

**YAĞMUR SUYU HASADININ BURSA OTOBÜS
TERMİNALİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Khaled ALDAWAHID



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAĞMUR SUYU HASADININ BURSA OTOBÜS TERMİNALİNDE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Khaled ALDAWAHID
0000-0001-5026-0968

Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Khaled ALDAWAHDİ tarafından hazırlanan “YAĞMUR SUYU HASADININ BURSA OTOBÜS TERMİNALİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ

Başkan : Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ
0000-0001-7050-6742
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. İlker KILIÇ
0000-0003-0087-6718
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Saadet HACISALIHOĞLU İmza
0000-0001-5969-4180
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
../../....

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/08/2022

Khaled ALDAWAHID

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı
Tarih

Öğrencinin Adı-Soyadı
Tarih

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım
yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAĞMUR SUYU HASADININ BURSA OTOBÜS TERMİNALİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Khaled ALDAWAHID

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ

Gün geçtikçe artan su ihtiyaçlarını mevcut su kaynaklarını kullanmadan yağmur suyundan karşılamak, su sıkıntısının yaşandığı günümüz dünyasında oldukça önemli bir alternatiftir. Başta bina çatıları olmak üzere, yollar, kaldırımlar ve otopark gibi açık alanlardan borularla toplanan yağmur suları filtrelendikten sonra depoya alınmaktadır. Hasat edilen yağmur suları bahçelerin sulanması, tuvaletler, temizlik iş yerleri, araba yıkama gibi birçok alanda ve içme suyu gerektirmeyen tüm uygulamalarda kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında yağmur suyu hasadı ile ilgili bilgiler verilmiş, Bursa otogarının çatısından toplanan yağmur sularının otogar binası içinde ve dışında su ihtiyacının karşılanmasındaki kullanım potansiyeli incelenmiştir. Bu amaçla otogarın çatı alanı ve Bursa ili 2021 yılı aylık yağış verileri kullanılarak otogar çatısından toplanacak yağmur suyu miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca Bursa Otogarın yeşil alanların sulanması, araba yıkama, yer temizliği ve tuvaletler için yıllık su ihtiyacının karşılanmasında gereken su miktarı hesaplanarak, toplanan yağmur miktarının 100 m³ hacimli 11 tank eklenerek bu ihtiyacın %24,4'ü karşılayabileceği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, yağmur suyu hasat sistemi ve yıllık tasarruf edilen şebeke suyu maliyetleri hesaplanmış ve uygulanan sistemin geri ödeme süresinin 18 yıl olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağmur suyu toplama sistemi, depolama, su tasarrufu, çatı, alternatif su kaynakları, Bursa Otobüs Terminali

2022, xii + 49 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

VERIFICATION OF THE FEASIBILITY RAINWATER HARVESTING AT BURSA BUS STATION

Khaled ALDAWAHID

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ

The answer is in the water. It is carried by rain shipped by natural mail in the open air such as roads, sidewalks, and parking lots. Rainwater can be used in various areas such as gardens, toilets, workplace cleaning, car washes in all non-drinking water applications. This study provides an opportunity to get rainwater inside and outside the building. This study is the study schedules inside and outside bus station building. For this purpose, the amount of rainwater collected over the roof area of the bus station and the precipitation data of Bursa were calculated in 2021. In addition, by calculating the amount of water required to meet the annual water needs for green space irrigation, car washing, floor cleaning and toilets at Bursa Bus Station, it has been determined that the amount of rain collected can meet 24,4% of this need by adding 11 tanks with a volume of 100 cubic meters. In addition, the rainwater harvesting system and annual network water cost savings were calculated and it was determined that the payback period for the applied system was 18 years.

Key words: Rainwater harvesting system, storage, water saving, roof, alternative water sources, Bursa Bus Station.

2022, xii + 49 pages.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca desteğini hiç eksik etmeyen değerli hocam Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ'a teşekkür ederim.

Öğrettiklerini her daim pekiştirdiğim, emeklerinden dolayı takdir etmek istediğim bir diğer hocam Prof. Dr. Seval kutlu AKAL SOLMAZ'a teşekkür ederim.

Bana eğitim ve öğretimime katkıda bulunan değerli okulum Bursa Uludağ Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Son olarak; her daim yanımda olan, beni seven, düşünce ve fikirlerime güvenen aileme de teşekkür ederim.

Khaled ALDAWAHID
08/08/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Yağmur Suyu Hasadı.....	3
2.2. Yağmur Suyu Hasadı Tarihçesi.....	4
2.3. Yağmur Suyu Hasadının Avantajları ve Dezavantajları.....	5
2.4. Binalarda Yağmur Suyu Hasadı.....	6
2.5. Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinin Bileşenleri.....	8
2.6. Kaynak Araştırması.....	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	24
3.1. Bursa Terminali'nde Su Tüketiminin Belirlenmesi.....	24
3.2. Yağmur Suyu Toplama Sistemi.....	25
3.2.1. Bursa'da yağış tahmini.....	26
3.2.2. Bursa şehirlerarası otobüs terminali.....	27
3.2.3. Çatı malzemesi.....	29
3.2.4. Çatı alanı hesabı.....	30
3.3. Yağmur Suyu Depolama Sistemi.....	30
3.3.1. Depolama sisteminin konumu.....	31
3.3.2. Optimum yağmur suyu depolama tanklarının belirlenmesi.....	31
3.3.3. Depolama tanklarının boyutlandırması.....	32
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	33
4.1. Yağmur Suyu Hasat Miktarının Hesaplanması.....	33
4.2. Yıllık Toplam Su İhtiyacı.....	34
4.2.1. Bursa Otogarı'ndaki yeşil alanların sulanması için gereken su miktarı hesabı.....	34
4.2.2. Bursa Otogarı'nda tuvaletler için gerekli su miktarının hesaplanması.....	35
4.2.3. Bursa Otogarı'nda araç yıkamak için gereken su miktarı.....	35
4.2.4. Bursa Otogarı'nda yer temizlemek için gereken su miktarı.....	35
4.3. Su Temini Bakımından Hacimsel Güvenilirlik Analizi.....	36
4.4. Tank Hacminin Hesaplanması.....	37
4.5. Yağmur Suyu Toplama Sisteminin Maliyeti.....	38
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	49

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

\$	Dolar (US)
α	Çatı katsayısı
β	Filtre etkinlik katsayısı
A	Yağmur suyu toplama alanı (m ²)
cm	Santimetre
M	Yağış miktarı (mm/m ²)
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
W	Toplam yağmur suyu hasadı (m ³)
L	Litre
km ²	Kilometrekare
R _v	Hacimsel güvenilirlik
S	Tasarruf edilen maliyet (TL)
V _h	Toplanan yağmur suyu miktarı (m ³)
W _t	Su Fiyatı (TL/ m ³)

Kısaltmalar

Açıklama

DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
TL	Türk Lirası
DIN	Deutsches Institut Für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Osmanlı dönemi'nde yeniden inşa edilen midilli kalesi'ndeki su sarnıcı	5
Şekil 2.2. Kamu/ticari binalarda yağmur suyunun toplanması ve yeniden kullanımı	7
Şekil 2.3. Yağmur suyu toplama sistemlerinin bileşenleri.....	9
Şekil 3.1. Bursa şehirlerarası terminal binası yerleşimi.....	28
Şekil 3.2. Bursa Otogarındaki tuvaletlerin yerleri.....	28
Şekil 3.3. Bursa Otogarının kapalı alanı.....	30
Şekil 3.4. 30 000 litre paslanmaz silindirik yatay su deposu.....	32

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Yağmur suyu hasadının avantajları ve dezavantajları.....	6
Çizelge 3.1. Bursa Terminali'nin 2021 yılı aylık su tüketim miktarları.....	25
Çizelge 3.2. Bursa'nın (1928 – 2021) yılları arası aylık yağış ortalamaları.....	27
Çizelge 3.3. Çatı materyaline göre kullanılan akış katsayıları.....	29
Çizelge 4.1. Terminalde su kullanımının hacimsel güvenilirlik analizi.....	37
Çizelge 4.2. Bursa otogarında yağmur suyu toplama sistemi ekipmanının maliyeti	40

1. GİRİŞ

Temiz su, insan hayatının en önemli ve vazgeçilmez ihtiyaçlarından biridir. Bu nedenle, sürdürülebilir bir kentsel gelecek için toplum, su kaynaklarını etkin bir şekilde korumalıdır. Dünyanın pek çok yerinde su mevcudiyeti endişe verici bir konudur. Su kullanım ve ihtiyaçlarının küresel olarak artması nedeniyle, su kıtlığına neden olan yer altı ve yüzey sularından daha fazla çekilme yaşanmaktadır. Bu nedenle alternatif su kaynağı arayışlarına sürdürülmektedir. Bu alternatiflerden biri, Hindistan'da MÖ 3. bin yılın başında kullanılan çok eski bir teknik olan yağmur suyu hasadıdır (Martin, 2010).

Türkiye, Akdeniz bölgesinin su bakımından en zengin ülkelerinden biridir. Ancak 1960'larda 28 milyondan 2015'te 79 milyon'a ulaşan nüfustaki büyük artış nedeniyle, su kaynaklarının mevcudiyeti bugün kişi başına yaklaşık 4000 m³'ten 1430 m³'e düşmüştür. Türkiye'nin su talebi geçen yüzyılın ikinci yarısında neredeyse iki katına çıkmıştır. Türkiye'de genel su talebi, kuraklık veya iklim değişikliğinin etkileri nedeniyle artmaya devam etmektedir. Buna göre Türkiye'nin önümüzdeki yıllarda su kıtlığı Yaşayacağı öngörülmektedir. Artan nüfusla birlikte küresel iklim değişikliği göz önüne alındığında, Türkiye'nin iklimi 2050 yılına kadar daha kuru olacaktır. Türkiye'de kişi başına düşen su miktarının 700 m³'e düşmesi beklenmektedir (Bagdatli, 2016).

Ülkemizde ve dünyada küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkisiyle beraber, kullanılabilir temiz suya ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Ücretsiz ve kullanılabilir yağmur suyunun boşa akmasının önüne geçilip değerlendirildiği takdirde, ihtiyaç duyulan kullanım suyundaki yaşanacak su sıkıntısına alternatif çözüm olacaktır.

Suyun bu kadar önemli olduğu günümüz dünyasında, yağıştan yararlanmaya yağmur suyu hasadı denir. Yağışlar, toprak yüzeyinde veya binaların çatılarında toplanarak içme suyu, temizlik ve sulama gibi amaçlarda kullanılır. Yüksek su fiyatı nedeniyle yağmur suyunun toplanması, depolanması ve kullanılması çevreye ve su kaynaklarının akılcı kullanımına ekonomik olarak katkı sağlar (Akgün, 2014).

Yağmur suyu hasadı, çatılardan, arazi yüzeylerinden, yol yüzeylerinden veya kaya havzalarından yağmur suyunu toplamak ve depolamak için tank ve sarnıç gibi basit

tekniklerin yanı sıra yeraltı kontrol barajları gibi daha karmaşık teknikler kullanılan bir teknolojidir (Zhang ve ark, 2004).

Hasat edilen yağmur suyu, evsel ve peyzaj kullanımları için ideal olan yenilenebilir bir temiz su kaynağıdır. Su hasadı sistemleri, yeni ve mevcut alanların yanı sıra küçük ve büyük sahaların ihtiyaçlarını etkin bir şekilde karşılayabilen esnek çözümler sunar. Su toplama sistemi kullanmak, zaman içinde geliştirilebilecek devam eden bir süreçtir. Yağmur suyu toplama sisteminin daha çekici yanı, düşük maliyet, erişilebilirlik ve konut evleri düzeyinde kolay bakımdır.

Bursa metropol bir şehirdir ve suya olan talep her geçen gün giderek artmaktadır. Bu nedenle alternatif su kaynaklarının aranması kaçınılmazdır. Diğer büyük şehirlerde olduğu gibi, üniversiteler, belediye binaları ve okullar gibi birçok kamu tesisine de sahiptir, bu yerlerde su tüketiminin çoğu tuvalet ve sulama amaçlıdır.

Bu çalışmanın amacı, Bursa ilinde bulunan Bursa Şehirlerarası Otobüs Terminali yağmur suyu hasadı tekniği ile su depolama imkanının ekonomik ve çevresel analizidir. Yağmur suyu hasadının dünya çapında birçok ülkede uygulanmasıyla ilgili örnekler de verilmiştir. Bursa'da su temini için çatı yağmur suyu hasat sistemlerinin önemini vurgulamak ve gelecekte uygulama olasılığını öngörmektedir. Bu, belediyelerin topluma yeterli su sağlama konusundaki mevcut iş yükünü azaltarak yapılmaktadır. Yeraltı suyu seviyelerini mümkün olduğunca koruyarak, belediyeler tarafından içme suyu kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Bu tez, Bursa otagarının ekonomik bütçesi üzerindeki mevcut baskıyı azaltmak, yağmur suyu toplama sisteminin performansının değerlendirilmesinde önemli bir role sahiptir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yağmur Suyu Hasadı

Yağmur suyu hasadı, konut binalarının çatıları, zemin yüzeyi, kaya havzaları vb. gibi farklı bodrum alanlarından yağmur suyunun toplanması ve verimli bir şekilde depolanması için bir uzmanlıktır. Bu teknolojiler çok geniştir. Pahalı olmayan ve kolayca bulunabilen aletlerin kullanıldığı toplama ve depolama gibi teknik olmayan teknikler olabilir. Ayrıca, kontrol barajları inşa etmek gibi çok karmaşık teknikler de olabilirler. Bu yöntemler daha çok su tasarrufu için kullanılmaktadır. Genellikle, yüzey akışı toplama ve çatı yağmur suyu toplama gibi iki temel yağmur suyu toplama yöntemi vardır. Birinci yöntemde yüzey boyunca akan yağmur suları bir yeraltı tankında toplanır. Yer havzalarından toplanan yağmur suyu bakteriyolojik kalite açısından kalitesiz olabilir, oysa bakımlı çatı toplama sistemlerinden ve depolama tanklarından yağmur suyu toplanıyorsa bu su içmeye uygundur. Kirli bir yüzeyden su toplanıyorsa, uygun bir filtreleme sistemi kullanılarak toplanan su kullanılabilir hale getirilebilir. Daha sonra içme, yemek yapma, banyo yapma, çamaşır yıkama, tuvalet amaçlı, bahçe sulama, kompost yapma, kuş banyoları, havuz doldurma, araç yıkama, yangın söndürme vb. amaçlarla kullanılabilir (Pradhan ve Sahoo, 2019).

Yağmur suyu toplama sistemlerinin birçok çevresel ve ekonomik faydası vardır. Bazıları aşağıda özetlenmiştir:

1. Su kütlelerinin hacmini artırma, dünyanın birçok yerinde yağışlı mevsim ve kurak mevsim olmak üzere iki tür mevsim vardır. Kurak mevsimde, yağmur çok az veya hiç yoktur. Bu nedenle gölet, nehir vb. su kütleleri kurutulur. Bu teknikler kullanılarak su kütleleri yeniden doldurulabilir ve hacimleri arttırılabilir.
2. Sel ve toprak erozyonunu azaltın Yağmur suyunu depolayarak yüzey akışını azaltır. Bu, yüzey erozyonunu azaltır. Yağmur suyunu rezervuarlarda tutarak, büyük yağışlarda sel sorunu da azaltmaktadır.
3. Yeraltı suyunun aşırı kullanımını önlemek: bir yörenin nüfusu arttıkça su talebi de artar. Bunu karşılamak için yeraltı suyu kullanılır. Bu nedenle yeraltı su seviyesi hızla düşmektedir. Yağmur suyu kullanılarak yeraltı suyuna olan talep azaltmaktadır.

4. Maliyetleri azaltmak: yeraltı suyunun pompalanması yağmur suyu hasadından çok daha maliyetlidir. Yani, yağmur suyu kullanımı para tasarrufu sağlamaktadır (Sharma, 2010).

2.2. Yağmur Suyu Hasadı Tarihçesi

Yağmur suyu hasadı, yıllık yağışın yüksek olduğu ve temiz içme suyu ve kullanılabilir suyun kıt olduğu ülkelerde yaygın bir uygulamadır. Tüm dünyada ekonomik koşullar, düşük gelirli grupları, ev ve temel kullanımlar için yağmur suyunu toplamaya zorlamaktadır. Dünyanın birçok ülkesi farklı bölgelerde bu yöntemin popülaritesini ortaya koymuştur. Filistin'deki arkeolojik kanıtlar, MÖ 2000'den beri yağmur suyunun toplandığını doğrulamaktadır. Yamaçlardan gelen atık suları tarımsal ve evsel kullanım amacıyla depolamak için yapılmış sarnıç kalıntıları günümüzde de kullanılmaktadır. Kuzey Amerika'daki ilk insanlar, doğal yumuşaklığı nedeniyle yıkama, banyo ve diğer temizlik işlemleri için sarnıçlarda yağmur suyunu toplamışlardır (Gould ve Petersen, 1999).

Yaklaşık 5000 yıl önce Irak'ta ortaya çıkan yağmur suyu hasadı, Orta Doğu, Hindistan alt kıtası, Meksika ve Afrika'nın yanı sıra Avustralya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanmaktadır. Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte en çok su tüketen insan faaliyeti olan sulamanın yanı sıra evsel su kullanımının artması, farklı bölgelerde su temini krizine yol açmıştır. Mevcut diğer alternatif su temini kaynakları arasında yağmur suyu hasadı, su krizine en ekonomik çözüm haline gelmiştir (Boers ve Ben-Asher, 1982).

Bizans İmparatorluk döneminde kullanılan teknoloji ve inşa edilen yapılar daha fazla gelişme göstermiştir. Bizans döneminin en önemli eserleri, Monemvasia'daki Bizans kilisesi Ayasofya'nın güney uzantısının altındaki çift kubbeli bir yağmur suyu deposuna kiliselerin altına sarnıç yerleştirilmesidir. Bu dönemde su ihtiyacı artmış ve buna bağlı olarak sarnıçlar yapılmıştır. Bazıları, zeytinyağı üretimi için gerekli suyu sağlayan yağ fabrikalarının yakınında yer almaktadır (Antoniou, 2014).

Türk Kültür Tarihine baktığımızda da İslamiyet öncesi ve İslamiyet sonrası toplumun en temel değerleri arasında “su kültürü” yerini almıştır (Şahin ve Manioğlu, 2011). Osmanlılar Dönemi'nde Osmanlılar, Helenik zamandan kalan su kemeri ve yağmur

suyu toplama yapılarını restore etmekle birlikte aynı zamanda akış alanının kubbenin dış yüzeyi olduğu yeni sarnıç sistemleri de geliştirmişlerdir. Osmanlı Dönemi'ne ait su sarnıçlarına bir örnek Şekil 2.1'de verilmiştir (Yannopoulos ve ark, 2016).



Şekil 2.1. Osmanlı Dönemi'nde Yeniden İnşa Edilen Midilli Kalesi'ndeki Su Sarnıcı (Yannopoulos ve ark, 2016).

2.3. Yağmur Suyu Hasadının Avantajları ve Dezavantajları

Evsel su temini için yağmur suyu toplama sistemlerinin kullanılması olasılığını değerlendirirken hem avantajları hem de dezavantajları göz önünde bulundurmak ve bunları mevcut diğer seçeneklerle karşılaştırmak önemlidir. Su kaynağı yakın, kullanışlı ve toplamak için minimum enerji gerektirdiğinden yağmur suyu hasadı popüler bir ev seçeneğidir. Ev sistemleri için bir avantaj, kullanıcıların topluluğun diğer üyelerine ihtiyaç duymadan sistemlerini kendilerinin yönetmesi ve kontrol etmesidir. Bunun nedeni, neredeyse tüm çatı kaplama malzemelerinin evsel amaçlarla su hasadı için kabul edilebilir olmasıdır, dünya çapında birçok yağmur suyu hasadı sistemi başarıyla uygulanmıştır. Ancak yağmur suyu hasadı bazı dezavantajlara sahiptir. Yağmur suyu hasadının ana dezavantajı, ne kadar yağmur yağacağını asla bilinmemesidir. Nispeten yüksek yatırım maliyetleri ve bakımın önemi gibi diğer dezavantajlar, uygun tasarım, mülkiyet ve sürdürülebilirliği (ve maliyet geri kazanımını) sağlamak için mümkün olduğunca yerel olarak mevcut malzemeyi kullanarak büyük ölçüde üstesinden gelinebilir. Yerel özel sektörün ve yerel belediyelerin katılımı, yağmur suyu hasadının ölçeklendirilmesini kolaylaştırabilir. Yağmur suyunun avantaj ve dezavantajlar Tablo 1'de verilmiştir (Hattum ve Worm, 2006).

Çizelge 2.1. Yağmur suyu hasadının avantajları ve dezavantajları

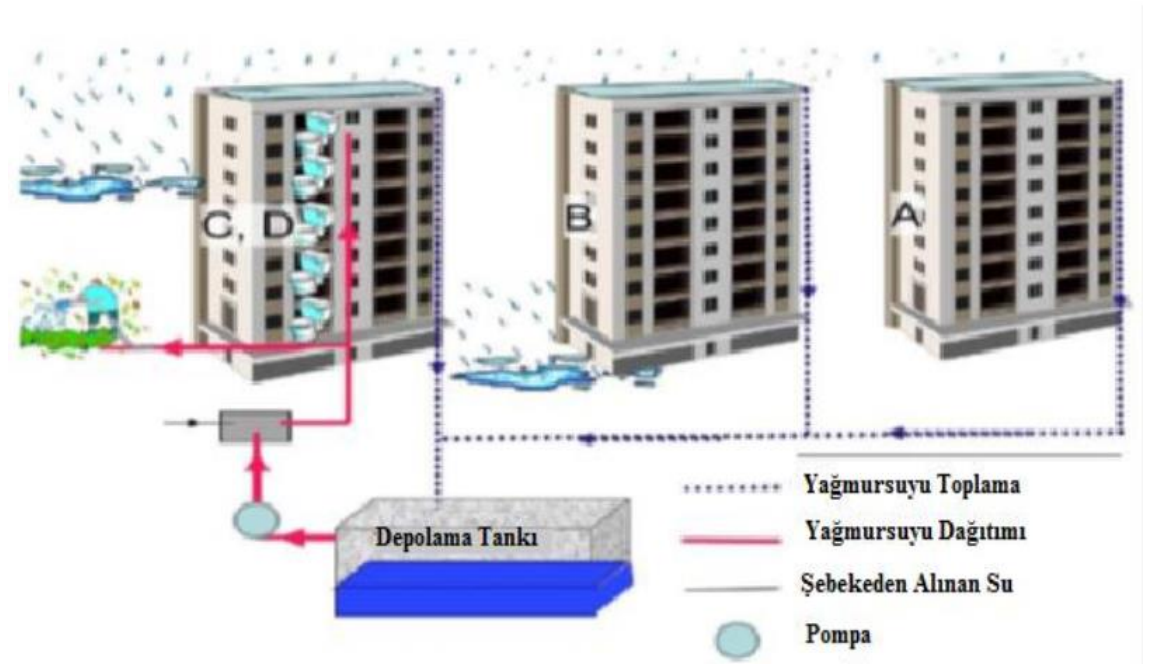
Avantajlar	Dezavantajları
Basit yapı: Yağmur suyu hasat sistemlerinin yapımı basittir ve yerel halk bunları kendileri inşa etmek için kolayca eğitilebilmektedir.	Yüksek yatırım maliyetleri: Yağmur suyu toplama sistemlerinin maliyetinin neredeyse tamamı ilk inşaat sırasında karşılanır. Basit inşaat ve yerel malzemelerin kullanımı ile maliyetler düşürülebilmektedir.
Kolay Bakım: Bir ev toplama sisteminin işletimi ve bakımı yalnızca tank sahibinin ailesi tarafından kontrol edilir. Bu nedenle, borulu bir su kaynağının zorlu bakımı ve izlenmesine iyi bir alternatiftir.	Kullanım ve Bakım: Doğru çalıştırma ve düzenli bakım, çoğu zaman gözden kaçan çok önemli bir faktördür. Düzenli inceleme, temizlik ve ara sıra yapılan onarımlar, sistemin başarısı için çok önemlidir.
Nispeten iyi su kalitesi: Yağmur suyu diğer mevcut veya geleneksel kaynaklardan daha iyidir (florür, tuzluluk veya arsenik nedeniyle yeraltı suyu kullanılmayabilmektedir).	Su kalitesi hassastır: Yağmur suyu kalitesi hava kirliliği, hayvan veya kuş pislikleri, böcekler, kir ve organik maddelerden etkilenebilmektedir.
Düşük çevresel etki: Yağmur suyu yenilenebilir bir kaynaktır ve çevreye zarar vermemektedir.	Arz, kuraklığa karşı hassastır: Uzun süreli kurak dönemlerin ve kuraklıkların meydana gelmesi, su temini sorunlarına neden olabilmektedir.
Ev düzeyinde kolaylık: Tüketim noktasında su sağlamaktadır.	Miktar sınırlıdır: Arz, yağış miktarı ve toplama alanının ve depolama rezervuarının büyüklüğü ile sınırlıdır.

2.4. Binalarda Yağmur Suyu Hasadı

Çatı üstü hasat, yağışlı mevsimden gelen büyük miktarda suyu kuru mevsimde daha sonra kullanmak üzere depolayabilen basit bir tekniktir. Evsel kullanım için sıklıkla kullanılmasına rağmen, depolanan su, özellikle kuraklığa duyarlı olabilen yüksek değerli bahçe bitkilerinin küçük ölçekli yetiştirilmesi için de kullanılabilir. Damla sulama ile birlikte iyi çalışır. Teknik, eğimli çatılardan basit bir şekilde akmakta, plastik oluklarda toplanmakta ve ardından bir iniş borusundan bir depolama tankına yönlendirilmektedir. Tankın bir tür geçici opak örtüyle (ör. branda veya siyah plastik) örtülmesi, sistemi tıkayabilecek alglerin büyümesini ve ayrıca sivrisinek larvalarının birikmesini önlemek için gereklidir. Tankın yüksekliği de çalışmayı ve inşa etmeyi etkileyecektir. Zemin seviyesinde bir tankın inşası daha kolaydır ve daha büyük bir

depolama kapasitesine sahip olabilir, ancak tanktaki su seviyeleri düşük olduğunda, düşük çıkış basıncı operasyonları kısıtlayabilir. Sulama sistemlerinin çalışmasına izin vermek için bir pompa gerekli olabilir, bu da yakıt ve bakım için ek bir masraftır. Çatı seviyesinin hemen altındaki yükseltilmiş tanklar, daha büyük bir basınç yüksekliği avantajına sahiptir ancak inşa etmek için daha fazla yapısal çalışma gerektirir ve bu da tankın boyutunu kısıtlayabilmektedir (HDRA, 2006).

Çoğu bina birbirine yakın olduğunda, birden fazla bina için bir yağmur suyu toplama sistemi, her bina için ayrı bir tankla yağmur suyu toplamadan daha verimli ve ekonomiktir. Şekil 2.2, kamu/ticari binalarda yağmur suyunun toplanmasını ve yeniden kullanımını göstermektedir. Bu sistem, birden fazla bina birbirine yakın olduğunda önerilmektedir. Yağmur suyu hasadında en yüksek maliyet depolama maliyetidir. Tank birden fazla bina için tasarlandığında daha düşük maliyetle daha yüksek verim elde edilebilmektedir (Mun ve Han, 2012).

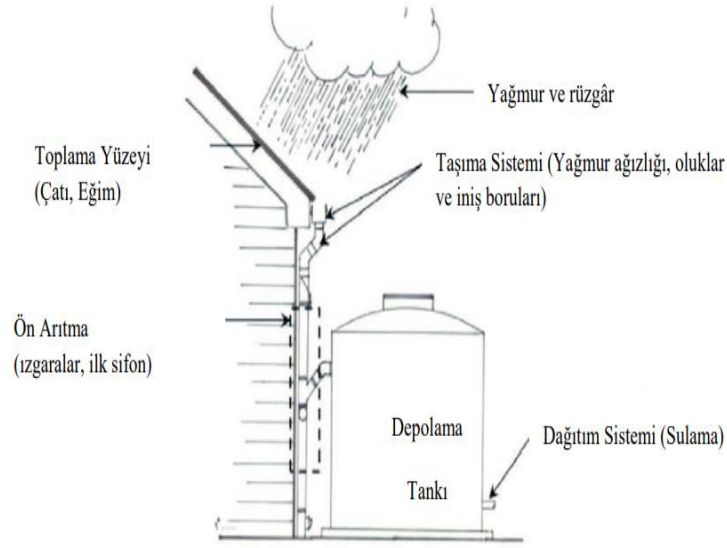


Şekil 2.2. Kamu/ticari binalarda yağmur suyunun toplanması ve yeniden kullanımı (Mun ve Han, 2012).

2.5. Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinin Bileşenleri

Bir yağmur suyu toplama sistemi, yağmur suyunu borular veya drenajlar, filtrasyon ve hasat suyunun depolanması için tanklar yoluyla taşımak için bileşenlerden oluşur. Çatılar, teraslar gibi yağmura maruz kalan çeşitli dış yüzeyler ve yerdeki asfaltlı veya asfaltsız alanlar yağmur suyu alır. Toplanan yağmur suları, yaprak, böcek gibi istenmeyen cisimlerin temel bir filtrasyonundan sonra arıtılacağı ve kullanım amaçlarına göre belli bir netliğe getirileceği bir depolama tankına iletilir. Arıtılmış su daha sonra insanların ihtiyaçları için tatlı su alabilecekleri belirlenmiş noktalara dağıtılır. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi, binalarda yağmur suyu toplama sistemi aşağıda belirtilen hususlardan oluşur:

1. Toplama yüzeyi / çatı: yağışı doğrudan alan ve suyu sisteme boşaltan yüzeydir. Yağışı doğrudan alan ve suyu sisteme boşaltan yüzeydir.
2. Oluklar ve iniş boruları: Toplama yüzeyinden dağıtım sistemi genellikle çatının kenarlarından bir iniş borusuna ve tanka doğru eğimli olan oluklardan oluşur. Oluklar ve iniş boruları için ortak malzeme metal ve PVC'dir.
3. Izgaralar (İlk sifon): Kirletici maddeleri sistemden uzak tutulursa, suyun kalitesi çok daha iyi hale getirilebilir. Bunu gerçekleştirmek için yağmur suyu toplama sistemine girişte, çıkışta veya her ikisinde ızgaralar ve ayırıcılar eklenebilmektedir.
4. Depolama tankı: Su toplama yüzey alanı, yağış koşulları ve ihtiyaçlara göre uygun hacim kapasitesine sahip suyun toplandığı yerdir.
5. Taşıma: Normalde su yerçekimi ile hareket eder, depolama alanı yüksek olduğunda, pompalama gereklidir.
6. Su arıtma: Izgaralar tarafından çıkarılmayacak olan ince parçacıkların (mikroplar dahil) uzaklaştırılmasını iyileştirmek için sisteme özel filtrasyon sistemleri de eklenebilmektedir (Üstün ve ark, 2020).



Şekil 2.3. Yağmur suyu toplama sistemlerinin bileşenleri (Pradhan ve Sahoo, 2019).

2.6. Kaynak Araştırması

Çatı yağmur suyu hasadı teknolojisine ilişkin örnekler:

Yağmur suyu hasadı sistemi, su sıkıntısı sorununu gidermek için uygulanabilecek kavramlardan biridir. Toplanan yağmur suyunun miktarı ve kalitesi hava durumuna, coğrafi konuma, bölgedeki aktiviteye ve depolama tankına bağlı olarak yerden yere farklılık gösterir. Ayrıca yağmur suyu, yüksek kalitesi nedeniyle gelecek için alternatif bir su kaynağı olarak büyük bir potansiyele sahiptir. Yağmur suyunun kalitesi, içme ve kullanma dışı kullanımlar için zararlı olan tuzları ve mineralleri çözebileceği toprak ve kayalarla temas etmemesi nedeniyle her zaman yüzey suyunu aşar ve yeraltı suyuyla karşılaştırılabilir. Yağmur suyu hasadı sisteminin başarılı bir şekilde uygulanması, gelecekteki yağmur suyu hasadı gelişimi ve yaşam kalitesi için büyük bir katkıdır. Yağmur suyu hasat sistemini etkileyen faktörler, teknik olarak, çevresel, ekonomik ve operasyonel faktörlerdir. Başarılı bir yağmur suyu toplama sisteminin tasarımı, uygulaması, işletimi ve bakımı bu faktörler tarafından belirlenmektedir. Karar verici, diğer kaynaklardan gelen suyu korumanın ekonomik faydası da dahil olmak üzere, sistemin toplam maliyetini mevcut bütçeyle dengelemelidir (Karunasena ve ark, 2013).

Zhu ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışma temel olarak farklı havza sistemlerinden toplanan ve farklı sürelerde depolanan yağmur suyunun kalitesine odaklanmıştır. Bu tanklarda depolanan su numuneleri analiz edildiğinde, depolama sırasında kendi kendini arındırarak yağmur suyu kalitesinin büyük ölçüde iyileştirilebileceği görülmüştür. Yüzeysel su havzası sistemlerinden toplanan yağmur suyunda ölçülen inorganik bileşiklerin genellikle Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) içme suyu standartlarına uygun olduğu bulunmuştur. Yer yüzeyinden ve yollardan toplanan yağmur suyundaki bazı inorganik bileşiklerin konsantrasyonlarının içme suyu için izin verilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Watkins ve Martin (2010), nüfusun ihtiyacını karşılayacak borulu su sisteminin bulunmadığı Samoa'nın Valalupo Yarımadası bölgesinde yağmur suyu hasadı kullanımının yaygın olduğunu belirtmektedir. Ailelerin su taleplerini karşılamak için yağmur suyu hasadı yeteneğinin, model ve bölgedeki çok sayıda aile tarafından başarılı bir şekilde kullanılmasıyla mümkün olduğu gösterilmiştir. Bu çözüm ayrıca, su projeleri için sınırlı bütçeler göz önüne alındığında, işletimi veya bakımı için güç gerektirmemekte, hane düzeyinde erişimi artırmak için fonların kullanımı optimize edilmelidir. Bu model, kullanıcının çatı toplama alanı, tank depolama hacmi ve güvenilirlik arasındaki ilişkileri anlamasına ve böylece sınırlı fonların daha verimli kullanılmasına yardımcı olabilmektedir.

Hajjar ve Ülker (2020) İzmir Katip Çelebi üniversitesi kampüsünün merkezi sınıflarda erkek ve kadın tuvaletlerinin temizliği ihtiyacını karşılayacak yeterli yüzey alanına sahip olduğu tespit edilen tek katlı bir binada yağmur suyu hasadı araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Kampüste yağmur suyu hasadı sisteminin uygulanması, fatura maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlayacak ve bu sayede su kaynakları gelecekteki risklerden kaçınmak için daha verimli kullanılacaktır. Yağmur suyu toplama sistemlerinin kullanılabileceği en uygun yapılar kamu binalarıdır. Ana yerleşkedeki dershaneye bay ve bayan lavabo ve helaları için debimetre takılarak su ihtiyacı belirlenmiştir.

Hem sifonu çekerken hem de lavaboyu kullanırken su tüketimi gözlemlenmiş ve tuvalet sifonu tüketimin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle yıl boyunca sadece tuvalet tüketimine odaklanmak daha ekonomik ve verimlidir. Merkezi sınıflarda yıl boyunca tuvalet sifonu için ortalama su tüketimi 10 297,92 ton su olmuştur. Çatılardan potansiyel yağmur suyu hasadı 16 606,65 ton su olarak gösterilmektedir. Potansiyel hasat suyu ancak tuvalet sifonu sırasını sürdürebilmiştir.

Bursa ilinde yapılan bir çalışmada 200 metrekarelik bir alana sahip bir evin çatısından toplanan yağmur suyunun konut dışı su ihtiyacını karşılamak için kullanılabilirliği incelenmiştir. Evin çatı alanı ve aylık yağış verileri kullanılarak evin çatısından toplanan yağmur suyu miktarı hesaplandıktan sonra bahçelerin sulanması, süs havuzunun doldurulması, araba yıkama, kümes hayvanlarının su ihtiyacını karşılamaktadır. Böylece yıllık 335 TL tasarruf sağlanabilmiştir. Yağmur suyu toplama sisteminin maliyeti hesaplanıp, tasarruf edilen şebeke suyunun maliyeti ile karşılaştırıldığında, sistem amortisman süresi 10,3 yıl olarak bulunmuştur. Tüm bu hesaplamalardan yola çıkılarak örnek eve uygulanan yağmur suyu toplama sisteminin kullanışlı ve etkili bir sistem olduğu gösterilmiştir (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018).

Ürdün'de yapılan bir araştırmada Çatı sistemi örnekleri suyun içme amaçlı kullanılabilmesini göstermiştir. 12 Ürdün şehrinde konut binalarının çatılarından yağmur suyu hasadı kullanılarak içme suyu sağlama olasılığı değerlendirilmiş. Bu çalışmanın sonuçları, tüm çatıların kullanılması ve çatılara düşen tüm yağmurların toplanması şartıyla, Ürdün çatılarındaki konut binalarından maksimum 15,5 milyon metreküp/yıl yağmur suyu toplanabileceğini göstermiştir. Bu, esas olarak yeraltı suyuna dayalı olan 2005 yılı için toplam evsel su arzının %5,6'sına eşittir. Bu çalışmada 12 ilde içme suyu sağlama olasılığının %0,27 ile %19,7 arasında değiştiği tahmin edilmiştir. Gerekli testler yapıldıktan sonra, su kalitesi sonuçları, "ilk akış" içeren yüzey havzalarının genellikle düşük organik içerikli güvenli içme suyu sağladığını göstermiştir. Konut çatılarından toplanan yağmur suyu örneklerinin analizi, ölçülen inorganik bileşiklerin genellikle DSÖ içme suyu standartlarına uyduğunu göstermiştir. Yağmur suyunun önemli bir kaynak olduğu ve içme amaçlı kullanılması için uygun arıtmadan geçmesi gerektiği vurgulanmıştır (Abdulla ve Al-Shareef, 2009).

Meksika şehrinin bazı bölgelerindeki haneler için su mevcudiyeti çok sınırlıdır ve şebekeye bağlı olmayan ailelerin teslimat için eski borulara güvenmeleri gerekmektedir. Tlalpan'da şebekeye bağlı olmayan insanların oranı yüksek, farklı yağış aralıklarında yağmur suyu kullanarak içme suyu sağlama potansiyeli değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen araştırmanın sonuçları, kullanıma uygun büyük miktarda yıllık yağış olduğunu göstermektedir. 870-1484 mm arasında değişirler ve bölgeler arasında büyük farklılıklar gösterirler. Aralıklarda 41 ve 60 L/gün beklenen ve ortalamanın üzerinde talepler için 6 aylık ortalama tasarruf %81 sağlanmıştır. Aralıklar ve talepler genelinde yıllık tasarruf %49 olmuştur. Taşma grafikleri, yağışlı aylarda talebin artabileceğini göstermiştir. 6 m³'lük bir tank boyutu, yağışlı aylarda iki defa ailelere hala içme suyunun %90'ını sağlayabilmektedir. Raporda ayrıca, büyük ölçekli yağmur suyu toplamının uygulanmasının Tlalpan'daki çok sayıda insanı olumlu yönde etkileyebileceği ve su taşımacılığı ihtiyacını önemli ölçüde azaltabileceği, bunun sonucunda yılda çok daha az sefer yapılması ve şehirdeki trafik, güvenlik ve kirlilik sorunlarına yardımcı olabileceği tespit edilmiştir (Nolan ve Lartigue, 2017).

Çatı yağmur suyu hasadı için Khuskera-Bhiwari Neemrana Bölgesi'nin ev büyüklükleri ve nüfus faktörleri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Nüfus tahminlerine göre, evde kullanım su talebini veya içme suyu talebini karşılamakta zorluk yaşanmaktadır. Hindistan Standart Koduna göre kişi başına günlük talep, ev içi kullanım için kişi başına günde 135 litre göstermekte olup, bunun 5 litresi içme suyu talebidir. Toplam evlerin %50'sine ve tüm kamu binalarına yağmur suyu toplama sistemleri kurulursa, tüm alan için %100 içme suyu ihtiyacının tek başına yağmur suyu toplama sistemi tarafından karşılanabileceği görülebilir. Yaklaşık %4,0 olan yerel su ihtiyacı, çatıda yağmur suyu hasadı ile karşılanabilmektedir (Khandelwal ve ark, 2014).

Sri Lanka'daki çatı yağmur suyu toplama sistemleri, kurak bölgede kuraklığı azaltmanın bir yolu olarak büyük ölçüde su kıtlığına odaklanır, ancak yağmur suyu toplama sistemleri başarılı bir taşkın azaltma yöntemi olarak uygulanabilir. Bu yöntem ayrıca kentsel kanalizasyon sistemindeki akışı azaltır, maksimum yükü ve sistem aşırı yükünü kontrol eder ve böylece su kaynaklı hastalıkları azaltır. Bu çalışmada, Sri Lanka'nın nemli bölgesindeki Colombo ilçesinde bir sekreterlik bölümü seçilmiştir. 2002-2017 yıllık yağış verileri, toplam konut sayısı ve ana çatı kaplama malzemeleri analiz

edilmiştir. Toplam 65 051 konutta kullanılan çatı kaplama malzemeleri ağırlıklı olarak asbest (%58), kiremit (%10) ve betondur (%24). Bu çalışma için her konut çatı alanı, yağmur suyu toplama sistemlerinin uygulanmasının etkinliğini tahmin etmek için minimum 93 m³ olarak kabul edilmiştir. Çatı kaplama malzemelerindeki farklılıkları ortadan kaldırmak için, çatının ilk yıkanması, buharlaşma, oluk ve muslukların sızması, hacmin %20'si hariç tutulmuş ve yağışın %80'i evlerin çatılarına ulaşmasından kaynaklanmıştır. Toplam yüzey alanı ile hesaplanan toplam yeniden kullanılacak ve yönetilecek yağmur suyu miktarı yılda 4 630 000 m³ %50 olsa dahi yılda 2 320 000 m³ su toplanarak çeşitli amaçlarla yeniden kullanılabilir. Bu basit ve ucuz yöntem, kentsel su akışını azaltacak ve daha da önemlisi, kolombo bölgesinde sık görülen sel baskınlarını azaltacağı öngörülmüştür (Ranasinghe ve Dissanayake, 2019).

Güney Hindistan'da Jntua mühendislik koleji'ndeki yaklaşık 211 kız öğrencinin yurdunda yağmur suyu hasadı uygulaması üzerine bir araştırma yapılmıştır. Yıllık su ihtiyacı hesaplanmış ve 10 397 025 L olarak bulunmuştur. Kolejin öğrenci yurdu alanı 686 metrekare olarak hesaplanmıştır. Alan için yağmur suyu hacminin 401,111 m³ olduğu tespit edilmiştir. Akış katsayısı 0,9 kabul edilerek yağmur suyu toplama potansiyeli 36100 L/yıl olarak hesaplanmıştır. Askıya alınmış parçacıkların ayrılması için üç hidrosiklonu içeren boru şeması önerilmiştir. Parça listesi ve yağmur suyu toplama sisteminin uygulanmasının toplam maliyeti Hint rupisi olarak 76150 belirlenmiştir. Yağmur suyu hasat sistemi ile yıllık olarak toplanan su miktarı dikkate alındığında yıllık tasarruf Hint rupisi olarak 361 000 bulunmuştur. Projenin geri ödeme süresi 2,11 yıl olarak hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi 3 ila 5 yıllık ideal geri ödeme süresi aralığına yakın olduğu için değerli bir yatırımdır (Meda, 2015).

Çandigarh yapılan çalışmada, yerel su talebinin bir kısmını karşılamak için toplanabilecek toplam yağış miktarı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Chandigarh şehrinde bir kısım için hasat edilebilecek su hacmini belirlemek için bir analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları, aylık su dengesi, akış ve talep modellerinin dengesiz olduğunu ve bu nedenle bir depolama tankının inşasını gerektirdiğini göstermiştir. Depolama tankı, farklı talep modelleri için akış kütle eğrisi kullanılarak belirlenmiştir. Akış kütle eğrisinden elde edilen sonuçlar, 9563 m³ sabit talebin rezervuar depolama kapasitesinin daha büyük bir değerle sonuçlandığını göstermiştir. Yağmur suyunun

yeniden doldurulması ve taşkınların önlenmesi için yağmur suyu giderleri boyunca yeniden doldurulabileceği yollar ve kavşaklar gibi uygun yağmur suyu toplama alanları belirlenmiştir. Pencap Üniversitesi gibi kurumsal alanlar, uygun olan yerlerde yeniden doldurulmuş ve hidrojeolojinin uygun olmadığı yerlerde depolanmıştır. Depolanan su bahçecilikte kullanılabilir. Ticari alanlarda, içilebilir olmayan kullanımlar için yer altı tanklarında depolanmıştır. Okullarda, kolejlerde ve dini yerlerde depolanan su, bahçecilik ve diğer içilemez kullanımlar için kullanılabilir. Endüstriyel alanlarda ve havalimanlarında, endüstriyel amaçlarla kullanılabilecek yüzeysel havzalardan su depolanmakta ve fazla su yüzeyde yeniden şarj edilebilmektedir (Kumar ve Muruganandam, 2017).

Mersin'de gerçekleştirilen çalışmada, binanın çatılarından toplanan yağmur sularının Mersin Üniversitesi Şivtlüköy Yerleşkesi'nin yeşil alanlarının sulanmasında kullanılabilme olasılığının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle, yerleşke içindeki çatıların yağmur suyunun toplanıp toplanamayacağı drone ile tespit edilmiştir. Yağmur suyunun toplandığı uygun çatı alanları daha sonra nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Mersin Meteoroloji İşleri Bölge Müdürlüğü'nden alınan aylık yağış verileri kullanılarak her binadan toplanacak yağmur suyu miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca kampüsteki yeşil alan ve yağmur suyu ihtiyacı hesaplanarak farklı sulama dönemlerine göre su ihtiyacını karşılamak için toplanacak yağmur suyu miktarı belirlenmiştir. Kampüs içinde düzenli olarak sulanan 319 552 m² yeşil alanın su ihtiyacının haftada bir kez karşılanması durumunda toplanan yağmur suyundan %46 tasarruf sağlanabileceği ortaya konmuştur. İçme ve kullanma amaçlı tüketilen suyun %70'i tuvalet, bahçe sulama, araba yıkama ve çamaşırhane için kullanılmaktadır. Yağmur suyunun sadece %30'u yeraltı sularına, kalan %70'i ise doğrudan kanalizasyona gitmektedir. Yaptığı çalışmadan elde edilen sonuçlara bakıldığında, yağmur suyunun depolanması ve yeşil alanların sulanmasında kullanılması, mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve su tasarrufu açısından büyük önem taşımaktadır (Yiğit ve ark, 2020).

Nijerya'da yapılan bir araştırma, Nijerya'nın Akwa Ibom şehrinin kıyı bölgelerinde alternatif bir su temini kaynağı olarak insan tüketimi için yerel yağmur suyu hasadı üzerindeki yağış değişkenliğinin etkileri değerlendirilmiştir. 20 yıllık (1989-2008) yağış

verileri Akwa Ibom kentindeki meteoroloji istasyonlarından sağlanmıştır. Yağış değişimi, aylık yağış verilerinin değişim katsayısı kullanılarak belirlenmiştir. Yağmur suyu toplama potansiyeli, tek tarafı hipotez testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Tahmin, demir çatı alanı (150 m²) ile bir katsayı (0,9) çarpılarak yapılmıştır. Sonuçlar, aylık yağış değişkenliğinin 18,39 ve 378,63 mm arasında değiştiğini, Eylül ayının en yüksek ortalama değeri kaydettiğini ve Ocak ayının en düşük ortalama değere sahip olduğunu göstermiştir. Yıllık ortalama yağış değişkenliği 145,6 ve 440,7 mm arasında değişmekte olup, en düşük yıllık ortalama değere 1990 ve en yüksek yıllık ortalama değere 1993 sahiptir. Nisan ayında yağışlarda kademeli bir artış olmuştur ve Temmuz ayında düşmüştür ve maksimum depolama kapasitesi 98 m³ (983 000 L hasat yağmuru) ile Eylül ayında zirve yapmıştır. Yağmur suyu tüketimi için toplam talebi, Birleşmiş Milletler'in kırsal topluluklar için tavsiye ettiği 20 L standardın 18 000 L üzerinde kaydedilmiştir. İnsan kullanımı için toplanan yağmur suyu, kaliteyi sağlamak için işletme ve bakımdan geçmelidir (Ubuoh ve ark, 2020).

Brezilya'nın güneyindeki Santa Catarina eyaletinde, yüksek içme suyu tüketimi ve eski, harap su dağıtım sistemi nedeniyle özellikle yaz koşullarında su kıtlığı yaşanmaktadır. Kıyıda bir çok şehir, yaz aylarında turizm nedeniyle nüfuslarını ikiye katlamıştır. Bu nedenle Santa Catarina eyaletinde yer alan 60 şehirde konut sektöründe yağmur suyu kullanarak içme suyunda tasarruf sağlama olasılığının değerlendirilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Netuno bilgisayar programı kullanılarak, her şehir için günlük uzun süreli yağış süreleri ve evlerin çatı alanı, hane başına kişi sayısı, içme suyu talebi ve içme suyu olmayan talebi (yağmur suyu talebi) gibi tipik özellikleri dikkate alınarak bilgisayar simülasyonları yapılmıştır. Toplamda 2700 simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar simülasyonlarından ideal bir yağmur suyu deposu kapasitesi ve her bir durum için buna karşılık gelen içme suyu tasarrufu potansiyeli elde edilmiştir. Sonuçlar, içme suyundaki ortalama tasarrufun ev başına 75 - 461 L/gün arasında, yağmur suyu depolarında ise 1000 ila 16 000 litre arasında değiştiğini göstermiştir. Tasarruflar şehirler arasında farklılık gösterse de sonuçlar, evlerde yağmur suyunun kullanılmasının Santa Catarina eyaletinde içme suyunda önemli tasarruflar getirebileceğini ve böylece içme suyu sıkıntısının azalmasına katkıda bulunabileceğini göstermiştir (Lopes ve ark, 2015).

Gana'da Takoradi Politeknik Üniversitesi kampüsü için ek bir su kaynağı olarak yağmur suyunun çatılarda toplanma olasılığı incelenmiştir. Çalışma için 31 yıl boyunca aylık yağış kayıtları ve ana kampüsteki tesislerin toplam mevcut çatı alanı kullanılmıştır. Yağmur suyu toplama potansiyelini belirlemek için basit bir su dengesi modelinin kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme, ana kampüs binalarında yıllık su dengesi analizinin 4689,1 m³ fazla ile sonuçlandığını, Ana Kampüs konutlarında ise 12 681m³'lük büyük bir eksiklik olduğunu ortaya koymuştur. Ancak, Politeknik'in ana kampüsü için basit bir su dengesi hesaplaması, toplam 17400 m³'lük talebe karşı yıllık toplam 9666,1 m³'lük bir hacmin (en kurak yıl) hasat edilebileceğini göstermiştir. Bu da yıllık yağışların minimum olduğu zamanlarda bile su ihtiyacının %55,5'inin yağmur suyu hasadı ile karşılanabileceğini göstermektedir. Bu su tasarrufu, su faturalarına yapılan harcamaları yılda 83 232,859 Ghanaian cedi azaltılabilmektedir. Genel kurala göre tankın minimum depolama kapasitesi 6000 m³ olarak verilmiştir. Bu nedenle, su temini üzerindeki tüketimini ve kamu faturalarının yükünü azaltmak için tesisin yağmur suyu hasadı teknolojisini kullanması tercih edilmiştir (Boakye ve Nsiah, 2015).

Malezya'daki Malaka Multimedya Üniversitesi kampüsünde bir yağmur suyu hasadı değerlendirmesi incelenmiştir. Malaka Malezya'nın güneyinde, belirli kurak dönemler olmaksızın tüm yıl boyunca yağmur alan bir şehirdir. Malezya'nın ortalama yağış miktarı 2000 mm'den fazladır ve bu da uygulanabilir bir sistem geliştirmek için fazlasıyla yeterlidir. Bu nedenle ülke, dünyanın diğer bölgelerine kıyasla su kaynakları bakımından zengindir. Kampüs içindeki farklı binalardan çatıdaki yağmur suyu toplama potansiyelini tahmin etmek için kapsamlı bir çaba harcanmıştır. Malaka'daki yağış profilinin değerlendirilmesi, muhtemel kuru günlerin yıllar içinde farklı aylarda bulunabileceğini göstermektedir. Ayrıca belirli günlerde sıcaklığın önemli ölçüde arttığı ve bunun da topraktan buharlaşma oranını etkilediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, plantasyonun sulanması için daha fazla ihtiyaç gereklidir. Kampüs içindeki futbol sahası örnek olay olarak seçilmiştir. Sistemin uygulanabilirliğini simüle etmek için bir hasat modeli kurulmuştur. Sonuçlar, 5 m³'lük bir tank boyutunun, futbol sahası sulama amaçlarına en iyi şekilde hizmet etmek için ortalama %80 güvenilirlik sağladığını göstermektedir. Tarla yağışsız günde 1 m³ su tüketmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, Fosee binası, yüksek çatı kapasitesi ve kampüs içindeki diğer binalara göre en yüksek

olan konumu nedeniyle çalışma konusu olarak seçilmiştir. Bu faktörlerden dolayı suyun yerçekimi ile sahaya ulaştırılması uygun ve kolay olup, pompa kullanımını ortadan kaldırmıştır. Fosee binasından yaklaşık 1214 m² su toplama alanı yağmur suyu hasadı için yeterlidir. Tankın 5 m³ olarak boyutlandırılması, geri ödeme ve güvenilirlik açısından çok faydalıdır (Alkaff ve ark, 2013).

Hindistan'daki Mangalayatan Üniversitesi Aligarh Kampüsü'nde yaklaşık 72 dönümlük geniş bir alanda, yaklaşık 2700 öğrenci ve 250'den fazla çalışanıyla yeraltı suyunu şarj etmek için yağmur suyu hasadı çalışması yapılmıştır. Su, öğrenciler ve personel tarafından her zaman yüksek talep gören doğal bir kaynaktır. Bu talep karşılanmazsa su kıtlığına yol açacaktır. Bu nedenle yağmur suyu toplama sistemi, su kıtlığı ile mücadelede en iyi çözüm olarak kabul edilmiştir. Ayrıca basit teknolojileri, yapım ve montaj kolaylığı ve düşük yatırım maliyeti nedeniyle bu teknoloji iç mekanlarda da uygulanmaya uygundur. Kampüs içme suyu ve günlük kullanım suyu ihtiyacını karşılayabilmektedir. Basit teknoloji, kampüs içindeki ve kampüs çevresindeki yeşil alanı artırma eğilimindedir ve yaşanabilir bir konut kurumunun estetik faktörünü artırmıştır. Havza alanları, yağış verileri, yeraltı suyu durumu vb. gerekli veriler toplanmış ve hesaplanmıştır. Daha sonra uygun kapasite ve tasarıma sahip bir şarj çukuru oluşturmuştur. Besleme çukurunun optimal konumu, mevcut verilerden hidrolojik analiz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplama ve sonuca göre mevsimlik ortalama yağışın yaklaşık 55 mm/yıl olduğu tespit edilmiştir. Su toplama alanı ve su hasadı hesaplandıktan sonra, 5mm×3mm×3mm'lik bir delik boyutu önerilmiştir. Bu deliği kullanarak, yılda 10 397 025 L olduğu tahmin edilen büyük miktarda su hasat edilebilir. Bu tür bir sistemin bakım maliyeti ihmal edilebildiğinden ekonomiktir. Bu çalışmanın çok uygun maliyetli ve yeraltı suyu şarjı için faydalı olduğu bulunmuştur (Priyadarshi, 2018).

Hindistan'daki Tamil Nadu Ziraat Üniversitesi Kampüsü'nün idari ofis binalarının yağmur suyu toplama potansiyelini bulmak için yağış tek su kaynağı olarak kabul edilerek bir çalışma yapılmıştır. Haftalık su ihtiyacı ve su temini yağmur suyuna göre belirlenmiş. Herhangi bir hafta için toplam arz ve toplam talebi karşılaştırarak su fazlalığı veya kıtlığı dönemini bulmak mümkündür. Su bütçesi hesabından, toplam yıllık su ihtiyacı 30 615 m³, su toplama potansiyeli 25 559 m³ olarak hesaplanmıştır.

Yağmur suyu hasadı için muhtemel dönem 37. Haftadan 47. haftaya kadar bulunmuştur. Yağmur mevsimi boyunca yağmur suyu toplama yapısında depolanabilecek geçici fazla suyun 14 629 m³ olduğu tahmin edilmiştir. Ayrıca birinci ve üçüncü mevsimlerde mevsimsel su talebinin mevsimlik yağmur suyu arzından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. İkinci sezonda talep kuzeydoğu rüzgarları nedeniyle idari ofis alanlarında yağmur suyu arzına göre çok daha az olmuştur. Yıllık su talebi, yağmur suyu ile yıllık su arzından fazladır. Bu eksikliğin üstesinden gelmek için gereken su, harici su temini ve yeraltı suyu pompalama yoluyla eklenmelidir. Su bütçeleme analizinden hesaplanan su hasadı potansiyeli, su hasadı yapılarında etkin bir şekilde depolanabilmekte ve ek sulama, bilimsel laboratuvar amaçlı, insan ve hayvanların içme suyu ihtiyaçları ve kampüs içindeki diğer su kullanım kategorileri için faydalı bir şekilde kullanılabilir (Manikandan ve ark, 2011).

Bangladeş'in Dakka şehrinde konut amaçlı kullanımlar için alternatif bir su temini kaynağı olarak çatıdan yağmur suyu toplamanın potansiyelini değerlendirmek için bir çalışma yapılmıştır. Dakka şehrinde yeraltı suyu tükenmesi önemli bir oranda arttığından, Dakka şehri sakinlerinin su talebini karşılamak için büyük zorluklarla karşı karşıyadır. Uttara Tana bölgesinde üç bina seçilmiştir. 49 yıllık yağış zaman geçmişi verilerinin analizinden Dakka için yıllık ortalama yağışın 2134,07 mm olduğu bulunmuştur. En yüksek yağış Temmuz ayında, en düşük yağış ise Ocak ayında kaydedilmiştir. Mayıs ayından Ekim ayına kadar olan yağış miktarı yağışlı mevsim olarak kabul edilmiştir. Yağışlı mevsimde kaydedilen ortalama yağış miktarı 1819,38 mm'dir. 459 968,91 , 491 211,70 ve 291 053 L yağmur suyu toplama potansiyeline sahip olan ve sırasıyla yıllık %29,58 , 19,07 ve %19,95 su ihtiyacını karşılayabilmektedir. Yağmur suyunun sadece çamaşır yıkamak, evi temizlemek ve tuvaletleri yıkamak gibi üç amaçla kullanıldığı düşünülürse, yağmur suyu yıllık su ihtiyacının sırasıyla %66,55'ini, %42,91'ini ve %44,92'sini karşılayabilmektedir. Sonuçlar ayrıca Dakka Şehrindeki ailelerin %84'ünün yağmur suyunu evdeki su temini için alternatif bir kaynak olarak tanımladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, ailelerin %80'i, uygun maliyetli ise, mevcut belediye arzı ile birlikte yağmur suyu hasadı yapmayı düşünebilecektir. Çalışmada, yağmur suyu hasadının konut kullanımları için potansiyel

bir su kaynağı olacağı ve böylece Dakka kentindeki su kıtlığı sorununu çözebileceği sonucuna varmıştır (Islam ve ark, 2014).

Hindistan'daki Berwadi köyünün çatılarında çatı tipine göre su toplama verimliliği üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu köyde evsel su temini özellikle tüplü kuyular vasıtasıyla yapılmaktadır. Köy, Kolhapur şehrine en yakın konumdadır, bu nedenle hesaplama için şehrin yıllık ortalama yağış miktarı olan 1025 mm olarak kullanılmıştır. Verimli yüzey alanı istatistikleri, çatıların çoğunun 9630 m² alana sahip kiremitlerden oluştuğunu, ardından sırasıyla çimento betonu 5011 m² ve kalay levhaların 1520 m² geldiğini göstermektedir. Çimento beton çatı maksimum toplama verimliliğine sahip olsa da, su toplama verimliliği çatı tipine göre değişir, ancak köyde insanlar çoğunlukla kiremit çatıları inşa etmeyi tercih etmişlerdir. Böylece, hasat edilebilecek maksimum su verimi, sırtlı kiremitlerden (5916,29 m³), ardından çimento beton çatı (4365,71 m³) ve kalay levhalardan (1175,49 m³) gözlemlenmiştir. Bu köyde çatılardan su toplanması için kümülatif potansiyel 11457,49 m³'tür. Gelişmekte olan ülkelerde ve özellikle kırsal alanlarda, hijyen ve sağlık dahil olmak üzere temel ev ihtiyaçlarını karşılamak için kişi başına günde 20 L suyun yeterli olduğu varsayılmaktadır. Birleşmiş Milletler Organizasyonu minimum evsel su kullanımını dikkate alırsak, Berwadi köyünde toplam nüfus için kümülatif yıllık su talebi 13 818 900 L olacaktır. Kişi başına günlük bu 20 L sudan 10 L'nin yemek pişirmek ve içmek için gerekli olduğunu varsayılırsa, bu köyde toplam yıllık toplam su talebi 6909450 L olarak hesaplanmıştır (Patil ve sagar, 2013).

Zakaria ve Alansari (2012) tarafından yapılan çalışmada, sulama amaçlı büyük miktarlarda akış suyunun sağlanması açısından etkili sonuçlar bularak Irak'ın su kıtlığı sorununun çözümüne katkıda bulunmak ve bu nedenle yağmur suyu hasat sistemlerine yönelik teşvik ve karar desteği aracı olarak akademik bir çaba sağlamaktır. Makro yağmur suyu hasat sistemi (geniş toplama alanı), Irak'ta Doğu Sincar Dağı'nda uygulanmıştır. Hasat edilen yüzey akışının tahmini hacmi (0.11- 28.11) milyon m³ aralığında olup, (1990-2009) çalışma dönemi için toplam 435,14 km² alan ile birlikte seçilen dört havza için Havza Modelleme Sistemi (HMS) kullanılarak hesaplanmıştır. Akış hacminin tahmin edilmesinin sonuçları, akış hacminin özellikle ek sulamada sulama uygulamaları için dikkate alınabileceğini göstermiştir. Sulanan alanı maksimize etmek için doğrusal bir programlama tekniği benimsenmiştir. Üç sulama düzeyi

senaryosu seçilmiş: ek sulama (SI) Tam sulama gereksinimlerinin %100 karşılanması (S1), kısıntılı sulama tam sulama gereksinimlerinin %50'si (S2) ve kısıntılı sulama tam sulama gereksinimlerinin %25'i (S3). Elde edilen sulanan alan, seçilen dört havzanın tümü için sırasıyla SI %100 için (18-2646), %50 için (58-41303) ve %25 için (27 - 9543) ha arasında değişmektedir. Bu sonuçlar, yağmur suyu hasat sisteminin yararlı değerini ve incelenen bölgedeki sulanan alanı artırma etkisini yansıtmaktadır. Burada, S1 senaryosu yerine S3 senaryosu kullanıldığında, sulanan alanda ortalama %74'e varan bir artış söz konusu olmuştur. Senaryo S2 kullanımında ise sulanan alandaki ortalama artış %334'e ulaşmaktadır. Kullanılan üç senaryonun sonuçları, S2 senaryosunun S1 ve S3 senaryolarından daha faydalı olabileceğini göstermiştir. Bu aynı zamanda yağmur suyu hasadının ülke üzerindeki su kıtlığının etkisini azaltabileceğini de göstermektedir (Alansari ve ark, 2012).

Grady ve Younes (2008) tarafından yapılan araştırmada, tek bir aile evinde bir yağmur suyu toplama sisteminin su ve enerji koruması analiz edilmiştir. Yeraltı suyu toplama sistemlerinden biri ve yerel yağmur suyu toplama sistemlerinden biri olan iki su sisteminin verimliliğini analiz etmişler ve karşılaştırmışlardır. Bu ev Amerika Birleşik Devletleri'nde Virginia'da bulunmaktadır. Bir yağmur suyu toplama sistemi, akıştan su toplamakta ve suyu bir yeraltı rezervuarına aktarmaktadır. Yağmur suyu, iç ve dış kullanımların yanı sıra içilebilir kullanımlar için de kullanılmaktadır. Yağmur suyu toplama sistemi, yıllık ortalama 987,6 mm yağışla aile için su tüketiminin %84'ünü sağlamıştır. Ayrıca, çalışma, bu durumda yeraltı suyu sisteminin daha verimli ve uygun maliyetli olduğunu, ancak her iki sistemin de konutlara giden bir kamu su hattından daha uygun maliyetli ve enerji verimli olduğunu göstermiştir.

Ghisi (2009) tarafından yapılan araştırmada, yağmur suyu tankı boyutlandırmasında yağış, çatı alanı, nüfus sayısı, içme suyu talebi ve yağmur suyu talebinin etkisini analiz etmiştir. Brezilya, São Paulo eyaletindeki üç şehir için günlük yağış verileri dikkate alınarak analiz için bilgisayar simülasyonu kullanılmıştır. Düşünülen çatı alanları 50, 100, 200 ve 400 m², kişi başına düşen içme suyu ihtiyacı 50, 100, 150, 200, 250 ve 300 L, yağmur suyu talepleri ise içme suyu talebinin yüzdesi olarak alınmıştır ve sakinlerinin sayısı iki veya dört olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar, her şehir ve her parametre için geniş bir yağmur suyu tankı boyutları varyasyonu göstermiştir. Bu

nedenle çalışmada, evler için yağmur suyu depolarının boyutlandırılmasının yerel yağış, yüzey alanı, içme suyu talebi, yağmur suyu talebi ve nüfus dikkate alınarak her durum için ayrı ayrı yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Güney Etiyopya'nın Dilla kasabasında yapılan bir çalışmada, evler ve seçilmiş kurumlar için yağmur suyu toplama potansiyeli ve depolama gereksinimlerinin değerlendirilmesi ve COVID-19'un önlenmesi için acil su talebini karşılama yeterliliği belirlenmeye çalışılmıştır. Evler ve seçilmiş kurumlar için yağmur suyu toplama potansiyeli, Etiyopya Meteoroloji Ajansı'ndan alınan 17 yıllık yağış verileri kullanılarak ölçülmüştür. Çalışmada, farklı çatı boyutlarına sahip evler için yağmur suyu toplamının, yıllık ortalama 1464 mm yağışla uygun bir su kaynağı seçeneği olduğu ortaya konulmuştur. Çatı alanı 40 m² ve 100 m² olan evler, sırasıyla 7,2–39,66 m³ ve 19,11–105,35 m³ yağmur suyu toplama potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel, çatı büyüklüğü 40 m² ve 100 m² olan evler için COVID-19'un önlenmesi için ev halkının acil su talebini sırasıyla 19,72-108,66% ve 114,3%-170,5'ine çevirebilir. Farklı çatı boyutlarına sahip tüm evler için gereken minimum depolama hacmi 1 m³, maksimumu ise 17 m³'tür. Yağış değişkenliği dikkate alındığında, Della Üniversite Hastanesi gibi kurumlar, tek su kaynağı olarak yağmur suyunu kullanarak enfeksiyon önleme misyonları için acil su ihtiyaçlarının %94,5-238,5'ini karşılayabilmektedir. Kurumlar için tahmin edilen depolama büyüklüğü 642–48000 m³ arasında değişmektedir. Evlerden toplanan yağmur suları hariç, Della kasabasında seçilen kamu kurumlarından yağmur suyu toplama imkanı, 2018 yılında Della kasabasındaki su temin kurumunun sağladığı suyun %30,3'ünü tamamlayabilmektedir. Çalışmada, Della Kasabasındaki acil su ihtiyacı için yağmur suyunun alternatif bir su kaynağı olabileceği sonucuna varılmıştır (Kanno ve ark, 2021).

Yuan ve ark. (2003), yarı kurak bir bölgede yağmur suyu hasadı ve ek sulama ile çiftçiliğin ekonomik fizibilitesini değerlendirmişlerdir. Gansu şehrinin orta kesiminde, yağmur suyu hasadı ve ek sulama tarımı, bahar buğdayı, mısır ve patates mahsul verimini arttırmada geleneksel yağmur beslemeli ve akışlı tarıma göre bir avantaja sahiptir. Su hasadı tarım sistemi, su gereksinimi ile yağış arasındaki en büyük açığın olduğu kritik aşamada sulamayı vurgulamaktadır. Çalışma alanında, yıllık yağışın sadece %57'si ilkbahar buğdayının büyüme evresinde meydana gelmektedir, bu nedenle

Lös plato bölgesindeki mahsuller büyük ölçüde ek sulama dönemine bağlıdır. Tarla tecrübesine göre bahar buğdayının su ihtiyacı 357 mm'dir. Bununla birlikte, aynı dönemde yağış sadece 288 mm ve tüm büyüme evreleri için su kıtlığını 69 mm'ye çıkarmıştır. Patatesin su kullanımı, bahar buğdayına göre yağış olaylarına daha yakındır. Yağış patatesin su ihtiyacını tam karşılamasa da açığın değeri bahar buğdayından daha azdır. Patates sulamasında kritik aşama, Mayıs ayının son 10 günü ile Haziran ayının ilk 10 günü arasında gerçekleşmiştir. Yağmur suyu toplamadan elde edilen sınırlı su, mahsullerin büyümesinin bu kritik aşamalarında mahsullerin ihtiyaç duyduğu manuel veya portatif damla sulama yöntemleriyle uygulanabilmektedir. Bu nedenle, yağmur hasadından sulanarak patates üretiminin geliştirilmesi en iyi yatırım fırsatını sağlamaktadır.

Boyacı ve Kartal (2019) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarında, Kırşehir ilinde ısıtmalı ve ısıtmasız seralarda sulama suyu ihtiyacının büyük bir bölümünün yağmur suyu hasadı ile karşılanabileceği gösterilmiştir. Toplam yağışın 388,3 L/m² olduğu Kırşehir ilinde yağışlardan elde edilen yıllık sulama suyu miktarı 0,9 yağış faktörüne göre 349,57 L/m² olarak belirlenmiştir. Nisan-Eylül ayları arasında ısıtmasız serada bulunan bitkilerin tek ürün yetiştiriciliği için ihtiyaç duydukları toplam sulama suyu miktarı 568,33 L/m²'dir. Sonuçlar, bitkiler için ihtiyaç duyulan sulama suyunun %61,49'unun yağmur suyu hasadı ile karşılanabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca yıl boyunca mahsul yetiştirilen ısıtmalı serada bitkilerin toplam su ihtiyacının %47,74'ü yağmur suyu hasadı ile karşılanabilmektedir. Isıtmasız ve ısıtmalı seralar için ihtiyaç duyulan depolama kapasiteleri hasat edilen yağmur suyu miktarına bağlı olarak 0,21 ve 0,30 m³/m² olarak belirlenmiştir. Yağmur suyu hasadının su kıtlığı olan bölgelerde tarımsal faaliyetlerin iyileştirilmesine katkıda bulunabileceğini göstermiştir (Boyacı ve Kartal, 2019).

Brezilya Tancredo Neves Uluslararası Havalimanı'ndaki yağmur suyu sisteminin performansı simülasyon analiz yöntemi (Günlük Su Dengesi) kullanılarak değerlendirilmiştir. Havalimanı su tüketim profilinin analizi, kaydedilen tüketimin %65'inin içilebilir olmayan talepleri karşılamak için kullanıldığını göstermiştir. Havalimanının toplam çatı alanı 85 000 m² ve yıllık ortalama 1305,2 mm yağış miktarı, her yıl 87 000 m³'ün üzerinde yağmur suyu akışı sağlamaktadır. Bu su miktarı,

havalimanı içilebilir olmayan toplam talebin %154'ünü karşılamaya yeterlidir. Yağmur suyu tanklarının ekonomik fizibilitesi, net bugünkü değer modelinin yanı sıra bu yatırımın geri ödeme süresi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yağmur suyu depolarının yapımı, %57 ila %100 güvenilirlik ile içme suyunda %66 ila %100 arasında (verimlilik) tasarruf sağlayabilmektedir. 100 ile 1000 m³ arasındaki tank hacimleri için geri ödeme süreleri 3,4 - 23 yıl olarak hesaplanmıştır (Moreira Neto ve ark, 2012).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, Bursa Şehirlerarası Otobüs Terminali için yağmur toplama sisteminin uygulanması olasılığına odaklanmakta ve gelecekte uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır. Dünya çapında birçok kişi ve topluluk, çeşitli yağmur suyu toplama sistemleri geliştirmiştir. Uygun su kaynakları veya belirli yağmur suyu toplama sistemi seçilirken maliyete ek olarak bir dizi faktör de dikkate alınmalıdır. İklim (yağış şekli ve yağış yoğunluğu), teknoloji, sosyo-ekonomik faktörler, yerel geçim kaynakları, siyasi sistem ve organizasyonel yönetim, nihai seçimde önemli bir rol oynamaktadır. Bir su temini için bir yağmur suyu hasadı sistemini düşünürken birincil başlangıç noktası, çevresel, teknolojik, sosyal ve ekonomik fizibilitesini belirlemektir. Bu bölüm, doğru sistemi seçmenin bu önemli yönlerini açıklamaktadır (González, 2012). Bu faktörleri analiz ederek, çalışma yerine en yakın yağmur ölçüm istasyonu için geçmiş yıllara ait yağış verilerini inceledikten sonra, bu sistemi Bursa otogarının kapalı alanına uygulanabilirliği araştırılacaktır.

Çalışmalar, başarılı yağmur suyu toplama projelerinin genellikle verimli depolama ile ilişkili olduğunu kanıtlamıştır. Su depolama tankı çeşitli boyutlarda, şekillerde ve malzemelerde mevcuttur; ancak ana kriter tutabileceği su hacmidir. Su deposu boyutu ve kapasitesi, su ihtiyacı hacmi ve hasat edilen yağmur suyu belirlenerek tahmin edilebilmektedir.

3.1. Bursa Terminali'nde Su Tüketiminin Belirlenmesi

Genellikle, Bursa otogarında yeşil alanların sulanmasında, temizlik işlemlerinde ve tuvalet rezervuarında büyük miktarlarda suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bursa otogar binasındaki su ihtiyacı, binaya birkaç metre uzaklıkta bulunan, belediyeye ait 70 m derinliğindeki su kuyusundan karşılanmaktadır. Bu kuyu sadece otogarı beslediği için kuyudan çıkan ve ana su sayacından geçen tüm sular otogar binası içinde ve dışında çeşitli faaliyetlerde tüketilmektedir (BURULAŞ, 2022).

Suyun en büyük bölümü, 20'si erkek, 20'si kadın olmak üzere toplam 40 tuvaletin bulunduğu terminal binasının iki yanında yer alan tuvaletlerde tüketilmektedir.

Araştırma süresinin iklim ve yolcu sayısı gibi kullanılan su miktarlarındaki tüm farklılıkları kapsaması için 12 ay olması tercih edilmiştir. Çizelge 3.1'de binayı besleyen iletim hattının ana sayacından 2021 yılı için aylık su tüketim miktarları, tuvaletler için aylık tüketim miktarları ve aylık yolcu sayısı gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Bursa Terminali'nin 2021 yılı aylık su tüketim miktarları (BURULAŞ, 2022).

Ay	Toplam aylık su tüketimi (m³)	Tuvaletlerdeki aylık su tüketimi (m³)	Yolcu sayısı (kişi)
Ocak	3020	1252	346 000
Şubat	2714	1282	387 700
Mart	3864	2119	481 800
Nisan	3118	1520	365 300
Mayıs	2816	1332	320 600
Haziran	4236	2215	944 800
Temmuz	5232	3014	1 402 000
Ağustos	5669	3120	1 360 000
Eylül	4961	2817	1 300 000
Ekim	3648	1555	859 000
Kasım	3863	2044	825 000
Aralık	3252	1393	815 000
Yıllık toplam	46 393	23 663	9 407 200

3.2. Yağmur Suyu Toplama Sistemi

Etkili çatı alanı ve çatı kaplama malzemesi dahil olmak üzere binadaki çeşitli faktörler toplama sisteminin verimliliğini etkiler. Bu çalışmada, bir yağmur suyu toplama sisteminin verimliliğini belirlemek için yıllık yüzey yağışı ve toplama alanının belirlenmesi temel bileşenlerdir.

Çalışma kapsamında, çatı alanı, çatı malzemesi türü, boyutu ve depolama alanı gibi hususlar dikkate alınmaktadır. Çalışmalar, başarılı yağmur suyu toplama projelerinin genellikle verimli depolama ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Su depolama tankı farklı

boyutlarda, şekillerde ve malzemelerde olabilir; ancak ana kriter, tutabileceği su hacmidir. Su deposunun hacmi ve kapasitesi, su gereksinimlerinin hacmi ve toplanan yağmur suyu belirlenerek tahmin edebilmektedir.

3.2.1. Bursa'da yağış tahmini

Bir yağmur toplama sisteminin çevresel fizibilitesi, bölgedeki yağış miktarına ve şekline, kurak dönemlerin süresine ve diğer su kaynaklarının mevcudiyetine bağlıdır. Yıl boyunca yağış düzeni, yağmur suyu hasadının diğer su tedarik sistemleriyle rekabet edip edemeyeceğini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Kısa (bir ila dört ay) kurak mevsimlere sahip tropikal iklimler ve çok sayıda yüksek yoğunluklu yağmur fırtınası, su hasadı için en uygun koşulları sağlamaktadır.

Bursa genel olarak ılıman bir iklime sahiptir. Ancak, iklim bölgelere göre de değişiklik göstermektedir. Kuzeyde Marmara Denizinin yumuşak ve ılık iklimine karşılık güneyde Uludağ'ın sert iklimi ile karşılaşmaktadır.

Yıllara göre yağış analizi; Bursa'da alansal olarak (kriking yöntemine göre) yağış miktarı, yakındaki diğer istasyonlara ait yağış verileriyle karşılaştırıldığında, yıllardaki normal yıllık yağışın (1970-2020) yaklaşık 708,7 mm olduğu ve bu değer Türkiye'deki normal değerden (621,4 mm) daha yüksektir (Aydındemir, 2020). Ortalama yağışın 300 mm'den fazla olduğu bölgeler, yağmur suyu toplama sistemlerinin uygulanması için uygun kabul edilmektedir (FAO, 2014).

Bursa ilinin yıllık ortalama yağış miktarı 709,5 mm'dir. En fazla yağış görülen ay, 99,9 mm/yıl yağış ortalamasıyla Aralık ayıdır. En çok yağış ilkbahar ve kış aylarında görülmektedir. Yağışlı gün sayısının en fazla olduğu ay ise (14,94 gün) Ocak ayıdır. Yağışlı gün sayısının en az olduğu ay ise 2,88 gün ile Ağustos ayıdır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021). Çizelge 3.2'de Bursa ilinin 1928- 2021 yılları arasına ait ortalama sıcaklık ve yağış süreleri verilmiştir. Bursa İlinin Meteorolojik ölçüm yapan 28 adet istasyonu bulunmaktadır. Bu veriler, çalışma yerine yaklaşık 5 km uzaklıktaki Fuat Kuşçu caddesi Yunuseli Yolu adresinde 17116 numaralı Bursa istasyonu'ndan alınmıştır.

Çizelge 3.2. Bursa'nın (1928 – 2021) Yılları Arası Aylık Yağış Ortalamaları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021).

Aylar (1928 – 2021)													
Bursa	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.4	6.5	9.0	13.0	18.1	22.6	25.1	25.2	20.8	15.9	10.7	7.0	14.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.87	13.60	13.40	11.43	9.63	7.30	3.33	3.60	6.77	10.37	10.93	14.53	119.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalama sı (mm)	79.2	78.2	74.9	68.6	47.9	42.8	14.3	17.5	50.1	84.4	67.3	93.9	719.1

3.2.2. Bursa şehirlerarası otobüs terminali

Bursa'nın hızlı kentleşmesi ve nüfus artışı ile birlikte 1990'lı yıllarda nüfusun ulaşım ihtiyacını karşılamak için otogar olarak yeni bir bina inşa edilmiştir. 1995 yılında Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından açılan ihale sonucunda 13 Aralık 1995 tarihinde Bursa Şehirlerarası ve Uluslararası Otobüs Terminali'nin temelleri atılmıştır. Boy-Koop tarafından yap-işlet-devret modeliyle yapılan terminal, 15 Haziran 1995 tarihinde hizmete açılmıştır.

Bursa Otogarı, Bursa şehrine girişin yapıldığı ulaşım merkezidir. Büyük nüfusu, coğrafi konumu ve farklı zamanlarda çok sayıda ziyaretçiyi ağırlaması nedeniyle iç ulaşım yolları için en önemli duraklardan biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle Bursa Otogarı'nda birçok yerel ve ulusal otobüs firması bulunmaktadır. Bursa Otogarı, yolcu trafiğinin çok yoğun olduğu bir lokasyondaki konumu nedeniyle şehrin ulaşım

3.2.3. Çatı malzemesi

Bu çalışmada, toplam çatı alanı, yıllık ortalama yağış miktarı ve çatı malzemesine göre farklılık gösteren akış katsayısı temel alınarak yağmur suyu hasadının ekonomik analizi belirlenmiştir.

Bu nedenle çatının malzemesi, çatıdaki hasat edilebilir yağmur suyunun belirlenmesinde önemli bir faktördür. Akış katsayısı, su toplama kayıplarının etkisini gösteren boyutsuz bir faktördür ve yüzey eğiminin doğasına ve yağış yoğunluğuna bağlıdır (Vijay ve ark, 2011). Bu nedenle, bir çatı alanına düşen suyun tamamı toplanamayacağından, akış katsayısının hesaba katılması gerekmektedir. Birçok malzemenin akış katsayısı Çizelge 3.3'te verilmiştir. Bu çalışmanın çatı tipi metal çatı kaplamadır, dolayısıyla akış katsayısı 0,95'dir.

Çizelge 3.3. Çatı materyaline göre kullanılan akış katsayıları (Farreny ve ark, 2011)

Çatı	Akış Katsayısı	Kaynak
Çatılar (Genel)	0,7-0,9	Pacey ve Cullis (1986)
Çatılar (Genel)	0,75-0,95	ASCE (1969), McCuen (2004), Singh (1992), TxDOT (2009), Viessman ve Lewis (2003)
	0,85	McCuen (2004), Rahman ve ark. (2010)
	0,8-0,9	Fewkes (2000)
	0,8	Ghisi ve ark. (2009)
	0,8-0,95	Lancaster (2006)
	0,9-0,95	Tomas (2009)
Eğimli Çatılar		
Beton/Asfalt	0,9	Lancaster (2006)
Metal	0,95	Lancaster (2006)
	0,81-0,84	Liaw ve Tsai (2004)
Alüminyum	0,7	Ward ve ark. (2010)
Düz Çatılar		
Ziftli /Bitümlü	0,7	Ward ve ark. (2010)

Çizelge 3.3. Çatı materyaline göre kullanılan akış katsayıları (Farreny ve ark, 2011) (devamı)

Çakıl	0,8-0,85	Lancaster (2006)
Çimento	0,81	Liaw ve Tsai (2004)

3.2.4. Çatı alanı hesabı

Bir yağmur suyu toplama sisteminin potansiyel faydalarını en üst düzeye çıkarmak ve bundan maksimum fayda sağlamak için çatılarda toplanma alanı olarak hizmet edecek geniş alanların olması önemlidir. Bursa otogarı geniş bir çatı alanına sahiptir. Bina dışında kalan alan ise otobüs durakları ve yeşil alanlardan oluşmaktadır. Çatı alanı, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi Google Earth programı kullanılarak hesaplanmış olup, toplam çatı alanı 13 000 m²'dir (URL-1, 2022).



Şekil 3.3. Bursa otogarının kapalı alanı.

3.3. Yağmur Suyu Depolama Sistemi

Yağmur suyu depolama sistemi, kendi kendine su temininin en basit işlemlerinden biridir. Bir binadaki depolama sisteminin temel ögesi depolama sarnıcıdır, çünkü depolama sarnıcının kapasitesi sistem maliyetinin tahmin edilmesinde önemli bir faktördür ve operasyonel ve ekonomik açıdan kilit bir role sahiptir. Bir yağmur suyu sarnıcının boyutlandırılması, su talebinin miktarına bağlıdır. Başarılı yağmur suyu

toplama sistemleri genellikle verimli depolama ile ilişkilendirilmektedir (Rwsn, 2017). Depolama sistemiyle ilgili, verimli çalışmasını sağlamak için konum, boyut, estetik ve işlevsellik gibi birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır.

3.3.1. Depolama sisteminin konumu

Toplanabilecek yağmur suları, teknolojik uygunluk, verimlilik ve ekonomiye bağlı olarak bina içinde veya dışında farklı yerlerde depolanmaktadır. Her iki lokasyonda da depolamanın birçok avantajı ve dezavantajı vardır. Çalışmadaki bina tek kattan oluşmakta olup, binanın çatı tipi kırma çatıdır. Bu nedenle, binanın çatısında yağmur suyu depolaması düz bir çatı gerektirdiğinden, yağmur suyunu çatıda depolamak mümkün değildir. Bu çalışmada yağmur suyu deposunun yeri için en uygun seçim bina dışında kalan açık alanlardır (Burulaş, 2022).

3.3.2. Optimum yağmur suyu depolama tanklarının belirlenmesi

Binanın çatısından toplanabilecek su miktarı belirlendikten sonra tankın hacmi hesaplanabilmektedir. Bu işlem sistemin verimliliğini belirlediği için dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, tank en pahalı bileşendir, bu nedenle hacmi artırmak daha gereksiz harcamalara yol açacaktır. Bir depolama tankının boyutlandırılması, birkaç değişken ile ilişkilendirilerek belirlenebilmektedir. Bunlar;

- Toplama yüzeyinin alanı,
- Yerel yağış ve hava koşulları,
- İhtiyaç duyulan su hacmi (talep),
- Toplanan maksimum yağmur suyu miktarı (tedarik),
- Bir yedek su kaynağının mevcudiyeti,
- Yerleşim yerinin kullanılabilirliği,
- Bütçe olarak sayılabilmektedir (Ball, 2001).

Yağmur suyu depolama tanklarının hacmini belirlemek için talep yaklaşımı ve arz yaklaşımı gibi farklı yöntemler vardır. Talep yaklaşımı, gerekli su tüketim miktarlarına ve kullanıcı sayısına bağlıdır. Arz yaklaşım, tasarruf edilebilecek su miktarlarına göre bir depolama tankının hacmini tahmin etme yöntemidir. Bu şekilde depolanacak yağmur

suyu hacminin belirlenmesi, yağış verileri, çatı alanı ve çatı yüzey akış katsayısı gibi verileri gerektirmektedir. Rezervuar boyutunun belirlenmesinde yıl boyunca en yüksek yağış miktarlarının alınmaktadır (Hajjar ve ark, 2020).

3.3.3. Depolama tanklarının boyutlandırması

Depolama tankının boyutlandırmanın bir sonraki adımı tankın şeklidir. Depolama tankları, herhangi bir çatı toplama sisteminde genellikle en pahalı bileşendir ve en uygun tipin seçilmesi önemlidir. Tankla ilgili öneri estetik olarak kabul edilebilir olmayabilmektedir. Tankların şekli, boyutu, malzemesi veya yeri estetik bir uyumsuzluğa neden olabilmektedir. Tank boyutunun estetik olarak uygun olmaması durumunda, çözüm elde etmek için aşağıdaki belirtilen alternatif yöntemler vardır:

1. Tankın yüksekliğinin azaltılması ve alanının arttırılması.
2. Yüksekliğinin arttırılması ve tank alanını azaltılması.
3. Bir büyük tank yerine birkaç küçük tank kurulması.

Şekil 3.4 yatay silindirik bir tankı göstermektedir. Kurulumu ve sökülmesi kolay olan bu tankın, yeri kolayca değiştirilebilmektedir.



Şekil 3.4. 30 000 Litre Paslanmaz Silindirik Yatay Su Deposu (URL-2, 2022).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Yağmur Suyu Hasat Miktarının Hesaplanması

Yağmur suyu hasadında elde edilecek su miktarının belirlenmesinde, çatı katsayısı, filtre etkinlik katsayısı, konuma ait yağış miktarları ve hasadın yapılacağı toplama alanı gibi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu terimler sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

Çatı katsayısı, toplanma alanına düşen yağmurun toplanabilme kapasitesine göre belirlenen bir katsayıdır. Üçüncü Bölümde Çizelge 1.3'te gösterildiği gibi 0,95 olarak seçilmiştir.

Filtre etkinlik katsayısı: Çatıdan elde edilecek yağmur suyunun görünür katı maddelerden ayrılması için geçirilecek ilk filtrenin verimlilik katsayısıdır. Yağmur suyunun bir miktarının filtreden geçerken, kaybolması durumuna yönelik belirlenir. DIN1989 standartına göre 0,9 olarak belirtilmektedir.

Yağmur toplama alanı: Yağmur suyu hasadı yapılacak olan yapıya ait çatı alanıdır.

Yağış miktarı: Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen ortalama yıllık yağış miktarıdır.

Yukarıdaki veriler ışığında yapıda yağmur suyu hasadı miktarı Eşitlik 4.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\Sigma W = A \times M \times \alpha \times \beta \quad (4.1)$$

ΣW : Toplam Yağmur suyu hasadı (m^3)

A: Yağmur suyu toplama alanı (m^2)

M: Yağış miktarı (mm/m^2)

α : Çatı katsayısı (0,95)

β : Filtre etkinlik katsayısı (0,9)

$$\Sigma W = 13\ 000 \times 719,1 \times 0,95 \times 0,9 = 7992,8\ m^3$$

Buna göre Bursa Otogarı çatısından elde edilecek yıllık su miktarı 7992,8 m³ olarak belirlenmiştir.

4.2. Yıllık Toplam Su İhtiyacı

Bursa Otogarı'nın yağmur suyu kullanım potansiyelini değerlendirebilmek için, suyun nihai kullanımlarının ve bu su kaynağının karşılayabileceği ilgili gereksinimlerin belirlenmesi gerekmiştir. Tahmini talep değerlerinden yağmur suyu deposu hacminin verim, güvenilirlik ve maliyet açısından bir değerlendirmesi yapılmaktadır.

Bu çalışmada, en büyük tüketim faaliyeti olarak tuvaletlerdeki yıllık su tüketimi hesaplanmıştır. Ayrıca Bursa otogarındaki yeşil alanların sulanmasında yıllık su kullanımı hesaplanmıştır.

4.2.1. Bursa Otogarı'ndaki yeşil alanların sulanması için gereken su miktarı hesabı

Eskiden 15.000 m² olan geniş bir alana yeni bir otobüs durağı yapıldıktan sonra binanın çevresindeki mevcut yeşil alan miktarı 5000 m²'ye düşmüştür. Bu tez kapsamında da tüm yeşil alanlar çim olarak kabul edilmiştir. En iyi çim verimin elde edildiği alanlar aralıklarla yoğun sulamanın yapıldığı alanlardır. Çim alanlarının su ihtiyacı ortalama olarak haftada 2,5-3 cm dir. Bu miktarda sulama, toprağın 8-10 cm derinliğinde ıslanmasına neden olacaktır. Bu su miktarı ile çim kökleri daha derinlere ulaşarak gelişmesine neden olacaktır. Bursa bölgesinde sulama yapan dönemleri (Nisan- Ekim) ayları, altı aylık bir süreyi kapsamaktadır (URL-3, 2022).

Haftada 2,5 cm sulama yapılırsa; $5000 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ cm} \times 1 \text{ m} / 100 \text{ cm} = 125 \text{ m}^3 \text{ hafta}^{-1}$

Bir yıl için; $125 \text{ m}^3 \text{ hafta}^{-1} \times 26 \text{ hafta} = 3250 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$

Bir ay için; $\frac{3250 \text{ m}^3}{6} = 541,6 \text{ m}^3$

Toplanan yağmur suyunun yıllık sulama suyu tüketiminden karşılayabileceği yüzde;

$$\frac{7992,8 \text{ m}^3}{3250 \text{ m}^3} \times \%100 = \%246$$

Buna göre her hafta 2,5 cm sulama yapılması durumunda çatı alanlarından toplanan su miktarının ihtiyaç duyulan yeşil alandaki toplam sulama suyunun %246'ını karşılayacağı tespit edilmiştir.

4.2.2. Bursa Otogarı'nda tuvaletler için gerekli su miktarının hesaplanması

Üçüncü bölümde bahsedildiği gibi 2021 yılı için tuvaletlerde aylık su sayacı okumaları yapılmıştır. Tuvaletlerde toplam yıllık su tüketimi 23 663 m³ olarak belirlenmiştir.

Toplanan yağmur suyunun yıllık tuvalet tüketiminden karşılayabileceği yüzde;

$$\frac{7992,8 \text{ m}^3}{23 663 \text{ m}^3} \times \%100 = \%33,7$$

Buna göre, çatı alanlarından toplanan su miktarı, tuvaletlerde ihtiyaç duyulan toplam suyun %33,7'sini kapsayacaktır.

4.2.3. Bursa Otogarı'nda araç yıkamak için gereken su miktarı

Araç yıkamak için gereken su miktarı; bir seferde yaklaşık 50 litre su harcanacağı kabul edilmektedir (URL-4, 2022). Terminal içerisinde terminal idaresine bağlı oto yıkama istasyonu bulunmaktadır. Daha önce de belirttiğim gibi terminalin içinde yaklaşık 60 otobüs firması bulunmaktadır. Her firmanın günde bir otobüs yıkama yapabileceğini varsayarsak, ihtiyaç duyulan yıllık su miktarı;

$$50 \times 60 \times 365 = 1 095 000 \text{ L} = 1095 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$$

$$\text{Bir ay için; } \frac{1095 \text{ m}^3}{12} = 91,25 \text{ m}^3$$

4.2.4. Bursa Otogarı'nda yer temizlemek için gereken su miktarı

Süpürme aracı Bursa otogarının zeminini yıkamak için kullanılmaktadır. Bu makine metrekareye 1 litre su harcamaktadır (URL-5, 2022).

Tüm zeminin günde bir kez temizlendiğini varsayarsak, ihtiyaç duyulan yıllık su miktarı;

$$13\ 000\ m^2\ (zemin\ alanı) \times 1\ L/m^2 \times 365 = 4\ 745\ 000\ L = 4745\ m^3\ yıl^{-1}$$

$$\text{Bir ay için; } \frac{4745\ m^3}{12} = 395,41\ m^3$$

Yıllık toplam su ihtiyacı = yeşil alanların sulanması için gereken su ihtiyacı + tuvaletler için gereken su ihtiyacı + Araç yıkamak için gereken su miktarı + yer temizlemek için gereken su miktarı

$$\text{Yıllık toplam su ihtiyacı (m}^3\text{)} = 3250 + 23\ 663 + 1095 + 4745 = 32\ 753\ m^3\ yıl^{-1}$$

4.3. Su Temini Bakımından Hacimsel Güvenilirlik Analizi

Hacimsel güvenilirlik olarak da adlandırılan su tasarrufu verimliliği, tasarruf edilebilecek ana su kaynağının yüzdesi olarak ölçülmektedir. Güvenilirlik, bir tankın tüketiciler tarafından ihtiyaç duyulan gerekli miktarda suyu sağlama olasılığını göstermektedir (Karim v r ark, 2021). Bu çalışmada, tuvalet, yeşil alan sulama, araç yıkama ve zemin temizliğinde kullanımın hacimsel güvenilirliği ele alınmış ve tüketilen yağmur suyu miktarı, ihtiyaç duyulan toplam su miktarına bölünerek hesaplanmıştır. Hacimsel güvenilirlik aşağıdaki denklem 4.2 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$R_v = \frac{\text{su temini}}{\text{su ihtiyacı}} * 100 \quad (4.2)$$

R_v : hacimsel güvenilirlik = mevcut yağmur suyu arzının talebe oranı.

Terminalde yeşil alanların sulanması, tuvaletler, zemin temizliği, araba yıkama için kullanılan su miktarı ve her ay için su tasarrufunun verimliliği Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Sunulan veriler, Mayıs'tan Eylül'e kadar olan sıcak dönemde yağışların azalması nedeniyle toplanan yağmur suyu miktarının azaldığını göstermektedir. Bu düşüşle birlikte yaz döneminde Türkiye içinden ve dışından Bursa'ya çok sayıda ziyaretçi gelmesi nedeniyle aylık ortalama tüketimde artış yaşanmıştır. Yüksek sıcaklık ve yağışların azalması nedeniyle su tasarrufu verimliliği açısından en düşük oranı Temmuz ayında görülmektedir. Temmuz ayında en düşük R_v değeri %3,93 olarak bulunmuştur. Ayrıca, en iyi R_v sonuçları Aralık ayında %55,52 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Terminalde su kullanımının hacimsel güvenilirlik analizi

Ay	Aylık toplam yağış miktarı (mm)	Aylık toplanan yağmur suyu miktarı (m ³)	Aylık tuvalet tüketimi (m ³)	Oto yıkama aylık tüketimi (m ³)	Aylık yer temizliği tüketimi (m ³)	Aylık sulama tüketimi (m ³)	Toplam aylık su tüketimi (m ³)	Hacimsel güvenilirlik (Rv) %
Ocak	79,2	880,31	1252	91,25	395,42	0	1738,67	50,63
Şubat	78,2	869,19	1282	91,25	395,42	0	1768,67	49,14
Mart	74,9	832,51	2119	91,25	395,42	0	2605,67	31,94
Nisan	68,6	762,49	1520	91,25	395,42	541,6	2548,27	29,92
Mayıs	47,9	532,41	1332	91,25	395,42	541,6	2360,27	22,56
Haziran	42,8	475,72	2215	91,25	395,42	541,6	3243,27	14,67
Temmuz	14,3	158,94	3014	91,25	395,42	541,6	4042,27	3,93
Ağustos	17,5	194,51	3120	91,25	395,42	541,6	4148,27	4,69
Eylül	50,1	556,86	2817	91,25	395,42	541,6	3845,27	14,48
Ekim	84,4	938,11	1555	91,25	395,42	0	2041,67	45,94
Kasım	67,3	748,04	2044	91,25	395,42	0	2530,67	29,55
Aralık	93,9	1043,70	1393	91,25	395,42	0	1879,67	55,52
Yıllık	719,1	7992,80	23663	1095	4745	3250	32753	24,40

4.4. Tank Hacminin Hesaplanması

Binaların çatılarından toplanabilecek su miktarı belirlendikten sonra tankın hacmi belirlenmiştir. Bu işlem, sistemin maliyetinde önemli bir rol oynadığı için hassasiyet gerektirir. Bu çalışmada, gerekli su deposu hacminin, yıl boyunca hasat edilebilecek maksimum yağış hacmine eşit olduğu düşünülebilmektedir. Yağmur suyu miktarının tüm gereksinimleri karşılamaya yeterli olmaması durumunda ek hacim yararlı olmayacağından, diğer faktörler dikkate alınmamaktadır.

Sistemin depo hacmi hesabı, maksimum yağışın olduğu Aralık ayı düşünülerek yapılmıştır.

Aralık ayı: 93,9 mm

Depo hacmi = yağış miktarı × çatı metrekaresi × 0.9 × 0.95

Depo hacmi = 93,9 L m⁻² × 13 000 m² × 0,9 × 0,95 = 1 043 700 L = 1043,7 m³'lük depo hacmi gerekmektedir.

Tank seçimi, yerel olarak mevcut ticari seçeneklerin aralığına ve fiyatına ve yapı malzemelerinin maliyetine ve bulunabilirliğine bağlıdır. Genel olarak, daha büyük depolama tankları, daha küçük tanklardan daha maliyetlidir. Ancak, 1 m³ depolama hacmi başına inşaat maliyeti daha büyük tanklar için daha ucuz olabilmektedir. Yağmur suyunun bina içinde ve dışında kullanılması ve sistemin ekonomik olması için en ucuz depolama tankları dikkate alınmıştır. Tankın hacmi oldukça büyük olduğu için birden fazla tank seçilmesi daha uygun olmuştur. Piyasada bulunan tankların boyutları dikkate alınarak 100 m³ hacimli 11 adet polyester su deposu seçilmiştir (URL-6, 2022).

4.5. Yağmur Suyu Toplama Sisteminin Maliyeti

Yağmur suyu toplama sistemleri, Bursa Otogarı'ndaki su faturalarını azaltma ve makul bir maliyetle ek bir su kaynağı sağlama potansiyeline sahiptir. Bu sistemin maliyetlerini yaygınlaştırılması şansını artıracaktır. Bursa'da şehrin girişi olan önemli bir kurumda yağmur suyu hasadı sistemlerinin uygulanması yetkili mercilerin bu tür projelere destek vermesini kolaylaştırmaktadır.

Maliyet analizi, sistemin uygulanmasına karar vermede önemli bir faktördür. Uygulama bütçesi üzerinde kontrole izin veren binanın durumuna göre sisteme bazı bölümlerin eklenmesi veya bazı bölümlerin çıkarılmasında esneklik vardır. Ayrıca, suyun birden fazla kullanımı olduğundan maliyet, suyun istenen kullanımına da bağlıdır. Bu, sistemin boyutunu ve suyun depolanma şeklini de etkileyecektir. Çalışmanın bu bölümünde, denklem 4.3 kullanılarak tasarruf miktarı bulunmuştur.

$$S = V_h \times W_t \quad (4.3)$$

S, Türk Lirası cinsinden tasarruf edilen maliyet (TL), V_h ise metreküp cinsinden toplanan yağmur suyu miktarıdır. W_t , Bursa'da m³ cinsinden su tarifesidir.

Binadaki tasarruf miktarı hesaplanmış, daha sonra geri ödeme süresi hesabı ile her bir parçanın maliyeti toplanarak sistemin maliyeti hesaplanmıştır. Son olarak, sistemin ekonomik fizibilitesini belirlemek amacıyla geri ödeme süresi dikkate alınarak, uygulama maliyeti tasarruf miktarı ile karşılaştırılmıştır.

Bursa'da belediye tarafından belirlenen su tarifesinin değeri binanın işlevine göre değişmektedir. Bursa'da Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nün (BUSKİ) tarife listesine bakarak su satış fiyatı ve atıksu bedeli belirlenmiştir. Bursa otogar binası devletin resmi dairelerine bağlı olduğu için su satış fiyatı (şebeke suyu ücreti) atıksu bedeli dahil 23,35 TL/m³'tür (URL-7, 2022);

Yıllık tasarruf edilen tutar = 7992,8 m³ × 23,35 TL/m³ = 186 632 TL

Toplam tüketimin %24,4'ü yağmur suyundan sağlanabilmekte ve yıllık olarak 186 632 TL (10 368 \$) tasarruf edilebilmektedir.

Yağmur suyu hasat sisteminin maliyetini belirlemek için binanın durumuna ve su kullanım amacına bağlı olarak gerekli bileşenleri belirtmelidir. Tuvalet, sulama ve temizlik için kullanılacak suya göre herhangi bir arıtma sistemi eklenmemelidir. Bu, uygulama maliyetini azaltmaya yardımcı olacaktır.

Toplanan yağmur suyunun tuvaletlerde ya da temizlikte kullanılacak kaliteye gelmesi için ise Yağmur Suyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik'ten yararlanılmıştır. Yönetmeliğe göre evlerde, iş yerlerinde ve bahçelerde kullanma suyu olarak kullanılacak yağmur suyunun, depolarda askıda katı madde birikimini engellemek amacıyla, depoya girmeden önce filtrasyon işleminden geçmesi gerekmektedir. Filtre, toplama borularına yerleştirilmelidir. Seçilecek olan filtre, en az %90 filtrasyon verimine sahip, 1,25 mm'den büyük katı maddelerin geçişine izin vermeyen filtre olarak seçilecektir (ÇŞB, 2017).

Tankın fiyatını belirlemek için tank üretiminde uzmanlaşmış Türk şirketi İzoplas seçilmiştir. Polyesterten yapılmış 100 m³'lük bir tankın fiyatının 300 000 türk lirası olduğu tespit edilmiştir (URL-6, 2022).

Tez çalışmasında, binaya uygulanacak yağmur suyu toplama kanalı ile su deposu arasındaki borulama sistemine filtre yerleştirilmesi öngörülmüştür. Yağmur suyunu filtrelerden, yapraklar, taşlar vb. katılar sudan ayrılacak 40 mikron filtrasyon hassasiyeti ile 11 adet paslanmaz çelik filtre seçilmiştir (URL-8, 2022).

Pompalar, suyun tanktan son kullanıma kadar dağıtılmasından sorumludur. Tanklardan gelen suyu bina şebekesine aktarmak için sisteme 11 adet paslanmaz temiz su dalgıç pompası eklenecektir. İlk yatırım maliyetlerinden sistem maliyeti olarak tanımlanan masraflar ise yağmur suyu deposunun, filtre sisteminin ve yağmur suyunun bina içerisine verilmesini sağlayacak pompa sisteminin maliyetidir. Ekipmanın özelliği ve maliyeti Çizelge 4.2’da verilmektedir.

Çizelge 4.2. Bursa otogarında yağmur suyu toplama sistemi ekipmanının maliyeti

Ekipman	Özellikleri	Birimleri	Sayısı	Maliyet (TL)
Yağmur Suyu Deposu	Hacim 100 m ³	Polyester su deposu	11 adet	300 000 TL (bir adet için) × 11 = 3 300 000 TL (183 333 \$)
Filtre	Basınç 16 bar	Paslanmaz çelik/Kendini temizleme	11 adet	450 TL (bir adet için) × 11 = 4950 TL (275 \$)
Dalgıç Pompa	Güç - 900 W	Paslanmaz temiz su dalgıç pompa	11 adet	680 TL (bir adet için) × 11 = 7480 TL (416 \$)
Toplam Maliyet	3 312 430 TL (184 024 \$)			

Yağmur suyu toplama sisteminin ekonomik fizibilitesinin değerlendirilmesini tamamlamak amacıyla geri ödeme süresi de hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi, bir ilk yatırımın maliyetini geri kazanma süresini ifade etmektedir. Bir analiz aracı olarak geri ödeme süresi, uygulanması kolay olduğu için sıklıkla kullanılmaktadır. Yağmur suyu hasadı sistemi birçok farklı bileşenden (tank, filtre, borular, oluklar vb.) oluşabileceğinden, geri ödeme süresi hesaplanırken sistemin ilk yatırım maliyetlerinin büyük bir kısmını karşılayan ana bileşenler dikkate alınmıştır. Geri ödeme süresi aşağıdaki denklem 4.4 kullanılarak belirlenebilmektedir.

$$\text{Geri ödeme süresi} = \frac{\text{Toplam sistem maliyeti}}{\text{yıllık tasarruf edilen}} \quad (4.4)$$

$$= 3\,312\,430 \text{ TL} / 186\,632 \text{ TL} = 18 \text{ yıl}$$

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Su kaynaklarının kirlenmesi ve bilinçsizce kullanımı, yanlış tarımsal uygulamalar, iklim değişikliği, hızlı kentleşme, nüfus artışı ve endüstrileşmeye bağlı olarak su tüketiminin artması günümüzde birçok ülkenin tatlı suya ulaşmasında sıkıntı yaratmaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu yarı kurak iklim, su kullanım alışkanlıkları, nüfus artış hızı ve su kaynaklarının mevcut miktarı göz önüne alındığında gelecek yıllarda susuzluk sorunu yaşayan ülkeler arasında yer alması yüksek bir ihtimaldir.

Türkiye, Ortadoğu ülkelerine göre yağışlı bir bölge olarak kabul edilmektedir. Ayrıca Türkiye coğrafyasında kullanılmayan yağmur sularının miktarı oldukça fazladır, bu nedenle binaların veya kurumların çatılarından toplanarak birçok amaçla yeniden kullanılması, su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltıp ekonomik kazanç sağlayacaktır.

Bu çalışmada yaklaşık 13 000 m² kapalı alana sahip Bursa otogarından yağmur suyunun toplanarak yeşil alanların sulanması ve terminal binasında birçok amaç için kullanılma potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla 17116 numaralı Bursa istasyonunun aylık yağış verileri kullanılarak otogarın çatısından toplanacak yağmur suyu miktarı yıllık 7992,8 m³ olarak gerçekleşmiştir. Otogarda tuvalet, yeşil alanların sulanması, yer temizliği ve araba yıkama gibi kullanım için gerekli olan su miktarı hesaplandıktan sonra, toplanan yağmur sularının yaklaşık %24,4'ü karşılayacağı tespit edilmiştir. Bursa Otogari'nin çatısından toplanan yağmur sularının depolanacağı tank boyutlarını hesaplayarak, yer üstünde yerleştirilecek her biri 100 m³ büyüklüğünde 11 adet polyester malzemeden yapılmış yağmur su deposu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre otogar bütçesine 186 632 TL (10 368 \$) olarak tahmin edilen ek bir yıllık kar olacaktır. Toplam sistem maliyetinin hesaplanmasında ana sistem maliyetleri benimsenmiş olup, geri ödeme süresi yaklaşık 18 yıldır. Sonuç olarak, yenilenebilir kaynak sistemleri projelerinin yatırım getirisi yüksektir. Bu nedenle, kamu binalarında yağmur suyu hasadı sistemi, ekonomik ve çevresel açıdan yağmur suyu hasadı için mükemmel bir adımdır. Yağmur suyu hasadı sistemi periyodik olarak kontrol edilmelidir. Çatı, borular ve oluklar özellikle uzun süreli kuraklık veya fırtınalardan sonra mutlaka gözden geçirilmelidir. Sistem incelenerek, suyun doğru yönde aktığından emin olmak, çatı ve tankları

periyodik olarak temizlemek, yapraklardan ve her türlü yabancı maddeden arındırılması oldukça önemlidir.

Optimum depolama tanklarının belirlenmesi için Ortalama günlük veriler kullanıldığında, ortalama aylık yağış verilerinden daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Buna göre, saatlik ve günlük yağış verileri kullanılarak daha güvenilir sonuçların elde edilmesi mümkündür.

Dikkatli bir planlama ile Bursa otogarında yağmur suyu hasat sisteminin kullanılmasının teknik, ekonomik ve sosyal parametreler dikkate alındığında olumlu sonuçlar vermesi beklenmektedir.

Bursa otogar binasında yağmur suyu toplama teknolojisinin uygulanmasının, binadaki fatura maliyetlerinin azaltılmasına katkıda bulunmasıyla birlikte, topluma yeterli su sağlanması konusunda belediyeler üzerindeki mevcut baskıyı hafifletebileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada uygulanan yağmur suyu hasadının, Türkiye'de su mevcudiyetini artırmak için umut verici potansiyel yöntemlerden birisi olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, devlet kurumları, vergi indirimleri ve finansal devlet teşvikleriyle başta geniş çatılı binalar olmak üzere tüm ticari ve resmi binalarda su hasadına teşvik edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdulla, F. A. ve Al-Shareef, A.W. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan, *Desalination*, 243, (1-3),195–207. doi:10.1016/j.desal.2008.05.013.
- Al-ansari, N., Ezz-aldeen, M. ve Knutsson, S. (2012). Rain water harvesting at eastern Sinjar mountain, Iraq. *Geoscience Research*, 3(2), 100–108. <https://doi.org/10.4236/ns.2013.510130>
- Alkaff, S. A., Fadhel, M. I. ve Abdi, A. M. (2013). Study of harvesting rainwater system for Multimedia University (MMU). *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, 4(4), 250–254.
- Antoniou, G. P. (2014). Communal rainwater cisterns of the british rule on Paxos, Greece.
- ASCE, (1969). Design and construction of sanitary storm sewers. In: ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, vol. 37. ASCE, New York.
- Aydındemir, B. (2020). *Bursa ilinin meteorolojik verilerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://acikerisim.uludag.edu.tr/handle/11452/15360>
- Bagdatli, C. (2016). Negative effects of climate change in Turkey. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 3(2), 44–46. <https://doi.org/10.15406/apar.2016.03.00091>
- Boakye, E. ve Nsiah, J. J. (2016). Quantifying rooftop rainwater harvest potential: case of Takoradi Polytechnic in Takoradi, Ghana. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(6), 1004–1008. <https://doi.org/10.21275/v5i6.nov164223>
- Boers, Th. M. ve Ben-Asher, J. (1982). A review of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management*, 5 (2), 145-158.
- Boyacı, S. ve Kartal, S. (2019). Rainwater harvesting on greenhouse roof and use in irrigation. *International Journal of Research -Granthaalayah*, 7(2), 93–100. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i2.2019.1011>
- Bursa Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2021). Erişim Adresi: <https://www.mgm.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 6.12.2021
- BURULAŞ. (2021). Bursa ulaşım toplu taşıma işletmeciliği turizm sanayi ve ticaret A.Ş. Erişim adresi: <https://terminal.burulas.com.tr/>
- BURULAŞ. (2022). Bursa ulaşım toplu taşıma işletmeciliği raporu, Aralık 2021.Bursa Otogar Başkanlığı.
- ÇŞB. (2017). *Yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemleri hakkında yönetmelik*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

FAO. (2014). The food and agriculture organization of the United Nations, compendium on rainwater harvesting for agriculture in the Caribbean sub-region concepts, calculations and definitions for small, rain-fed farm systems. Erişim Adresi: www.fao.org

Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall, J. ve Gabarrell, X. (2011). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research*, 45(10), 3245–3254. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.036>

Fewkes, A. (2000). Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach, *Urban Water*, 1, 323-333. doi:10.1016/S1462-0758(00)00026-1.

Ghisi, E. (2009). Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. *Water Resource Management*. 24, 2381-2403. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9557-4>

González, A. (2012). Study to analyze the viability of rainwater catchment from roofs for its reuse in Tegucigalpa, Honduras, M.S. Thesis, Colorado State University, 2012.

Grady, C. ve Younos, T. (2008). *Analysis of water and energy conservation of rainwater capture system on a single family home*. Virginia Water Resources Research Center. Technical Report.

Hajjar, H., Kılınç, İ. ve Ülker, E. (2020). Rainwater harvesting potential in public buildings: a case study in Katip Celebi University [Özel sayı]. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 167-172. doi: 10.46810/tdfd.728797

Hattum, T. ve Worm, J. (2006). Rainwater harvesting for domestic use. *In Water International*, Vol (16). Erişim Adresi: http://rainfoundation.org/fileadmin/PublicSite/Manuals/AGRODOK_RWH_43-e-2006-small.pdf Erişim Tarihi: 2.12.2021

HDRA. (2006). *Water harvesting and conservation. Henry Doubleday Research Association (HDRA) International Development Programme*. Erişim Adresi: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/HDRA%20Water%20Harvesting%20and%20Conservation.pdf Erişim Tarihi: 6.12.2021

Islam, O., Ray, A. M., Anannya, T. R. ve Tusher S. R. (2014). Rainwater harvesting as an alternative source of water supply for residential uses in Dhaka city. *Bangladesh Journal of Environmental Science*., Vol. 27, 136-141.

Kanno, G. G., Lagiso, Z. A., Abate, Z. G., Areba, A. S., Gondol, B. N., Temesgen, H., Van Wyk, R. ve Aregu, M. B. (2021). Estimation of rainwater harvesting potential for emergency water demand in the era of COVID-19. The case of Dilla town, Southern, Ethiopia. *Environmental Challenges*, 3(January), 100077.

Karim, R., Sakib, B. M., Sakib, Sk. ve Imteaz, M. (2021). Rainwater harvesting potentials in commercial buildings in Dhaka: reliability and economic analysis. *Hydrology*, 8. 9. 10.3390/hydrology8010009.

Karunasena, G., Mallawaarachchi, H. ve Gunasekara, J. (2013). Rainwater harvesting in urban buildings. *International Conference on Structural Engineering and Construction Management*, Kandy, Sri Lanka

Khandelwal, p. Tiwari, K. Ve Rohit, G. (2014). Rooftop rainwater Harvesting as Part of IWRM plan of Khuskera-Bhiwari Neemrana Investment region. *International Journal of Engineering Research & Technology 2014 Conference Proceedings*, 145-149.

Kumar, K. ve Muruganandam, B. (2017). Assessment of rainwater harvesting potential for a part of Chandigarh. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(9), 91–98. Erişim Adresi: <http://iaeme.com/Home/issue/IJCIET?Volume=8&Issue=9>, Erişim Tarihi: 25.02.2022

Lancaster, B. (2006). Guiding principles to welcome rain into your life and landscape, in: rainwater harvesting for Drylands and Beyond, vol. 1. Rainsource Press, Tucson, Arizona.

Liaw, C.H., Tsai, Y.L. (2004). Optimum storage volume of roof top rainwater harvesting systems for domestic use. *Journal of the American Water Resources Association*, 40, 901-912. doi:10.1111/j.1752-1688.2004.tb01054.x.

Lopes, A. C., Rupp, R. F. ve Ghisi, E. (2015). Rainwater use for non-potable purposes in residences: case study for 60 cities in southern Brazil. Efficient 2015 – PI 2015 Joint Specialist IWA International Conference, April.

Manikandan, M., Ranghaswami, M. V. ve Thiyagarajan, G. (2011, March). Estimation of rooftop rain water harvesting potential by water budgeting study.

Martin, T. M., Watkins, J. ve David, W. (2010). An analysis of household rainwater harvesting systems in Falelima, Samoa. *World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change*, 2000-2009. [https://doi.org/10.1061/41114\(371\)209](https://doi.org/10.1061/41114(371)209)

McCuen, R. (2004). *Hydrologic analysis and design* third ed., Pearson Education Inc, Upper Saddle River, NJ.

Meda, K. K. (2015). Design of rainwater harvesting system at Shilpa Hostel in JNTUA college of engineering ananthapuramu: a case study from Southern India. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(12), 19–29.

Moreira Neto, R. F., Carvalho, I. D. C., Calijuri, M. L. ve Santiago, A. D. F. (2012). Rainwater use in airports: a case study in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 68, 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.005>

- Mun, J. S. ve Han, M. Y. (2012). Design and operational parameters of a rooftop rainwater harvesting system: definition, sensitivity and verification. *Journal of Environmental Management*, 93(1), 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.08.024>
- Nissen-Petersen, E. ve Gould, J. (1999). Rainwater catchment systems for domestic supply: design, construction and implementation. Stylus Publishing LLC. <https://doi.org/10.3362/9781780445694.000>
- Nolan, N. ve Lartigue, C. (2017). Evaluation of the performance of rainwater harvesting systems for domestic use in Tlalpan, Mexico City. *Civil Engineering Journal*, 3(3), 137-151. doi: 10.28991/cej-2017-00000080
- Patil, V. S. ve Sagar P. Mali. (2013). Potential roof rain water harvesting in Pirwadi village of Kolhapur district, Maharashtra (India)- A geospatial approach. *Journal of Research in Humanities and Social Science*, 1(4), 19–24.
- Pradhan, R. ve Sahoo, J. (2019). Smart rainwater management: new technologies and innovation, smart urban development, Vito Bobek, Intech Open. doi:10.5772/intechopen. 86336.
- Priyadarshi, H., Khan, W. ve Jain, A. (2018). Rain water harvesting plan and design for Mangalayatan University Campus, Aligarh, India. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, vol. 8, no. 4, 2018, pp. 18-28.
- Ranasinghe, P. (2019). Rainwater harvesting systems as a strategy for urban storm water management, (February), 0–14.
- Rural Water Supply Network. (2017). Rural water supply network self-supply site. Erişim Adresi: www.rural-water-supply.net/en/self-supply
- Sharma, R. (2010). *Rainwater harvesting at national institute of technology (NIT) (Yüksek Lisans Tezi)*, Rourkela. National Institute of Technology.
- Şahin, N. ve Manioğlu, G. (2011). Binalarda yağmur suyunun kullanılması. *Tesisat Mühendisliği*, 125(5), 21-32.
- Tomas, P. (2009). *Use of rainwater in urban areas for non-potable purposes, Livrodigital, Capítulo 5-Coeficiente de runoff*, Digital Book, Chapter 5-Run off coefficient. Erişim adresi: <http://www.pliniotomaz.com>
- Ubuoh, E. A., Ogbonna, P.C. ve Egbe, C.A. (2020). Assessment of the impact of rainfall variability on rainwater harvesting as an alternative domestic water supply in the coastal areas of southeastern Nigeria. *Nigerian Research Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 5(1) 2020, pp. 399-410.
- URL-1. (2022). Google earth. Erişim Adresi: <https://earth.google.com/web/>, Erişim tarihi: 11.04.2022

URL-2. (2022). Ankara su deposu. Erişim Adresi: <https://ankarasudeposu.com.tr/>, Erişim tarihi: 02.05.2022

URL-3. (2022). Uzman Grup Çevre. Erişim Adresi: <https://www.uzmangrupcevre.com.tr/cevredetay/1001#:~:text=%C3%87im%20alanlar%C4%B1n%C4%B1n%20su%20ihtiyac%C4%B1%20ortalama,miktar%C4%B1da%20%C3%A7imin%20geli%C5%9Fmesinde%20etkili%20olmaktad%C4%B1r.> Erişim tarihi: 25.04.2022

URL-4. (2022). Araç yıkamada harcadığımız su ile 5 yılda bir baraj kuruyor. Erişim Adresi: Araç yıkamada harcadığımız su ile 5 yılda bir baraj kuruyor - Çiftlik Dergisi | Çiftlik Dergisi (ciftlikdergisi.com.tr), Erişim tarihi: 25.04.2022

URL-5. (2022). Cleanvac temizlik makinaları elektikli araçlar. Erişim Adresi: <https://cleanvac.com/> , Erişim tarihi: 02.05.2022

URL-6 (2022). Erişim Adresi: <https://izoplas.com/su-depolari/polyester-su-depolari/100-ton-su-deposu/>, Erişim tarihi: 30.05.2022.

URL-7 (2022). Bursa su ve kanalizasyon idaresi (BUSKİ). Erişim adresi: <https://www.buski.gov.tr/AboneRehberi/AboneRehberi/7>. Erişim tarihi: 17.05.2022

URL-8 (2022). <https://tr.aliexpress.com/item/32899402119.html>, Erişim tarihi: 30.05.2022

Üstün, G. E., Can, T. ve Küçük, G. (2020). Binalarda yağmur suyu hasadı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 1593–1610. <https://doi.org/10.17482/uumfd.765561>

Ward, S., Memon, F.A. ve Butler, D. (2010). Harvested rainwater quality: the importance of appropriate design. *Water Science and Technology*, 61, (7), 1707-1714. doi:10.2166/wst.2010.102

Yalılı Kılıç, M. ve Abuş, M. (2018). Bahçeli bir konut örneğinde yağmur suyu hasadı. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 4 (2), 209-215. doi:10.24180/ijaws.426795

Yannopoulos, S., Antoniou, G. P. ve Angelakis, A. (2016). *Historical development of rainwater harvesting and use in Hellas: A preliminary review*. December. <https://doi.org/10.2166/ws.2016.200>

Yiğit, A. Y. Orhan, O. ve Ulvi, A. (2020). Investigation of the rainwater harvesting potential at the Mersin University, Turkey. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (2), 64-75.

Yuan, T., Fengmin, L. ve Puhai, L. (2003). Economic analysis of rainwater harvesting and irrigation methods, with an example from China. *Agricultural Water Management*, 60(3), 217–226. [https://doi.org/10.1016/s0378-3774\(02\)00171-3](https://doi.org/10.1016/s0378-3774(02)00171-3)

Zhu, K., Zhang, L., Hart, W., Liu, M. ve Chen, H. (2004). Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. *Journal of Arid Environments*, 57, 487-507. [https://doi.org/10.1016/s0140-1963\(03\)00118-6](https://doi.org/10.1016/s0140-1963(03)00118-6)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Khaled ALDAWAHID
Doğum Yeri ve Tarihi : Filistin / 25.07.1993
Yabancı Dil : İngilizce / Türkçe

Eğitim Durumu
Lise : Harun Reşid Lisesi
Lisans : Gazze İslam Üniversitesi
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi FBE Çevre Müh. YL

İletişim (e-posta) : eng.khaled.93@hotmail.com