle gözenekli yapılarda biriken sularda zaman içerisinde mikrobiyal büyüme ve böceklenme olabilmektedir (Norman vd., 2019). Düz çatıların üzerinde partikül madde birikimi ve liken gibi bitkilerinin oluşumu eğimli çatılarda göre daha fazla olmaktadır (Farreny vd., 2011a). Eğimli çatılarda daha az kirletici birikimi gözlenmesine rağmen bu kirleticilerin yağmur suyuna geçişi daha fazla olabilmektedir. Bu durum, eğimli çatılarda suyun daha hızlı akması çatı yüzeyinde biriken kirleticilerin yağmur suyuna nüfuz etmesi olarak açıklanmaktadır (Farreny vd., 2011a). Eğimli ve pürüzsüz çatılarda düz ve pürüzlü çatılara göre yaklaşık %50 daha fazla yağmur suyu toplanabilmektedir (Farreny vd., 2011a). Bielmyer vd. (2011), çatı alanı ile ağır metal konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmada, çatı alanının artmasıyla birlikte yağmurun çatı yüzeyinden oluğa geçiş süresinin (temas süresi) arttığını ve artan temas süresiyle ağır metallerin yağmur suyuna daha fazla nüfuz ettiğini belirtmektedir. Aynı çalışmada, yağmur suyundaki metal konsantrasyonlarının artışında, temas süresinin akış hızından daha etkili olduğu belirtilmektedir.

Tablo 2'de farklı çatı malzemelerinin yağmur suyu kalitesine olan etkisi üzerinde yapılmış çalışmalara işaret edilmektedir. YSH uygulamalarında en sık kullanılan çatı malzemeleri metal, kiremit, şingil ve betondur. Metal çatılardan toplanan yağmur suyunda patojen bakteri konsantrasyonunun diğer çatı malzemelerinden daha az olduğu belirtilmektedir (Mendez

vd., 2011; Lee vd. (2012). Metal çatılarda daha az mikrobiyal birikim olmasının nedenleri arasında; metal çatıların pürüzsüz ve gözeneksiz yapıya sahip olması, metal yüzeyin güneş ışınlarından dolayı ısınması ve metal yüzeyin ultraviyole ışınlarını yoğunlaştırması olarak açıklanmaktadır (Lee vd., 2012). Metal çatılardan toplanan yağmur suyunda Cu, Al, Fe, Zn ve Pb gibi ağır metaller bulunmaktadır (Gwenzi vd., 2015). Kiremit çatıların pürüzlü ve kıvrımlı yapısı nedeniyle bu çatı tipinden toplanan yağmur suları genellikle fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kirleticiler içermektedir (Farreny vd., 2011a). Yeşil çatılar ise estetik açıdan güzel görünmekte, binanın ısı yalıtımını arttırmakta, yağmuru içinde hapsederek sel ve taşkınlarını azaltmaktadır (Lee vd., 2013). Ancak su kalitesi açısından değerlendirildiğinde, yeşil çatılardan toplanan yağmur sularının diğer çatılara göre daha fazla organik madde, katı madde ve mikrobiyal kirlilik içerdiği belirtilmektedir (Zhang vd., 2014).

Çatı malzemeleri zaman içerisinde aşınmakta ve çatlaklar oluşmakta ve bu durum çatılarda kirletici birikiminin zamanla artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, eski çatılardan toplanan yağmur suyu kalitesi yeni çatılara göre daha düşük olmaktadır (Norman vd., 2019). Eskiyen çatıların bakım ve onarımlarının düzenli yapılması yağmur suyu kalitesi açısından önemlidir (Gwenzi vd., 2015). Çatılardan toplanan yağmur suları oluklara doğru akmaktadır. Oluk, çatıdan toplanan yağmur suyunun tahliyesinde kullanılan ve yağmur suyunu borulara ve depolama tankına aktaran yapıdır. Yağmur suyu toplama olukları zamanla hayvan pislikleri ve ağaç kalıntılarının dolmasıyla tıkanabilir (Sharma vd., 2016). Bu sebeple oluklar yıl içinde belirli aralıklarda temizlenmelidir. Özellikle uzun süre yağışsız dönemlerden sonra olukların temizliği yağmur suyu kalitesi açısından çok önemlidir (Raimondo vd., 2023). Oluklar genellikle galvaniz metal, plastik, bakır veya paslanmaz çelikten üretilmektedir. Metal malzemelerden yapılmış oluklar ve montaj işlemleri için kullanılan çiviler yağmur suyuyla temas ettiklerinde yağmur suyundaki ağır metal konsantrasyonlarını arttırmaktadır (De Busk ve Hunt, 2014). Huston vd. (2012), toplanan yağmur suyundaki kurşunun %79'unun çatı ve oluk malzemesi kaynaklı olduğunu, %21'inin ise atmosferik kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Çatı malzemesi ve tasarımı toplanan yağmur

suyunun kalitesine büyük ölçüde etki etmektedir (Gwenzi vd., 2015). Sürdürülebilir YSH için en uygun malzeme seçimi her bölgede farklılık göstermektedir.

Tablo 2. Literatürde YSH çalışmalarında kullanılan çatı malzemeleri.

Çatı malzemesi	Kaynaklar
Metal	Mendez vd. (2011); Farreny vd. (2011a); Lee vd. (2011); Keithley vd. (2018); Lee vd. (2017); Leong vd. (2017); Marszałek ve Dudziak (2021); Zdeb vd. (2021)
Kiremit	Farreny vd. (2011a); Lee vd. (2012); Gikas ve Tsihrintzis (2012); Leong vd. (2017); Meera ve Mansoor Ahammed (2018)
Şingil	Lee vd. (2011); Mendez vd. (2011); Zhang vd. (2014); Zdeb vd. (2021); Marszałek ve Dudziak (2021)
Beton	Mendez vd. (2011); Lee vd. (2011); Gikas ve Tsihrintzis (2012); Zhang vd. (2014); Keithley vd. (2018); Zdeb vd. (2021)
Yeşil çatı	Mendez vd. (2011); Zhang vd. (2014); Keithley vd. (2018)
Plastik	Farreny vd. (2011a)
Seramik	Zhang vd. (2014); Zdeb vd. (2021)
Epoksi reçine	Zdeb vd. (2021)

3.2 İlk Sifon Uygulaması

İlk sifon uygulaması yağışın ilk dakikalarında kirli olan yağmurun belirli bir kısmını ayırmak ve depolama tanklarına girmesini engellemek için kullanılan bir mekanizmadır (Campisano vd., 2017). Atmosferde biriken kirletici gazların, çatı gibi toplama alanlarında biriken toz, polen, kuş pislikleri, böcek kalıntıları ve yaprak artıklarının ilk sifon sistemiyle ayrılmasıyla yağmur suyunun arıtma maliyeti azalmakta ve yeniden kullanım potansiyeli artmaktadır (Campisano vd., 2017). Literatürde farklı ilk sifon uygulamaları bulunmaktadır (Tablo 3). İlk sifon miktarı çatının boyutuna ve ayrılacak suyun miktarına göre değişkenlik gösterebilir. Yeterince yağmur suyu toplamak ve depoya giren yağmur suyunun kalitesini iyileştirmek için uygun ilk sifon hacminin hesaplanması önemlidir. Yağışsız geçen gün sayısının artışıyla kirlilik birikimi artacağı için bu dönemlerde ilk sifon hacmi daha fazla tutulabilir (Kim vd., 2021).

Tablo 3. Uygulanan ilk sifon miktarları.

İlk sifon miktarı	Kaynaklar
Çatılar kirliyse 2 mm, değilse 1mm yağış	Kus vd. (2010)
80-90 m ² ve 100 m ² çatı alanı için sırasıyla 0.5 mm ve 2 mm yağış	Abbasi ve Abbasi. (2011)
Her 93 m ² toplama alanı için minimum 38 L yağış	Mendez vd. (2011)
İlk 0,11-0,13 mm yağış	Gikas ve Tsihrintzis. (2012)
Toplanan ilk 5 L yağış	Lee vd. (2012)
100 m ² çatı alanı başına yağan yağışın ilk 20 L'si	Rahman vd. (2020)

3.3 Depolama Tankları

Depolama tankından önce ilk sifonun haricinde genellikle yağmur suyundaki kaba malzemeleri ayırmak için ızgara veya elekler kullanılmaktadır. ızgara ve elekler ek olarak kum filtrasyonu, membran filtrasyonu ve aktif karbon gibi daha ileri seviyede arıtma yöntemleri de uygulanabilir. Membran filtrasyonu akısı düşük olduğundan toplanan yağmur suyunu depolama tankına almadan direkt filtrasyondan geçirmek zor olmaktadır. Bu yüzden yağmur suyunu önce depolama tankında toplayıp daha sonra filtrasyondan geçirmek gereklidir (Latif vd., 2022). Yağmur suyu depolama tankları su geçirmez olmalı, toksik olmayan malzemelerden yapılmalı,

böcek girişinin engellenmesi için ağız kapalı olmalıdır (Üstün vd., 2020). Yağmur suyu depolama tankları genellikle plastik, çelik ve beton malzemelerden üretilmektedir (Zhang vd., 2021; Maniam vd., 2022). Plastik tanklar, hafiflik, uzun ömürlülük, taşınabilirlik, uygun maliyet, kolay kurulum ve kolay temizlenebilirlik özellikleri sayesinde yağmur suyu depolama uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Maniam vd., 2022). Beton tanklarda depolanan yağmur suyu betonun yapısından dolayı genellikle asidik karakterini kaybetmektedir ve pH'ı yükselmektedir (Thomas vd., 2018). Çelik tanklarda depolanan yağmur sularında ağır metal konsantrasyonları artmaktadır (Van der Sterren vd., 2013). Hafif asidik karakterdeki yağmur suyu metallerin çözünerek suya geçmesine sebep olmaktadır (Magyar vd., 2014).

Hava sıcaklığı arttıkça depolama tanklarında mikrobiyal çoğalma artmaktadır. Zhang vd. (2020), farklı depolama süreleri ve farklı sıcaklıkların tanklardaki baskın mikroorganizma türlerini değiştirdiğini bildirmişlerdir. Bu yüzden hava sıcaklığının arttığı dönemlerde dezenfektan dozunun artırılması önerilmektedir. Yağmur suyu depolama tanklarında zaman içerisinde biyofilm oluşumu meydana gelmektedir (Li vd., 2022). Biyofilm oluşumu plastik tanklarda, çelik ve metal tanklara kıyasla daha sık meydana gelmektedir. Biyofilm oluşumuyla tank içerisinde mikroorganizma çoğalması artmaktadır (Ezenobi vd., 2018). Yağmur suyu tanklarında ve dağıtım hatlarında biyofilm oluşumu fırsatçı patojen bakterilerin oluşmasına da sebep olmaktadır (Hamilton vd., 2017). Fırsatçı patojenler sağlıklı insanlarda hastalıklara sebep olmayan ancak bağışıklık sistemi zayıf insanlarda, çocuklarda ve yaşlılarda hastalıklara sebep olabilen mikroorganizmalardır (Ahmed vd., 2014). Bu bakımdan yağmur suyu tanklarında biyofilm oluşumunun engellenmesi için tankların bakım ve temizliğinin mutlaka yapılması gerekmektedir (Hamilton vd., 2016). Yağmur suyu depolama tankları güneş ışığına maruz kaldığında tank içerisinde alg büyümesi meydana gelmektedir. Bu sebeple depolama tankları opak malzemelerden yapılmalıdır (Gupta ve Kahre, 2017; Raimando vd., 2023).

Depolama tanklarının optimum boyutları her bölgede farklılık göstermektedir. Yoğun yerleşime sahip kentlerde yağmur suyu deposu için ayrılacak alanlar genellikle sınırlı olduğundan deponun optimum boyutta tasarlanması önemlidir (Imteaz vd., 2022). Yerel yağış verileri, çatı alanı, akış katsayısı, kullanıcı sayısı ve tüketime bakılarak uygun depolama tankı hacmi hesaplanmalıdır (Campisano ve Modica, 2015; Abdulla, 2020). Yıl boyunca düzenli yağış alan bölgelerde tüketici kullanımlarına bakılarak tank hacmi hesaplanabilir. Bu bölgelerde büyük tank hacimlerine ihtiyaç yoktur (Alim vd., 2020). Düzenli yağış beklendiği için yıl boyunca tankın dolup boşalma sıklığı daha fazla olmaktadır. Ancak bazı bölgelerde yılın belirli dönemlerinde fazla yağış olurken belirli dönemleri kurak geçebilir. Yağışlı geçen dönemlerde mümkün olduğunca fazla suyu kurak dönemlerde kullanmak üzere depolamak gerekir. Bu bölgelerde büyük depolama tankları kullanılmalıdır. Optimum yağmur suyu deposu hacmini belirlemek için en az 20 yıllık yağış verileri dikkate alınmalıdır (Khastagir ve Jayasuriya, 2010). Depolama tankı seçiminde optimum tank hacminin belirlenmesinin yanında tank şekli ve rengi gibi estetik kriterler de düşünülmelidir (Haq vd., 2017). Yeraltında görünmeyecek şekilde yerleştirilen yağmur suyu tankları için estetik çok önemli değilken yüzeyde yerleştirilen tanklarda renk ve şekil göze hitap etmesi açısından önemlidir (Lee vd., 2016). Ancak yağmur suyu depolama tankları seçilirken yağmur suyunu güvenli ve temiz bir şekilde depolamak birinci öncelik olmalıdır.

4. Yağmur Suyu Arıtma ve Dezenfeksiyonu

4.1 Arıtma Yöntemleri

Yağmur suyu arıtımında basit ızgaralar, elekler, kum filtrasyonu, granüler aktif karbon ve membran filtrasyonu; dezenfeksiyonunda ise klor ve ultraviyole (UV) dezenfeksiyonu uygulamaları üzerine yapılmış çalışmaların bir kısmı Tablo 4'te verilmektedir. Kum filtresinde kum ve destekleyici çakıl yatakları bulunur. Nispeten düşük maliyetli olup tasarımı ve uygulaması kolaydır. Ancak endüstriyel veya büyük ölçekli uygulamalarda geniş alan gereksinimi nedeniyle ilk yatırım maliyeti yüksektir. Küçük kasaba ve köylerde yüzey suyu arıtımı için yavaş kum filtresi etkili arıtma sağlamaktadır (Latif vd., 2022). Yavaş kum filtresi bulanıklığı yaklaşık %95, mikroorganizmaları %99 oranında giderebilmektedir (Maurya vd., 2020). Brezilya'da bir havalimanında toplanan yağmur suları yavaş kum filtresi ve UV dezenfeksiyon ile arıtılmasıyla şebekeden alınan suya oranla %60 daha ucuz su elde edilmiştir. Aynı zamanda havalimanındaki içme suyu dışındaki su ihtiyacının %70'inin toplanan yağmur suyundan karşılanmaktadır (Neto vd., 2012).

Granüler aktif karbon, adsorpsiyon yoluyla sudaki organik madde, tat ve koku gideriminde uzun yıllardır kullanılmaktadır (Latif vd., 2022). Granüler aktif karbonun yağmur suyunda bulanıklığı %59, *E.koliform*'u %67 ve toplam koliformu %59 oranında giderdiği belirtilmektedir (Naddeo vd., 2013). Yağmur suyu arıtımında membran filtrasyonundan önce granüler aktif karbon kullanarak membran tıkanması azaltılabilir ve kirlenici giderim verimleri artırılabilir (Yu vd., 2021). Granüler aktif karbon, yağmur suyunda sülfat ve doğal organik madde gideriminde ve klorlamadan sonra oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) gideriminde oldukça etkilidir (Köse-Mutlu, 2021; Zhang vd., 2022b).

Membran filtrasyonu su ve atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yağmur suyu arıtımında membran filtrasyonu uygulamaları yaygınlaşmaktadır (Koyuncu vd., 2015; Liu vd., 2021). Membranlar gözenek (por) çaplarına ve basınçlarına göre mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) olarak 4 gruba ayrılmaktadır. Bu membranların por çapları MF'ten TO'ya doğru sırasıyla 0,1-5 µm, 5-100 nm, 1-2 nm, 0,1-0,7 nm ve basınçları 1-3 atm, 2-7 atm, 5-20 atm, 30-50 atm aralıklarındadır (Liu vd., 2021; Cevallos-Mendoza vd., 2022). MF yağmur suyunda askıda katı madde ve bulanıklığı yüksek verimde giderebilirken, patojen ve virüsleri yüksek verimde giderememektedir (Dobrowsky vd., 2015; Fitobór ve Quant, 2021). Katı madde, patojen, virüs ve organik madde giderimi kapasitesi yüksek olan UF membranlar yağmur suyu arıtımında daha sık tercih edilmektedir (Farago vd., 2019; Marszałek ve Dudziak, 2021; Raimondi vd., 2023). Ancak UF membranlar ağır metaller ve iyonları yüksek verimde giderememektedir (Liu vd., 2021). TO, enerji ihtiyacının yüksek olması sebebiyle yağmur suyu arıtımında çok fazla tercih edilmez (Liu vd., 2021). Yağmur suyunun sadece belirli bir hacmi TO ile artırılıp depolama tankına verilebilir. Bir nevi paçallama olarak nitelendirilebilen bu yöntemle kirlenici konsantrasyonları azaltılabilir (Yu vd., 2021). Enerji ihtiyacı yüksek olmasına rağmen yağmur suyundan içme suyu eldesi istenen durumlarda yağmur suyunun ters osmozla arıtılması bir seçenek olarak düşünülebilir (Jiang vd., 2018). Yağmur suyu arıtımında membran filtrasyon tekniklerinin kullanılmasının önündeki en büyük engel membran tıkanması ve enerji maliyetidir (Maniam vd., 2022). Düşük basınçla işletilen gravite sürüçülü membranlar (GSM) bu engellerin aşılması için üzerinde çalışılan bir teknolojidir. GSM 100 milibar ve daha düşük basınçlarda işletilen düz levha membranlardır (Peter-Varbanets vd., 2010; Du vd., 2019). GSM teknolojisinde MF ve UF membranlar kullanılmaktadır (Raimondi vd., 2023).

Düşük işletme maliyeti, karmaşık olmayan yapısı, geri yıkama gerektirmemesi, sürekli sabit akıyla çalışabilmesi, uzun ömürlü olması ve tıkanmaya dirençli olması gibi avantajları GSM teknolojisinin yağmur suyu arıtımında ön plana çıkmasını sağlamaktadır (Peter-Varbanets vd., 2010; Kus vd., 2013; Ding vd., 2017; Ding vd., 2018; Wu vd., 2019; Raimondi vd., 2023).

4.2 Dezenfeksiyon

Yağmur suyu dezenfeksiyonu için en sık kullanılan yöntemler klorlama ve UV dezenfeksiyonudur (Campisano vd., 2017). Klor, maliyetinin az olması ve kolay uygulanabilirliği sebebiyle yağmur suyu dezenfeksiyonunda ön plana çıkmaktadır (Senevirathna vd., 2019; Richards vd., 2021). Klorla dezenfeksiyonun diğer dezenfeksiyon yöntemlerine kıyasla en önemli avantajı bakiye klor bırakmaya imkân tanınmasıdır. Depolama tanklarında ve iletim hatlarında mikroorganizmalar tekrar çoğalabilir ancak suda bakiye klor bulunması bu durumu engellemektedir (Latif vd., 2022). Klor tablet formunda (Neto vd., 2012) veya sıvı formda (Richards vd., 2021) suya ilave edilebilir. Suda bulunan organik ve hümkik maddeler klor ile reaksiyona girerek DYÜ oluşturmaktadır (Liu vd., 2020). Çatılardan toplanan yağmur suyunda bitki kalıntıları ve hayvan pisliklerinden dolayı organik madde bulunabilir (Mendez vd., 2011; Zhang vd., 2014). Toplanan yağmur suyunda klorla dezenfeksiyondan sonra organik maddeler giderilmelidir.

UV dezenfeksiyonu kullanım kolaylığı, DYÜ oluşturmaması, kimyasal depolamaya ihtiyaç duymaması gibi avantajlara sahiptir (Thomos vd., 2014; Senevirathna vd., 2019). Suda bulunan katı maddeler ve suyun bulanıklığı UV dezenfeksiyonunun verimini düşürmektedir. Bu nedenle UV dezenfeksiyonu öncesinde katı maddelerin ve bulanıklığın giderilmesi gerekmektedir (Alim vd., 2021). UV dezenfeksiyonu, yüksek enerji ihtiyacı sebebiyle maliyetli bir sistemdir. Bu nedenle düşük gelirli ülkelerde kullanımı sınırlıdır (Latif vd., 2022). UV dezenfeksiyonu, suda klor gibi bakiye bir dezenfektan bırakmadığı için depolama tanklarında ve iletim hatlarında mikrobiyal çoğalma gerçekleşebilir (Senevirathna vd., 2019). UF membranları ve UV dezenfeksiyonun beraber kullanımı yağmur suyu arıtımında fizikokimyasal ve mikrobiyolojik parametrelerin giderimi açısından oldukça etkili bir prosestir (Marszałek ve Dudziak, 2021). UV dezenfeksiyonda H₂O₂ ve persülfat gibi oksitleyici kimyasallar kullanılarak dezenfeksiyon verimi artırılmaktadır (Farago vd., 2019). Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmada, çatıdan yağmur suyu toplanan ve içme suyu olarak kullanılan evlerin %70'inin UV dezenfeksiyon yöntemini kullandığı bildirilmiştir (Thomas vd., 2014).

5. Yağmur Suyunun Kullanım Alanları

Tarımsal sulama dünyada su tüketiminin yaklaşık %70'ini oluşturur ve artan nüfusla beraber tarımdaki su tüketimi artmaktadır (UN, 2022). Su tüketiminde tarımsal sulamayı endüstriyel ve evsel kullanım takip etmektedir (UN, 2022). Bir konutta tüketilen suyun yaklaşık olarak %80'ini içme suyu dışındaki kullanımlar oluşturmaktadır (Khastagir ve Jayasuriya, 2010). Gelişmişlik düzeyi ve sosyoekonomik yapıya göre evsel su tüketim miktarları değişmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nin tüm eyaletlerini kapsayan bir çalışmada, evsel su tüketiminin %24'ü tuvaletlerde, %20'si duşta, %19'u musluklarda, %17'si çamaşır makinelerinde, %3'ü banyoda, %1'i bulaşık makinelerinde kullanılmaktadır. Geriye kalan %4'ü diğer kullanımlar için harcanırken, %12'lik bir bölüm su kaçaklarını (tuvalet ve musluklarda tesisatın eskimesinden kaynaklı sızıntılar) oluşturmaktadır (DeOreo vd., 2016).

Tablo 4. Yağmur suyu arıtımında yaygın olarak kullanılan arıtma ve dezenfeksiyon yöntemleri.

	Yağmur suyu arıtma ve dezenfeksiyon yöntemleri	Avantajları	Dezavantajları	Kaynaklar
Arıtma yöntemleri	Kum filtrasyonu	-Maliyetinin az olması -Tasarımı ve uygulanması kolay	-Büyük ölçekli uygulamalarda geniş alan gereksinimi	Neto vd. (2012)
	Granüler aktif karbon	-DYÜ, tat, koku, organik madde ve ağır metal gideriminde etkili	-Adsorbsiyon kapasitesinin zamanla azalması	Senevirathna vd. (2019)
	Membran filtrasyon	-Yüksek arıtma verimi	-Yüksek membran fiyatları -Yüksek enerji ihtiyacı -Tıkanma problemi	Liu vd. (2021)
Dezenfeksiyon yöntemleri	Klor	-Maliyetinin az olması -Kolay uygulanabilirliği -Bakiye klor oluşumu	-DYÜ oluşumu -Tat ve koku problemi	Latif vd. (2022)
	UV	-Kolay uygulanabilirliği -DYÜ oluşturmaması -Kimyasal ihtiyacı bulunmaması -Bulanıklığı düşük sulara yüksek dezenfeksiyon verimi	-Bulanık sulara verimin düşmesi -Yüksek enerji ihtiyacı	Latif vd. (2022)
	Solar (güneş ile) dezenfeksiyon	-Maliyetinin az olması	-Bulutlu günlerde ve geceleri güneş ışığının kaybolması sebebiyle dezenfeksiyon veriminin düşmesi	Waso vd. (2020)
	Kaynatma	-Kolay uygulanabilirliği	-Yüksek enerji ihtiyacı	Latif vd. (2022)

Kurak ve yarı kurak bölgelerde yağın yağmurlar tarım alanlarının sulanması için yetersiz kalmaktadır. Şebeke suyunun tarımsal sulama için kullanılması, şebeke sistemine ek bir yük getirmektedir. Kırsal alanlarda tarımsal sulama için tatlısu kaynakları ve kuyular kullanılmaktadır. Yağışlı dönemlerde yağmur suyu toplanıp uygun şekilde depolandıktan sonra yağışsız geçen dönemlerde sulama amaçlı kullanılabilir (Velasco-Munoz vd., 2019).

Çamaşır ve bulaşık makinesinde sert su kullanılması bu makinelerin ömürlerini kısaltmakta ve deterjan tüketimini arttırmaktadır (Struk-Sokołowska vd., 2020). Ayrıca çamaşır ve bulaşık makinesinde sert suyun kullanılması sonucunda bu makinelerin aksamalarında CaCO₃ çökmesi meydana gelmekte ve bu durum makinelere zarar vermektedir (Morales-Pinzón vd., 2014). Yağmur suyu içerisinde kalsiyum ve magnezyum iyonlarının konsantrasyonu düşüktür. Yağmur suyu sertliği genellikle 60 mg CaCO₃/L ve daha düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Vialle vd., 2011; Neto vd., 2012). Yağmur suyu yumuşak olduğu için çamaşır yıkamak için oldukça uygundur (Campisano ve Modica, 2015). Çamaşır yıkamada yağmur suyu kullanmak şebeke suyundan önemli ölçüde tasarruf yaptırma potansiyeline sahiptir (Morales-Pinzón vd., 2014). Toplanan yağmur sularının tuvalet sifonlarında kullanımı da yaygın bir uygulamadır. Sifon için gerekli su hacmi bina veya evlerde yaşayan kişi sayısına bakılarak tahmin edilebilir. Bu gibi kullanımlarda basit bir filtrasyon ve klorlama yeterli olmaktadır (Campisano ve Modica, 2015). Özellikle benzin istasyonları geniş çatı alanına sahip oldukları için toplanan yağmur suları araç yıkamada kullanılmaktadır (da Costa Pacheco vd., 2017). Avrupa'da araba garajı bulunan müstakil evlerde araba yıkamanın su tüketimindeki payı yaklaşık olarak %10'dur (Li vd., 2010). Yağmur suları parklarda rekreasyon amaçlı kullanılmaktadır. Parklarda süs havuzları ve göletler toplanan yağmur sularıyla doldurularak önemli ölçüde su tasarrufu yapılmaktadır (Schuetze ve Chelleri, 2013).

Tablo 5'te geri kazanılan suyun içme suyu dışındaki kullanımlar için standartları yer almaktadır. Yağmur suyunun içme suyu amacıyla kullanılabilmesi için mutlaka uygun arıtma yöntemleri kullanılarak hastalık yapıcı mikroorganizmaların giderilmesi gerekmektedir (Latif vd., 2022). Dünya Sağlık

Örgütü'ne göre içme suyunda toplam koliform ve fekal koliform bulunmamalıdır (WHO, 2017). Yağmur suyunun hafif asidik karakterde olması, ağır metal içermesi ve insan vücudu için gerekli mineralleri yeterince bulundurmaması gibi nedenlerden dolayı içme suyu amacıyla kullanımı sakıncalı olabilir (Alim vd., 2021).

6. YSH'nin maliyeti

YSH sistemlerinin ekonomik olarak avantajlı olup olmadığını değerlendirmek için YSH sisteminin ilk yatırım maliyeti ve işletme-maliyeti hesaplanmaktadır. YSH'de ilk yatırım maliyetinde başlıca kalemler arasında yağmur suyu toplama alanı, su iletim hatları (borulama ve pompa), depolama tankı ve arıtma sistemi bulunmaktadır (Campisano vd., 2017). İşletme maliyeti kalemleri arasında ise yağmur suyu iletim ve arıtmada kullanılan enerji maliyetleri ve bakım maliyetleri yer almaktadır (Farreny vd., 2011b). YSH sistemlerinde maliyet hesabında YSH'nin ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti, birim su fiyatı, YSH kurulacak bölgedeki faiz oranı ve su talebi bilgileri kullanılmaktadır. Bu bilgiler kullanılarak geri ödeme süresi hesaplanmaktadır. Yüksek su birim fiyatı ve düşük faiz oranı bulunan ülkelerde YSH sistemlerinin geri ödeme süresi daha az olmaktadır (Christian-Amos vd., 2016).

YSH sistemlerinin bir binaya veya müstakil bir eve sonradan eklenmesi karmaşık ve maliyetlidir. Bu gibi durumlarda bina tesisatının yeniden planlanması gerekmektedir. Ayrıca arıtma sistemi ve depolama tankı için yeterli alan bulunması gerekmektedir. Bu yüzden YSH sistemlerinin yeni inşa edilen veya tadilat yapılacak binalarda uygulanması mevcut binalara entegre edilmesinden daha az maliyetli olmaktadır (Abdulla, 2020). YSH sistemlerinde depolama tankları ilk yatırım maliyetinin en önemli kısmını oluşturmaktadır (Santos ve Taveira-Pinto; Abdulla vd., 2021; Tran vd., 2021). Depolama tanklarının maliyeti tank malzemesine ve boyutuna bağlıdır. YSH sistemlerinde depolama tankından sonra en önemli maliyet kalemini arıtma maliyeti oluşturmaktadır. Yağmur suyu arıtma sisteminin maliyeti genellikle, arıtma işleminin ne kadar gelişmiş olduğuyula doğru orantılıdır (Tran vd., 2021).

Tablo 5. Geri kazanılan suyun içme suyu dışındaki kullanımlar için standartları (do Couto vd., 2015'ten uyarlanmıştır).

Geri kullanım türü	pH	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Fekal koliform (EMS/100mL)	Bakiye klor (mg/L)	Kaynaklar
Kentsel kullanım: Peyzaj sulama suyu, tuvalet sifon suyu, yangın suyu	6-9	≤10	-	≤2	0	1	EPA (2012)
İnşaat ve toz kontrolünde kullanım	6-9	≤30	≤30	-	≤200	1	EPA (2012)
Tarımsal sulama: ticari olarak işlenmeyen gıda bitkileri (yüzey ve spreysel sulama)	6-9	≤10	-	≤2	0	1	EPA (2012)
Halkın erişiminin kısıtlı olduğu alanlarda ve çim çiftliklerinde sulama	-	≤30	≤30	-	<200	1	EPA (2012)
Araba yıkama	5-9,5	-	-	<10	1000	<2	UK Çevre Ajansı (2011)
Tuvalet sifon suyu	5-9,5	-	-	<10	1000	<0,5	UK Çevre Ajansı (2011)
Bahçe sulama	5-9,5	-	-	-	10	<2	UK Çevre Ajansı (2011)
Çamaşır makinesi	5-9,5	-	-	<10	<1	2	UK Çevre Ajansı (2011)
Tuvalet sifon suyu	-	≤20	≤20	-	<1	2	Yeni Zelanda Sağlık Bakanlığı (2002)
Tuvalet sifon suyu	-	≤20	≤20	<5	<200	>0,5	Kanada Sağlık Bakanlığı (2010)
Araba yıkama	6-9	-	-	<5	<200	0,5-1,5	Brezilya NBR13969 Standartı (2019)

YSH sistemlerinin finansal uygulanabilirliğini ve geri ödeme süresini değerlendiren birçok çalışma bulunmaktadır. Bölgeden bölgeye su tarifesi, suya olan talep, su kaynaklarının mevcut durumu ve yağış periyotları farklılık göstermektedir. Bu nedenle YSH sistemlerinin ekonomik olarak avantajlı olup olmadığı ve geri ödeme süreleri her bölgede farklı olmaktadır (de Sá Silva vd., 2022). Geri ödeme süresi, kurulum maliyeti ve işletme maliyeti ile sistemden elde edilen tasarruflar arasındaki dengeyi gösterir. Geri ödeme süresi ilk yatırım maliyeti ve su fiyatlandırmasına bağlıdır (Campisano vd., 2017). Örneğin, Güney Afrika'da, yarı kurak bir ülke olmasına rağmen, su tarifeleri düşük olduğu için YSH ekonomik olarak uygun değildir (Wanjiru ve Xia, 2018). Domènech ve Saurí (2011), Barselona'da (İspanya) müstakil evler ve çok katlı binalar için YSH sisteminin verimliliğini inceledikleri çalışmada müstakil evlerde ve çok katlı binalarda sırasıyla geri ödeme süresinin tank boyutuna bağlı olarak 33-43 ve 20-29 yıl arasında olduğunu belirtmişlerdir. Meksika'da bir şirkette çatıdan toplanan yağmur suları polietilen tankta depolandıktan sonra kum filtresi ile arıtılarak şirketin tüm ihtiyacı karşılanmıştır. Bu uygulamada geri ödeme süresi 5 yıl olarak hesaplanmıştır (Lopez-Zavala vd., 2018). Brezilya'nın 5 şehrinde YSH ekonomik fizibilite yapılmıştır. Bu çalışmada geri ödeme süresinin 1,5-10 yıl arasında değiştiği ve artan su talebiyle geri ödeme süresinin azaldığı belirtilmektedir (Ghisi vd., 2018).

Yağışın yetersiz olduğu durumlarda ve evsel su ihtiyacının tamamı yağmur suyundan karşılamak istendiğinde yağmur suyu yetersiz kalabilmektedir. Bu sebeple YSH sistemleri şebeke suyuna ek olarak kullanılan bir su kaynağı görülebilir. İçme suyu kalitesi gerektirmeyen kullanımlar için toplanan yağmur suyunun ileri arıtma sistemleriyle arıtılmasına çoğu zaman ihtiyaç yoktur. Tuvalet sifon suyunda, bahçe sulamada, araba yıkamada ve çamaşır yıkamada yağmur suyunun kullanılmasıyla su faturaları azaltılabilir (Rahman vd., 2014). Karim vd. (2015), Dhaka (Bangladeş) şehrinde konut binalarında 140 m²'lik bir çatı boyutunda %10 ila %24 arasında içme suyu tasarrufu sağlanabileceği belirtmişlerdir. Rahman vd. (2014), Dhaka şehri için YSH sisteminin sürdürülebilirliğini değerlendirdiği çalışmada 170 m² çatı

alanına sahip bir binadan yılda %11 su tasarrufu yapılabileceğini belirtmişlerdir. Bashar vd. (2018), Bangladeş'teki büyük şehirlerde kentsel YSH'nin konut binalarında yıllık %30 ile %40 arasında içme suyundan tasarruf potansiyeli sağladığını belirlemektedir. Aynı çalışmada geri ödeme süresinin 2-6 yıl arasında olduğu hesaplanmıştır. Brezilya'daki Imbituba kentinde YSH sisteminin ekonomik fizibilitesi üzerine yapılan bir çalışmada, çatı alanı, kullanıcı sayısı ve su taleplerine göre 108 adet senaryo oluşturulmuş ve senaryoların %57,4'ünde YSH'nin ekonomik olarak fizibil olduğu görülmüştür (Freitas ve Ghisi, 2020). Aynı çalışmada geri ödeme süreleri 9,3 ile 19,7 yıl arasında değişmektedir.

Gelişmiş ülkelerde yapılan araştırmaların çoğu, YSH sisteminden elde edilen suyun, şebeke su fiyatından daha pahalı olduğunu belirtmektedir (Christian-Amos vd., 2016). Uzun geri ödeme süreleri YSH sistemlerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Kullanıcılar genellikle kısa vadede karlı görmekdikleri için YSH sistemlerine sıcak bakmamaktadır (Campisano vd., 2017). Bu bakımdan yerel yönetimler ve hükümetler teşvikler ve indirimlerle YSH kullanıcılarına destek olmalıdır (Şahin ve Manioğlu, 2019).

YSH sistemlerinde suyu depolama tanklarından son kullanıcıya iletmek için pompaj gereklidir ve bu işlemde enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Ancak merkezi su temini sistemlerinde de suyu arıtma tesislerinden kente iletmek için oldukça büyük pompalar kullanılır ve bu pompaların enerji tüketimi oldukça fazladır. Hükümet ve yerel yönetimlerin desteğiyle şehirlerin uygun yerlerinde uygun tasarlanmış YSH sistemlerinin kurulmasıyla ana şebekeden sağlanan su miktarı azaltılabilir. Bu konuda tüm kenti kapsayan ekonomik fizibilite çalışmaları yapılarak uzun vadeli yatırımlar üzerine çalışılmalıdır (de Sá Silva vd., 2022).

7. Ulusal ve Uluslararası Mevzuat

YSH sistemlerinin tasarımı ve uygulanmasına ilişkin ulusal ve uluslararası mevzuatlar bulunmaktadır. Türkiye'de YSH ile ilgili 23 Haziran 2017 tarihinde ve 30105 sayılı Resmî Gazete'de "Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj

Sistemleri Hakkında Yönetmelik” yayımlanmıştır. Bu yönetmeliğin 16. maddesinde, “Park, bahçe ve bina çatı yüzeylerine düşen yağmursuyu sahada toplanabilir ve evlerde, işyerlerinde ve bahçelerde kullanma suyu, yangın suyu veya ticari sulama suyu olarak umuma mahsus su dağıtım ve temin sistemlerine bir alternatif olarak kullanılabilir.” ifadesi yer almaktadır. Ayrıca ilgili yönetmeliğin EK1 bölümünde YSH sistemlerinin tasarımı hakkında bilgi verilmektedir (ÇŞB, 2017). Türkiye’de 2021 yılında güncellenen “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği” adlı yönetmelikte, “2000 m²’den büyük parsellerde yapılacak yapıların mekanik tesisat projelerinin; çatı yüzeyinden toplanacak yağmur sularının gerekmesi halinde filtre edilerek bir tankta toplanması ve bina tuvalet sifonlarında kullanılması amacıyla yağmur suyu toplama sistemi içermesi zorunludur” ifadesi bulunmaktadır. Ayrıca İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi’nin (İSKİ) 2020’de yayımladığı “Yağmur Suyu Hasadı ve Gri Sudan Elde Edilen Geri Kazanım Suyuna İlişkin Hususlar” adlı dökümanda YSH sistemlerinde kullanılan yağmur suyu depolama tanklarının hacminin hesaplanmasına yönelik detaylı bilgiler bulunmaktadır (İSKİ, 2020).

ABD, Avrupa Birliği ülkeleri, Birleşik Krallık, Avustralya, Brezilya, YSH ile ilgili detaylı mevzuatlara sahip ülkeler arasındadır (da Costa Pacheco vd., 2017). YSH ile ilgili mevzuatların içeriği bölgeden bölgeye değişkenlik göstermektedir. ABD’de tüm eyaletlerde YSH yasaldir; ancak sadece 18 eyalette YSH uygulamalarında teşvik edici mevzuatlar bulunmaktadır. Örneğin bu eyaletlerden Rhode Island, Teksas ve Virginia’da, YSH için satın alınan ekipmanlara vergi indirimi veya muafiyet sunularak YSH teşvik edilmektedir (Eslamian ve Eslamian, 2021). Avrupa Birliği tarafından yayımlanan “EN 16491 2018” standardında, içilemez kullanımlar için YSH sistemlerinin tasarımı, boyutlandırılması, kurulumu, devreye alınması ve bakımında uyulması gereken kurallar belirtilmektedir. Birleşik Krallık’ta BS 8515:2009+A1:2013 – “Rainwater Harvesting Systems-Code of Practice” standardı ve BS 8595:2013 – “Code of Practice for the Selection of Water Reuse Systems” standardı, YSH sistemlerinin tasarımların dair kılavuzlar içermektedir (BSI, 2013). %70’i kurak bir ülke olan Avustralya’da YSH uygulamaları oldukça yaygındır (Eroksuz ve Rahnan, 2010). Avustralya’da 2004 yılında YSH uygulamalarına rehber olması amacıyla “Guidance on use of rainwater tanks” adlı doküman yayımlanmış ve bu doküman 2010’da güncellenmiştir (enHealth, 2010). Brezilya’da NBR 15527 (ABNT, 2019) standardı, içilemez kullanımlar için binaların çatısında YSH sistemlerine yönelik tavsiyeler içermektedir.

8. Sonuç ve Öneriler

YSH uygulamalarının gelecekte su ihtiyacını karşılamada önemli bir yer tutması beklenmektedir. Kentlerde YSH uygulamalarında toplanan su hacmi ve su kalitesi açısından çatılar önem teşkil etmektedir. Çatıların malzemesi, pürüzlülüğü, gözenek yapısı, alanı ve eğimi YSH sistemi tasarımında mutlaka dikkate alınmalıdır. Çatı malzemelerin yağmur suyu kalitesine etkisi üzerine daha fazla araştırma yapılmalıdır. Malzemesinin fiyatı, bulunabilirliği, bakım ve onarım kolaylığı ve yaşam döngüsü çatı malzemesi seçiminde değerlendirilmelidir. Atmosferik koşullar ve hava kirliliği de yağmur suyu kalitesine etki etmektedir. Dünya üzerinde farklı bölgeler farklı hava kalitesi değerlerine sahiptir. Örneğin Çin’in büyük kentlerinde yoğun trafik ve endüstrilerden dolayı hava kirliliği kritik seviyelerdir. Bu bakımdan YSH ve hava kirliliği beraber düşünülmeli ve arıtma sistemlerinin tasarımında hava kalitesine bakılmalıdır. Yağmur suyunun ev içinde tuvalet rezervuarlarında, çamaşır yıkamada, bulaşık yıkamada ve ev dışında bahçe sulanmasında, araba yıkamasında kullanılmasıyla önemli ölçüde su tasarrufu yapılabilir. Her bir kullanım amacı için gereken su hacmi hesaplanmalı ve kullanım amacına uygun gerekli su kalitesinin sağlandığından

emin olunmalıdır.

Araştırmalarda YSH sistemlerinin geri ödeme süreleri ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. YSH uygulamalarında geri ödeme süresi kısaltılması için optimum depolama tankı hacmi, ihtiyaca yönelik uygun arıtma sistemi seçimi, seçilen arıtma sisteminin optimum işletme koşulları üzerine araştırmalar yapılması gereklidir. YSH uygulanmasına karar verirken ekonomik faktörlerin yanında taşkınların önlenmesi, suya erişimin sağlanması, su kaynaklarının korunması gibi faydaların da düşünülmesi gereklidir.

Halkın YSH uygulamalarına yönelmesi için maddi teşvikler artırılmalıdır. Mevzuatlarda YSH ile ilgili uygulayıcıları yönlendiren detaylı bilgiler yer almalıdır. YSH ile ilgili yerel ölçekte yayımlanmış birçok rapor ve makale bulunmaktadır. Ayrıca YSH sistemlerinin uygulanmasıyla ilgili ülkelere özel mevzuat bulunmaktadır. Ancak bu mevzuatların bilimsel veriler ışığında güncellenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Toplumun yağmur suyunu kullanmaya yönelik bakış açısı YSH’nin uygulanması konusunda önemli bir etkiye sahiptir. Afrika ülkeleri gibi su kıtlığı bulunan ülkelerde yağmur suyunun içme suyu amacıyla ve içme dışı amaçlar için kullanımı zorunluluk iken, suya erişimin daha kolay olduğu ülkelerde yağmur suyu kullanımı halk tarafından kolay kabul görmemektedir. Ancak gelecekte artan nüfus ve sanayileşmeyle çoğu ülkenin su stresi problemiyle karşılaşacağı öngörülmektedir. Bu sebeple toplumun su geri kazanımına ve yağmur suyu hasadına olan bakışı üzerine araştırmaların sayısı artırılmalıdır. Toplanan yağmur suyunun ihtiyaca göre artıldıktan sonra kullanımının güvenli olduğuna dair çalışmalar medya aracılığıyla halka anlatılmalıdır. Ayrıca su stresi ve suyun kullanımı konusunda medya yoluyla halk bilinçlendirilmedi. Gelecek nesillerin su konusunda bilinçlenmesi için üniversite öncesi eğitimde suyun önemi ve su geri kazanımı üzerindeki ders içerikleri artırılmalıdır.

Günümüzde birçok sektörde kullanılan yapay zekâ uygulamalarının YSH sistemlerinde de kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Toplanacak yağmur suyu hacmini meteorolojik tahminlerden hesaplayan, yağmur suyu kalitesini ıslak ve kuru birikimi esas alarak tahmin eden ve bu bilgileri kullanarak ilk sifon, depolama, arıtma koşullarını optimize eden sistemler üzerine araştırmalar yapılmalıdır. YSH sistemlerinin otonom hale gelmesiyle kalifiye eleman ihtiyacının azalması beklenmektedir.

Kentlerde YSH yoğun yağış alan bölgelerde sel felaketi riskini azaltma, su kıtlığı yaşanan bölgelerde ise kuraklık sorununa çözüm olma potansiyeli taşımaktadır. YSH uygulamalarında atmosferik koşullar, yağış toplama alanı, depolama tankları, arıtma sistemleri ve iletim hatları bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalı ve optimum sistem tasarımı yapılmalıdır. YSH bileşenlerinin seçiminde çok kriterli karar verme algoritmaları kullanılması yararlı olabilir. YSH sistemi tasarımında yağmur suyunun kalitesi, ekonomik fizibilite ve çevresel faydalar birlikte düşünülmelidir.

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9. Kaynaklar

Abbasi, T., and Abbasi, S. A. (2011). Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(23), 2097-2167.

Abbasi, T., Poornima, P., Kannadasan, T., and Abbasi, S. A.

- (2013). Acid rain: past, present, and future. *International Journal of Environmental Engineering*, 5(3), 229-272.
- Abdulla, F. (2020). Rainwater harvesting in Jordan: potential water saving, optimal tank sizing and economic analysis. *Urban Water Journal*, 17(5), 446-456.
- Abdulla, F., Abdulla, C., and Eslamian, S. (2021). Concept and technology of rainwater harvesting. *Handbook of water harvesting and conservation: basic concepts and fundamentals*, 1-16.
- ABNT. (2019). NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - Requisitos. Brasil.
- Ahmed, W., Brandes, H., Gyawali, P., Sidhu, J. P. S., and Toze, S. (2014). Opportunistic pathogens in roof-captured rainwater samples, determined using quantitative PCR. *Water Research*, 53, 361-369.
- Alim, M. A., Ashraf, A. A., Rahman, A., Tao, Z., Roy, R., Khan, M. M., and Shirin, S. (2021). Experimental investigation of an integrated rainwater harvesting unit for drinking water production at the household level. *Journal of Water Process Engineering*, 44, 102318.
- Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., and Shirin, S. (2020). Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales, Australia. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122437.
- Bashar, M. Z. I., Karim, M. R., and Imteaz, M. A. (2018). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: A comparative study within six major cities of Bangladesh. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 146-154.
- Bhaga, T. D., Dube, T., Shekede, M. D., and Shoko, C. (2020). Impacts of climate variability and drought on surface water resources in Sub-Saharan Africa using remote sensing: A review. *Remote Sensing*, 12(24), 4184.
- Bielmyer, G. K., Arnold, W. R., Tomasso, J. R., Isely, J. J., and Klaine, S. J. (2012). Effects of roof and rainwater characteristics on copper concentrations in roof runoff. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 2797-2804.
- BSI, B. (2013). 8515: 2009+ A1: 2013 Rainwater Harvesting Systems-Code of Practice. BSI, London.
- Campisano, A., and Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63, 9-16.
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L. N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., and Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water research*, 115, 195-209.
- Cea, L., and Costabile, P. (2022). Flood risk in urban areas: modelling, management and adaptation to climate change. A review. *Hydrology*, 9(3), 50.
- Cevallos-Mendoza, J., Amorim, C. G., Rodríguez-Díaz, J. M., and Montenegro, M. D. C. B. (2022). Removal of contaminants from water by membrane filtration: a review. *Membranes*, 12(6), 570.
- Christian Amos, C., Rahman, A., and Mwangi Gathenya, J. (2016). Economic analysis and feasibility of rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: A review of the global situation with a special focus on Australia and Kenya. *Water*, 8(4), 149.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170623-8.htm>
- da Costa Pacheco, P. R., Gómez, Y. D., de Oliveira, I. F., & Teixeira, L. C. G. (2017). A view of the legislative scenario for rainwater harvesting in Brazil. *Journal of cleaner production*, 141, 290-294.
- de Sá Silva, A. C. R., Bimbato, A. M., Balestieri, J. A. P., and Vilanova, M. R. N. (2022). Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103475.
- DeBusk, K., and Hunt, W. (2014). Rainwater harvesting: A comprehensive review of literature. 11-12-W.
- DeOreo, W. B., Mayer, P. W., Dziegielewski, B., and Kiefer, J. (2016). Residential end uses of water, version 2. Water Research Foundation. Water Research Foundation (WRF).
- Devkota, J., Schlachter, H., and Apul, D. (2015). Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation. *Journal of cleaner Production*, 95, 311-321.
- Ding, A., Wang, J., Lin, D., Tang, X., Cheng, X., Wang, H., Bai, L., Li, G., and Liang, H. (2017). A low pressure gravity-driven membrane filtration (GDM) system for rainwater recycling: Flux stabilization and removal performance. *Chemosphere*, 172, 21-28.
- Ding, A., Wang, J., Lin, D., Zeng, R., Yu, S., Gan, Z., Ren, N., Li, G., and Liang, H. (2018). Effects of GAC layer on the performance of gravity-driven membrane filtration (GDM) system for rainwater recycling. *Chemosphere*, 191, 253-261.
- do Couto, E. D. A., Calijuri, M. L., Assemany, P. P., da Fonseca Santiago, A., & Lopes, L. S. (2015). Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative. *Journal of Cleaner Production*, 106, 372-379.
- Dobrowsky, P. H., Lombard, M., Cloete, W. J., Saayman, M., Cloete, T. E., Carstens, M., Khan, S., and Khan, W. (2015). Efficiency of microfiltration systems for the removal of bacterial and viral contaminants from surface and rainwater. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226, 1-14.
- Domènech, L., and Saurí, D. (2011). A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner production*, 19(6-7), 598-608.
- Du, X., Xu, J., Mo, Z., Luo, Y., Su, J., Nie, J., Wang, Z., Liu, L., and Liang, H. (2019). The performance of gravity-driven membrane (GDM) filtration for roofing rainwater reuse: Implications of roofing rainwater energy and

- rainwater purification. *Science of the Total Environment*, 697, 134187.
- enHealth (2010). *Guidance on Use of Rainwater Tanks*. Australia: Commonwealth Copyright Administration.
- EN 16491 (2018). *European Standard EN 16941: On-Site Non-potable Water Systems - Part 1: Systems for the Use of Rainwater*. Brussels, Belgium: British Standards Institution.
- EPA. (2012). *Guidelines for water reuse*. EPA/600/R-12/618. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- Eroksuz, E., & Rahman, A. (2010). Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1449-1452.
- Eslamian, S., & Eslamian, F. (2021). *Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals*.
- Ezenobi, N. O., Ogbu, H. I., and Eneogwe, N. C. (2018). Microbiological assessment of biofilm formation on different water storage containers. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 5(3), 115-123.
- Faragò, M., Brudler, S., Godskesen, B., and Rygaard, M. (2019). An eco-efficiency evaluation of community-scale rainwater and stormwater harvesting in Aarhus, Denmark. *Journal of Cleaner Production*, 219, 601-612.
- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall, J., and Gabarrell, X. (2011a). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water research*, 45(10), 3245-3254.
- Farreny, R., Gabarrell, X., & Rieradevall, J. (2011b). Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(7), 686-694.
- Fitobór, K., and Quant, B. (2021). Is the microfiltration process suitable as a method of removing suspended solids from rainwater? *Resources*, 10(3), 21.
- Freitas, D. A., and Ghisi, E. (2020). Economic feasibility analysis of rainwater harvesting: a case study in Imituba, Brazil. *Urban Water Journal*, 17(10), 905-911.
- Freni, G., and Liuzzo, L. (2019). Effectiveness of rainwater harvesting systems for flood reduction in residential urban areas. *Water*, 11(7), 1389.
- Ghisi, E., Thives, L. P., & Paes, R. F. W. (2018). Investment feasibility analysis of rainwater harvesting in a building in Brazil. *Water Science And Technology: Water Supply*, 18(4), 1497-1504.
- Gikas, G. D., and Tsihrintzis, V. A. (2012). Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. *Journal of Hydrology*, 466, 115-126.
- Guerreiro, S. B., Dawson, R. J., Kilsby, C., Lewis, E., and Ford, A. (2018). Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities. *Environmental Research Letters*, 13(3), 034009.
- Gupta, S., and Khare, D. (2017). Quality of Rooftop Harvested Rainwater Stored in Polyethylene Terephthalate Container. In *Development of Water Resources in India* (pp. 199-204). Springer International Publishing.
- Gwenzi, W., Dunjana, N., Pisa, C., Tauro, T., and Nyamadzawo, G. (2015). Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: Review and perspectives. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6, 107-118.
- Gwoździej-Mazur, J., Jadwiszczak, P., Kaźmierczak, B., Kózka, K., Struk-Sokołowska, J., Wartalska, K., and Wdowikowski, M. (2022). The impact of climate change on rainwater harvesting in households in Poland. *Applied Water Science*, 12(2), 15.
- Hamilton, K. A., Ahmed, W., Palmer, A., Sidhu, J. P. S., Hodggers, L., Toze, S., and Haas, C. N. (2016). Public health implications of *Acanthamoeba* and multiple potential opportunistic pathogens in roof-harvested rainwater tanks. *Environmental research*, 150, 320-327.
- Hamilton, K. A., Ahmed, W., Palmer, A., Smith, K., Toze, S., and Haas, C. N. (2017). Seasonal assessment of opportunistic premise plumbing pathogens in roof-harvested rainwater tanks. *Environmental Science and Technology*, 51(3), 1742-1753.
- Haq, PEng, S. A., and Haq, S. A. (2017). *Rainwater Storage. Harvesting Rainwater from Buildings*, 99-116.
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., and Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 12(1), 4667.
- Huston, R., Chan, Y. C., Chapman, H., Gardner, T., and Shaw, G. (2012). Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia. *Water Research*, 46(4), 1121-1132.
- Imteaz, M. A., and Shadeed, S. (2022). Superiority of water balance modelling for rainwater harvesting analysis and its application in deriving generalised equation for optimum tank size. *Journal of Cleaner Production*, 342, 130991.
- IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISKİ. (2020). Yağmur Suyu Hasadı ve Gri Sudan Elde Edilen Geri Kazanım Suyuna İlişkin Hususlar https://www.iski.istanbul/web/assets/SayfalarDocs/YA_GMURSUYUHASADI.PDF?
- Jamali, B., Bach, P. M., and Deletic, A. (2020). Rainwater harvesting for urban flood management—An integrated modelling framework. *Water research*, 171, 115372.
- Jiang, L., Tu, Y., Li, X., and Li, H. (2018). Application of reverse osmosis in purifying drinking water. In *E3S web of conferences* (Vol. 38, p. 01037). EDP Sciences.
- Karim, M. R., Bashar, M. Z. I., and Imteaz, M. A. (2015). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting in a megacity in Bangladesh. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 61-67.
- Keithley, S. E., Fakhreddine, S., Kinney, K. A., and Kirisits, M.

- J. (2018). Effect of treatment on the quality of harvested rainwater for residential systems. *Journal-American Water Works Association*, 110(7), E1-E11.
- Khastagir, A., and Jayasuriya, N. (2010). Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. *Journal of Hydrology*, 381(3-4), 181-188.
- Kim, J. E., Teh, E. X., Humphrey, D., and Hofman, J. (2021). Optimal storage sizing for indoor arena rainwater harvesting: Hydraulic simulation and economic assessment. *Journal of Environmental Management*, 280, 111847.
- Koyuncu, I., Sengur, R., Turken, T., Guclu, S., and Pasaoglu, M. E. (2015). Advances in water treatment by microfiltration, ultrafiltration, and nanofiltration. In *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment* (pp. 83-128). Woodhead Publishing.
- Köse-Mutlu, B. (2021). Natural organic matter and sulphate elimination from rainwater with nanofiltration technology and process optimisation using response surface methodology. *Water Science and Technology*, 83(3), 580-594.
- Kus, B., Kandasamy, J., Vigneswaran, S., and Shon, H. K. (2010). Analysis of first flush to improve the water quality in rainwater tanks. *Water science and technology*, 61(2), 421-428.
- Kus, B., Kandasamy, J., Vigneswaran, S., Shon, H. K., and Moody, G. (2013). Household rainwater harvesting system—pilot scale gravity driven membrane-based filtration system. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(3), 790-797.
- Latif, S., Alim, M. A., and Rahman, A. (2022). Disinfection methods for domestic rainwater harvesting systems: A scoping review. *Journal of Water Process Engineering*, 46, 102542.
- Lee, J. Y., Bak, G., and Han, M. (2012). Quality of roof-harvested rainwater—comparison of different roofing materials. *Environmental pollution*, 162, 422-429.
- Lee, J. Y., Moon, H. J., Kim, T. I., Kim, H. W., and Han, M. Y. (2013). Quantitative analysis on the urban flood mitigation effect by the extensive green roof system. *Environmental Pollution*, 181, 257-261.
- Lee, B., Hamm, S. Y., Jang, S., Cheong, J. Y., and Kim, G. B. (2014). Relationship between groundwater and climate change in South Korea. *Geosciences Journal*, 18, 209-218.
- Lee, K. E., Mokhtar, M., Hanafiah, M. M., Halim, A. A., and Badusah, J. (2016). Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: potential, policies and development. *Journal of Cleaner Production*, 126, 218-222.
- Leong, J. Y. C., Chong, M. N., Poh, P. E., Hermawan, A., and Talei, A. (2017). Longitudinal assessment of rainwater quality under tropical climatic conditions in enabling effective rainwater harvesting and reuse schemes. *Journal of Cleaner Production*, 143, 64-75.
- Li, Z., Boyle, F., and Reynolds, A. (2010). Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, 260(1-3), 1-8.
- Li, N., Li, X., and Fan, X. Y. (2022). Storage tank as a pretreatment unit for rainwater cleaner production: Role of biofilm bacterial communities and functional genera in water quality improvement. *Journal of Environmental Management*, 303, 114118.
- Liu, X., Ren, Z., Ngo, H. H., He, X., Desmond, P., and Ding, A. (2021). Membrane technology for rainwater treatment and reuse: A mini review. *Water Cycle*, 2, 51-63.
- Magyar, M. I., Ladson, A. R., Diaper, C., and Mitchell, V. G. (2014). Influence of roofing materials and lead flashing on rainwater tank contamination by metals. *Australasian Journal of Water Resources*, 18(1), 71-83.
- Maniam, G., Zakaria, N. A., Leo, C. P., Vassilev, V., Blay, K. B., Behzadian, K., and Poh, P. E. (2022). An assessment of technological development and applications of decentralized water reuse: A critical review and conceptual framework. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 9(3), e1588.
- Marszałek, A., and Dudziak, M. (2021). Application of the Ultrafiltration and Photooxidation Process for the Treatment of Rainwater. *Water, Air, and Soil Pollution*, 232(12), 504.
- Maurya, A., Singh, M. K., and Kumar, S. (2020). Biofiltration technique for removal of waterborne pathogens. In *Waterborne Pathogens* (pp. 123-141). Butterworth-Heinemann.
- Mays, L., Antoniou, G. P., and Angelakis, A. N. (2013). History of water cisterns: legacies and lessons. *Water*, 5(4), 1916-1940.
- McGuigan, K. G., Conroy, R. M., Mosler, H. J., du Preez, M., Ubomba-Jaswa, E., and Fernandez-Ibanez, P. (2012). Solar water disinfection (SODIS): a review from bench-top to roof-top. *Journal of hazardous materials*, 235, 29-46.
- Meera, V., & Mansoor Ahammed, M. (2018). Factors affecting the quality of roof-harvested rainwater. *Urban Ecology, Water Quality and Climate Change*, 195-202.
- Mendez, C. B., Klenzendorf, J. B., Afshar, B. R., Simmons, M. T., Barrett, M. E., Kinney, K. A., and Kirisits, M. J. (2011). The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water research*, 45(5), 2049-2059.
- Morales-Figueroa, C., Castillo-Suárez, L. A., Linares-Hernández, I., Martínez-Miranda, V., and Teutli-Sequeira, E. A. (2023). Treatment processes and analysis of rainwater quality for human use and consumption regulations, treatment systems and quality of rainwater. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-24.
- Morales-Pinzón, T., Lurueña, R., Gabarrell, X., Gasol, C. M., and Rieradevall, J. (2014). Financial and environmental modelling of water hardness—Implications for utilising harvested rainwater in washing machines. *Science of the Total Environment*, 470, 1257-1271.
- Majumdar, A., Samanta, D., and Das, R. (2022). Chemical characteristics and trends of indian summer monsoon rainfall: A review. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(7), 220019.

- Mukherjee, S., Mishra, A., and Trenberth, K. E. (2018). Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current climate change reports*, 4, 145-163.
- Murphy, L. U., Cochrane, T. A., and O'Sullivan, A. (2015). Build-up and wash-off dynamics of atmospherically derived Cu, Pb, Zn and TSS in stormwater runoff as a function of meteorological characteristics. *Science of the Total Environment*, 508, 206-213.
- Naddeo, V., Scannapieco, D., and Belgiorno, V. (2013). Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. *Journal of hydrology*, 498, 287-291.
- NCSL. (2018). "State Rainwater Harvesting Laws and Legislation." The National Conference of State Legislatures, USA, <https://www.ncsl.org/research/environment-and-natural-resources/rainwater-harvesting>
- Neto, R. F. M., Calijuri, M. L., de Castro Carvalho, I., and da Fonseca Santiago, A. (2012). Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: efficiency and costs. *Resources, Conservation and Recycling*, 65, 124-129.
- Norman, M., Shafri, H. Z., Mansor, S. B., and Yusuf, B. (2019). Review of remote sensing and geospatial technologies in estimating rooftop rainwater harvesting (RRWH) quality. *International soil and water conservation research*, 7(3), 266-274.
- Okoye, C. O., Solyali, O., and Akintuğ, B. (2015). Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: A linear programming approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 131-140.
- Payus, C. M., Jikilim, C., and Sentian, J. (2020). Rainwater chemistry of acid precipitation occurrences due to long-range transboundary haze pollution and prolonged drought events during southwest monsoon season: climate change driven. *Heliyon*, 6(9), e04997.
- Peter-Varbanets, M., Hammes, F., Vital, M., and Pronk, W. (2010). Stabilization of flux during dead-end ultra-low pressure ultrafiltration. *Water research*, 44(12), 3607-3616.
- Qu, R., and Han, G. (2021). A critical review of the variation in rainwater acidity in 24 Chinese cities during 1982–2018. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 9(1).
- Rahman, S., Khan, M. T. R., Akib, S., Din, N. B. C., Biswas, S. K., and Shirazi, S. M. (2014). Sustainability of rainwater harvesting system in terms of water quality. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Rahman, A., Snook, C., Haque, M. M., and Hajani, E. (2020). Use of design curves in the implementation of a rainwater harvesting system. *Journal of cleaner production*, 261, 121292.
- Raimondi, A., Quinn, R., Abhijith, G. R., Becciu, G., and Ostfeld, A. (2023). Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water*, 15(8), 1518.
- Ramaswamy, V., Muraleedharan, P. M., and Babu, C. P. (2017). Mid-troposphere transport of Middle-East dust over the Arabian Sea and its effect on rainwater composition and sensitive ecosystems over India. *Scientific reports*, 7(1), 13676.
- Reyneke, B., Waso, M., Khan, S., and Khan, W. (2020). Rainwater treatment technologies: Research needs, recent advances and effective monitoring strategies. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 16, 28-33.
- Richards, S., Rao, L., Connelly, S., Raj, A., Raveendran, L., Shirin, S., Jamwal, P., and Helliwell, R. (2021). Sustainable water resources through harvesting rainwater and the effectiveness of a low-cost water treatment. *Journal of Environmental Management*, 286, 112223.
- Rosa, G., and Ghisi, E. (2021). Water quality and financial analysis of a system combining rainwater and greywater in a house. *Water*, 13(7), 930.
- Santos, C., and Taveira-Pinto, F. (2013). Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and Recycling*, 71, 1-6.
- Scanlon, B. R., Fakhreddine, S., Rateb, A., de Graaf, I., Famiglietti, J., Gleeson, T., Grafton, R. Q., Jobbagy, E., Kebede, S., Kolusu, S. R., Konikow, L. F., Long, D., Mekonnen, M., Schmied, H. M., Mukherjee, A., MacDonald, A., Reedy, R. C., Shamsudduha, M., Simmons, C. T., ... and Zheng, C. (2023). Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nature Reviews Earth and Environment*, 4(2), 87-101.
- Schuetze, T., and Chelleri, L. (2013). Integrating decentralized rainwater management in urban planning and design: Flood resilient and sustainable water management using the example of coastal cities in the Netherlands and Taiwan. *Water*, 5(2), 593-616.
- Senevirathna, S. T. M. L. D., Ramzan, S., and Morgan, J. (2019). A sustainable and fully automated process to treat stored rainwater to meet drinking water quality guidelines. *Process Safety and Environmental Protection*, 130, 190-196.
- Sharma, A. K., Cook, S., Gardner, T., and Tjandraatmadja, G. (2016). Rainwater tanks in modern cities: A review of current practices and research. *Journal of Water and Climate Change*, 7(3), 445-466.
- Shi, M., Geng, B., Zhao, T., and Wang, F. (2021). Influence of atmospheric deposition on surface water quality and DBP formation potential as well as control technology of rainwater DBPs: a review. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 7(12), 2156-2165.
- Struk-Sokołowska, J., Gwoździej-Mazur, J., Jadwiszczak, P., Butarewicz, A., Ofman, P., Wdowikowski, M., and Kaźmierczak, B. (2020). The quality of stored rainwater for washing purposes. *Water*, 12(1), 252.
- Şahin, N. İ., and Manioğlu, G. (2019). Water conservation through rainwater harvesting using different building forms in different climatic regions. *Sustainable Cities and Society*, 44, 367-377.
- Tengan, B. M., and Akoto, O. (2022). Comprehensive evaluation of the possible impact of roofing materials on the quality of harvested rainwater for human consumption. *Science of the Total Environment*, 819, 152966.

- Thomas, R. B., Kirisits, M. J., Lye, D. J., and Kinney, K. A. (2014). Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. *Journal of Cleaner Production*, 75, 166-173.
- Tran, S. H., Dang, H. T., Dao, D. A., Nguyen, V. A., Nguyen, L. T., Nguyen, V. A., and Han, M. (2021). On-site rainwater harvesting and treatment for drinking water supply: assessment of cost and technical issues. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 11928-11941.
- Tunçay, H. (2022). Sünger Şehirler. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 23(2), 99-108.
- United Nations (UN). (2018). 2018 Revision of World Urbanization Prospects.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2022). World population prospects 2022: Summary of results.
- United Nations. (2022). The Sustainable Development Goals Report.
- Üstün, G. E., Tuğba, C. A. N., ve Küçük, G. (2020). Binalarda Yağmur Suyu Hasadı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1593-1610.
- Van der Sterren, M., Rahman, A., and Dennis, G. R. (2013). Quality and quantity monitoring of five rainwater tanks in Western Sydney, Australia. *Journal of Environmental Engineering*, 139(3), 332-340.
- Vialle, C., Sablayrolles, C., Lovera, M., Jacob, S., Huau, M. C., and Montrejeud-Vignoles, M. (2011). Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water research*, 45(12), 3765-3775.
- Wanjiru, E., and Xia, X. (2018). Sustainable energy-water management for residential houses with optimal integrated grey and rain water recycling. *Journal of cleaner production*, 170, 1151-1166.
- Waso, M., Khan, S., Singh, A., McMichael, S., Ahmed, W., Fernandez-Ibanez, P., Byrne, J.A and Khan, W. (2020). Predatory bacteria in combination with solar disinfection and solar photocatalysis for the treatment of rainwater. *Water research*, 169, 115281.
- World Bank. (2023). Urban Development Overview. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2023, <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>
- World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality: first addendum to the fourth edition.
- World Meteorological Association. (2022). State of the Global Climate 2021.
- Wu, B., Soon, G. Q. Y., and Chong, T. H. (2019). Recycling rainwater by submerged gravity-driven membrane (GDM) reactors: effect of hydraulic retention time and periodic backwash. *Science of the total environment*, 654, 10-18.
- Xu, J., Dai, J., Wu, X., Wu, S., Zhang, Y., Wang, F., Gao, A., and Tan, Y. (2023). Urban rainwater utilization: A review of management modes and harvesting systems. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1025665.
- Yannopoulos, S., Antoniou, G., Kaiafa-Saropoulou, M., and Angelakis, A. N. (2017). Historical development of rainwater harvesting and use in Hellas: a preliminary review. *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(4), 1022-1034.
- Yu, Y., Chen, X., Wang, Y., Mao, J., Ding, Z., Lu, Y., Wang, X., Lian, X., and Shi, Y. (2021). Producing and storing self-sustaining drinking water from rainwater for emergency response on isolated island. *Science of the Total Environment*, 768, 144513.
- Zapata-Sierra, A., Cascajares, M., Alcayde, A., and Manzano-Agugliaro, F. (2021). Worldwide research trends on desalination. *Desalination*, 519, 115305.
- Zdeb, M., Zamorska, J., Papciak, D., and Skwarczyńska-Wojśa, A. (2021). Investigation of Microbiological Quality Changes of Roof-Harvested Rainwater Stored in the Tanks. *Resources*, 10(10), 103.
- Zhang, Q., Wang, X., Hou, P., Wan, W., Li, R., Ren, Y., and Ouyang, Z. (2014). Quality and seasonal variation of rainwater harvested from concrete, asphalt, ceramic tile and green roofs in Chongqing, China. *Journal of environmental management*, 132, 178-187.
- Zhang, X., Xia, S., Zhao, R., and Wang, H. (2020). Effect of temperature on opportunistic pathogen gene markers and microbial communities in long-term stored roof-harvested rainwater. *Environmental research*, 181, 108917.
- Zhang, X., Jiang, J., Yuan, F., Song, W., Li, J., Xing, D., Zhao, L., Dong, W., Pan, X., and Gao, X. (2022a). Estimation of water footprint in seawater desalination with reverse osmosis process. *Environmental Research*, 204, 112374.
- Zhang, Y., Silverman, I., Shayan, S. I., Zhang, Q., Mulford, L., and Iranipour, G. T. (2022b). Removal of disinfection byproduct precursors by granular activated carbon: Hillsborough county water treatment facility case study. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100254.