YAĞMUR SUYU HASADININ FARKLI BİR YAKLAŞIM İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

SONGÜL BÖRÜ

AĞUSTOS 2022
DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAĞMUR SUYU HASADININ FARKLI BİR YAKLAŞIM İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

SONGÜL BÖRÜ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
HİDROLİK VE SU KAYNAKLARI ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

AĞUSTOS 2022

DİYARBAKIR

YAĞMUR SUYU HASADININ FARKLI BİR YAKLAŞIM İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Songül Börü tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK
Danışman, **İnşaat Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN (*)
İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Prof. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK(**)
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. İsmail DABANLI
İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 05/08/2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Songül BÖRÜ

İmza: …….……

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca derin bilgi ve tecrübeleriyle desteğini üzerimden esirgemeyen değerli tez danışmanım sayın Prof. Dr. Z. Fuat Toprak'a teşekkürlerimi sunarım.

Bütün eğitim hayatım boyunca her an yanımda olan, maddi-manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan babam Gıyasettin Börü, annem Fatma Börü ve kardeşlerime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLOLAR LİSTESİ ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ x
ÖZET xi
ABSTRACT xiii
1. GİRİŞ 1
1.1 Yağmur Suyu Hasadı Nedir? 3
1.2 Neden Yağmur Suyu Hasadı? 4
1.2.1 Su kaynaklarının sınırlı olması ve yeryüzünde konumsal ve zamansal dağılımının homojen olmaması 5
1.2.2 Artan nüfusa bağlı olarak içme ve kullanma suyu ihtiyacının artması .. 9
1.2.3 Artan nüfusa bağlı olarak tarımsal sulama suyu ihtiyacının artması 11
1.2.4 Sanayi ve teknolojideki ilerlemeye bağlı olarak sanayi suyu ihtiyacının artması 12
1.2.5 Küresel iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkileri 13
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 16
2.1 Konunun Tarihçesi 16
2.2 Yağmur Suyu Hasat Hidrolojisi Üzerine Yapılan Çalışmalar 19
2.3 Yağmur Suyu Hasat Sistemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar 21
2.4 Yağmursuyu Hasadı Üzerine Yapılan Çalışmalar 25
3. YÖNTEM 33
3.1 Yağmur Suyu Hasat Sistemi Temel Bileşenleri 33
3.1.1 Yağış 34

3.1.2 Toplama Alanı (Çatılar) 36
3.1.3 Depolama 37
3.2 Örnek Uygulama 38
3.2.1 Uygulama Alanı 38
3.2.2 Diyarbakır İli İklim Koşulları ve Yağış Özellikleri 40
3.2.3 Yağmur Suyu Miktar Hesabı ve Çatı Katsayısı 41
3.2.4 İçme ve Kullanma Suyuna İlişkin Mevzuat ve Standartlar 44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 46
4.1 D.Ü. Edebiyat Fakültesi Yağmur Suyu Arz Miktarı 46
4.2 D.Ü. Edebiyat Fakültesi Şebeke Suyu Talep Miktarı 47
4.3 Alternatif Sistemlerin Fayda Maliyet Analizi 48
4.3.1 Alternatif 1: Borulu Şebeke ile Depo İnşa Durumu 48
4.3.2 Alternatif 2: Izgaralı ve Kum Dolgulu Kanal Şebekesi ile Depo İnşa Durumu 52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 58
KAYNAKLAR 60
ÖZGEÇMİŞ 68

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Dünyadaki su dağılımı 4
Şekil 1.2 Su kütlelerinin yeryüzüne dağılımı homojen değildir 7
Şekil 1.3 Yıllık yağışların yeryüzüne dağılımı 8
Şekil 1.4 Dünyanın yıllara göre yağış grafiği 8
Şekil 1.5 Diyarbakır ili için uzun yıllar günlük ortalama yağış grafiği 9
Şekil 1.6 Dünya da su tüketimi ve nüfus artışı..... 10
Şekil 1.7 Dünya da su tüketiminin nüfusa oranı 10
Şekil 1.8 Dünya da su kullanımının sektörsel dağılımı 11
Şekil 2.1 Minos Yağmur suyu sarnıçlar ……16
Şekil 2.2 Şişe şeklindeki su sarnıcı üst kısmın ve bölümün çizimi restorasyon sonrası görünen kısmı..... 17
Şekil 2.3 İki odalı sarnıç..... 17
Şekil 2.4 Roma dönemi sarnıçları 17
Şekil 2.5 Bizans dönemi ve sonrası sarnıçları..... 18
Şekil 2.6 Osmanlı dönemi sarnıçları 18
Şekil 3.1 Diyarbakır İli ve Dicle Üniversitesi Konumu..... 39
Şekil 3.2 Diyarbakır'da Ortalama Aylık Yağış..... 40
Şekil 3.3 Yağmur suyu hesaplamasında kullanılan Denklem (3.1)'in akış şeması ... 41
Şekil 3.4 Yağmur suyu hesaplamasında kullanılan ve Kalıpcı vd.(2021) ile Üstün vd. (2020)'in önerdiği formülün akış şeması…….. 42
Şekil 4.1 Dicle Üniversitesi Edebiyat Fakültesi çatı görünüşü ve bina görünüşü… 46

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Akış katsayısı (RC) için tahminlerinin gözden geçirilmesi. 43
Tablo 4.1 Diyarbakır ili için uzun dönem ortalama günlük yağışlar ……47
Tablo 4.2 EPDK tarafından onaylanan ve uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler 50
Tablo 4.3 Betonarme depo maliyeti 51
Tablo 4.4 Boru ve kazı maliyeti 52
Tablo 4.5 Satış sonrası hizmetler yönetmeliği 52
Tablo 4.6 Alternatif 2 döküm ızgaralı kanal maliyeti 53
Tablo 4.7 Alternatif 2 kompozit ızgaralı kanal maliyeti 53
Tablo 4.8 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın kalıp inşaat birim fiyat analizi 54
Tablo 4.9 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın donatı inşaat birim fiyat analizi 54
Tablo 4.10 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın C25/30 beton inşaat birim fiyat analizi 55
Tablo 4.11 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yağmur borusu inşaat birim fiyat analizi 55
Tablo 4.12 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın kazı inşaat birim fiyat analizi 56
Tablo 4.13 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın C8/10 beton inşaat birim fiyat analizi 56
Tablo 4.14 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın kum filtrasyonu birim fiyat analizi 57
Tablo 4.15 Alternatif durumlar analizi 57

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
Q	Debi
H	Pompa Basma Yüksekliği
P	Pompa Gücü
ρ	Birim Hacmin Kütlesi
n_h	Hidrolik Verim
kWh	Kilowatt saat

Kısaltma	Açıklama
BCR	Fayda Maliyet Oranı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇŞİDB	Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DÜ	Dicle Üniversitesi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ICS	Uluslararası Standartlar Sınıflandırılması
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NPDWR	Ulusal Birincil İçme Suyu Düzenlemeleri
RCSM	Akış Katsayısı Duyarlılığı Modeli
RM	Rasyon Model
SWMM	Yağmur Suyu Yönetim Modeli
YSH	Yağmur Suyu Hasadı
YSHS	Yağmur Suyu Hasat Sistemi

ÖZET

YAĞMUR SUYU HASADININ FARKLI BİR YAKLAŞIM İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Börü, Songül

Yüksek Lisans, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Zeynel Fuat Toprak

Ağustos 2022, 83 sayfa

Geçmişten günümüze insanoğlunun en önemli ihtiyaçlarından biri su olmuştur. Dünya nüfusunun hızla artması suya olan taleplerin artmasını da beraberinde getirmektedir. Aynı zamanda nüfusla orantılı olarak artan kentleşme ve sanayi faaliyetleri suyun yeryüzündeki döngüsünü olumsuz yönde etkilemektedir. Atmosfere salınan sera gazlarının sonucunda ortaya çıkan ve gittikçe büyük bir tehlike arz eden küresel iklim değişikliği, sel, taşkın, kuraklık, orman yangınları vb. anormal hidrolojik ve diğer olayların olmasına neden olmaktadır. Küresel boyutta iklimde meydana gelen bu değişimin de en büyük olumsuz etkisi su kaynakları üzerinde olmaktadır. Gittikçe artan su kıtlığı/stresi problemine çözüm için tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yeni alternatif kaynakların arayışına gidilmektedir. Atık suların yeniden kullanımı, tuzdan arındırma, yağmur suyu hasadı vb. alternatif yöntemler üzerine güncel literatürde çok sayıda basılı çalışma mevcuttur. Geçmişi milattan önceki dönemlere kadar dayanan yağmursuyu hasat sistemleri zaman içerisinde gerekli ilgiyi kaybetmeye başlamış ve yeryüzünde müdahale edilmeden akışa geçen sulardan biri haline gelmiş olsa da günümüzde diğer alternatif kaynaklara oranla daha ucuz ve kolay elde edilebilir olmasından ötürü tekrar ilgi görmeye başlamıştır. Özellikle kurak ve su sıkıntısı çeken bölgelerde yağmur suyu hasadı daha da önem kazanmakta ve adeta bir zorunluluk haline gelmektedir. Eski zamanlarda farklı boyut ve geometride ve çoğunluğu doğal olan birbirinden farklı yapı malzemeleri ile inşa edilen sarnıçların yerini yapay depolama hacimleri almıştır. Yine önceleri daha çok içme ve kullanma amacıyla kullanılan sarnıç suları günümüzde sağlık endişesi ile bu amaçla kullanılmamaktadır. Daha çok sulama, sifon kullanımı, hayvancılık ve benzeri faaliyetler için kullanılmaktadır. Yine önceleri daha çok hidrolojik döngü içinde doğal ortamlardan toplanan yağmursuyu günümüzde, sızdırmaz özelliği olan çatı, yol, meydan ve benzeri yapay ortamlardan da hasat edilmeye başlanmıştır. Böylece sular, temiz (içme ve evsel kullanımda), gri (sifon, sulama vb.) ve kirli sular (daha çok sulama) olarak sınıflara ayrılmakta ve yerine göre kullanılmaktadır. Hasadı yapılan suyun farklı amaçlar için kullanımı su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltarak sürdürülebilirlik açısından da fayda sağlamaktadır. Yağmur suyu hasadı hakkında güncel literatür incelenerek yağış hidrolojisi, toplama alanının yağmur suyunu etkileme durumu, depolama olması halinde tankın optimum boyutlandırılması üzerine geniş bir araştırma yapılmış ve tespit edilen değişkenler bu çalışmada dikkate alınmıştır. Ayrıca Üniversitemiz Edebiyat Fakültesi Binası pilot bina olarak seçilerek örnek bir uygulaması yapılmıştır. Bununla birlikte yağmur suyu hasadı ile ilgili olarak mevcut literatürde önerilenlerden farklı olarak yeni bir sınıflandırma yapılmıştır.Tez toplam Altı bölümden oluşmaktadır. “Giriş” bölümünden sonra, daha önce yapılmış çalışmaların değerlendirilmesini ve bu çalışmaların sınıflandırılmasını da içeren geniş bir literatür çalışması “Kaynak Özetleri” başlığı altında sunulmuştur. Literatür araştırması, konunun tarihçesi verildikten sonra “Yağmursuyu Hasadı”, “Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri” ve “Yağmur Suyu Hasadının Hidrolojisi” alt başlıkları ile ayrı ayrı sunulmuştur. Tez kapsamında kullanılan yöntem/yöntemler, tüm detayları ile geniş bir şekilde üçüncü bölümde verilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışmadan elde edilen bulgular, sonuçlar paylaşılmıştır. Çalışmadan yapılan

çıkarımlar ise “Sonuç ve Öneriler” başlığı altında sunulmuş ve uygun görülen öneriler paylaşılmıştır. Son bölümde ise çalışma sırasında yararlanılan kaynakların listesi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yağmursuyu Hasadı, Çatı, Hidroloji, Gri Su

ABSTRACT

EVALUATION OF RAINWATER HARVESTING WITH A DIFFERENT APPROACH

Börü, Songül

Master of Science in Department of Hydraulic and Water Resources Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Zeynel Fuat Toprak

August 2022, 83 pages

From the past to present, one of the most important human needs beings has been water. The rapid increase in the world population brings with it an increase in the water demand. At the same time, increasing in urbanization and industrial activities, which are depends mostly on population, negatively affect the cycle of water on earth. With the global climate change, which is a result of greenhouse gases emitted into the atmosphere and which poses a great danger, leads the occurrence of anomaly hydrological and events (i.e. floods, droughts, forest fires, etc.). The biggest negative effect of this change in climate on a global scale is on water resources. For a solution to the ever-increasing water scarcity/stress problem, new alternative sources (i.e. wastewater re-uses, desalination, rainwater harvesting, etc.) are sought in our country as well as in the rest of the world. On the other hand, there are many published studies in the current literature on such alternative water supply methods. Although rainwater harvesting systems, those history dates back to BC, have begun to lose the necessary interest in time and have become one of the waters that flow without intervention on the earth, today it has started to attract attention again because it is cheaper and easier to obtain than other alternative sources. Especially in arid and water-scarce regions, rainwater harvesting becomes more important and almost a necessity. In ancient times, cisterns of different sizes and geometries and built with different building materials, mostly natural, were replaced by artificial storage volumes. Again, the cistern waters, which were used mostly for drinking and usage purposes, are not used for this purpose today due to health concerns. It is mostly used for irrigation, siphon use, animal husbandry and similar activities. Again, rainwater, which was collected from natural environments in the hydrological cycle, has now begun to be harvested from artificial environments such as roofs, roads, and squares, which have impermeable properties. Thus, water is classified as clean (used for drinking and domestic use), gray (used for siphon, irrigation, etc.), and dirty water (more used for irrigation) are used accordingly. It is seen that the use of harvested water for different purposes also provides benefits in terms of sustainability by reducing the pressure on water resources. A large investigation has been made on the literature and the works conducted on rainwater harvesting, precipitation hydrology, the impact of the collection area of rainwater and the optimum sizing of the tank in case of storage were reviewed. An application has been made on a faculty building of Dicle University. In addition, a new classification has been made regarding rainwater harvesting, different from the literature. The thesis consists of Six parts in total. Just after the “Introduction”, under the “Literature Review” title, an assessment and classification of previous published works performed on the subject are presented. In this part first, the history of the related studies is given and then the literature reviewed in detail under three sub-titles (ie. “rainwater harvesting”, “rain water harvesting systems, and the hydrology of rainwater harvesting”. The methodology is detailed in the Third part. The forth part includes

the finding and results. The thesis is concluded under “Conclusion and Suggestions” title. In the final part, the references cited in the works are listed.

Keywords: Rainwater harvesting, Roof, Hydrology, Grey Water

1. GİRİŞ

Su, tüm canlıların yaşamsal faaliyetleri için gerekli en önemli unsurlardan biridir. Su kaynakları, okyanuslar, denizler, göller, buzullar, nehirler, kar ve yağmur suları, yeraltı suları olarak sınıflandırılabilir. Bu su kaynaklarının çok az miktarı insanlar tarafından kullanılabilmektedir. Artan nüfus ve sanayileşme, çevre kirliliği, bilinçsiz tüketim, sulu tarım, küresel iklim değişikliği vb. sebeplerden mevcut su kaynakları yetersiz kalmaktadır. Öktem ve Aksoy (2014), son yüzyıl içinde dünya nüfusunun üç kat, suya talebin ise yedi kat arttığını belirtmektedir. Yazarlar ayrıca, iyi kalitede ve yeterli miktarda suyun var olması, ekosistemlerinin olduğu kadar, sürdürülebilir kalkınmanın ve gıda güvencesinin, kısacası insanlığın geleceğinin de esas koşulu olduğunu eklemektedir (Öktem ve Aksoy, 2014). Sanayileşmenin artmasıyla Karbondioksit (CO_2), Metan (CH_4), Azot Oksitleri (N_2O), Kloroflorokarbon (CFC), Karbon Monoksit (CO), Nitrioksit (NO) gibi sera etkisi olan gazların doğal oranlarının üstünde bir oranda atmosfere salım gerçekleşmektedir. Bu da küresel iklim değişikliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu durum da suyun döngüsünü engelleyerek kuraklık, su kıtlığı, taşkınlar ve seller, tarımsal verim kaybı, tarım ve turizm gelirlerinin düşmesi, orman yangınlarının artması ve biyolojik çeşitlilik kaybı şeklinde olaylara neden olmaktadır. Tatlı su kaynaklarının büyük bir oranı tarım sulamasında kullanılmaktadır. Bu nedenle sulu tarım büyük bir su tüketicisi olmuştur (Fereres ve Evans, 2006). Dünyada ve ülkemizde gelecekte yaşanabilecek su sorununu önlemek için suyun depolanması ve dönüştürülmesi, deniz suyunun filtrelenmesi, yağmur suyu hasadı, gibi alternatif su kaynakları araştırılmaya başlanmıştır.

Yeni bir teknoloji olmayıp ancak sürdürülebilir kentsel tasarıma sahip olan yağmur suyu hasadı son zamanlarda çok fazla ilgi görmektedir (Devkota vd., 2015). Yağmursuyu hasadı, yeryüzüne gelen yağışın akmasını engelleyerek suyun kullanım için bir yerde depolanması ve biriktirilmesi ile sağlanır. Stahn ve Tomini, 2016'ye göre, yağmur suyunu toplamanın su arzını arttırmak için sadece araç olarak değil, aynı zamanda sosyal açıdan elverişli bir yöntem olduğunun altı çizilmektedir. Bunun yanı sıra yağmur suyu toplamanın yüzey akış hızının yüksek olması durumunda çevresel olarak verim elde edileceği de vurgulanmaktadır (Stahn ve Tomini, 2016). Bu durum gerçekleşirken yağışın doğada su çevrimi elemanı olduğundan kullanım için gerekli olan miktarının depolanması gerektiği gerçeği göz ardı edilmemelidir. Hari vd.

(2018), yağmur suyu hasadının su kıtlığıyla baş edebilmek için iyi bir alternatif olduğuna ancak yer altı su seviyelerini endişe verici bir şekilde azaltmasına rağmen bu sorunun çözümü olarak da yer altı sularının besleme teknikleriyle aşılabileceğini vurgulamaktadır. Yağmur suyu hasadı özellikle yağış miktarı çok düşük olan ülkelerde su kıtlığı sorununun azaltılmasında yerleşim alanlarında oluşturulan suni su toplama sistemleri ile yağmur suyunun toplanarak kullanılması yönünde kayda değer ölçüde katkı sağlayan bir uygulamadır (Dadhich ve Mathur, 2016). Yağmur suyu hasadı diğer su kaynağı alternatiflerine oranla genellikle daha ucuz sayılır, kurulumu bakımı ve çalıştırılması daha basit ve daha çevre dostudur (Ndiritu vd., 2018). Zeminden veya bina çatılarından toplanacak olan yağmur suları bina yıkamaları, ev temizliği, sulama, tuvalet sifonları, araç yıkamada, yangın söndürülmesinde, çamaşır yıkamada, havuz veya gölet doldurmada kullanılabilir. Çok sayıda konut kolonisi ve ticari kompleksin ortaya çıktığı kentsel alanlar için, çatıdan yağmur suyu hasadı, yerel su ihtiyaçlarını kendi kendine sürdürülebilir bir şekilde karşılamak için ve su kaynaklarını geliştirmek için tek uygulanabilir çözüm olarak görülmüştür (Manikandan vd., 2011).

Yağmur suyu hasadının üzerine yapılan literatür incelemesinde, konuya ilişkin çok sayıda çalışma olduğu ve yağış özelikleri ve diğer meteorolojik bileşenlerin yağmur suyu hasadı üzerinde etkili olduğu ve yağmur suyu hasadının ise yer altı suyu başta olmak üzere hidrolojik sistem üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca güncel literatürde doğrudan yağmursuyu hasadı sistem tasarımı için de farklı yöntemler önerilmiştir (Basinger vd., 2010; A Fewkes, 2000; Y. Guo ve Baetz, 2007). Yağmur suyu hasadına yönelik olarak en yaygın kullanılan yöntemlerin başında su dengesi ve süreklilik denklemi ile ifadesini bulan kütlenin korunumu kanunu gelmektedir. Bunun yanında, depolama hacmin belirlenmesi, iletim sistemlerinin tasarımı veya simülasyonu ve benzeri eklentiler ile konuya ilişkin çalışmaların detaylandırıldığı görülmektedir. (A Fewkes ve Butler, 2000; Liaw ve Tsai, 2004; Palla vd., 2011).

Aşağıda, konunun önemi ve kapsamı farklı alt başlıklarla detaylı bir şekilde verilmiştir. Birinci alt başlıkta su hasadından kasıttın ne olduğu anlatılmış bir bakıma konu tanımlanmıştır. Sonraki alt başlıkta ise yağmur suyu hasadına neden ihtiyaç duyulduğu beş alt başlıkta belirtilmiştir.

Bu başlık altında, daha çok yağmur suyu hasadına olumlu bakan araştırmacıların çalışmaları irdelenmiştir. Ancak yağmur suyu hasadı ekolojik dengede ve su döngüsünde bir süreksizliğe neden olmaktadır. Bu da sadece su dengesini değil tüm

ekolojik dengeyi de bozmaktadır. O halde yağmur suyu hasadını önceleyen veya bu faaliyetin lehine olan bu çalışma neden yapıldı? Yağmursuyu hasadı tarafımızdan yeni bir su kaynağı keşif etmek olarak değil, zorunlu hallerde başvurulabilecek bir su temin yöntemlerinden biri olarak görülmektedir. Bu çalışmanın amacı bitmiş ve halihazır kullanımda olan bir binanın çatısından yağmursuyu hasadı sistemlerini, olabilirliğini (fizibilitesini) ve çevresel etkilerini güncel literatür ışığında ve örnek bir bina üzerinde araştırmak ve uygulamaktır. Aynı zamanda yağmur suyu hasadının zannedildiği ve akademik çalışmalarda iddia edildiği gibi yeni ve çok parlak bir düşünüş tarzı olmadığı ve gerçekten ihtiyaç olmadığı takdirde başvurulmaması gerektiği, hatta tıpkı kar ve buzul suları gibi en son başvurulacak bir su kaynağı olduğu söylenebilir.

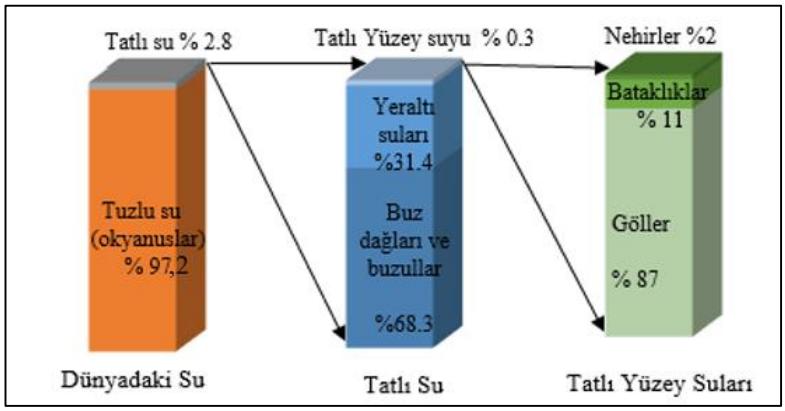
1.1 Yağmur Suyu Hasadı Nedir?

Güncel literatürde bize göre en iyi tanımlamayı Oweis vd. (2001) yapmıştır. Yazar, su hasadı yöntemlerini genel olarak kullanım veya depolama türüne göre sınıflandırmaktadır. Fakat yazarın ifadesine göre yaygın bir şekilde kullanılan sınıflandırma havza büyüklüğüne dayanmaktadır. Bunlardan biri mikro havza sistemleri olup çoğunlukla kısa mesafe boyunca yüzey akışının küçük bir toplama alanında toplandığı tabaka akışı sistemlerdir. Bir diğeri makro havzalar ve sel suyu sistemleri nispeten büyük bir havzadan toplanan akış suyuna sahip olmaları ile sınıflandırılmıştır. Bunun dışında literatürde teknik terim olarak yağmur suyu hasadının bize göre uygun bir tanımlamasına rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında farklı bir yaklaşımla yağmur suyu hasadı iki ana sınıfta değerlendirilmiş ve ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bunlardan birincisi "hidrolojik yağmur suyu hasadı" diğeri ise burada ilk kez bir kavram olarak verilen "habitat yağmur suyu hasadı" olarak verilebilir. Türk Dil Kurumu'nun güncel sözlüğünde "Habitat" kelimesinin iki anlamı mevcuttur (TDK, 2022). Bunlardan birincisi*;* "yerleşme, oturma", ikincisi ise "bitkinin doğal olarak yetiştiği yer, yurt" şeklindedir ve ikisinde de isim olarak verilmektedir. Burada birinci anlamı esas alınarak böyle bir kavram veya tanımlama geliştirilmiştir. Hidrolojik hasat kırsal alanlarda düşen yağışların derive edilerek doğal su kaynaklarına verilmesi veya kolektörler aracılığıyla toplanması ve gerektiğinde ihtiyaç yerlerine iletilmesi şeklinde hasat edilen yağmur suyu olarak ifade edilebilir. Yerleşim alanlarındaki yağmur suyu hasadını ise sistemsel olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Bunlardan birincisi yağmur suyu drenaj sistemi aracılığıyla toplanan

yağmur suları olarak ifade edilebilir. İkincisi ise evsel hasat olup daha çok bina, müstakil ev vs. çatılarından yapılan hasattır. Bunun yanı sıra geçmişte kar şeklindeki yağışlar da dâhil olmak üzere yağış sularının sarnıçlarda toplanması şeklinde su hasadı yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında bu tür bir hasat hem hidrolojik yağmur suyu hasadı hem de habitat yağmur suyu hasat olarak değerlendirilebilir.

1.2 Neden Yağmur Suyu Hasadı?

Su, yaşamın tüm evrelerini etkileyen bir maddedir. Toplam su miktarı yeryüzünde sabit olup kapalı bir sistem içinde döngü halindedir. Su kaynakları, insan faaliyetleri için kolayca temin edilebilen su kütleleri olarak ifade edilebilir. Yerkürenin üçte ikisinin sularla kaplı olmasına rağmen tatlı su kaynakları toplam suyun yaklaşık olarak % 2,8'dir. Tatlı suyun % 68,3'ü buzul, % 31,4'ü ise yer altı suyudur. Tatlı suyun geri kalan %3'ünün büyük bir kısmı göllerde (% 87), bir kısmı ise (%11) bataklıklarda yer almaktadır. Geri kalan tatlı suyun ancak %2'si nehirlerde akmaktadır (Aytek ve Toprak, 2001). Kısaca, kolayca kullanılabilir tatlı su dünyadaki toplam suyun ancak 100.000'de 60'ıdır. Suyun yeryüzüne dağılımı temsili olarak Şekil 1.1'de grafik şeklinde ayrıca verilmiştir. Su kaynakları; yeraltı suları ve yüzey suları olarak iki gruba ayrılabilir. "Yüzey suları" dünya üzerinde var olan göller, akarsular, okyanuslar, kar ve buzul sularının genel adıdır. "Yeraltı Suları" ise yeryüzündeki suların bir kısmının geçirimli tabakalardan veya çatlaklardan yer altına sızan ve geçirimsiz tabakaya denk gelerek akifer oluşturan sulardır.



Şekil 1.1 Dünyadaki su dağılımı

Su kaynakları; hızlı nüfus artışı, iklim şartlarındaki değişim, artan sanayi ve tarımsal faaliyetlere bağlı olarak son yıllarda ihtiyacı karşılayamayacak duruma gelmiştir. Suya talepteki artış insanları doğal su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için alternatif su kaynakları arayışına yöneltmiştir. Alternatif su ihtiyaçlarında kullanılmak üzere

yağmur suyunun toplanması su tasarrufu, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirlik açısından büyük öneme sahiptir (Kılıç ve Abuş, 2018). Ayrıca yağmur suyu hasadı diğer su kaynağı alternatiflerine oranla daha çevre dostu; kurulumu, bakımı ve işletilmesi daha ucuz görülmektedir (Ndiritu vd., 2018). Bu araştırmacılardan farklı olarak belirtmek gerekirse yukarıda da ifade edildiği üzere yağmur suyu hasadı doğaya bir müdahale olduğu ve zorunlu olmadıkça hasadın yapılmaması gerektiği kanaatindeyiz. Özellikle hidrolojik yağmur suyu hasadından kaçınılması gerektiği söylenebilir. Çok iyi bilindiği üzere kütlenin korunumu kanunu gereği döngü içinde bulunan su miktarında bir artış veya azalış olmamaktadır (meteorlar aracılığıyla yeryüzüne indiği söylenen su hariç). Döngü halinde bulunan suyun bir kısmı atmosferde buhar halinde bir kısmı toprak bünyesinde (derin ve sığ yeraltı suları) bir kısmı yüzey sularda (akarsu, göl ve bataklık vb.) bir kısmı ise buzul ve kar, bir kısmı ise canlı bünyesinde yer almaktadır. Toplam su miktarı sabit kabul edilirse belirtilen ortamlardaki su miktarı değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla yağmur suyunun hasadı yapılmadığı takdirde doğal yollarla yağışların bir kısmı buharlaşacak bir kısmı yer altına inecek bir kısmı ise yüzey akışlarıyla doğal su kütlelerine ulaşacaktır. Yağmur suyu hasadı ile bu doğal döngü bir bakıma baypas edilmektedir. Bu yüzden tıpkı kar-buzul ve yeraltı suları gibi zorunlu olmadıkça yağmur suyunun da doğrudan (yağmur suyu hasadı) kullanılmaması gerekir. Bununla birlikte gittikçe kişi başı su ihtiyacında ve toplam su ihtiyacında artış olmaktadır. Dolayısıyla günümüzde yağmur suyu hasadı popüler bir konu haline gelmiştir. Su kaynaklarının tüketimindeki artışa sebep olan belli başlı konular alt başlıklar şeklinde aşağıda incelenmiştir.

1.2.1 Su kaynaklarının sınırlı olması ve yeryüzünde konumsal ve zamansal dağılımının homojen olmaması

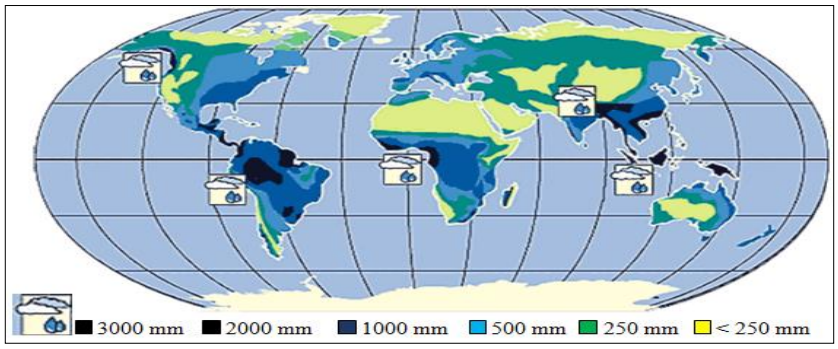
Doğada zamana ve konuma bağımlı su kaynakları nicelik ve nitelik olarak kısıtlıdır. Bunun yanında yaşam standardını ve ekonomik yapıyı direkt etkileyen çok önemli bir unsur olarak görülmesi, kaynak kullanımına yönelik talebi sürekli olarak arttırmaktadır (Teonıan Meriç, 2004). Şekil 1.2 de verilen dünya fiziki haritasında görüldüğü üzere su kaynakları (göller, akarsular vb.) konumsal açıdan homojen dağılmamış olup kimi bölgelerde su kaynakları sayıca fazla olurken kimi bölgelerde az sayıda bulunmaktadır.

Yağışın konumsal dağılımı su kaynaklarının gelecekteki durumu hakkında yararlı bilgiler vermektedir. Mekânsal olarak dağılışını gösteren Şekil 1.3 de aynı kıta üzerinde farklı bölgelerde yağış değerleri değişim göstermektedir. Bazı bölgelere yılda 3000 mm yağış düşerken bazı bölgelerde 250 mm olarak dengesiz bir dağılım söz konusudur.

Çelik ve Toprak (2016), "yağışların yıl içerisindeki zamansal dağılışında fazla yağışlı mevsimler ile kurak geçen mevsimler arasındaki fark su kaynakları yönetimi için önem taşımaktadır" demektedir. Suya en çok ihtiyaç duyulan kurak mevsimlerde yağışlar az olurken suya gereksinimin en az düzeyde olduğu yağışlı mevsimlerde ise su miktarı fazladır. Şekil 1.4, 1901-2019 yılları arasında dünya yağış anomalisini göstermektedir. Şekilden kolayca anlaşılacağı üzere yeryüzüne düşen yağış miktarının dağılımı homojen değildir.

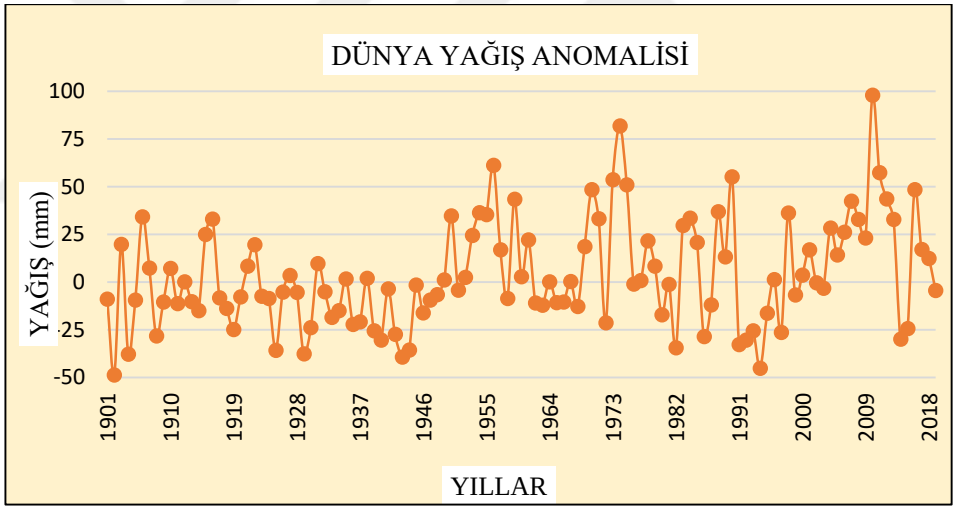


Şekil 1.2 Su kütlelerinin yeryüzüne dağılımı homojen değildir (Okulstore.com, 2022)

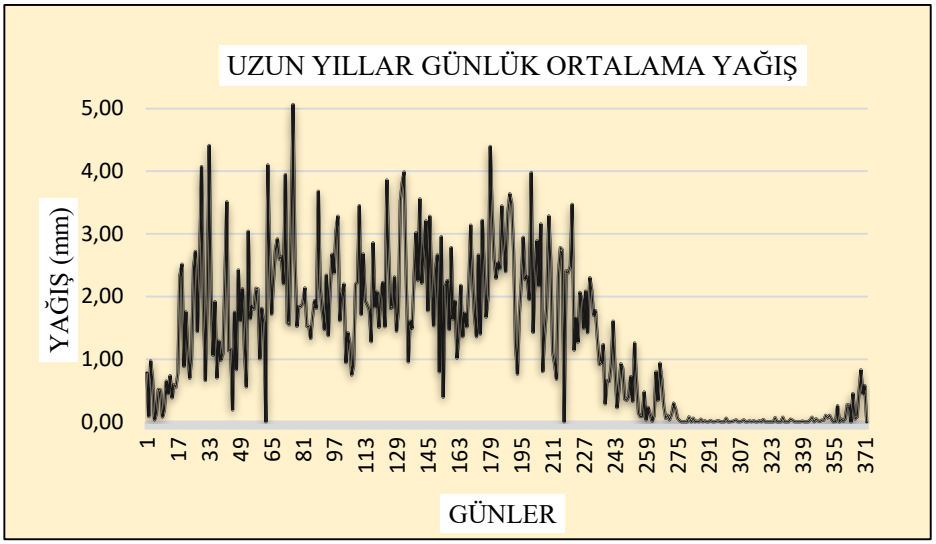


Şekil 1.3 Yıllık yağışların yeryüzüne dağılımı (USGS)

Teyiden Şekil 1.5'te Diyarbakır ilinin uzun dönem günlük yağış ortalamaları verilmiştir. Tıpkı Diyarbakır ilinde olduğu gibi farklı iklim kuşakları veya bölgelerde de yağışlar yıl içinde zamansal bir değişim göstermektedir. Daha geniş bir ifade ile yağışlar yeryüzünde sadece konumsal olarak değil aynı zamanda zamansal bir değişim de göstermektedir, yani homojen dağılmamaktadır.



Şekil 1.4 Dünyanın yıllara göre yağış grafiği (United States Environmental Protection Agency EPA, 2019)



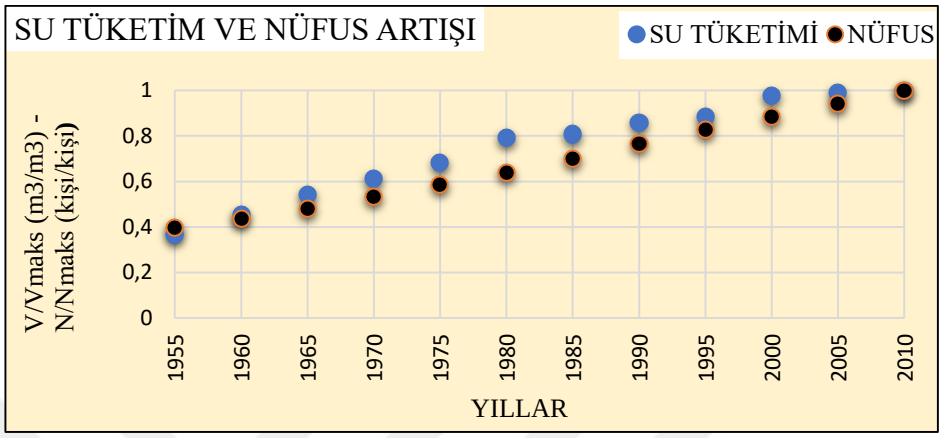
Şekil 1.5 Diyarbakır ili için uzun yıllar günlük ortalama yağış grafiği

Sert kara iklimine sahip Diyarbakır ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) elde edilen 1970-2020 yılları arasındaki günlük yağış verileri ile Şekil 1.5'te verilen uzun yılların günlük ortalama yağış grafiği oluşturulmuştur. Su yılı başlangıç tarihi kabul edilen grafikten yağışların en fazla bahar ve kış aylarında düştüğü 273. günden sonra ise yağışın sıfıra yakın değerlerde kaldığı ve tekrar bahar aylarında yağışın fazlalaştığı görülmektedir. Yaz mevsimimin kurak ve sıcak geçtiği bölgelerinde benzer seyir göstereceği farklı iklim bölgelerinde ise tam tersi şekilde bir dağılım göstereceğini tahmin etmek güç değildir. Bu durum yağışların zamansal olarak homojen dağılmadığını göstermektedir.

1.2.2 Artan nüfusa bağlı olarak içme ve kullanma suyu ihtiyacının artması

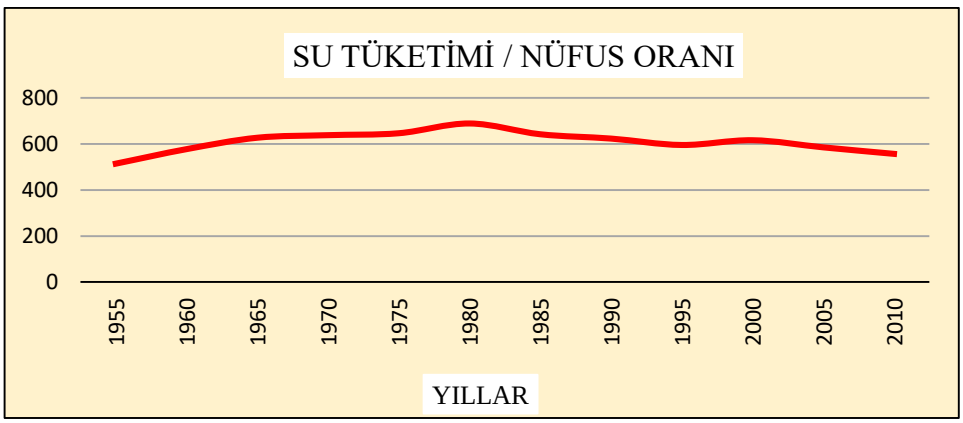
İçme suyu ihtiyacı diğer alanlara göre (tarım, sanayi vb.) daha az olmasına rağmen en çok tartışılan konulardan biri olmuştur. Dünyada yaşayan nüfusun gittikçe arttığı ve bu artışın büyük bir sorun olacağı öngörülmektedir. Tzanakakis vd. (2020), gelecek 30 yıl içerisinde nüfusun 9 milyarı geçeceği ve bu büyümenin büyük bir kısmının ise gelişmiş ülkelerde meydana geleceğini vurgulamaktadır. Bu durumda yerkürede mevcut olan tatlı su kaynaklarında bir artış olamadığı, homojen dağılamadığı gerçeğine dayanarak bu kentsel alanların su stresiyle karşı karşıya geleceği söylenebilir (Tzanakakis vd., 2020). Şekil 1.6'da verilen grafik dünya su tüketimi ve nüfus grafiğini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. İki değişkenin de yıllara göre değişimini bir arada görebilmek için değerleri, maksimumlarına bölünerek 0 ile 1 arasına getirilmiştir.

Buna göre 1955 yılında nüfusun su tüketim oranından fazla olduğu 1955-1960 yılları arasında nüfus ve su tüketiminin başa baş bir seyir izlediği ancak 1965-2010 yılları arasında dünya nüfusunun artışıyla beraber su tüketimindeki artışın daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 1.6 Dünya da su tüketimi ve nüfus artışı (Verilerin Kaynağı:Ritchie ve Roser, 2018)

Dünya su tüketim ve nüfus artış grafiğinden elde edilen Şekil 1.7'deki su tüketiminin nüfusa oranı grafiğinde bir dalgalanmanın söz konusu olduğu anlaşılmaktadır. 1955-1975 yılları arasında bu oranda artışın olduğu 1980 yılında pik yaşandığı görülmektedir. 1980 yılı için Şekil 1.6 incelendiğinde su tüketimi ve nüfus arasındaki farkın diğer yıllara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir ve bu sebeple bir pik yaşanmıştır. 1980 yılında su tüketimindeki bu artışın gerçekleşen üçüncü sanayi devrimi ile alakalı olduğu hem bilişimin gelişip sanayiye girmesiyle seri üretimlerin gerçekleşmesi hem de sanayi ülkelerinin sayısının artmasına bağlı olarak su tüketiminin de arttığı şeklinde yorumlanabilir.

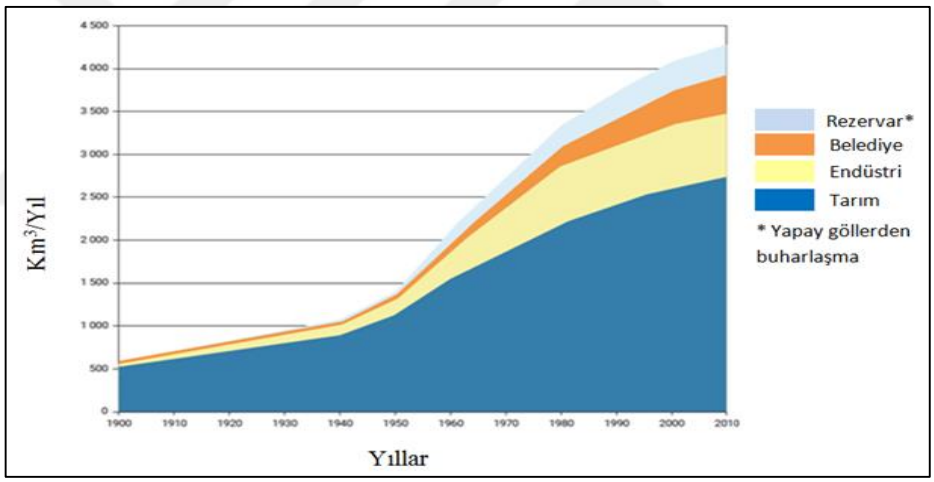


Şekil 1.7 Dünya da su tüketiminin nüfusa oranı (Verilerin Kaynağı:Worldometer, 2022)

1985-2010 yılları arasında ise su tüketim miktarı ile nüfusun arasındaki farkın az olduğundan grafikte ki veriler birbirine yakın değerlerde dalgalanmalar göstermektedir.

1.2.3 Artan nüfusa bağlı olarak tarımsal sulama suyu ihtiyacının artması

Geçmişi binlerce yıl öncesine dayanan tarım insanlığın toplu yaşama geçmesinde ve devletlerin oluşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Faydalı, hatta zorunlu olan ürünlerin yetiştirildiği arazi ile bu ürünlerin sulamasında kullanılan su kaynakları tarımın iki olmazsa olmazıdır. Özkay vd. (2008)'a göre sulamanın kurak ve yarı-kurak bölgelerde hem tarımsal üretimi arttırma hem de güvence altına almada temel ve vazgeçilmez bir faktördür. Tarımsal anlamda ve insan hayatında sulama ve drenaj projeleri büyük öneme sahiptir. Yazarlar, bu projelerin olumlu etkilerinin yanında, olumsuz çevresel etkilerinin de bulunduğunu ifade etmektedir.



Şekil 1.8 Dünya da su kullanımının sektörsel dağılımı (Loudière ve Gourbesville, 2020)

Değişen iklim koşulları ile beraberinde artan nüfus dünyada ki tatlı su rezervlerinin yetersiz kalacağı düşünülerekten tarımın su kaynakları üzerindeki hâkimiyetini de koruyamayacağı öngörülmektedir. Şekil 1.8'den 1900 yılından itibaren suyun en fazla kullanıldığı sektörün tarım olduğu görülmektedir. 1950 yıllarına gelindiğinde tüm sektörlerde su tüketiminde artış olmasına rağmen günümüze kadar en fazla tüketimin hala tarım sektöründe olduğu görülmektedir. Dişbudak (2008), tarım faaliyetlerinde yoğun yapılan sulamanın sürdürülebilir olmayan su kullanımına neden olduğunu iddia etmektedir. Sulu tarımda suyun aşırı ve yanlış kullanımı, toprağın doygunluk derecesini yükseltmekte ve tuzluluğa neden olmaktadır. Diğer taraftan, yüzey suların

yetersiz kalmasına ve buna bağlı olarak yeraltı sularının aşırı tüketilmesine neden olmaktadır. Böylece hatalı ve gereğinden fazla su tüketimi;

1) Kullanıcıların su sıkıntısı çekmesi,
2) Sulama sonucu geri dönen suların yüzeysel akış ile doğal su kaynaklarına karışmasına, böylece su kaynaklarının kirlenmesi,
3) Canlı hayatını tehdit eden obruk ve benzeri oluşumların meydana gelmesi,
4) Yer altı su seviyesinin aşırı düşmesi (yeni sezon suyun eski su seviyesi ile birleşmemesi) nedeniyle bitkinin ihtiyaç duyduğu nemi yeterince bulamamasına gibi olumsuz çevresel sonuçları doğurduğu söylenebilir.

Doğal kaynakların korunması, çevreye verilen zararın azaltılması ve tarımsal yapının oluşturulması için sürdürülebilir tarıma yönelim son zamanlarda ilgi görmeye başlamıştır. Bu durumlar neticesinde gelecek nesilleri tehlikeye atmadan ihtiyaçlarını karşılayan bir toplum yaratmak açısından sürdürülebilir tarım son derece önemli bir kavramdır (Turhan, 2005).

1.2.4 Sanayi ve teknolojideki ilerlemeye bağlı olarak sanayi suyu ihtiyacının artması

Tarım toplumundan sanayi toplumuna geçiş 18. yy ikinci yarısından itibaren sanayi faaliyetleriyle başlamıştır. Sanayi devrimi öncesi üretim ev aletleriyle kas gücüne dayalıyken sanayileşmenin başlamasıyla üretim makinelerle ev dışı fabrikalarda yapılmaya başladı (Günay, 2002). Teknolojinin gelişmesi insana birçok yönde fayda sağlamış olsa da çevre kirliliği, doğal kaynakların tüketilmesi, teknolojik işsizlik gibi birçok probleme de sebep olmuştur (Günay ve Arıduru, 2001). Son yıllardaki hızlı sanayileşme küresel boyutta şiddetli su kıtlığına ve kirliliğine neden olmaktadır (Lyu vd., 2021). Zaman içerisinde tarımsal etkinliklerin azalmaya başlayıp sanayi faaliyetlerin gelişmesi ile nüfus kentlerde yoğunlaşmaya başlamıştır. Kentlerde yaşanan bu nüfus artışı su kaynaklarının aşırı tüketimi ve kirliliğini ortaya çıkaran en önemli problemlerden biri olmuştur (Ulusoy ve Vural, 2001). Teknolojinin gelişmesi ve sanayileşmenin artmasıyla suyun önemi daha da artmıştır. Endüstriyel su kullanımı ürünün hem içerisinde hem de ürünü işlemek, yıkamak, soğutmak vb. üretim aşamalarında büyük oranda harcanmaktadır. Sanayide kullanılan suyun çoğunluğunun atık su olarak su kaynağına geri verilmesi de tatlı su kaynaklarını olumsuz etkilemektedir. Şekil 1.8'de verilen grafikte dünyada 1950'li yıllara kadar sanayide su tüketim miktarının düşük olduğu görülmektedir. Ancak 1950- 1980 yılları arasında su

tüketiminde ciddi bir ivme kazandığı fark edilmektedir. Davutoğlu (2020), ikinci dünya savaşından sonra başlayan ve 1970'li yıllardan sonra hız kazanan bilişim teknolojisi olarak da adlandırılan üçüncü sanayi devrimine girildiğini iddia etmektedir. Yazar devamında, bu devrim ile üretimde süper bilgisayarların kullanıldığını, yeni nesil robotların üretildiğini ve tek tuş ile büyük üretimler gerçekleştirildiğini, böylece hem ucuz hem de üretim verimliliğinin arttığını belirtmektedir. Bu durum, sanayide gerçekleşen 3. devrim ile su tüketimindeki artışının arasında bir paralelliğin olduğu şeklinde yorumlanabilir.

1.2.5 Küresel iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkileri

İklim, yerkürenin herhangi bir yerinde uzun seneler boyunca yaşanan veya gözlenen tüm hava şartlarının ortalama özellikleri olmasının ve ayrıca hava koşullarının oluşma sıklıklarının zamansal dağılımını, gözlemlenen uç değerlerin, mevcut değişkenlik çeşitlerinin birleşimi olarak tanımlanmaktadır (Türkeş, 2000). İklim değişikliği ise "iklim değişkenlerinde onlarca ya da daha uzun yıllar boyunca süren ve istatistiksel olarak anlamlı olacak sapmalardır." Toprak (2016), uzun ve kısa süreli durumlar için sera gazlarının salımı yerel ve/veya küresel ölçekte atmosfer, meteorolojik ve iklim koşullarında uzun süreli değişikliklere yol açabildiğini ve bunun da küresel iklim değişikliği olarak adlandırıldığını söylemektedir. Küresel boyutta gittikçe artan iklim değişikliğinin sera etkisine sebep olan gazların atmosferdeki miktarının artışıyla, dünyadaki nüfusun çarpıcı bir şekilde artması ve sanayileşme süreciyle fosil yakıtların tüketimindeki artış birlikte değerlendirilmiş ve bu değişimlerin insan etkisiyle meydana gelebileceği ortaya konmuştur (Batan ve Toprak, 2020). İklim değişikliğinin etkileri olarak da sıcaklıktaki artış ile birlikte su kaynaklarında azalma, kuraklık, seller, okyanus ve deniz suyu seviyelerinde artış, buzulların erimesi ve şiddetli kasırgalar vb. olaylar görülmektedir. İklim değişikliğinin en önemli etkisi Dünya da gerçekleşen su döngüsü üzerinde olmaktadır. Atmosferdeki su buharını arttırdığı için mevcut suyun tahmin edilmesini güç hale getiren iklim değişikliği, bazı bölgelerde yaz aylarında şiddetli kuraklıkla karşılaşabilmekte, bazı bölgelerde ise daha yoğun yağışlara sebep olabilmektedir (Santos vd., 2020). İklim değişikliğinin tatlı su kaynaklarının üzerindeki etkileri, sürdürülebilir bir ekonomik kalkınmayı, yoksulluğu hafifletme girişimlerini, gıda üretimini ve ekosistemlerin sağlığını tehlikeye atmaktadır (Kahinda vd., 2010). Küresel bir problem haline gelen iklim değişikliği tüm varlıkları olumsuz etkilediğinden ekonomiden sağlığa enerjiden tarıma tüm sektörleri yakından

ilgilendirmektedir (Kınık ve Toprak, 2016). Artan sıcaklıklara bağlı olarak çevre bağlamında yeterli su teminini sağlamak için su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde iklim değişikliği konularının dikkate alınması gerekmektedir. Bu durumda yağmur suyu hasadı, gelecek süreçlerde iklim değişikliği ile başa çıkmak için su sektörünün yüklenmesi gereken özel uyum stratejilerinden biri olarak sıralanmaktadır (Pandey vd., 2003). Ancak Boelee vd. (2013), iklim değişikliğine uyum için gerçekleştirilecek olan su hasadı ve depolama sistemlerinin telaşıyla insanların sağlık problemlerini artırmamaya özen gösterilmesi gerektiği vurgu yapmaktadır. Zaman içerisinde iklim değişikliğinin, yağmursuyu hasat sistemlerini de olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. İklim değişikliği özellikle gelişmekte olan ülkeler için yağmur suyu toplama sistemlerinden su güvenliği ve su tasarrufunu olumsuz etkileyebilir (Kisakye ve Van der Bruggen, 2018). Çünkü YSH sistemlerinin ana etmeni olan yağış miktarındaki düzensizlikler sistemin en pahalı parçası olan depolama tankını doğrudan etkilemekteydi. Lo ve Koralegedara (2015), iklim değişikliğinin YSH sistemleri üzerindeki etkileri kaçınılmaz olup bu etkileri azaltmak için sistem tasarımının ilk aşamasına gerekli aşamalar eklenmesi gerektiğini dile getirmektedir. Yukarıda iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerinden kısaca bahsedilmiş olup literatürde yayınlanmış olan iklim değişikliğinin yağmur suyu hasadı sistemlerinde var olan su depolamasını nasıl etkileyebileceği, nasıl hesaba katılacağı ve yeni su depolama planlanması, güvenilirliği üzerine yapılan birkaç çalışma (Aladenola vd., 2016; Haque vd., 2016; Imteaz ve Moniruzzaman, 2020; Kisakye vd., 2018; Musayev vd., 2018; Zhang vd., 2019) örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada yağmur suyu hasadı ile ilgili olarak

1. Literatürde henüz olmayan yeni bir sınıflandırma yapılmıştır.
2. Yağmur suyu hasadına neden ihtiyaç duyulduğu farklı bir bakış açısıyla açıklanmıştır.
3. Yağmur suyu hasadının zannedildiği ve akademik çalışmalarda iddia edildiği gibi yeni ve çok parlak bir düşünüş tarzı olmadığı ve gerçekten ihtiyaç olmadığı takdirde başvurulmaması gerektiği üzerinde durulmuş, hatta tıpkı kar ve buzul suları gibi en son başvurulacak bir su kaynağı olduğu vurgulanmıştır.

4. Yukarıda yapılan sınıflandırma çerçevesinde burada sadece habitat yağmur suyu hasadı konu edilmiş ve ikiye ayrılan bu sınıftan da bina çatılarından yapılan hasat üzerinde durulmuştur.
5. Bitmiş ve hâlihazırda kullanılan bir bina pilot bina olarak seçilmiş ve uygulaması yapılmıştır.
6. Güncel literatürden ulaşılan çalışmalarda önerilenlerden farklı olarak yatay kolektörler (toplayıcılar) olarak açık kanal seçilmiştir.
7. Yine güncel literatürden ulaşılan çalışmalarda önerilenlerden farklı olarak açık kanal kum doldurularak özellikle fiziki/katı ve yüzen maddelere karşı filtreleme yapıldıktan sonra sisteme verilmesi önerilmiştir.
8. Hem depolu hem de deposuz olarak ekonomik yapılabilirliği (ekonomik fizibilite) hesaplanmıştır.
9. Fizibilite çalışmasında, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği kurumunun mal ve hizmet bedelleri fiyatları esas alınmıştır. Burada bulunmayan bazı mal ve hizmet bedelleri, piyasa araştırması yapılarak güncel ve gerçekçi fiyatlar esas alınmıştır. Ülkemizdeki ekonomik kriz de dikkate alınmış ve adı geçen kurumun krizden önceki birim fiyatları piyasa araştırması yapılarak karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

"Yağmur Suyu Hasadının Farklı Bir Yaklaşım ile Değerlendirilmesi " konulu bu tez kapsamında, ulaşılabilen tüm güncel literatür incelenmiş ve bu literatür desteği ile konunun, tarihi seyri, sosyal, ekonomik, hidrolojik ve çevre/ekosistemler açısından güçlü bir teorik altyapısı oluşturulmuş ve sunulmuştur. Diğer taraftan, örnek bir uygulaması verilmiştir. Bu ana başlık altında, konunun tarihi seyri kısaca sunulduktan sonra güncel literatür, "Yağmursuyu Hasadı", "Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri" ve "Yağmur Suyu Hasadının Hidrolojisi" alt başlıkları altında ayrı ayrı tartışılmıştır.

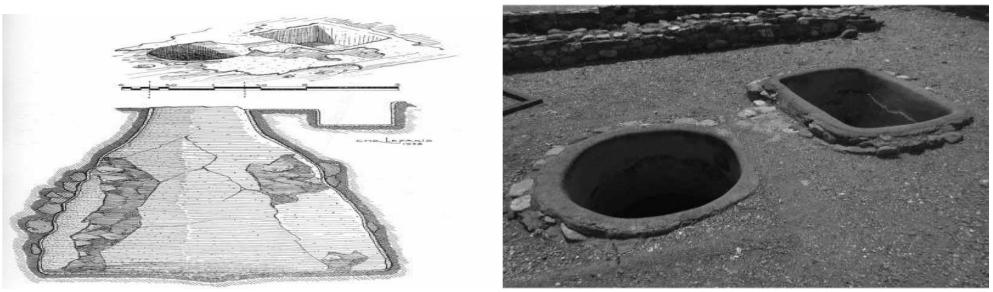
2.1 Konunun Tarihçesi

Yağmur suyu hasadının tarihi millattan önceki dönemlere dayanmaktadır. Konunun tarihçesi detaylı bir şekilde Yannopoulos vd. (2017)'de verilmiştir. Yannopoulos vd. (2017) konunun tarihçesine dair şunu söylemektedir: "Minos zamanlarında sarnıçlar ile su temini sistemleri, su güvenliği, sürdürülebilir, çevre dostu, düşük maliyetli birer su kaynakları yönetim uygulamalarıydı. Kurak geçen yaz aylarında kullanılmak üzere yağışlı sezonlarda yağış suyu hasadı açık yüzeylerden (bina çatıları, avlular) gerçekleştirilirdi. Sarnıçta suyu toplamak için büyük taş borular veya pişmiş toprak boruları kullanılmıştır". Yağış toplama ve depolama ile ilgili olarak o döneme ait iki örnek hidrolik yapı Şekil 2.1'de verilmiştir.

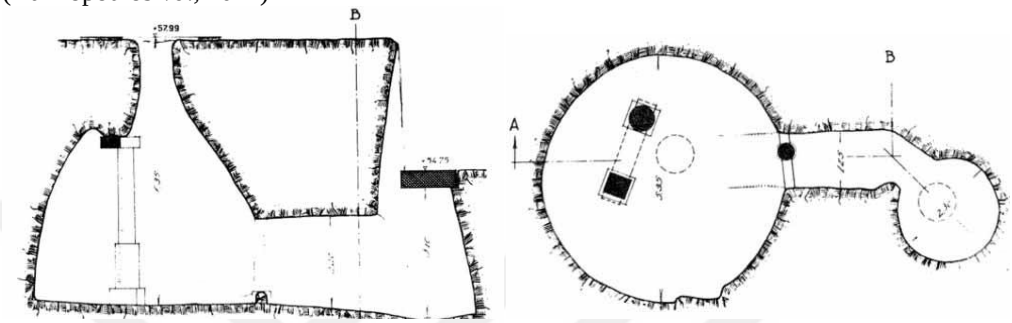


Şekil 2.1 Minos dönemi yağmur suyu sarnıçlar (Yannopoulos vd., 2017)

Klasik ve Helenistik dönemde ise sarnıç yapım teknolojisi ilerleme göstermiştir. Helenistik dönemde birçok şehirde su temini tamamen yağışa bağlı olduğundan çatılardan, avlulardan ve diğer açık alanlardan yağmur suyu toplanmaktaydı. Sarnıçlar genellikle zeminin altına inşa edilmiş ve sarnıç zemini geçirimsiz tabakalarla kaplanmıştır. Ayrıca Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de verilmiş olan şişe sarnıcı ve iki odalı sarnıçlar bu dönemde inşa edilmiştir.

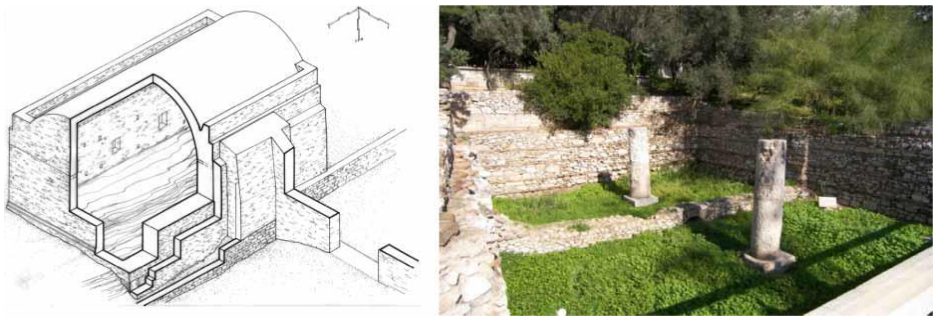


Şekil 2.2 Şişe şeklindeki su sarnıcı üst kısmın ve bölümün çizimi restorasyon sonrası görünen kısmı (Yannopoulos vd., 2017)



Şekil 2.3 İki odalı sarnıç (Yannopoulos vd., 2017)

Romalılar dönemine gelindiğinde ise Romalılar çeşitli altyapılara, yollara, su kemerleri vb. teknolojilere odaklanmışlardır. İyi tasarlanmış su şebekelerinin yanı sıra su kıtlığı ve kuraklık zamanları için yağmursuyu sarnıçları da inşa etmişlerdir. Roma imparatorluğunun Bizans dönemi yeni başkentinde sarnıç teknolojileri uygulamıştır. Devasa boyutlu açık hava Aetius sarnıcı inşa edilerek yardımcı bir yağmur suyu tankı oluşturulmuştur. Kapasitedeki artışın önemli bir nedeni, çimento tipi bir harcın büyük tonozların inşa edilmesinde kullanılmaya başlamasına bağlanmaktadır. Şekil 2.4'de verilmiş olan yağmur suyu sarnıçları tekli veya çoklu tonozlarla örtülmüştür. Şekil 2.5' de ise Bizans dönemi ve sonrası sarnıçları göstermektedir.

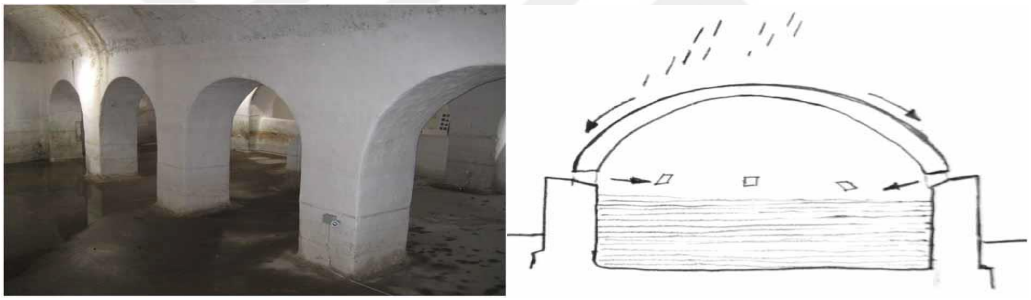


Şekil 2.4 Roma dönemi sarnıçları (Yannopoulos vd., 2017)



Şekil 2.5 Bizans dönemi ve sonrası sarnıçları (Yannopoulos vd., 2017)

Venedik ve Osmanlı dönemlerinde ise 13. yy başlarında venedikliler tarafından Girit adasında, her biri ileri tekniklerin birer uygulaması olarak kabul edilebilecek yağmur suyu hasadı sistemleri geliştirilmiştir. Osmanlılar tarafından Helenik bölgelerinde önceden var olan su kemerlerinin onarılması ve geliştirilmesinin yanı sıra akış alanları kubbenin dış yüzeyi olan belirli tipte yağmursuyu sarnıcı da geliştirilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Osmanlı dönemi sarnıçları (Yannopoulos vd., 2017)

19. ve 20. yüzyıllarda endüstriyel ve modern zaman döneminde yağmur suyu hasadının, geçmiş teknolojinin kullanımının yanı sıra derin kuyular, pompalar, borular vb. yeni teknolojilere dayandığı görülmektedir. Bu dönemde bazı geleneksel teknikler devam etse de eski yağmur suyu toplama yönteminde modern malzeme ve teknikler kullanılarak betondan/betonarmeden yapılmış yağmur suyu akış yüzeyleri ve tanklar inşa edilmiştir. Yağmur suyu hasadının gelişiminde ve geleceğinde, kentleşmenin büyük bir etkisi olmuştur. Kentleşme, akışın hem zirvesini hem de hacmini artırmış, sızmayı azaltmış, ama aynı zamanda su kirliliğine neden olmuştur. Yağmur suyunu kontrol etmek, yağmur suyunu toplamak ve yeniden kullanmak, sızma ve buharlaşma hacmini ve su kirliliğini azaltmak için yapılar tasarlanmıştır. Uygun maliyetli ve çevre dostu olması kaydı ve şartı ile su teminine yönelik bir çözüm olarak yağmur suyu akışının toplanması ve yeniden kullanılması mümkündür. Yannopoulos vd. (2017),

“insanların yağmur suyunun korunması ve yeniden kullanılmasını teşvik etmek için özel programlar geliştirilmiştir” demekte ve “sınırlı su kaynaklarımız konusunda endişelenmeli ve kullanmak üzere yağmur suyu toplamak için önlemler almalıyız. Suyun uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamak için, yerel ve eyalet kurumları ve okulların, genel olarak yüzey akışının ve özellikle de çatı yağmurunun korunmasını ve yeniden kullanımını teşvik etmek gerekir. Bunun için halkı yönlendirilmesi ve zorlu eylemlerin benimsemesi gerekir” şeklinde bir yaklaşım ortaya konmaktadır. Ancak bu çalışmanın yazarı olarak buna katılmamaktayız. Zira yukarıda da ifade edildiği gibi yağmur suyu hasadına moda bir su temini aracı olarak değil, çevreye en az zarar verecek şekilde ve zorunlu hallerde başvurulabilcek bir su temin aracı olarak görülmelidir. Daha detaylı bilgi için Yannopoulos vd. (2017) incelenmesi önerilmektedir. Çin’in Gansu bölgesinde yağmur suyunun toplandığına ait ilk kanıt 6000 yıl öncesine dayanmaktadır (Stahn ve Tomini, 2016). Binlerce yıldır var olan yağmur suyu hasat sistemlerinin dünyanın farklı bölgelerinde hala kullanılmaya devam ettiği bilinmektedir (İnci vd., 2011). Diyarbakır’da bulunan ve henüz kazı ve arkeolojik araştırmaların devam ettiği Zerzevan Kalesi’nde de en az 9000 (MÖ 7000) yıllık olduğu tahmin edilen su toplama sistemi bulunmaktadır.

2.2 Yağmur Suyu Hasat Hidrolojisi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Yağmur suyu hasat (YHS) sistemlerinde yağış miktarı, hatta yerine göre şiddeti ve türü, toplanacak suyun hacmini ve tankların boyutlandırılmasını etkilediğinden en önemli değişkenlerdir. Doğru ve sürdürülebilir bir yağmur suyu hasat sistemi (YSHS) için uzun vadeli yağış verilerinin kullanılması önemlidir. Aksi halde modellemede önemli hatalara sebep olabilecektir. YSH modellemesi için çeşitli uzunluklarda yağış verileri kullanılmaktadır (Ghisi vd., 2012; R. Guo ve Guo, 2018; Palla vd., 2011; Silva vd., 2015). Gelişmekte olan bölgelerde veya uzak alanlarda uzun vadeli yağış verilerinin olmaması durumunda temsili kısa vadeli yağış verilerinin kullanılmasının modelleme sonuçlarına etkisi son zamanlarda araştırılmaktadır. Bununla birlikte yeterli verili olmayan bölgelerde kısa vadeli yağış verilerinin de kullanıldığını literatürden görmek mümkündür. Ghisi vd. (2012), içme ve yağmur suyu talepleri ile çatı alanlarını dikkate alarak farklı durumlar oluşturmuş ve değerlendirmiştir. Çalışmada, yağış süresi uzunluğun yağmur suyu talebi ile bağlantılı olduğunu belirtmektedir. Buna göre YSHS için asgari bir yağış veri uzunluğu vermek yerine yağmur suyu talebine göre bir uzunluk önerilebilir. Yazara göre yağmur suyu hasadı

yapılacak olan binalarda kısa süreli yağış zaman serilerinin kullanımı mümkündür (Ghisi vd., 2012). Silva vd. (2015), potansiyel su tasarrufunun yıllık yağıştan daha çok günlük yağış dağılımına bağlı olduğunu söylemektedir. Özellikle sifon, lavabo gibi günlük tüketim için düşünülen YSHS için depolama hacmi doğrudan günlük su bütçesi esas alınarak belirlenmesi daha gerçekçidir.

Geraldi ve Ghisi (2018), dünyanın farklı ülkelerinde 13 farklı şehir için yağış verileri kullanarak uzun vadeli yerine kısa vadeli yağış zaman serisi uzunlukları kullanma durumunu incelemektedir. 9 yıllık bir yağış zaman serisinin kullanılmasının tüm şehirler ve durumlar için 30 yıllık yağış zaman serileriyle muadil sonuçlar verdiği görülmektedir. Boyutlandırma üzerine yapılan değerlendirmede ise kısa vadeli yağış zaman serilerinin her bir şehir için uzun vadeli yağış zaman serileri kullanılarak elde edilenlere benzer sonuçlara ulaşıldığından yağış zaman serilerinin uzunluğunun yağmur suyu tankı boyutlandırılmasında kayda değer bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varmaktadır. Ancak kanaatimizce hasat sistemi şekli ve kullanım durumuna göre bu etkinin (artma veya azalma şeklinde) değişebileceğini söylemek daha yerinde bir tespit olacaktır. Bu basit bir örnek ile kolayca açıklanabilir: Örneğin, 5 yıl uzunluğunda bir verinin ortalaması 20 yıl uzunluğundaki bir verinin ortalamasına göre daha az güven vermektedir. Veri uzunluğunun az olduğu durumlarda çeşitli istatistik, olasılık, yapay zekâ teknikleri ve benzeri yöntemler ile sentetik veri türetilebilir. Aynı araştırmacılar başka bir çalışmasında, yağış özellikleri ile çeşitli zaman serisi uzunlukları arasındaki bağlantıyı araştırmıştır (Geraldi ve Ghisi, 2019). Çalışmada, birbirinden farklı yağış modellerine sahip on üç şehirde gerçekleştirilen yağmur suyu toplama simülasyonları karşılaştırılması verilmiştir. Sonuç olarak yağmur suyu hasadını simüle etmek için uzun vadeli zaman serileri yerine kısa vadeli zaman serilerinin kullanılmasının ve her iki seri için yıllık ortalama kurak gün sayısının benzerlik göstermesi halinde, yaklaşık sonuçlar elde etmenin mümkün olabileceğini ifade etmektedir.

Yue vd. (2020), YSH modellemesi için temsili kısa süreli yağış zaman serilerini belirlemiş olup temsili uzunluk ile yağış özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Farklı iklimlere sahip 12 şehirde yapılan çalışmada, kısa vadeli yağış zaman serilerinin 6 ile 21 yıl arasında değiştiği, temsili uzunluğun yıllık yağış değişimiyle önemli miktarda ilişkili olduğu ve ortalama yıllık yağış ve mevsimsellik indeksiyle ilişkili olmadığı sonucuna varılmaktadır.

R. Guo ve Guo (2018), yağmur şeklindeki yağışı bir Poisson süreci olarak kabul etmiş ve Stokastik bir modelle su dengesi denklemini de kullanarak analitik denklemler geliştirmiştir. Sonuçları karşılaştırmak ve doğrulamak için, yağmur suyu yönetim modeli (SWMM) ile simülasyonlar yapılmıştır. Çalışmada, Stokastik yaklaşımın YSH sistemlerinin uzun vadeli su dengesini modellemede uygulanabilir ve güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Kim vd. (2012), YSH sistemindeki tüm bileşenler için kütlenin korunumu kanunu esaslı denklemler geliştirmiştir. Çalışmada, elde edilen bu denklemler ile yağış için olasılık yoğunluk fonksiyonları kombinasyonu yapılarak akışı karakterize edilmektedir. Türetilen bu fonksiyonlar beton çatılara uygulanarak ve çeşitli depolama tankı alternatifleri kullanılarak ortalama yağış-akış azalmalarını tahmin etmektedir. Sonuç olarak araştırmacılar, akan suyun kullanımını arttırabilecek ve sel problemlerinin bazılarını azaltabilecek uygulanabilir bir YSH sistemini tasarladıklarını iddia etmektedir.

Yağmur suyu hasat sistemlerinin modelleme ve tasarımında günlük su bütçesinin belirlenmesi gerekir. Bunun içinde günlük yağış verilerinin kullanılmasında yarar vardır. Nitekim Nguyen ve Han (2017) de yağmursuyu hasat sistemlerinde günlük yağış verilerinin yerine aylık yağış verilerinin kullanılması hatalara sebep verebileceğini dile getirmektedir. Her ne kadar Zhang vd. (2020), günlük yağış zaman serisi kullanılarak hesaplanan sonuçların %95 gibi yüksek bir oranda saatlik yağış verileri kullanılarak oluşturulan sonuçlara yakın olduğunu ifade ediyorsa da imkânlar çerçevesinde saatlik yağış verileri ile çalışılması daha uygun bir çözüm olacağı açıktır. Aylık yağış verilerine sahip olunması durumunda uygun istatistik/olasılık veya diğer yöntemlerle verilerin günlük hale getirilmesi gereklidir. Günlük ve/veya aylık verilerin kısıtlı olduğu durumlarda ise yine uygun yöntemlerle verilerin türetilmesi uygun olacaktır. Ancak yukarıdaki iki durumda da verilerin dönüştürülmesi ve/veya türetilmesi için fizik temeli olan yöntemlerin tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

2.3 Yağmur Suyu Hasat Sistemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Yağmur suyu hasat (YSH) sistemleri artan su ihtiyacına paralel olarak her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır. Yağmur suyu hasat sistemlerinin temel bileşenleri olan toplama alanı (çatılar) ve depolar üzerine birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Sistemin kurulum ve uygulamasının hem tasarruf hem de ekonomik açıdan diğer alternatif kaynaklara oranla daha fazla avantaj sağlamaktadır. Deponun

boyutlandırılması, depo yeri seçimi ve deponun cinsi üzerine yapılan birkaç çalışmadan aşağıda bahsedilmiştir.

Rukesh Reddy ve Rastogi (2008), pansiyon çatısından toplanacak olan yağmur suyunun depolanmasında tank boyutunu tahmin etmek için Rasyon (Rationating) Yöntemi (RM) ve Hızlı Tüketim Yöntemi olmak üzere iki alternatif yöntemden söz etmektedir. Depo, oluk, ilk yıkama ve filtreleme mekanizmaları gibi sistemin diğer bileşenlerine değinen ve betonarme depo için maliyet analizinin de yapıldığı çalışmada yağmur suyunun tamamının kullanılması durumunda su tankının betonarmeden inşa edilebileceğini iddia edilmektedir.

Angrill vd. (2017) tankın konumu üzerine çevresel bir değerlendirme yapmaktadır. Çatı tankı ve yer altı tankının uygulaması farklı bina yükseklikleri için değerlendirilmiş ve bir çatı tankının, incelenen tüm durumlarda, bir yeraltı tankından çevreye daha az zararlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu konuyla alakalı Madzia (2019) ise "yağmur suyu hasat sistemlerinde tank, sistemin en pahalı elemanını oluşturur" ifadesinde bulunmaktadır. Bu nedenle, en iyi tank boyutunun dikkatli bir şekilde seçilmesinin önemine vurgu yaparak mevcut binalarda tank için yer bulmanın zor olduğunu ifade etmektedir, Mülkün etrafındaki araziye müdahaleyi de içeren büyük yer altı tanklarının daha çok yeni yapılacak olan yani tasarım aşamasında olan yapılar için düşünülebileceği ifade etmektedir (Madzia, 2019).

Sangave vd. (2019), büyük kurumlarda çok fazla miktarda suyun YSH uygulaması ile depolanabileceğini üç farklı senaryo ile maliyet ve geri ödeme süresini karşılaştırılarak göstermektedir. Filtrasyon ve tank maliyeti dâhil edilerek yapılan çalışmada yerleşim alanı geniş olan bölgelerde suyun tek bina veya kombine şekilden ziyade ortak bir tankta depolanmasının en ekonomik seçenek olduğu sonucuna varmaktadır.

Okoye vd. (2015), yağmur suyu depolama tankının uygun şekilde boyutlandırılması için mevcut çatı alanı, sakin sayısı, yağış verileri, kişi başı günlük su tüketimi vb. parametreleri kullanarak doğrusal programlamaya bağlı bir model kullanarak model sonucu ile minimum fiyatta inşa edilecek YSH depo boyutu belirlemektedir. Kuzey Kıbrıs'ta bir vaka çalışması yapılmış ve duyarlılık analizi neticesinde parametrelerin değiştirilmesinin etkisine bağlı olarak altı farklı senaryo değerlendirilmiştir. Optimum tank boyutunun, çatı alanı ile arttığı fakat tank inşa etme maliyetindeki artış ile azaldığı ortaya konmaktadır. Yazarlar, kişi başına günlük su tüketiminde artış, çatı alanının

artması net ekonomik açıdan yararın arttığı ve aylık yağış dağılımının optimal boyutlandırmada ekonomik faydayı önemli ölçüde etkilediği sonucuna varmaktadır.

Khastagir ve Jayasuriya (2010), yağışın mekânsal dağılımının değişkenlik gösteren bölgelerde optimum tank boyutunun hesaplanması için boyutsuz bir eğri önermektedir. Bu eğri, tüm karar verme değişkenlerini (talep ve güvenilirlik), bireysel hanelerin özelliklerini ve coğrafi konumlarını (çatı alanı ve ortalama yıllık yağış) ve tank boyutunu içermektedir. Çalışmada, YSH tank boyutu tahmininde günlük su dengesi modeli kullanılmakta ve tank boyutu ve güvenilirlik arasındaki ilişkide bağımsız değişkenlerin sayısını azaltmak için Buckingham teoremi ($\pi\ teoremi$) kullanılmaktadır. Ayrıca uygun boyut seçilmeden önce tankta depolanacak suyun kullanım talebi (tuvalet sifonu, bahçe sulaması çamaşırhane, vb.) belirlenmesi gerektiğine dikkat çekmektedir.

Farreny vd. (2011)'nin temel amacı yağmur suyu toplama kaynaklarının kullanılabilirliğini ve kalitesini en üst düzeye çıkarmak olup dört farklı çatı seçimi ile çatılar arasında farklılıkları değerlendirmektedir. Sonuçlara göre yüzey akışının büyük bir ölçüde yağış yüksekliği, çatı eğimi ve pürüzlülüğüne bağlı olduğunu tespit etmektedir. Çalışmada eğimli fakat pürüzsüz çatıların akış suyu kalitesi açısından diğer çatılara oranla daha iyi olduğu sonucuna varılmaktadır. Çatı eğimi ve çatı türünün yağmur suyuna etkisi üzerine yapılan bir diğer çalışma da Lai vd. (2018)'dir. Toplanan yağmur suyunun 15°lik metal çatı, 15°lik polikarbonat çatı ve 45°lik kil kiremit çatıdan en iyi akışın gözlemlendiği çalışmada betonarme düz çatıların ise en fazla kirli suyu topladığı tespit edilmektedir. Çatılar üzerine yapılan benzer bir diğer çalışma ise Mao vd. (2021) olup bu çalışmada ise dört farklı çatı tipinin (beton, asfalt, galvanizli metal ve seramik karo) ve hava koşullarının yağmur suyunun kalitesini nasıl etkilediğini tespit edilmektedir. Tüm çatı türleri için geçerli olmak üzere hasat edilen yağmur suyunun içme suyu kalitesine uygun olmadığı fakat sifon vb. amaçlarla kullanılabileceği söylenebilir (Lai vd., 2018).

Paudel ve Imteaz (2016), farklı iklim koşullarında (ıslak, ortalama ve kuru) tank hacmi, talep ve çatı alanı fonksiyonları kullanılarak genelleştirilmiş bir denklem elde etmektedir. Denklemlerin karşılaştırılması için günlük su dengesi modeli olan eTank geliştirilmiştir. Kıyaslama sonucunda genelleştirilmiş denklemlerin yıllık tasarruf sonuçlarının model tarafından üretilen sonuçlar ile çok yakın olduğu tespit edilmektedir. Böylelikle denklemler aracılığıyla kolay bir şekilde potansiyel su

tasarrufunu hesaplanabileceği ve yağmur suyu tanklarının kullanma isteğinin arttırılabileceği iddia edilmektedir.

Ghisi (2010), çatı alanı, yağış miktarı, yerleşkede bulunan kişi sayısı, içme suyu ve yağmur suyu talebi gibi faktörlerin yağmur suyu depo boyutlandırması üzerindeki etkisi araştırmaktadır. Bir algoritma ile gerçekleştirilen analizden çıkarılan en önemli sonucun yukarıda bahsedilen faktörlerin boyutlandırmayı etkilediğidir.

Ghisi vd. (2007), yağış miktarı yüksek, içme suyu talebi düşük ise yağmur suyu kullanılarak elde edilecek içme suyu tasarrufunun da o kadar yüksek olacağını söylemektedir. Ancak içme suyu talebinin düşük olması halinde su tasarrufunun yazarların belirttiği gibi olmayacağı açıktır. Yazarların belirttikleri gibi tasarrufun yüksek olması için hem yağışın hem de talebin yüksek olacağını söylemek daha doğrudur. Ghisi vd. (2007), yağmur suyu deposunun kapasitesinin belirlenmesi için değişken olarak içme suyu talebi, yağmur suyu ihtiyacı, günlük yağış miktarı, çatı alanı gibi etkenler önermektedir. Çatı alanının ve içme suyuna olan talebin içme suyu potansiyelini nasıl etkilediği üzerine teknik fizibiliteyi araştıran Kolavani ve Kolavani (2020), Neptune Programı ile yağmur suyu tank boyutunu farklı yedi şehir için bulmaktadır daha sonra bu şehirlerin ortalama çatı alanları arasındaki korelasyonu inceleyerek genel olarak daha fazla yağış alan şehirlerin konutlarının diğer şehirlere göre daha küçük çatı alanları ile optimum potansiyel sağlayabildiği kaydetmektedir. İki şehirde yağış fazla olmasına rağmen içme suyu talebinin yüksek oluşu daha geniş bir çatı alanına sahip senaryolar oluşturulmuştur.

Rowe (2011), günlük yağış verileri girilerek elektronik tablo modeli ile depo kapasitesini (m^3) çatı alanının (m^2) 0,37 katı olarak belirlemektedir. Ancak sabit bir derinlik depo alanı ile çatı alanı arasında sabit bir oran belirlemenin daha büyük kolaylıkları sağlayacağı söylenebilir. Oysa yazarlar, sıradan bir konut için su talebi ne olursa olsun, aşılmasının hiçbir faydasının olmadığı bir su deposu kapasitesi "maksimum optimum kapasite" olduğunu ve bu kapasitenin de toplama alanının ve yağışın zamansal değişiminin fonksiyonu olduğunu ifade etmektedir.

Liaw ve Tsai (2004), optimal depolamayı elde etmek için YSH'nin hidrolojik tasarımı üzerindeki ana parametrelerin etkisini bir simülasyon modeli kullanarak tanımlamakta ve daha sonra seçilen bir su kaynağı için çatı alanı ve depolama kapasitesinin optimal kombinasyonunu belirlemek için üretim teorisini uygulamaktadır. Tayvan'da yaygın olan dört farklı çatı, uygun bir akış katsayısının belirlenmesine ilişkin iç görü sağlamak

için inşa ederek test etmektedir. Sonuç olarak katsayının yağışın yoğunluğuna göre değiştiğini ancak ortalama değerlerin tüm çatı tipleri için aynı olduğunu söylemektedir.

Campisano vd. (2012), yağış veri serilerine uygulanan günlük su dengesi simülasyonlarının sonuçlarına dayalı olarak, YSH tanklarının optimal boyutunu belirlemek için boyutsuz bir metodoloji sunmaktadır. Hem su tasarrufu hem de taşma deşarjlarının simüle edilmiş değerleri arasında iyi uyum olduğunu göstermektedir. Son olarak, minimum maliyet kriterlerine dayalı basit bir yaklaşım ile optimal YSH tank boyutu araştırılarak yaklaşımın sonuçlarına göre mevcut yağmur suyu miktarı azaldıkça büyük tankların ekonomik uygunluğunun da azaldığını göstermektedir.

2.4 Yağmursuyu Hasadı Üzerine Yapılan Çalışmalar

Günümüzde nüfus artışına paralel olarak tatlı su kaynaklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi ve kirletilmesinin sonucu alternatif bir kaynak olarak görülen yağmur suyunun sulamada, tuvalet sifonlarında, araç yıkamada vb. amaçlarla kullanılması gündeme gelmiştir. Uluslararası ve ulusal boyutta su krizi üzerine yeterli düzeyde gerekli düzenleme ve yatırımlar yapılmadığı ve konuya gereken duyarlılık gösterilmediği sürece temiz su temininde daha kötü bir duruma geleceği öngörülmektedir. Mengü ve Akkuzu (2008), su eksikliğinden dolayı yaşanacak kuraklıklara karşı planların kriz yönetimi ile değil de talep ve arzın doğru yönetilmesi, en iyi zamanda doğru yatırımların yapılması ve risk yönetimi yaklaşımında bulunulmasının son derece önemli olduğunu söylemektedir. Yağmur suyunun alternatif bir yöntem olarak kullanılması çok önemli olsa da pek çok ülkede su politikalarına dâhil edilmemektedir. Genellikle yağmur suyu hasat sisteminin kurulum masrafının halk tarafında maliyetli görülmektedir. Ioan vd. (2018), bu konuda, herhangi bir yerleşkelerde bulunan kişilerin bu uygulamayı gerçekleştirmeleri ve sakinlerin ilgilerini arttırmak için devlet tarafından finansman programlarının oluşturulmasını gerekli görmektedir. Ülkemizde de su kaynaklarının yönetiminde ve kullanımında devlet politikası oluşturulmalıdır. Oluşturulacak olan standartlar, yasa ve yönetmelikler ile ülkemiz için yararlı ve çok kıymetli olan kullanılamayan yağmur suyunun tam verimlilikle kullanmaya teşvik edilmelidir (Can ve Yılmaz, 2019). Yazarların, yağmur suyunun çokça kıymetli olduğu ve yağmur suyunun kullanılamadığı ifadesine katılmakla birlikte yağmur suyu kullanımının en son başvurulması gereken bir çare olarak görülmesinde yarar görmekteyiz. Çünkü yüzey

akışlı yağmur suyu doğal su döngüsünün bir bileşeni olup yeraltı sularını beslemektedir. Yer altı su kullanımı gibi yağmur suyu hasadı da yaygınlaşırsa yer altı su akiferleri yeterince beslenemeyecek ve tahmin edilemeyecek düzeyde su döngüsüne ve çevreye zarar verecektir.

Nottingham'da seçilen bir evde çatı suyunun evin tuvalet sifonlarında kullanımı üzerine on iki aylık bir süre boyunca izlenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında kolektöre gelen hem yağmur suyunun hem de ana beslenme suyunun giren ve çıkan akışları bir dakikalık zaman aralıklarıyla ölçülmüştür. Elde edilen veriler her ay korunan sifon suyu yüzdesini belirlemek için kullanılmıştır. Yazar, korunan sifon suyu yüzdesini bularak tuvalet sifon suyu talebine karşı ne kadar şebeke suyundan tasarruf edildiğini göstermektedir. Çünkü bu sistemde elde edilecek tasarruf hem maddi açıdan hem de su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından önem teşkil etmektedir. Çalışmada, yağmur suyu toplama sisteminin boyutlandırılması için akış katsayısı duyarlılığı modeli (Runoff Coefficient Sensitivity Model; RCSM) geliştirilmiştir. Modelin temel özelliklerini belirlemek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Sistem performansını doğru bir şekilde tahmin etmek üzere çatının yağış kaybı parametrelerinin belirlenmesinde günlük veri, çöküntü deposunun boyutlandırılmasında ise sabit orantılı kayıp modeli (constant proportional loss model) kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, depo performansının doğru bir şekilde değerlendirilmesi için yağış kayıplarının bir RCS modeline dâhil edilmesinin gerekli olduğunu göstermektedir. Son olarak da yağış kayıplarını içeren bir dizi boyutsuz tasarım eğrisi üretilmiştir (Fewkes, 1999). Yağmur suyu hasat sistemlerinin, sosyal ve çevresel faydalarının yanı sıra kentsel alanlarda, geleneksel su temin sistemine bir alternatif olduğunu ifade eden Özölçer (2016), Bülent Ecevit Üniversitesi yerleşkesindeki kamu binalarını uygulama alanı olarak seçmiş ve günlük su modeli dengesi oluşturmuştur. Oluşturulan model aracılığıyla günlük yağmur suyu kullanımını, günlük taşma ve tankın günlük su depolaması hesaplanmıştır. Çalışmada, seçilen her bina için kurulumunun fayda, maliyet analizi yapılarak ayrılmış yağmur suyu toplama ve dağıtımı sistemleri ile ayrılmamış (bağlı) yağmur suyu toplama ve dağıtımı sistemleri üzerine iki senaryo değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda yağmur suyunun arıtılmadan düşük kaliteli su olarak yerleşkesinde kullanılarak içme suyu tasarrufu ve ekonomik açıdan bir çözüm sağlayacağına, bağlı sistemin de toplam maliyetinin ayrılmış sistemden daha pahalı

olduğuna ancak servis ömrünün %50 daha fazla tasarruf sağladığı sonucuna varılmıştır.

Sakarya Esentepe yerleşkesine uygulanan çalışmada binaların ve yeşil alanların dağınık olmasından dolayı çatı alanlarının hesaplanması için yerleşke sekiz bölgeye ayrılmış olup çatı alanları ve sulama yapılacak yeşil alanlar hesaplanmıştır. Aylık yağış verileri kullanılarak elde edilen yağmursuyu miktarının yeşil alanların haftada bir veya iki kez sulanması durumuna göre değerlendirilmesi neticesinde yağmur suyu hasadının yeşil alanların sulanmasında büyük bir öneme sahip olduğu açık bir şekilde görülmüştür (Eren vd., 2016). Yazarlar her ne kadar bu iddiada bulunuyorsa da, yağışlı mevsimlerde suyu biriktirmek ve yağışın düşmediği zamanlarda özellikle sulamada kullanabilmek için nasıl ve ne büyüklükte bir depo inşa edilmesi gerektiğine yönelik bir açıklık getirmemektedir. Takdir edileceği üzere yağışlı günlerde ve toprakta yeterli nem olduğu zamanlarda sulama yapma ihtiyacı yoktur. Sulama ihtiyacı kurak zamanlarda söz konusudur. Yazarlar, yağışlı sezonun suyunu biriktirip kuru sezonda kullanmadan söz etmektedir. Yağışlı sezonun tüm yağışı yüksek bir verimlilik ile toplanması için devasa depolama hacimlerine ihtiyaç vardır. Suyu tutma kapasiteleri çatı türlerine göre değişkenlik göstermektedir. Eren vd. (2016), yağmur suyu miktarının sayısallaştırma işleminde çatının türü hakkında bir açıklamada bulunmadığı görülmüştür. Farklı bir yöntemin uygulandığı Eskişehir Teknik Üniversitesi İki Eylül yerleşkesinde var olan binaların yağmur suyu toplama kapasiteleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak analiz edilmiştir. Çatı alanları hesabı için ESRI ve ArcGIS kullanılmış olup ArcGIS uygulamasının yeterli olmayan sayısallaştırma işlemleri için insansız hava aracı ile yüksek çözünürlüklü altlık veri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen su miktarının uzun süreli olarak bir tasarruf sağlamayacağı ancak sulamaya açık alanlar ve temizlik gibi amaçlarla kullanılabileceği düşünülmektedir (Yükselir vd., 2019). Kalıpçı vd. (2021), su yönetimi üzerinde yapılan araştırmalarda doğru analiz ve etkili verilerin Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) önemli bir bilişim sistemi olarak kabul etmektedir. Yükselir vd. (2019) gibi bir çalışmayı Giresun Üniversitesi yerleşkesine uygulamıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) elde edilen yıllık ortalama yağış verileri kullanılarak CBS yazılımının Visual Basic Kod altyapısından yararlanılarak toplanabilir su miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen yağmur suyunun kullanım alanı olarak araç yıkama, tuvalet rezervuarı ve yeşil alan sulaması durumları hesaplanıp

değerlendirilmiştir. Yazarlar, alternatif bir su kaynağı olarak kullanılabileceği sonucuna varmaktadır. (Kalıpcı vd., 2021).

Khan vd. (2021), yağış yoğunluğu, iklim şartları, tank boyutu, çatı boyutu ve su kullanıcı sayısı YSH sisteminin güvenirliliği için önemli değişkenler olduğunu belirtmektedir. Çalışmada, Avustralya kıtası için yağmur suyu toplama sisteminin uygulanabilirliği incelenmektedir. Su kullanımı için tuvalet sifonu ve çamaşır; sulama ve tuvalet sifonu, çamaşır yıkama ve sulama (birleşik) olmak üzere üç farklı durum düşünülmüştür. Birbirinden farklı boyutlarda yağmur suyu deposu boyutlarını, saha alanlarını, çim alanlarını ve aile üyelerinin sayısını yansıtan toplam yedi senaryo göz önünde bulundurulmuştur. 601 yağış istasyonundan alınan veriler kullanılarak yapılan çalışmada, tank boyutunun 7,5 m^3 ile 15 m^3 arası için Avustralya'nın çoğu bölgelerinde 'tuvalet ve çamaşır' kullanımı için güvenilirliğin önemli ölçüde yüksek (%80-100) olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, 'Birleşik' kullanım için, kıtanın çoğu için güvenilirlik düzeyinin %50'nin altına düştüğü bulunmuştur. Sahaların her birinde su temini, su tasarrufu ve fayda maliyet oranı (BCR) güvenilirliği tahmin edilmiştir. Fayda/maliyet hesabında YSH sistem kurulumu ve işletimi ile ilgili masraflar esas alınmıştır. Yazarlar ayrıca, Avustralya Hükümeti'nin, yağmursuyu hasat sistemlerinin yaygınlaşmak üzere ev sahiplerine sübvansiyon getirmesi gerektiğini belirtmektedir (Khan vd., 2021).

Andrew Ako vd. (2021)'ne göre yağmur suyu hasadı çalışmalarında düşen yağışın evsel ihtiyaçları karşılayıp karşılamayacağını belirlemek için öncelikle potansiyel yağış miktarı tahmin edilmelidir. Ancak yeterli yağış verisi olan bölgeler için bu tür bir tahmine ihtiyaç yoktur. Bu nedenle yazarlar toplam yağış suyu arzının tahmini için çalışmanın uygulandığı Yaoundé Bölgesi'nde 63 yıllık (1951–2013) aylık ortalama yağış verisini kullanmış ve aylık ortalaması alınarak bu tahmin yapılmıştır. Yağmur suyu arzının nüfusun aylık su talebini aştığı ve bölgede yeterli miktarda yağışın hasat edilebileceği ve suyun kimyasının iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bununla birlikte mikrobiyolojik olarak yapılan testler sonucunda hasat suyunun içme suyu olarak kullanılmasının halk sağlığı riski taşıdığı ortaya konmuştur. Çatıdan hasat edilen yağmur suyunun Mvog-Betsi nüfusuna su tedarikine ek olarak hizmet edebileceği ve bu sistemlerin benimsenmesi için bakanlık tarafından yeni su mevzuatının yürürlüğe konması gerektiğini vurgulamaktadır (Andrew Ako vd., 2021).

Steffen vd. (2013): "YSH, su temini faydaları ve yağmur suyu yönetimi potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel ise yağış, sarnıç boyutu, su kullanım şekli gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Daha yüksek yağış alan bölgeler, daha düşük maliyetli bir yağmur suyu yönetim potansiyeli ile daha yüksek su tasarrufu verimliliğine sahiptir. Yarı kurak bölgeler de mahalle ölçeğinde mütevazı yağmur suyu yönetimi potansiyeline sahiptir." Yağmur suyu yönetim modelini (SWMM) kullanılarak ABD'de yedi bölgede 23 şehirde YSH'nin potansiyel su temini ve yağmur suyu yönetimi faydalarına ilişkin analiz, günlük yağış kayıtları ve geliştirilen günlük su talebi modeli kullanılmıştır (Steffen vd., 2013).

Kraus ve Juhásová Šenitková (2019),içme suyu kaynaklarının sınırlı olması, taşkın koruması, çevredeki mikro iklimin iyileştirilmesi, içme suyu üretim ve arıtma maliyetlerinin artması gibi nedenlerle yağmur suyunun kullanıldığını ve bu yüzden günümüzde su yönetiminin güncel konu haline geldiğini vurgulamaktadır. Yenilikçi su yönetimi, sürdürülebilir kalkınmanın ilkelerinden ve stratejilerinden biridir. Tüm su yönetiminin bir veya birden fazla bina içinde uygun bir şekilde düzenlenmesiyle hem içme suyunda tasarruf sağlamak hem de arazideki uygun su koşullarını ve çevredeki mikro iklimi iyileştirmek de mümkündür (Kraus ve Juhásová Šenitková, 2019).

YSH'nın bir değerlendirilmesinin yapıldığı Kuzey Ürdün'deki anket çalışması sonucu katılımcıların yaklaşık %50'si toplanan yağmur suyunun kalitesiyle alakalı endişelerinden dolayı YSH sistemlerine sahip olmadıkları ortaya konulmuştur. Katılımcıların yarısından fazlası ise tank seçimini keyfi durumlara göre seçmektedir. Daha önce gönderilen çalışmada, aile tüketimi coğrafi koşullar ve evin çatı alanına dayalı olacak şekilde her üç şehir için tank hacimlerini tahmini olarak belirleyen bir kontur harita üretilmiştir. Böylece bu üç şehirde herhangi bir yerdeki bir evin tank hacmini belirlemek için anılan kontur haritalardan faydalanılabilecektir. Toplanan yağmur suyunun kalite parametreleri Ürdün'ün içme suyu kalite standartlarıyla uyumlu bulunmuştur. Ancak akma ve depolama sırasında kirlenmesini önlemek için depolama tankları ve çatı yüzeyi düzenli olarak temizlenmelidir (Abu-Zreig vd., 2019). Benzer şekilde, Kusre vd. (2017)'de bir anket uygulaması yapmış ve katılımcıların %90'ından daha fazlasının özellikle yağışlı olmayan mevsimlerde su stresi yaşadığını ve uygun bir su toplama sistemine ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir. Anketin uygulandığı bölgenin su kaynakları açısından zengin olması dikkat çekicidir. Çalışmada, uygun depo boyutlandırılması için yapılan hesaplamalar sonucunda 10 m^3

depoların maliyet açısından daha yüksek olacağı ancak 5 m^3'lük bir deponun bireysel hanelerde öncelikli ihtiyaçları için uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Manikandan vd. (2011), ofis/departman alanlarında su bütçesi hesaplaması için tek su kaynağı olarak yağış ele alınarak su hasadı potansiyeli değerlendirilmiş ve suya olan talebin yağmur suyu arzından fazla olmasına rağmen %80'lik bir oranda insan, çim ve laboratuvarlarda kullanımı karşılayabileceği ve yıl içinde yağmur suyu arzının su taleplerinden fazla olduğu dönemlerde ise yağmur suyunun etkin bir şekilde depolanabilir ve gelecek sezonda çim alanı sulamak ve yeraltı suyunu beslemek için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Vialle vd. (2012), yağmur suyu toplama sisteminin 1 yıl boyunca performansını izlemiştir. Çalışmada, yağmur suyunun mikrobiyolojik ve kimyasal olarak analizi yapılmış ve yaz aylarında toplanan çatı akışlarında en yüksek seviyede mikrobiyolojik içeriğin gözlemlendiği rapor edilmiştir. Başka bir ifade ile kimyasal ve fiziksel açıdan klasik içme suyu parametrelerini karşılarken biyolojik kirlilik oranının sınırların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen yüksek mikrobiyolojik kirlilik sebebiyle hasat suyunun insan tüketimi için uygun olmadığı, ancak 4 kişilik standart bir aile için yağmur suyu toplama sistemleri ile tuvalet sifonu, zemin temizleme vb. durumlarda kullanılan içme suyu tüketiminin büyük bir oranda azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Agustina ve Sinaga (2021), Endonezya'nın kuraklık olan ve kapalı şebeke suyuna erişim zorluğu çeken iki farklı bölgesi için yağmur suyu hasat kapasitesini belirlemektedir. İlk olarak bölgeye düşen ortalama yağış, daha sonra hanelerin çatı alanlarının ortalaması hesaplanmış, yılın her bir ayı arz ve talep belirlenmiş ve su sıkıntısının yaşandığı Temmuz ve Ağustos ayları için su deposu boyutlandırılmıştır.

Hashim vd. (2013), 200 haneyi kapsayan büyük ölçekli YSH için en uygun çatı üst alanını ve depolama tankı boyutunu aynı anda belirlemek için metodoloji geliştirmiştir. Çatı alanını, depolama tankının optimal boyutu için sistem tasarımının talep ve arz ölçeğinin en yüksek güvenirlilikte karşılamasına vurgu yapmış ve 20 yıllık günlük yağış verileri kullanılarak yağışın çok olduğu ve kuraklığın fazla yaşandığı aylar için su arz ve talep modelleri ile farklı durumlar değerlendirilmiştir. Büyük ölçekli yağmur suyu hasadının performansını etkileyecek olan değişkenler için duyarlılık analizi de yapılmış olup çatı alanının ve su talebinin depolama boyutunu ve su tasarrufunu kayda değer ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Rashid vd. (2018), bir evin çatısından toplanacak olan yağmur suyunun hesaplamasında çatının yağmur suyunu soğurma kayıpları, sistem verimsizlikleri, buharlaşma kayıpları göz önünde bulundurularak maksimum su miktarını araştırmaktadır. Yazarlar, elde edilen yağmur suyunun dört kişilik bir ailenin su talebinin %22'sini karşılayabileceğini ifade etmektedir. YSH sistemi ile toplanan suyun, gri su, siyah su, diğer kullanım alanlarına göre oranları bulunmuş ve sifon gibi siyah suların kullanımında %100 karşılayabileceği kanaatine varmaktadır. Bununla birlikte Mayıs-Haziran ve Ekim-Aralık aylarında hasat suyunun sifon için bile yeterli olamayacağından önceki iki aydan suyun biriktirilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Hoseini ve Attarzadeh Hosseini (2020), kurak ve yarı kurak alanlar için yağmur suyu hasadını değerlendirmektedir. Bu kapsamda, akış katsayısı, toplanan suyun hacmi, talep edilen su miktarı ve tank hacmi hassasiyet analizi yapılmaktadır. Çalışmada, lineer regresyon analizi yapılarak hasat edilen su miktarı ile iki faktör arasında 1 gibi güçlü ve doğrusal bir ilişki olduğu sonucuna varıldığı ifade edilmektedir. Kanaatimizce bu beklenen ve hatta önceden kolayca tahmin edilmesi gereken bir sonuçtur. Bunun için bir analiz yapmaya veya bir analiz ile bunu teyit etmeye ihtiyacın olmadığı da söylenebilir. Bu durum pekâlâ yağış miktarının ile akış arasındaki ilişki gibi barizdir. Çatının büyüklüğü ise hasadın verimliliği veya fayda/maliyet analizi için önemlidir. Tahmin edileceği üzere çatı alanının büyüklüğü hasat edilen suyun hacmini de artırmaktadır. Eş zamanlı olarak hasat suyu kullanılmadığı takdirde devasa hacimlere sahip depolama tesislerine ihtiyaç duyulacak ki bu durum zaman maliyeti artırmaktadır. Çalışmada yazarlar önemli bir tespitte bulunmaktadır. Yazarlara göre, hasat sistemlerinin yağışların fazla, çatı yüzeyinin geniş ve insan yoğunluğunun az olduğu yerlerde kurulmasının daha iyi olduğunu belirtmektedir. Optimum hacim ekonomik olarak ve konut sakinlerinin su talepleri için önemli bir parametre olduğundan tank hacmi duyarlılık analizi yapılmış olup en iyi yağış göstergesinin ortalama en yüksek 24 saatlik yağış verileri kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmadan, toplanacak yağmur suyu kullanımının yer altı suyu kuyularının kullanımını, maliyetleri ve enerji tüketimini azaltacağı sonucu çıkarılmıştır.

Kucukkaya vd. (2021), yağmur suyunun hasadı ve pasif depolanmasını araştırmıştır. Çalışmada, 11 yıllık yağış verileri analiz edilerek günlük ortalama yağış hesaplanmaktadır. Ayrıca kg/m^2 olarak günlük ortalama farklı yağış miktarı ve depo

kapasitesine göre sistemin ne kadar sürede kendisini amorti edeceği üzerinde durulmaktadır. Netice itibari ile depolama hacmi - günlük ortalama yağış grafiği elde edilmekte ve ilk yatırım parametreleri öncelenerek silo hacminin küçük seçilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır. Pasif yağmur suyu toplama ve geri kazanım sistemi ile herhangi bir enerji ve ekipman kullanmadan suyun silo olarak isimlendirilen depolara akması sağlanmaktadır. Silolar ise binanın yanında kendi temeli üzerinde duran her kata yapılması planlanmıştır. Yağmur suyu ayrıca tuvalet rezervuarlarına da cazibe (yerçekimi ile) gittiği ifade edilmektedir. Bunun için araştırmacılar, siloların yüksekliklerini ve hacimlerini sürekli ve yerel yük kayıplarını da dikkate alacak ve yeterli basıncı sağlayacak şekilde belirlediklerini iddia etmektedir. Ancak çalışmada "Şekil 3" olarak verilen temsili sistemin bunu sağlayıp sağlayamayacağı konusunda şüphe uyandırmaktadır. Bunun için disk şeklinde siloların seçilmesi gerektiği kanaatindeyiz. Oysa şekilden anlaşıldığı kadarıyla silolar düşey silindirik şekilde tasarlanmış. Bu itirazımız yerinde kalmak kaydı ile sistemin güzel tasarlandığı söylenebilir. Sistemin güzel taraflarından bir diğeri de siloların yukarıdan aşağıya doğru birbirini beslemesidir ki bu kanaatimizce önemli bir ayrıntıdır. Araştırmacılar bu tasarım ile sistemin 8,5 ton/yıl su tasarrufu sağlayacağını ve yerleşkedeki binalarının tüm çatılarının hesaba katılmasıyla tasarruf potansiyelinin yüksek olacağı sonucuna varmaktadır. Yeni yapılacak binalar için bu tasarım uygun olabilir ancak bitmiş binalara uygulanması her bina için uygun olmayabilir. Bu tez çalışmasında bitmiş bir bina için yağmursuyu hasadı ele alınmıştır.

Hajjar vd. (2020)'de, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi'ne uygulanan YSH sistemiyle bina çatısından gelen yağış miktarı hesaplanmıştır. Hasat suyun kullanım alanı olarak tuvalet ve lavabolar seçilmiştir. Su tüketimini ölçmek için bay ve bayan tuvalet lavaboları, pisuarlarına debimetreler yerleştirilmiş bir ay boyunca günlük olarak tuvalete ait veriler elde edilmiştir. Filtreleme ve dezenfeksiyon işlemi gerekmediğinden çeşmelere hasat suyu verilmemiştir. Hasat sisteminin üniversite yerleşkesinde hayata geçirilmesiyle hem maliyetlerin düşürülmesine hem de su kaynaklarının verimli kullanılmasına olanak sağlayacağı ve ekonomik ve çevresel açıdan kamu binalarında yağmur suyu hasadının önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

3. YÖNTEM

3.1 Yağmur Suyu Hasat Sistemi Temel Bileşenleri

Yağmur suyu hasat sistemlerinde etkili birçok bileşeni saymak mümkündür. Ancak araştırmacılar farklı bileşenlerin etkisini görmek için farklı bileşenlerle çalıştığı görülmektedir. Örneğin Farreny vd. (2011), Lai vd. (2018) ve Mao vd. (2021) daha çok çatı malzemesi, çatı eğimi ve benzeri çatı özelliklerinin YSH üzerindeki etkisini araştırmıştır. Buna göre, yüzey akışının büyük bir ölçüde yağış yüksekliği, çatı eğimi ve pürüzlülüğüne bağlı olduğunu tespit etmektedir. Lai vd. (2018) ise toplanan yağmur suyunun 15°lik metal çatı, 15°lik polikarbonat çatı ve 45°lik kil kiremit çatıdan en iyi akışın gözlemlendiğini belirtmektedir. Mao vd. (2021) de ise dört farklı çatı tipinin (beton, asfalt, galvanizli metal ve seramik karo) ve hava koşullarının yağmur suyunun kalitesini nasıl etkilediğini tespit edilmektedir. Ghisi vd. (2012), içme ve yağmur suyu talepleri ile çatı alanlarını dikkate alarak farklı durumlar oluşturmuş ve değerlendirmiştir. Diğer taraftan, Rukesh Reddy ve Rastogi (2008), depo, oluk, ilk yıkama ve filtreleme mekanizmaları gibi sistemin diğer bileşenlerini de dikkate almıştır. Angrill vd. (2017) ise daha çok çatı tankı ve yer altı tankının uygulaması üzerinde durmuştur. Madzia (2019) da "yağmur suyu hasat sistemlerinde tank, sistemin en pahalı elemanını oluşturur" ifadesini kullanmış ve tıpkı Angrill vd. (2017) gibi tank/depo üzerinde çalışmasını yapmıştır. Sangave vd. (2019) ise tank maliyetine filtrasyon sistemini de dâhil etmiş ve fizibiliteyi buna göre yapmıştır. Khastagir ve Jayasuriya (2010)'den sonra en çok bileşen ele alan araştırmacılardan biri Okoye vd. (2015) olup yağmur suyu depolama tankının uygun şekilde boyutlandırılması için mevcut çatı alanı, sakin sayısı, yağış verileri, kişi başı günlük su tüketimi vb. parametreleri de bileşen olarak ele almıştır. Khastagir ve Jayasuriya (2010) ise daha sistematik bir şekilde yağışın mekânsal dağılımının değişkenlik gösteren bölgelerde optimum tank boyutunun hesaplanması için boyutsuz bir eğri önermektedir ve bu eğri, talep ve güvenilirlik, bireysel hanelerin özelliklerini ve coğrafi konumlarını (çatı alanı ve ortalama yıllık yağış) ve tank boyutu, tankta depolanacak suyun kullanım talebi (tuvalet sifonu, bahçe sulaması çamaşırhane, vb.) gibi tüm karar verme değişkenlerini dikkate almıştır. Paudel ve Imteaz (2016), farklı iklim koşullarında (ıslak, ortalama ve kuru) tank hacmi, talep ve çatı alanı fonksiyonları kullanılarak genelleştirilmiş bir

denklem elde etmektedir. Ghisi (2010), çatı alanı, yağış miktarı, yerleşkede bulunan kişi sayısı, içme suyu ve yağmur suyu talebi gibi faktörlerin yağmur suyu depo boyutlandırması üzerindeki etkisi araştırmaktadır. Khan vd. (2021), yağış yoğunluğu, iklim şartları, tank boyutu, çatı boyutu ve su kullanıcı sayısı YSH sisteminin güvenirliliği için önemli değişkenler olduğunu belirtmektedir. Rashid vd. (2018), bir evin çatısından toplanacak olan yağmur suyunun hesaplamasında çatının yağmur suyunu soğurma kayıpları, sistem verimsizlikleri, buharlaşma kayıpları göz önünde bulundurularak maksimum su miktarını araştırmaktadır. Hoseini ve Attarzadeh Hosseini (2020), kurak ve yarı kurak alanlar için akış katsayısı, toplanan suyun hacmi, talep edilen su miktarı ve tank hacmini ana değişken olarak ele almaktadır.

Literatürden de anlaşılacağı üzere çatılar için YSH sisteminin olmazsa olmazları olarak yağış (türü, şiddeti, konumsal ve zamansal dağılımı, süresi ve miktarı), çatı (alanı, malzemesi ve eğimi), tank (boyutu, düşeydeki konumu, malzemesi), olarak sıralanabilir. Diğer taraftan, oluk, ilk yıkama ve filtreleme mekanizmalarını tali (ikincil) bileşenler olarak sıralanabilir.

Burada sadece ana bileşenler alt başlıklar altında incelenmiştir.

3.1.1 Yağış

Atmosferden sıvı ya da katı halde yeryüzüne düşen sulara yağış denilmektedir. Katı haldeki yağış kar, dolu, çığ, kırağı şekillerinde olabilirken sıvı haldeki yağış yağmur şeklindedir. Yağmur ve kar hidrolojik açıdan en önemli iki yağış şekli olup aralarındaki en önemli fark yağmur şeklindeki yağışların derhal akışa geçerken genellikle kar erimesi uzun bir süreyi kapsamaktadır (Beyazıt, 1999). Yağışların zamansal ve mekânsal açıdan değişkenlik göstermesi hasadı yapılacak su miktarının doğru tahmin edilmesini ve depo boyutlandırılmasını etkileyebilmektedir. Bu durumda hasat yapılacak bölgedeki yağışın süresi, sıklığı ve şiddetinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Yıllık, aylık, günlük ve saatlik olarak elde edilen verilerle yüzeye gelen yağışın özellikleri hesaplanabilir. Uzun süreli yağış verilerini elde etmek güç ve kimi zaman ulaşılamaz olduğundan kısa süreli yağışlar ile bir takım çalışmalar yapılarak yağış tahminleri yapılmaktadır (Ghisi vd., 2012; Yue vd., 2020).

YHS sistemlerinde yağış miktarı, hatta yerine göre şiddeti ve türü, toplanacak suyun hacmini ve tankların boyutlandırılmasını etkilediğinden en önemli değişken olarak kabul edilebilir. Doğru ve sürdürülebilir bir yağmur suyu hasat sistemi (YSHS) için uzun vadeli yağış verilerinin kullanılması önemlidir. Aksi halde modellemede önemli

hatalara sebep olabilecektir. YSH modellemesi için çeşitli uzunluklarda yağış verileri kullanılmaktadır (Ghisi vd., 2012; R. Guo ve Guo, 2018; Palla vd., 2011; Silva vd., 2015). Gelişmekte olan bölgelerde veya uzak alanlarda uzun vadeli yağış verilerinin olmaması durumunda temsili kısa vadeli yağış verilerinin kullanılmasının modelleme sonuçlarına etkisi son zamanlarda araştırılmaktadır. Bununla birlikte yeterli verisi olmayan bölgelerde kısa vadeli yağış verilerinin de kullanıldığını literatürden görmek mümkündür (Ghisi vd., 2012). Buna göre YSHS için asgari bir yağış veri uzunluğu vermek yerine yağmur suyu talebine göre bir uzunluk önerilebilir. Geraldi ve Ghisi (2018), 9 yıllık bir yağış zaman serisinin kullanılmasının tüm şehirler ve durumlar için 30 yıllık yağış zaman serileriyle muadil sonuçlar verdiğini, yağış zaman serilerinin uzunluğunun yağmur suyu tankı boyutlandırılmasında kayda değer bir etkiye sahip olmadığını iddia etmektedir. Ancak kanaatimizce hasat sistemi şekli ve kullanım durumuna göre bu etkinin (artma veya azalma şeklinde) değişebileceğini söylemek daha yerinde bir tespit olacaktır. Bu tespit basit bir örnek ile kolayca açıklanabilir: Örneğin, 5 yıl uzunluğunda bir verinin ortalaması 20 yıl uzunluğundaki bir verinin ortalamasına göre daha az güven vermektedir. Nitekim Yue vd. (2020), YSH modellemesi için veri uzunluğun yıllık yağış değişimiyle önemli miktarda ilişkili olduğunu vurgulamaktadır.

Veri uzunluğunun az olduğu veya günlük ve/veya aylık verilerin kısıtlı olduğu durumlarda veri uzunluğunu artırmak için uygun yöntemlerle verilerin türetilmesi yerinde olacaktır. Böyle durumlarda çeşitli istatistik, olasılık, yapay zekâ teknikleri ve benzeri yöntemler ile sentetik veri türetilebilir. Ancak verilerin türetilmesi için fizik temeli olan yöntemlerin tercih edilmesi, daha çok güven vermesi açısından daha uygun olacaktır.

Bu tez kapsamında 51 yıllık veri ile çalışıldığı için veri türetme üzerinde durulmamıştır.

Diğer taraftan, yağış verilerinin, dakikalık, saatlik, günlük, aylık, mevsimlik veya yıllık olması da su bütçesinin belirlenmesi açısından önemlidir. Silva vd. (2015), potansiyel su tasarrufunun yıllık yağıştan daha çok günlük yağış dağılımına bağlı olduğunu söylemektedir. Özellikle sifon, lavabo gibi günlük tüketim için düşünülen YSHS için depolama hacminin, doğrudan günlük su bütçesi esas alınarak belirlenmesi daha gerçekçidir. Bunun için de günlük yağış verilerinin kullanılmasında yarar vardır. Nitekim Nguyen ve Han (2017) de yağmursuyu hasat sistemlerinde günlük yağış

verilerinin yerine aylık yağış verilerinin kullanılması hatalara sebep verebileceğini dile getirmektedir. Rowe (2011) ve Campisano vd. (2012) de aynı amaçla günlük yağış verisini kullanmaktadır. Her ne kadar Zhang vd. (2020), günlük yağış zaman serisi kullanılarak hesaplanan sonuçların %95 gibi yüksek bir oranda saatlik yağış verileri kullanılarak oluşturulan sonuçlara yakın olduğunu ifade ediyorsa da imkânlar çerçevesinde saatlik yağış verileri ile çalışılması daha uygun bir çözüm olacağı açıktır. Aylık yağış verilerine sahip olunması durumunda uygun istatistik/olasılık veya diğer yöntemlerle verilerin en az günlük hale getirilmesi gereklidir. Böyle bir dönüşüm için güven vermesi açısından uygun yöntemlerin kullanılması oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında, saatlik yağış verilerinden günlük ortalama yağış verisi elde edilmiş ve günlük su bütçesinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Günlük su bütçesinin belirlenmesine yönelik olarak literatürde farklı yaklaşımlar önerilmektedir. Örneğin, Kim vd. (2012), YSH sistemindeki tüm bileşenler için kütlenin korunumu kanunu (süreklilik denklemi) esaslı denklemler geliştirmiştir. Rowe (2011) günlük yağış verilerini girerek elektronik tablo modeli ile depo kapasitesini (m^3) çatı alanının (m^2) 0,37 katı olarak belirlemektedir. Ancak sabit bir derinlik için depo alanı ile çatı alanı arasında sabit bir oran belirlemenin daha büyük kolaylıkları sağlayacağı söylenebilir. Oysa yazarlar, sıradan bir konut için su talebi ne olursa olsun, aşılmasının hiçbir faydasının olmadığı bir su deposu kapasitesi "maksimum optimum kapasite" olduğunu ve bu kapasitenin de toplama alanının ve yağışın zamansal değişiminin fonksiyonu olduğunu ifade etmektedir.

3.1.2 Toplama Alanı (Çatılar)

Yağmur suyu hasat (YSH) sistemleri artan su ihtiyacına paralel olarak her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır. Yağmur suyu hasat sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olan toplama alanı (çatılar) üzerine birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Toplama alanı, hasadı yapılacak yağışın temas ettiği yüzey alandır. Yağmur suyunu sisteme sağlayan alanlar genellikle binanın çatısıdır (Üstün vd., 2020). Yağmur suyunun kalitesini toplama yüzeyi, miktarını ise toplama alanının büyüklüğü etkilemektedir (Ling ve Benham, 2014). Çatılarda yağmur suyunun akışı sırasında çatı eğimi, çatı malzemesi, rüzgâr etkisi, buharlaşma, sızıntı vb. sebeplerden kayıplar söz konusudur ve yağışların tamamı toplanamamaktadır (Üstün vd., 2020). Bu sebeple hasat edilecek yağmur suyu için çatılardaki kayıplar dikkate alınmalıdır. Farreny vd.

(2011) dört farklı çatı seçimi ile çatılar arasında farklılıkları değerlendirmektedir. Sonuçlara göre yüzey akışının yağış yüksekliği dışında büyük bir ölçüde çatı eğimi ve pürüzlülüğüne bağlı olduğunu tespit etmektedir. Çalışmada eğimli çatıların akış suyu kalitesi açısından diğer çatılara oranla daha iyi olduğu sonucuna varılmaktadır. Çatı eğimi ve çatı türünün yağmur suyuna etkisi üzerine yapılan bir diğer çalışma da Lai vd. (2018)'dir. Toplanan yağmur suyunun 15°lik metal çatı, 15°lik polikarbonat çatı ve 45°lik kil kiremit çatıdan en iyi akışın gözlemlendiği çalışmada betonarme düz çatıların ise en fazla kirli suyu topladığı tespit edilmektedir. Çatılar üzerine yapılan benzer bir diğer çalışma ise Mao vd. (2021) olup bu çalışmada ise dört farklı çatı tipinin (beton, asfalt, galvanizli metal ve seramik karo) ve hava koşullarının yağmur suyunun kalitesini nasıl etkilediği tespit edilmektedir.

Bu tez kapsamında ele alınan örnek binanın çatısı büyük ölçüde eğimli pişmiş kil (kiremit) olup toplam beslenme alanının ancak %3,68'si yatay (eğimsiz) mozaik karo şeklindedir.

Tüm çatı türleri için geçerli olmak üzere hasat edilen yağmur suyunun içme suyu kalitesine uygun olmadığı fakat sifon vb. amaçlarla kullanılabileceği söylenebilir (Lai vd., 2018). Başka araştırmacılar da Lai vd. (2018) ile aynı veya benzer görüşler içindedir. Bu yüzden yağmur suyu hasadı sistemlerinde bölünmüş alt sistemler önerilmekte ve bunların ayrı ayrı maliyetleri belirlenmekte ve fayda maliyet analizleri yapılmaktadır.

3.1.3 Depolama

Toplama alanından gelen yağmur sularının biriktirildiği alandır. Yağmur suyu hasat sistem bileşenleri arasında en maliyetli bileşen olarak görülen depolar yeri ve türü seçiminde kullanım amacına göre yol izlemelidir. Stringer vd. (2013) de tankın kapasitesi, toplama alanının büyüklüğü, aylık yağış miktarı, aylık talep vb. durumlar daha sonraki kullanım yeri ile orantılı olmalıdır ifadesinde bulunmaktadır.

Angrill vd. (2017) ise daha çok çatı tankı ve yer altı tankının uygulaması üzerinde durmuştur. Farklı bina yükseklikleri için bir çatı tankının, incelenen tüm durumlarda, bir yeraltı tankından çevreye daha az zararlı olduğu sonucuna varmıştır.

Sangave vd. (2019) ise tank maliyetine filtrasyon sistemini de dâhil etmiş ve fizibiliteyi buna göre yapmıştır. Tank maliyeti dâhil edilerek yapılan çalışmada yerleşim alanı geniş olan bölgelerde suyun tek bina veya kombine şekilden ziyade ortak bir tankta depolanmasının en ekonomik seçenek olduğu sonucuna varmaktadır.

Tüm çatı türleri için geçerli olmak üzere hasat edilen yağmur suyunun içme suyu kalitesine uygun olmadığı fakat sifon vb. amaçlarla kullanılabileceği söylenebilir (Lai vd., 2018).

3.2 Örnek Uygulama

Uygulama alanı olarak Diyarbakır'da bulunan 27 km² arazi alanına sahip olan Dicle Üniversitesi'nin tüm binalarından yağmur suyu hasadına örnek teşkil etmek üzere Edebiyat Fakülte binası çatısından toplanacak yağmur suyu potansiyelinin araştırılması ve tuvalet sifonlarında kullanılabilirliği amaçlanmaktadır.

3.2.1 Uygulama Alanı

Diyarbakır İli 37°55' kuzey enlemleriyle 40° 12' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüz ölçümü 15.355 km² ortalama rakım 675 m'dir. Kentin doğusunda Batman, Muş; güneyinde Mardin, batısında Şanlıurfa, Adıyaman, Malatya; kuzeyinde Elâzığ ve Bingöl illeri yer almaktadır. Çevresi yüksekliklerle kuşatılmış ortası çukur bir havza durumundadır. Tarihte "verimli hilal", günümüzde Diyarbakır havzası olarak bilinen bu çukuru batı-doğu doğrultulu geniş Dicle Vadisi oluşturur. Kent kuzeyden Güneydoğu Toroslar yayı ile kuşatılmıştır. Bu dağlar Doğu Anadolu Bölgesi ile Güneydoğu Anadolu'nu birbirinden ayırır. Diyarbakır havzasının güneybatısında ise Karacadağ kütlesi yükselir. Karacadağ, koyu renkli lavların yığılmasıyla oluşmuş eski bir volkanik dağdır (Şekil 3.1a ve Şekil 3.1b).



Şekil 3.1 a) Diyarbakır İli konumu b) Dicle Üniversitesi konumu

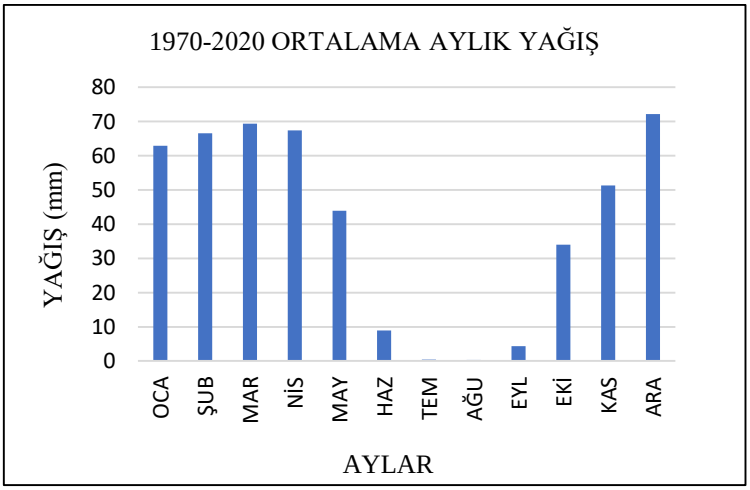
Diyarbakır il olarak coğrafi, iklim şartları, nüfus yoğunluğu ve benzeri birçok açıdan Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ni temsil etme özelliğine sahiptir. Yarı kurak bir iklime sahip olması, bahar ve kış aylarında yağış alabilen fakat yazları sıcak ve kurak olması nedeniyle Diyarbakır yağmur suyu hasadına ihtiyaç duyulan bir ildir. Hukuki tartışmalara ve süreçlere meydan verme, bina veya site sakinlerinin ittifak etmemesi riskine karşı çalışmada bir kamu binası örnek olarak seçilmiştir. Akademik bir çalışma olması ve bu çalışmanın üniversitede gerçekleştiriliyor olması nedeniyle üniversitenin binalarından biri tercih edilmiştir. Bu tercih, ulaşım olanakları, ölçüm ve gözlem yapabilme ve gerekli izinlerin alınabilmesi kolaylığı açısından da önemlidir. Diğer taraftan üniversite, su ihtiyacının bir kısmını (peyzaj, park, bahçe sulaması) özellikle yaz aylarında hala sondaj kuyularından enerji tüketerek sağlamaktadır. Eğer örnek bina üzerinde yapılan bu çalışma sonucunda fayda/maliyet analizi olumlu sonuç

verirse üniversitenin diğer tüm binalarında yağmur suyu hasadı uygulanması mümkün olacaktır.

Edebiyat Fakültesi'nin öğrenci ve personel sayısı fazladır. Bina yeni olup projelerine, binanın sair veri ve diğer kayıtlarına ulaşmak kolaydır. Bu nedenle örnek bina olarak tercih edilmiştir.

3.2.2 Diyarbakır İli İklim Koşulları ve Yağış Özellikleri

Türkiye'nin güney doğusunda yer alan Diyarbakır ili coğrafi konum nedeniyle sert kara iklimine sahiptir. Yazları çok sıcak geçer fakat kışları Güneydoğu Toroslar yayının kuzeyden gelen soğuk rüzgârları kesmesi sebebiyle Doğu Anadolu Bölgesi kadar soğuk geçmemektedir. Maksimum sıcaklıkların ortalaması 31 ^{o}C, en soğuk ay ortalaması ise 1,8 ^{o}C'dir. Günümüze kadar ölçülen en yüksek sıcaklık 46,2 ^{o}C ile 21 Temmuz 1937 gününde, en düşük sıcaklık ise -24,2 ^{o}C ile 11 Ocak 1933 gününde yaşanmıştır (Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi, 2019). Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den talep edilen 51 yıllık günlük yağış verilerinde yağış dağılımı günlere, aylara ve yıllara göre farklılıklar göstermektedir. 1970-2020 yılları arasında yıllık toplam yağış yüksekliği 481,63 mm'dir. Bu yıllar arasında yağışın yaklaşık %42'si kış mevsiminde, %56'sı ilkbahar ve sonbahar mevsiminde geri kalan %2'lik kısmı da yaz mevsiminde düşmektedir. Yukarıda da belirtildiği üzere bu özelliğinden ötürü Diyarbakır yağmur suyu hasadı açısından elverişli görülmektedir. MGM'nin istatistiklerine göre uzun yılların maksimum ortalama yağışı 72,15 mm, olarak Aralık ayında, uzun yılların minimum ortalama yağışı ise 1,0 mm altında Ağustos ayında gerçekleşmiştir. Şekil 3.2'de, Diyarbakır'da yağışların 1970 – 2020 yılları arasındaki aylık ortalamaları verilmiştir.



Şekil 3.2 Diyarbakır'da ortalama aylık yağış (MGM, 2022)

Diyarbakır ili için bazı araştırmacılar yıllık yağış yüksekliğinin uzun dönem ortalamasını 745,14 mm olarak vermektedir (Toprak, 2010). Çalışmada Diyarbakır ili sınırları içerisinde yer alan istasyonlar için alansal ortalama hesaplanmıştır Ancak uygulamanın yapılacağı alan Diyarbakır kent merkezi olduğundan çalışmada Diyarbakır merkez istasyonu yağış verileri esas alınmıştır. Çalışmada kullanılan yağış yüksekliği Toprak (2010)'da kent merkezi için verilen yağış yüksekliğine yakın olduğu görülmektedir.

3.2.3 Yağmur Suyu Miktar Hesabı ve Çatı Katsayısı

Çatı yüzeylerinden ne kadar yağmur suyu toplanacağı genel olarak Denklem (1) ile hesaplanmaktadır. Şekil 3.3'te ise bu formülün temsili olarak bir akış şeması verilmiştir.

$$Q = A * P * C_c * C_f \tag{3.1}$$

Burada;

"*Q"* çatıdan hasat edilen yağmur suyu miktarını (m^3/yıl); "*A"* hasadın yapıldığı çatı alanını; "*P"* yıllık yağış yüksekliği (mm); "C_c" çatı katsayısını; "C_f" ise filtre etkinlik katsayısıdır.



Şekil 3.3 Yağmur suyu hesaplamasında kullanılan Denklem (3.1)'in akış şeması

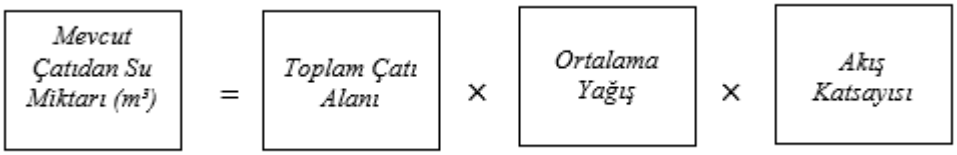
Yağmur toplama alanını binaların çatı alanı, yağış miktarını ise MGM tarafından belirlenen günlük, aylık veya yıllık ortalama yağış miktarı temsil etmektedir. Çatıya düşen bütün yağmurun bir kısmı buharlaşacak bir kısmı ise malzeme tarafından emileceği için hasat edilememektedir. Bu nedenle yağmur suyu hasat hesaplamalarında çatı eğimi ve malzemesine bağlı olarak belirlenen çatı katsayı kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra bir kısmı ise filtrasyon sırasında fire verdiği için ayrıca filtre etkinlik katsayısı da hesaplamalarda işin içine katılmaktadır.

Çatıya düşen yağmur suyu miktarının literatürde bir başka formülle de ifade edilmektedir (Kalıpcı vd., 2021; Üstün vd., 2020). Şekil 3.4'te ise bu formülün temsili olarak bir akış şeması verilmiştir.

$$Q = A * P * C \quad (3.2)$$

Burada;

"Q" çatıdan hasat edilen yağmur suyu miktarını (m^3/yıl); "A" hasadın yapıldığı çatı alanını; "P" yıllık yağış yüksekliği (mm); "C "akış katsayısıdır.



Şekil 3.4 Yağmur suyu hesaplamasında kullanılan ve Kalıpcı vd.(2021) ile Üstün vd. (2020)'in önerdiği formülün akış şeması

İncelenen çalışmalarda kayıp haline geçen yağmur suyunu ifade etmek için katsayılar çatı katsayısı ve akış katsayısı olarak iki şekilde bahsedilmektedir. Çatı katsayısı; yüzeye düşen yağmur suyunun çatı türü, çatı eğimi, rüzgâr, buharlaşma, sızıntı ve dökülmeler gibi kayıp faktörler sonucunda toplanacak suyun verimini ifade eden katsayıdır. Akış katsayısı; belirli bir havza için en büyük debi ile birim zamanda bölgeye düşen maksimum yağış arasındaki oran olarak ifade edilirken akış katsayısı tespitinde bitki örtüsü, bölgenin jeolojik-hidrojeolojik-jeomorfolojik ve diğer hidrolojik değişkenlere de dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Karakaya, 2018). Dadhich ve Mathur (2016), herhangi bir havza için çatı katsayısını "Akan su hacimleri ile çatıya düşen toplam yağmur hacmi arasındaki oranlar" olarak tanımlamaktadır. Bu tanımın doğruluğunu desteklerken yağmur suyunun hesaplanmasında çatı alanı, ortalama yağış ve akış katsayısı olmak üzere toplam üç değişken kullanılmıştır. Burada özellikle çatı katsayısı ile akış katsayısının karıştırılmaması gerektiğini söylemekte fayda vardır. Thompson (2006), akış katsayısını, "ortalama yağış yoğunluğu verilen bir su havzası tarafından üretilen akış miktarını göstermeyi amaçlayan boyutsuz bir orandır" olarak tanımlamakta ve bu tanıma çatı katsayısını da dâhil etmektedir. Ancak çatı hasadı yapılırken çatı katsayısı ifadesinin kullanımının daha doğru olduğu söylenebilir.

Çatı malzemelerinin türüne göre su tutma kapasitesi farklılık göstermektedir. Can ve Yılmaz (2019), kiremit çatılar için katsayı 0,95 olarak ifade ederken İncebel (2012), kiremit materyalinin katsayısının 0,30 olarak belirtmektedir. Farreny vd. (2011), yapılan çalışmalarda genel çatılar, eğimli ve düz çatıların türüne göre tahmini verimlilik katsayısı değerlerini Tablo 3.3 verilen şeklide sınıflandırmıştır. Tabloya

göre Pacey ve Cullis (1989) genel çatılar için akış katsayısını 0,7-0,9; ASCE (1969), McCuen (2004), Singh (1992), TxDOT (2009), Viessman ve Lewis (2003) ise 0,75-0,95 aralığında vermektedir. Çatı türüne göre diğer sınıflandırmalar Tablo 3.3 verilmiştir. Başka bir çalışmada Thompson (2006) ise bu aralığı 0,75-0,95 olarak ifade etmektedir. İncebel (2012)' in çatı türlerine göre belirlenen katsayıların diğer çalışmalar ile arasında büyük bir farkın olduğu görülmektedir. Bu konuda gerekli açıklamaların yapılması ve anlamlandırılması gerektiği düşünülmektedir. Uygulama alanında kiremit çatı türü ve iki tane beton türüne sahip balkonda yağmur suyu hasadı yapılmaktadır. Kiremit çatı katsayısı eğimli beton katsayı olan 0,9 en yakındır. Balkon için katsayı ise düz çatılar sınıflandırmasında yer alan 0,81 katsayısına göre işlemler gerçekleştirilmektedir. Çatı yüzey alanı ile ve balkon yüzeyi alanı arasındaki fark hem fazla hem de türleri farklı olduğu için hesaplamalara dâhil edilecek çatı katsayısı enterpolasyon ile hesaplanmıştır.

$$\frac{0{,}9 * 1567\ m^2 + 0{,}81 * 60\ m^2}{1627} = 0{,}896\ (Çatı\ Katsayısı)$$

Bu değer Tablo 3.1 de çatılar için genel olan ASCE (1969) ve bunu destekleyen birçok araştırmacı tarafından verilen 0,75-0,95 değer aralığına da girmektedir.

Tablo 3.1 Akış katsayısı (RC) için tahminlerinin gözden geçirilmesi (Farreny vd., 2011).

Çatı	Akış Katsayısı (RC)	Referans
Çatı (genel)	0.7-0.9	Pacey ve Cullis (1989)
	0.75-0.95	ASCE (1969), McCuen (2004), Singh (1992), TxDOT (2009), Viessman ve Lewis (2003)
	0.85	
	0.8-0.9	McCuen (2004), Rahman vd. (2010)
	0.8	Fewkes (2000)
Eğimli Çatılar	0.8-0.95	Ghisi vd.(2009)
Beton/asfalt	0.9	Lancaster (2006)
Metal	0.95	Lancaster (2006)
	0.8-0.84	Lancaster (2006)
Alüminyum	0.7	Liaw ve Tsai (2004)
Düz Çatılar		Ward vd. (2010)
Bitümlü	0.7	
Çakıl	0.8-0.85	Ward vd. (2010)
Tesviye	0.81	Lancaster (2006)
		Liaw ve Tsai (2004)

3.2.4 İçme ve Kullanma Suyuna İlişkin Mevzuat ve Standartlar

İçme ve kullanma suyu için gerekli parametreleri sağlayan kılavuz çizgileri hakkında bilgi veren ulusal ve uluslararası boyutta mevzuat ve standartlar bulunmaktadır. Aşağıda konuya ilişkin birkaç tane standart ve mevzuata değinilmiştir.

3.2.4.1 Ulusal Standartlar

Sağlık Bakanlığı'ndan insani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik:

Dört kısım ve elli üç maddeden oluşan yönetmelikte, insani tüketim amaçlı suların teknik ve hijyenik şartlara uygunluğu ile suların kalite standartlarının sağlanması, kaynak suları ve içme sularının istihsali, ambalajlanması, etiketlenmesi, satışı, denetlenmesi ile ilgili usul ve esasları düzenlemektir. Birinci kısımda genel hükümler, genel esaslar kalite standartları ve yönetmeliğe uyum çizelgesi yer almaktadır. İkinci kısım da içme-kullanma sularına ait hükümler üçüncü kısımda kaynak suları ve içme sularının izne bağlanması ve tesislere ait hükümler, kaplar, kapaklar ve etiketler ve çeşitli hükümler yazılmaktadır. Dördüncü kısım ise düzenleme yetkisi, müeyyideler ve son hükümleri içermekte ve altı tane ek ile parametreler ve parametrik değerler hakkında çeşitli belgeler sunulmaktadır.

Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan içme suyu temin edilen suların kalitesi ve arıtılması hakkında yönetmelik:

06/07/2019 tarihinde Resmi Gazete de yayınlanan 30823 sayılı yönetmeliğin amacı içme suyu temin edilen veya temin edilmesi planlanan sular ile ilgili esasları, kalite kriterleri ile suların içme ve kullanma suyu olarak kullanılabilmesi için belirlenmesi gereken arıtma sınıflarını ve arıtma veriminin tespitine ilişkin hususları belirlemektir. Dört bölümden oluşan yönetmeliğin birinci bölümünde amaç, kapsam, dayanak ve tanımlar, ikinci bölümünde genel hükümler, üçüncü bölümünde izleme ve kategorilerin belirlenmesi ile ilgili esaslar ve dördüncü bölümünde de çeşitli son hükümler yer almaktadır. Ek-1 içeren yönetmelikte kategorilere göre su kalite standartları tablosu yer almaktadır.

TS 266 insani tüketim amaçlı sular standardı:

Uluslararası Standartlar Sınıflandırması (ICS) 13.060.20 koduna sahip olan standart insanî tüketim amaçlı suların tarifine, sınıflandırma ve özelliklerine, numune alma, muayene ve deneyleri ile piyasaya arz şekline dairdir. Sınıflandırılan sular

mikrobiyolojik, kimyasal vb. özelliklerine göre çizelgeler oluşturulmuş kılavuz değerleri verilmektedir.

3.2.4.2 Uluslararası Standartlar

United States Environmental Protection Agency (EPA) ulusal birinci derece içme suyu yönetmelikleri:

Ulusal Birincil İçme Suyu Düzenlemeleri (NPDWR) , kamu su sistemlerine uygulanan yasal olarak uygulanabilir birincil standartlar ve arıtma teknikleri ile ilgilidir. Birincil standartlar ve arıtma teknikleri, içme suyundaki kirletici seviyelerini sınırlayarak halk sağlığını korur (EPA, 2009).

Avrupa Birliği içme suyu standartları:

Avrupa Birliği, insan tüketimi amacıyla kullanılacak su kalitesini 98/83/EC Konsey Direktifi. 3 Kasım 1998'de revize etmiştir. Standart kapsamında kimyasal, indikatör ve mikrobiyolojik parametreleri ve bu parametrelerin limit değerini içeren tablo mevcuttur (Suar Mühendislik).

Yağmur suyunun içme suyu olarak kullanılması durumunda bahsedilen standartların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışmada ise toplanacak yağmur suyunun sifonlarda kullanımı amaçlanmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Dicle Üniversitesi Edebiyat Fakültesi'ne uygulanan yağmur suyu hasat yöntemi ile çatılardan toplanacak olan yağmur suyunun tuvalet rezervuarlarında kullanılması halinde su tasarrufu ve ekonomik kazanç durumu analiz edilmektedir. Öncelikli olarak toplanacak yağmur suyu miktarı için çatı katsayı ve toplama alanı faktörleri dâhil edilerek sayısallaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Suyun depolanmasında optimum hazne kapasitesi bulunarak depolanan suyun bina içinde rezervuarlara iletilmesinde alternatif durumlar değerlendirilmiş ve sistem kurulumu için maliyet analizi elde edilmektedir.

4.1 D.Ü. Edebiyat Fakültesi Yağmur Suyu Arz Miktarı

Dicle Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığından talep edilen verilere göre Edebiyat Fakülte binası bodrum kat ve zemin kat dâhil toplam 5 kattan oluşmaktadır. Toplam yüksekliği 16,25 m olup 1.567 m² çatı alanına sahiptir. Buna iki tane üstü açık balkonlardan (teras) alanı da eklenince toplam alan 1.627 m^2 olmaktadır. Ancak balkon ve çatı için farklı katsayılar kullanılmıştır. Binada 20 oda, 2 balkon ve 48 tane tuvalet bulunmaktadır (Şekil 4.1). Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den temin edilen 51 yıllık günlük yağış verileri kullanılarak uzun dönem günlük ortalama yağış verisi elde edilmiştir. Kullanılan veriler Tablo 4.1 de verilmiştir. Çatı katsayısı ise Tablo 3.1'den enterpolasyon ile 0,896 olarak hesaplanmıştır. Hasat edilecek olan su içme suyu olarak kullanılmayacağı için arıtma şeklinde biyolojik veya kimyasal bir filtrasyon yapılmayacak sadece kaba daneli veya yüzen cisimleri tutmak için fiziksel bir filtrasyon olacaktır. Bu nedenle filtre etkinlik katsayısı hesaba katılmamıştır.



Şekil 4.1 Dicle Üniversitesi Edebiyat Fakültesi a) çatı görünüşü b) bina görünüşü

Tablo 4.1 Diyarbakır ili için uzun dönem ortalama günlük yağışlar

GÜN/AY	OCAK	ŞUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZIRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKIM	KASIM	ARALIK
1	2,24	4,36	3,52	3,90	3,92	0,56	0,00	0,00	0,00	1,27	3,37	6,67
2	3,46	2,95	3,67	5,43	3,87	0,65	0,13	0,03	0,05	0,14	7,18	4,40
3	4,35	2,98	2,39	5,92	4,04	1,17	0,00	0,00	0,11	1,59	3,32	2,80
4	3,87	3,76	4,52	5,68	5,64	0,53	0,10	0,03	0,01	1,13	1,73	3,68
5	4,96	2,36	2,67	4,42	1,86	2,04	0,00	0,00	0,07	0,05	3,12	4,49
6	5,34	2,86	3,13	1,96	2,69	1,06	0,02	0,00	0,03	0,21	1,14	4,75
7	2,63	5,74	1,66	1,24	2,07	0,23	0,00	0,03	0,01	0,84	2,10	4,22
8	3,26	6,22	2,23	2,78	3,36	0,13	0,07	0,00	0,05	0,83	1,60	4,29
9	3,58	6,48	3,55	3,61	3,18	0,14	0,00	0,06	0,05	0,12	1,77	3,59
10	1,54	3,49	2,21	4,79	2,43	0,77	0,03	0,00	0,17	0,30	3,72	6,42
11	2,32	1,55	2,82	3,69	3,39	0,05	0,01	0,00	0,10	1,06	5,72	2,57
12	2,05	2,62	2,47	3,77	2,31	0,38	0,00	0,00	0,17	0,73	1,85	2,52
13	1,21	2,43	3,58	3,18	3,74	0,19	0,04	0,00	0,07	1,20	1,88	4,95
14	1,45	3,76	5,11	6,47	3,44	0,02	0,00	0,00	0,00	0,62	0,31	8,24
15	3,57	4,91	3,68	2,32	2,77	0,15	0,00	0,11	0,01	0,97	2,84	4,26
16	3,62	3,68	2,71	3,84	2,88	1,30	0,02	0,01	0,42	0,90	1,36	2,48
17	5,61	5,79	2,21	4,70	2,11	0,56	0,03	0,00	0,00	1,26	3,95	3,00
18	2,79	3,60	4,34	3,53	1,49	1,52	0,00	0,00	0,07	3,78	2,63	2,99
19	4,36	4,28	2,28	5,14	1,54	1,09	0,00	0,12	0,02	4,09	3,45	3,07
20	3,14	5,21	5,24	1,31	2,01	0,41	0,00	0,00	0,08	1,44	1,88	3,48
21	3,02	2,88	4,05	2,27	0,47	0,10	0,10	0,01	0,45	2,85	0,91	2,48
22	2,91	5,34	2,72	2,94	1,08	0,17	0,00	0,00	0,44	1,87	4,95	2,48
23	2,08	3,57	3,30	5,35	1,05	0,05	0,00	0,07	0,00	1,14	2,68	2,17
24	4,65	2,49	7,15	4,20	1,50	0,21	0,01	0,04	0,73	1,66	3,00	2,73
25	2,99	3,94	5,45	1,80	2,61	0,48	0,03	0,00	0,08	4,01	2,93	3,14
26	3,37	4,34	4,23	1,50	1,32	0,34	0,05	0,01	0,13	4,42	3,47	2,95
27	2,45	1,30	3,73	1,11	0,37	0,09	0,00	0,00	0,77	2,35	3,45	5,98
28	3,26	4,81	4,13	3,80	0,82	0,03	0,00	0,00	1,35	3,78	1,64	3,48
29	3,61	0,64	3,97	4,52	1,51	0,00	0,02	0,02	0,73	6,63	2,94	2,90
30	2,47		5,61	4,47	1,39	0,00	0,05	0,00	0,94	2,99	2,56	2,40
31	6,28		4,58		0,59		0,00	0,00		1,08		3,81

Dicle üniversitesi Edebiyat Fakülte binasında toplanacak yağmur suyu hasadı Denklem (3.1) ile 365 gün için hesaplanmıştır. Elde edilen yağış miktarları daha sonra eklemeli bir şekilde yıl boyunca toplanarak hasadı yapılan yağmur suyu miktarı **680,01 m³** olarak bulunmuştur.

4.2 D.Ü. Edebiyat Fakültesi Şebeke Suyu Talep Miktarı

Su talep miktarı kişi sayısı ve kullanım miktarına bağlı olarak bulunmaktadır. Edebiyat Fakültesi'nde kişi sayısı, 3.365'i, 96'sı çalışan olmak üzere toplam 3.461 olarak belirlenmiştir. Eğitim-öğretim yılı olarak 2020-2021 döneminde okulda bulunan kişi sayısı 0,96 katsayısıyla çarpılarak yarıyıl ve yaz tatillerini de içeren net günlük 3.323 kişiye göre işlemler yapılmıştır. Kişi başı sifon çekme sayısı günde 1 kez ve bir kez sifon çekmek ile ortalama 8 litre su tüketildiği kabul edilmiştir. Yaz ve hafta sonu tatilleri ile yaz okulunu da dikkate alınarak sifonlarda tüketilecek yıllık su miktarı **5.606,99 m³** olarak hesaplanmıştır.

4.3 Alternatif Sistemlerin Fayda Maliyet Analizi

Burada üç alternatiften ikisine yer verilmiştir. Birinci alternatif olarak arıtma sistemi ve mevcut deponun kullanılması. Bu alternatif ile depo inşası olmayacağı için maliyeti de olmayacaktır. Ancak mevcut depo suyu beyaz şebeke suyu olup gri olan hasat suyunun bu depoya verilmesi halinde arıtma sistemine ihtiyaç duyulacaktır. Arıtma sistemi pahalı olacağı göz önünde bulundurularak bu alternatif üzerinde durulmamıştır. İkinci alternatif olarak borulu bir şebeke ile beslenen depo inşasıdır. Üçüncü alternatif ise ızgaralı ve kum dolgulu kanal şebekeli depo inşasıdır. Her iki alternatifin ayrıntılı olarak fayda/maliyet açısından analizi yapılmış ve analiz sonuçları aşağıdaki iki alt başlık altında sunulmuştur. Her iki son alternatif için deponun betonarmeden inşası veya plastik 10 tonluk bir deponun kullanılması olmak üzere iki farklı analiz yapılmıştır. Analizde, depo maliyeti ve alternatif toplayıcı şebeke maliyeti, pompa maliyeti yıllık bakım ve onarım giderleri ve enerji tüketim giderleri esas alınmıştır.

4.3.1 Alternatif 1: Borulu Şebeke İle Depo İnşa Durumu

Bu alternatifte, binanın bodrumunda yer alan 90 m³ şebeke deposunun yanına 10 m³' lük bir depo yerleştirilerek yağmur suyunun burada depolanması ve sifonlara iletilmesi planlanmıştır. Buna göre sistem maliyeti, depo maliyeti, boru ve kazı işlemleri, yıllık bakım onarım maliyetleri ve yıllık enerji tüketimi toplam maliyete yansıtılmıştır.

Sistem maliyeti: Yapılan piyasa araştırmasında 10 m³ lük suyun iletiminde 370 W gücünde saatte 3 m³ 22 m yüksekliğine 2-5 bar basınç ile su veren "Metal Dişli Otomatik Sistem Paket Hidrofor Su Pompası" tercih edilmektedir. Tercih edilen pompanın maliyeti ise **830,00 ₺** dir (n11.com, 2022).

Pompanın yıllık enerji tüketimi maliyeti:

Pompa gücü hesaplamasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$P = \frac{Q*H*\rho}{367*n_h} \tag{4.1}$$

Debi (Q): Birim zamanda pompadan geçen sıvının hacmidir. (m^3/h) ve (lt/sn) birimleri kullanılır.

Pompa Basma Yüksekliği (H): Pompanın akışkana verdiği faydalı kinetik enerjidir. Pompanın giriş ağzı ile çıkış ağzı arasından ölçülür. Yaygın olarak (mSS) birimi kullanılır.

Hidrolik Verim (ηh): Mil gücünün ne kadarının akışkana iletildiğini yüzdesel olarak ifade eden terimdir.

Birim Hacmin Kütlesi (ρ): Akışkan genellikle su olduğu için yoğunluğu 1 olarak kabul edilir. Birimi (kg/m^3) tür.

Sistem için tercih edilen pompanın hidrolik verimi aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır (Karassik vd., 2008).

$$n_h = \left(1 - \frac{0,071}{Q^{0,25}}\right) * 100 \quad (4.2)$$

$$n_h = \left(1 - \frac{0,071}{3^{0,25}}\right) * 100 = \%\ 94,6\ lık\ bir\ verim\ elde\ edilir.$$

$$P = \frac{3\frac{m^3}{s} * 50m * 1\frac{kg}{m^3}}{367 * 0,946} = 0,432\ kW$$

$$P = 0,432\ kW = 432\ W$$

365 gün boyunca pompanın faaliyette olduğu varsayılarak yılda 8.760 saat çalışmaktadır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından hazırlanan 2022 yılına ait faaliyet bazlı tarifeler fiyatlandırılması Tablo 4.2 de verilmiştir. Verilen fiyatlara göre meskenlerde günlük 8 kWh üstünde elektrik tüketim bedeli KDV dâhil 1,34 kr/kWh olarak verilmektedir. Pompanın için;

Yıllık enerji tüketimi = 4.351,968 kWh* 1,34 ₺ = **5.831,64 ₺**

Tablo 4.2 EPDK tarafından onaylanan ve uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler

	EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Nisan 2022 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler									
	1.04.2022	Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi Kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Tüketici	195,4965	197,9034	312,977	105,0276	0	195,4965	197,9034	312,977	105,0276
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bede	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
		Orta Gerilim					Orta Gerilim			
		Çift Terimli					Çift Terimli			
	Sanayi	195,4965	197,9034	312,977	105,0276	14,7972	210,2937	212,7006	327,7742	119,8248
	Ticarethane	179,3849	181,2074	285,5953	98,1502	23,0611	202,446	204,2685	308,6564	121,2113
	Mesken	129,8706	132,0379	210,9765	68,9122	22,8419	152,7125	154,8798	233,8184	91,7541
	Tarımsal Sulama	134,4881	135,8913	215,9899	71,8848	18,9925	153,4806	154,8838	234,9824	90,8773
	Aydınlatma	165,1451				22,1336	187,2787			
		Tek Terimli					Tek Terimli			
	Sanayi	202,113	204,6035	323,6222	108,5434	16,3448	218,4578	220,9483	339,967	124,8882
	Ticarethane	182,5837	184,4062	288,7941	101,3485	28,766	211,3497	213,1722	317,5601	130,1145
	Mesken	130,9038	133,0713	212,0088	69,9448	28,2039	159,1077	161,2752	240,2127	98,1487
	Tarımsal Sulama	135,9633	137,3665	217,4653	73,3592	23,6477	159,611	161,0142	241,113	97,0069
	Aydınlatma	168,1114				27,61	195,7214			
		Alçak Gerilim					Alçak Gerilim			
		Tek Terimli					Tek Terimli			
	Sanayi	204,8204	207,1843	320,2166	115,9563	25,2888	230,1092	232,4731	345,5054	141,2451
	Ticarethane (30 kWh/gün ve altı)	133,1871	190,2848	294,6726	107,2275	34,2716	167,4587	224,5564	328,9442	141,4991
	Ticarethane (30 kWh/gün üstü)	188,4627	190,2848	294,6726	107,2275	34,2716	222,7343	224,5564	328,9442	141,4991
	Mesken (8 kWh/gün ve altı)	78,919	136,5075	215,4457	73,3809	33,5187	112,4377	170,0262	248,9644	106,8996
	Mesken (8 kWh/gün üstü)	134,3397	136,5075	215,4457	73,3809	33,5187	167,8584	170,0262	248,9644	106,8996
	Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	30,8956				22,7335	53,6291			
	Tarımsal Sulama	139,4434	143,1182	220,9458	76,8394	28,1603	167,6037	171,2785	249,1061	104,9997
	Aydınlatma	173,6784				32,8247	206,5031			
	Genel Aydınlatma	204,76				32,8247	237,5847			

Depo maliyeti: Depo için iki farklı seçenek değerlendirilmiştir. Plastik su depo fiyatı için piyasa araştırması yapılmış ve 10 m³ bir plastik su depo maliyeti 13.000,00 ₺ olarak fiyatlandırılmıştır. İkinci seçenek olarak 10 m³ lük bir betonarme depo değerlendirilmiş ve 2m*3m*2m ebatlarında 20 cm duvar kalınlığında bir depo inşası durumu ele alınmıştır. Betonarme depo maliyeti için Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının (ÇŞİDB) inşaat birim fiyat analizlerinden yararlanılmıştır. Burada proje ve hesap detaylarına girilmemiş ancak maliyetin yaklaşık olarak hesaplanmasında aşağıda kısaca verilen şartlar göz önünde bulundurulmuştur. Betonarme yapı için kalıp imalatı toplam 46 m²'dir. Donatı ise 20 cm arayla 2 m uzunluğunda 160 adet ve 3 m uzunluğunda 160 adet toplam 320 adet donatı kullanılmaktadır. 1m Ø 12 mm donatının ağırlığı 0,888 kg'dır. Toplam uzunluk 800 m toplam ağırlık ise 710,4 kg olmaktadır. Depo için kullanılacak beton miktarı ise 6,4

m³ dir. Buna göre hesaplanan betonarme depo maliyeti hesap sonuçları Tablo 4.3'te, boru ve kazı maliyeti hesap sonuçları ise Tablo 4.4'te verilmiştir. Sıhhi tesisat maliyetinin hesaplanmasında Tablo 4.5'te verilen "Satış Sonrası Hizmetler Yönetmeliği" de dikkate alınmıştır. Boru ve kazı maliyeti için "döküm ızgaralı kanal" ve "kompozit ızgaralı kanal" olmak üzere farklı malzemeler ile iki alternatif daha dikkate alınmıştır. Bu iki alternatifin maliyet hesap sonuçları Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de sunulmuştur. Depo maliyetin belirlenmesinde işçilik dâhil kalıp, donatı ve beton dökümü için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB, 2022)'nın kalıp inşaat birim fiyat analizi esas alınmıştır (Tablo 4.8, Tablo 4.9 ve Tablo 4.10).

Tablo 4.3 Betonarme depo maliyeti

BETONARME DEPO		MALİYET
Kalıp (m^2)	46,0	5.720,56 ₺
Donatı (kg)	710,4	9.716,94 ₺
Beton (m^3)	6,4	3.657,34 ₺
	TOPLAM	**19.094,84 ₺**

Boru ve kazı maliyeti: Binada 16 adet çatı bağlantı noktası ve 2 adet de balkonlara bağlı olmak üzere toplam 18 adet düşey akımı sağlayan boru mevcuttur. Bu boruların toplam uzunluğu 210 m olarak hesaplanmıştır. Yatayda depoya suyu ulaştırmak için döşenmesi gereken boru mesafesi ise toplam 220 m ve toplam kullanılacak dirsek sayısı 15 adet olarak belirlenmiştir. Çatı ve balkon bağlantısında kullanılacak boru 100 mm çapında bir ucu muflu sert PVC yağmur suyu borusu kullanılacaktır. Yağmur suyu borusu birim fiyat analizi Tablo 4.11 verilmiştir. Yer altına döşenecek boru türü ise 150 mm çapında yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilen (SN 4) esaslı koruge borudan döşenmesi tercih edilmiştir. Koruge borular için ÇŞİDB tarafından yayınlanan inşaat birim fiyat analizi pozlarına rastlanmadığından boru maliyeti için piyasa araştırılması yapılmış işçilikte yevmiye hesabıyla dâhil edilmiştir. Boru ustası için saatlik ücret 34,50 ₺ günde 8 saat çalışma ve 5 günlük iş hesabına göre maliyet hesaplanmıştır. Boru döşenmesi için 220 m uzunluğunda 1 m yükseklik ve 50 cm genişliğinde kazı imalatına ihtiyaç vardır. Kazı imalatının da hesabı yapılmış ve birim fiyat analizi Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Boru ve kazı maliyeti

BORU VE KAZI	MİKTAR	MALİYET
PVC Boru (m)	210	11.934,3 ₺
Koruge Boru (m)	220	8.009,3 ₺
Koruge Boru İşçilik (gün)	5	1.380,00 ₺
Kazı (m^3)	110	1.204,5 ₺
	TOPLAM	**22.528,1 ₺**

***Yıllık bakım ve onarım*:** Resmî Gazete 'de yayınlanan 13.06.2014 tarihli ve 29029 sayılı Satış Sonrası Hizmetler Yönetmeliği referans alınarak 10 yıl boyunca sistem için bakım onarım olmadığı garanti kapsamında olduğu 20 iş günü içerisinde işletme giderleri de esas alınmamıştır.

Tablo 4.5 Satış sonrası hizmetler yönetmeliği

4	**SIHHİ TESİSAT ÜRÜNLERİ**				
	4.1	Hidroforlar	10 Yıl	1 Servis	20 İş Günü
	4.2	Su Arıtma Cihazları	10 Yıl	7 Coğrafi Bölgede Toplam 7 Servis	20 İş Günü
	4.3	Motorlu Su Pompaları	5 Yıl	1 Servis	20 İş Günü
	4.4	Vanalar	5 Yıl	Servis Gerekmez	20 İş Günü
	4.5	Bataryalar (Sıhhi Tesisat)	5 Yıl	Servis Gerekmez	20 İş Günü
	4.6	Musluklar	5 Yıl	Servis Gerekmez	20 İş Günü
	4.7	Rezervuarlar	5 Yıl	Servis Gerekmez	20 İş Günü
	4.8	Küvet Ve Duş Tekneleri	10 Yıl	Servis Gerekmez	20 İş Günü
	4.9	Hidromasaj Sistemleri Ve Jakuziler	10 Yıl	1 Servis	20 İş Günü
	4.10	Duşakabinler	10 Yıl	1 Servis	20 İş Günü
	4.11	Elektrikli Saunalar	10 Yıl	Servis Gerekmez	20 İş Günü
	4.12	Lavabolar	10 Yıl	Servis Gerekmez	20 İş Günü
	4.13	Klozetler	10 Yıl	Servis Gerekmez	20 İş Günü
	4.14	Eviyeler	10 Yıl	Servis Gerekmez	20 İş Günü

4.3.2 Alternatif 2: Izgaralı ve Kum Dolgulu Kanal Şebekesi İle Depo İnşa Durumu

Fakülte binasını çevreleyen ızgaralı bir kanal inşası yapılması durumu ve bu ızgaralardan toplanacak yağmur suyunun depoya verilmesi ikinci alternatif olarak değerlendirilmiştir. Edebiyat Fakültesi toplam çevre uzunluğu 234 m'dir. Piyasa

incelemesinde 20 x 100 x 20 cm boyutlarında polimer kanal döküm ızgaralı ve polimer kanal kompozit ızgaralı iki çeşit kanal ızgara için birim fiyatlar sırasıyla 722,00 ₺ ve 635,00 ₺ alınmış uygulama durumları analiz edilmiştir. Prefabrik kanal kullanılacağından, kazı genişliği ve derinliğinin prefabrik kanal kanalın derinlik ve genişliğinden fazla olacaktır. Bu nedenle ikisi arasında meydana gelen boşlukları doldurmak için grobeton kullanılmalıdır. Grobeton için birim fiyat analizi Tablo 4.13'de verilmiştir. Yağmur suyunun kaba (fiziksel) filtrasyon işlemini gerçekleştirmek için kanal içine 10 cm yüksekliğinde kum döşenecektir. Kum filtrasyonu için birim fiyat analizi Tablo 4.14'de verilmiştir. Kanal içindeki suyun bodrum kattaki depoya aktarılması 12 m uzunluğunda koruge bir boru ile gerçekleştirilecektir. Depolanan yağmur suyunun tuvalet sifonlarına iletilmesi için sistem maliyeti ve pompanın yıllık enerji maliyeti de hesaplara yansıtılmıştır.

Tablo 4.6 Alternatif 2 döküm ızgaralı kanal maliyeti

KANAL IZGARA	**MİKTAR**	**MALİYET**
Döküm ızgara (m)	234,00	168.948,00
Kazı (m^3)	140,40	1.537,38 ₺
Beton (m^3)	105,30	51.260,04 ₺
Kum Filtrasyon (m^3)	4,68	547,00 ₺
Boru Maliyeti ve işçilik (TL/m)	12,00	682,32 ₺
Sistem maliyeti (adet)		830,00
Pompanın yıllık enerji maliyeti (saat)		5.831,64 ₺
	TOPLAM	**229.636,38 ₺**

Tablo 4.7Alternatif 2 kompozit ızgaralı kanal maliyeti

KANAL IZGARA	**MİKTAR**	**MALİYET**
Kompozit ızgara (m)	234,00	148.590,00 ₺
Kazı (m^3)	140,40	1.537,38 ₺
Beton (m^3)	105,30	51.260,04 ₺
Kum Filtrasyon (m^3)	4,68	547,00 ₺
Boru Maliyeti ve işçilik	12,00	682,32 ₺
Sistem maliyeti (adet)	1,00	830,00 ₺
Pompanın yıllık enerji	8.760	5.831,64 ₺
	TOPLAM	**209.278,38 ₺**

Tablo 4.8 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın kalıp inşaat birim fiyat analizi (ÇŞİDB, 2022)

İnşaat Birim Fiyat Analizi

01.01.2022

Poz No	Analizin Adı				Ölçü Birimi
15.180.1002	**Ahşaptan düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması**				**m²**
Poz No	Tanımı	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
	Malzeme:				
	Tahta 0,025/3= 0,0083				
	Kadron 0,020/5= 0,0040				
	Toplam = 0,0123(zayiatıyla)				
10.130.4502	Çam kerestesi (II.sınıf)	m³	0,0123	2.550,00	31,37
10.420.1006	Çivi	Kg	0,1	6,10	0,61
10.300.2191	Yağ bazlı kalıp ayırıcı	Kg	0,1	7,90	0,79
19.100.1091	Ahşap doğrama imalat atelyesinin 1 saatlik ücreti	Sa	0,012	765,83	9,19
	İşçilik:				
	Yapılması ve sökülmesi				
10.100.1086	Ahşap Kalıpçı (Betonarme)	Sa	0,75	34,50	25,88
10.100.1090	Kalıp İşleri Usta Yardımcısı	Sa	0,75	25,50	19,13
10.100.1062	Düz işçi	Sa	0,5	25,00	12,50
	Malzeme + İşçilik Tutarı				99,47
	% 25 Yüklenici karı ve genel giderler				24,87
	1 m² Fiyatı				**124,34**

Tablo 4.9 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın donatı inşaat birim fiyat analizi (ÇŞİDB, 2022)

İnşaat Birim Fiyat Analizi

01.01.2022

Poz No	Analizin Adı				Ölçü Birimi
15.160.1003	**Ø 8 - Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması**				**Ton**
Poz No	Tanımı	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
	Malzeme:				
10.130.1704	Beton çelik çubuğu nervürlü	Kg	1050	9,10	9.555,00
	Zaiyatı ve bağlatı teli dahil				
	İşçilik:				
19.100.1111	Demir kesme ve bükme makinası	Sa	2	17,50	35,00
	Kesilmesi, bükülmesi, yerine konulması				
10.100.1019	Soğuk demirci ustası	Sa	10	34,50	345,00
10.100.1047	Soğuk demirci usta yardımcısı	Sa	15	25,50	382,50
10.100.1062	Düz işçi	Sa	15	25,00	375,00
10.100.1062	Düz işçi	Sa	10	25,00	250,00
	(İnşaat yerindeki yükleme, boşaltma, yatay ve düşey taşıma)				
	Malzeme + İşçilik Tutarı				10.942,50
	% 25 Yüklenici karı ve genel giderler				2.735,63
	1 Ton Fiyatı				**13.678,13**

Tablo 4.10 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın C25/30 beton inşaat birim fiyat analizi (ÇŞİDB, 2022)

İnşaat Birim Fiyat Analizi

01.01.2022

Poz No	Analizin Adı				Ölçü Birimi
15.150.1005	**Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 25/30 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)**				**m³**
Poz No	Tanımı	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
	Malzeme:				
10.130.1505	C 25/30 beton harcı (Nakliye dahil)	m³	1	425,00	425,00
10.130.9991	Su	m³	0,4	11,20	4,48
	İşçilik:				
	Beton pompası ile basılması, yerine dökülmesi, sıkıştırılması ve korunması karşılığı				
19.100.1101	Mobil Beton Pompasının Bir Saatlik Ücreti (420 HP)	Sa	0,01	1.228,14	12,28
10.100.1015	Betoncu ustası	Sa	0,15	34,50	5,18
10.100.1062	Düz işçi	Sa	0,3	25,00	7,50
19.100.1033	Beton vibratörü	Sa	0,05	54,54	2,73
	Malzeme + İşçilik Tutarı				457,17
	% 25 Yüklenici karı ve genel giderler				114,29
	1 m³ Fiyatı				**571,46**

Tablo 4.11 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yağmur borusu inşaat birim fiyat analizi (ÇŞİDB, 2022)

İnşaat Birim Fiyat Analizi

01.01.2022

Poz No	Analizin Adı				Ölçü Birimi
15.315.1002	**Ø 100 mm çapında bir ucu muflu sert PVC yağmur borusu temini ve yerine tesbiti**				**m**
Poz No	Tanımı	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
	Malzeme:				
10.420.1402	Sert PVC boru yağmur borusu (conta dahil)	m	1,05	29,00	30,45
19.100.2013	Demirden basit imalat	Kg	0,147	40,88	6,01
	İşçilik:				
10.100.1070	İkinci sınıf usta	Sa	0,2	32,50	6,50
10.100.1071	İkinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0,1	25,00	2,50
	Malzeme + İşçilik Tutarı				45,46
	% 25 Yüklenici karı ve genel giderler				11,37
	1 m Fiyatı				**56,83**

PVC'den Ø100 mm çapında borunun temin edilmesi, kelepçelerin duvara tespit edilmesi, boruların oluktan itibaren dirseklerde dâhil olarak monte edilmesi, kelepçelerin galvanizli somunlu vida ile sıkılarak yağmur borularının duvara bağlanmasının tamamlanması, her türlü bağlantı, dirsek ve müteferrik parçalan, malzeme ve zayiatı, işçilik, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, yüklenici genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m fiyatı:

Ölçü: Yerine takılmış boru ekseninin boyu üzerinden ölçülür ve eğri kısımlara bir misli zam verilir.

Tablo 4.12 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın kazı inşaat birim fiyat analizi (ÇŞİDB, 2022)

01.01.2022

Poz No	Analizin Adı				Ölçü Birimi
15.120.1001	Makine ile yumuşak ve sert toprak kazılması (Serbest kazı)				m³
Poz No	Tanımı	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
	İşçilik: Kazı, kazının taşıtlara yüklenmesi, 25 metre mesafeye kadar taşınması, boşaltılması, depo veya dolguya konulması, kazının serilmesi, kazı yeri, depo ve dolgunun tesviyesi, düzeltilmesi, boşlukların doldurulması karşılığı				
19.100.1006	Ekskavatör (paletli) (210-259 HP)	Sa	0,014	526,86	7,38
19.100.1027	Kazıcı yükleyici (100 HP)	Sa	0,005	275,84	1,38
	Malzeme + İşçilik Tutarı				8,76
	% 25 Yüklenici karı ve genel giderler				2,19
	1 m³ Fiyatı				10,95

Tablo 4.13 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın C8/10 beton inşaat birim fiyat analizi (ÇŞİDB, 2022)

İnşaat Birim Fiyat Analizi

01.01.2022

Poz No	Analizin Adı				Ölçü Birimi
15.150.1001	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 8/10 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)				m³
Poz No	Tanımı	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
	Malzeme:				
10.130.1501	C 8/10 beton harcı (Nakliye dahil)	m³	1	360,00	360,00
10.130.9991	Su	m³	0,4	11,20	4,48
	İşçilik: Beton pompası ile basılması, yerine dökülmesi, sıkıştırılması ve korunması karşılığı				
19.100.1101	Mobil Beton Pompasının Bir Saatlik Ücreti (420 HP)	Sa	0,01	1.228,14	12,28
10.100.1015	Betoncu ustası	Sa	0,15	34,50	5,18
10.100.1062	Düz işçi	Sa	0,3	25,00	7,50
	Malzeme + İşçilik Tutarı				389,44
	% 25 Yüklenici karı ve genel giderler				97,36
	1 m³ Fiyatı				486,80

Tablo 4.14 Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın kum filtrasyonu birim fiyat analizi (ÇŞİDB, 2022)

01.01.2022

Poz No	Analizin Adı				Ölçü Birimi
15.125.1005	**Kum temin edilerek, drenaj yapılması**				**m³**
Poz No	Tanımı	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
	Malzeme:				
10.130.1005	Kum (tuvenan agregadan elenmiş ve yıkanmış)	m³	1	43,50	43,50
	İşçilik:				
10.100.1062	Düz işçi	Sa	2	25,00	50,00
	Malzeme + İşçilik Tutarı				93,50
	% 25 Yüklenici karı ve genel giderler				23,38
	1 m³ Fiyatı				**116,88**
Tasdikli proje ve detaylarına uygun olarak drenaj yapılması için kumun temin edilmesi, drenaj yapılacak hendek içine el ile atılması ve tabaka tabaka serilmesi için, her türlü işçilik, malzeme ve zayiatı, iş yerinde yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, yüklenici genel giderleri ve kârı dâhil 1 m³ fiyatı : Ölçü: Projesindeki ölçülere göre hacmi hesaplanır.					

Tablo 4.15 Alternatif durumlar analizi

ALTERNATİFLER	BETONARME DEPO	PLASTİK DEPO
Borulu Şebeke	48.284,58₺	42.189,74₺
Döküm Izgaralı ve Kum Dolgulu Kanal Şebekesi	248.731,22 ₺	242.636,38 ₺
Kompozit Izgaralı ve Kum Dolgulu Kanal Şebekesi	228.373,22 ₺	222.278,38 ₺

Uygulama alanı için değerlendirilen Alternatifler Tablo 4.15' de verilmiştir. Hasadı yapılacak yağmur suyunun yıl boyunca toplanması durumunda toplam kazanç 5.440,1 ₺ olmaktadır. Tablo 4.15'e bakıldığında sistemin kurulum maliyetleri iki farklı depo hali için analiz edilmiş ve depo açısından maliyet düşüklüğünden plastik depoların tercih edilmesi gerektiği ve genel sistem içinde borular aracılığıyla suyun depoya taşınmasının daha avantajlı bir işlem olduğu tespit edilmiştir. Sistemin kendi kendini amorti etmesi ise 8 yıl sürecektir. Günümüzde suya olan ihtiyaçtan dolayı 680 m³ lük bir suyun göz ardı edilmemesi gerektiği önemle belirtilmesinde fayda vardır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya nüfusunun hızla artması, kentleşme, refah düzeyinin yükselmesi, sanayi faaliyetleri ve küresel iklim değişikliği suya olan ihtiyacı gün geçtikçe artırmaktadır. Özellikle küresel boyuttaki iklimsel değişimin en büyük olumsuz etkisi su kaynakları üzerinde olmaktadır. Gittikçe artan su kıtlığı/stresi problemine çözüm için tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yeni alternatif kaynakların arayışına gidilmekte ve atık suların yeniden kullanımı, tuzdan arındırma, yağmur suyu hasadı vb. alternatif yöntemler durulmaktadır. Bu çalışma, çatılardan yağmur suyu hasadını konusunu ele almaktadır. Yağmursuyu hasat sistemleri ilk çağlardan beri kullanılmıştır. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak zaman içerisinde gerekli ilgiyi kaybetmeye başlamıştır. Ancak anılan nedenlerle suya olan ihtiyacın artmasına paralel olarak günümüzde alternatif su kaynaklarından biri haline gelmiştir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yağmur suyu hasadı daha da önem kazanmış ve adeta bir zorunluluk haline gelmiştir. Önceleri daha çok içme ve kullanma amacıyla kullanılan hasat suları günümüzde sağlık endişesi ile bu amaçla kullanılmamakta, daha çok sulama, sifon kullanımı, hayvancılık ve benzeri faaliyetler için kullanılmaktadır. Yine önceleri daha çok hidrolojik döngü içinde doğal ortamlardan toplanan yağmursuyu günümüzde, sızdırmaz özelliği olan çatı, yol, meydan ve benzeri yapay ortamlardan da hasat edilmeye başlanmıştır. Böylece sular, temiz (içme ve evsel kullanımda), gri (sifon, sulama vb.) ve kirli sular (daha çok sulama) olarak sınıflara ayrılmakta ve yerine göre kullanılmaktadır. Hasadı yapılan suyun farklı amaçlar için kullanımı su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltarak sürdürülebilirlik açısından da fayda sağlamaktadır. Dolayısıyla günümüzün en popüler konularından biri haline gelmiş ve adeta yüzyılın buluşu olarak görülmeye başlanmıştır. Bununla birlikte yağmur suyu hasadının doğaya bir müdahale olduğu ve zorunlu olmadıkça hasadın yapılmaması gerektiği gerçeği çoğu bilim insanı tarafından göz ardı edilmektedir. Kütlenin korunumu kanunu gereği döngü içinde bulunan toplam su miktarı sabit kabul edilirse yağmur suyunun hasadı yapılmadığı takdirde doğal yollarla yağışların bir kısmı buharlaşacak bir kısmı yer altına inecek bir kısmı ise yüzey akışlarıyla doğal su kütlelerine ulaşacaktır. Yağmur suyu hasadı ile bu doğal döngü bir bakıma baypas edilmektedir. Bu yüzden tıpkı kar-buzul ve yeraltı suları gibi zorunlu olmadıkça yağmur suyu hasadının yapılmaması gerekir.

Bu çalışmada yağmur suyu hasadı, olumlu ve olumsuz yönleri bir arada dikkate alarak farklı bir bakış açısı ile değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve uygun görülen öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

1. Yağmur suyu hasadının, "hidrolojik yağmur suyu hasadı" ve "habitat yağmur suyu hasadı" olarak iki sınıfta değerlendirilebilir.
2. Hidrolojik hasat kırsal alanlarda düşen yağışların derive edilerek doğal su kaynaklarına verilmesi veya kolektörler aracılığıyla toplanması ve gerektiğinde ihtiyaç yerlerine iletilmesi şeklinde hasat edilen yağmur suyu olarak ifade edilebilir.
3. Habitat yağmur suyu hasadı ise yerleşim alanlarındaki yağmur suyu hasadını olarak ifade edilebilir.
4. Habitat yağmur suyu hasadını da yağmur suyu drenaj sistemi aracılığıyla toplanan yağmur suları ve bina, müstakil ev vs. çatılarından yapılan evsel hasat olmak üzere sistemsel açıdan iki kısımda incelemek mümkündür.
5. Bunun yanı sıra geçmişte kar şeklindeki yağışlar da dâhil olmak üzere yağış sularının sarnıçlarda toplanması şeklinde yapılan yağış suyu hasadı hem hidrolojik hem de habitat yağmur suyu hasadı olarak değerlendirilebilir.
6. Doğal su döngüsüne ciddi bir müdahale olmasına rağmen aşırı su ihtiyacı ve temiz su üretimin pahalı olduğu günümüzde kimi yer ve zamanda bir yağmur suyu hasadı zorunluluk hale gelebilmektedir.
7. Yağmur suyu hasadının zannedildiği ve akademik çalışmalarda iddia edildiği gibi yeni ve çok parlak bir düşünüş tarzı olmadığı ve gerçekten ihtiyaç olmadığı takdirde başvurulmaması gerektiği, hatta tıpkı kar ve buzul suları gibi en son başvurulacak bir su kaynağı olduğu söylenebilir.
8. Henüz planlama aşamasında olan yapılar için yağmur suyu hasat sistemleri bitmiş ve hâlihazırda kullanılan binalara nazaran daha ekonomik olduğu için önerilebilir.
9. Yatay kolektörler (toplayıcılar) olarak ızgaralı ve kum dolgulu açık kanal açık kanallar tercih edilebilir.
10. Polietilenden üretilen hazır depoların betonarme depolara hem kurulum hem de işletme maliyeti ile işçilik ve kolay kurulum açısından tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

Abu-Zreig, M., Ababneh, F. ve Abdullah, F. (2019). Assessment of rooftop rainwater harvesting in northern Jordan. *Physics Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 114*, 102794.

Agustina, I. H. ve Sinaga, O. (2021). The Study of Rainwater Harvesting for Vulnerable Households in Water Prone Areas (Case: Bekasi Regency, Indonesia). *Review of International Geographical Education Online, 11*(6).

Aladenola, O., Cashman, A. ve Brown, D. (2016). Impact of El Niño and climate change on rainwater harvesting in a Caribbean State. *Water resources management, 30*(10), 3459-3473.

Andrew Ako, A., Coretta T, N., Lydia Likowo, L. ve George Elambo, N. (2021). Rainwater harvesting (RWH): a supplement to domestic water supply in Mvog-Betsi, Yaoundé-Cameroon. *Water Supply*.

Angrill, S., Segura-Castillo, L., Petit-Boix, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X. ve Josa, A. (2017). Environmental performance of rainwater harvesting strategies in Mediterranean buildings. *The International Journal of Life Cycle Assessment, 22*(3), 398-409.

Aytek, A. ve Toprak, Z. (2001). *Fresh Water-Saltwater Distribution and Freshwater Potential of Turkey.* Paper presented at the Proc. International Symposium on Water Resources and Environmental Impact Assessment.

Basinger, M., Montalto, F. ve Lall, U. (2010). A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology, 392*(3-4), 105-118.

Batan, M. ve Toprak, Z. F. (2020). İklim Değişikliğinde Etkenler ile Sonuçların Birbirini Tetiklemesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11*(2), 759-769.

Beyazıt, M. (1999). *Hidroloji*: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.

Boelee, E., Yohannes, M., Poda, J.-N., McCartney, M., Cecchi, P., Kibret, S., . . . Laamrani, H. (2013). Options for water storage and rainwater harvesting to improve health and resilience against climate change in Africa. *Regional Environmental Change, 13*(3), 509-519.

Campisano, A., Modica, C. J. R., Conservation ve Recycling. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *63*, 9-16.

Can, A. ve Yılmaz, Ü. (2019). Yağmur Suyu Potansiyeli ve Kullanım Suyu Olarak Değerlendirilmesi.

Çelik, R. ve Toprak, Z. F. (2016). Küresel İklim Değişikliğinin Diyarbakır Kent Merkezi Yeraltı Suyu Seviyesine Etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 7*(2), 279-290.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB). (2022). *İnşaat Birim Fiyat Analizleri*. shorturl.at/nqyIM. (Erişim Tarihi:18 Mayıs 2022)

Dadhich, G. ve Mathur, P. (2016). A GIS based analysis for rooftop rain water harvesting. *International Journal of Computer Science Engineering Technology, 7*(04), 129-143.

Davutoğlu, N. A. (2020). Üçüncü ve Dördüncü Sanayi Devrimleri Arasındaki Temel ve Sistematik Farklılıkların Determinist Bir Yaklaşımla Analizi. *Management and Political Sciences Review 2*(1), 176-194.

Devkota, J., Schlachter, H. ve Apul, D. (2015). Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation. *Journal of Cleaner Production, 95*, 311-321.

Dişbudak, K. (2008). Avrupa Birliği'nde Tarım-Çevre İlişkisi ve Türkiye'nin Uyumu.

Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi. (2019). *Diyarbakır Coğrafyası, İklimi, Nüfusu.* shorturl.at/ntJN8. (Erişim Tarihi: 1 Mayıs 2022)

EPA, (2009). *National Primary Drinking Water Regulation Table*. shorturl.at/ikBG2. (Erişim Tarihi: 22 Mayıs 2022)

Eren, B., Aygün, A., Likos, S. ve Damar, A. İ. (2016). Yağmursuyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü Potansiyelinin Değerlendirilmesi Rainwater Harvesting: Assessing the Potential of Sakarya University Esentepe Campus. *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016).*

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.

Fereres, E. ve Evans, R. G. (2006). Irrigation of fruit trees and vines: an introduction. *Irrigation science, 24*(2), 55-57.

Fewkes, A. (1999). The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and Environment, 34*(6), 765-772.

Fewkes, A. (2000). Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. *Urban Water 1*(4), 323-333.

Fewkes, A. ve Butler, D. (2000). Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models. *Building Services Engineering Research and Technology, 21*(2), 99-106.

Geraldi, M. S. ve Ghisi, E. (2018). Assessment of the length of rainfall time series for rainwater harvesting in buildings. *Resources, Conservation and Recycling, 133*, 231-241.

Geraldi, M. S. ve Ghisi, E. (2019). Short-term instead of long-term rainfall time series in rainwater harvesting simulation in houses: An assessment using Bayesian Network. *Resources, Conservation Recycling 144*, 1-12.

Ghisi, E. (2010). Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. *Water Resources Management, 24*(10), 2381-2403.

Ghisi, E., Bressan, D. L. ve Martini, M. (2007). Rainwater Tank Capacity and Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater in The Residential Sector of Southeastern Brazil. *Building and Environment 42*(4), 1654-1666.

Ghisi, E., Cardoso, K. A. ve Rupp, R. F. (2012). Short-term versus long-term rainfall time series in the assessment of potable water savings by using rainwater in houses. *Journal of Environmental Management, 100*, 109-119.

Guo, R. ve Guo, Y. (2018). Stochastic modelling of the hydrologic operation of rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology, 562*, 30-39.

Guo, Y. ve Baetz, B. W. (2007). Sizing of rainwater storage units for green building applications. *Journal of Hydrologic Engineering, 12*(2), 197-205.

Günay, D. (2002). Sanayi ve sanayi tarihi. *Mimar ve Mühendis Dergisi, 31*(2002), 8-14.

Günay, D. ve Arıduru, A. (2001). *Teknolojinin konumu ve Neliği.* Paper presented at the II. Teknoloji, Kalite ve Üretim Sistemleri Konferansı

Hajjar, H., Kılınç, İ. K. ve Ülker, E. (2020). Rainwater Harvesting Potential in Public Buildings: A Case Study in Katip Celebi University. *Türk Doğa ve Fen Dergisi, 9* (Özel Sayı), 167-172.

Haque, M. M., Rahman, A. ve Samali, B. (2016). Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. *Journal of Cleaner Production, 137*, 60-69.

Hari, D., Reddy, K. R., Vikas, K., Srinivas, N. ve Vikas, G. (2018). *Assessment of rainwater harvesting potential using GIS.* Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Hashim, H., Hudzori, A., Yusop, Z. ve Ho, W. (2013). Simulation based programming for optimization of large-scale rainwater harvesting system: Malaysia case study. *Resources, Conservation and Recycling, 80*, 1-9.

Hoseini, S. ve Attarzadeh Hosseini, V. (2020). Rainwater Harvesting in Residential Areas of Arid and Semi-Arid Regions (Case Study: Torbat-E Jam, Iran). *Desert 25*(2), 130-138.

Imteaz, M. A. ve Moniruzzaman, M. (2020). Potential impacts of climate change on future rainwater tank outcomes: A case study for Sydney. *Journal of Cleaner Production, 273*, 123095.

İncebel, C. (2012). Alternatif su kaynaklarının endüstriyel kullanıma kazandırılması için çatı yağmur suyu hasadı (Ostim örneği). *Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Teknoloji Eğitimi. Yüksek Lisans Tezi*.

İnci, Ö., Sevda, S., Ünlükara, A. ve Yürekli, K. (2011). Su hasadı teknikleri, yapıları ve etkileri. (2), 65-71.

Ioan, V., Camelia, S., Erika, B. ve Robert, B. (2018). Overview Of Rainwater Harvesting Systems And Their Way of Using Them Worldwide. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 18*(5.1), 605-611.

Kahinda, J. M., Taigbenu, A. ve Boroto, R. J. (2010). Domestic rainwater harvesting as an adaptation measure to climate change in South Africa. *Physics Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 35*(13-14), 742-751.

Kalıpcı, E., Başer, V. ve Nihal, G. (2021). Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanarak Yağmur Suyu Hasadının Değerlendirilmesi: Giresun Üniversitesi Kampüs Örneği. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 10*(1), 49-58.

Karakaya, D. (2018). *Akış Katsayısının Bulanık Smrgt Yöntemi ile Modellenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi), Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır

Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P. ve Heald, C. C. (2008). *Pump handbook*: McGraw-Hill Education.

Khan, Z., Alim, M. A., Rahman, M. M. ve Rahman, A. (2021). A continental scale evaluation of rainwater harvesting in Australia. *Resources, Conservation, 167*, 105378.

Khastagir, A. ve Jayasuriya, N. (2010). Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. *Journal of Hydrology, 381*(3-4), 181-188.

Kılıç, M. Y. ve Abuş, M. N. (2018). Bahçeli Bir Konut Örneğinde Yağmur Suyu Hasadı. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi 4*(2), 209-215.

Kim, H., Han, M. ve Lee, J. Y. (2012). The application of an analytical probabilistic model for estimating the rainfall–runoff reductions achieved using a rainwater harvesting system. *Science of The Total Environment, 424*, 213-218.

Kınık, Z. ve Toprak, Z. F. (2016). Halkın iklim değişikliğine bakışı: Diyarbakır için bir alan çalışması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 7*(2), 329-342.

Kisakye, V., Akurut, M. ve Van der Bruggen, B. (2018). Effect of climate change on reliability of rainwater harvesting systems for Kabarole District, Uganda. *Water, 10*(1), 71.

Kisakye, V. ve Van der Bruggen, B. (2018). Effects of climate change on water savings and water security from rainwater harvesting systems. *Resources, Conservation Recycling 138*, 49-63.

Kolavani, N. J. ve Kolavani, N. J. (2020). Technical feasibility analysis of rainwater harvesting system implementation for domestic use. *Society, 62*, 102340.

Kraus, M. ve Juhásová Šenitková, I. (2019). *Sustainability assessment of rainwater harvesting.* Paper presented at the 19th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2019.

Kucukkaya, E., Kelesoglu, A., Gunaydin, H., Kilic, G. A. ve Unver, U. (2021). Design of a passive rainwater harvesting system with green building approach. *International Journal of Sustainable Energy, 40*(2), 175-187.

Kusre, B. C., Bora, P., Rai, D., Suranjoy Singh, S., Tana, A. ve Subba, S. (2017). Combating water scarcity through roof water harvesting: planning and design with stakeholders' perception in Sikkim (India). *Water Science Technology: Water Supply 17*(3), 799-810.

Lai, Y., Ahmad, Y., Yusoff, I., Bong, C. ve Kong, S. (2018). *Effects of roof pitch gradient and material to harvested rainwater quality.* Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Liaw, C. H. ve Tsai, Y. L. (2004). Optimum storage volume of rooftop rain water harvesting systems for domestic use 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 40*(4), 901-912.

Ling, E. ve Benham, B. (2014). Rainwater Harvesting Systems, Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech, Virginia State University. *Lecture Notes*.

Lo, K. F. A. ve Koralegedara, S. B. (2015). Effects of climate change on urban rainwater harvesting in Colombo city, Sri Lanka. *Environments, 2*(1), 105-124.

Loudière, D. ve Gourbesville, P. (2020). Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2020-L'eau et les changements climatiques. In: EDP Sciences.

Lyu, Y., Liu, Y., Guo, Y., Tian, J. ve Chen, L. (2021). Managing water sustainability in textile industry through adaptive multiple stakeholder collaboration. *Water research, 205*, 117655.

Madzia, M. (2019). Reduction of Treated Water Use through Application of Rainwater Tanks in Households. *20*(9), 156-161.

Manikandan, M., Ranghaswami, M. ve Thiyagarajan, G. (2011). Estimation of Rooftop Rain Water Harvesting Potential by Water Budgeting Study. *International Journal of Bio-resource Stress Management, 2*(1), 36-41.

Mao, J., Xia, B., Zhou, Y., Bi, F., Zhang, X., Zhang, W. ve Xia, S. (2021). Effect of Roof Materials and Weather Patterns on The Quality of Harvested Rainwater in Shanghai, China. *Journal of Cleaner Production, 279*, 123419.

Mengü, G. P. ve Akkuzu, E. (2008). Küresel Su Krizi Ve Su Hasadı Teknikleri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 5*(2), 75-85.

MGM. (2022). Diyarbakır İli Genel İstatistik Verileri. shorturl.at/koxLQ. (Erişim Tarihi: 1 Mayıs 2022)

Musayev, S., Burgess, E. ve Mellor, J. J. R., Conservation. (2018). A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change. *Resources, Conservation Recycling 132*, 62-70.

n11.com. (2022). *Metal Dişli Otomatik Sistem Paket Hidrofor Su Pompası Bakır Sargı.* shorturl.at/qsKL4. (Erişim Tarihi: 18 Mayıs 2022)

Ndiritu, J., Ilemobade, A. ve Kagoda, P. (2018). Guidelines for rainwater harvesting system design and assessment for the city of Johannesburg, South Africa. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 379*, 409-414.

Nguyen, D. C. ve Han, M. Y. (2017). Proposal of simple and reasonable method for design of rainwater harvesting system from limited rainfall data. *Resources, conservation recycling, 126*, 219-227.

Okoye, C. O., Solyalı, O. ve Akıntuğ, B. (2015). Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: A linear programming approach. *Resources, conservation recycling, 104*, 131-140.

Okulstore.com. (2022). Dünya Fiziki Haritası. shorturl.at/ijH68. (Erişim Tarihi: 1 Haziran 2022)

Oweis, T., Prinz, D. ve Hachum, A. (2001). *Water Harvesting: Indigenous Knowledge for The Future of The Drier Environments*: ICARDA.

Öktem, U. ve Aksoy, A. (2014). Türkiye'nin su riskleri raporu. *WWF-Türkiye, Ofset Yapımevi*.

Özkay, F., Taş, İ. ve Çelik, A. (2008). Sulama projelerinin çevresel etkileri. *TMMOB, 2*, 501-508.

Özölçer, İ. H. (2016). Rainwater harvesting analysis for Bülent Ecevit University central campus. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 6*(1), 22-34.

Palla, A., Gnecco, I. ve Lanza, L. (2011). Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology, 401*(1-2), 65-76.

Pandey, D. N., Gupta, A. K. ve Anderson, D. M. (2003). Rainwater harvesting as an adaptation to climate change. *Current science*, 46-59.

Paudel, U. ve Imteaz, M. A. (2016). *Generalized Equations for Potential Water Savings from Rainwater Tanks in Adelaide Under Different Climates.* Paper presented at the MATEC Web of Conferences.

Rashid, O., Awan, F., Ullah, Z. ve Hassan, I. (2018). *Rainwater Harvesting, A Measure to Meet Domestic Water Requirement; A Case Study Islamabad, Pakistan.* Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Ritchie, H. ve Roser, M. (2018*). Water Use and Stress.* shorturl.at/oxPQT.(Erişim Tarihi: 8 Mart 2022)

Rowe, M. P. (2011). Rain Water Harvesting in Bermuda [1]. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 47*(6), 1219-1227.

Rukesh Reddy, P. S. ve Rastogi, A. (2008). Rainwater harvesting in hostels 12 and 13 of IIT bombay. *ISH Journal of Hydraulic Engineering, 14*(1), 52-62.

Sangave, A., Mohite, S., Pawar, H., Kulkarni, V. ve Abhangrao, C. (2019). Design & Estimation of Rain Water Harvesting System for a college campus in Solapur City. *Int. J. Eng. Adv. Technol, 8*, 4629-4632.

Santos, C., Imteaz, M. A., Ghisi, E. ve Matos, C. (2020). The effect of climate change on domestic Rainwater Harvesting. *Science of The Total Environment, 729*, 138967.

Silva, C. M., Sousa, V. ve Carvalho, N. V. (2015). Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences. *Resources, Conservation Recycling 94*, 21-34.

Stahn, H. ve Tomini, A. (2016). On the environmental efficiency of water storage: The case of a conjunctive use of ground and rainwater. *Environmental Modeling Assessment 21*(6), 691-706.

Steffen, J., Jensen, M., Pomeroy, C. A. ve Burian, S. J. (2013). Water supply and stormwater management benefits of residential rainwater harvesting in US cities. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 49*(4), 810-824.

Stringer, A., Vogel, J., Lay, J. ve Nash, K. (2013). *Design of rainwater harvesting systems in Oklahoma*. Retrieved from Oklahoma Cooperative Extension Service:

Suar Mühendislik (b.t). Avrupa Birliği İçme Suyu Standartları.

TDK. (2022). *Türk Dil Kurumu Sözlükleri.* shorturl.at/pzYZ0. (Erişim Tarihi:1 Haziran 2022)

Teonıan Meriç, B. (2004). Su kaynakları yönetimi ve Türkiye. *Jeoloji Mühendiliği Dergisi, 28*(1), 27-38.

Thompson, D. B. (2006). The Rational Method*. *Civil Engineering Deptartment Texas Tech University*.

Toprak , Z. F. (2010). *Diyarbakır Su Kaynakları*: Diyarbakır İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü Yayınları.

Toprak, Z. F. (2016). What is the global climate change? With the perspective of the people who live. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 6*, 134-137.

Turhan, Ş. (2005). Tarımda Sürdürülebilirlik ve Organik Tarım. *Tarım Ekonomisi Dergisi, 11*(1 ve 2), 13-24.

Türkeş, M. (2000). Hava, İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma. *TC Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü* 187-205.

Tzanakakis, V. A., Paranychianakis, N. V. ve Angelakis, A. N. (2020). Water supply and water scarcity. *Water*.

Ulusoy, A. ve Vural, T. (2001). Kentleşmenin sosyo ekonomik etkileri. *Belediye Dergisi, 7*(12), 8-14.

United States Environmental Protection Agency EPA. (2019). Global Precipitation Anomaly. shorturl.at/adswJ.(Erişim Tarihi: 10 Mart 2022)

USGS (b.t). *Generalized world precipitation map.* shorturl.at/cqKNU. (Erişim Tarihi: 8 Mart 2022)

Üstün, G. E., Can, T. ve Küçük, G. (2020). Binalarda yağmur suyu hasadı. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*.

Vialle, C., Sablayrolles, C., Lovera, M., Huau, M.-C., Jacob, S. ve Montréjaud-Vignoles, M. (2012). Water quality monitoring and hydraulic evaluation of a household roof runoff harvesting system in France. *Water resources management, 26*(8), 2233-2241.

Worldometer. (2022). *Current World Population.*shorturl.at/hoMS3.(Erişim Tarihi: 8 Mart 2022)

Yannopoulos, S., Antoniou, G., Kaiafa-Saropoulou, M. ve Angelakis, A. (2017). Historical development of rainwater harvesting and use in Hellas: a preliminary review. *Water Science Technology: Water Supply, 17*(4), 1022-1034.

Yue, T., Zhang, S., Zhang, J., Zhang, B. ve Li, R. (2020). Variation of Representative Rainfall Time Series Length for Rainwater Harvesting Modelling in Different Climatic Zones. *Journal of Environmental Management, 269*, 110731.

Yükselir, H., Ağaçsapan, B. ve Çabuk, A. (2019). Cbs Tabanlı Çatıların Yağmur Suyu Toplama Kapasitesinin Hesaplanması. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences Technologies, 1*(2), 16-26.

Zhang, S., Jing, X., Yue, T. ve Wang, J. (2020). Performance Assessment of Rainwater Harvesting Systems: Influence of Operating Algorithm, Length and Temporal Scale of Rainfall Time Series. *Journal of Cleaner Production, 253*, 120044.

Zhang, S., Zhang, J., Yue, T. ve Jing, X. (2019). Impacts of climate change on urban rainwater harvesting systems. Science of The Total Environment, 665, 262-274.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	Börü Songül
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)	

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Ana Bilim Dalı	2022
Lisans	İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	2019
Lise	85.Yıl Milli Egemenlik Anadolu Lisesi	2015

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2017	Devlet Su İşleri 10 Bölge Müdürlüğü (DSİ)	Stajyer Mühendis
2018	Karayolları 9. Bölge Müdürlüğü	Stajyer Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Börü, Songül ve Toprak, Z. Fuat (2022), Yağmur Suyu Hasadı Literatürü Üzerine Bir İnceleme, Türk Hidrolik Dergisi, 6(1), 42 – 50.
2.
3.
4.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	SONGÜL BÖRÜ		
Öğrenci No	20806001		
Ana Bilim Dalı	İnşaat Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Zeynel Fuat Toprak		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	Yağmur Suyu Hasadının Farklı Bir Yaklaşım ile Değerlendirilmesi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	83		
Raporlama Tarihi	16.08.2022		
Benzerlik Oranı (%)	%9		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 83 sayfalık kısmına ilişkin, 16/08/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 9 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☐ Kaynaklar hariç

☐Alıntılar hariç/dâhil

☒Diğer (Her şey dâhil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Songül BÖRÜ
Tarih:16.08.2022
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK İmza:
Tarih:16.08.2022

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK İmza:
Tarih:16.08.2022