

## Research Article

# İki Farklı Konum ve Özellikteki Otelde Yağmur Suyu Hasadı Üzerine Fizibilite Çalışması

Elif Ayyüce Kılınç<sup>1</sup> , Asude Hanedar<sup>2,\*</sup> , Ayşegül Tanık<sup>1</sup> , Erdem Görgün<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye, 34469

<sup>2</sup> Department of Environmental Engineering, Çorlu Faculty of Engineering, Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye, 59860

<sup>1</sup>[kilinc21@itu.edu.tr](mailto:kilinc21@itu.edu.tr), <sup>2</sup>[ahanedar@nku.edu.tr](mailto:ahanedar@nku.edu.tr), <sup>1</sup>[tanika@itu.edu.tr](mailto:tanika@itu.edu.tr), <sup>1</sup>[gorgune@itu.edu.tr](mailto:gorgune@itu.edu.tr)

Geliş: 27.02.2024

Kabul: 24.09.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1443606

**Öz.** Kısıtlı su kaynaklarının korunması ve alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesi günümüzün önemli konuları arasında olup, ülkemizde 2023 yılında Su Verimliliği Seferberliği ilan edilmiştir. Bu bağlamda kentsel doğa temelli çözümler ve yeşil altyapı uygulamaları arasında kabul gören alternatif seçeneklerden yağmur suyu hasadı ile binalarda şebeke suyundan su tasarrufu sağlanırken doğal su kaynaklarımızın da korunmasına katkı verilebilecektir. Bu çalışmada, Antalya ve İzmir illerimizdeki 2 farklı otel kompleksinin çatılarından toplanacak yağmur suyunun tesis içerisinde özellikle sifon suyu ve yeşil alan sulamaları ile elde edilecek tasarruf oranlarının yanı sıra, yatırım ve işletme maliyetleri detaylı olarak çalışılmış ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Her 2 otel örneği de gerçek vakalar olup, İzmir'deki otel planlama aşamasındaki çok katlı tek bir bina iken Antalya'daki otel bir tatil köyü niteliğinde olup, yatayda yayılmış mevcut ve faaliyetteki bir oteldir. Antalya'daki kompleksteki çatılardan toplanabilen suyun tamamen sifon suyu olarak kullanılması düşünülmüştür. Bu durumda sifon suyundan %20, toplam su tüketiminde %3 tasarruf yapılabileceği ve geri ödeme süresinin 16 yıl olduğu bulunmuştur. İzmir'deki otelde ise planlanma aşamasındaki aynı binanın faaliyette olması durumu da incelenmiş olup, geri ödeme süreleri sırasıyla 9 yıl ve 18 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu oteldeki su tasarrufu ise %12 olmaktadır. Fizibiliteleri yapılmış bu örnekler çoğaltılabilmek için birçok bina tipolojisinde uygulanabilir; hatta grisu geri kullanımı alternatifini ile birlikte değerlendirildiğinde daha fazla su tasarrufunun yanı sıra daha kısa geri ödeme süreleri söz konusu olabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif su kaynakları, Otel, Geri ödeme periyodu, Yağmur suyu hasadı, Su tasarrufu.

## Feasibility Study on Rainwater Harvesting of Two Hotels in Different Locations and Features

**Abstract:** Protecting limited water resources and evaluating alternative water resources are among the important issues of today, as such, Water Efficiency Campaign has been declared in our country in 2023. In this context, rainwater harvesting, one of the accepted alternative options among urban nature-based solutions and green infrastructure applications that can save water from municipal lines in buildings, contribute to the protection of our natural water resources. In this study, the saving rates that may be obtained from the rainwater collected from the roofs of two different hotel complexes in Antalya and Izmir, especially through flush water and green area irrigation, as well as investment and operating costs, were studied in detail and payback periods were calculated. Both hotel examples are real cases; while the hotel in Izmir is a single multi-storey building at the planning stage whereas the hotel in Antalya is a holiday village and is an existing hotel spreading horizontally. The water collected from the roofs of the complex in Antalya was intended to be used entirely as flush water. In this case, it was found that 20% of flush water and 3% of total water consumption could be saved with a payback period of 16 years. In the Izmir Hotel, the situation of the same building both at the planning stage and under operation cases were also examined, and the payback periods were calculated as 9 years and 18 years, respectively. The water saving in this hotel is 12%. These feasible examples can be increased and applied to many building typologies; in fact, when evaluated together with the greywater reuse alternative, shorter payback periods may be possible as well as more water savings.

**Keywords:** Alternative water sources, Payback period, Hotel, Water conservation, Rainwater harvesting.

\* Sorumlu yazar

E-mail adresi: [ahanedar@nku.edu.tr](mailto:ahanedar@nku.edu.tr) (A. Hanedar)

## 1. Giriş

Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme suya olan talebi artırırken, aynı zamanda çevre kirliliği ve iklim değişikliği etkileri de su kaynaklarını miktar ve kalite açısından baskıya maruz bırakmaktadır. Ülkemizde su kaynaklarının ilerleyen süreçte iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine daha fazla maruz kalacağı kabul edilmekte olup; su kullanan ile suya bağlı olan pek çok sektör de doğrudan ve dolaylı olarak iklim değişikliğinden etkilenecektir. İklim değişikliği etkilerinin kısa vadede engellenemeyeceği gerçeği, iklim değişikliğine uyum faaliyetlerinin önemini arttırmaktadır. Küresel ölçekte kent ölçeğine kadar tüm sistemlerin değişen iklime uyum sağlaması ve dirençli hale gelmesi sürdürülebilir bir gelecek için en önemli adımlardan biridir. AB Yeşil Mutabakat (YM) Politikası kapsamında iklim değişikliğine uyumun en önemli stratejisi olarak tanımlanan "Döngüsel Ekonomi"ye geçişte "suyun döngüselliklerinin" sağlanması zorunlu hale gelmiştir [1].

İklim değişikliğine uyum stratejileri olarak kentsel doğa temelli çözümler ve yeşil altyapı olarak tatmin edici uygulamalar arasında yağmur suyu hasadı (YSH) [2,3,4,5], gri suyun yeniden kullanımı (GSK) [6,7,8,9], arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı [10,11,12] ve deniz suyunun tuzdan arındırılması ile tatlı su temini [13,14,15] yaygın alternatif su kaynakları olarak öne çıkmaktadır. Su kaynaklarının mevcut potansiyelinin ve kalitesinin korunumunun sağlanması için söz konusu bu alternatif su kaynaklarına yönelim tüm dünyada, özellikle su kıtlığı ve stresi yaşayan ülkelerde hızlanmıştır. Bu alternatif kullanımlar, Novotny (2013) [16] ve Eslamian (2016) [17] tarafından da vurgulandığı üzere, iklim değişikliğinin mevcut su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle daha da uygulanabilir ve dikkat çekici hale gelmiştir.

Gelecek yıllarda su stresi ve kıtlığı önde gelen çevre sorunları arasında yer alacağından, su tüketimine ilişkin sürdürülebilir çözüm yollarının günümüze nazaran daha fazla ilgi görecektir. Birleşmiş Milletler (BM) Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden (SKH) No: 6 (temiz su ve sanitasyon), No: 11 (sürdürülebilir şehirler ve toplumlar), No: 12 (sorumlu tüketim ve üretim) ve No: 13'ün (iklim eylemi) bu konuya odaklanması ile su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine kamuoyunun ilgisi daha da artmış durumdadır [18]. Suyun yeniden kullanımının mantığını destekleyen bir diğer husus; yüksek su kalitesi gerektirmeyen kullanım alanları için kullanım amacına uygun kalitede su kullanmak ve enerji israfından kaçınmaktır. Eysel su kullanımının bileşenlerine baktığımızda; kullanımın en az %34'ünün (%30 sifon suyu, %4 bahçe sulama) içilebilir kalitede su gerektirmediği görülmektedir. Bununla birlikte, evsel su kullanımının %16'sına karşılık gelen çamaşırhaneler ve temizlik işlerinde de arıtma ihtiyacı ve gerekli su kalitesi sağlanarak grisu/yağmur suyunun tercih edilebilir olduğu bilinmektedir [19].

Alternatif su kullanımı uygulamaları arasında bilinen en eski teknoloji yağmur suyunu hasat ederek yağışın depolanması ve daha sonra içme, yemek pişirme dahil birçok evsel ihtiyaç için yeniden kullanılmasıdır [20,21]. YSH ile yağışların geçirimsiz yüzeylerden akışa geçmesi engellenerek toprağa sızdırılması, yeraltı suyuna beslenmesi veya yeniden kullanılmak üzere depolanması mümkündür. YSH sistemleri kolay yönetimi

sayesinde günümüzde giderek yaygınlaşmakta ve temelde basit ve uygulanabilir teknolojilere dayanmaktadır. Kolay kurulum, düşük enerji gereksinimi ve ucuz bakım gibi faktörler, kentsel ve kırsal sakinlerin YSH sistemlerini kurmaları için teşvik edici unsurlardır.

Yağmur suyunun geçirimsiz yüzeylerden tutulması yağışlı dönemlerde yaşanabilen sel ve erozyon risklerini de azaltmaktadır. Ayrıca, akışa geçen yağış sularıyla beraber taşınan kirlilik yüklerinin nehir, göl, dere gibi su kaynaklarına girişini engelleyerek su kaynaklarının kalitesinin korunumunu destekler. YSH, bireylerin şebeke suyuna bağımlılığını azaltır ve şebeke suyu kullanımından azaltım sağlayarak bireylerin su faturalarından tasarruf etmelerine yardımcı olur. Bireysel ölçeğin yanı sıra tüm toplumda şebeke ve genel su idaresi hizmetlerinin maliyetini önemli ölçüde azaltabilir. Yağışlı günlerde kanalizasyona giden yüzey akışının atıksu arıtma tesislerinin debisini artırmasıyla yaşanabilecek işletim problemlerinin de önüne geçilir. Bir toplulukta kayda değer bir nüfusun YSH sistemini kullanmasıyla, yağmur suyunun tahliyesi için tasarlanan yağmur suyu kanallarına olan gereksinim azalır [22].

YSH, tarımsal ve kentsel olmak üzere farklı kullanım amaçları için uygulanabilmektedir. YSH teknikleri kullanım alanı, toplama havzası alanı ve büyüklüğü gibi özelliklere göre sınıflandırılır [23]. Pamuk ve Akkuzu (2008) [24]'in belirttiğine göre su hasadı teknikleri 4 ayrı grup ile sınıflandırılmaktadır:

- Mikro havza su hasadı
- Makro havza su hasadı
- Taşkın hasadı
- Çatı yüzeyinden su hasadı

YSH uygulamalarında, binanın çatısına düşen suya herhangi bir taşıma maliyeti olmaksızın erişilebilmektedir. Yağmur suyu kullanımı ücretsiz, yatırım maliyeti ise düşüktür. Çatı, insan müdahalesinden arındırılmış yüzeysel bir ortam olup, çatı yüzeyi dışında çok fazla kirlilik kaynağı bulunmamaktadır. Tokuş ve Özdemir (2017) [25]'in belirttiği üzere; yağmur suyu, kalsiyum, magnezyum, karbonat gibi sertlik yapan iyonları içermediği için çamaşır yıkama ve yemek pişirme için kaliteli bir su yapısına sahiptir. Doğal tatlı sular içinde en az tuz oranına sahip sudur ve bu nedenle bitkiler için faydalıdır [26]. Bu nedenlerden dolayı, sürdürülebilir su güvenliği için entegre su yönetimi yaklaşımının bir parçası olarak YSH sistemleri oldukça verimli uygulamalardır.

Çalışma kapsamında 2 farklı konum ve özellikteki otelde çatı/çatlardan YSH fizibilitesi yapılmıştır. İzmir ilinde seçilen otel projelendirme aşamasında olup, inşaatı başlamamış alandır (Otel A). Antalya İlinde seçilen otel ise mevcut ve faaliyettedir (Otel B). Analiz çalışmalarında İzmir'deki otelin mevcut durumda kullanılan binalar olması durumu da ilave senaryo olarak çalışılmıştır (Otel C). Bu durumda binalarda muhtemel tesisat değişiklikleri ile oluşabilecek kırım ve yapım maliyetleri göz önüne alınmıştır. Yapıların proje aşamasında ve kullanım aşamasında olduğu durumlardaki uygulanabilirlikleri, yatırımların geri ödeme süreleri üzerinden incelenmiştir. Çalışılan senaryo ile YSH sistemlerinin yapılara inşa edilmeden önce tasarlanmasının mali avantajı ortaya konulmuştur.

### 1.1. Yağmur Suyu Kalitesi Gereksinimi

Yağmur suyunun arıtma ihtiyacı, kullanılacağı alandaki su kalitesi gereksinimine göre belirlenir. Çamaşır ve bulaşık makinesinde sert su kullanılması bu makinelerin ömürlerini kısaltmakta ve deterjan tüketimini arttırmaktadır [27]. Suyun sert olmasını sağlayan kalsiyum ve magnezyum iyonlarının konsantrasyonu yağmur suyunda ve çamaşır yıkamak için uygundur [28]. Toplanan yağmur sularının tuvalet rezervuarlarında sifon suyu olarak yeniden kullanımında yaprak, böcek vb. maddelerin sisteme girerek sistemin tıkanmasını önlemek için basit bir filtrasyon ve/veya ilave klorlama yeterli görülmektedir.

**Tablo 1** Toplanmış yağmur suyunun yeniden kullanımı ile ilgili sınır değerler [29]

Parametre	Sınır Değerler	Sistem Tipi
Kullanım amacı	Basınçlı yıkama ve bahçe fiskiyeleri	Bahçe sulama ve WC rezervuar
Escherichia Koli sayısı/100 mL	1	250
Toplam koliform sayısı/100 mL		
Legionella sayısı/L		
Bağırsak enterokoku sayısı/100 mL		
Depolanan arıtılmış suda çözünmüş oksijen	>10 % doygunluk veya >1 mg/L oksijen	
Askıda katı madde	Tüm kullanımlar için görsel olarak berrak ve askıda madde olmamalı	
Serbest klor	<0.5 mg/L bahçe sulamada; <2 mg/L diğer tüm kullanımlarda	
Serbest bromür	<0.5 mg/L bahçe sulamada; <2 mg/L diğer tüm kullanımlarda	
Renk	Gözlenmemeli	
Bulanıklık	<10 NTU (UV dezenfeksiyonu için)	
pH	5-9	
		Tek bölge ve ortak ev sistemleri
		Tek bölge ve ortak ev sistemleri
		Risk değerlendirilmesine bağlı olarak analiz gerektiğinde
		Tek bölge ve ortak ev sistemleri
		Tüm sistemler
		Tüm sistemler
		Tüm sistemler, kullanıldığı durumda
		Tüm sistemler, kullanıldığı durumda
		Tüm sistemler
		Tek bölge ve ortak ev sistemleri

### 1.2. Ulusal Mevzuat

Ülkemizde yağmur suyu ile ilgili ilk yasal mevzuat 23.06.2017 tarihli ve 30105 sayılı Resmî Gazete ile yayımlanarak yürürlüğe giren “Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik”tir [30]. Bu yönetmelik, halk sağlığını ve güvenliğini, çevrenin korunmasını, sistemin sürdürülebilir olmasını, içme suyu kaynaklarının suyla taşınan kirliliklerden korunmasını esas alarak yağmur suyu toplama, depolama ve deşarj sistemlerinin planlanmasına, tasarımına, projelendirilmesine, yapımına ve işletilmesine ilişkin usul ve esasları kapsamaktadır.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın (ÇŞİDB) “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği”nde 23.01.2021 tarihinde değişiklik yapılmış ve 2.000 m<sup>2</sup>’den büyük parsellerde yapılacak binaların çatılarından toplanan yağmur sularının gerekmesi halinde filtre edilerek yeniden kullanılmak üzere tabii zemin altında bir depoda toplanması amacıyla “Yağmur suyu toplama sistemi” yapılması belirtilmiştir. Daha sonra 11.07.2021 tarihinde bahsi geçen yönetmeliğin kapsamının artırılması için değişiklik yapılmış; toplanan yağmur sularının bina tuvalet sifonlarında kullanılması, ihtiyaçtan fazla olan kısmının bahçe veya diğer ortak alanlarda kullanılması gerektiği ifade edilmiştir [31].

Bu yönetmelikte belirtilen hükümler doğrultusunda, ilgili idarelere yağmur suyu toplama sistemlerinin küçük parsellerde

Bu kapsamda yağmur suyu kalitesi, bölgelerin coğrafi konumu, topoğrafik yapıları, mevsim dönemleri ve su tutma yüzeyinin yapısı gibi birçok faktör ile değişiklik göstermektedir. Yağmur suyu kalite ihtiyacı ise suyun kullanılacağı alana göre değişmektedir. Ülkemizde yağmur suyunun kullanımına yönelik belirlenmiş kalite standartları bulunmamaktadır. ABD’nin Ulusal Çevre Ajansı (EPA) tarafından yayınlanmış olan rehber dokümanda, yağmur suyunun yeniden kullanımında dikkate alınması gereken parametre ve sınır değerleri Tablo 1’de verilmiştir [29].

kurulması, toplama tankı hacminin hesaplanması yöntemi ve ek kullanım alanlarına ilişkin zorunlulukları belirleme yetkisi verilmiştir. Bunun üzerine birçok büyükşehir belediyesi (BŞB) tarafından imar yönetmeliklerinde değişiklik yapılmış ve YSH sistemlerinin uygulanmasına ilişkin zorunluluklar getirilmiştir.

### 2. Kullanılan Veri ve Yöntem

Fayda-maliyet analizlerinden önce sistemin uygulanacağı yapıya ve yapının bulunduğu bölgeye ait gerekli veriler temin edilmiştir. Bu kapsamda İzmir ve Antalya illerinin nüfus, arazi kullanımı, su birim fiyatı, su arz ve talebi ve mevsim normalleri bakımından mevcut durumu incelenerek sistemlerin uygulanabilirliğine olan etkisi değerlendirilmiştir [32]. Benzer şekilde seçilen yapıların çatı planları, kat planları ve sıhhi tesisat projeleri incelenerek gerekli bilgiler çıkarılmış ve hesapları yapılmıştır. Seçilen alanlarda toplanabilir yağmur suyu miktarı, alternatif kullanım alanlarında ihtiyaç duyulan su miktarları, sistemlerin uygulanması halinde potansiyel su tasarrufu ve ekonomik kazanım hesaplanmıştır.

Seçilen bina tipolojisi projelendirme aşamasında olan inşaatı başlamamış alan (Otel A) için su tüketimi değerleri bulunmamaktadır. Bu durumda; oteli kullanacak kişilerin/ziyaretçilerin sayısı, binanın kullanıldığı gün sayısı gibi değerler için belirli kabuller yapılarak ihtiyaç duyulan su miktarları hesaplanmıştır. Yağmur suyunda su tutma yüzeyi sadece çatı olarak belirlenmiştir. Yağmur suyu sisteminde

arıtma amaçlı vorteks filtre kullanılacağı kabulü yapılmıştır.

Sistemlerin uygulanması için gereken yatırım maliyet kalemlerinin tümü çıkarılarak keşif-metraj cetveli oluşturulmuş, gerekli tüm ekipman ve donanımlar için yerel piyasa fiyatlarına göre birim maliyetleri çıkarılmıştır. Antalya ve İzmir iline yakın bulunan firmalardan teklifler alınarak yapılan araştırmalar ile ortalama birim bedellere ulaşılmıştır. İşletme maliyeti kapsamında elektrik maliyeti ve bakım-onarım maliyeti esas alınmıştır. Elektrik maliyeti, sistemde çalışan pompanın enerji sarfiyatına göre illerdeki dağıtım şirketlerinin kwh başına birim fiyatları kullanılarak hesaplanmıştır. Bakım-onarım maliyeti için bakım servisliği ve sistem tedariki yapan firmaların önerdiği ortalama fiyatlar değerlendirilmiştir [32].

Sistemlerin kazandırabileceği faydalar ve gerektirdiği yatırım-işletme bedelleri hesaplandıktan sonra gereken yatırımın, kazanılan faydalar sayesinde kaç yılda geri ödenebileceği hesaplanmıştır. Fayda kısmında şebeke suyu yerine yağmur suyu kullanımı ile su faturasından yapılacak tasarruf esas alınmıştır. Buna göre yapılan fizibilite analizinde sistemlerin ekonomik açıdan uygulanabilirliği hesaplanan geri ödeme süreleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Fayda-maliyet analizleri kapsamında hesaplanan geri ödeme süresi, yatırımın değerlendirilmesinde önemli bir ölçüt olarak ele alınmaktadır. Uygulanacak olan YSH sisteminin geri ödeme süresinin hesaplanması ve karlılığının analiz edilmesi için Net Bugünkü Değer (NBD) ölçütü kullanılmıştır.

NBD, YSH sistemi yatırımının ekonomik ömrü boyunca sağladığı getirinin bugünkü değerinden, yatırım giderlerinin düşülmesi ile elde edilen farkı ifade etmektedir. Bugünkü değer, sermaye maliyetini gösteren belli bir iskonto üzerinden hesaplanmaktadır. Çalışmada iskonto oranı %5 alınmıştır. Yıllık net faydalar bulunarak sistemin geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi, YSH projesi için yapılan yatırımın kaç yılda geri alınabildiğini göstermektedir. NBD'nin pozitif olduğu yıl, geri ödeme süresi olarak belirlenmiştir [33].

İzmir ilinde projelendirilen otel binasına (Otel A) ilişkin bilgiler Tablo 2'de verilmiştir. Otel binası 365 gün hizmet veren 30 oda sayısına sahip bir işletmedir. Kullanım amacı turistik tesis/konaklama olarak belirlenmiştir. Otelde yatak odalarının bulunduğu kat sayısı 3'tür. Yapıda (9 bodrum +1 zemin +2 normal kat) olmak üzere toplamda 12 kat bulunmaktadır. Diğer katlarda restoran, balo salonu, toplantı odaları ve masaj, hamam, fitness salonları bulunmaktadır. Gecelik konaklamalar haricinde, otelde verilen faaliyetlere katılan ziyaretçi sayılarının da hesaplamalarda dikkate alınması için salonlarda ağırlanabilecek ziyaretçi sayıları, salon alanlarında kişi başına düşen m<sup>2</sup> alan hesabıyla bulunmuştur. Buna göre, salonların kişi kapasiteleri Tablo 2'de verilmiştir. Otelde çalışacak olan personel sayısı Türkiye'de oda ve yatak başına düşen personel sayısı referans değerlere göre alınmıştır. Buna göre 30 odası bulunan 4 yıldızlı otelin oda başına düşen personel sayısı 0,76 olarak alınmış ve 23 kişi personel olacağı kabul edilmiştir [34].

Otelin 2022 yılına ait gerçekleşen konaklama sayılarına göre doluluk oranı Tablo 3 ile verilmiştir. Turizm sezonunun açılmasıyla doluluk oranı artan otel, yıllık ortalama %75

doluluk oranına sahiptir. Otelin aylara göre doluluk oranları su ihtiyacı hesaplarında göz önüne alınmıştır.

**Tablo 2** Otel (A)- İzmir binasına ait bilgiler

Kullanılan Parametreler	Değerler
İl	İzmir
Bina tipolojisi (tek bina)	Otel
Personel sayısı	23
Oda sayısı	30
Ziyaretçi sayısı	455
Çatı alanı (m <sup>2</sup> )	800
Çatı malzemesi	Teras çatı
Yeşil alan (m <sup>2</sup> )	300
Araç sayısı	3
Bina kat sayısı	12
Sosyal alanlar toplamı (m <sup>2</sup> ) (Yemek salonu, balo salonu ve spor salonları)	970
Kişi başına düşen alan (m <sup>2</sup> /kişi)	8,5
Kişi sayısı	455
Su tarifi (TL/m <sup>3</sup> )	66,26

**Tablo 3** Otel (A)- İzmir aylara göre doluluk oranları

Tarih (ay)	Doluluk oranı (%)
Ocak	56
Şubat	56
Mart	64
Nisan	59
Mayıs	35
Haziran	100
Temmuz	100
Ağustos	100
Eylül	100
Ekim	100
Kasım	79
Aralık	51
<b>Yıllık ortalama</b>	<b>75</b>

### 2.1. Toplanabilir yağmur suyu miktarının hesabı

Toplanabilir yağmur suyu miktarı hesabında, 800 m<sup>2</sup> teras çatı alanına sahip otel için yüzey akış katsayısı 0,85 olarak belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan filtreden kaynaklı su kayıpları için 0,9 filtre etkinlik katsayısı hesaba eklenmiştir. Toplanabilir yağmur suyu miktarının hesabında aşağıdaki eşitlikle (Denklem 1) hesaplanabilir [35].

$$V_y = A \times Y \times e / 1000 \quad (1)$$

Burada:  $V_y$ : Toplanan yağmur suyu miktarı (m<sup>3</sup>);  $A$ : Yağmur suyu toplama alanı (m<sup>2</sup>);  $Y$ : Aylık veya yıllık yağış miktarı (mm);  $e$ : Yağmur suyu toplama yüzeyinin verimlilik katsayısıdır.

Denklem 1'de görüleceği üzere toplanabilir yağmur suyu miktarının hesaplanabilmesi için bölgeye düşen yağış miktarının analiz edilmesi gerekmektedir. YSH sistemlerinin tasarlanmasında yağışın alansal dağılımı ve bölgeye düşen yağış miktarı sistem tasarımında oldukça önemlidir [36]. Bölgenin aldığı yağışın aylık ve yıllık dağılımları, sıra dışı yağış istatistikleri, toplam kar ve yağış miktarları sistem seçimine ve verimine etki eden unsurlardır. Ayrıca bölgeye ait nemlilik, buharlaşma, sıcaklık ve rüzgar gibi diğer

meteorolojik verilerin de incelenmesi yağmur suyu tutma yönteminin çeşidi hakkında verimlilik bilgisi kazandırabilir. Örneğin; buharlaşma oranının yüksek, yağış miktarının düşük veya aylık değişkenliğinin fazla olduğu bir alanda, gölet gibi açık yüzeyli su toplama alanları tasarlamak yerine depo/sarnıç gibi kapalı sistemleri kullanmak, ya da suyu eşyükselti/yönlendirme hendekleriyle bitki diplerine yönlendirerek toprakta tutmak daha etkin bir yöntem olacaktır [25]. Hasat edilebilir yağmur suyu miktarının hesaplanabilmesi için çalışma alanının bulunduğu en yakın meteoroloji istasyonuna ait yağış verilerinden yararlanılarak hesaplama yapılır.

## 2.2. Yağmur suyu kullanım alanlarındaki su ihtiyacı ve depo hacmi

Otel binasına gelen misafir sayısı, otel doluluk oranları göz önüne alınarak yatakların kişi kapasitesi kadar kabul edilmiştir. Sifon suyu kullanım sayılarına ve armatür kapasitelerine göre sifon suyu ihtiyacı (Tablo 4); bitki su ihtiyacına göre yeşil alan sulama suyu miktarı (Tablo 5) hesaplanmıştır. Ayrıca sifon suyu ihtiyacından artı kalan yağmur suyunun değerlendirilebileceği diğer kullanım alanlarındaki su ihtiyacı da hesaplanmıştır.

**Tablo 4** Sifon suyu ihtiyacı hesabı

Su İhtiyacı Unsuru	Değer	Birim
Tuvalet rezervuar hacmi	6	L
Personel Başlı Günlük Sifon Kullanım Sayısı	5	kere
Personel başına sifon suyu ihtiyacı	30	L/kişi.gün
Misafir Başlı Günlük Sifon Kullanım Sayısı	5	kere
Misafir başına sifon suyu ihtiyacı	30	(L/gün.kişi)
Ziyaretçi Başlı Günlük Sifon Kullanım Sayısı	1	kere
Ziyaretçi başına sifon suyu ihtiyacı	6	(L/gün.kişi)
Günlük sifon suyu ihtiyacı (%100 dolu iken)	5,22	(m <sup>3</sup> /gün)
Günlük sifon suyu ihtiyacı (%75 ortalama dolu iken)	4,07	(m <sup>3</sup> /gün)

**Tablo 5** Yeşil alan sulama suyu ihtiyacı hesabı

Su İhtiyacı Unsuru	Değer	Birim
Bitki su ihtiyacı	10	L/m <sup>2</sup> .gün
Yeşil alan büyüklüğü	300	m <sup>2</sup>
Aylık ortalama sulama suyu ihtiyacı	60,9	m <sup>3</sup> /ay
Yıllık toplam sulama suyu ihtiyacı	730,7	m <sup>3</sup> /yıl

Yağmur suyu depo hacminin belirlenmesi için depoya gelebilecek maksimum günlük yağış ve günlük maksimum su ihtiyacı miktarları karşılaştırılmıştır. Günlük su ihtiyacı, yağış miktarından fazla olduğu için gelebilecek tüm yağışın toplanması planlanmıştır. Uzun yıllar yağış rejimine bakıldığında gerçekleşen günlük maksimum yağış miktarı değerleri istisnai durumları temsil etmekte ve deponun bu yaklaşıma göre hesap edilmesiyle sistemin yatırım maliyeti yükselmektedir. Optimum fayda sağlanabilmesi adına; aylık gelen maksimum yağışların uzun yıllar ortalamasına bakılmış ve maksimum yağış alan ayın en az üç gününün depolanabilmesini sağlayacak kapasite “depo hacmi” olarak belirlenmiştir. İzmir otel binası (A) için 10 m<sup>3</sup> kapasiteli prizmatik galvaniz modüler tipte yağmur suyu deposu seçilmiştir (Tablo 6).

**Tablo 6** Yağmur suyu depo kapasitesi hesabı

Parametre	Değer	Birim
Toplanabilecek yağmur miktarı	434,5	m <sup>3</sup> /yıl
Günlük su ihtiyacı	2,98*	m <sup>3</sup> /gün
En yağışlı ayda gelebilecek günlük yağış	0,95**	m <sup>3</sup> /gün
Depo hacmi (üç günlük yağış için)	8,95	m <sup>3</sup>
Seçilen depo hacmi	10	m <sup>3</sup>

\*Sifon, sulama, araç yıkama ve temizlik alanlarındaki toplam su kullanımının en yüksek olduğu aydaki su ihtiyacının 30'a (gün) bölünmesiyle bulunmuştur.

\*\* İzmir için uzun yıllar yağış ortalamasına göre, en fazla yağış Aralık ayında gerçekleşmektedir (146,2 mm). En yağışlı ayda gelebilecek günlük yağış, Aralık ayında toplanabilen yağmur suyu miktarının 30'a (gün) bölünmesiyle bulunmuştur.

## 2.3. Yağmur suyu borulama hattı hesabı

Binanın çatı planı incelenerek, yağmur suyu toplama için iniş borularının 8 adet olmasına karar verilmiştir. Buna göre, yağmur borularının çapı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**, yağmur borusunun gerekli alanını, denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** yağmur borusu kesitini ve denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** yağmur borusu çapını vermektedir.

$$S = P \times \frac{0,75 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} \quad (2)$$

Burada: P: Çatı alanı, (m<sup>2</sup>); S: Gerekli yağmur borusu alanı, (m<sup>2</sup>)'dir.

$$A = \frac{S}{f} \quad (3)$$

Burada: A: Yağmur borusu kesiti; F: Kullanılan yağmur borusu adedidir.

$$D = 1,33 \times \sqrt{A} \quad (4)$$

Burada: D: Boru çapı (m)'dir.

Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanan gerekli yağmur suyu inişi ana boru çapı hesabı Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7** Yağmur suyu boru çapı hesabı hidrofor sistemi ve pompa özellikleri

Parametre	Değer	Birim
Çatı alanı	800	m <sup>2</sup>
Kullanılan yağmur borusu adedi, f	8	adet
Gerekli yağmur borusu alanı, S	600	cm <sup>2</sup>
Yağmur borusu kesiti, A	75	cm <sup>2</sup>
Boru çapı	100	ø
Pompa basınç çalışma aralığı	65,63 – 80,63	mSS
Pompa kapasitesi	2,09	m <sup>3</sup> /saat
Hidrofor tank kapasitesi	79	L

Sistemde yağmur suyunun depolama tankına geçerken içerisindeki katı partiküllerin ve yaprakların depoya girişinin engellenmesi için filtre kullanılması planlanmıştır. İlave olarak giriş akış düzenleyici, yüzey emiş filtresi ve taşkan savağı konulacaktır. Filtre ve diğer yağmur suyu set ekipmanlarının bedelleri, arıtma maliyeti olarak ilk yatırım maliyetine eklenmiştir.

Yağmur suyu sistemi iletim ve dağıtım hattının boru ihtiyacının belirlenebilmesi için binanın sıhhi tesisat projesi incelenmiştir. Binada, hasat edilen yağmur suyunun tuvalet rezervuarlarına iletimi için yeni bir kolonla boru hattı

çekilecektir. İlave edilecek boru tesisatı, mevcut mekanik tesisat kanalları ve şaftlarından tuvalet rezervuarlarının bulunduğu ıslak hacimlere kadar yapılacaktır.

Toplamda 12 kattan oluşan otel binasının 1. bodrum katı hariç olmak üzere tüm katlarında tuvalet mevcuttur. Binada su deposundan kullanım noktalarına kadar kullanılacak olan uygun çaptaki boruların uzunlukları her klozet için proje üzerinden ayrı ayrı ölçülmüştür. Toplam su ihtiyacı ve katlardaki tuvalet sayıları göz önüne alınarak ana boru, kolon borusu, kat borusu ve bağlantı borularının çapları belirlenmiştir. Döşenecek tesisat borusunda sistemin kontrolünün sağlanabilmesi için kesme vanası, çek vana, basınç şalteri, manometre; bağlantıların yapılabilmesi için kollektör; pompanın tıkanmalara karşı korunması için pislik tutucu yerleştirilmesi planlanmıştır.

Özet olarak YSH sisteminin yatırım maliyeti bileşenleri; borulama, arıtma, depolama, pompa sistemi ve montajlama olarak sıralanmaktadır. Sistem tasarımında kullanılan tüm yatırım bedelleri ve sistemin işletimi için gerekli bedeller, Tablo 8’de detaylı olarak verilmiştir.

**Tablo 8** Yağmur suyu sisteminin maliyet kalemleri ve bedelleri

Maliyet Kalemleri	Metraj (m)	Birim Bedeli	Toplam Bedeli
<b>BORU İHTİYACI</b>			
DN15	50	₺17,00	₺850
DN20	300	₺34,00	₺10.200
DN25	300	₺50,00	₺15.000
DN32	100	₺67,00	₺6.700
PVC70	300	₺34,00	₺10.200
PVC100	300	₺50,00	₺15.000
PVC125	100	₺67,00	₺6.700
Kesme vanası	8	₺83,00	₺664
Kollektör	2	₺415,00	₺830
<b>ARITMA</b>			
Vortex Filtre	1	₺13.300	₺13.300
Giriş akış düzenleyici	1	₺3.700	₺3.700
Taşkan Sifonu	1	₺5.000	₺5.000
Yüzeysel Emiş Filtresi	1	₺4.200	₺4.200
<b>DEPOLAMA</b>			
10 m <sup>3</sup> kapasiteli su deposu	1	₺26.081	₺26.081
<b>POMPA SİSTEMİ</b>			
Pislik tutucu	1	₺830	₺830
İki Pompalı Düşey Tip Paket Hidrofor, 10 m <sup>3</sup> /h - 90 mSS	1	₺30.240	₺30.240
Hidrofor tankı	1	₺6.840	₺6.840
<b>MONTAJ</b>			
DN15	50	₺9,00	₺450
DN20	300	₺17,00	₺5.100
DN25	300	₺25,00	₺7.500
DN32	100	₺34,00	₺3.400
PVC70	300	₺17,00	₺5.100
PVC100	300	₺25,00	₺7.500
PVC125	100	₺34,00	₺3.400
Kesme vanası	8	₺42,00	₺336
Kollektör	2	₺208,00	₺416
Hidrofor tankı	1	₺8.300	₺8.300
<b>TOPLAM YATIRIM MALİYETİ</b>			<b>₺197.837</b>
<b>İŞLETME MALİYETİ (yıllık)</b>			<b>₺3.000</b>

İzmir otel binası (Otel A) için çalışılan fayda-maliyet analizinde izlenen metodoloji ve hesapların tümü Antalya otel

binası (Otel B) için de uygulanmıştır. Her iki otel için YSH sistemlerinin uygulanabilirliği kıyaslanmıştır. Antalya’da 600 yatak kapasitesine sahip otel binası (Otel B) için çalışılan çatı üstü YSH sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışma sonuçları Tablo 9 ile verilmiştir. Otel binası için tasarlanan YSH sistemiyle yağmur suyunun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür.

**Tablo 9** Otel Antalya (B) binasına ait bilgiler

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	Antalya	
Yağış miktarı	794,6	mm
Bina tipolojisi	Otel	
Personel kişi sayısı	320	kişi
Misafir sayısı	1200	kişi
Çatı alanı (birden fazla bina)	4280	m <sup>2</sup>
Çatı malzemesi	Teras çatı	
Su tarifi	30,765	TL/m <sup>3</sup>
Toplanan yağmur suyu miktarı	2477	m <sup>3</sup> /yıl
Seçilen depo kapasitesi	50	m <sup>3</sup>
Sifon suyu ihtiyacı	12264	m <sup>3</sup> /yıl

### 3. Sonuçlar

#### 3.1. Fayda-Maliyet Analizleri

Tablo 6’da verildiği üzere Otel A’da toplanabilir yağmur suyu miktarı 434,5 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Su birim fiyatının konut dışı aboneler için 66,26 TL/m<sup>3</sup> olduğu İzmir ilinde yıllık 435,5 m<sup>3</sup> su tasarrufu ile 28.787,24 TL ekonomik tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir.

Yatırım-işletme maliyetleri ile ekonomik tasarruf göz önüne alınarak yatırımın geri ödeme süresini hesaplamada kullanılan NBD ölçütü, Denklem 5’de verilen eşitlikle ifade edilmektedir.

$$NBD = -Y_0 + \sum_{n=1}^n \frac{NF_n}{(1+i)^n} \quad (5)$$

Burada; NBD:Net bugünkü değer; Y<sub>0</sub>: İlk yatırım maliyeti; NF: Net fayda; i: İskonto oranı ve n:yıl’dır. NF (Net Fayda) hesaplanması için Denklem 6’da verilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$NF = \{(GK_s \times F_s) + (GK_s \times A_{ksub})\} - IB \quad (6)$$

Burada; GK<sub>s</sub>: Yıllık geri kazanılan su miktarı (m<sup>3</sup>); F<sub>s</sub>: Birim su fiyatı (TL/m<sup>3</sup>); A<sub>ksub</sub>: Birim kullanılmış su uzaklaştırma bedeli (TL/m<sup>3</sup>); IB: Yıllık işletme ve bakım gideri (TL)’dir.

Yukarıda sunulan NBD formülü ile Otel A için hesaplanan fayda-maliyet analizi cetveli Tablo 10 ile verilmektedir. Buna göre; 30 yatak kapasiteli, 365 gün açık olan, 800 m<sup>2</sup> çatı alanına sahip otel binasında uygulanacak olan YSH sisteminin yatırımı 9 yıl sonra geri ödenmektedir.

**Tablo 10** İzmir otel (Otel A) YSH sistemi fayda-maliyet analizi cetveli

Fayda ve Maliyetler	İlk yıl	NBD ile hesaplanan 11.yıl
Yatırım Maliyeti	₺197.837,02	₺188.416,20
İşletme Maliyeti	₺3.000,00	₺6.763,99
Yıllık Fayda	₺28.787,24	₺204.614,57
Yıllık Net Fayda	₺25.787,24	₺12,92

Otel A için çalışılan fayda-maliyet analizinde izlenen metodoloji ve hesapların tümü Antalya Otel (Otel B) için de uygulanmıştır. Yağmur suyu sistemlerinin uygulanabilirliği kıyaslanmıştır.

Antalya'da 600 yatak kapasitesine sahip otel binası için çalışılan çatı üstü YSH sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışma sonuçları Tablo 11'de verilmiştir. Otel binası için tasarlanan YSH sistemiyle yağmur suyunun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür. 4280 m<sup>2</sup> çatı alanı bulunan otel binasında 2.477 m<sup>3</sup>/yıl su hasat edilmesiyle sifon suyu kullanımında %20 su tasarrufu sağlanabilmektedir. Antalya İlinde otel/iş yeri abone tarifesini Temmuz 2022 tarihinde 30,765 TL/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık 76.213 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. İlk yatırım maliyeti 803.559 TL olan sistemin fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 16 yıl olarak bulunmuştur (Tablo 11).

**Tablo 11** Antalya Otel (Otel B) YSH sistemi maliyetleri

Fayda ve Maliyetler	Değer	Birim
Sifon suyundan tasarruf potansiyeli	20	(%)
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	76.213,18	TL/yıl
Yatırım maliyeti	803.558,71	TL
İşletme maliyeti	2.150,00	TL/yıl
Yıllık net fayda	74.063,18	TL/yıl
Geri ödeme süresi	16	yıl

Çalışılan son senaryo ise (Otel C) İzmir'de planlanan otelin (Otel A) faaliyette olduğu kabulü ile mevcut tipolojide fayda-maliyet analizinin tekrarlanması ile planlanan ve mevcut aynı şartlardaki iki otelin YSH yatırım maliyetlerinin ve geri ödeme sürelerinin karşılaştırılmasının yapılmasıdır. Bu seçeneğin sonuçları Tablo 12'de yer almaktadır. Karşılaştırma tablosuna göre Otel A YSH sistemi bina projelendirilirken tasarlandığında geri ödeme süresi 9 yıl olurken, kullanım halindeki otele uygulandığında bu süre iki katına çıkmaktadır. Mevcut binalarda YSH sistemi tasarlanırken kırım-yapım işlemi devreye gireceğinden yatırım maliyetinde bir artış söz konusudur. Şekil 1'de her 2 senaryoda yatırım maliyetlerini oluşturan iş kalemleri arasındaki dağılımından anlaşılacağı üzere, planlanan bir binaya YSH sistemi tasarlamak mevcut binalara YSH sistemi yapılmasından çok daha tercih edilebilmektedir.

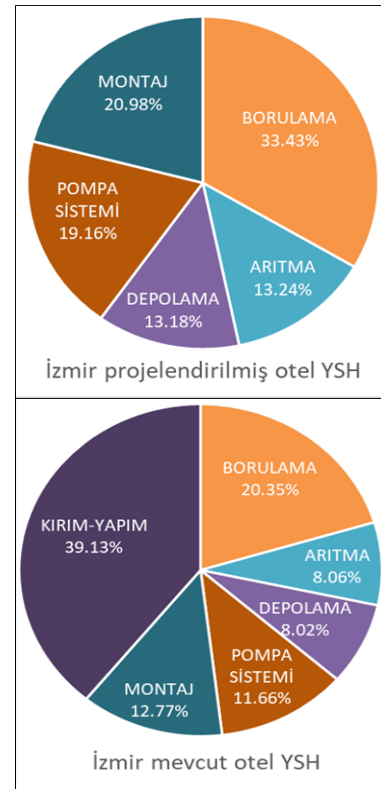
**Tablo 12** İzmir planlanan otelin (Otel A) mevcut ve faaliyette olması durumunda (Otel C) maliyet ve geri ödeme süresi karşılaştırılması

Alanlar	Proje Aşamasında Uygulandığında OTEL A		Faaliyet Aşamasında Uygulandığında OTEL C	
	Yatırım maliyeti (TL)	Geri ödeme süresi (yıl)	Yatırım maliyeti (TL)	Geri ödeme süresi (yıl)
İzmir Otel	197.837,02	9	325.037,02	18

### 3.2. Şebeke Suyu Tasarruf Analizi

YSH sistemlerinin devreye girmesi ile otellerdeki yıllık toplam su tüketimleri tahmin edilmiş ve mevcut toplam su tüketimlerinden tasarruf oranları hesaplanmıştır. Yapılardaki toplam su tüketiminin kullanılmasında, TSE 1258 Temiz Su

Tesisatı Hesap Kuralları kapsamında konutlardaki ve konut dışı yapılarıdaki su ihtiyaçları için belirlenen referans değerler esas alınmıştır [37]. Bu kapsamda su tüketimi hesaplarında kullanılan değerler otel ve benzeri işletmeler için Tablo 13'de verilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak her iki otel için hesaplanan toplanan yağmur miktarı ile şebekeden temin edilen su kullanımları ve YSH sisteminin devreye girmesi ile sağlanacak şebeke suyundan tasarruf oranı Tablo 14'de gösterilmektedir. Tek bir binadan oluşan çok katlı Otel A'da YSH sisteminin kurulması ve işletilmesi ile yılda %12'lik bir su tasarrufu söz konusu iken büyük bir tatil köyü niteliğinde olan Otel B'de toplam su tüketimi hayli yüksektir, dolayısıyla oransal olarak tasarruf potansiyeli %3 olsa da YSH ile elde edilen su miktarı azımsanmayacak seviyededir.



**Şekil 1.** İzmir planlanan otelin (Otel A) mevcut ve faaliyette olması durumunda (Otel C) yatırım maliyetlerini oluşturan iş kalemlerinin dağılımı

**Tablo 13** Su tüketimi hesaplarında otel ve bezeri işletmeler için kullanılan değerler (TSE, 1983)

Yapı Tipi	Su İhtiyacı (L/kişi.gün)
Oteller (küvetli)	150
Oteller- personel için	45
İş yerleri/ofisler	45
Lokantalar	7

**Tablo 14** Oteller için hesaplanan toplanan yağmur miktarı ile şebekeden temin edilen su kullanımları ve YSH sisteminin devreye girmesi ile sağlanacak şebeke suyundan tasarruf oranı

Parametre	Birim	Otel A (İzmir)	Otel B (Antalya)
Toplanabilen Yağmur Suyu Miktarı	m <sup>3</sup> /yıl	434,5	2.477,30
Sifon Suyu	m <sup>3</sup> /yıl	732,52	12.264,39
Bahçe Sulama	m <sup>3</sup> /yıl	730,7	-
Araç Yıkama	m <sup>3</sup> /yıl	4,32	-
Temizlik	m <sup>3</sup> /yıl	230,4	-
Su Kullanımı Referans Değeri	L/kişi.gün	150	150
Kişi Sayısı	Otel konuğu	60	1200
Kişi Sayısı*	Personel	23	320
Binadaki Toplam Su Tüketimi	m <sup>3</sup> /yıl	3.662,78	70.956,00
Su Tasarrufu Oranı	%	12	3

\*Otel yapılarında yatak sayılarına ek olarak personellerin su tüketimi de (45 L/personel.gün) toplam su tüketimine ilave edilmiştir.

#### 4. Tartışma

YSH sisteminin çeşitli bina tipolojilerinde uygulanması ile binanın coğrafi konumu, toplanabilen yağmur suyu miktarı ve kullanım alanları ile şebekeden su tasarrufu yadsınmaz. Ortaya konan yatırım maliyetlerinin çalışılan otel örneklerinde olduğu gibi değişken olmakla birlikte genelde 10-15 yıl civarı süreler literatürde fizibl kabul edilmektedir. Ancak daha da önemlisi kurulacak YSH sistemleri ile şebekeden sağlanacak su tasarrufudur.

Dünyadan çeşitli uygulamalara bakıldığında, Kuzeydoğu Meksika'da YSH stratejisinin uygulandığı bir üniversite kampüsünde amortisman süresi 6 yıl olarak bulunmuştur [38]. Hindistan'da YSH sisteminin tasarımı üzerine yapılan bir çalışma, seçilen 19 çatıdan su toplanan bir Güney Hindistan Üniversitesi kampüsünde gerçekleştirilmiştir. Geri ödeme süresi 13 yıl olarak hesaplanan çalışmada sonuç uygulanabilir olarak değerlendirilmiştir [39]. Aybuga ve Isıldar (2017) [40] ise Ankara'da hem YSH hem de GSK sistemlerinin birlikte değerlendirildiği durumda geri ödeme süresini hane düzeyinde yaklaşık 5 yıl hesaplamıştır. Güney Afrika'nın Kwa-Zulu Natal Eyaleti Durban şehrindeki tek ailelik bir evde her iki sistem üzerinde uygulamalı bir vaka çalışması yapılmış ve ilgili geri ödeme süresi 4,39 yıl olarak bulunmuştur [41]. Sonuçlar tatlı suya erişim, suyun fiyatı, suyun kalitesi, iklim değişikliği ve şehrin yağış rejimine bağlı olarak oldukça değişkenlik göstermiştir. Bununla birlikte, çalışmanın genel sonucu, bu tür yeni teknolojilerin ve bunların finansal göstergelerinin, binanın konumu ne olursa olsun uzun vadede fayda sağlayacağı yönündeki yaklaşımın gerçekliğini ortaya koymuştur [42].

Al-Saidi (2021) [43] ve Al-Khatib ve diğ. (2022) [44] yeniden kullanım uygulamalarının sosyal kabulüne ilişkin bilgileri de özetlemiştir. Su kaynağı, teknoloji ve son kullanım unsurları göz önünde bulundurularak, genel yeniden kullanım denemeleri ve suyun yeniden kullanımına yönelik sosyal izolasyonlar hakkında metodik bir bakış açısı sunmaktadır. Bu nedenle, yeniden kullanım uygulamalarından ilham almak

sadece teknolojik ve finansal bir özellik değildir; aynı zamanda ülke çapında yürütülecek yaygınlaştırma faaliyetlerini gerektiren sosyo-ekonomik bir anlayışı da yönetir. Geri ödeme sürelerine ek olarak, tuvalet sifonu, sulama, zemin temizliği ve araba yıkama gibi içme suyu kalitesi gerektirmeyen alanlarda, YSH ve hatta YSH yanı sıra GSK uygulamaları ile sağlanabilen su tasarrufunun önemli düzeyde olduğu görülmüştür.

#### 5. Değerlendirme ve Öneriler

Türkiye'nin önemli turizm kentlerinden olan İzmir ve Antalya illerinde bulunan 2 farklı yapıdaki otel için YSH sistemlerinin fayda-maliyet analizleri bu çalışmanın ana konusu olmuştur. Tasarım hesaplamaları sırasında her iki kompleks için temel tasarım kriterleri dikkate alınmış ve sonuçlar geri ödeme süreleri ve su tasarrufu şeklinde sunulmuştur. Tasarım kriterlerine ve binaların tesisat planlarına dayanarak gerçekçi varsayımlara dayalı olarak yapılan hesaplamalar, amortisman süreleriyle birlikte yatırım ve işletme maliyetlerinin ayrıntılı olarak hazırlanmasını sağlamıştır. Gerçek vakalar üzerinde yürütülen bu çalışma, dünyanın farklı bölgelerinde suyun yeniden kullanımı ile ilgili benzer çabalarla ilgilenen diğer bilim insanları ve uygulayıcılar tarafından takip edilebilecek kapsamlı örnekler ortaya koymuştur.

İncelenen örneklerden çıkarılan dersler, güçlü ve zayıf yönlerine göre değerlendirilebilir. Turizm sektörünün ağırlıkta olduğu ve yılın ayları boyunca büyük nüfus dalgalanmaları yaşayan il ve ilçelerde su kıtlığı sorununa uygun bir çözüm gibi görünmektedir. YSH sisteminin kurulum ve işletim açısından nispeten daha kolay bir su kazanma sistemi olduğu anlaşılmaktadır. Mutlaka yüksek teknik uzmanlık, pahalı ekipman ve teçhizat gerektirmemektedir. Ancak hasat edilen su miktarı, etkin çatı yüzey alanının genişliğine ve bölgenin aldığı yağış miktarına bağlıdır. Bu anlamda, metodolojinin uygulanması kolaydır; ancak su akış hızı mekânsal ve zamansal olarak değişen bir sistem olduğundan YSH sistemlerinin verimi değişken olabilmektedir. Yine nicelikten ziyade nitelik açısından daha güvenli bir sistem olarak değerlendirilmektedir.

İklim değişikliğine uyum faaliyetleri kapsamında uygun görülen alternatif su kaynaklarından biri olarak kabul gören YSH sistemlerinin gerçek uygulama tasarımlarının ve fayda-maliyet analizlerinin çalışılması, su tasarrufu ve ekonomik kazanım potansiyellerinin değerlendirilmesi, sistemlerin uygulanabilirliğinin karşılaştırılması ve öneriler sunulması günümüzde bilim dünyası açısından önemli olduğu kadar, uygulayıcılar açısından da değerli bilgiler üretmektedir. Çeşitli bina tipolojilerinde YSH sistemlerinin yanı sıra GSK sistemlerinin de uygulanması ile su tasarruf oranlarının daha da artacağı beklenmektedir. Bu bağlamda bundan sonraki çalışmalarda YSH ile birlikte GSK alternatiflerinin de birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir.

#### Yazar Katkısı

Veri iyileştirme – Elif Ayyüce Kılınc (EAK), Asude Hanedar (AH); Biçimsel analiz – EAK, Ayşegül Tanık (AT); Araştırma – EAK, AH, AT, Erdem Görgün (EG); Deneysel performans – EAK, AT, AH; Veri toplama – EAK, EG; Veri işleme – EAK, EG, AT, AH; Literatür taraması – EAK, AH; Yazan – EAK, AT, AH, EG; İnceleme ve düzenleme – AT, EG, AH.



## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Elif Ayyüce Kılınc'ın İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri, Mühendislik ve İşletme Programı'nda hazırladığı Yüksek Lisans Tezi'nin verilerine dayanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] European Commission, A European Green Deal, striving to be the first climate-neutral continent. Priorities 2019-2024 (2019). [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en). (Son erişim tarihi: 05.02.2024).
- [2] Ghaffarian Hoseini, A., Tookey, J., Yusoff, S. M., & Hassan, N. B. (2016). State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: A review. *Desalination Water Treatment*, 57(1), 1–10.
- [3] Merville-Screvee, R., Ward, S., & Butler, D. (2016). Rainwater harvesting typologies for UK houses: A multi criteria analysis of system configurations. *Water*, 8, 129.
- [4] Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns Friedler, E., DeBusk, K., & Fisher-Jeffes, L. N. (2017). Urban rainwater harvesting systems research: Implementation and future perspectives. *Water Research*, 115, 195–209.
- [5] Musayev, S., Burgess, E., & Mellor, J. (2018). A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change. *Resour. Conservation Recycl.* 132, 62–70.
- [6] Vuppaladadiyam, A. K., Merayo, N., Prinsen, P., Luque, R., Blanco, A., & Zhao, M. (2019). A review on greywater reuse: Quality, risks, barriers and global scenarios. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology*, 18, 77–99.
- [7] Elhegazy, H., & Eid, M. M. M. (2020). A state-of-the-art review on grey water management: A survey from 2000 to 2020s. *Water Sci. Technol.* 82 (12), 2786–2797.
- [8] Anuja, J., Darshan, B., & Meyyappan, N. (2021). Study on reuse of grey water- a review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1979 (012004).
- [9] Khajvand, M., Mostafazadeh, A. K., Drogui, P., Tyagi, R. D., & Brien, E. (2022). Greywater characteristics, impacts, treatment, and reclamation using adsorption processes towards the circular economy. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 29, 10966–11003.
- [10] Angelakis, A. N., & Bontoux, L. (2001). Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. *Water Policy*, 3(1), 47–59.
- [11] Mizyed N.R., (2013). Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. *Environmental Science and Policy*, 25, 186-195.
- [12] Ofori, S., Puškáčová, A., Růžičková, I., & Wanner, J. (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Sci. Total Environ.* 760, 144026.
- [13] Navarro, T. (2018). Water reuse and desalination in Spain-challenges and opportunities. *J. Water Reuse Desalination*, 8 (2), 153–168.
- [14] Zhu, Z., Peng, D., & Wang, H. (2019). Seawater desalination in China: An overview. *J. Water Reuse*

*Desalination*, 9 (2), 115-132.

- [15] Pistocchi, A., Bleninger, T., Breyer, C., Caldera, U., Dorati, C., & Ganora, D., (2020). Can seawater desalination be a win-win fix to our water cycle?, *Water Research*, 182 (1), 115906.
- [16] Novotny, V. (2013). Water-energy nexus: Retrofitting urban areas to achieve zero pollution. *Build. Res. Inf.* 41 (5), 589–604.
- [17] Eslamian, S. (2016). *Urban water reuse handbook*, USA: CRC Press, Taylor and Francis Group.
- [18] United Nations (UN), Sustainable Development Goals. (2022). Available online: <https://unfoundation.org/what-we-do/issues/sustainable-development> (Son erişim tarihi: 23 August 2023).
- [19] Tanık A. (2021). Yapılar ve iç mekânda yağmur suyundan yararlanma yöntemleri, Marmara Belediyeler Birliği. <https://marmara.gov.tr/uploads/old-site/2021/03/Aysegul-Baysal-Tanik.pdf> (Son erişim tarihi: 05.02.2024).
- [20] Okhravi, S., Eslemian, S., & Adamowski, J., Water reuse in rainwater harvesting, In: Urban water reuse handbook. S. Eslemian (eds.), USA: CRC Press, Taylor and Francis Group, pp. 787–804, 2016.
- [21] Poff, N. L., Brown, C. M., Grantham, T. E., Matthews, J. H., Palmer, M. A., & Spence, C. M., (2016). Sustainable water management under future uncertainty with ecoengineering decision scaling. *Nat. Clim. Change*, 6(1), 25–34.
- [22] Kagabika B.M. & Kankuyu O. (2021). Rooftop Rainwater Harvesting for Sustainable Development of Households in City of Kigali: Case of Niboye Sector in Kicukiro-District. *Open Access Library Journal*, 8: e6567.
- [23] Oweis T., Prinz D., & Hachum A. (2001). Water harvesting: indigenous knowledge for the future of the drier environments. *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, ICARDA 2001* (pp. 40), Aleppo, Syria.
- [24] Pamuk. M.G., & Akkuzu E. (2008). Küresel Su Krizi ve Su Hasadı Teknikleri. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5 (2), 75-85.
- [25] Tokuş, C. M. & Özdemir, G. ed. (2017). Yağmur Hasadı Uygulamalarına Giriş Rehberi: İklim Değişikliğine Uyum Kapsamında Bir Çözüm Önerisi, *Peyzaj Araştırmaları Derneği*, Ankara. ISBN: 978-605-84032-1-5.
- [26] Lancaster, B. (2008). Rainwater harvesting for drylands and beyond, In: Volume 2: Water-harvesting earthworks, Rainsource Press, 419 p.
- [27] Struk-Sokolowska, J., Gwoździej-Mazur, J., Jadwiszczak, P., Butarewicz, A., Ofman, P., Wdowikowski, M., & Kaźmierczak, B. (2020). The quality of stored rainwater for washing purposes. *Water*, 12(1), 252.
- [28] Campisano, A., & Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63, 9- 16.
- [29] EPA (2010). Rainwater and Grey Water: Review of water quality standards and recommendations for the UK Raporu, The Government's Market Transformation Programme (MTP), Environment Agency, UK.
- [30] Resmi Gazete, “Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik”, 23.06.2017-No:30105

- [31] Resmi Gazete, “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği”, 23.01.2021-Değişiklik
- [32] Kılınc, E.A. Türkiye’de Alternatif Su Kaynaklarının Fizibilite Analizleri: Yağmursuyu Hasadı, Grisi Kullanımı (2024), Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [33] TÜBİTAK-MAM (2014). Türkiye Kıyılarında Yüzme Suyu Profillerinin Belirlenmesi Projesi, Bileşen 2: Turizmde Çevre Dostu Atıksu Yönetim Modelinin Oluşturulması – Fizibilite Raporu, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi. Ankara: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- [34] Ağaoglu, O.K. (1992). İşgücünü Verimli Kullanma Tekniklerinin Turizm Sektörüne Uygulanması. *Verimlilik Dergisi*, Milli Prodüktivite Yayını No: 457, Ankara, ss.114.
- [35] Kantaroğlu, Ö., (2011). Yüksek Performanslı Binalarda Su Stratejileri, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 17(22), 32
- [36] Doğanönül, C., & Doğanönül, Ö. (2009). Küçük ve Orta Ölçekli Yağmursuyu Kullanımı. Ankara: Teknik Yayınevi.
- [37] Türk Standartları Enstitüsü (1983). Temiz Su Tesisatı Hesap Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, TS 1258, Ekim 1983, 46 s.
- [38] Zavala, M. A. L., Vega, R. C., & Miranda, R. A. L. (2016). Potential of rainwater harvesting and greywater reuse for water consumption reduction and wastewater minimization. *Water*, 8 264.
- [39] Anchan, S. S., & Shiva Prasad, H. C. (2021). Feasibility of roof top rainwater harvesting potential-a case study of South Indian University. *Clean. Eng. Technol.* 4, 100206.
- [40] Aybuga, K., & Isıldar, G. Y. (2017). An evaluation of rain water harvesting and grey water reuse potential for Ankara. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.*, 8 (3), 209–216.
- [41] Zhang, L., Njepu, A., & Xia, X. (2021). Minimum cost solution to residential energy-water nexus through rainwater harvesting and greywater recycling. *J. Clean. Prod.*, 298, 126742.
- [42]. Stec, A., & Slys, D. (2022). Financial and social factors influencing the use of unconventional water systems in single-family houses in eight European countries. *Resources* 11, 16.
- [43] Al-Saidi, M. (2021). From acceptance snapshots to the social acceptability process: Structuring knowledge on attitudes towards water reuse. *Front. Environ. Sci.* 9, 633841.
- [44] Al-Khatib, I. A., Al Shami, A. A. H. U., Garcia, G. R., & Celik, I. (2022). Social acceptance of greywater reuse in rural areas. *Journal of Environmental Public Health*, 1–11.