

Yağmur Suyu Hasadı Hesabı: Çorum İli Örneği

Murat Dağ¹, Murat Ay^{2*}

¹Çorum Belediyesi, Çevre ve İnşaat Mühendisi, 19040, Çorum.

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 66000, Yozgat.

Özet

Bu çalışma, hidrolojik bir değişken olan yağmur suyunun hasadının önemini, hâlihazırdaki su kaynaklarına alternatif olarak kullanılabileceği ve kuraklığa karşı depolama fonksiyonu ile yağmur suyunun getireceği faydaların ve zararların irdelenmesini içermektedir. Bu kapsamda, Çorum İli Merkez ilçesinde yer alan AHL Park Alışveriş merkezinin yaklaşık 27000 m² olan çatısında toplanabilecek yağmur suyu potansiyelinin hesaplanması, günümüz ekonomik koşullarında maliyetinin değerlendirilmesi ve öneriler yapılmıştır. İlk yatırım ve işçilik maliyetlerinin yüksek olması, sistemin amortisman süresinin uzun süreler olması (50-100 yıl) ve inşaatı biten bu gibi binalarda sistemin yapım işinin zahmetli, masraflı ve riskli olması sebepleri düşünüldüğünde sistemin uygulanma olasılığının ülkemizde düşük olasılıkla olduğu görülmüştür. Ancak, bu gibi sebeplerin canlıları tehdit eden kuraklık tehlikesi ve kaliteli su sıkıntısı gibi risklere karşı daha zayıf sebepler olduğu söylenebilir. Diğer taraftan, daha verimli ve ekonomik başka alternatif depolama sistemleri geliştirilebilir ve yağmur suyu hasadı sistemleri farklı su hasadı sistemleri (örneğin yeraltı suyu) ile bütünleştirilebilir. Ülkemizde yağmur suyu hasadı ile ilgili daha ayrıntılı bir yönetmeliğe ihtiyaç olup şimdilik bir hesap ve öngörü oluşması için Almanya ve İngiltere gibi ülkelerin yönetmeliklerinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Anahtar Sözcükler

Çorum, Gri Su, Maliyet, Yağmur Suyu

Calculation of Rainwater Harvesting: A Case Study of Çorum City

Abstract

This study includes the importance of harvesting rainwater, which is a hydrological variable, and its ability to be used as an alternative to existing water resources, its storage function against drought, as well as the analysis of the benefits and harms of rainwater. In this context, the rainwater potential that can be collected on the roof of the AHL Park Shopping Center, which is approximately 27000 m², located in the Central district of Çorum Province, was calculated, its cost was evaluated in today's economic conditions, and recommendations were made. Considering the high initial investment and labour costs, the long depreciation period of the system (50-100 years), and the troublesome, costly and risky construction of the system in such buildings whose construction has been completed, it has been observed that the possibility of implementing the system is low probability in our country. However, it can be said that such reasons are weaker than the risks such as drought danger and quality water shortage that threaten living creatures. On the other hand, other more efficient and economical alternative storage systems can be developed and rainwater harvesting systems can be integrated with different water harvesting systems (e.g. groundwater). A more detailed regulation on rainwater harvesting is needed in our country, and it is recommended to use the regulations from countries such as Germany and England in order to make a calculation and estimation.

Keywords

Çorum, Gray Water, Cost, Rainwater

1. Giriş

Su, dünyamız üzerindeki tüm canlı yaşamı için çok önemlidir; ancak insanlık, başına bir felaket geldiği zaman hareket etmeyi daha çok tercih etmektedir. Suyun gelecek dönemlerdeki azlığı, zamansızlığı ve düzensizliği gibi durumlar yağmur suyu hasadının birçok sektörde ve farklı amaçlarda kullanılması gerektiğini ön plana çıkarmaktadır. Yağmur sularının içme suyu amaçlı kullanılmak istenmesi durumunda ise suyun bazı işlemlerden (filtrasyon, klorlama, dezenfeksiyon, kaynatma) geçirilmesi gerekmektedir. Yağmur suyu, yeraltı sularını özellikle bölgenin kuraklık zamanlarında beslemektedir. Diğer taraftan, enerji maliyetleri ve tesisleri düşünüldüğünde su, karbon ve ekolojik ayak izlerine olumlu etkisinin olduğu da söylenebilmektedir (Ay, 2013; Haque vd., 2016; Ay & Kişi, 2016; Çakar, 2022; Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023). Suyun tasarruflu kullanımı amacıyla yeraltında ya da bir depoda toplanması fikri, eski zamanlara dayanmaktadır. Bu depolar, farklı şekil ve malzemelerle tasarlanıp inşa edilmişlerdir.

Yapılan teknik ve bilimsel kazı çalışmalarında yağmur suyunun toplanması için sarnıç, kuyu, depo, yeraltı suyu gibi yapıların milattan önceki dönemlerde olduğu görülebilir (Yaziz vd., 1989; Förster, 1999; Zhang vd., 2019).

Temiz ve kolay ulaşılabilir bir varlık olan yağmur suyu, suyun yokluğu ya da yer değiştirmesi endişesi ile her zaman etkinliğini ve önceliğini korumuştur. Kentleşme, nüfusun, küreselleşmenin ve ekstrem (aşırı) olayların artmaya başlaması doğal su kaynaklarının özensizce ve umarsızca tüketilmesine sebep olmaktadır (Sazaklı vd., 2007; Jha vd., 2014; Almazroui vd., 2017; Güngör, 2017). Bu durumlar, toplumları su ihtiyaçlarını karşılamada doğal ve kaliteli su kaynakları için farklı yollar aramaya yönlendirmiştir (Uba & Aghogho, 2000; Zavala vd., 2018; Almeida vd., 2023; Kılıç vd., 2023).

Yağmur sularını içme, sanayi ve tarımda kullanmak akılcı ve ekonomik bir çözümdür. Özellikle yağış rejimlerinin değişmesi ve bazı bölgelerde yağış miktarlarında ciddi ve istatistiksel olarak anlamlı azalmaların olması yağmur sularının kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Ülkemizde birçok ilde hem tarımda hem işyeri hem de binalarda yağmur suyu kullanımı mevcuttur ve giderek yaygınlaşmaktadır. Son zamanlarda, bazı ülkelerde (Almanya (2000 yılı), İngiltere, Avustralya, Amerika (1992 yılı) gibi) yağmur suyu sistemlerini kuranlar için vergi indirimleri ve maddi yardımlar yapılmaktadır. Yağmur suyu hasadı sistemleri, aynı zamanda yeşil bina sertifikası kapsamında değerlendirmeye alınmakta ve bu sisteme sahip binalara yeşil bina kavramı kapsamında olumlu puanlar verilmektedir. Ülkemizde İstanbul ve Ankara şehirlerimizde yeşil bina sertifikasına sahip binalar mevcuttur.

Yağmur suyu hasadı sistemleri için kullanılan yönetmelikler DIN1989 (Almanya), Türkiye (T.C. Resmî Gazete, 2017; T.C. Resmî Gazete, 2021), BS8515 (İngiltere) olarak sayılabilir. Ayrıca, yağmur suyu hasadı sistemlerinin kurulumu, montajı ve işletmesini yapan ulusal/uluslararası firmalar da bulunmaktadır.

Bu kapsamdaki yapılan literatür çalışmalarına bakıldığında ulusal ve uluslararası birçok araştırmacı yağmur suyu hasadının önemli ve yapılması gerekli işler arasında öncelikli bir eylem olduğunu işaret etmektedir. Örneğin, Zavala vd. (2018), Mexico City'de bulunan bir nakliye lojistiği şirketinin su talebinin %100'ünü karşılamak için yağmur suyu hasadı sistemlerinin güvenilirliğini denemiş ve sistemlerin su temini için uygun, güvenilir ve ekonomik açıdan uygun çözümlere sahip olup olmadığını kontrol etmiştir. Ekonomik hesaplamalar neticesinde sistemin kurulmaya uygun olduğunu, sistemin amortisman süresinin 5 yıl olduğunu bulmuşlardır. Musayev vd. (2018) dünya ülkelerini ve 94 ölçüm istasyonunu analiz etmiş, binaların çatılarını ve depo boyutlarını su güvenilirliğine göre karşılaştırmıştır. Yağmur suyu hasadının kurak bölgelerde su güvenliğini %80 oranında iyileştirmede etkili bir araç olabileceği sonucuna varmışlardır. Haque vd. (2016), Almazroui vd. (2017) ve Zhang vd. (2019) iklim değişikliğinin sırasıyla Avustralya, Suudi Arabistan ve Çin'de yağmur suyu hasadı üzerindeki etkilerini analiz etmişler ve suyun kullanılabilir olduğunu bulmuşlardır. Mattos vd. (2019), 2015 ve 2016 yıllarında Alaska kırsalında dokuz topluluktan 48 yağmur suyu örneği toplayarak sudaki toplam organik karbon analizi, pH, metaller ve bakterilerin kalitesini analiz etmişlerdir. Toplanan yağmur sularının içme suyu olarak kullanılmasının güvenli olduğunu bulmuşlardır. Khanal vd. (2020), dünya çapında içme suyu kıtlığıyla mücadele etmek için 2000 ve 2020 yıllarına ait yağmur suyu hasadı ve kullanma sistemlerine ilişkin çalışmaları gözden geçirip yağmur suyunun içme suyuna alternatif olabileceğini bulmuşlardır. Raimondi vd. (2023) ve Üstün vd. (2020) yağmur suyu hasadı ve arıtma sistemlerine ilişkin geniş bir derleme çalışması yapmışlardır. Kılıç vd. (2023), Bursa Uludağ Üniversitesi kampüsündeki İlahiyat Fakültesi için yağmur suyu hasadı sisteminin kurulumunu incelemişlerdir. Başka bir çalışmada (Kılıç & Abuş, 2018), bahçeli bir evin yağmur suyu hasadı için hesaplamalar yapmışlardır. Diğer taraftan, yağmur suyu potansiyelinin hesaplanmasında coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) de (Singh vd., 2017; Baby vd., 2019; Preeti & Rahman, 2021) kullanıldığı görülmektedir.

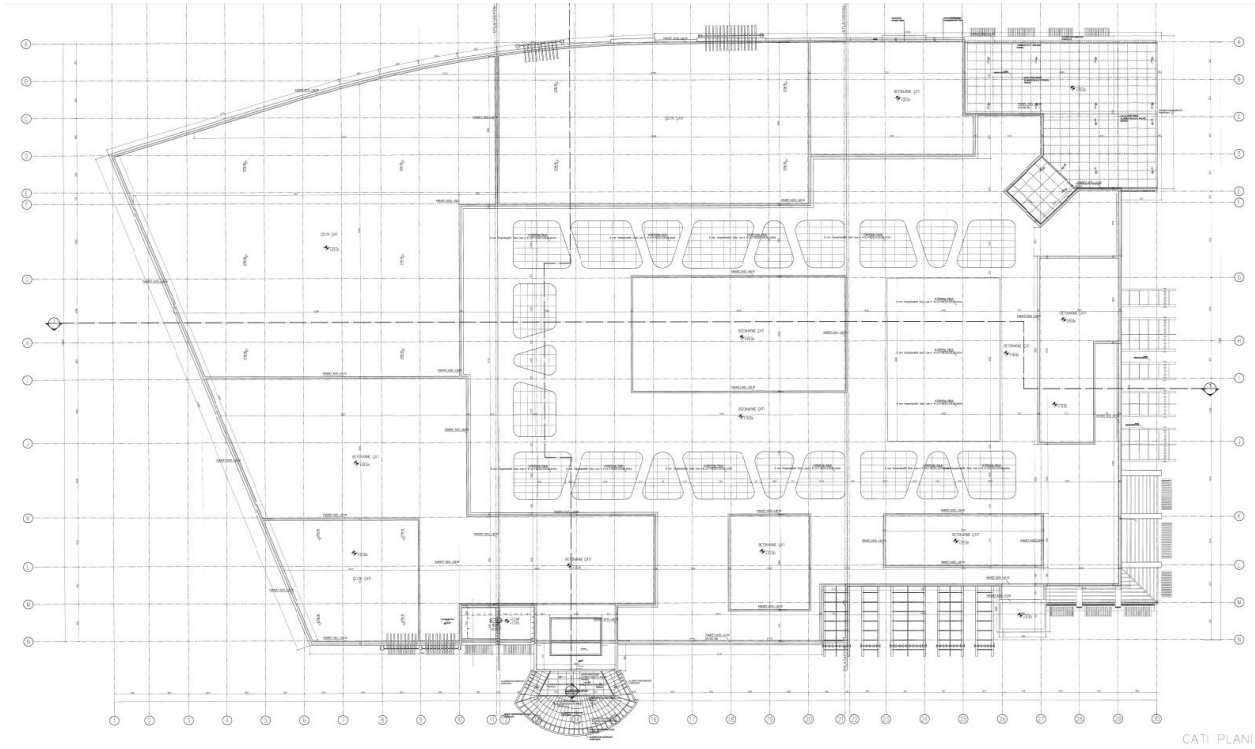
Yağmur suyu hasadı ile ilgili olarak ulusal ve uluslararası tezler ve projeler de mevcuttur (Dixon, 2000; Despins, 2009; Vargas, 2009; Şahin, 2010; İncebel, 2012; Demir, 2012; Harb, 2015; Caner, 2016; Rodriguez, 2018; Ballar, 2019). Son yıllarda yapılan bu çalışmaların, depo büyüklükleri (5, 10, 20, 30 m³), sanayi, ev, köy, üniversite çatıları gibi yerlerde yağmur suyunu kullanım alanları gibi konuları içerdiği görülmektedir (Çetinkaya, 2019; Nkhereanye 2020; Dereli 2020; Günaydın, 2021; Ruso, 2021; Kadı, 2022; Börü, 2022; Özben, 2022; Geben, 2023; Topal, 2023). Bu çalışmada ise, örnek olay olarak Çorum AHL Park alışveriş merkezi güncel malzeme ve işçilik maliyetleri (şebeke suyu m³ fiyatı) ve farklı depo, yağış ve alan senaryolarına göre yağmur suyu potansiyelinin belirlenmesi ve AVM içinde hasat edilen yağmur suyunun temizlik, tuvalet, sifon, sulama ve arıtmadan sonra içme suyu olarak kullanım durumları incelenmiştir. Bu kapsamda, binanın etrafındaki sulanabilir yeşil alanlar da hesaba katılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çorum ili karasal bir iklime sahip olup kış aylarında kar yağışı almaktadır (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022). İlin, merkez ilçesinde yer alan AHL Park Alışveriş Merkezi (Şekil 1) çatısında (Şekil 2) yağmur suyu hasadı yöntemi ile elde edilebilecek yağmur suyunun, alışveriş merkezinin tuvaletlerinde gri su ve sifon suyu olarak kullanımı, bina dışı (yeşil alan sulanması ve temizlik) kullanımı ve içme suyu olarak kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Toplamda yaklaşık 145000 m² inşaat alanına sahip olan AHL Park; 141 mağazası ve 50000 m² kiralanabilir alanı ile ulusal tekstil markalarından teraslı yeme ve içme alanlarına, eğlence ünitelerinden yüksek teknolojiye 8 adet sinema salonuna, 1500 araç kapasiteli otopark alanına sahiptir. Binanın dışında kalan alanlarında kilit parke taşı döşenmiş otopark alanı ve terrazzo karo plak (mermer) döşenmiş sert zemin uygulamaları mevcuttur. Ayrıca yeşil alanlar estetik ve fonksiyonel açıdan farklı peyzaj düzenlemelerinin yapıldığı küçük alanlar olarak tasarlanmıştır.



Şekil 1. AHL Park Alışveriş Merkezi yaklaşık güney-doğu cephesi (Çorum, 06.10.2023)



Şekil 2. AHL Park Alışveriş Merkezinin çatı planı (Yaklaşık alanı 27.000 m²)

Hesaplamalarda, alışveriş merkezi bina çatı alanının ve yeşil alanların ölçümleri, Çorum Belediyesi CitySurf Uygulaması üzerinden yapılmıştır. Alışveriş merkezi çatı katında birikebilecek yağmur suyu miktarının hesabı için “yağmur suyu verimi (YSV)” denklemi (Denklem 1) kullanılmıştır (DIN 1989).

$$YSV(m^3)=A \times P \times \dot{C}_k \times F_k \quad (1)$$

Denklem 1’de, yağmur toplanma alanı, A (m²): Binanın çatı alanını göstermektedir. Yıllık yağış miktarı P(mm), toplam yıllık yağış miktarını ifade etmektedir. Çatı verim katsayısı (Ç_k): Alman standartları tarafından DIN 1989’da (26. sayfa) 0,8 olarak belirtilen katsayıdır. Filtre etkinlik katsayısı (F_k): Alman standartları tarafından DIN 1989’da (26. sayfa) belirtilen katsayıdır (0,9). Çatıdan elde edilen yağmur suyunun, görünen katı maddelerden ayrıştırılması için geçirilen ilk filtrenin verimlilik katsayısıdır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den alınan yağış verilerine (ölçüm periyodu: 1929-2022) göre Çorum iline ait yıllık toplam yağış miktarının 430.1 mm olduğu görülmüştür (Tablo 1). Ayrıca aylık toplam yağmur suyu verimleri de (YSV) Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Çorum iline ait yağış değerleri ve yağmur suyu verimleri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

Ölçüm Periyodu (1929-2022, 94 yıl, Çorum, İstasyon kodu: 17084)			
Aylar	Ortalama yağışlı gün sayısı	Aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm)	Aylık yağmur suyu verimi (YSV), (DIN 1989) m ³
Ocak	12.5	39.5	767.88
Şubat	11.01	29.5	573.48
Mart	11.51	38.6	750.38
Nisan	11.73	46	894.24
Mayıs	13.29	61.5	1195.56
Haziran	10.12	54.8	1065.31
Temmuz	4.02	19.7	382.96
Ağustos	3.02	15.1	293.54
Eylül	4.53	21.9	425.73
Ekim	7.13	26.8	520.99
Kasım	8.22	33	641.52
Aralık	12	43.7	849.52
Yıllık Toplam	109.10	430.1 mm	8361.14 m³

3. Uygulama

Yağmur suyu hasadı ve depolama sistemlerinin performansı çatı alanı, çatı kaplama malzemesi, çatıya gelen yağış miktarı, ortam buharlaşma miktarı, rüzgârın yönü ve şiddeti, boru bağlantı elemanları, depo biçimleri ve hacimleri, arıtma/filtre sistemin bakımı ve işletmesi gibi değişkenlere bağlıdır (DIN 1989; British Standards Institution, 2009; T.C. Resmî Gazete, 2017; T.C. Resmî Gazete, 2021). Yağmur suyu toplanması için yapıların çatıları kullanılabileceği gibi yapay çatılar veya yüzeyler inşa edilerek yağmur suları toplanabilir ve depolara yönlendirilebilir. Burada, çatı yüzeyi ile su arasındaki etkileşim önemlidir (Sertyeşilışık & Uygunoğlu, 2023). Ayrıca bu araştırılacak bir konu olup malzeme deneyleri ile ilgili farklı yaklaşımlar denenebilir. İncelenen alışveriş merkezine ait çatı ve yeşil alanların ölçümleri proje üzerinden yapılmıştır. Çatı yüzeyinin toplam alanı yaklaşık 27000 m² olarak hesaplanırken, binaların çevresinde konumlandırılmış yeşil alanların kapladığı toplam alan ise yaklaşık 3500 m² olarak belirlenmiştir. Binaların çatısında, klima, havalandırma bacaları, borular ve benzeri sistemler bulunmaktadır. Bu noktada, bu gibi malzeme alanları genel çatı alanı gibi düşünülerek çatıya gelebilecek yağmur suyunun toplam potansiyeli göz önüne alınmıştır. 3500 m²'lik yeşil alana da yağmur düştüğü için çatıdan gelen suyun miktarından sulama için daha az su çekilebileceği söylenebilir. Ancak bu yeşil alanlar için yağışsız günlerde, su tamamen depodan çekileceği için hesaplamalarda depolarda suyun daha çok azalacağı düşünülmektedir. Alışveriş merkezinin çatısından yıllık hesaplanan potansiyel yağmur suyu miktarları Tablo 1'den yararlanarak 4 farklı senaryoya göre Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Muhtemel yağmur suyu verimleri (YSV) senaryoları ve oluşabilecek depo hacimleri

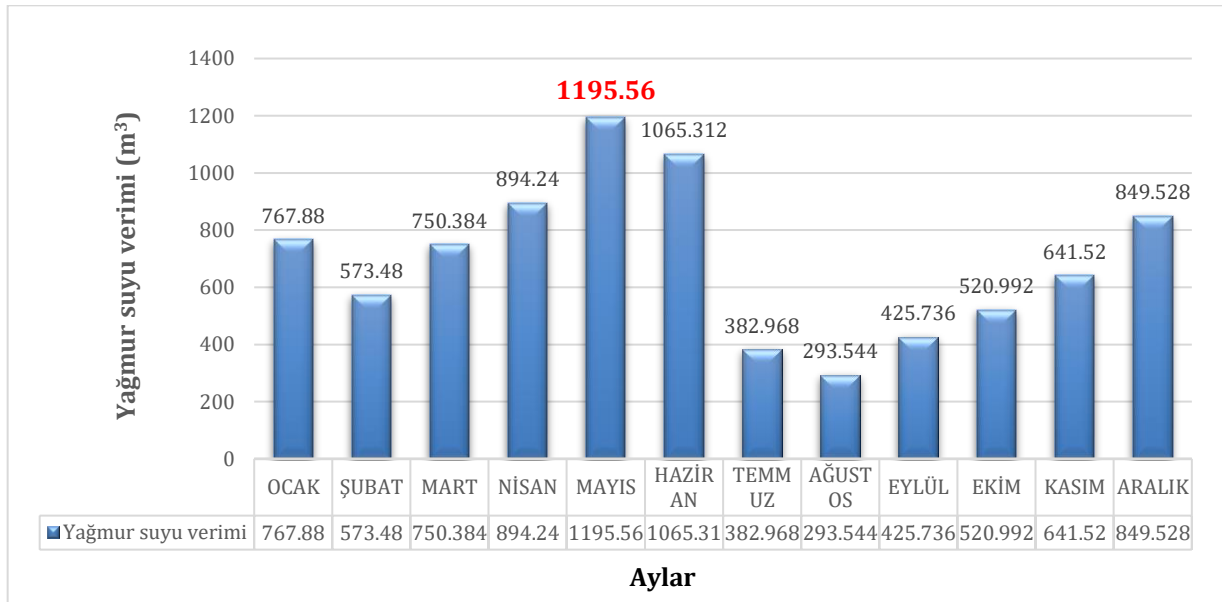
	Senaryo 1: Yıllık toplam yağışa göre	Senaryo 2: Sulama sezonuna göre (Nisan ve eylül ayları arası yağış toplamı)	Senaryo 3: Avrupa standardına göre yıllık toplam yağmurun %5 'i	Senaryo 4: Maksimum aylık toplam yağışa göre (Mayıs ayı)
Yıllık toplam yağış (m)	0.4301 m	0.219 m	0.021 m	0.0615 m
AVM çatı alanı (m²)	27000 m ²	27000 m ²	27000 m ²	27000 m ²
Yıllık yağmur suyu verimi (YSV) (DIN 1989'a göre) (m³)	8361.14 m ³	4257.36 m ³	408.24 m ³	1195.56 m ³

Hesaplanan YSV'lere göre oluşabilecek depo hacimleri yüksek değerlerde olduğu için en uygun depo hacminin seçilmesinin ve dolayısıyla sistemdeki en büyük maliyetlerden biri olarak depo maliyetleri göz önünde

bulundurulduğunda, senaryo 4 (Mayıs ayı)'ün tercih edilmesinin daha akılcı ve mantıklı olduğu düşünülmüştür. Genellikle yapılan çalışmalarda ve uygulama projelerinde bu durum göz önüne alınmaktadır. Bu noktada, binadaki su sarfiyatından dolayı depo hacmi için mayıs ayındaki maksimum aylık yağış toplamı (61,5 mm) alınarak hesaplanan yağmur suyu veriminin (1195.56 m³) kullanılması daha doğru bir karar olacaktır. Netice itibarıyla, optimum depo hacmi olarak mayıs ayı için hesaplanan yağmur suyu verimi (1195.56 m³) kullanılabileceği düşünülmüştür. Bu sayısal değer in altındaki ve üstündeki depo hacimleri hesaplamaları Tablo 2'deki diğer depo hacmi olabilecek yağmur suyu potansiyelleri ile kıyaslama yapılabilir. Ayrıca, depoların nereye ve nasıl yerleştirileceği konusu da önemlidir. Depoların yer altına gömülü şekilde olması ve dış ortam şartlarından (sıcaklık, donma tehlikesi, malzeme ömrü ve vandallık) korunması tercih edilmektedir. Depo hacmi, mayıs ayı için seçilen maksimum toplam yağış yüksekliğine göre seçilmiş ve diğer aylarda bu hacmin altında yağış olacağı için genel olarak depo hacminin yeterli olacağı düşünülmüştür (Şekil 3). Depodaki suyun bitmesi durumunda ise mecburen suyun şebeke hattından alınması gerekecektir.

$$\text{Mayıs ayı için yağmur suyu verimi (YSV)} (m^3) = 27000 m^2 \times 0.0615 m \times 0.8 \times 0.9 = 1195.56 m^3 \quad (2)$$

Diğer aylarda toplanabilecek yağmur suyu verimleri (YSV) Şekil 3'te görülmektedir. Tüm aylardaki yağmur suyu verimlerinin toplamı 8361.14 m³'tür. Bu büyük su hacmini hem depoda tutma hem sulama hem temizlik hem de gri su olarak kullanılabilir hale getirmenin bir seçenek olacağı söylenebilir. Ancak, depo hacmini iyi belirlemenin yanında toplanan bu suyu akıllı otomasyon sistemler ile kontrol etmenin daha çok ön plana çıktığı söylenebilir. Ölçüm aletlerine göre suyun taksimatı yapılabilir. Örneğin, fazla gelen yağmur suları bir T- bağlantısı ile yer altına deşarj edilebilir ve burada depolanabilir. Bu sayede yeraltı sularının beslenmesine katkı da yapılabilir.



Şekil 3: Aylara göre aylık toplam yağışın yağmur suyu verimleri (YSV) (m³)

Yeşil alanların su gereksinimlerinin belirlenmesinde, her bir sulama için 5 L/m² olarak hesaplamaya alınmıştır. Alışveriş merkezi temizliği için gereken su miktarı alışveriş merkezi yönetimiyle görüşülerek belirlenmiş ve her bir temizlik için yaklaşık 2000 L (2 m³) olarak alınmıştır. Yeşil alanların sulanması için gereken su miktarı, yaklaşık 3500 m² yeşil alanın her bir sulamadaki su gereksinimi, 3500 m² x 5 L /m² = 17500 L = 17.5 m³ olarak hesaplanmıştır. Alışveriş merkezi yönetimi temizliğin haftada iki kez yapıldığını söylemiş olup Tablo 3'de harcanan su miktarları belirtilmiştir.

Tablo 3: Yeşil alanlar ve bina temizliği için yıllık su gereksinimleri

Mayıs ayı için çatı yağmur suyu verimi ve seçilen depo hacmi (m ³)	1195.56 m ³
Her bir sulamadaki yeşil alan su gereksinimi (m ³)	17.5 m ³
Haftada iki kez temizlik için yıllık su ihtiyacı (m ³)	208 m ³ (52 hafta*4 m ³)
Haftada bir kez sulama için yıllık su ihtiyacı (m ³)	910 m ³ (52 hafta *17.5 m ³)
Binanın yıllık toplam su ihtiyacı (m ³)	1118 m ³

Depodaki su giriş ve çıkışları yağış rejimine göre değişmektedir. Yağış yoğunluğuna göre özellikle son yıllarda haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında bölgede yağışın olmadığı söylenebilir. Depolanan yağmur suları bu değişime göre azalmaktadır. Dolayısıyla bu aylar, alış-veriş merkezini ziyaret eden kişi sayısının fazlalığı bakımından binada suya en çok ihtiyaç duyulan aylardır (Tablo 4). Araştırma alanındaki çatıdan yıllık toplanabilecek toplam yağmur suyu veriminin toplamı (8361.14 m^3) yeşil alanların sulanmasında ve alışveriş merkezi temizliğindeki yıllık su ihtiyacının ($910+208=1118 \text{ m}^3$) karşılanmasında yeterli olduğu bulunmuştur. Buradaki suyun hem gri su olarak hem de bir arıtma sistemi tesis edilirse içme suyu olarak kullanımı mümkündür. Ancak, Tablo 4’de alışveriş merkezine ait su tüketim ve fatura bilgileri (2022) incelendiğinde alışveriş merkezinin 2022 yılı içme ve kullanma suyu tüketimi toplam 73813 m^3 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler özellikle bina içindeki tuvaletlerde sifon suyu kullanımlarının ziyaretçi sayısı ile birlikte yükseldiğini göstermektedir. Dolayısıyla, yağmur suyu hasadı sisteminden gelebilecek suyun ($8361.14 / 73813 = \% 11$) yıllık toplam harcanan su miktarına yaklaşık $\%11$ ’lik bir ek su tasarrufu sağlayacağı söylenebilir. AVM’de 2022 yılı için toplam $965.249,89 \text{ TL}$ ’lik bir su fatura edilmiş olup maliyet analizi için Tablo 4’de yer alan 2022 yılı için alışveriş merkezinde kullanılan suyun m^3 başına birim fiyatı $13,07 \text{ TL}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Yağmur suyu hasadı sisteminde bir yılda toplanabilecek yağmur suyunun 8361 m^3 olduğu düşünüldüğünde yıllık yapılabilecek tasarruf miktarı, $8361,14 \text{ m}^3 \times 13,07 \text{ TL}/\text{m}^3 = 109.280,10 \text{ TL}$ şeklinde hesaplanabilmektedir.

Tablo 4: Alış-veriş merkezine ait su tüketimi ve fatura bilgileri (2022)

Aylar (2022)	Su sarfiyatı (m^3)	Fatura tutarı (TL)
Ocak	4306	44.260,06
Şubat	5710	59.982,10
Mart	5426	57.380,73
Nisan	4381	59.712,00
Mayıs	4947	66.437,00
Haziran	6331	82.880,00
Temmuz	7384	95.391,00
Ağustos	8933	113.794,00
Eylül	7627	98.278,00
Ekim	6370	83.343,00
Kasım	6272	82.179,00
Aralık	6126	121.613,00
TOPLAM	73813 m^3	965.249,89 TL

Tablo 5’de ise yağmur suyu hasadı sistemine ait ekipmanlar ve piyasadan alınan yaklaşık maliyet değerleri yer almaktadır. Tabloda, toplam sistem kurulum maliyetinin işçilik maliyetleriyle beraber yaklaşık $10.000.000 \text{ TL}$ olduğu düşünülürse, $10.000.000,00 / 109.280,10 \cong 92$ yılda sistemin kendisini amorti edebileceği söylenebilir. Sistemin depo hacmi, maksimum yağışın gerçekleştiği mayıs ayı esas alınarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre, 12 adet 100 tonluk (toplamda 1200 m^3) depolama tankının yeterli olacağı belirlenmiştir. Alış-veriş merkezine ait mimari proje esas alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda; kurulacak sistemde çatı çevresi ölçülerek yaklaşık 700 m yağmur oluğu, bina yüksekliği 25 metre alınarak 12 adet toplamda 300 m yağmur iniş borusu, yağmur iniş borularının zemine ulaştığı noktalara toplam 12 adet 400 mm anma çaplı 80 cm yüksekliğinde rögar, yağmur suyu rögarlarını birbirine bağlayan 200 mm çaplı toplam 700 m uzunluğunda koruge borunun gerekli olduğu belirlenmiştir. Tablo 5’de yer alan ekipmanların kullanımı ile hesaplanan maliyet miktarına işçilik, nakliye, eleman ve öngörülme maliyetler de eklenecek olursa kurulacak sistemin toplam maliyeti yaklaşık $10.000.000 \text{ TL}$ olarak belirlenmiştir. Hesaplanan bu yüksek maliyetler 2022 yılı için geçerli olup enflasyon oranına ve malzeme fiyatlarına göre ileriki yıllarda artış yönünde farklılık göstereceği söylenebilir. Bu tip bir yağmur suyu hasadı sisteminin m^2 maliyetin hesaplandığında ise; $10.000.000 \text{ TL}/27000 \text{ m}^2 = 370,37 \text{ TL}/\text{m}^2$ olduğu bulunur.

Tablo 5: Yağmur suyu hasadı sisteminin yaklaşık metraj ve maliyet değerleri (04.02.2024, 1\$= 30,50TL)

Parça/Ürün	Poz numarası	Miktarı	Fiyatı (TL) (KDV dâhil)	Toplam maliyeti (TL)	Toplam maliyeti (Dolar)
Yağmur oluğu (PVC)(φ50)	15.315.1005	700 m	243,47 TL (1 metre) (Malzeme+işçilik)	170.429,00	5.587,83
Oluk ağı (Plastik)	-----	700 m	30 TL (Metre başı)	21.000,00	688,52
Polyester yağmur suyu depolama tankı (100 Ton)	-----	12 adet	636.000 TL (100 ton/adet)	7.632.000,00	250.229,51
Üç pompalı düşey milli frekans konvertörlü hidrofor (Debi:0-20 m ³ /saat) (Basınç:60-90 Mss)	25.160.2302	1 adet	148.179,69 TL (Montajlı hali)	148.179,69	4.858,35
Membran süzgeç (Filtre) (İniş borusu için φ100)	-----	12 adet	5.862,51 TL (Adet)	70.350,12	2.306,56
Tank seviye ölçüm göstergesi	-----	12 adet	2.149 TL (Adet)	25.788,00	845,51
Yağmur borusu (PVC)(φ100)	15.315.1002	300 m	149,44 TL (1 metre) (Malzeme+işçilik)	44.832,00	1.469,90
Yağmur suyu rögar bağlantı borusu (Koruge SN8) (φ200)	10.450.1204	700 m	64,20 TL (1 metre)	44.940,00	1.473,44
φ400 mm anma çapında bina yağmur suyu bağlantı rögar (PE)	10.450.4314	12 adet	621,60 TL (Adet)	7.459,20	244,56
Yağmur suyu arıtma sistemi (Kaba filtre, mekanik filtre, karbon filtre, klor dozaj ünitesi)	-----	1 adet	105.839,88 TL (Adet)	105.839,88	3.470,16
Toplam maliyeti				8.270.817,89 TL	271.174,36 \$

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan bu çalışmadaki uygulama ve önceki çalışmaların sonuçlarından anlaşılabileceği üzere, yağmur suyu hasadının yapılması suyun kontrolü ve tasarrufu için çok önemli ve anlamlıdır. Özellikle yapıların inşaat aşamalarında yağmur suyu sistemlerinin imalat ve montajının yapılmasının çok daha ekonomik ve akılcı olduğu görülmektedir. Hâlihazırdaki binalarda ise yapım, montaj ve işçilik giderleri gibi masraflar sistemin kurulma ihtimalini düşürmektedir. Son zamanlarda ülkemizdeki ve dünyadaki ekonomik durum, enflasyon ve yatırım pozisyonları düşünüldüğünde maliyetlerin ve işçilik giderlerinin yukarı yönlü artışta olduğu ve bunun da proje yatırım maliyetlerine olumsuz yönde yansıdığı görülmektedir. Bu çalışmada, hesaplanan yıllık toplam yağmur suyu verimi 8361.14 m³ olup bu miktar binanın temizlik ve sulama ihtiyaçlarını fazlasıyla karşılayabilmektedir. Ancak, Tablo 4’de alışveriş merkezine ait su tüketim ve fatura bilgileri (2022) incelendiğinde alışveriş merkezinin 2022 yılı içme ve kullanma suyu tüketimi toplam 73813 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler özellikle bina içindeki tuvaletlerde sifon suyu kullanımlarının ziyaretçi sayısı ile birlikte yüksek olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, yağmur suyu hasadı sisteminden gelebilecek suyun (8361.14/73813= %11) yıllık toplam harcanan su miktarına yaklaşık %11’lik bir ek su tasarrufu sağlayacağı söylenebilir. Bu sonuç, ülkemiz şartlarında özellikle büyük alanlar için yağmur suyu hasadı sistemlerinin kurulma olasılığını düşürmektedir. Bu kapsamda, bu çalışmadan elde edilebilecek sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Almanya ve İngiltere’nin yönetmeliklerinden sonra ülkemizde 2021 yılında çıkan yönetmeliklerde (T.C. Resmi Gazete, 2017; T.C. Resmi Gazete, 2021) alanı 2000 m²’yi aşan parsellerde bir yağmur suyu deposu yerleştirilmesi ifade edilmiş ancak ayrıntı ve projelendirme ilkeleri verilmemiştir. Bu noktada, ilgili yönetmeliklerimiz daha ayrıntılı ve özel hale getirilebilir. Bu konuda, depo hacmi projelendirme ile ilgili hesaplamalar önerilebilir. Bir öngörü oluşması amacıyla hesaplamalarda hâlihazırdaki söz konusu ülkelerin yönetmelikleri kullanılabilir.
2. Olası depo hacimlerinin tespitinde bölgeye göre yıllık maksimum yağışı esas alarak uygun hacimde bir depo seçmek yıl boyunca biriken potansiyeli karşılamak ve yüksek depo maliyetlerini azaltmak için bir yol olarak görülebilir.

3. Yağmur suyu sistemlerinin kurulumunun yapının inşaatı sırasında yapılması daha az hatalara ve daha az maliyetlere olanak sağlamaktadır.
4. Yağmur suyu ve kanalizasyon tesislerinin kontrolü ve bakımları düzenli bir şekilde yapılmalıdır.
5. Hasat edilen yağmur suyunun kalitesi belirlenen zaman aralıklarında kontrol edilmelidir.
6. Alış-veriş merkezinde 2022 yılındaki şebeke suyunun m³ fiyatı yaklaşık 13.07 TL olup bu fiyat, yağmur suyu sistemleri kurulumundaki maliyet analizleri toplam miktarlarına göre düşük kalmaktadır. Bu durum, yağmur suyu sistemlerinin kurulma ihtimalini düşürmektedir.
7. Bina içerisinde gri su olarak kullanılabilecek yağmur suyunun boru hattı ve bağlantılarının yapılması yani tesisat yapımı konusunda zorlukların bulunduğu ve ek maliyetlerin ortaya çıkabileceği unutulmamalıdır.
8. Yağmur suyunun içme suyu olarak kullanımı araştırılıp sistemin ekonomik analizinin yapılması gerekmektedir.
9. Depolarda meydana gelebilecek alg, bakteri ve koku oluşumları gibi etkiler kontrol altına alınmalıdır.
10. Yapılan çalışmalarda kar yükü ile ilgili bir altyapı çalışması ve hesaplama bulunmamaktadır. Bu kapsamda, yönetmeliklerde olmayan çatılardaki kar yükü yeni yapılacak olan hesaplamalara (kar su eşdeğeri gibi) katılabilir.
11. Depolara fazla gelen yağmur suyunun depodan yeraltı suyuna bağlantısının uygun bir şekilde yapılması ve binadan uzaklaştırılması gerekir. Böylece binaya etkileyen yer altı suyunun hidrostatik basıncının azalmasına katkıda bulunacağı söylenebilir. Ayrıca, yeraltı suyu depodan çıkan bu sular ile beslenebilir.
12. Depo maliyetlerinin, tüm sistem maliyetinin yaklaşık %75'ini oluşturduğu görülmüştür. Bu doğrultuda farklı depo biçimleri ve malzemeleri düşünülebilir ve ilgili kişilere devlet destekli ödemeler veya teşvikler yapılabilir.
13. Suyun depolanması ve bakımındaki güçlükler sistemin ekonomik ömrünün azalmasına sebep olabilir. Bu sistemlerin amortisman süreleri uzun olduğu için imalat ve montaj işlemlerinde çok hassas olunmalıdır.
14. Yağmur suyu sistemlerinde oluşabilecek maliyetler hem hâlihazırdaki yapılar ve hem de inşaat halindeki yapılar için karşılaştırılabilir.

Teşekkür

Yazarlar, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne, Çorum Belediyesi'ne, Çorum AHL Park alışveriş merkezi yöneticilerine, çalışmayı ele alan çok değerli editör ve hakemlere katkılarından, emeklerinden ve sabırlarından dolayı çok teşekkür ederler. Bu çalışma, Murat Dağ'ın Yozgat Bozok Üniversitesi (YOBÜ) inşaat mühendisliği bölümündeki hazırladığı bitirme ödevinden hareket edilerek hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- Almazroui, M., Islam, M. N., Balkhair, K. S., Şen, Z., & Masood, A. (2017). Rainwater harvesting possibility under climate change: A basin-scale case study over western province of Saudi Arabia. *Atmospheric Research*, 189, 11-23.
- Almeida, A. P., Liberalesso, T., Silva, C. M., & Sousa, V. (2023). Combining green roofs and rainwater harvesting systems in university buildings under different climate conditions. *Science of the Total Environment*, 887, Article 163719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163719>
- Ay, M. (2013, 8-9 Şubat). *Sürdürülebilirlik kavramı ve su* [Bildiri Sunumu]. IV. Ulusal Çevre ve Ekoloji Öğrenci Kongresi (UÇEK-2013), Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Ay, M., & Kişi, Ö. (2016). Debi ve sediment değişkenlerinin trend analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(2), 169-180.
- Baby, S. N., Arrowsmith, C., & Al-Ansari, N. (2019). Application of GIS for mapping rainwater-harvesting potential: Case study Wollert, Victoria. *Engineering*, 11(1), 14-21.
- Ballar, Z. (2019). *Stormwater management in cities as a climate change adaptation strategy: Case of Halkapınar district (İzmir, Turkey)* [Master Thesis, İzmir Institute of Technology]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Börü, S. (2022). *Yağmur suyu hasadının farklı bir yaklaşım ile değerlendirilmesi / Evaluation of rainwater harvesting with a different approach* [Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- British Standards Institution. (2009). *Rainwater harvesting systems. Code of practice* (BS 8515:2009). British Standards Institution (BSI). <https://webstore.ansi.org/standards/bsi/bs85152009>
- Caner, T. F. (2016). *Yağmur suyu ve atmosferik parçacıklardaki iyonların, iz elementlerin, Escherichia coli ve enterococcus bakteri türlerinin incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Çakar, H. (2022). İzmir İli Koşullarında Bahçeli Bir Sitenin Yağmur Suyu Hasadı Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(2), 446-452.
- Çetinkaya, A. (2019). *Sürdürülebilir yağmur suyu depolama yöntemleri: Muğla yöresi kırsal sarnıçlarının araştırılması ve MSKÜ Merkez yerleşkesi için alternatif çözüm önerilerinin geliştirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Demir, D. (2012). *Konvansiyonel yağmur suyu yönetim sistemleri ile sürdürülebilir yağmursuyu yönetim sistemlerinin karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa yerleşkesi örneği* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Dereli, C. K. (2020). *Su duyarlı kentsel tasarım yaklaşımı kapsamında sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi: Edirne kent örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>

- Despins, C. (2009). *Building capacity for rainwater harvesting in Ontario: Rainwater quality and performance of RWH systems* [M.Sc. Thesis, University of Guelph]. Theses & Dissertations – Retrospective. <https://atrium.lib.uoguelph.ca/items/bbe3f137-2aa8-43f2-8875-af1a69208096>
- DIN 1989-1:2001-10. *Rainwater Harvesting Systems - Part I: Planning, installation, operation and maintenance*. German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung).
- Dixon, A. (2000). *Simulation of domestic water re-use systems: greywater and rainwater in combination* [PhD. Thesis, Imperial College London].
- Förster, J. (1999). Variability of roof runoff quality. *Water Science and Technology*, 39(5), 137-144. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00095-5](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00095-5)
- Geben, M. (2023). *Yağmur suyu toplama sistemi tasarımı ve yağmur suyunun kullanımı: Sektörel uygulama örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Günaydın, H. (2021). *Yeşil bina hedefine yönelik yağmur suyu hasat sistemi tasarımı: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Güngör, S. (2017). Tarihi Yarımada'daki Roma ve Bizans Dönemi Sarnıçları. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 1(2), 37-72.
- Haque, M. M., Rahman, A., & Samali, B. (2016). Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. *Journal of Cleaner Production*, 137, 60-69.
- Harb, R. (2015). *Assessing The Potential of Rainwater Harvesting System At the Middle East Technical University – Northern Cyprus Campus*. [Master thesis, Middle East Technical University]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- İncebel, C. (2012). *Alternatif su kaynaklarının endüstriyel kullanıma kazandırılması için çatı yağmur suyu hasadı (Ostim örneği)* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Jha, M. K., Chowdary, V. M., Kulkarni, Y., & Mal, B. C. (2014). Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 96-111.
- Kadı, O. V. (2022). *Rainwater harvesting system (RHS) and its applications on METU Campus* [Master thesis, Middle East Technical University]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Khanal, G., Thapa, A., Devkota, N., & Paudel, U. R. (2020). A review on harvesting and harnessing rainwater: an alternative strategy to cope with drinking water scarcity. *Water Supply*, 20(8), 2951-2963.
- Kılıç, Y. M., & Abuş, M. N. (2018). Bahçeli bir konut örneğinde yağmur suyu hasadı. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 4(2), 209-215.
- Kılıç, Y. M., Adalı, S., & Öztürk, K. (2023). Üniversite Kampüsünde Yağmur Suyu Toplama Sisteminin Kurulumunun İncelenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(1), 180-186.
- Mattos, K., King, E., Lucas, C., Snyder, E. H., Dotson, A., & Linden, K. (2019). Rainwater catchments in rural Alaska have the potential to produce high-quality water and high quantities of water for household use. *Journal of Water and Health*, 17, 788-800.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). *Resmî İstatistikler*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). 16 Mayıs 2023'de <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=çorum> adresinden alındı.
- Musayev, S., Burgess, E., & Mellor, J. (2018). A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 62-70.
- Nkhereanye, I. V. (2020). *Harvesting Rainwater and Greywater towards Sustainable Water Management: The Case of Ha Tsela in Mphahle's Hoek, Lesotho* [Master thesis, University of Johannesburg]. UJContent. <https://ujcontent.uj.ac.za/esploro/outputs/999900507691>
- Özben, O. M. (2022). *Havza bazlı yağmur suyu hasadı potansiyelinin belirlenmesi: Denizli Serinhisar ilçesi örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Preeti, P., & Rahman, A. (2021). Application of GIS in Rainwater Harvesting Research: A Scoping Review. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 18(4), 29-35.
- Raimondi, A., Quinn, R., Abhijith, G. R., Becciu, G., & Ostfeld, A. (2023). Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water*, 15(8), Article 1518. <https://doi.org/10.3390/w15081518>
- Rodriguez, H. (2018). *A Comparison of Rainwater Harvesting Tank Sizing Methods: Optimizing to Reduce Greenhouse Gas Emissions versus Maximizing System Reliability* [Master thesis, The University of Toledo]. https://etd.ohiolink.edu/acprod/odb_etd/ws/send_file/send?accession=toledo151577155419202&disposition=inline
- Ruso, M. (2021). *Rainwater Harvesting Analysis For Northern Cyprus* [Master thesis, Middle East Technical University, Northern Cyprus Campus]. OpenMETU. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/93026>
- Sazakli, E., Alexopoulos, A., & Leotsinidis, M. (2007). Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water Research*, 41(9), 2039-2047.
- Sertyeşilışık, P., & Uygunoğlu, T. (2023). Yeşil Çatı Drenaj Levhasının Geçirimsizliğe Etkisi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(2), 268-278. <https://doi.org/10.21324/dacd.1255959>
- Singh, L. K., Jha, M. K., & Chowdary, V. M. (2017). Multicriteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1436-1456.
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2022). *Yeşilirmak ve Batı Karadeniz Havzaları Kuraklık Yönetim Planının Hazırlanması Projesi*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı. 22 Mart 2023'de <https://webdosya.csb.gov.tr/db/scd/icerikler/yes-lirmak-kuraklik-yp-taslak-scd-20230120090144.pdf> adresinden alındı.
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2023). *Türkiye'deki Yeşil/Sürdürülebilir Kampüs Çalışmaları Kapsamında Su Verimliliği Uygulamaları Değerlendirme Raporu*. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şahin, N. İ. (2010). *Binalarda Su Korunumu* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- T.C. Resmî Gazete. (2017). *Yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemleri hakkında yönetmelik*. <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=23689&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5>
- T.C. Resmî Gazete. (2021). *Planlı alanlar imar yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/07/20210711-1.htm>

- Topal, A. (2023). *Yağmur suyu tutma potansiyelinin INVEST modeli ile belirlenmesi: Karşıyaka örneği* [Yüksek Lisans Tezi, İzmir Demokrasi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Uba, B. N., & Aghogho, O. (2000). Rainwater quality from different roof catchments in the Port Harcourt district, Rivers State, Nigeria. *Journal of Water Supply Research and Technology - Aqua*, 49, 281-288.
- Üstün, G. E., Can, T., & Küçük, G. (2020). Binalarda Yağmur Suyu Hasadı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1593-1610.
- Vargas, D. (2009). *Rainwater Harvesting: A Sustainable Solution to Stormwater Management* [Master thesis, The Pennsylvania State University]. PennState University Libraries. <https://etda.libraries.psu.edu/catalog/9171>
- Yaziz, M. I., Gunting, H., Sapari, N., & Ghazali, A. W. (1989). Variations in rainwater quality from roof catchments. *Water Research*, 23(6), 761-765.
- Zavala, M. A. L., Prieto, M. J. C., & Rojas, C. A. R. (2018). Rainwater Harvesting as an alternative for water supply in regions with high water stress. *Water Supply*, 18(6), 1946-1955.
- Zhang, S., Zhang, J., Yue, T., & Jing, X. (2019). Impacts of climate change on urban rainwater harvesting systems. *Science of the Total Environment*, 665, 262-274.