



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YEŞİL BİNA HEDEFİNE YÖNELİK YAĞMUR SUYU HASAT SİSTEMİ
TASARIMI: YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hira GÜNAYDIN
175103002**

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ümit ÜNVER

ŞUBAT 2021



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YEŞİL BİNA HEDEFİNE YÖNELİK YAĞMUR SUYU HASAT SİSTEMİ
TASARIMI: YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hira GÜNAYDIN
175103002**

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ümit ÜNVER

ŞUBAT 2021

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 175103002 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **HİRA GÜNAYDIN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YEŞİL BİNA HEDEFİNE YÖNELİK YAĞMUR SUYU HASAT SİSTEMİ TASARIMI: YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ÖRNEĞİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde sunmuş ve oy birliği/oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.

İmza / **Kanaati**
(Kabul/Red)

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ümit ÜNVER** /
Yalova Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI**
Uludağ Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet DİREK
Yalova Üniversitesi

Teslim Tarihi: 08 Ocak 2021
Savunma Tarihi: 10 Şubat 2021



ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve tez çalışmam sırasında tüm bilgi ve deneyimini benimle paylaşarak her aşamada yanımda olan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ümit ÜNVER'e göstermiş olduğu ilgi ve anlayış için sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında yardım ve desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca yanımda olan ve beni koşulsuz destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2021

Hira Günaydın
(Çevre Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iii
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT	xix
2.1. BREEAM Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi	12
2.2. LEED Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi.....	14
2.3. SBTool Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi	18
2.4. DGNB Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi	19
2.5. Green Star Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi.....	20
2.6. Casbee Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi	22
3. YEŞİL BİNALAR İÇİN YAĞMUR SUYU HASAT SİSTEMLERİ.....	25
4. MATERYAL VE METOD	33
4.1. Mühendislik Fakültesi	35
4.2. Yağmur Suyu Depo Dizaynı	36
4.3. Yalova İli Yağış Analizleri	40
4.3.1. Regresyon Analizi	40
4.5. Yeşil Binalar İçin Su Verimliliğine Yönelik Pasif Yağmur Suyu Hasat Sistemi Tasarımı	49
5. SONUÇLAR.....	51
5.1. Yağmur Suyu Analizi.....	51
5.4. Ekonomik Analiz	78
5.4.1. 1.Yaklaşım İçin Ekonomik Analiz.....	79
5.4.2. 2. Yaklaşım İçin Ekonomik Analiz.....	81
6. DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ.....	97



KISALTMALAR

BEE	: Çevresel etkinlik değeri
BREEAM	: Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Metodu
BS	: İngiliz Standardı
CASBEE	: Yapılı Çevre Verimliliği için Kapsamlı Değerlendirme Sistemi
DGNB	: Alman Sürdürülebilir Yapı Konseyi
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
GÖS	: Geri Ödeme Süresi
LEED	: Amerikan Yeşil Binalar Konseyi
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NBD	: Net Bugünkü Değer
PRRS	: Pasif Yağmursuyu Toplama ve Yeniden Kullanımı Sistemi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1: Türkiye’de Sektörel Su Tüketimi.....	4
Çizelge 1.2: 4 Kişilik Bir Konutta Standart ve Su Tasarrufu Sağlayan Sağlık Gereçleri ve .1 Yılda Harcanan Su Miktarları.....	6
Çizelge 1.3: PRECIS Modeli sonuçlarına göre, 1961-1990 ortalamasına kıyasla 2071-2100 döneminde Türkiye’de beklenen iklimsel değişiklikler (REC Türkiye, 2015).....	8
Çizelge 2.1: BREEAM Sertifika Kategorilerinin Yüzdeleri.....	10
Çizelge 2.2: BREEAM Sertifika Sınıfları.....	11
Çizelge 2.3: BREEAM Sertifika Sistemi Ön Koşullar.....	11
Çizelge 2.4: LEED Sertifika Sınıfları.....	12
Çizelge 2.5: LEED Sertifika Kategorilerinin Yüzdeleri.....	12
Çizelge 2.6: LEED Okul Kategorisi için Su Verimliliği Değerlendirmesi	13
Çizelge 2.7: LEED Yeni Yapılar Kategorisi için Su verimliliği Değerlendirmesi...	13
Çizelge 2.8: LEED Mahalle Kalkındırma Kategorisi İçin Su Verimliliği Değerlendirmesi.....	14
Çizelge 2.9: LEED Sağlık Merkezleri Kategorisi İçin Su Verimliliği Değerlendirmesi.....	14
Çizelge 2.10: SBTool Bina Değerlendirme Puanı.....	15
Çizelge 2.11: DGNB Sertifika Sınıfları.....	17
Çizelge 2.12: DGNB Ekoloji Kategorisi Değerlendirme Puanları.....	17
Çizelge 2.13: Green Star Puanlaması.....	18
Çizelge 4.1: Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Temel İklim Tiplerinin Özellikleri.....	31
Çizelge 4.2: Farklı Çatı Yüzeyleri İçin Çatı Katsayıları.....	33
Çizelge 5.1: 2006- 2016 Aylık Ortalama Yağış Miktarları (kg/m ²).....	45
Çizelge 5.2: Yalova İlinde En Sık Gerçekleşen Günlük Yağış Miktarları ve Frekansları.....	47
Çizelge 5.3: Depo Hacmi Sonsuz ve 25 m ³ Olduğunda Kullanılan Su Miktarı.....	48
Çizelge 5.4: Hacim 25 m ³ Olduğunda Toplanan Su miktarı ve Verim.....	52



Çizelge 5.5: Depo Hacmi Sonsuz ve 350 m ³ Olduğunda Kullanılan Su Miktarı.....	53
Çizelge 5.6: Hacim 350 m ³ Olduğunda Toplanan Su miktarı ve Verim.....	56
Çizelge 5.7: 2006-2016 Yılları Arasında Deponun Boş Kaldığı Gün Sayısı.....	57
Çizelge 5.8: Hasat edilen su ve talep karşılaştırması(Hacim:350 m ³ , Hasat katsayısı: 0.95).....	59
Çizelge 5.9: Talep ve Verim Karşılaştırması(Hacim:350 m ³ , Hasat katsayısı:0.95).	60
Çizelge 5.10: Talep ve Verim Karşılaştırması(Hacim:400 m ³ ,Hasat katsayısı:0.95).	61
Çizelge 5.11: Hat Boyunca Kayıp Katsayıları.....	62
Çizelge 5.12: Yağmur Kapsülleri Malzeme ve Üretim Maliyeti.....	68
Çizelge 5.13: Farklı Talepler İçin Hasat Edilen Su Miktarı ve Sistem Getirisi (Hacim: 350 m ³ ,Hasat katsayısı: 0.95)	69
Çizelge 5.14: 1. Yaklaşım İçin Farklı Taleplerde NBD ve Geri Ödeme Süresi.....	69
Çizelge 5.15: Farklı Talepler İçin Hasat Edilen Su Miktarı ve Sistem Getirisi (Hacim: 350 m ³ ,Hasat katsayısı: 0.95).....	71
Çizelge 5.16: 2. Yaklaşım İçin Farklı Taleplerde NBD ve Geri Ödeme Süresi.....	71
Çizelge 5.17: Kontrol ve Bakım Durumu.....	72



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Fiziksel Su Stres Seviyeleri.....	2
Şekil 1.2: Dünya Üzerinde Kuraklık Sonucu Gerçekleşen Ölümler, Hastalıklar ve Zararları (2001-2018).....	3
Şekil 1.3: Dünya Üzerinde Sel Felaketleri Sonucu Gerçekleşen Ölümler, Hastalıklar ve Zararlar (2001-2018).....	3
Şekil 1.4: Türkiye Haritasının Yertaltı Su Kaynakları Bakımından Gösterimi.....	4
Şekil 1.5: Türkiye Haritasının Topraktaki Nem Bakımından Gösterimi.....	5
Şekil 2.1: Sertifika Sistemlerinin Kriter Karşılaştırması.....	9
Şekil 2.2: SBtool Performans Kategorileri ve Dağılım Oranları.....	16
Şekil 2.3: GREEN STAR Performans Kategorileri Ve Dağılım Oranları.....	19
Şekil 2.4: CASBEE'ye Göre Yapının Çevresel Etkinliğine (BEE) Göre Sürdürülebilirlik Ve Sertifika Düzeyleri.....	20
Şekil 3.1: Doğal Su Döngüsü.....	23
Şekil 3.2: Geleneksel Şehirde Ve Sünger Şehirde Altyapı.....	24
Şekil 3.3: Chicago Belediye Sarayı'nın Yeşil Çatısı.....	25
Şekil 3.4: Çatı Büyüklüğüne ve Yıllık Yağışa Bağlı Olarak Toplanabilecek Maksimum Yağmur Suyu (m^3).....	27
Şekil 3.5: Yağmur suyu depolama sistemi.....	28
Şekil 4.1: Yalova Üniversitesi'nin Konumu.....	30
Şekil 4.2: Köppen-Geiger İklim Tiplerinde Kullanılan Harfler ve Kriterleri.....	31
Şekil 4.3: Simülasyon Modeli Akış Şeması.....	34
Şekil 4.4: Mühendislik Fakültesi Görünüşü.....	40
Şekil 4.5: 1. Yaklaşım Yağmur Kapsülü Genel Görünüş.....	40
Şekil 4.6: Güneş Kollektörü Boyutları.....	40
Şekil 5.1: Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm).....	42
Şekil 5.2: Yıl Bazında Ortalama Yağış Miktarı (mm).....	43
Şekil 5.3: Yağışlı Gün Sayısı.....	43
Şekil 5.3: Yağışlı Gün Sayısı.....	44



Şekil 5.5: Fark Analizi.....	44
Şekil 5.6: 2006-2016 Yılları Arasında Ay Bazında Ortalama Yağış Miktarı.....	45
Şekil 5.7: Günlük Ortalama Yağış Miktarları.....	46
Şekil 5.8: Yalova İli Günlük Ortalama Yağış Miktarına Bağlı Frekans Dağılımı (kg/m ²).....	47
Şekil 5.9: Hasat katsayısı ve Verim Arasındaki İlişki.....	48
Şekil 5.10: 25 m ³ İçin Hacme Bağlı Verim Grafiği.....	52
Şekil 5.11: Verimin Talep ve Depo Hacmi İle İlişkisi	57
Şekil 5.12: Depo Hacmi ve Deponun Boş Olduğu Gün Sayısı.....	58
Şekil 5.13: Talep-Kullanım Farkı Ve Depo Hacmi Arasındaki ilişki.....	59
Şekil 5.14: Hasat Edilen Su ve Talep Karşılaştırması (Hacim:350 m ³ ,Hasat katsayısı: 0.95).....	60
Şekil 5.15: Talep ve Verim Karşılaştırması (Hacim:350 m ³ , Hasat katsayısı:0.95)..	61
Şekil 5.16: Hasat edilen su ve Talep karşılaştırması (Hacim:400 m ³ , Hasat katsayısı: 0.95).....	62
Şekil 5.18: 2. Yaklaşım Yağmur Kapsülleri Yerleşimi Genel Görünüş.....	66
Şekil 5.19: 2.Yaklaşım Yağmur Kapsül Olukları Genel Görünüş.....	66
Şekil 5.20: 2. Yaklaşım Yağmur Kapsülü Yandan Görünüş.....	67
Şekil 5.20: Destek Profilleri Genel Görünüş.....	67
Şekil 5.22: Sistem Getirisi ve Talep Karşılaştırması.....	70



YEŞİL BİNA HEDEFİNE YÖNELİK YAĞMUR SUYU HASAT SİSTEMİ TASARIMI: YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Su canlı yaşamının devamı için en önemli ve vazgeçilmez kaynaktır. Son yıllarda artan nüfus ve iklim değişiklikleri nedeniyle, insanoğlu bu vazgeçilmez olarak nitelendirilen kaynağın yok olma ihtimali ile karşı karşıyadır. Türkiye şu an su sıkıntısı çeken ülkeler listesinde ve yakın gelecekte su fakiri olacağı tahmin edilmektedir. Dolayısı ile su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için su tasarruf yöntemlerinin araştırılması önem arz etmektedir.

Bu anlayıştan yola çıkarak, tez kapsamında Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi için *yeşil bina* yaklaşımıyla yağmur suyu hasat sisteminin araştırılması ele alınmıştır. Hasat edilen suyun binadaki tuvalet rezervuarlarında kullanılması düşünülmüştür. İlk olarak Yalova İli'nin yağış rejiminin istatistiki analizi yapılmıştır. Optimum depo hacmini bulabilmek için regresyon analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan araştırmalar ve hesaplamalar ile binada eş zamanlı minimum 300 maksimum 1500 öğrenci olduğu belirlenerek, bu aralıktaki su talepleri için optimum depo hacmi hesaplanmış ve verim değerlendirmesi yapılmıştır. Depoların yerleşimi için 2 yaklaşım kullanılmıştır. Ekonomik analiz farklı hasat katsayısı ve talep durumları için göz önüne alınarak yapılmıştır. İki yaklaşım için de depo maliyeti hesaplanıp 3000-15000 litre aralığındaki talepler için tasarruf potansiyeli ve geri ödeme süreleri belirlenmiştir. İki yaklaşım değerlendirildiğinde minimum geri ödeme süresi 6 yıl maksimum geri ödeme süresi 13 yıl olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Bina, Yağmur Suyu Hasadı, Pasif Yağmur Hasadı, Yeşil Kampüs, Sürdürülebilirlik, Sürdürülebilir Binalar



RAINWATER HARVESTING SYSTEM DESIGN FOR GREEN BUILDING SCOPE: EXAMPLE OF YALOVA UNIVERSITY ENGINEERING FACULTY

ABSTRACT

Water is the most significant and essential resource for the sustainability of life. Due to the increasing population and climate changes in recent years, humans are faced with the possibility of extinction of this indispensable resource. Turkey is being in the list of countries, currently suffering water shortages and in near future, she is estimated to be poor. Therefore, it is important to research water saving methods in order to protect and sustain water resources.

Based on this understanding, in this thesis, rainwater harvesting system was discussed within the scope of the green building for Yalova University Faculty of Engineering. The harvested water is intended to be used in toilet reservoirs in the building. First of all, the statistical analysis of the precipitation regime was made. In order to find the optimum storage volume, regression analysis was performed and the results were evaluated. With the researches and calculations, it was determined that there are a minimum of 300 and a maximum of 1500 students in the building simultaneously, and the tank volume and efficiency were evaluated for water demands in this range. Two approaches were used for storage assembly. Economic analysis is made by considering different scenarios for multiple demands, not for a single water demand. The cost of the storage was calculated and the savings potential and payback periods were determined for the demands in the range of 3000-15000 liters. According to two approaches, the minimum payback period is 6 years and the maximum repayment period is 13 years.

Keywords: Green Building, Rainwater Harvesting, Passive Rainwater Harvest, Green Campus, Sustainability, Sustainable Buildings



1. GİRİŞ

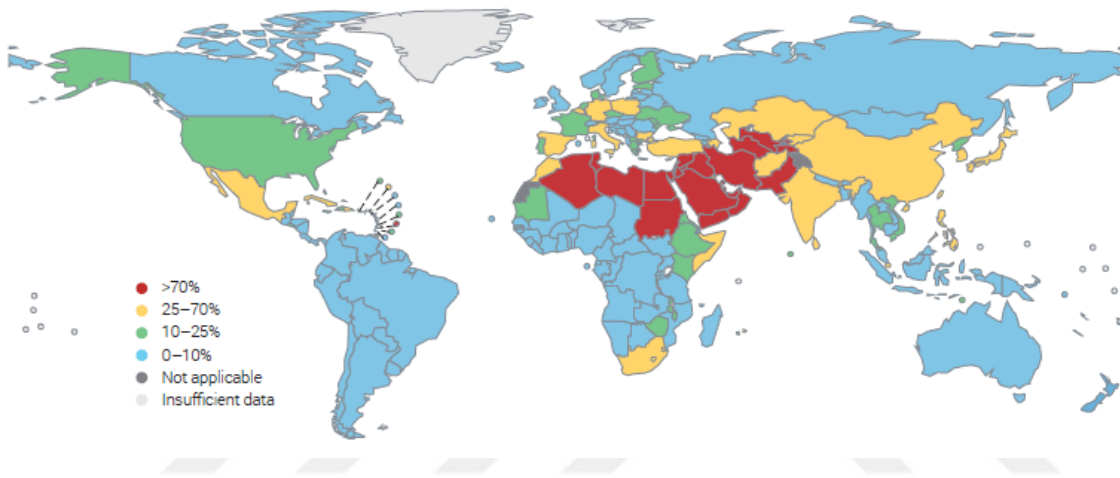
1.1.Dünyada ve Türkiye’de Küresel İklim Değişiklikleri ve Su Sorunu

Doğal kaynaklar arasında bulunan petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların aşırı kullanımı sonucunda küresel ortalama sıcaklık artmakta ve buna bağlı olarak iklim değişikliği meydana gelmektedir. Bilim insanları, yeryüzündeki binlerce noktada ölçülen yüzey ve atmosferik sıcaklık ve uydu verilerine dayanarak 1880 yılından bu yana küresel ortalama sıcaklığın 0.9°C arttığını belirlemiştir [1]. IPCC’nin güncel raporlarında [2] küresel ısınma seviyesinin, aynı hızda artmaya devam etmesi sonucunda 2030-2052 yılları arasında küresel ortalama sıcaklık artışının 1.5°C’ye ulaşacağı belirtilmektedir [3]. Bu durumun canlı ve doğal yaşam üzerinde birçok etkisi olmaktadır. Örneğin deniz seviyesinde yükselme, buzullarda erime, sıcaklık dalgaları, sel ve kuraklık gibi ekstrem hava olayları iklim değişikliğinin birer sonucudur.

İklim değişikliği aynı zamanda ekonomik kalkınmayı yavaşlatan, altyapılara zarar veren, su ve gıda güvenliğini tehdit eden sonuçları da beraberinde getirmektedir. İklim değişikliği konusunda önemli kritik eşiklerin aşıldığı ve geri döndürülemez olumsuz etkilerin ekosistemlere ciddi şekilde zarar verdiği görülmektedir. Amazon yağmur ormanı, Arktik tundralar, birçok topluluğun temel su kaynağı olan dağ buzulları artan küresel sıcaklıklar karşısında olumsuz yönde büyük şekilde etkilenmeden önceki sınır dayanıklılık düzeylerindedirler [4]. İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında, devletler tarafından iklim değişikliğine uyum ve sera gazı azaltılmasına ilişkin farklı politikaların olduğu bilinmektedir [5]. İnsanoğlunun doğayla olan ilişkisini tekrar gözden geçirmesi konusunda, önemli bir uyarı olarak ele alınabilecek pandeminin iklim değişikliğiyle mücadele bağlamında da olumlu-olumsuz sonuçlar ortaya çıkarttığı görülmektedir. Bu kapsamda pandeminin ilk etkisi, 2020 yılı Aralık ayında Glasgow’da gerçekleştirilmesi düşünülen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Konferansı’nın ertelenmesidir. COVID-19 pandemisi, önümüzdeki süreçte iklim değişikliğiyle ilişkili afet ve risklere yönelik planlamaların, salgın hastalıkları ve süreç boyunca ortaya çıkacak pek çok farklı riski de içermesi gerektiğine işaret etmektedir [6].

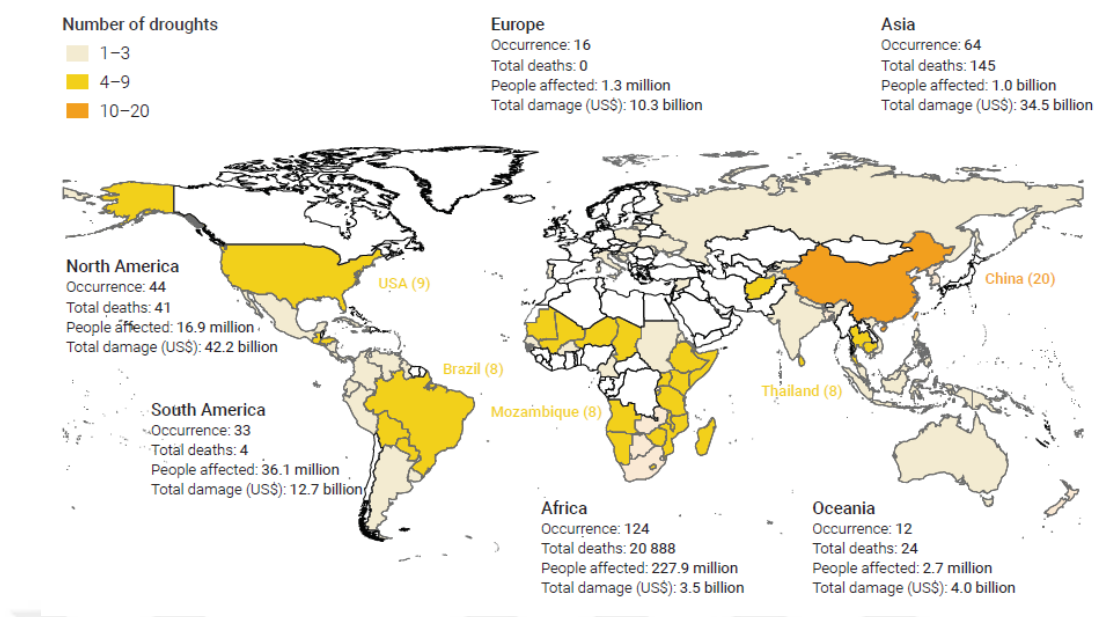
İklim değişikliğinin belirtilen etkilerinin arasında su kaynakları üzerindeki etkileri şüphesiz üst seviyededir. Su sadece insan için hayati bir gereksinim değil, aynı zamanda ekonomik, toplumsal, kültürel yaşamın da bizzat kendisidir [7]. Dünya yüzeyindeki toplam su miktarı 1.4 milyar km³ olarak tespit edilmiştir. Dünyanın dörtte üçünü kaplayan bu miktara rağmen insanlık su sorunu ile karşı karşıyadır. Bunun nedeni, dünyada toplam su miktarının %97.5 gibi yüksek oranının okyanuslar ve denizlerde tuzlu su olarak yer almasıdır. Geriye kalan %2.5’lik miktar ise dünya üzerindeki tatlı su miktarı olarak hesaplanır. Az bir orana sahip olan tatlı suyun %68.7’si buzullarda, %30.1’i yeraltı sularında, %0.8’i tiyal tabakasında ve sadece

%0.4'ü yüzey sularında ve atmosferde bulunmaktadır. Yüzey sularında ve atmosferde bulunan su miktarı sulak alanlarda, nehirlerde, bitkilerde, hayvanlarda ve toprakta nem olarak depolanmaktadır. Hesaplamalar sonucunda dünya üzerinde toplam tatlı su miktarının sadece 35.2 milyon km³ olduğu belirtilmektedir [8]. Kısıtlı miktardaki tatlı su kaynaklarının da %90'ının kutuplarda ve yer altında bulunması sebebiyle insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su miktarının ne kadar az olduğu anlaşılmaktadır [8]. UN dünya su raporuna göre su tüketimi 1980'lerden beri yılda yaklaşık %1 oranında artmaktadır. Bu büyüme, nüfus artışından, ekonomik ve sosyolojik gelişmelerden ve sürekli gelişen tüketim alışkanlıklarından kaynaklanmaktadır [9].

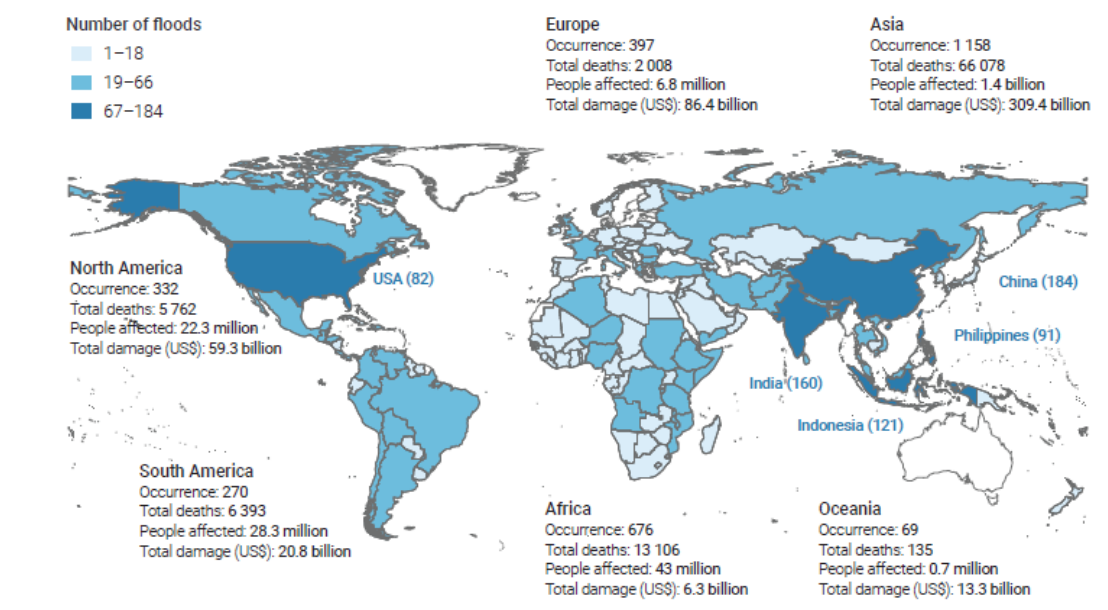


Şekil 1.1: Fiziksel Su Stres Seviyeleri

Şekil 1.1.'deki fiziksel su stresi, yıllık olarak kullanılan toplam tatlı su kaynakları miktarının yenilenebilir tatlı su kaynakları miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Nüfuslar ve su talepleri arttıkça ve iklim değişikliğinin etkileri yoğunlaştıkça fiziksel su stresi seviyeleri de artar [9].



Şekil 1.2: Dünya Üzerinde Kuraklık Sonucu Gerçekleşen Ölümler, Hastalıklar ve Zararları (2001-2018)



Şekil 1.3: Dünya Üzerinde Sel Felaketleri Sonucu Gerçekleşen Ölümler, Hastalıklar ve Zararlar (2001-2018)

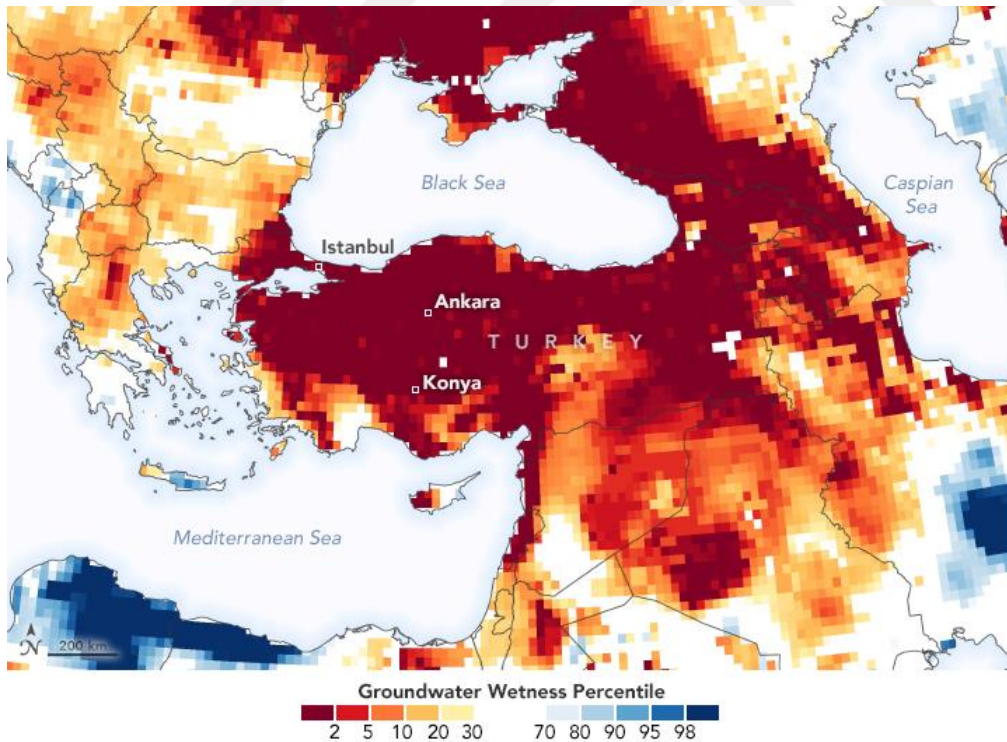
Yeterli miktarda ve kalitede suyun varlığı insanlığın geleceğinin de temel koşuludur. Dünya nüfusunun neredeyse beşte biri su sıkıntısı çekilen bölgelerde bulunurken, bu oranın 2025 yılında üçte iki seviyesine çıkması tahmin edilmektedir [10].

Sahip olunan su miktarına göre ülkeler sınıflandırıldığında; yılda kişi başına düşen ortalama su miktarı 1000 m³ ten az olan ülkeler “su fakiri”, 1000-2000 m³ olan ülkeler “su sıkıntısı çeken ülke”, 2000-8000 m³ olan ülkeler yeterli suya sahip ülkeler, 8000 m³ ten fazla olan ülkeler ise “su zengini” olarak kabul edilmektedir

[11]. Türkiye ise su zengini bir ülke değildir. Kişi başı 1519 m³'lük su miktarı ile “su sıkıntısı çeken” bir ülke olarak adlandırılmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Türkiye nüfusunun 2030 yılında 100 milyona ulaşacağını öngörmektedir [12].

Türkiye’de yıllık ortalama yağmur miktarı 646 mm’dir. Bu oran yılda yaklaşık olarak 501 milyar m³ suya denk gelmektedir. Bu suyun 274 milyar m³’ü toprak ve su yüzeylerinden ve bitkilerden olan buharlaşmalar vasıtasıyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m³’lük kısmı yer altı suyuna karışmakta, 158 milyar m³’lük kısmı ise farklı büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yer altı suyunu besleyen 69 milyar m³’lük suyun 28 milyar m³’ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m³ su bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre ülkemizin yer üstü suyu potansiyeli 193 milyar m³ olmaktadır [8].

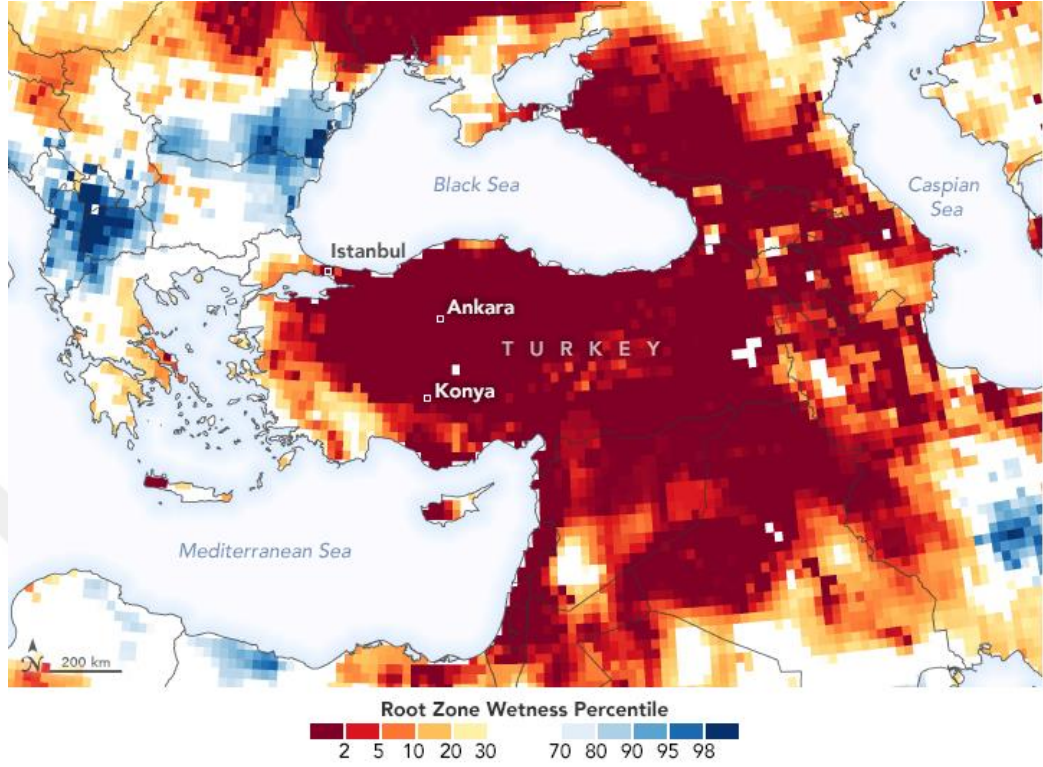
Amerikan Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), 11 Ocak 2021 günü GRACE-FO uyduları tarafından kaydedilen ve Türkiye’nin yer altı suyu ve toprak nemi ölçümlerine ilişkin Şekil 1.4 ve Şekil 1.5’de gösterilen iki harita yayınlamıştır. Haritaya göre; mavi kısımlar, normalden fazla su olan bölgeleri, kırmızı ve turuncu renkteki kısımlar ise normalden az su olan bölgeleri göstermektedir [13].



Şekil 1.4: Türkiye Haritasının Yeraltı Su Kaynakları Bakımından Gösterimi

NASA tarafından yayınlanan ve Şekil 1.5’de gösterilen harita ise toprağın nem bakımından miktarını göstermektedir. Harita incelendiğinde topraktaki bitki kökleri

için önemli olan ve tarımsal üretim açısından büyük önem arz eden yüzeydeki nem oranındaki azlığın ciddi boyutlarda olduğu gözükmemektedir.



Şekil 1.5: Türkiye Haritasının Toprak Nem Miktarı Bakımından Gösterimi

Ülkemizde mevcut olan 112 milyar m³ hacmindeki su kaynağının kullanım oranı yaklaşık olarak %39'dur. Bu oranın 32 milyar m³'ü sulama için, 7 milyar m³'ü içme ve günlük kullanımda, 5 milyar m³'ü sanayi için kullanılmaktadır. Bu durumda ülkemiz su kaynaklarının yaklaşık %73'ü tarım sektörü, %11'i sanayi, %16'i kentsel tüketim için kullanılmaktadır [8]. Türkiye'de sektörel su kullanımı oransal dağılımı Çizelge 1.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1: Türkiye'de Sektörel Su Tüketimi [14]

Yıl	Toplam Su Tüketimi		Sektörler					
			Tarım		İçme-Kullanma		Sanayi	
	km ³	%	km ³	%	km ³	%	km ³	%
1990	30.6	26	22	72	5.1	17	3.4	11
2004	40.1	36	29.6	74	6.2	15	4.3	11
2008	46	41	34	74	7	15	5	11
2012	44	100	32	73	7	16	5	11
2023	112	100	72	64	18	16	22	20

Ulusal İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında Türkiye’de iklim değişikliğinden etkilenebilir alanlar olarak teknik ve bilimsel çalışmaların desteklediği ve katılımcı süreçler ile kabul edilen beş önemli alana yoğunlaşmıştır. Su Kaynakları Yönetimi bunlar arasındadır [15].

Var olan su kaynaklarının bilinçli kullanılmaması ve nüfus artışı sonucunda daha hızlı tüketilmesiyle birkaç yıl sonra Türkiye su fakiri ülkeler listesine girmesi kaçınılmazdır. Türkiye’nin su fakiri ülkeler kategorisinde değerlendirilmemesi için var olan su kaynaklarının sürdürülebilir biçimde yönetilmesinin yanında yeni su kaynaklarının araştırılması da önem arz etmektedir [16].

Nüfus ve ekonomik büyüme ile birlikte kentlerde su talebi giderek artmaktadır. Bu büyümeyle beraber hızlı sanayileşme ve kentleşmeyle bağlantılı su kirliliği sonucu su kaynaklarının varlığı da giderek azalmaktadır [17]. Hızlı sanayileşme, kentleşme ve nüfus artışının yanı sıra, iklim koşullarındaki değişikliklerin de su talebi ve su kaynakları mevcudiyeti üzerinde önemli etkilere sahip olduğu bildirilmektedir [18].

Bu etkilerin en fazla yaşandığı ülkelerden birisi olarak Türkiye’de kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1652 m³ iken 2020 yılında 1346 m³ olmuştur. Ülkemiz, kişi başı kullanılabilir su potansiyeline bakıldığında, su baskısı yaşayan ülkeler kategorisine girmektedir. Bu nedenle suyun tasarruflu ve optimum bir şekilde kullanılması hayati önem taşımaktadır [19].

Su korunumu için iklim değişikliğine karşı alınabilecek en önemli önlemler arasında; içme ve kullanma suyu için kayıp/kaçak oranlarının azaltılması, yağmur suyu hasadı, duş ve sifonlarda tasarruflu fazla su kullanımını engelleyecek ekipmanların kullanılması ve evsel atıksuların yeniden kullanılması sayılabilir. Örneğin konutlarda atık suyun ya da gri suyun peyzaj sulamasında kullanımı içilebilir su tüketiminin yaklaşık %20 oranında azaltılması mümkün olmaktadır. Ayrıca 4 kişilik ailenin yaşadığı bir konutta çift akışlı tuvalet kullanımı, duş başlıklarında debi düzenleyici (regülatörü) olması, lavabo ve eviye bataryalarında perlatör kullanımıyla ile yaklaşık %60'lara varan su tasarrufu sağlanabilmektedir [20].

Türkiye’de şuan yaşanan ve artarak devam etmesi beklenen su sıkıntısı karşısında, tüm sektörlerdeki su talebinin karşılanabilmesi için ciddi önlemler alınması ve sorunların kapsamlı düşünülerek gerçekçi planlar yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda 23 Ocak 2021 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan yönetmelikle, kuraklık sorununun giderek artması da dikkate alınarak artık 2 bin metrekareden büyük parsellerde inşa edilecek tüm binaların çatılarında toplanan yağmur sularının, bahçe sulama veya arıtılarak bina ihtiyacında kullanılmak üzere bahçe zemini altında bir depoda toplanması amacıyla "yağmur suyu toplama sistemi" yapılması zorunluluğu getirildi [21]. Bunun dışında ülkemizde su yönetiminin geliştirilmesi konusunda yapılabilecek çalışmalar arasında; toprak ve su kaynakları ile ilgili kamu yönetiminin eğitilmesi, bilgilendirilmesi ve

güçlendirilmesi, evsel, endüstriyel ve tarımsal su kullanımında verimli tekniklerin yaygınlaştırılması, suyun çok önemli ve sonlu bir doğal kaynak olduğu farkındalığının yerleştirilmesi için eğitim seferberliği başlatılması sayılabilir [3].

Çizelge 1.2: 4 Kişilik Bir Konutta Normal ve Su Tasarrufu Sağlayan Sağlık Gereçleri ve 1 Yılda Harcanan Su Miktarları [20]

Kullanılan Araç-Gereç	Kullanıcı Sayısı	Kişi Başı Günlük Kullanım Sayısı/Süresi	Kullanılan Su Miktarı (L)	Günlük Toplam Su Tüketimi (L)	Yıllık Toplam Su Tüketimi (ton)
Standart Tuvalet	4	6	6	144	51.84
Standart Duş Başlığı	4	1	20 L/d *8.2 d	656	236.16
Lavabo Bataryası (Perlatörsüz)	4	20 dakika	12 L/d	240	86.4
Eviye Bataryası (Perlatörsüz)	4	18 dakika	12 L/d	216	77.76
TOPLAM					452.16
Çift Akışlı Tuvalet (4 L)	4	1	4	16	5.76
Çift Akışlı Tuvalet (2.5 L)	4	5	2.5 L	50	18
Debi Regülatörlü Duş Başlığı	4	1	7.5 L/d*8.2 d	246	88.56
Lavabo Bataryası (Perlatörlü)	4	20 d	5 L/d	100	36
Eviye Bataryası (Perlatörlü)	4	18 d	5 L/d	90	32.4
TOPLAM					180.72

Türkiye Akdeniz ikliminde yer almaktadır. Üç tarafı denizlerle çevrilidir. Ortalama yüksekliği yaklaşık 1100 m olan Türkiye’de birçok alt iklim tipi de mevcuttur. Güney ve Batı bölgelerde Akdeniz iklimi hakimdir; yazlar sıcak ve kuru, kışlar serin ve yağışlı geçer. Karadeniz kıyısında iklim daha soğuk ve yağışlıdır. Kuzeydoğu Anadolu’da kara iklimi özellikleri görülür. Kışlar uzun ve sert, yazlar ise kısa ve serindir. Orta Anadolu platosunda ise, yazların kuru ve sıcak kışların ise soğuk geçtiği step iklimi hakimdir [3].

Çizelge 1.3: PRECIS Modeli sonuçlarına göre, 1961-1990 ortalamasına göre 2071-2100 döneminde Türkiye’de beklenen iklimsel değişiklikler (REC Türkiye, 2015) [3]

Sıcaklıklar	Kıyılar haricinde ortalama 5-6 °C arasında sıcaklık artışı Sıcaklık artışı batı bölgelerde yaz doğu bölgelerde kış aylarında fazla.
Yağış	Ortalama yağışlarda %40’a varan oranda azalma. Batıda yağış azalması toplam miktar ve oransal olarak daha yüksek. Yaz aylarında Orta Anadolu ve Karadeniz’de bariz azalma. Sonbaharda Karadeniz’de yağışlarda artış görülmesi.
Kar kalınlığı	Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu dağlarında kar kalınlığında 300 mm’ye kadar ulaşan azalma

IPCC’nin (Intergovernmental Panel On Climate Change) bulgularına benzer düzeyde Türkiye’de de ortalama yüzey sıcaklıklarında artış gözlenmiştir. Bununla beraber yağışlarda artış ya da azalmadan ziyade, yağış rejimlerinde düzensizlikler ve yağışlı/yağışsız periyotlar arasındaki farkların arttığına dair gözlemler raporlarda belirtilmiştir [22].

1.2. Dünyada ve Türkiye’de Sürdürülebilirlik Kavramı ve Yeşil Bina Yaklaşımı

Dünyadaki nüfusun ve sanayileşmenin artması, teknolojinin ilerlemesi ve küreselleşmeye paralel olarak enerji ihtiyacı artmış, bu durum da yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebi artırmıştır. Gelecek nesiller için daha yaşanabilir ve temiz bir dünya bırakabilmek amacı ile insanlığı sürdürülebilirlik kavramına önem vermeye başlamıştır [21]. Sürdürülebilirlik ifadesi Latince kökenli olan bir kelime olup dengede tutmak anlamına gelmektedir [23]. Daha geniş kapsamda bu kavram, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nun 1987 yılında çıkardığı ile adını duyurmuştur [24]. Sürdürülebilirlik, kalkınmanın doğa dengesini bozmadan yapılması gerektiğini savunan, çevresel değerlerin ve doğal kaynakların tedbirsiz bir şekilde değil daha rasyonel ve planlı metotlarla, yaşayanların ve gelecek nesillerin haklarını da düşünerek kullanılması ve aynı zamanda ekonomik gelişmelerin de devam etmesini hedefleyen çevreci bir dünya görüşüdür [18]. Değerlerin korunurken kalkınmanın da yapılabileceğini savunan sürdürülebilir kalkınma konsepti için, Birleşmiş Milletler tarafından tanımlanan temel haklardan biri olan sağlıklı bir çevrede yaşama hakkını tüm insanlığa vadetmesi, en önemli araçlardan biridir [25]. Zinzade tarafından yapılan bir başka açıklama ise: “Doğal ve insan eliyle yapılmış olanlar arasında kurulan dengenin adı olarak nitelendirilen sürdürülebilirlik kavramı, nasıl doğal olan kendini yeniliyorsa, sürdürülebilir olan da kendini yeniler, bir enerji kaynağını tüketmeden başka bir enerji kaynağına dönüştürür” şeklindedir [26].

Sürdürülebilirlik kavramının insanlara çocukluk yıllarından itibaren özenle verilmesi, tüm hayatı boyunca bu kavramın önemini bilerek şekillendirmesi iyi planlanmış bir eğitim gerektirir. Eğitim, kişileri ve toplumları geliştiren, onlara kimlik kazandıran en önemli süreçtir. Eğitim verilen yapılar ise bu sürece sağladığı katkılar nedeniyle son derece önemlidir [27]. Öğrencilerde sürdürülebilirlik bilincinin oluşturulması, eğitim gördükleri binalarda uygulanan sürdürülebilirlik kriterleri çerçevesinde canlı örnekler bulmaları ve bunları yaşamlarının diğer alanlarına da entegre etmeleriyle mümkün olmaktadır. Binanın, aynı zamanda bulunduğu çevreye hizmet etmesi ve çevre hakkında farkındalık yaratması da eğitimde sürdürülebilirliğin amaçları arasında yer almaktadır [28].

Doğal enerji kaynaklarının azalması, ekolojik dengenin bozulması, küresel ısınma, çevre kirliliği gibi sorunlar sonucunda ortaya çıkan sürdürülebilirlik kavramı, gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir dünya bırakılması amacıyla çeşitli yerlerde karşımıza çıkan ve yeşil bina kavramının da hayat bulmasına neden olan bir yaklaşım olmuştur [21]. Sürdürülebilir bina kavramının genelinden özelleştirilmiş olan aynı zamanda enerji etkin bina ve performansı yüksek bina kavramları ile de aynı anlamda kullanılabilen yeşil binalar kavramı daha çok yapı etiketleme metodu olarak kullanılmaktadır [29]. Yeşil Bina yaklaşımı binaların maliyetini, fonksiyonel ve teknik özelliklerini düşünürken aynı zamanda estetiği, tasarım teknikleri ve planlaması, konumu ve sosyo-kültürel ölçütleri de dikkate alan bir yaklaşımdır [30].

Yeşil Bina, yapının inşa edileceği alandan başlayarak yaşam döngüsü kapsamında değerlendirilip planlandığı, bulunduğu çevreye özel koşullara uygun, enerji kullanımında yenilenebilir kaynakları tercih eden, çevresel etkileri düşük malzemelerin kullanıldığı, su verimliliği sağlayan çevreci, ekonomik binalardır [31].

Yeşil bina kavramı 1970'li yıllarda ortaya çıkmıştır [32]. Kavram son 50 yıldır yapılan araştırmalar ve uygulamalarla kademeli olarak geliştirilmiştir [33]. Günümüzde de gelişimi halen devam etmektedir. Bir binanın yeşil bina olarak tanımlanabilmesi için inşa edilecek olduğu arazinin sürdürülebilirliği, su ve enerji, ekolojik malzeme kullanımı, iç ortam hava kalitesi, kullanıcı sağlığı ve konforu, ulaşım ve atıkların kontrolü, ses ve kirlilik gibi alanlarda standartlara uygun şekilde olması gerekmektedir [34]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yeşil binaları "Sürdürülebilir yeşil bina; yer seçimi, tasarım, inşaat, işletme, bakım, tadilat, yıkım ve atıkların bertarafını kapsayan yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilir, enerji verimli, doğayla uyumlu ve çevreye asgari düzeyde zarar veren binadır." şeklinde tanımlamaktadır [35]. Yeşil binalar üzerinde yapılan araştırmalar, normal binalara kıyasla enerjide %24-50, tüketilen su miktarında %30- 50, CO₂ salınımında %33- 39, katı atık oranında %7 ve bakım maliyetlerinde %13 oranında azalma sağlanabileceğini göstermektedir [36]. Amerikan Yeşil Bina Konseyi (United States Green Building Council, USGBC), bir yeşil binanın yaklaşık %32 daha az elektrik kullanarak yılda 350 metrik ton CO₂ salınımının önüne geçtiğini belirtmektedir [37].



2. YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMLERİ

Yeşil binaların çevresine olan etkilerine göre pek çok sistem geliştirilmiştir. Yeşil bina sertifika sistemleri, binaların çevre üzerindeki etkilerinin gerçekçi bir şekilde ortaya konulmasında ve doğal kaynakları korumadaki hassasiyetlerini göstermede ölçülebilir bir rehber sağlamaya çalışan bir tür derecelendirme sistemi olarak tanımlanmaktadır [31]. Sertifika sistemleri yapılan işin belgelenmesini sağlarken aynı zamanda kurumlara prestij kazandırır. Yaygınlaşan bilinçli tüketicilerin potansiyeli beraberinde teşvik getirmekte ve Dünyada binaların yapım aşaması ile ilgili çeşitli yasal düzenlemeler yapılarak, binaların değerleri artırılmak istenmektedir [38]. Değerlendirme sistemleri, bir binanın yeşil sayılabilmesi için sahip olması gereken ön koşul ve kriterleri belirler. Her bir kriterin, binanın tipine veya yaşam döngüsüne göre değişen puanları vardır. Değerlendirme, binanın her bir kritere göre incelenmesi ve bu kriterlerin en uygun şekilde puanlanması ile olur. Değerlendirme sonucu elde edilen toplam puana göre binanın hangi oranda sürdürülebilir ya da yeşil olduğu ortaya çıkmaktadır [39].

İncelenen şartlar, diğer sistemlerde başka isimlerle tanımlansa da genel olarak binanın bulunduğu arazinin seçimi, araziye yerleşimi, yapımından itibaren fiziksel ve sosyal çevresiyle olan ilişkisi, yaşamı boyunca sebep olduğu CO₂ emisyonu, kullanıcının ısı, görsel, akustik, vb. ihtiyaçları, su harcaması, işletim ve bakım/onarım koşulları, binada kullanılan malzemelerin çevreye etkileri ve ulaşım gibi çeşitli konuları kapsar [39]. Son yıllarda yapıların çevresel etkilerinin somut bir şekilde belirlenmesi, yeşil bina değerlendirme sistemleri ve sertifika programlarıyla sağlanmaktadır [40]. Bu sistemler, bazı ülkelerde yeni yapılan binalar için zorunlu hale getirilmekle beraber birçok ülkenin kendi adına oluşturduğu sertifika sistemleri bulunmaktadır. Başlangıçta amaç her ülkenin kendi yerel standartlarını ve kültürlerini gözetenek kendine özgü bir sistem oluşturmasıydı. Ancak son yıllarda LEED ve BREEAM sertifika sistemleri diğerlerinden öne çıkarak uluslararası bir kimlik kazanmış ve Türkiye gibi kendine özgü yeşil bina değerlendirme sistemleri bulunmayan ülkelere de kabul görmeye başlamışlardır [41]. Böylece bu ülkelere de inşa edilecek yapıların sürdürülebilir olması hususunda eğilim görülmeye başlanmıştır [28]. BREEAM ve LEED'in yanısıra Kanada'da kullanılan SBTOOL, Avustralya'da kullanılan GREEN STAR, Japonya'da kullanılan CASBEE, Almanya'da kullanılan DGNB ve Türkiye'de oluşturulan B.E.S.T konut gibi birçok sürdürülebilir bina sertifikalandırma sistemleri bulunmaktadır [42].

Çizelge 1.4: Sertifika Sistemlerinin Kriter Karşılaştırması

Değerlendirme Sistemi	BREEAM	LEED	GREENSTAR	CASBEE	SBTOOL
Oluşturulduğu Tarih	1990	1998	2003	2001	1998
Ülke	İngiltere	Amerika	Avustralya	Japonya	Kanada
Kriterler	Yönetim Enerji Su Ulaşım Sağlık ve Konfor Atık Malzemeler Arazi Kullanımı ve Ekoloji Kirlilik Yenilik	Yenilik ve Tasarım İç Mekan Hava Kalitesi Malzeme ve Kaynaklar Sürdürülebilir Arsalar Su Etkinliği Enerji ve Atmosfer	Enerji Malzeme İç Mekan Çevre Kalitesi Ulaşım Yönetim Su Arazi Kullanımı Kirlilik Yenilik	İç Mekan Çevresi Servis Kalitesi Arsada Dış Mekan Çevresi Enerji Kaynak ve Malzeme Arsa dışı Çevre	İç Mekan Hava Kalitesi Enerji ve Kaynak Tüketimi Çevresel Yükler Sosyal ve Ekonomik Esaslar Kültürel Esaslar Arsa Seçimi,Proje Planlama ve Geliştirme
Sertifika Düzeyleri	Geçer (1 yıldız) İyi (2 yıldız) Çok iyi (3 yıldız) Mükemmel (4 yıldız) Olağanüstü (5 yıldız)	Sertifika (40-49 puan) Gümüş (50-59) Altın (60-79) Platin (80 puan)	4 yıldız (45-59 puan) 5 yıldız (60-74 puan) 6 yıldız (75-100 puan)	S,A,B+,B-,C	-1 (olumsuz) 0 (kabul edilebilir) 3 (iyi uygulama) 5 (en iyi uygulama)

2.1. BREEAM Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) yeşil bina sertifikasyon sistemi; 1990 yılında İngiltere’de geliştirilen ilk yeşil bina değerlendirme sistemi olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle günümüzde geçerliliğine en çok güvenilen sertifikasyon sistemi olarak bilinir [42]. BREEAM sisteminin birçok kategorisi mevcuttur. Ancak bu kategorilerden çoğu İngiltere’nin koşulları düşünülerek geliştirilmiş sistemlerdir dolayısıyla başka ülkelerde uygulanması oldukça sıkıntılıdır. BREEAM sertifikasyon sisteminin hedefi kısa sürede projenin yeşil bina sertifikası alabilecek duruma gelmesidir. BREEAM sertifikası alabilmek için projeyi tamamlamadan önce tasarım aşamasından itibaren kuruluşun yönlendirdiği bir yetkili ile beraber çalışma zorunluluğu vardır [43]. BREEAM yeşil

binaları, yönetim, sağlık, enerji, su, taşıma, malzeme ve atık, arazi kullanımı ve ekoloji ve kirlilik faktörlerinden her birini “kredi” olarak ele alarak puanlar. Puanlar binanın her bir kredi için gösterdiği performansa göre verilir. Her bir kategorinin çevresel etkilerine göre bir ağırlık katsayısı vardır. Puanların toplamı ve ağırlık katsayılarının uygulanması ile toplam puan elde edilir. Breeam Sertifikasyon Sistemi, sertifikanın toplam puanını 10 başlıkta hesaplamaktadır. Sertifika değerlendirme kategorilerinin yüzdeleri Çizelge 2.1’deki gibidir. BREEAM sertifika sisteminin en farklı tarafı değerlendirilen konulardan alınan kredilerin aynı ağırlıkta olmamalarıdır. Toplanan krediler son değerlendirmede (alınacak BREEAM derecesinin belirlenmesinde), konu başlıklarının yüzdesel ağırlıkları düşünülerek değerlendirilirler. Örnek olarak en yüksek ağırlığa sahip olan enerji maddesinden gelen toplam kredi bu bölümün yüzdesel oranı ile çarpılarak hesaplamada kullanılır [38].

Çizelge 2.1: BREEAM Sertifika Kategorilerinin Yüzdeleri [44]

Kategori	% Ağırlık	Kredi	% Kredi
Yönetim	12	10	1.2
Sağlık	15	13	1.15
Enerji	19	24	0.79
Ulaşım	8	10	0.8
Su	6	6	1
Malzeme	12	13	0.96
Atık	7	7	1
Arazi Kullanımı-Ekoloji	10	10	1
Kirlilik	10	12	0.92
Toplam	100	105	0.95
İnovasyon (İlave)	10		

Breeam Sertifikasyon Sisteminde İngiltere dışından başvuru yapan projelerin adaptasyonunu sağlamak amacıyla yapının tasarımcısının yapı inşa edilmeden önce Breeam yetkilisi ile birlikte çalışması zorunluluğu getirilmiştir. Bu sisteminin hedefi kısa sürede projenin yeşil bina sertifikası alabilecek duruma gelmesidir. Breeam sertifikası alabilmek için projeyi tamamlamadan önce tasarım aşamasından itibaren kuruluşun yönlendirdiği bir yetkili ile beraber çalışma zorunluluğu vardır. Sistemde 5 farklı sertifika sınıfı olup binanın aldığı puanlara göre değerlendirilme yapılmaktadır ve sertifika geçerlilik süresi 3 yıl olarak planlanmıştır. 3 sene tamamlandıktan sonra bina tekrardan sertifikasyon sistemine müracaat ederek güncellemek zorundadır. Sertifika sınıflandırması Çizelge 2.2’de gösterilmiştir [45].

Çizelge 2.2: BREEAM Sertifika Sınıfları [46]

Sertifika Sınıfları	% Skor
Olağanüstü	≥ 85
Mükemmel	≥ 70
Çok İyi	≥ 55
İyi	≥ 45
Geçer	≥ 30
Sınıflandırılmaz	< 30

BREEAM sertifika sistemi için ön şartlar mevcuttur. Belirlenen ön şartlara uymayan uygulamalar, çevresel performansları çok iyi olsa bile sertifika alamazlar. BREEAM derecelerine göre ön koşullar Çizelge 2.3'deki gibidir [44].

Çizelge 2.3: BREEAM Sertifika Sistemi Ön Koşullar [44]

Değerlendirme Konuları	Geçer	İyi	Çok İyi	Mükemmel	Olağanüstü
İşletmeye alma	-	-	-	1	2
İnşaat sahasının etkisi	-	-	-	1	2
Bina kullanıcısı kılavuzu	-	1	1	1	1
Yüksek frekanslı aydınlatma	1	1	1	1	1
CO ₂ salınımlarının azaltılması	-	-	-	6	10
Yüksek enerji tüketiminde alt ölçümleme	-	-	1	1	1
Düşük ya da sıfır karbon teknolojileri	-	-	-	1	1
Su tüketimi	-	-	1	1	2
Su sayacı	-	-	-	1	1
Geri dönüştürülebilir atıkların depolanması	-	-	-	1	1
Arsa ekolojisine etki	-	-	-	2	2

2.2. LEED Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Sertifikasyon sistemi 1998 yılında, Amerika Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) tarafından oluşturulmuştur. Uluslararası ölçekte kabul görmüş bir bina sertifikasyon sistemidir. Sistemin amacı; yapı sektöründe görevi olan tüm kişilerin, çevresel değerlere dikkatlerini çekerek, yaptıkları işlerde doğal çevreyi koruma amaçlı kararlar almalarını sağlamaktır.

BREEAM sertifikasyon sisteminde olduğu gibi bir yetkiliyle çalışma zorunluluğu bulunmamaktadır. Hem tasarım hem de inşaat aşamasından sonra sertifika almak için başvuru yapılabilmektedir [45].

LEED sertifika sisteminde yapılar 8 kategoriye göre değerlendirilmektedir. Bu kategoriler;

- 1) Yeni inşalar
- 2) Büyük tadilatlar
- 3) Mevcut inşalar
- 4) Ticari iç mekânlar
- 5) Eğitim verilen yerler
- 6) Mahalle kalkındırma projeleri
- 7) Evler
- 8) Alışveriş Merkezleri'dir.

LEED 4 farklı sertifika sınıfına sahiptir. Binanın aldığı puanlara göre değerlendirilmesi yapılmaktadır. Sertifika geçerlilik süresinde bir sınırlama bulunmamaktadır. Sertifika sınıflandırmaları Çizelge 2.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4: LEED Sertifika Sınıfları [47]

Sertifika Sınıfları	Skor %
Sertifika	40-49
Gümüş	50-59
Altın	60-79
Platin	80-110

LEED yeşil bina sertifikası alabilmek için yapının tüm ön koşulları sağlaması ve minimum 32 puan kazanması gerekir. Puanlama Çizelge 2.5'de gösterildiği gibi; Ulaşım %16, Enerji ve Atmosfer %33, Sürdürülebilir Arazi %16, İç ortam hava kalitesi %16, Malzeme ve kaynaklar %13, Su Verimliliği %11, İnovasyon %6, Bölgesel Öncelik %4 ve Entegre Süreç %1 olarak belirlenmiştir.

LEED sertifika değerlendirme sisteminde su verimliliği kategorisinde binalara toplamda on bir kredi verilebilmektedir. Binanın bu alanda kredi kazanabilmesi için LEED'in zorunlu tuttuğu su kullanımının azaltılması ve su sayacı ön şartlarını yerine getirmesi gerekmektedir. Ön şart yerine getirildikten sonra bu 11 kredi bina içerisinde kullanılacak olan ekipmanların su tasarruflu olması, içme suyunun sulama

ve rezervuarlarda kullanılmaması, atık suların arıtılarak yeniden kullanılması ve bina için kullanılacak olan suyun minimumda tutulmasını amaçlamaktadır [49].

Çizelge 2.5: LEED Sertifika Kategorilerinin Yüzdeleri [48]

Kategori	Ağırlık %
Ulaşım	16
Malzeme ve Kaynak	13
Sürdürülebilir Arazi	10
İç Ortam Hava Kalitesi	16
Su Verimliliği	11
İnovasyon	6
Enerji ve Atmosfer	33
Bölgesel Öncelik	4
Entegre Süreç	1

Aşağıdaki çizelgelerde örnek yapı kategorileri için su verimliliği ön şartları ve kredileri gösterilmiştir. Çizelge 2.6 Okul Kategorisi için Su verimliliği Değerlendirmesini, Çizelge 2.7 Yeni Yapılar Kategorisi için Su verimliliği Değerlendirmesini, Çizelge 2.8 Hastane Kategorisi için Su verimliliği Değerlendirmesini, Çizelge 2.9 Sağlık Hizmetleri Kategorisi için Su verimliliği Değerlendirmesini göstermektedir [50].

Çizelge 2.6: LEED Okul Kategorisi için Su Verimliliği Değerlendirmesi

SU VERİMLİLİĞİ		12 Puan
Ön Şart	Dış ortam Su Azaltımı	Gerekli
Ön Şart	İç ortam Su Azaltımı	Gerekli
Ön Şart	Su Sayacı	Gerekli
Kredi	Dış ortam Su Azaltımı	2
Kredi	İç ortam Su Azaltımı	7
Kredi	Su Soğutma Kulesi Su Kullanımı	2
Kredi	Su Sayacı	1

LEED'in en yeni versiyonunda yer alan Su verimliliği bölümü iç mekân kullanımı, dış mekân kullanımı, özel kullanımlar ve ölçümleme dikkate alınarak suyu bir bütün olarak düşünmektedir. Soğutma kuleleri, demirbaşlar, armatürler, proses suyu ve sulama da dahil olmak üzere bir bina ile ilgili tüm su kaynaklarını ölçmeyi amaçlamaktadır. Tüm bina için su ölçümü, projelerin su tasarrufu için fırsatları belirlemesini, su kullanımını izleyip kontrol etmesini sağlamaktadır.

Çizelge 2.7: LEED Yeni Yapılar Kategorisi için Su verimliliği Değerlendirmesi

SU VERİMLİLİĞİ		12 Puan
Ön Şart	Dış ortam Su Azaltımı	Gerekli
Ön Şart	İç ortam Su Azaltımı	Gerekli
Ön Şart	Su Sayacı	Gerekli
Kredi	Dış ortam Su Azaltımı	2
Kredi	İç ortam Su Azaltımı	6
Kredi	Su Soğutma Kulesi Su Kullanımı	2
Kredi	Su Sayacı	1

Çizelge 2.8: LEED Mahalle Kalkındırma Kategorisi için Su verimliliği Değerlendirmesi

SU VERİMLİLİĞİ		12 Puan
Ön Şart	Dış ortam Su Azaltımı	Gerekli
Ön Şart	İç ortam Su Azaltımı	Gerekli
Ön Şart	Su Sayacı	Gerekli
Kredi	Dış ortam Su Azaltımı	2
Kredi	İç ortam Su Azaltımı	6
Kredi	Su Soğutma Kulesi Su Kullanımı	2
Kredi	Su Sayacı	1

Çizelge 2.9: LEED Sağlık Merkezleri Kategorisi için Su verimliliği Değerlendirmesi

SU VERİMLİLİĞİ		12 Puan
Ön Şart	Dış ortam Su Azaltımı	Gerekli
Ön Şart	İç ortam Su Azaltımı	Gerekli
Ön Şart	Su Sayacı	Gerekli
Kredi	Dış ortam Su Azaltımı	1
Kredi	İç ortam Su Azaltımı	7
Kredi	Su Soğutma Kulesi Su Kullanımı	2
Kredi	Su Sayacı	1

LEED v4, sulama, tuvalet temizleme ve diğer kullanımlar için şebeke suyu kullanımı yerine geri kazanılan atık su, gri su, yoğunlaştırılmış su, proses suyu, yağmur suyu vb. tüm suların projelerde yeniden kullanımını amaçlamaktadır. Yeşil Binalarda su

yönetimi için en son gelen ve en önemli olan fark atık yönetiminde getirilen modelin su için de kullanılır hale gelmesi olarak açıklanabilir. Genel bir bilgi olarak atık hiyerarşisinde öncelik her zaman atığın kaynağında oluşumunun engellenmesidir. Su yönetiminde de tasarım aşamasından başlayarak gerçek su kullanım miktarının belirlenmesi ve suyun kullanılmadan önce daha az tüketilmesini sağlayacak çalışmalar büyük önem taşımaktadır [51].

2.3. SBTool Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi

SBTool ilk olarak 1998 yılında, gelişmiş ülkelerin bir araya gelmesiyle oluşturulmuş bir değerlendirme aracıdır. SBTool her ülke ve bölgenin farklı iklimi ve özellikleri olduğu düşüncesini benimsemiştir. Doğrudan yapılara uygulanmayan, genel bir değerlendirme çerçevesine sahip olup, çeşitli ülkelerin bu kalıbı alıp bölgesel ve iklimsel koşullarına uyarlamasını öngören bir araçtır [52]. Sbttool sertifika sistemi, yapıları doğrudan değerlendirmeyip daha çok inceleyen ve istenilen koşullara rahatça uyarlanabilen bir sistemdir. Sistem kapsamında yapılar,

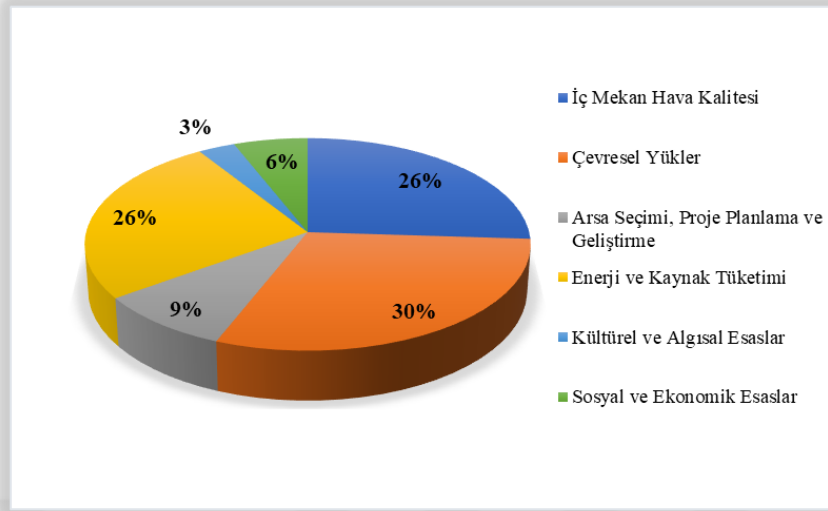
1. Arsa seçimi, proje planlama ve geliştirme,
2. Enerji ve kaynak tüketimi,
3. Çevresel yükler,
4. İç mekân çevre kalitesi,
5. Servis kalitesi,
6. Sosyal ve ekonomik esaslar,
7. Kültürel ve algısal esaslar olmak üzere 7 başlık altında incelenmektedir

Sbttool sertifika sisteminde diğer sertifika sistemlerinde olduğu gibi ana başlıklar altında birçok alt başlıkla yapılar incelenmektedir. Sistemin kullanılmak istenilen bölgeye göre uyarlaması yapılabilmektedir. Uyarlamayı yapan kurul akademisyenlerden ve yerel kuruluş üyelerinden oluşmaktadır. Bu kurul iki aşamalı ağırlık katsayı uygulaması yaparak yapı performansını değerlendirmektedir. Değerlendirme sisteminde puanlar 2.11'deki gibidir [53].

Çizelge 2.10: SBTool Bina Değerlendirme Puanı

Puan	Değerlendirme
-1	Olumsuz Uygulama
0	Kabul Edilebilir Uygulama
3	İyi Uygulama
5	En İyi Uygulama

SBTool performans kategorileri ve dağılım oranları Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: SBtool Performans Kategorileri ve Dağılım Oranları [53]

SBtool sertifika sistemi su verimliliği ile ilgili değerlendirmelerini enerji ve kaynak tüketimi kategorisinin altında yapmaktadır. Yağmur suyu ve gri su kullanımını kredi için zorunlu tutar.

2.4. DGNB Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi

Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen E.V.) 2007 yılında kurulmuştur. 2008 yılında Dünya Yeşil Bina Konseyi’ne üye olmuştur. Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi’nin birincil hedefi, kendi sertifikasyon sisteminin kurulması ve daha sonra geliştirilmesi olmuştur. Bu kapsamda 2009 yılında ofis ve idare binaları için DGNB Sertifikasyon Sistemi kurulmuştur ve bu sistem geliştirilerek 2010 yılında mevcut ve yeni binalar, eğitim kurumları ve ticari binaları da kapsayan uluslararası bir sistem haline gelmiştir. DGNB yeşil bina sertifikasyon sistemi, enerji kaynaklarının kullanımının değerlendirilmesi, sarf edilen enerji miktarının azaltılması ve sürdürülebilir sistemlerinin kullanılması gibi ana hedeflere sahiptir.

Puan yüzdeleri;

- 1) Sosyo-kültürel ve fonksiyonel durum %22.5,
- 2) Ekonomi %22.5,
- 3) Ekoloji %22.5,
- 4) Teknoloji %22.5,
- 5) Arsa %10,

6) Süreçler %10 olarak belirlenmiştir.

DGNB yeşil bina sertifikasyon sisteminin diğer sistemlerden en büyük farkı tasarım aşamasında ve inşaat tamamlandıktan sonra olacak şekilde iki sertifika hazırlamasıdır. DGNB 3 farklı sertifika (Altın, Gümüş ve Bronz) sınıfına sahip olup binanın aldığı puanlara göre değerlendirilmesi yapılmaktadır. Sertifika geçerlilik süresinde bir sınırlama yoktur. Farklı sertifikasyon sınıflandırmaları aşağıdaki Çizelge 2.11’de gösterilmiştir [45].

Çizelge 2.11: DGNB Sertifika Sınıfları

Sertifika	Puan %
Sertifika	35
Bronz	50
Gümüş	65
Altın	80

Çizelge 2.12’de DGNB yeşil bina sertifikasını elde etmek için, belirtilmiş olan ana başlıkların alt başlıklarındaki yer alan bölümlerinde yapının tüm ön koşulları sağlaması için gerekli olan puanlar yer almaktadır [45]. DGNB sertifika sistemi su verimliliği ile ilgili değerlendirmelerini ekoloji kategorisinin altında yapmaktadır.

Çizelge 2.12: DGNB Ekoloji Kategorisi Değerlendirme Puanları [45]

Kriterler	Puan
Tasarım Yaşam döngüsü değerlendirmesi	3
Yerel olan çevresel etkiler	3
Çevre dostu malzeme üretimi	7
Birincil enerji talebi	5
İçme suyu talebi ve atık su miktarı	3
Arazi Kullanımı	1.50

2.5. Green Star Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi

Avustralya Yeşil Bina Konseyi (Green Building Council Australia–GBCA), Avustralya’da sürdürülebilir inşaat sektörünü geliştirmek ve yeşil bina uygulamalarını yürütmek amacıyla 2002 yılında kurulmuştur [38].

Green Star, yapıyı tasarım sürecinden başlayarak, inşa ve yönetim açısından değerlendirir. Green Star’da muadilleri gibi yeşil bina uygulamalarının artmasını, bu

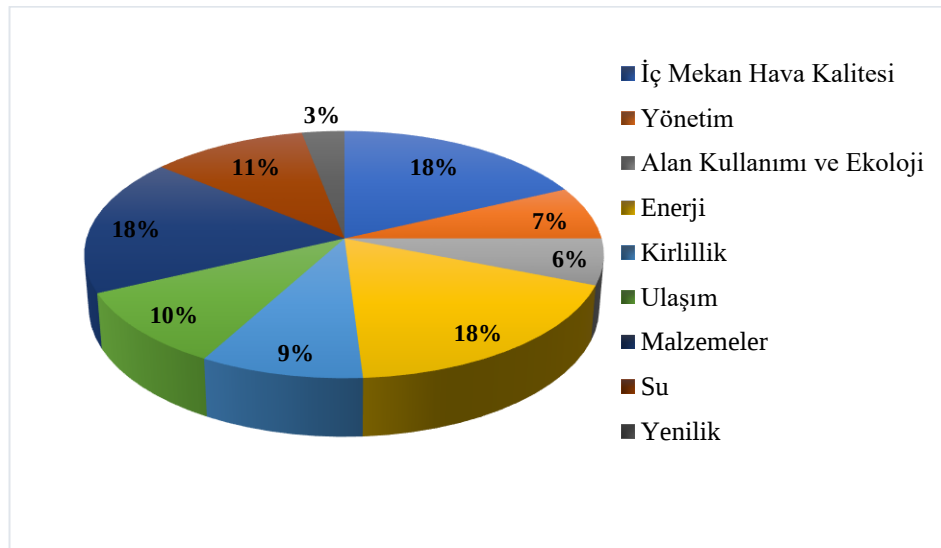
konuda bilinçlenmenin sağlanmasını ve sürdürülebilirlik anlayışının yapı sektöründe daha yaygın kullanılmasını amaçlamaktadır. Değerlendirme sisteminde yapıları; enerji, emisyon, malzeme, iç mekan çevre kalitesi, arazi kullanımı ve ekoloji, su, ulaşım ve yönetim başlıkları altında incelemektedir. Puanlama sonucuna, yapının bulunduğu çevrenin şartları düşünülerek ağırlık katsayıları ile çarpılır. Çıkan sonucun üzerine inovasyon puanının da eklenmesi ile değerlendirme tamamlanmış olur [54].

Değerlendirilen yapının her kategoride topladığı puanlar, ağırlık katsayıları ile çarpılmaktadır. Bu da sistemin Avustralya'daki farklı iklim bölgelerinde daha gerçekçi değerlendirme yapılabilmesine imkan vermektedir. Binanın “Yeşil Bina” olarak nitelendirilmesi için, Çizelge 2.13 de verilen puanların %31’ini toplayarak, dört yıldız alması gerekmektedir [55].

Çizelge 2.13: Green Star Puanlama Sistemi

Yıldızı	Puanı	Durumu
1	10-19	Düşük
2	20-29	Ortalama
3	30-44	İyi
4	45-59	Çok iyi
5	60-74	Avustralya’nın en iyisi
6	75-100	Dünyanın en iyisi

Değerlendirmede kullanılan kriterler Şekil 2.2’de gösterilen kategorilere ayrılır.



Şekil 2.3: GREEN STAR Performans Kategorileri ve Dağılım Oranları [55]

2.6. Casbee Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi

Casbee sertifika sistemi, 2001 yılında Japonya’da ortaya çıkmıştır. JSBC ve JaGBC tarafından geliştirilmiş olan sistem Asya kıtasında bulunan ülkelerin bölgesel değerleri de göz önüne alınmıştır. Casbee sertifika sisteminde yapılar bulundukları yapım aşamalara göre değerlendirilmektedir. Binanın işlevinden bağımsız olarak Tasarım, Yeni ve Mevcut Yapılar, Yenileme aşamaları için farklı değerlendirme metodları kullanılmaktadır. Henüz geliştirilme aşamasında olan Tasarım aracının amacı; projeye uygun yer seçiminde ve projenin çevresel etkilerini azaltmak konusunda tasarım ekibine yardımcı olmaktır. CASBEE değerlendirme sistemi diğer sistemlerden oldukça farklı bir süreçte sahip olup, iki temele dayanmaktadır. Bunlardan birincisi yapının çevresel kalitesi ve performansı (“Q”), ikincisi yapının çevresel yükleridir (“L”). Bu iki değer birbirine oranı, yapının çevresel etkinliğini (BEE) verir.

Yapının çevresel kalitesi ve performansı; İç Mekân Çevresi, Servis Kalitesi ve Arsada Dış Mekân Çevresi kategorilerinde sağladığı puan toplamıdır [56].

“Q” değeri yapının;

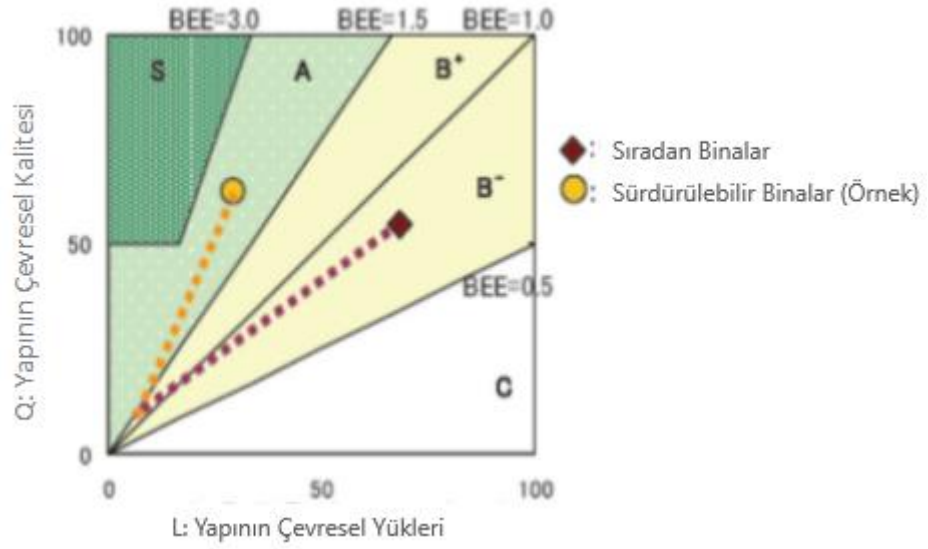
- İç Mekân Çevresi
- Servis Kalitesi
- Arsada Dış Mekân Çevresi kategorilerinden sağladığı puanları,

“L” değeri;

- Enerji
- Kaynaklar ve Malzemeler
- Arsa Dışındaki Çevre

Kategorilerinden kazandığı puanı ifade eder [57].

Değerlendirme sonucunda yapıya Şekil 2.4’de belirtilen farklı düzeylerde sertifika verilmektedir. C değerlendirmede en düşük çevresel etkinlik düzeyini, S ise en yüksek sürdürülebilirlik düzeyini ifade etmektedir. Diğer sistemler ile karşılaştırıldığında anlaşılması daha zor bir sistem olan CASBEE, tariflerin ve dokümanların çoğunun Japonca olması nedeni ile Japonya dışındaki ülkelerde uygulanma zorluğu yaratmaktadır.



Şekil 2.4: CASBEE sisteminde yapının çevresel etkinliğine (BEE) göre sürdürülebilirlik ve sertifika düzeyleri [58]



3. YEŞİL BİNALAR İÇİN YAĞMUR SUYU HASAT SİSTEMLERİ

En eski su hasadı sistemlerinin 9000 yıl önce güney Ürdün'deki Edom Dağları'nda insan ve hayvanların içme suyunu temin etmek amacıyla yapıldığına dair kalıntılar vardır [59]. Evsel ve tarımsal kullanım için basit su toplama yöntemlerinin, 6500 yıldan fazla bir süre önce Irak'ın Ur bölgesinde uygulandığı düşünülmektedir. Sylaba ve khushkaba, subtropikal bir bölge olan Batı Pakistan'ın Baluchistan bölgesinde hala uygulanmakta olan antik su toplama sistemleridir [60]. Tunus'ta zeytin, hurma ve incir üretiminde meskat ve jessour sistemleri hala kullanılmaktadır [61].

Eski dönemlerde özellikle su probleminin olduğu alanlarda sarnıç sistemleri ile yağmur suyu depolanması yaygın olarak kullanılmaktaydı. Sarnıç uygulamaları özellikle yeraltı ve üstü su kaynaklarının yetersiz olduğu fakat yeterli miktarda yağışın olduğu yerler ve su temini altyapısı olmayan yerleşimler için ideal çözüm olarak kullanılmaktaydı [62]. Sarnıç sistemleri temelde dört bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; Yağmur suyunun binaların çatılarından veya zeminden toplanması, oluk sistemi ile iletiminin sağlanması, depoda biriktirilmesi, gerekli ise arıtılarak bina içine iletilmesidir [63]. Sarnıçların en bilinen örnekleri 336 sütunlu İmparator Sarnıcı (Yerebatan Sarayı), 224 sütunlu Pileksenus Sarnıcı (Binbirdirek) ve Acımusluk Sarnıcı'dır [64].

Günümüzde tatlı su kaynaklarının tüketim hızının ve kirlenmesinin artması sebeplerinden dolayı alternatif olarak yağmur suyunun biriktirilmesi gündeme gelmiştir. Özellikle hava limanlarında, askeri kışlalarda, stadyumlarda, turistik tesislerde ve çatı alanı yeterli olan binalarda yağmur sularının toplanarak, basit arıtma işlemlerinden geçirilip kullanılması binalarda su korunumu ve tasarrufu için alınabilecek önemli önlemlerdendir [63]. Var olan su kaynaklarının sürdürülebilir biçimde yönetilmesinin yanında alternatif su kaynakları üzerinde planlama yapılması da önem arz etmektedir. Deniz suyunun arıtılması henüz ekonomik olmadığı için yağmur suyu hasadı kullanılarak güvenilir bir şekilde uygun bir yatırım maliyeti ile kullanım suyu temin edebilmektedir. Dünyadaki kısıtlı tatlı su kaynaklarının korunması için yağmur suyu toplama sistemleri gibi alternatif su kaynaklarına ilgi giderek artmaktadır. Yağmur suyu hasadı sistemi yağışı bol olan bölgelerde daha verimlidir fakat bu bölgelerde çok fazla su sıkıntısı çekilmemektedir. Bunun yanında, az yağışlı bölgeler genellikle su sıkıntısı çektiği için bu alanlarda yağmur suyu hasadı gibi alternatif su kaynaklarının araştırılması önem kazanmaktadır [65].

Doğal su döngüsünde; yağış, buharlaşma, terleme, süzülme ve yüzey akışı Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bir denge içinde olmalıdır. Hızlı kentleşme ve ormanlık alanlarının tahribi sonucunda geçirimsiz yüzeyler artmakta ve yağmur suyu kanalizasyon sistemi ile şehirlerden uzaklaştırılmaktadır. Şehirleşme sonucunda infiltrasyon alanının azalması nedeniyle yeraltı suyu azalmakta ve şehirlerde yüzey akışının artışıyla birlikte sel felaketleri görülmektedir. Şehirlerde yüzey akışının

asgari düzeye indirilmesi için yağmur suyu hasat sistemi çözüm yollarından biri olarak sayılmaktadır [65].



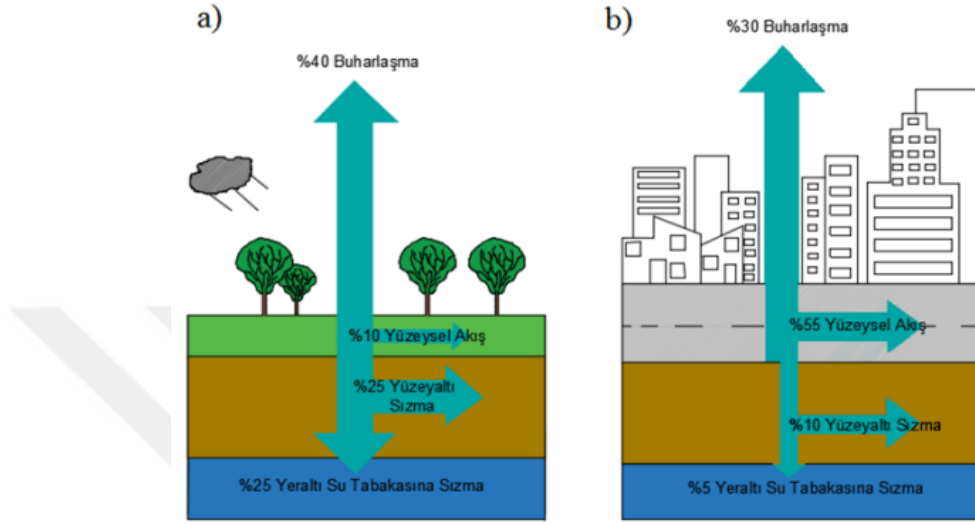
Şekil 3.1: Doğal Su Döngüsü [66]

Su, binalarda kullanım yerine göre içme ve kullanma suyu olarak ikiye ayrılmaktadır. Çatılardan toplanan su, genellikle kullanım suyu olarak kullanılmakla birlikte, içme suyu için kullanılacaksa arıtılması gerekmektedir. Yağmur suyu, sulamada, araç yıkamada, çamaşır makineleri ve binalardaki rezervuarlarda kullanılmak üzere biriktirilebilmektedir. Kamu ve sanayi binalarında yağmur suyu genel olarak rezervuarlarda, yangın söndürmede ve peyzaj sulamasında kullanılmaktadır. Yağmur suyu toplama sisteminin hacmindeki artış maliyetin de artmasına neden olmaktadır. Ancak yağmur suyunun toplandığı çatı alanının daha büyük olması ve kullanım ihtiyacının daha fazla olması sebebiyle yağmur suyu toplama sisteminin büyük ölçekli binalarda kullanılması daha çok etkili olduğundan öncelikli olarak tercih edilmektedir [67].

Yağmur suyunun toplanarak binalarda kullanımının yaygınlaştırılması çeşitli teşvik ve yasalarla desteklenmektedir. Günümüzde Hindistan'ın birçok şehrinde 100 m²'den büyük çatı alanına sahip tüm yeni binalarda ve 1000 m²'den büyük inşaat alanına sahip yeni binalarda, altyapısı bulunan şehrsel alanlarda, yağmur suyu kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. Ülkelerde bu alanda yapılan birçok çalışma mevcuttur.

Su sıkıntısı çekmeyen gelişmiş ülkelerde yağmur suyunun toplanma ve yeniden kullanım amacı, su kaynaklarının korunması ve su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesidir. Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde yağmur suyunun kullanımı genellikle sulama, yangın söndürme ve tuvalet rezervuarları gibi alanlardadır. Dünyada suların yönetilmesi için çok farklı yaklaşımlar ve yöntemler uygulanmaktadır. Çin'de Sünger Şehir adı altında kentsel bölgelerde yağmur suyunun kanalizasyona verilmeden tekrardan kentsel bölgelerde kullanılması, yağmur suyu yönetiminde etkili bir uygulama sayılmaktadır [68]. Sünger altyapılı şehirlerde yağıştan kaynaklanan yüzey akışı tutularak şehirde su temini amacıyla

yeniden kullanılmaktadır. Bunun tam tersi geleneksel altyapıya sahip olan şehirlerde, yağıştan kaynaklanan yüzey akışı kanalizasyon sistemine girerek atık su olarak şehirlerden uzaklaştırılmaktadır. Şu anki durumda dünyada çoğu insan geleneksel şehirlerde yaşadığı düşünülünce yüzey akışının sünger altyapı sistemiyle kentlerde yeniden kullanılması, su kaynaklarının yönetiminde etkili bir uygulama olarak düşünülmektedir [65].



Şekil 3.2: Şehirlerde ve doğal alanlarda altyapı [68]

Yağmur suyu toplamak için son dönemlerde yeşil çatılı uygulamaları dünyadaki birçok ülkede yaygın hale gelmiştir. Chicago Belediye Binasının çatısı Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Yeşil çatılı binalar sadece yağmur suyu toplamak ile kalmayıp aynı zamanda bölgedeki hava kalitesini de iyileştirebilmekte ve aynı zamanda yalıtım görevi de yapmaktadır. Böylece enerji tasarrufu sağlanmaktadır [69].



Şekil 3.3: Chicago Belediye Sarayı'nın Yeşil Çatısı [69]

Japonya’da 30.000 m²’den büyük binalarda gri su arıtma sistemlerinin veya yağmur suyu toplama sistemlerinin kullanılması, Japonya Bayındırlık Bakanlığı tarafından yasa ile zorunlu hale getirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri’nde ise yaklaşık 250.000 ev yağmur suyu toplama sistemine sahip olduğu bilinmektedir [70]. Almanya’da yağmur suyu toplama sistemleri konusunda DIN (1989) standardına göre yağmur suyuna ilişkin planlama, tesisat, uygulama ile bakım, yağmur suyu filtreleme, yağmur suyu rezervuarları ve ek bileşenleri konuları ele alınmaktadır. Su fiyatlarının yüksek olması nedeniyle konutlarda ve çalışma alanlarında 1.5 milyon üzerinde yağmur suyu toplama sistemi kurulmuştur. Sistemin kurulduğu bölgeye göre teşvik için 1200 Euro’ya kadar indirim yapılmaktadır. Karayipler’deki bazı adalarda yeni yapılara yağmur suyu toplama sistemi dahil edilmektedir [71]. İngiltere’de yağmur suyu kullanımı konusunda BS 8515 (2009) yağmur suyu toplama sistemleri uygulama standardı çıkarılmıştır. Bu standart İngiltere’de yağmur suyunun kullanım suyuna eklenmesine ilişkin tasarımı, tesisatı ve bakımı hakkında bilgi vermektedir. Teşvik için sistemin uygulandığı ilk yıl %100 vergi indirimi sağlanmaktadır [72].

Yağmur suyu hasat sistemleri binalarda prestij için de kullanılmaktadır. Örneğin, New York Dünya Ticaret Merkezinde yağmur suları çatıda toplanarak etraftaki yeşil alanların sulanması ve binanın soğutulması için depo edilmektedir. Bu işlem bina soğutmasında kullanılan enerjide %25 tasarruf sağlamaktadır. Frankfurt havaalanı yağmur suyunu, sulamada ve rezervuarlarda kullanmaktadır. Almanya Marburg Tenis Kortu ise dışarıdan temin edilen yağmur suyu ile sulanmaktadır. Überlingen Bommer Otomobil Yıkama Tesisi, yağmursuyu araç yıkanmasında kullanılmaktadır. Berlin Sony-Center’da 25 katlı binanın 14’ünün tuvalet rezervuarlarında yağmur suyu kullanılmaktadır. ABD’de birçok evde yağmur suyu depolama sisteminin olduğu bilinmektedir. Bu sistemlerin çoğu bahçe sulama ve bitki yetiştirme amaçlı, %20’lik bir kesiminin ise içme suyu kullanım amaçlı olduğu belirtilmektedir. Teksas eyaletinin merkezinde tüm ihtiyacını yağmur suyundan karşılayan 400’den fazla sistem vardır. Türkiye’de LEED yeşil bina sertifikasını alan ilk fabrika olan Siemens’in yeni fabrikasında yağmur suları çatıya kurulan sistem ile toplanmakta ve sulama suyu olarak değerlendirilmektedir. Unilever Ümraniye Ofisi ise Türkiye’nin ilk LEED Gümüş sertifikasına sahip projesidir. Bu binada da %40 su tasarrufu yapılmıştır. Sabiha Gökçen Havalimanı’ndaki THY- Pratt Whitney Uçak Motoru Bakım Merkezi Binası LEED Gold sertifikasına sahiptir. Tüm bu belgeli binalarda yağmur suyu toplama ve arıtma sistemleri mevcuttur. Türkiye’nin nanoteknoloji merkezi olan Sabancı Nanodam Teknoloji Merkezi de LEED Gold ve BREEAM Very Good sertifikasına sahiptir. Bu merkezde yağmur suyu depolanması ile beraber su tasarruflu armatürler de kullanılmıştır [673].

Ülkemizde ise yağmur suyu kullanımına ilişkin Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkındaki Yönetmelik 30105 sayı ve 23.06.2017 tarih ile Çevre Şehircilik Bakanlığı tarafından Resmi Gazetede yürürlüğe konulmuştur [74].

Yağmur suyunun, evde tuvalet sifonu, teras temizliği veya özel bahçe sulaması gibi daha az kalite gerektiren yerlerde içme suyunun büyük ölçüde yerini alabileceği kabul edilmektedir [75]. Yağmur Suyu Hasat sistemlerinin çevreye etkisi ve enerji kullanımı ise yıllardır kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır. Bu sistemlerinin performansı ve su tasarrufu hala birçok çalışmada en çok tartışılan konular arasındadır.

Ayrıca, dünyanın farklı yerlerinden yapılan araştırmalar çatıdaki yağmur sularında kirletici maddelerin varlığını ortaya koysa da [76], bazı coğrafyalarda bu sular içme, yemek pişirme ve sıhhi amaçlar için de önemli bir kaynak olarak tanımlanmıştır [77]. Araştırmalar gösteriyor ki evlerde kullanılan suyun yaklaşık %30'u tuvalet rezervuarlarında kullanılmaktadır. Villarreal ve Dixon, 2005 çalışmasında yağmur suyu toplama sistemi uygulandığında şebeke su talebinin %50'ye kadar azaltılacağı öngörmüştür. Texas A&M Kampüsünde sulama suyu potansiyelini belirlemek için EPA'nın yağmur suyu yönetim modelinden (SWMM) yararlanmış ve 230342 m³/yıl sulama suyu potansiyeli belirlenmiştir [78]. Bu değer yağmur suyu hasadından elde edilen suyun kullanılmasının etkisinin ne kadar olacağı konusunda fikir vermektedir [79].

Yağmur suyu depolamanın avantajları ve dezavantajları aşağıda özetlenmiştir [80].

Yağmur suyu depolamanın avantajları

- ✓ Düşük yatırım maliyeti,
- ✓ Düşük işletme maliyeti,
- ✓ İnşaatın ve işletilmesinin kolay olması,
- ✓ Bireysel sorumluluk,
- ✓ Mevcut su temini sistemi ile bütünleştirilebilir olması,
- ✓ Sisteme adaptasyon kolaylığının olması,
- ✓ Olumsuz çevresel etkilerinin az olması,
- ✓ Bedelsiz su temininin sağlanması,
- ✓ Toplanmış suların kullanım yerlerinin yakın olması,
- ✓ Toplanmış suların daha kaliteli olması
- ✓ Toplanan suların arıtmaya gerek duymaksızın yeniden kullanılabilir olması,
- ✓ Mevcut su kaynaklarının korunması özelliğinin olması,
- ✓ Acil (deprem) durumlarda rahatlıkla kullanılabilir olması,

- ✓ Sel riski ve alıcı ortamlara kirlilik yükünü azaltma potansiyeline sahip olması.

Yağmur suyu depolamanın dezavantajları

- ✓ Belirsiz yağış rejiminin su toplama güvenilirliğini azaltması,
- ✓ Su temin eden kuruluşların gelirinde düşüğe neden olma ihtimali,
- ✓ Devletlerin yağmur suyu hasadı ile ilgili politikaların geliştirilmemesi,
- ✓ Tankların ve depoların çocuklar için tehlike oluşturma potansiyeli,
- ✓ Tankların ve depoların büyük hacimde olma gerekliliği.

Yağmur suyu hasat sistemlerinden elde edilen su genellikle bahçe sulama veya rezervuar gibi içilemeyen iç mekân uygulamalarında kullanılır.

Tipik bir yağmur suyunun bileşenleri genellikle bir çatı havzası, filtre, bir depolama tankı ve sistem akışını sağlamak için bir pompa şeklindedir. Talebi karşılamak için yeterli hidrolik yükseklik sağlanırsa pompa kullanılmayabilir. Bu durumdaki sistemlere pasif sistemler denir [81].

Yağmur hasat sistemleriyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan; De Moraes and Rocha (2013), birçok ülke, sosyal ve iklimsel değişikliklerle ilişkili artan su kaynağı baskılarını ele almak için son yıllarda Yağmur Suyu Hasadı uygulanmasını teşvik etmektedir [82]. Guo and Baetz (2007), kentsel alanlarda yağmur suyu, yağış sırasında toplanabilecek alanlardan (örneğin, bina çatıları ve park alanları) yağmur suyunu toplamak ve daha sonrasında kuru günlerde kullanmak üzere tanklarda veya sarnıçlarda depolamak için kullanılmasını önermektedir [83]. Ghisi (2007), Hasat edilen yağmur suyunun kalitesine bağlı olarak, içme suyu (örneğin içme ve pişirme) veya (örneğin tuvaletler yıkama, çamaşır yıkama, araba yıkama ve bahçe sulama) gibi alanlarda musluk suyunun yerine kullanılabileceğini söylemiştir [84].

Basinger ve ark. 2010, Amerika'nın New York şehrinde yağmur suyu hasadı güvenilirlik modeli ile 5 m³ hacimli depolama tankı tasarlandığında; kanalizasyona yağışın miktarının %28 azaltıldığını ve şebekeden temin edilen su ihtiyacının %53 oranında düşürülebildiğini bulmuştur [85].

Çizelge 3.4: Çatı Büyüklüğüne ve Yıllık Yağışa Bağlı Olarak Toplanabilecek Maksimum Yağmur Suyu (m³) [86]

Yıllık Yağış (mm)	Yıllık Toplanabilir Maksimum Yağmur Suyunun Hacmi (m ³)			
	Çatı Alanı (m ²)			
	250	500	1000	2500
300	55	110	221	552
400	75	150	301	752
500	95	190	381	952
600	115	230	461	1152
700	135	270	541	1352
800	155	310	621	1552
900	175	350	701	1752
1000	195	390	781	1952
1100	215	430	861	2152
1200	235	470	941	2352
1300	255	510	1021	2552
1400	275	550	1101	2752
1500	295	590	1181	2952
1600	315	630	1261	3152
1700	335	670	1341	3352
1800	355	710	1421	3552
1900	375	750	1501	3752
2000	395	790	1581	3952
2100	415	830	1661	4152
2200	435	870	1741	4352
2300	455	910	1821	4552
2400	475	950	1901	4752
2500	495	990	1981	4952

Yağmur suyu hasat sistemlerinde toplanabilecek su miktarı alan, hasat katsayısı ve yağış rejimi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Çatı büyüklüğüne ve yıllık yağışa bağlı olarak toplanabilecek maksimum yağmur suyu potansiyeli Çizelge 3.4’de verilmiştir [86].

Yağmur Suyu Hasat sistemlerinin performansı ve tasarım araştırmalarında birçok farklı yaklaşım kullanılmıştır. Örneğin, davranışsal model (Behavioural model) Fewkes (2000), Mitchell (2007), sürekli simülasyonlar (continuous simulation)

Jenkins (2007), analitik yaklaşım Guo ve Baetz (2007), doğrusal programlama yaklaşımı Okoye vd., (2015), stokastik yaklaşım, Unami vd. (2015), doğrusal olmayan meta-sezgisel algoritma Sample ve Liu (2014) ve boyutsuz metodoloji Campisano and Modica (2012) gibi farklı metodlar mevcuttur.

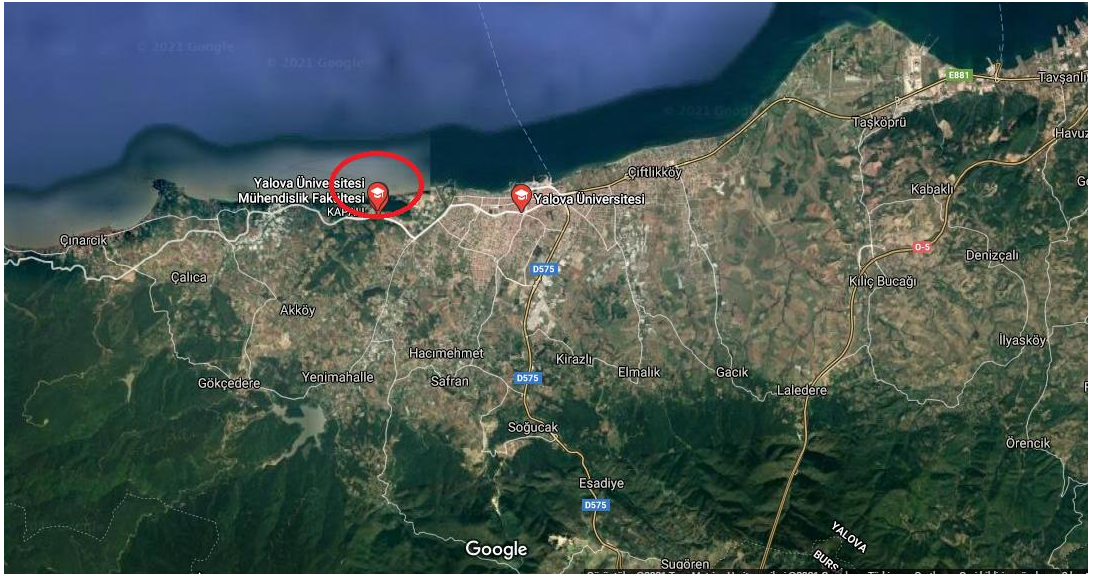
Fewkes (2000), araştırmasında davranışsal modeli kullanarak yağmur suyu tanklarının performansını ortaya koyan bir çalışma yapmıştır. Bu metotta taşma öncesi kullanım (yield before spillage) ve taşma sonrası kullanım (yield after spillage) olarak oluşturulan iki temel yaklaşımı analiz etmiştir.

Jenkins (2007), araştırmasında sürekli simülasyonlar (continuous simulation) metodunu kullanmıştır. Model, yağmur suyu tankının çalışmasını simüle etmek için günlük yağış miktarı ve tüketim verilerini kullanır. Çalışmada Avustralya'daki 12 şehir için günlük yağış verileri kullanılarak yağmur suyu tankı sistemine uygulanmıştır. Çalışma, tüketim oranı azaldıkça yağmur suyu tankından su temininin birim maliyetinin arttığını ve bölgenin iklim özelliklerinin, yağmur suyu tankı sisteminin hidrolojik etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu göstermektedir. Ayrıca çalışma yağmur suyu veriminin, tank hacmi ve yağış miktarıyla ilgili olduğunu da belirtmiştir [87]. Guo ve Baetz (2007), depo hacmini belirlemede su kullanım oranını, verimliliği ve iklim koşullarını içeren analitik formüller geliştirmişlerdir. Yeşil bina yaklaşımıyla yağış rejiminin olasılık modellerini stokastik olarak açıklamışlardır [83]. Sample ve Liu (2014), Yağmur Suyu Analizi ve Simülasyon Programı (RASP) modelini kullanarak, Virginia'daki çeşitli arazi konumlarında Yağmur Suyu Hasat sistemlerinin su teminini değerlendirmişlerdir. Su temini ve verimliliği her simülasyon için değerlendirip, doğrusal olmayan meta-sezgisel bir algoritma kullanılarak her durum ve konum için optimal çözümler belirlemişlerdir. Çalışmada yaklaşık sıfır maliyetle %20 güvenilirliğe ulaşılmıştır [88]. Unami vd. (2015), çalışmasında stokastik diferansiyel denklemlerden oluşan matematiksel bir model geliştirmiştir. Özellikle kuru dönemlerde optimum sulamayı gerçekleştirebilmek için stokastik kontrol problemleri çözülmüştür [89]. Bir diğer çalışma ile Sicilya'daki 17 yağış ölçüm istasyonu için gerçekleştirilen günlük su dengesi simülasyonlarının sonuçlarını baz almıştır ve yıllık yağış modellerini tanımlayan yeni, boyutsuz bir parametre tanımlanmıştır [90].

4. MATERYAL VE METOD

Tezde Yalova Üniversitesi binasında yağmur hasadı sisteminin tasarlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, yeşil bina sertifika sistemleri değerlendirmesi doğrultusunda ele alınan bina için önerilen hasat sistemi tasarım algoritması;

1. Yalova Meteoroloji İl müdürlüğünden Yalova İline ait 2006-2016 yılları arasındaki günlük yağış verilerinin temini.
2. Yalova yağış durumunun istatistik analizlerinin yapılması. Yalova Üniversitesi'nin Yeşil Kampüs hedefine yönelik yapılan bu çalışmada günlük ortalama yağış potansiyelini belirlemek için elde edilen 11 yıllık toplam 4015 veri analiz edilmiştir.
3. Yalova üniversitesi Mühendislik Fakültesine ait yağmur hasadı için kullanılabilir alanın belirlenmesi.
4. Belirlenen alan ve yağış rejiminde hasat edilebilecek maksimum yağmur suyu miktarının hesaplanması.
5. Belirlenen yağmur suyu miktarını karşılayacak şekilde optimum depo hacmi belirlenmesi, boyutlandırılması ve yerleşimi.
6. Bu yöntemlerle birlikte binadaki su tüketiminin de analiz edilerek değerlendirilmesi.
7. Sistemin ekonomik analizinin yapılması.



Şekil 4.1: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Konumu [91]

Çizelge 4.1: Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Temel İklim Tiplerinin Özellikleri [93]

Harf	Tanım	Temel Özelliği
A	Nemli Tropikal	Kış mevsimi yoktur ve tüm ayların ortalama sıcaklığı 18°C üzerindedir. Tmin > +18°C
B	Kurak	Buharlaştırma yağıştan fazladır ve sürekli su eksikliği vardır.
C	Kışları ılıman nemli	En soğuk ayın ortalama sıcaklığının 18°C'nin altında ve 0°C'nin üstünde, en sıcak ayın ortalama sıcaklığı 10°C'nin üzerindedir.
D	Kışları soğuk nemli orta enlem (karasal iklim)	En soğuk ayın ortalama sıcaklığı 0°C'ye eşit veya altındadır, en sıcak ayın ortalama sıcaklığı 10°C'nin üzerindedir.
E	Polar	Yaz mevsimi yoktur ve en sıcak ayın ortalama sıcaklığı 10°C'nin altındadır. Tmaks < +10°C

Yalova ilinin iklim sınıfını Köppen sınıflandırmasına göre değerlendirmesi yapılmıştır. İklim sınıflandırmasına göre iklim tipleri ve özellikleri çizelge 4.1'deki gibidir [92].

Yalova İli, Türkiye'nin Kuzeybatısında ve Marmara Bölgesi'nin Güneydoğu kesiminde yer alır. Doğu boylamları 28° 45' ve 29° 35', Kuzey enlemi 40° 28' ve 40° 45' arasında yer almaktadır. İlin denizden yüksekliği 2 metre olmakla birlikte en yüksek noktası 926 metredir. Yüzölçümü 847 km²'dir. Yüzölçümü bakımından Türkiye'nin en küçük ilidir. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin tam konumu ise Şekil 4.1'de gösterilmektedir [91].

Yalova İli Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçişe sahiptir. Kimi dönemlerde de karasal iklim özelliği gösterir. İlde yazlar kurak ve sıcak, kışlar ılık ve bol yağışlı geçer. Yalova'da yıllık ortalama sıcaklık değeri 14.6°C olup en soğuk ayın ortalama sıcaklığı 6.6°C, en sıcak ayın ortalama sıcaklığı 23.7°C'dir.

Çizelge 4.2: Köppen-Geiger iklim tiplerinde kullanılan harfler ve kriterleri [93]

Harfler			Tanım	Özellik
1	2	3		
B			Kurak	Pyıllık < 10 x Paylık**
	W		Çöl	Pyıllık < 5 x Paylık
	S		Step (yarı-kurak)	Pyıllık > 5 x Paylık
		h	Sıcak	Tyıllık > +18 °C
		k	Soğuk	Tyıllık < +18 °C
C			Ilıman ya da kışları ılıman nemli orta enlem	Tmaks > 10°C ve 0°C < Tmin < +18°C
	s		Yazları kurak	Pyazmin < Pkışmin Pyazmin < 40 mm ve Pyazmin < Pkışmin / 3
	w		Kışları kurak	Pkışmin < Pyazmin ve Pkışmin < Pyazmaks / 10
	f		Her mevsim yağışlı	Cs ya da Cw değil
		a	Sıcak yaz	Tmaks > +22°C
		b	Ilık Yaz	Tmaks < +22°C, en az 4 ayın ortalaması T > +10°C
		c		Tmaks < +22°C, en az 4 ayın ortalaması T < +10°C ve Tmin > -38°C
D			Karasal İklim	Tmaks > 10°C ve Tmin < 0°C
	s		Yazları kurak	Pyazmin < Pkışmin Pyazmin < 40 mm ve Pyazmin < Pkışmin / 3
	w		Kışları kurak	Pkışmin < Pyazmin ve Pkışmin < Pyazmaks / 10
	f		Her mevsim Yağışlı	Ds ya da Dw değil
		a	Sıcak yaz	Tmaks > +22°C
		b	Ilık Yaz	Tmaks < +22°C, en az 4 ayın ortalaması T > +10 °C
		c	Serin yaz	Tmaks < +22°C, en az 4 ayın ortalaması T < +10°C ve Tmin > -38°C
		d	Çok soğuk kış	C'nin koşullarından farklı olarak Tmin < -38°C

*Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye’de nemli tropikal (A) ve polar (E) iklim tiplerinin görülmemesinden dolayı bu iklimlere ait alt iklim tiplerinin özelliklerine yer verilmemiştir.

**T= sıcaklık, P= yağış, min= tüm aylardaki en düşük değer, maks= tüm aylardaki en yüksek değer, yıllık= yıllık ortalama değer, yaz_{min}= yaz aylarındaki en düşük değer, yaz_{maks}= yaz aylarındaki en büyük değer, kış_{min}= kış aylarındaki en düşük değer, kış_{maks}= kış aylarındaki en yüksek değer, eşik= eşik değeri (Kuzey yarımküre için yaz ayları Nisan-Eylül (NMHTAE), kış ayları Ekim-Mart (EKAÖŞM) dönemidir).

Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Yalova ilinin iklimi Csa kategorisinde, yazları sıcak kışları ılık ve nemli olarak belirlenmiştir.

4.1. Mühendislik Fakültesi

Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2016 yılında inşa edilmiştir. 11.176 m² kapalı alana ve 2500 m² çatı alanına sahiptir. Tezde kullanılabilir alan, çatıdaki 400 m²’ lik boşluk çıkarılmasıyla 2100 m² olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binası

Fakülte rezervuarlarındaki su talebini belirleyebilmek için rezervuarlarda kullanılan su miktarı Cheng (2006) çalışmasındaki gibi kişi başı 10 L/gün olarak alınmıştır [94].Dekanlık, 2021 yılı için Mühendislik fakültesindeki öğrenci sayısını 2000, eş zamanlı öğrenci sayısının yaklaşık 300 olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle fakülte rezervuarlarında günlük harcanan su miktarı hesaplamalarda kişi başı 10 L/gün su kullanımı ile minimum 300 öğrenci için 3000 L/gün, maksimum 1500 öğrenci için 15000 L/gün olarak hesaplanmış değerlendirmeler bu yönde yapılmıştır.

4.2. Yağmur Suyu Depolama Hücresi Dizaynı

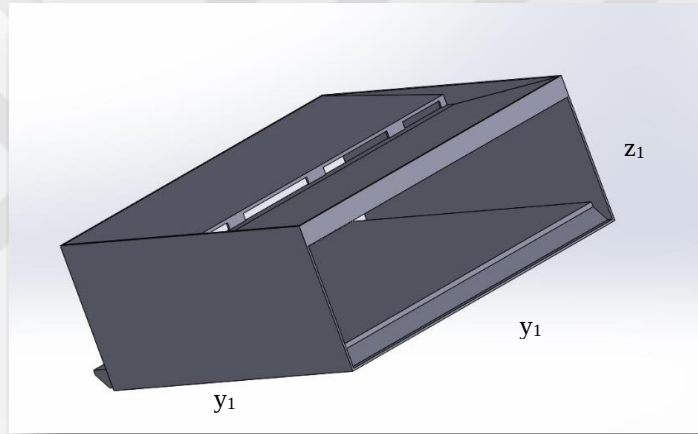
Bu tezde tasarlanan yağmur suyu depolama hücresinde (*ilerleyen kısımlarda kapsül olarak adlandırılacak*) hasat edilen yağmur suyunun, mühendislik fakültesi rezervuarlarında kullanılmak üzere depolanması amaçlanmıştır. Bu sebeple ilk olarak Yalova ilinin yağış rejimi incelenmiş, sonuçlar analiz edilmiş ve hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı bulunmuştur. İkinci adım olarak yağmur hasadı yapılacak alan belirlenmiş ve bu alanda kullanılacak ve hesaplanan yağmur suyu hacmini karşılayabilecek en uygun depolama hacmi hesaplanmıştır. Tasarlanan yağmur kapsüllerinin yerleşimi için Küçükkaya E., (2018)'in [95], tezindeki bina yanına konstrüksiyon yapılması yaklaşımından farklı olarak binanın çatı alanının kullanılmasına karar verilmiştir. Yağmur suyu kapsüllerinin tasarımı için 2 yaklaşım değerlendirilmiştir.

1. Yaklaşım

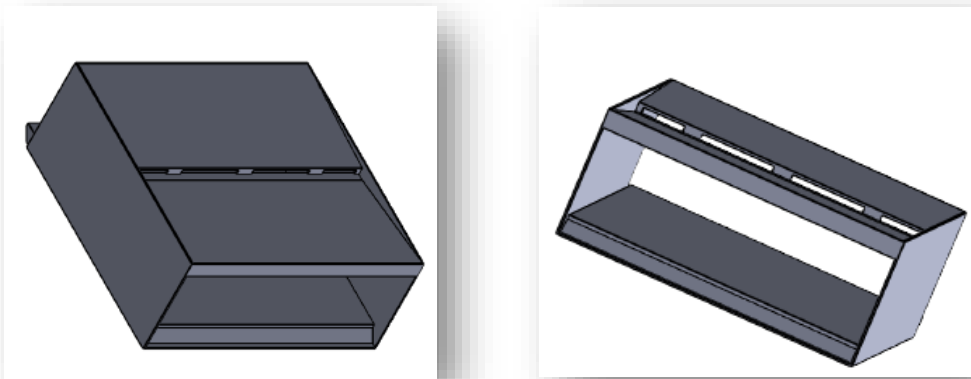
Mümkün olduğunca çok alandan faydalanmak için kapsül boyutlandırmasının, optimum yerleşime ve hacme göre olması için hesaplamalar yapılmıştır. Kapsül ebatları belirlenirken nakliye montaj/demontaj/bakım durumları, büyük ölçüler için

ciddi boyutlara ulaşan kalıp maliyeti ve büyük boyutlarda deprem esnasında meydana gelmesi muhtemel çalkantıyla binaya etki edecek dinamik yük de göz önünde bulundurulmuş ve küçük parçalar halinde tasarlanmıştır.

Buharlaşmayı minimumda tutabilmek amacıyla yağmur kapsülleri kapalı şekilde dizayn edilmiş olup üst kısımda su geçişine izin verecek şekilde açıklıklar bırakılmıştır (Şekil 4.4). Bu sayede hem buharlaşmanın asgari düzeyde tutulması hedeflenmiş, hem de toz ve yaprak gibi su kirliliğine neden olacak etkilere karşı korunmuştur. Toplanacak yağmur suyunun kapsül içine akmasına yardımcı olmak amacıyla yağmur kapsülünün üst kapağı içeriye doğru eğimli tasarlanmıştır. Yağmur kapsülleri birbirlerine geçmeli olacak şekilde ve birbirlerine bağlandıkları yerlerden su geçişine izin verecek şekilde dizayn edilmiştir. Böylece bileşik kaplar prensibinden de yararlanılmış ve küçük kaplar birleştirilerek çok büyük bir kap elde edilmiştir.



Şekil 4.4: 1. Yaklaşım Yağmur Kapsülü Genel Görünüş



Şekil 4.5: 1. Yaklaşım Yağmur Kapsülleri

Kapsül boyutlandırmasında çeşitli formüller kullanılmıştır. Kapsül yüksekliği z_1 (m);

$$z_1 = \frac{V_{mak}}{A_{\text{ç}}} \quad (4.1)$$

denklemleriyle hesaplanmıştır. Bu denklemde V_{mak} maksimum verimde hasat edilebilecek yağmur suyu hacmini (m^3), $A_{\text{ç}}$ kullanılabilir çatı alanını (m^2) göstermektedir. Kapsül alanı (m^2);

$$A_{k1} = x_1 \times y_1 \quad (4.2)$$

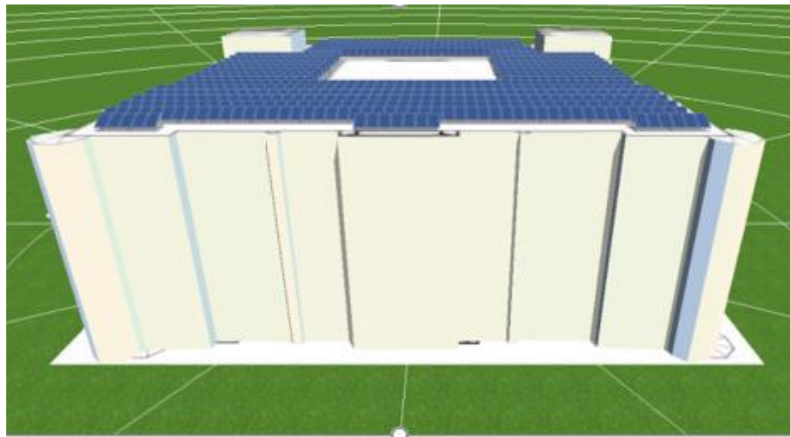
kullanılarak bulunmuştur. Bu denklemde x_1 kapsülün eni (m), y_1 kapsülün boyu (m) olarak gösterilmektedir. 1. yaklaşım için kullanılacak kapsül adedi denklem 4.3 yardımıyla bulunmuştur.

$$S_{k1} = \frac{A_{\text{ç}}}{A_{k1}} \quad (4.3)$$

Bu denklemdeki S_{k1} kapsül adedini göstermektedir.

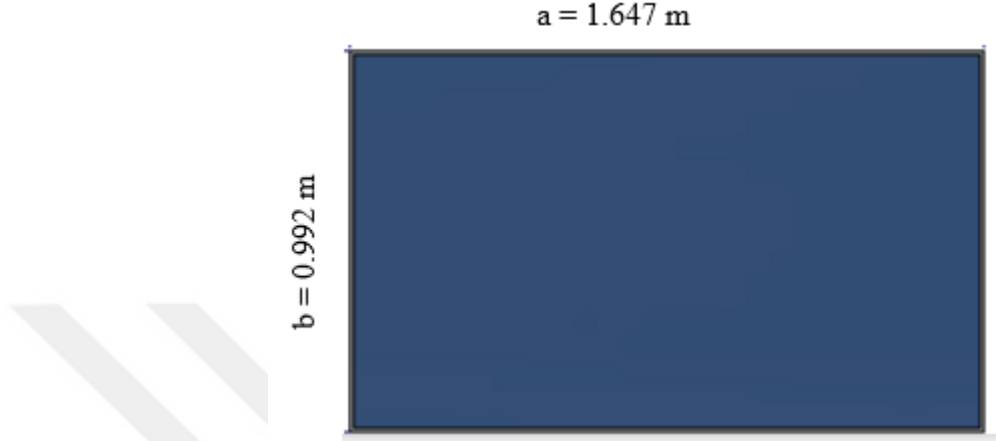
2. Yaklaşım

Bu yaklaşımda yağmur kapsülleri Kara (2019)'da tasarlanan güneş panellerinin altına monte edilecek şekilde yerleştirilmiştir. Aynı referansta, “*Mühendislik Fakültesi yerleşimi göz önünde bulundurulduğunda çatı yerleşimine 708 adet 250W’lık panel koyulabileceği tespit edilmiştir. Kullanılacak panelin boyutlarının 1647x992x35mm olduğu göz önünde bulundurulduğunda güneşin temas edeceği birim alan güneş paneli başına 1.634 m² olarak hesaplanmıştır.*” yargısından yola çıkılarak kapsülün boyutlandırması yapılmıştır [96].



Şekil 4.6: Mühendislik Fakültesi Görünüşü

Yağmur kapsüllerinin güneş kolektörlerinin altına yerleştirilmesi planlanmıştır. Güneş kolektörlerinin üzerine yağan yağmurun, kolektör eğiminden yararlanarak, kolektörün alt kısmındaki oluk vasıtasıyla kapsülün içine akması sağlanacaktır. Kapsül boyutlandırmasında güneş kolektörünün boyutlarından yararlanılmıştır. Güneş kolektörleri 1647x992x35 mm boyutlarında ve 30° açıyla duracak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4.7: Güneş Kolektörü Boyutları

Şekil 4.7'ye göre kolektörün a (m) boyu b (m) ile gösterilmiştir. Yağmur kapsüllerinin montajı göz önüne alınarak kapsüllerin eni kolektörün eni ile eşit olacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu bilgiler ışığında kapsülün yüksekliği y_2 (m) ve derinliği z_2 (m) eşitlik 4.4 ve 4.5 kullanılarak hesaplanmıştır:

Güneş kolektörü 30 derecelik bir açıyla tasarlandığından yağmur kapsülünün derinliği z_2 (m);

$$z_2 = a \times \cos 30^\circ \quad (4.4)$$

denklem 4.4 ile bulunmuştur. Kapsülün alanı A_{k2} (m^2), kolektörün eni b (m) ve derinliği z_2 kullanılarak;

$$A_{k2} = z_2 \times b \quad (4.5)$$

denklemleriyle bulunmuştur.

$$y_2 = \frac{V_{\text{mak}}}{A_{k2}} \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'da kapsülün yüksekliği y_2 (m), toplam kapsül alanının A_{k2} (m^2) toplanacak maksimum yağmur suyu hacmine V_{mak} (m^3) bölünmesi ile bulunmuştur.

4.3. Yalova İli Yağış Analizleri

Uygun olmayan çok büyük tank hacimlerinin bulunmasının önemli nedenlerinden birinin günlük yerine aylık yağış verileri ile çalışmak olduğu bilindiği için bu tezde günlük yağış verileri temin edilmiştir [97]. Yalova ilinin yağmur analizini gerçekleştirebilmek için verilerin toplamı, ortalamaları ve maksimum/minimum yağış miktarları ve frekans (yağışın görülme sıklığı) değerleri belirlenmiştir.

4.3.1. Regresyon Analizi

İstatistiki anlamda iki değişken arasındaki ilişki denildiğinde, bu değişkenlerin değerlerinin karşılıklı değişimleri arasında bir neden-sonuç ilişkisi veya bir bağıllık ilişkisi anlaşılır. Bağımsız değişken X'in değerleri değişirken, buna bağlı olarak bağımlı değişken Y'nin değerleri de değişiyorsa bu iki değişken arasında ilişki olduğu söylenebilir. Değişkenler arasındaki bu ilişkinin matematiksel bir fonksiyonla ifade edilmesi regresyon analizi denir.

Regresyon analizinde değişkenler arasındaki ilişki doğrusal olabileceği gibi eğrisel de olabilir. Regresyon denklemi, bir bağımlı ve bir bağımsız değişkenden meydana geliyorsa ve değişkenler arasındaki ilişki doğrusal ise yapılan regresyon analizi basit doğrusal regresyon analizi olarak adlandırılır.

X_i ve Y_i değişkenleri arasındaki kuramsal ilişki aşağıdaki doğrusal tahmin regresyon denklemi,

$$Y_i = a + bX_i + e_i \quad (4.7)$$

ile gösterilir.

Burada;

Y_i : Bağımlı değişken Y'nin i'inci gözlem değerini (Yağış Miktarı, “mm”)

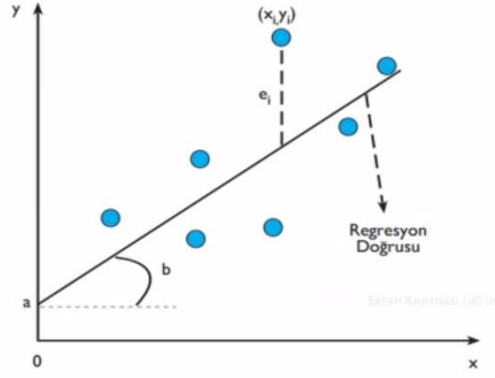
X_i : Bağımsız değişken X'in i'inci gözlem değerini (Zaman, “gün”),

e_i : i'inci gözlem için ortalaması sıfır ve tüm gözlemler için sabit s standart sapmalı normal dağılıma sahip olduğu varsayılan rassal hatayı,

a: $X_i = 0$ olduğunda Y_i 'nin değerini,

b: X'te meydana gelecek birim değişikliğin y'deki oransal etkisini gösterir.

Şekil 4.8'de Regresyon modelinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.8: Tahmini Regresyon Modeli

En küçük kareler tekniği yardımıyla a ve b,

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) + (Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (4.8)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (4.9)$$

denklem 4.8 ve 4.9 yardımıyla hesaplanır.

4.4.Yağmur Suyu Hasat Analizi

Yağmur suyu hasat sistemlerinde toplanabilecek yağmur suyu miktarını etkileyen en önemli faktörler depo hacmi ve yağış rejimidir. Depo hacmi arttıkça toplanan yağmur suyu miktarı artar. Fakat depo hacmi sonsuza kadar artamayacağı için makul bir hacmi bulmak önemlidir. En makul depo hacmi, mümkün olan en fazla yağmur suyunu depolayabileceğimiz hacim olarak değerlendirilebilir. Bu durumda bir günlük değil, arka arkaya yağışlı geçen iki veya fazla gün boyunca devam eden yağışların toplamını göz önüne almak gerekir. Böylece, Yalova'nın yağmur rejiminden dolayı, eğer bu toplamlar makul bir maksimuma yakınsarsa, o takdirde maksimumu depolayacak depo hacmi, yağış toplamından belirlenmiş olur. Bu değer hesaplanabilmesi için, 2 günden başlayarak 30 güne kadar, arka arkaya yağışlı geçen günlerin yağış miktarlarının toplamı hesaplandı. Burada amaç, Yalova'da yağın yağmur sonlu bir büyüklük olduğundan, yeterince geniş bir zaman aralığı seçip, yağış toplamının artmamaya başladığı değer tespit etmektir. Optimum depo hacmini, belirli zaman aralıklarında toplanabilecek maksimum su miktarını göz önüne alarak bulabilmek için 2006 ve 2016 yılları arasındaki her yıl için, artarda 2 günden başlayarak 30 güne kadar artan zaman aralıkları boyunca yağın yağmur miktarları toplanmıştır. Bu değerlerin maksimumları denklem 4.10 ile tespit edilmiştir.

$$R_{maks} = \sum_{j=2}^{30} \sum_{i=1}^j R_i \quad (4.10)$$

Burada R_{maks} 30 güne kadar çıkarılan zaman aralığında toplanan yağmur miktarının ulaşabileceği maksimum değerdir. R_i ise i gününde ölçülen yağış miktarıdır. İklim özelliklerine göre, artırılarak hesaplanan zaman aralıklarında maksimum yağışlar farkı eğer 0'a yakınsıyorsa bu durumda, Yalova iklimine göre hasat edilebilecek en büyük hacim elde edilmiş olur. Artan zaman aralıkları için maksimum yağış miktarı denklem 4.11 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta R_{maks} = R_{maks,i} - R_{maks,(i-1)} \quad (4.11)$$

Bu eşitlikte kullanılan $R_{maks,i}$ ve $R_{maks,(i-1)}$ büyüklükleri ardışık yıllarda hesaplanan, artan zaman aralıkları için maksimum yağış miktarıdır. Yağmur suyu hasat sisteminin verimi yağmur miktarı ile doğru orantılı olduğundan, yağmur suyu hasadı için yağış dağılımı ve yağmur rejiminin analiz edilmesi çok önemlidir. Yağış potansiyeli, toplanılabilecek yağış miktarı, yağmur suyunun toplanacağı depo, maliyet ve geri ödeme sürelerinin hesaplanabilmesi için gerekli olan yerel yağış verileri Yalova Meteoroloji İl Müdürlüğünden temin edilmiştir.

Belirlenen bölgede yağış miktarları istatistiki metodlarla tespit edildikten sonra bina çatı yüzeyinden ne kadar yağmur suyu toplanabileceğini belirlemek için Ming ve ark. (2009)'da yapılan çalışmaya benzer bir simülasyon metodundan yararlanılmıştır [98].

Çizelge 4.2'deki C hasat katsayısı, çatıya düşen bütün yağmurun geri dönüştürülemeyeceğini ifade etmektedir. Hasat katsayısı, akış yüksekliğinin yağış yüksekliğine oranı olarak tanımlanan boyutsuz bir büyüklüktür [99]. Bu katsayının belirlenmesinde yağmurun toplandığı alanın konumu, eğimi, yönü ve malzemesi dikkate alınır.

Hasat katsayısı;

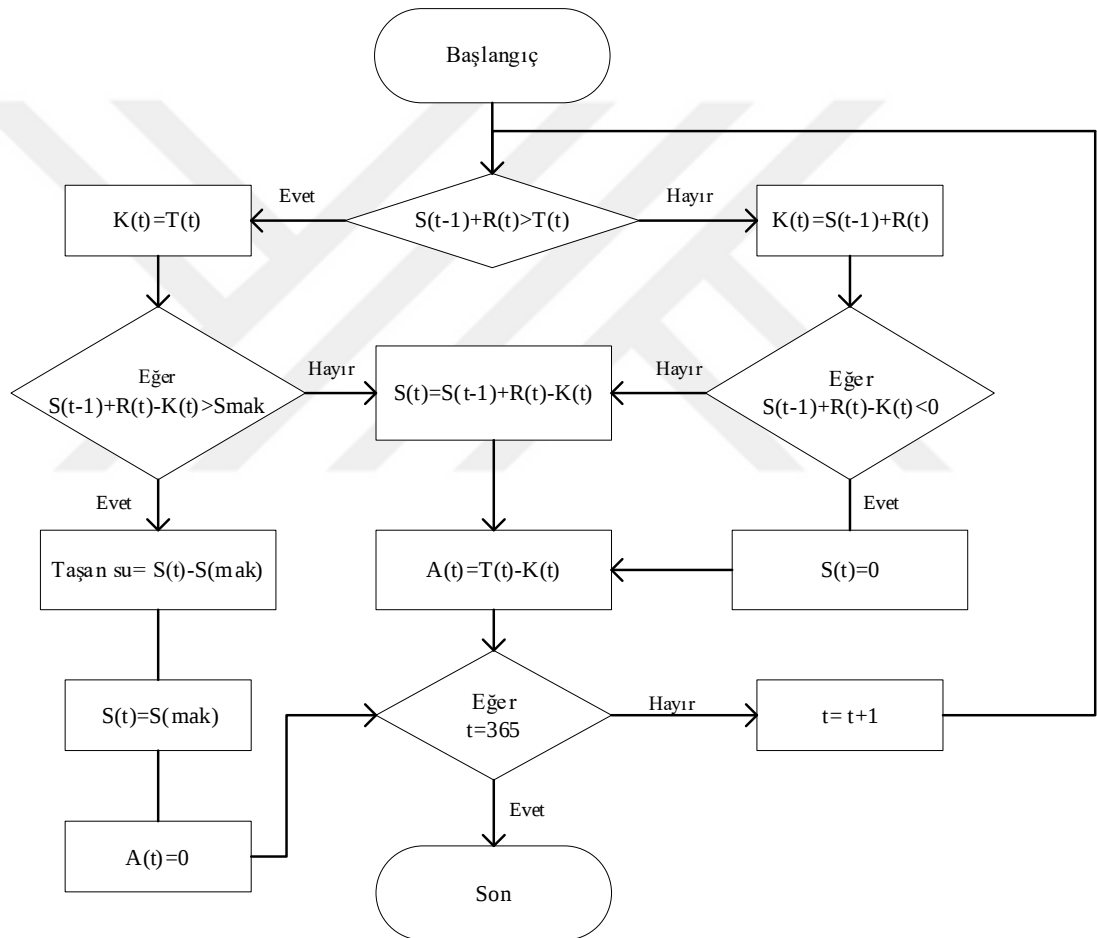
$$C = \frac{\text{Akış Yüksekliği}}{\text{Yağış Yüksekliği}} \quad (4.12)$$

4.12 denklemiyle tanımlanmaktadır ve değerleri 0 ile 1 arasında değişir. Yüzey beton ile kaplı ise hasat katsayısı bire doğru yaklaşır.

Çizelge 4.2: Farklı Yüzeyler İçin Hasat Katsayıları [100]

Yüzey	Hasat Katsayıları (C)
Çatılar	0.75-0.95
Asfalt ve Beton	0.70-0.95
Tuğla	0.70-0.85

Yağmur suyu talebi, kullanabilen yağmur suyu miktarı, depo hacmi ve toplanan yağmur suyu miktarı arasındaki ilişkiyi değerlendirebilmek için simülasyon modeline benzer gösterimler yapılmıştır [98].



Şekil 4.9: Simülasyon modeli akış şeması [98]

Optimum depo hacmini belirleyebilmek için Fewkes (2000) yapmış olduğu YBS ve YAS metodlarının açıklandığı davranışsal metoda benzer yaklaşımlar değerlendirilmiştir [101].

Bu metotta taşma öncesi kullanım (yield before spillage) ve taşma sonrası kullanım (yield after spillage) olarak oluşturulan iki temel yaklaşım vardır. Taşma sonrası kullanım, YAS metodu, mevcut verimi, bir önceki zamanda depolanan yağmur suyu

hacmi ile mevcut zaman aralığındaki talep arasındaki minimum değer olarak varsayar. Tankta depolanan yağmur suyu; bir önceki günden kalan yağmur suyu hacmine, o gün yağın yağmur suyunun eklenmesi ve toplamdan o gün kullanılan su miktarının çıkarılması ile bulunur [101].

$$Y_t = \min \left\{ \begin{matrix} D_t \\ V_{t-1} \end{matrix} \right\} \quad (4.13)$$

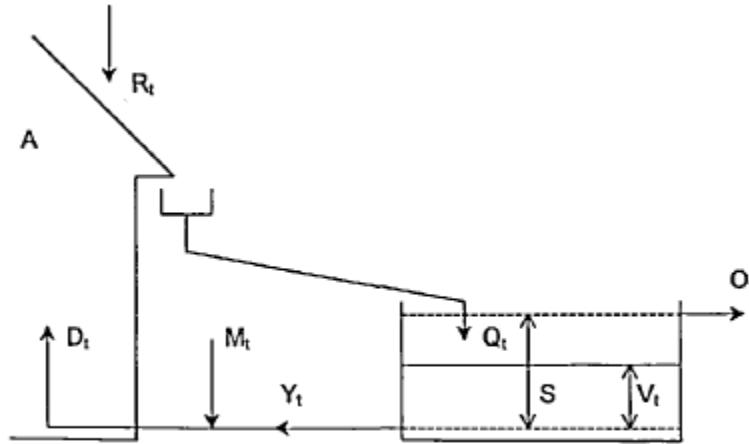
$$V_t = \min \left\{ \begin{matrix} V_{t-1} + A \cdot R_t - Y_t \\ S - Y_t \end{matrix} \right\} \quad (4.14)$$

Y (m^3) tanktan kullanılan su, D (m^3) su talebi, V (m^3) depodaki hacim, R yağış miktarı (m), t zaman, A etkin çatı alanı (m^2) ve S tankın depolama kapasitesi (m^3)'dir.

YBS çalışma kuralında verim, önceki günden depoda kalan yağmur suyu hacmine o günkü yağış veya mevcut talepten hangisi daha küçükse onun eklenmesiyle belirlenir.

$$Y_t = \min \left\{ \begin{matrix} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{matrix} \right\} \quad (4.15)$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{matrix} V_{t-1} + A \cdot R_t - Y_t \\ S \end{matrix} \right\} \quad (4.16)$$



Şekil 4.10: Yağmur Suyu Depolama Sistemi [101]

Sonsuz Depo Yaklaşımı:

Bu yaklaşımda depo hacmi belli değildir. Yağın tüm suyun hasat edildiği kabul edilir. Hacim sonsuz olduğu için maksimum hacme ulaşmaz ve fazla gelen suyun taşma ihtimali gerçekleşmez.

$$TS = Y \times A \times H_k \quad (4.17)$$

4.13 denkleminde toplanan (hasat edilebilecek) yağmur suyu miktarı TS (m³), yağış miktarı Y (kg/m²) ve hasat katsayısı H_k ile gösterilmiştir.

$$KS = TS - KUS \quad (4.18)$$

Kalan yağmur suyu miktarı, 4.18 denklemindeki gibi hasat edilen su miktarından kullanılan miktarın çıkartılması ile bulunur. Denkleminde kalan yağmur suyu KS (m³) ve kullanılan yağmur suyu KUS (m³) olarak gösterilmiştir.

(1. Durum - Tankın Boş Olduğu Durum)

Eğer (t) gününde toplanan yağmur suyu ve bir önceki günden kalan yağmur suyu (t-1) toplamından, (t) gününde kullanılan yağmur suyu miktarını çıkardığımızda sıfırdan küçük/eşitse tankın içindeki su miktarı sıfıra eşittir.

$$TS_t + KS_{t-1} - KUS_t \leq 0 \quad (4.19)$$

$$S_t = 0 \quad (4.20)$$

4.20 denkleminde depo hacmi S (m³) ile gösterilmiştir.

(2. Durum - Tankın Boş Olmadığı Durum)

Eğer (t) gününde toplanan yağmur suyu ve bir önceki günden kalan yağmur suyu (t-1) toplamından, (t) gününde kullanılan yağmur suyu miktarını çıkardığımızda sıfırdan büyükse tankın içindeki su miktarı kadar yağmur suyu kullanılabilir. Tank hacmi sonsuz olduğu için taşma gerçekleşmez.

$$TS_t + KS_{t-1} - KUS_t > 0 \quad (4.21)$$

$$S = S_t \quad (4.22)$$

Sonlu Depo Yaklaşımı;

Bu yaklaşımda depo hacmi belirlidir. Yağan tüm suyun hasat edilememesi ihtimali vardır. Maksimum hacme ulaşıldığında fazla gelen suyun taşma ihtimali gerçekleşir.

(1. Durum - Tankın Boş Olduğu Durum)

(t) gününde toplanan yağmur suyu ve bir önceki günden kalan yağmur suyu (t-1) toplamından, (t) gününde kullanılan yağmur suyu miktarını çıkardığımızda sıfırdan küçük/eşitse tankın içindeki su miktarı sıfıra eşittir.

$$TS_t + KS_{t-1} - KUS_t < 0 \quad (4.23)$$

$$S_t = 0 \quad (4.24)$$

(2. Durum Taşmanın Gerçekleştiği Durum)

Eğer (t) gününde toplanan yağmur suyu ve bir önceki günden (t-1) kalan yağmur suyu toplamından, (t) gününde kullanılan yağmur suyu miktarını çıkardığımızda tankın hacminden büyükse, en fazla, tankın içindeki su miktarı kadar yağmur suyu kullanılabilir. Tank hacminden fazla olan yağmur suyu taşar.

$$TS_t + KS_{t-1} - KUS_t > S \quad (4.25)$$

$$S = S_{maks} \quad (4.26)$$

(3. Durum Taşmadan Önce Kullanma Durumu)

Eğer (t) gününde toplanan yağmur suyu ve bir önceki günden (t-1) kalan yağmur suyu toplamından, (t) gününde kullanılan yağmur suyu miktarını çıkardığımızda tankın hacminden büyük ya da küçük olmadığı tüm durumlar için tankın içindeki kadar su kullanılır.

$$TS_t + KS_{t-1} - KUS_t = 0 \quad (4.27)$$

$$S = S_t \quad (4.28)$$

Kullanılan Su Miktarı:

(1. Durum)

Depo boşken toplanan yağmur suyu talepten büyükse talep kadar yağmur suyu kullanılabilir. Talep %100 karşılanmış olur.

$$TS_t \geq T \quad (4.29)$$

$$KS_t = T \quad (4.30)$$

(2. Durum)

Eğer toplanan yağmur suyu talepten düşük miktardaysa talep %100 karşılanamayacak ve kullanılan su toplanan yağmur suyuna eşit olacaktır.

$$Ts_t < T \quad (4.31)$$

$$KS_t = Ts_t \quad (4.32)$$

(3. Durum)

Toplanan yağmur suyu ve bir önceki günden depolanan yağmur suyunun toplam miktarı talepten büyük veya eşitse kullanılan yağmur suyu miktarı talebe eşit olur. Talep %100 karşılanmış olur.

$$Ts_t + KS_{(t-1)} \geq T_t \quad (4.33)$$

$$KS_t = T \quad (4.34)$$

(4. Durum)

Toplanan yağmur suyu miktarı ve bir önceki günden depolanan yağmur suyunun toplam miktarı talepten küçük ise talep %100 karşılanmaz, mevcut depo hacmindeki su miktarı kadar kullanılır.

$$Ts_t + KS_{(t-1)} < T_t \quad (4.35)$$

$$KUS_t = S_t \quad (4.36)$$

Sonlu ve sonsuz hacimlerdeki ihtimaller belirlendikten sonra her yağış miktarı için belirli hacimlerde hasat edilebilecek yağmur suyu miktarları hesaplanmıştır. Depo hacmi 25 m³'ten başlanarak düzenli aralıklarla artırılmıştır. Her hacim için verim ve hasat edilebilen yağmur suyu değerleri sonlu ve sonsuz hacim yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Analiz sonucu optimum depo hacmi ve hasat edilebilecek maksimum yağmur suyu miktarı belirlenmiştir. Belirlenen optimum hacim için yağmur suyu toplama deposu dizayn edilmiştir. Depo tasarımı için 2 yaklaşım kullanılmıştır.

Yağmur suyu toplama sistemlerinin en önemli bileşeni depolama tanklarıdır. Bu depoların genellikle yerüstünde olması tercih edilmez. Yeraltında depolamanın avantajlarından bazıları; güvenlik, görsel kirlilik oluşturmaması, arazi değerine etkisi şeklindedir. Bununla beraber yerüstünde olmayan depoların bakım zorluluğu vardır. Yerüstünde olan depolamanın avantajları ise daha uygun maliyetli tesisat ve bakım kolaylığının olmasıdır. Yağmur suyunun toplanmasında genellikle iki yöntem kullanılır. Bunlar, binaların çatılarından ve yer yüzeyinden yağmur suyu toplama yöntemleridir. Yağmur suyunun kalitesine bakıldığında çatılardan toplanan yağmur suyunun, yer yüzeyinden toplanan sulardan daha güvenilir ve daha iyi kalitede olması beklenmektedir [65]. Çatılardan toplanan yağmur suyu, özellikle içme suyu kaynağının zor bulunduğu kırsal alanlarda içme suyu gereksinimlerini karşılamak

için kullanılır [102]. Tüm tespit edilebilen yağmurların %80-%85'i toplanabilir ve depolanabilir durumdadır. Bir aile yıllık 200 mm ile az nitelendirilecek yağışa sahip bölgede iyi şekilde tasarlanmış bir yağmur suyu hasadı ile bir yıl boyunca ihtiyaçlarını karşılayabilir [103]. Türkiye'de yağmur suyu depo hacimlerinin hesaplanmasında DIN normunda [100] olan değerlerin kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu normda; yağmur suyu deposu için uygun malzemelerin beton, plastik ve korozyona karşı dayanıklı çelikte yapılmış olması tavsiye edilmektedir [65].

Temel olarak yağmur suyu toplama sistemin dört bileşeni vardır [104].

Bunlar:

- Bina çatısından yağmur suyunun toplanması,
- Toplanan yağmur suyunun iletilmesi,
- Yağmur suyunun depolanması,
- Gerekliyse basit arıtmadan geçirerek kullanım için iletilmesidir.

Optimum depo hacmini belirleyebilmek için öncelikle 2006-2016 yılları arasındaki her yıl için yağış miktarı, kullanılacak su miktarı, çatı alanı ve hasat katsayısı kullanarak depo hacmi sonsuz olduğunda ve depo hacmi belirliyken kullanılabilecek su miktarları 2. yaklaşımda belirtilen denklem 4.30, 4.32, 4.34 ve 4.36 kullanılarak bulunmuştur. Bu çalışmada optimum depo hacmini bulabilmek için bir önceki günden kalan yağmur suyu kapasitesi de göz önüne alınmıştır. Optimum depo hacmini bulabilmek için hacim düzenli aralıklarla artırılıp her hacim için verim değerleri bulunmuştur. Belirlenen depo hacmi için güvenilirlik hesapları aşağıdaki eşitlikler ile yapılmıştır [86].

Zamana bağlı güvenilirlik denklemi;

$$G = \frac{N - U}{N} \times 100 \quad (4.37)$$

G: Su talebini temin edebilen tank güvenilirliği (%),

U: Tankın istenilen talebi karşılayamadığı bir yıldaki gün sayısı,

N: Bir yıldaki toplam gün sayısı,

Optimum depo hacmini belirleyebilmek için ayrıca Talep ve Kullanım farkından yararlanılmıştır. Talep ve Kullanım farkı (deficit rate) talep edilen miktar ve hasat edilebilen yağmur suyu arasındaki farkı temsil etmektedir.

4.5. Pasif Yağmur Suyu Hasat Sistemi İçin Borulardaki Toplam Direncin ve Suyun Kendi Cazibesiyle Akabilmesi İçin Gerekli Minimum Depo Düşüsünün Belirlenmesi

Yeşil bina sistemlerinde su önemli yer tutmaktadır. Sertifikasyon sistemlerinin hepsinde su verimliliğine dair kriterler yer almakta ve bu kriterler puanlamada önemli bir payı oluşturmaktadır.

Yağmur suyu genellikle binaların çatılarından ya da yüzeyinden toplanırlar. Yağmur suyunun kalitesi bakımından, çatılardan toplanan yağmur suyunun, yüzeyden toplanan sulardan daha kaliteli olduğu düşünülmektedir [86]. Genel olarak çatılardan hasat edilen su; tanklar, variller veya yeraltı sarnıçlarında depolanabilir. Zemin veya yer altı uygulamalarında, suyun kullanım yerine ulaştırılabilmesi için pompa kullanılması gerekmektedir. Pompada harcanan enerjinin maliyeti, yağmur suyunun maliyetini olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple, bu tezde planlanmıştır. Yağmur suyu hasat sisteminin pasif olarak nitelendirilmesinin sebebi, yağmur suyunun bina içerisindeki rezervuarlara taşınması için ilave bir ekipman veya enerji gerektirmemesidir. Kapsüllerden rezervuarlara kadar olan akış için gerekli basınç, kapsüllerin rezervuardan basınç kayıplarını karşılayacak kadar yüksek yapılması ile karşılanmıştır. Bina içerisinde kapsüllerden rezervuarlara kadar planlanan tesisat için basınç kayıpları;

$$h_k = h_{k,toplam} = h_{k,sürekli} + h_{k,yerel} = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_k\right) \frac{V^2}{2g} \quad (4.38)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.

4.6. Ekonomik Analiz

Farklı hacim ve hasat katsayıları için hasat edilebilecek yağmur suyu miktarları bulunduğundan sonra sistemin ekonomik açıdan analizi yapılmıştır. Analizde elde edilebilecek tasarruf potansiyelini belirleyebilmek için Eren ve diğ. [105]'ne benzer bir çalışma yapılmıştır. Yıllık maksimum tasarruf potansiyeli (S);

$$S = \sum Y \times C_w \quad (4.39)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır. Burada $\sum Y$ bir binadan yapılabilen hasat miktarı, C_w suyun m^3 fiyatıdır. Bu tezde suyun m^3 fiyatı 6 TL olarak alınmıştır [86]. Depo maliyetini hesaplamak için gereken veriler üretici firmadan temin edilmiştir. Depo maliyeti C_s ;

$$C_S = N_K \times C_K \frac{TL}{adet} \quad (4.40)$$

denklemini ile bulunmuştur. Denkleminde kullanılan N_K kapsül sayısı, C_K kapsül maliyetidir. Sistemin kullanım ömrü boyunca getireceği kazanç ve geri ödeme süresi hesaplanırken mevcut faiz ve enflasyon oranları da göz önüne alınarak analiz yapılmıştır. Bu analiz için Net bugünkü değer (NBD) 4.41 denkleminde hesaplanmıştır [106].

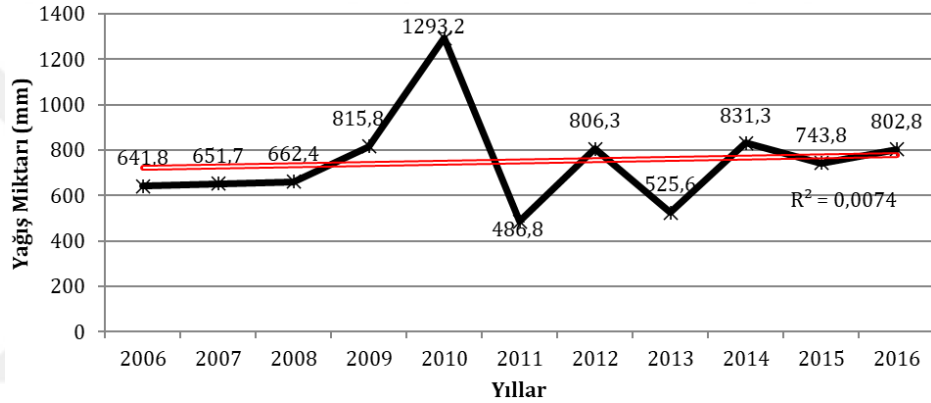
$$NBD = \sum_{i=1}^n A (1 + f)^{n-1} \times (1 + r)^{-n} \quad (4.41)$$

Denklemindeki f enflasyon oranını, i faiz oranını, n sistem ömrünü ve A sistemin yıllık maliyetini temsil etmektedir.

5. SONUÇLAR

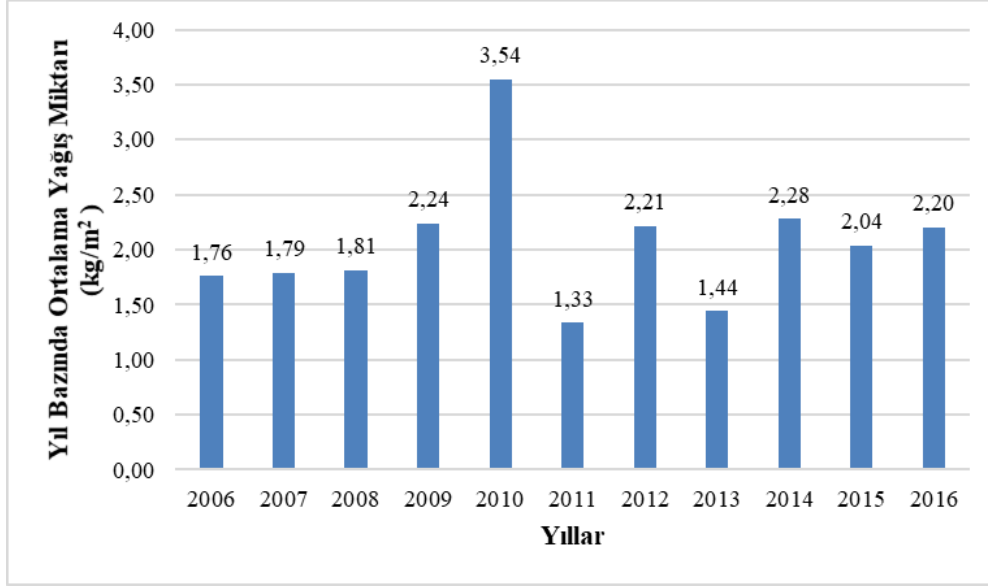
5.1. Yağmur Suyu Analizi

Yalova için 2006-2016 yılları arasında aylara göre yağış miktarı analizi Şekil 5.1’de verilmiştir. Yalova Üniversitesi’nin Yeşil Kampüs hedefine yönelik yapılan bu tezde günlük ortalama yağış potansiyelini belirlemek için elde edilen 11 yıllık toplam 4015 veri analiz edilmiştir. Yalova’nın 2006-2016 yılları arasındaki toplam yağış miktarı verilerinin istatistiksel analiz sonuçları değerlendirildiğinde en fazla yağışın 2010, en az yağışın 2011 yılında gerçekleştiği görülmektedir. 11 yıllık yağış verileri arasında minimum yağış miktarı 0.1 mm ve maksimum yağış miktarı 99.4 mm’dir. 11 yılın yağış toplamalarının ortalaması 751 mm’dir.



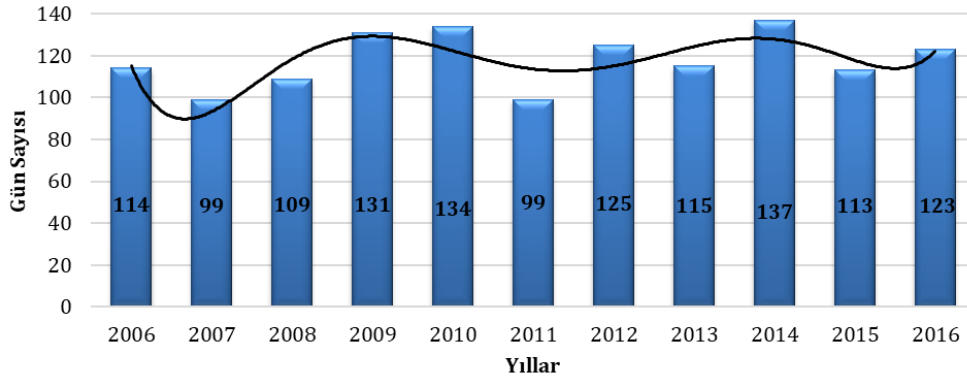
Şekil 5.1: Yıllık toplam yağış miktarı (mm)

Şekil 5.2, yıllık ortalama yağış miktarını göstermektedir. 2006-2016 yılları arasındaki ortalama yağış 2.06 kg/m^2 olarak hesaplanmıştır. 10 yıllık yağışlar incelendiğinde, yıllık ortalama 118.1 günün yağışlı geçtiği hesaplanmıştır.



Şekil 5.2: Yıl bazında ortalama yağış miktarı (mm)

Yıl bazında yağışlı gün sayıları Şekil 5.3'te gösterilmektedir. İncelenen 11 yıl içerisinde en çok yağışlı güne sahip yılın 137 günle 2014 olduğu, onu 134 yağışlı günle 2010 yılının izlediği tespit edilmiştir. İncelenen yağış verilerine göre m² başına en yüksek yağış 99.4 kg ile yine 2014 yılına aittir. 2010 yılı ne en yoğun yağış alan ne bir seferde en çok yağış alan, ne de en fazla ıslanan yıl olmuştur. Ancak yıllık ortalamaya bakıldığında diğer bütün yıllardan daha fazla yağış aldığı, bu yüzden de günlük ortalama yağışın da diğer yıllara nazaran belirgin bir şekilde daha fazla olduğu görülmektedir. 2006-2016 yılları arasındaki toplam yağışlı gün sayısı 1299 gündür.

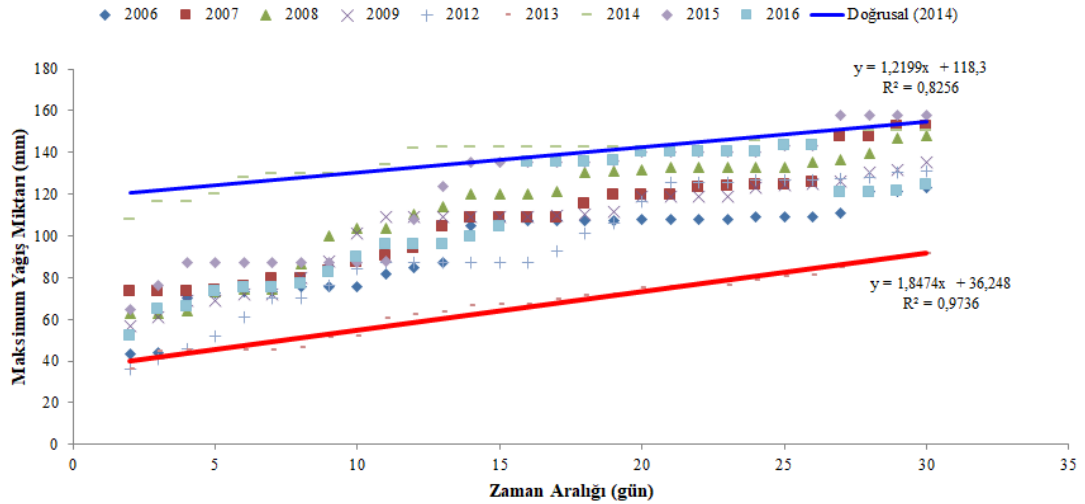


Şekil 5.3: Yağışlı Gün Sayısı

Tez kapsamında mümkün olan maksimum oranda yağmur suyundan faydalanmak amaçlanmaktadır. Bu yüzden, yağmur suyu toplamak amacıyla dizayn edilecek olan deponun 1 günlük yağmuru toplamak yerine birden fazla yağmurlu günler hesaplanarak en uygun hacim değerlendirilmiştir. Şekil 5.4, 2013-2016 yılları arasında 2 günden başlayarak 30 güne kadar olan zaman aralıkları için toplanan

maksimum yağış miktarlarını göstermektedir. X ekseninde arka arkaya yağış miktarı toplanan gün sayısı verilmiştir. Eksenin ilk değeri, arka arkaya 2 gün yağışların toplandığı ve incelenen 9 yıl için toplamların işaretlendiği 2 değeridir. Y ekseninde ise X ekseninde verilen zaman aralığı için, her bir yıla ait maksimum yağış toplamı verilmiştir. En fazla yağış alan 2010 ve en az yağış alan 2011 yılı değerlendirmeye alınmamıştır. Bu yüzden, Yalova ilinin yağış hacminin Şekil 5.4'te gösterilen iki eğri aralığında olduğu söylenebilir. Grafik incelendiğinde bölgeye ait yağış miktarı, 11 yıllık verilerle oluşturulan ve R^2 değerleri 0.9736 ve 0.8256 olan iki eğri aralığındaki değerlerden büyük ya da küçük olamayacağı anlaşılmaktadır. Şekilden de görüldüğü üzere zaman aralığı arttıkça toplanabilecek su miktarı da paralel olarak artmaktadır.

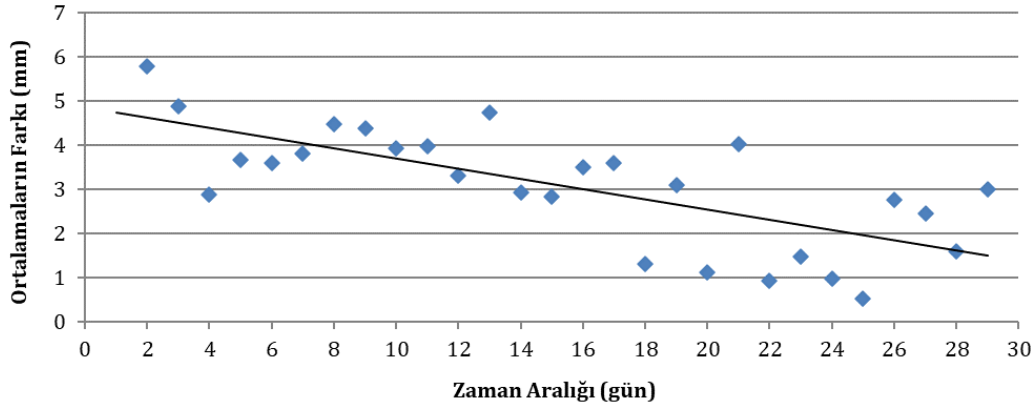
2 günden 30 güne kadar periyotlar için ardışık yağış toplamalarının eğimi, grafik 30 günlük yağış toplamına yaklaşıırken azalsaydı, o takdirde eğimin yatay olduğu noktada, “zaman aralığı ne kadar artırılırsa artırılın, yağış toplamı değişmez” şeklinde yorumlanabilirdi. Örneğin yağış toplamalarının eğimi 20. günden itibaren yatay olsaydı, o takdirde Yalova’da son 10 yıl içindeki yağış rejimi göz önüne alınarak, en fazla 20 günlük ardışık yağışların toplamı kadar yağmur yağar yargısına varılabilirdi. Bu değer, Yalova ikliminde görülen maksimum yağışı ifade ederdi ki, bu değere göre hesaplanan depo hacmi Yalova iklimi için yağın bütün yağmurun toplanması anlamına gelecekti. Ancak şekilde görüldüğü gibi grafiğin eğimi azalmamaktadır. Bunun anlamı, grafik 30 günün üzerindeki periyotlar için devam ettirilecek olsa bile toplanabilecek yağış miktarı artmaya devam edecek, optimum depo hacmini belirleyebilmek için referans olarak alınacak gün aralığı bulunamayacaktır.



Şekil 5.4: Zaman aralığının 30 günlük dağılımı

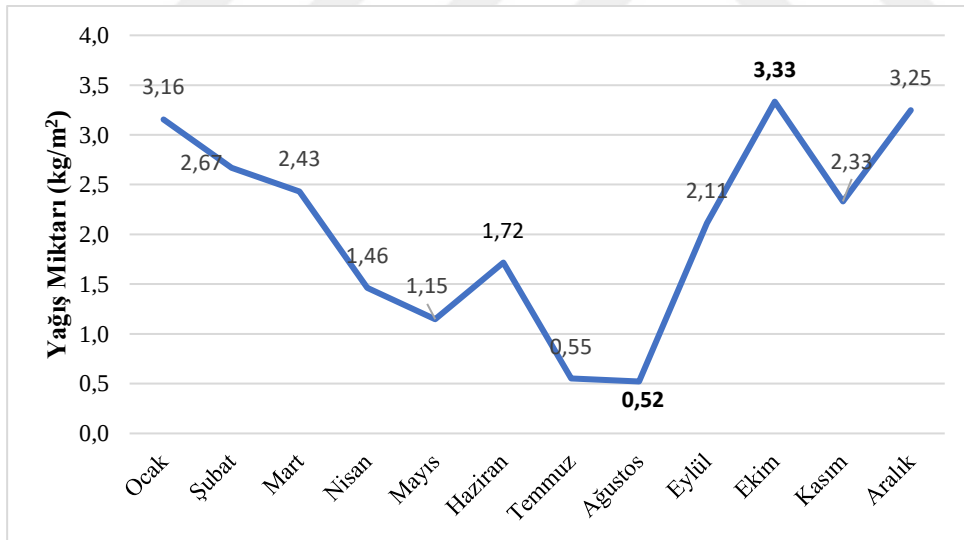
Şekil 5.5 ise her zaman aralığı artışında elde edilen maksimum yağış hacminin bir önceki zaman aralığında elde edilen maksimum yağış hacmi ile farkı alınarak oluşturulmuştur. Grafikte artarda hesaplanan zaman aralığı arttıkça aradaki farkın azaldığı görülmektedir. Zaman aralığını 30 güne kadar artırdığımızda fark azalarak sifıra yaklaşmaktadır. Ancak buna rağmen Şekil 5.5’de verilen aralıksız yağış

toplamları farkı sıfır olmamaktadır. Bu yüzden, Şekil 5.4 ile de desteklendiği gibi, depo hacmi hesaplanırken aralıksız yağmur yağın süreyi göz önüne almak makul değildir.



Şekil 5.5: Fark analizi

Ay bazında ortalama yağış değerlendirildiğinde Şekil 5.6'e göre 2006-2016 yılları arasında en düşük yağış alan ayın ortalama 0.52 kg/m^2 ile Ağustos ayının olduğu, en fazla yağış alan ayın ortalama 3.33 kg/m^2 ile Ekim ayı olduğu onu 3.25 kg/m^2 ile Aralık ayının takip ettiği belirlenmiştir.



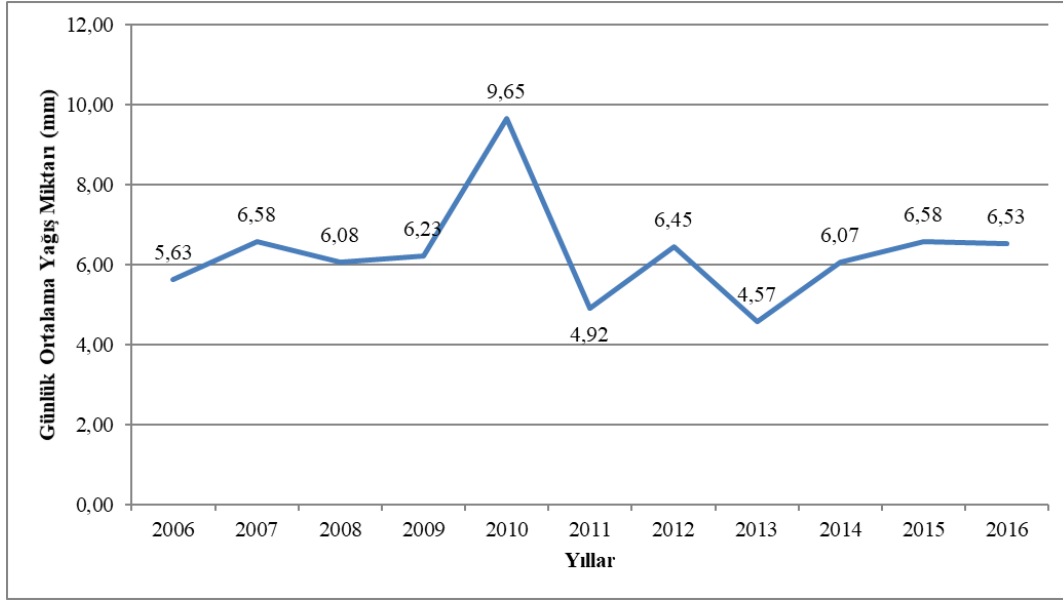
Şekil 5.6: 2006-2016 Yılları Arasında Ay Bazında Ortalama Yağış Miktarı

Çizelge 5.1 incelendiğinde son 11 yılın yağış ortalamalarına göre maksimum aylık ortalama yağış 11.38 kg/m^2 olarak 2010 yılı Ekim ayında, minimum aylık ortalama yağış ise 0.01 kg/m^2 olarak 2008 yılı Ağustos ayında gerçekleşmiştir. Son 11 yılın en düşük yıllık ortalama yağışı 1.32 kg/m^2 olarak 2011 yılında, en yüksek yağış miktarı ise 3.55 kg/m^2 olarak 2010 yılında kaydedilmiştir. Yapılan analizde Yalova için son 11 yılın yağış ortalaması, 2.06 kg/m^2 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.1: 2006- 2016 Aylık Ortalama Yağış Miktarları (kg/m²)

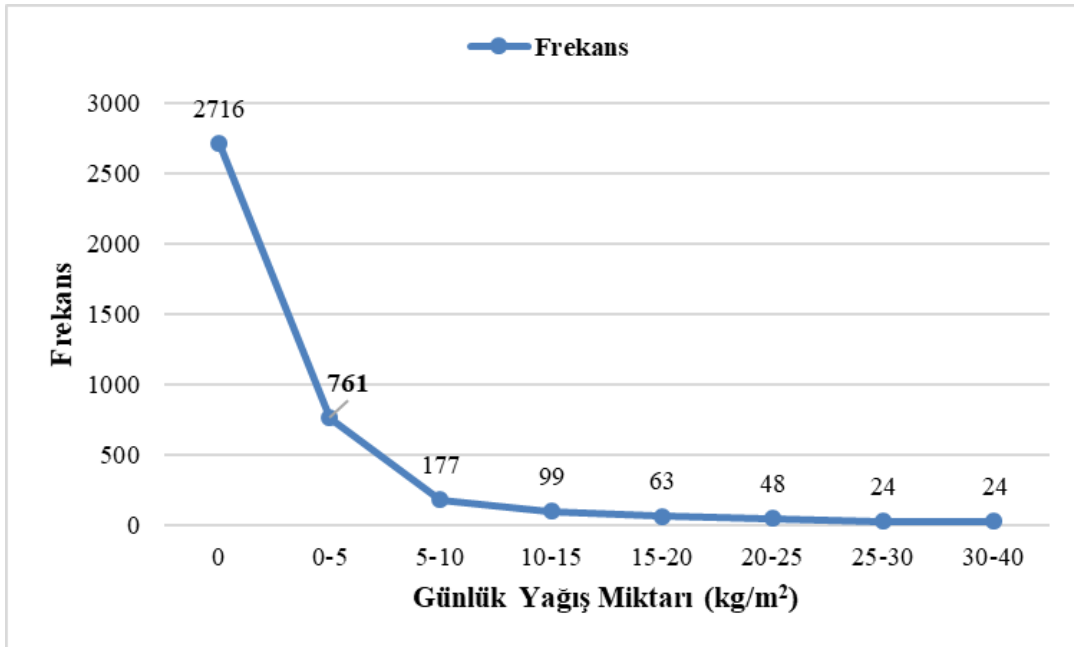
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Aylık Ortalama
Ocak	2.86	3.92	1.55	3.59	5.35	2.29	3.96	2.04	0.94	3.81	4.40	3.16
Şubat	3.71	0.41	1.39	5.29	5.77	0.50	3.17	2.79	0.65	2.97	2.70	2.67
Mart	2.23	1.02	3.66	3.57	2.75	1.38	1.87	3.18	2.58	1.51	3.00	2.43
Nisan	0.42	1.35	0.46	1.04	1.83	1.92	2.83	1.11	1.02	3.01	1.10	1.46
Mayıs	0.54	0.82	1.17	0.44	1.18	1.13	1.56	0.61	2.18	1.19	1.80	1.15
Haziran	2.97	0.49	0.65	0.47	7.37	0.80	0.55	1.26	1.59	1.73	1.00	1.72
Temmuz	0.06	0.54	0.90	0.37	0.07	0.73	0.92	0.05	2.32	0.00	0.10	0.55
Ağustos	0.20	1.08	0.01	0.18	0.02	0.20	1.12	0.10	0.37	0.76	1.70	0.52
Eylül	2.02	0.77	4.81	1.47	2.17	0.20	1.10	0.32	6.28	2.81	1.30	2.11
Ekim	1.01	2.59	2.44	1.96	11.38	3.43	1.43	2.80	2.75	5.78	1.10	3.33
Kasım	4.37	3.69	2.61	3.44	0.57	0.44	2.76	1.60	2.29	0.68	3.20	2.33
Aralık	0.98	4.60	2.08	4.89	4.19	2.85	5.17	1.50	4.27	0.28	4.90	3.25
Yıllık Ortalama	1.78	1.77	1.81	2.23	3.55	1.32	2.20	1.45	2.27	2.04	2.19	

2006-2016 yılları arasında günlük ortalama yağına bakıldığında 9.65 kg/m² ile en fazla günlük yağış ortalamasına sahip yılın 2010, 4.92 kg/m² ile en az günlük ortalama yağışa sahip yılın 2011 olduğu görülmektedir. 11 yıl arasında günlük yağış ortalaması 6.30 kg/m² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.7: Günlük Ortalama Yağış Miktarları

İstatiksel analiz sonucunda en sık tekrar eden günlük yağış miktarı (mod) ve yağış verilerinin ortasındaki (medyan) değeri 0 çıkmıştır. Buraya kadar elde edilen sonuçlar, Yalova yağış rejimi rastsallığının çok yüksek olduğu ve belirli bir eğiliminin olmadığını göstermektedir. Bu durumda, gelecek yıllara ait yağmur rejiminin önceden tahmin edilerek, hasat sisteminin boyutlandırılması makul değildir. Ancak geçmiş yağmur rejimine göre en yüksek yağmur hasat verimini belirleyerek tasarımı buna göre yapmak daha makuldür.



Şekil 5.8: Yalova İli Günlük Ortalama Yağış Miktarına Bağlı Frekans Dağılımı (kg/m²)

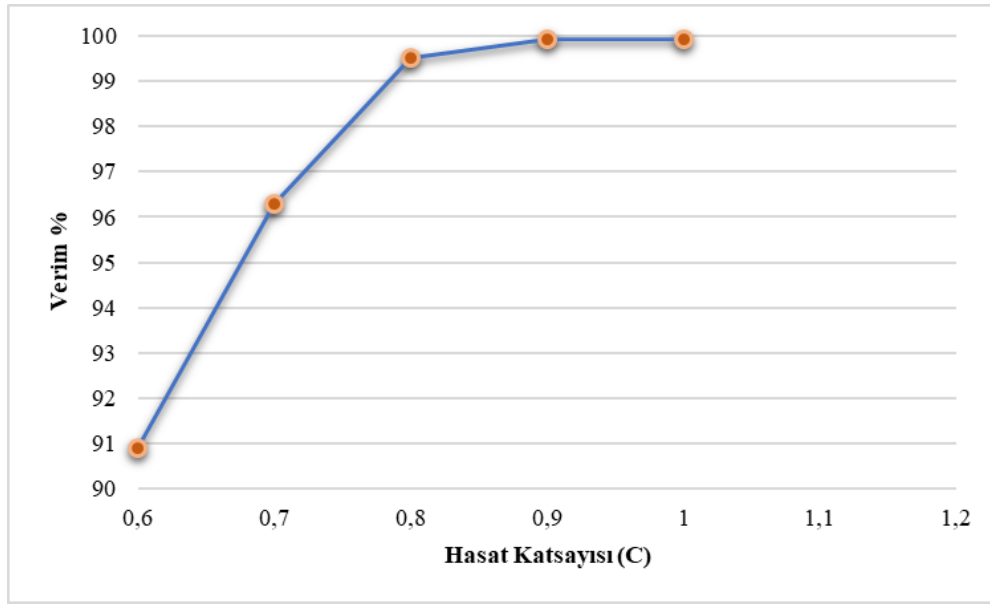
Frekans dağılımı (yağışların gerçekleşme sıklığı) ise Şekil 5.8'deki gibidir. Şekilden 5.8'den elde edilen verilere göre Yalova ilinde en sık gerçekleşen günlük ortalama yağış miktarları Çizelge 5.2'deki gibi ortaya çıkmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre Yalova ili 2006-2016 yılları arasında 4015 günün 2716 günü yağışsız geçirmiştir. 11 yılın 761 günü 0-5 kg/m² arasında yağış almakla beraber bu oranın frekans değeri %19 olarak bulunmuştur. Günlük ortalama yağışın 6.30 kg/m² olmasına rağmen frekans değeri en fazla olan yağışların 0-5 kg/m² arasında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar da rastsallığın yüksek olduğu görüşünü desteklemektedir.

Çizelge 5.2: Yalova İlinde En Sık Gerçekleşen Günlük Yağış Miktarları ve Frekansları

Yağış Miktarı (kg/m ² gün)	Frekans	% Frekans
0	2716	67.6
0-5	761	19
5-10	177	4.4
10-15	99	2.5
15-20	63	1.6
20-25	48	1.2
25-30	24	0.6
30-40	24	0.6

Çizelge 5.2'de, 4015 günün yaklaşık %68'inin yağışsız geçtiği görülmektedir. Bu sonuç, Yalova'nın su zengini olmadığını, su yönetimi üzerinde önemle durulması ve gerekli önlemlerin alınması gerektiğini ispatlayan göstergelerden biridir. Sonuçlara bakıldığında; Yalova ilinde en sık gerçekleşen yağış değerleri 0-5 kg/m²-gün aralığındadır. Bu aralıktaki yağışların gerçekleşme sıklığı %19'dur.

En uygun depo hacmini bulmak için yapılan hesaplamalarda hasat katsayısının verime olan etkisini belirlemek amacıyla 0.6'dan 1'e kadar olan aralıklarda değişen hasat katsayıları için verim değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.9'da görüldüğü üzere hasat katsayısı arttıkça verim artmış 0.9'den sonra sabit kalmıştır.



Şekil 5.9: Hasat Katsayısı ve Verim Arasındaki İlişki

2006-2016 yılları arasındaki tüm yağış değerleri ile sonlu ve sonsuz depo hacmi yaklaşımlarıyla toplanabilecek yağmur suyu miktarları, yağışlı ve kurak geçen gün sayıları ve kullanım sonunda kalan yağmur suyu miktarları hesaplanmıştır. Kullanılan su miktarı, bir önceki günden kalan su miktarı da göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. 2006 yılının ilk 100 günü için sonuçlar Çizelge 5.3'deki gibidir.

Çizelge 5.3: Depo Hacmi Sonsuz ve 25 m³ Olduğunda Kullanılan Su Miktarı

Depo Hacmi Sonsuz				Depo Hacmi Belirli		
Yağış Miktarı (mm)	Toplanan Su Miktarı (L/gün)	Kullanım Sonu Kalan Su Miktarı (L)	Yağışlı/Yağışsız Günler	Kullanım Sonu Kalan Su Miktarı (L)	Yağışlı/Yağışsız Günler	Kullanılan Su miktarı (L/gün)
2.7	5386.5	2386.5	1	2.387	1	3000
0	0	0	0	0	0	2386.5
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
2	3990	990	1	990	1	3000
1.4	2793	783	1	783	1	3000
3.8	7581	5364	1	5364	1	3000
4.8	9576	11940	1	11940	1	3000
0	0	8940	1	8940	1	3000

1.6	3192	9132	1	9132	1	3000
0	0	6132	1	6132	1	3000
2.2	4389	7521	1	7521	1	3000
3.6	7182	11703	1	11703	1	3000
6.6	13167	21870	1	21870	1	3000
0	0	18870	1	18870	1	3000
0	0	15870	1	15870	1	3000
0	0	12870	1	12870	1	3000
1.4	2793	12663	1	12663	1	3000
23.8	47481	57144	1	25000	1	3000
0.6	1197	55341	1	23197	1	3000
0	0	52341	1	20197	1	3000
4.2	8379	57720	1	25000	1	3000
0.8	1596	56316	1	23596	1	3000
10.6	21147	74463	1	25000	1	3000
14.8	29526	100989	1	25000	1	3000
3.8	7581	105570	1	25000	1	3000
0	0	102570	1	22000	1	3000
0	0	99570	1	19000	1	3000
0	0	96570	1	16000	1	3000
0	0	93570	1	13000	1	3000
0	0	90570	1	10000	1	3000
0	0	87570	1	7000	1	3000
0	0	84570	1	4000	1	3000
0	0	81570	1	1000	1	3000
0	0	78570	1	0	0	1000
4	7980	83550	1	4980	1	3000
16.8	33516	114066	1	25000	1	3000
5.2	10374	121440	1	25000	1	3000
2.5	4987.5	123427.5	1	25000	1	3000
1	1995	122422.5	1	23995	1	3000
36.4	72618	192040.5	1	25000	1	3000
1.7	3391.5	192432	1	25000	1	3000

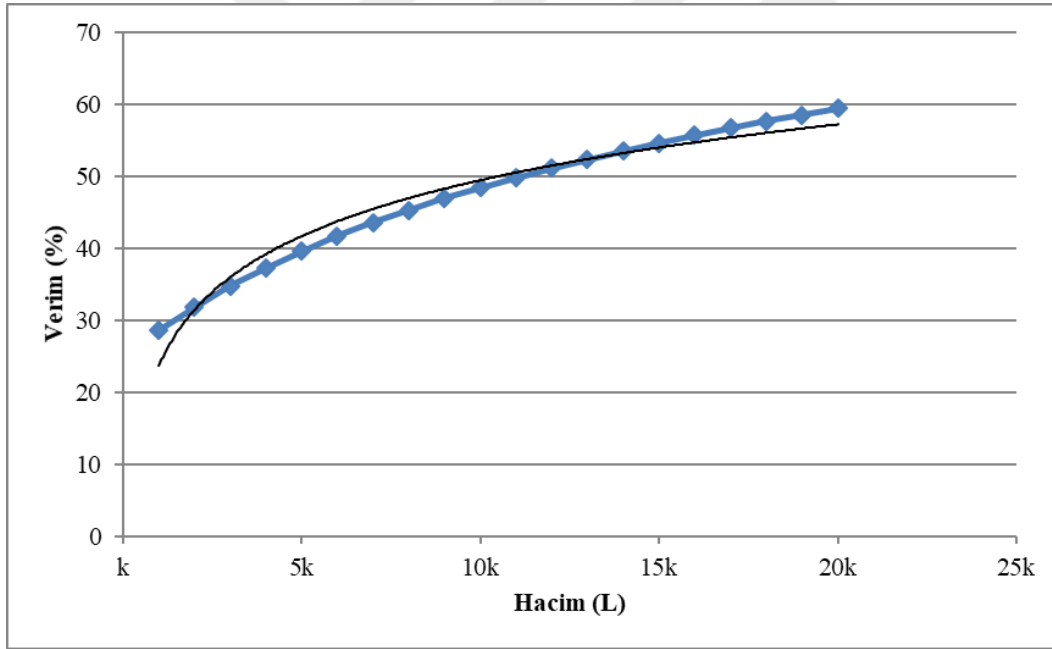
4.2	8379	197811	1	25000	1	3000
5.4	10773	205584	1	25000	1	3000
1.8	3591	206175	1	25000	1	3000
1.2	2394	205569	1	24394	1	3000
0	0	202569	1	21394	1	3000
0.4	798	200367	1	19192	1	3000
0.6	1197	198564	1	17389	1	3000
0	0	195564	1	14389	1	3000
0	0	192564	1	11389	1	3000
0	0	189564	1	8389	1	3000
0	0	186564	1	5389	1	3000
0	0	183564	1	2389	1	3000
2	3990	184554	1	3379	1	3000
13	25935	207489	1	25000	1	3000
6	11970	216459	1	25000	1	3000
1.8	3591	217050	1	25000	1	3000
4	7980	222030	1	25000	1	3000
0	0	219030	1	22000	1	3000
10.8	21546	237576	1	25000	1	3000
0.2	399	234975	1	22399	1	3000
0	0	231975	1	19399	1	3000
0	0	228975	1	16399	1	3000
0	0	225975	1	13399	1	3000
18.4	36708	259683	1	25000	1	3000
8.6	17157	273840	1	25000	1	3000
0.2	399	271239	1	22399	1	3000
0	0	268239	1	19399	1	3000
0.8	1596	266835	1	17995	1	3000
0	0	263835	1	14995	1	3000
4	7980	268815	1	19975	1	3000
11.4	22743	288558	1	25000	1	3000
0.2	399	285957	1	22399	1	3000
2.1	4189.5	287146.5	1	23588.5	1	3000

0	0	284146.5	1	20588.5	1	3000
2.8	5586	286732.5	1	23174.5	1	3000
0	0	283732.5	1	20174.5	1	3000
0.2	399	281131.5	1	17573.5	1	3000
0	0	278131.5	1	14573.5	1	3000
0	0	275131.5	1	11573.5	1	3000
0.2	399	272530.5	1	8972.5	1	3000
2	3990	273520.5	1	9962.5	1	3000
0.2	399	270919.5	1	7361.5	1	3000
0	0	267919.5	1	4361.5	1	3000
0	0	264919.5	1	1361.5	1	3000
0	0	261919.5	1	0	0	1361.5
0	0	258919.5	1	0	0	0
3	5985	261904.5	1	2985	1	3000
0	0	258904.5	1	0	0	2985
0	0	255904.5	1	0	0	0
0	0	252904.5	1	0	0	0
0	0	249904.5	1	0	0	0
0	0	246904.5	1	0	0	0
0	0	243904.5	1	0	0	0
0	0	240904.5	1	0	0	0
0	0	237904.5	1	0	0	0
4.8	9576	244480.5	1	6576	1	3000
0	0	241480.5	1	3576	1	3000

Çizelge 5.3’de sunulan sonuçlar kullanılarak optimum depo hacmini hesaplayabilmek için 25 m³’ün üzerindeki hacimler için yağmur suyu hasat verim değerleri bulunmuştur. Çizelge 5.4’de gösterildiği üzere 25 m³ tank hacmi için toplam talep 12.045.000 L iken toplanabilen su miktarı %63.23 verim ile 7.615.618 L olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4: Hacim 25 m³ Olduğunda Toplanan Su miktarı ve Verim

Parametre	Değer	Birim
Hasat Katsayısı (C)	0.95	-
Talep	3000	Litre/gün
Depo Hacmi	25.000	Litre
Analizdeki Gün Sayısı	4015	Gün
Toplam Su Talebi	12.045.000	Litre/4015 gün
Kullanılan Toplam Su Miktarı	7.615.618	Litre/4015 gün
Verim	63.23	%
Alan	2100	m ²



Şekil 5.10: Depo Hacmi 0-25 m³ Arası Hacme Bağlı Verim Grafiği

Şekil 5.10'da görüldüğü üzere hacim arttıkça verim artmaya devam etmiştir. Bu durumda tank hacmi büyütülürse verimin de artması beklenir. Bu sebeple tank hacmi artırılarak analizlere devam edilmiştir. Tank hacmi 350 m³'e kadar artırıldığında oluşan değerler 2006 yılının ilk 100 günü için Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5: Depo Hacmi Sonsuz ve 350 m³ Olduğunda Kullanılan Su Miktarı

Depo Hacmi Sonsuz				Depo Hacmi Belirli		
Yağış Miktarı (mm)	Toplanan Su Miktarı (L/gün)	Kullanım Sonu Kalan Su Miktarı (L)	Yağışlı/ Yağışsız Günler	Kullanım Sonu Kalan Su Miktarı (L)	Yağışlı/ Yağışsız Günler	Kullanılan Su miktarı (L/gün)
2.7	5386.5	2386.5	1	2.387	1	3000
0	0	0	0	0	0	2386.5
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
2	3990	990	1	990	1	3000
1.4	3325	1315	1	1315	1	3000
3.8	9025	7340	1	7340	1	3000
4.8	11400	15740	1	15740	1	3000
0	0	12740	1	12740	1	3000
1.6	3800	13540	1	13540	1	3000
0	0	10540	1	10540	1	3000
2.2	5225	12765	1	12765	1	3000
3.6	8550	18315	1	18315	1	3000
6.6	15675	30990	1	30990	1	3000
0	0	27990	1	27990	1	3000
0	0	24990	1	24990	1	3000
0	0	21990	1	21990	1	3000
1.4	3325	22315	1	22315	1	3000
23.8	56525	75840	1	75840	1	3000
0.6	1425	74265	1	74265	1	3000
0	0	71265	1	71265	1	3000
4.2	9975	78240	1	78240	1	3000
0.8	1900	77140	1	77140	1	3000
10.6	25175	99315	1	99315	1	3000
14.8	35150	131465	1	131465	1	3000
3.8	9025	137490	1	137490	1	3000

0	0	134490	1	134490	1	3000
0	0	131490	1	131490	1	3000
0	0	128490	1	128490	1	3000
0	0	125490	1	125490	1	3000
0	0	122490	1	122490	1	3000
0	0	119490	1	119490	1	3000
0	0	116490	1	116490	1	3000
0	0	113490	1	113490	1	3000
0	0	110490	1	110490	1	3000
4	9500	116990	1	116990	1	3000
16.8	39900	153890	1	153890	1	3000
5.2	12350	163240	1	163240	1	3000
2.5	5937.5	166177.5	1	166177.5	1	3000
1	2375	165552.5	1	165552.5	1	3000
36.4	86450	249002.5	1	249002.5	1	3000
1.7	4037.5	250040	1	250040	1	3000
4.2	9975	257015	1	257015	1	3000
5.4	12825	266840	1	266840	1	3000
1.8	4275	268115	1	268115	1	3000
1.2	2850	267965	1	267965	1	3000
0	0	264965	1	264965	1	3000
0.4	950	262915	1	262915	1	3000
0.6	1425	261340	1	261340	1	3000
0	0	258340	1	258340	1	3000
0	0	255340	1	255340	1	3000
0	0	252340	1	252340	1	3000
0	0	249340	1	249340	1	3000
0	0	246340	1	246340	1	3000
2	4750	248090	1	248090	1	3000
13	30875	275965	1	275965	1	3000
6	14250	287215	1	287215	1	3000
1.8	4275	288490	1	288490	1	3000
4	9500	294990	1	294990	1	3000

0	0	291990	1	291990	1	3000
10.8	25650	314640	1	314640	1	3000
0.2	475	312115	1	312115	1	3000
0	0	309115	1	309115	1	3000
0	0	306115	1	306115	1	3000
0	0	303115	1	303115	1	3000
18.4	43700	343815	1	343815	1	3000
8.6	20425	361240	1	350000	1	3000
0.2	475	358715	1	347475	1	3000
0	0	355715	1	344475	1	3000
0.8	1900	354615	1	343375	1	3000
0	0	351615	1	340375	1	3000
4	9500	358115	1	346875	1	3000
11.4	27075	382190	1	350000	1	3000
0.2	475	379665	1	347475	1	3000
2.1	4987.5	381652.5	1	349462.5	1	3000
0	0	378652.5	1	346462.5	1	3000
2.8	6650	382302.5	1	350000	1	3000
0	0	379302.5	1	347000	1	3000
0.2	475	376777.5	1	344475	1	3000
0	0	373777.5	1	341475	1	3000
0	0	370777.5	1	338475	1	3000
0.2	475	368252.5	1	335950	1	3000
2	4750	370002.5	1	337700	1	3000
0.2	475	367477.5	1	335175	1	3000
0	0	364477.5	1	332175	1	3000
0	0	361477.5	1	329175	1	3000
0	0	358477.5	1	326175	1	3000
0	0	355477.5	1	323175	1	3000
3	7125	359602.5	1	327300	1	3000
0	0	356602.5	1	324300	1	3000
0	0	353602.5	1	321300	1	3000
0	0	350602.5	1	318300	1	3000

0	0	347602.5	1	315300	1	3000
0	0	344602.5	1	312300	1	3000
0	0	341602.5	1	309300	1	3000
0	0	338602.5	1	306300	1	3000
0	0	335602.5	1	303300	1	3000
4.8	11400	344002.5	1	311700	1	3000
0	0	341002.5	1	308700	1	3000

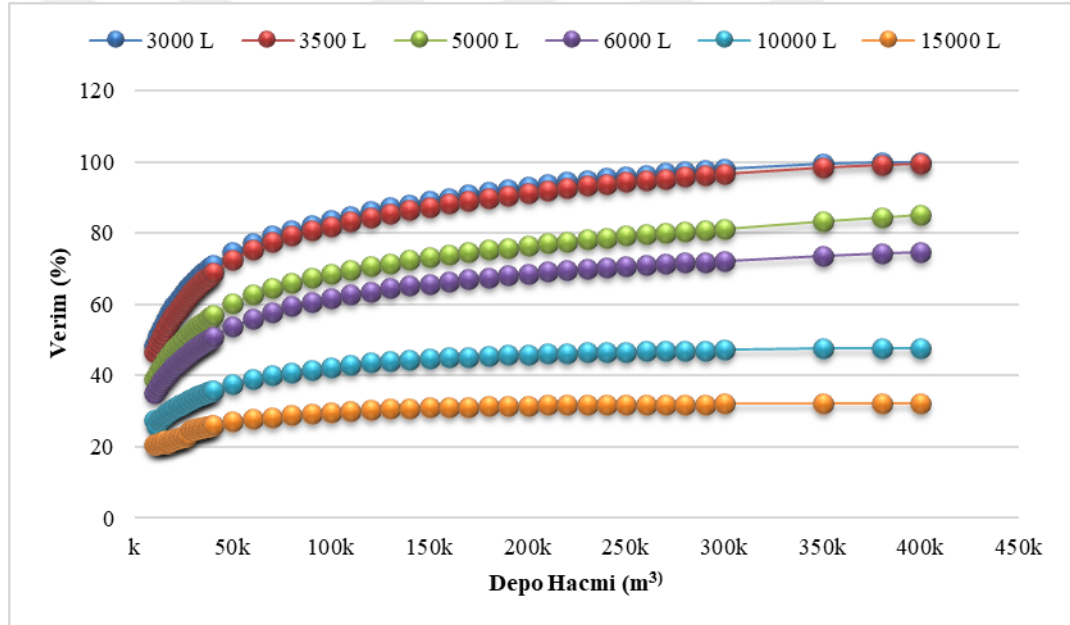
Hacim düzenli aralıklarla artırıldığında 350 m³'ten sonra eğrinin değişmediği hacim arttıkça sabit kaldığı gözlemlenmiştir. 350 m³ tank hacmi için 11 yıllık toplam talep 12.045.000 iken toplanabilen su miktarı %99.50 verim ile 11.984.433 L olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6: Hacim 350 m³ Olduğunda Toplanan Su miktarı ve Verim

Parametre	Değer	Birim
Hasat Katsayısı (C)	0.95	-
Talep	3000	Litre/gün
Depo Hacmi	350.000	Litre
Analizdeki Gün Sayısı	4015	Gün
Toplam Su Talebi	12.045.000	Litre/4015 gün
Kullanılan Toplam Su Miktarı	11.984.433	Litre/ 4015 gün
Verim	99.50	%
Alan	2100	m ²

Çizelge 5.3 ve 5.5'te gösterildiği şekilde ilk olarak optimum tank hacmini ve verimi bulabilmek için analizler yapılmıştır. 11 yıllık veriler kullanılarak analizle hasat edilebilecek yağmur suyu potansiyeli ve değişen taleplere bağlı olarak kullanılabilir su miktarları bulunmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta optimum hacim belirlenirken hesaplanan ve Çizelge 5.3 ve 5.5'te gösterilen kullanılan su miktarı ifadesi hasat edilen su miktarı ile aynı değildir. Kullanılabilir su ifadesi denklem 4.19'da belirtildiği gibi tankın içinde daha fazla su olsa bile talepten fazlasının kullanılmayacağını ifade eder.

Ghisi (2009), çalışmasında olduğu gibi verimin, farklı su talepleri için depo hacmine bağlı gösterimi Şekil 5.11’de gösterilmiştir [84]. Verim 3000 L ve 15000 L arasında 6 farklı talep miktarı için farklı depo hacimlerinde hesaplanmıştır. Grafik incelendiğinde tüm talepler için depo hacmi arttıkça verimin arttığı, 3000 L ve 3500 L su talebi için uygun depo hacimlerinde %99 oranında verime ulaşıldığı tespit edilmiştir. Fakat talep artmaya devam ettikçe, özellikle 5000 L’den sonra depo hacmi artsa bile verimin çok fazla artmadığı bir süre sonra sabit kaldığı görülmektedir. Bunun sebebi de depo hacmi artsa bile yağış rejiminin bu miktarda talebi karşılayamamasıdır. Ayrıca, talebin azalmasıyla verimin artması da dikkat çekicidir. Bu grafik, her türlü tasarruf tedbirinin sistem verimini artıracağını ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, su ne kadar az kullanılırsa hasat verimi o kadar yüksek olmaktadır. Bu da, toplum genelinde bilinçlendirme faaliyetlerinin ve gereğinden 1 damla fazla su kullanmamak üzere politika geliştirme, hedef koymanın önemini vurgulamaktadır. Ayrıca grafik, Çizelge 5.6’daki verileri destekler şekilde 350 m³ depo hacminden sonra verimin artmadığını sabit kaldığını göstermektedir.



Şekil 5.11: Verimin Talep ve Depo Hacmi İle İlişkisi

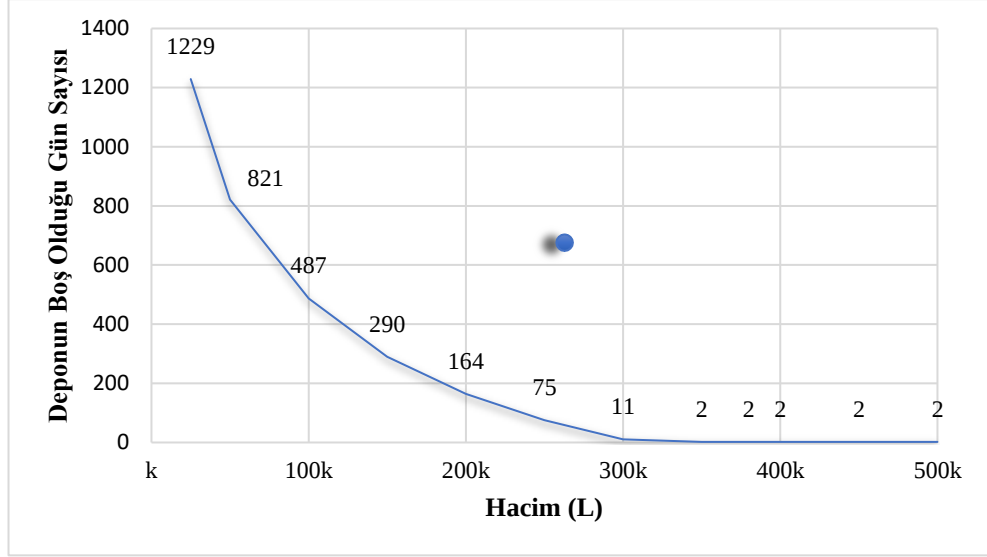
Çizelge 5.3 ve 5.5 incelendiğinde, 25 m³ depo hacmi kullanıldığında ilk 100 günde 48 gün yağmur yağmamasına rağmen 8 gün depo tamamen boş kalmış, 350 m³ depo hacmi kullanıldığında ise sadece 2 gün depoda su seviyesi sıfırlanmış ve yağmur suyundan yararlanılamadığı görülmektedir.

Çizelge 5.7: 2006-2016 Yılları Arasında Deponun Boş Kaldığı Gün Sayısı

Depo Hacmi (L)	Deponun Boş Kaldığı Gün Sayısı
25.000	1229
50.000	821
100.000	487
150.000	290
200.000	164
250.000	75
300.000	11
350.000	2
380.000	2
400.000	2
450.000	2
500.000	2

Deponun boş kalma ihtimalini 11 yıl boyunca 4015 gün için değerlendirecek olursak hacim arttıkça su kullanılamayan gün sayısı Çizelge 5.7’de gösterildiği gibidir. Eldeki verilere göre 2006-2016 yılları arasında Yalova İli toplamda 2016 günü yağışsız geçirmiştir. Depo hacmi 25 m³ olduğunda bu yıllar arasında 2016 gün yağışsız olmasına karşılık 1229 gün depoda su miktarı sıfır olmuştur. Hacim arttıkça deponun boş kaldığı gün sayısı azalmış ve 350 m³ hacimde 2016 yağışsız gün olmasına rağmen gerçekleşen birikmelerle birlikte sadece 2 gün yağmur suyundan yararlanılamamış, şebeke suyu kullanılmıştır.

Depo hacmi arttıkça deponun boş kaldığı gün sayısının azalmakta olduğu 350 m³ hacimden sonra sabit kaldığı Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12: Depo Hacmi ve Deponun Boş Olduğu Gün Sayısı

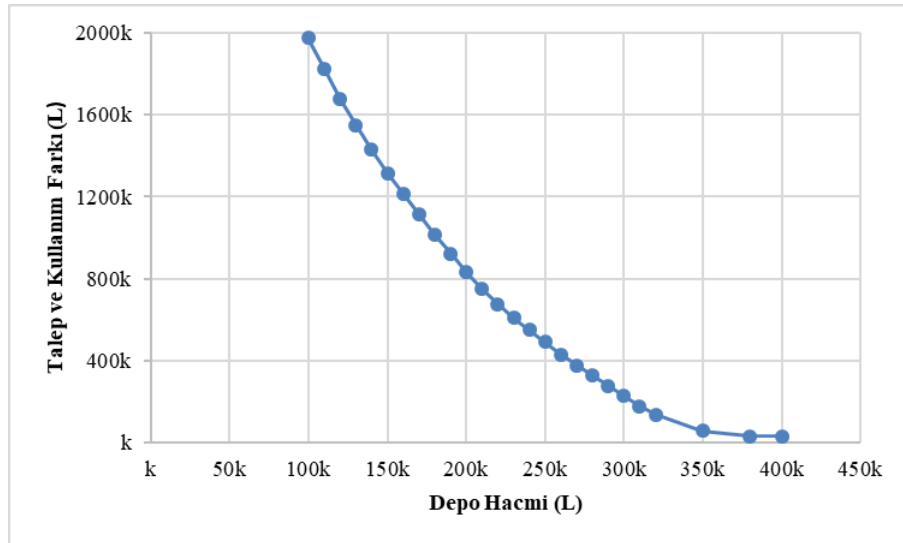
Elde edilen sonuçlar kullanılarak seçilen 350 m³ hacim için güvenilirlik yüzdesi eşitlik 4.22 kullanılarak;

$$Re = \frac{4015 - 2}{4015} \times 100$$

$$Re = \% 99.9$$

bulunmuştur.

Optimum depo hacmini belirleyebilmek için ayrıca Talep ve Kullanım farkı grafiğinden de yararlanılmıştır. Şekil 5.13’de görüldüğü üzere fark depo hacmi arttıkça azalmış ve 350 m³’ten sonra sabit kalmıştır. Bu iki grafiği yorumlanarak optimum depo hacminin 350 m³ olmasına karar verilmiştir.

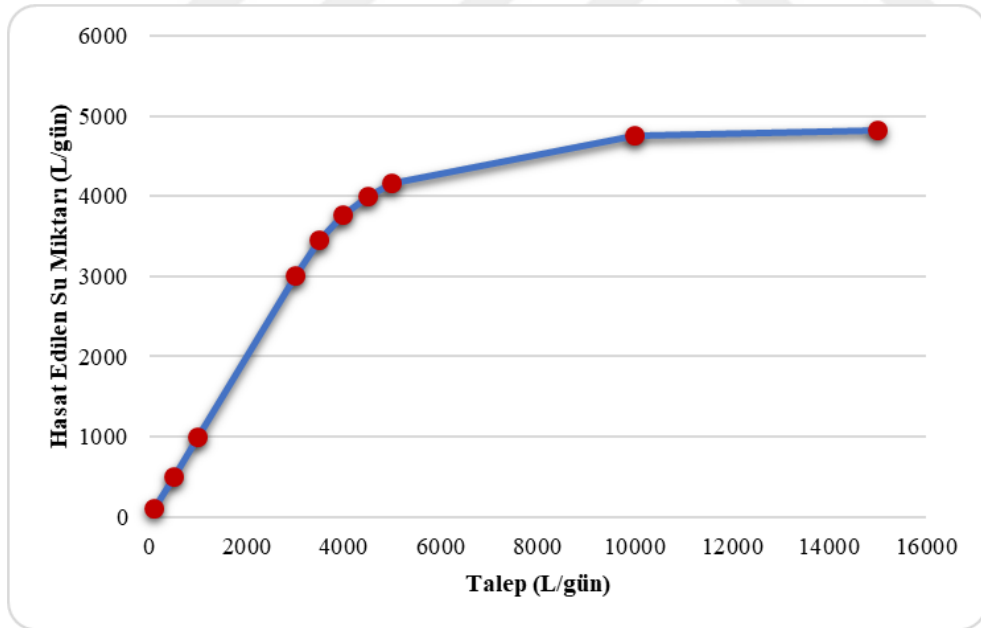


Şekil 5.13: Talep-Kullanım Farkı ve Depo Hacmi Arasındaki İlişki

Buradan hareketle belirli talepler için bir günde ortalama hasat edilebilen su miktarları, hasat katsayısı 0.95 ve hacim 350 m³ olarak belirlenerek çeşitli hesaplamalar yapılmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8: Hasat Edilen Su ve Talep Karşılaştırması
(Hacim: 350 m³, Hasat Katsayısı: 0.95)

Talep (L/gün)	Hasat Edilen Su (L/gün)
100	100
500	500
1000	1000
3000	2997.6
3500	3443.1
4000	3760.7
4500	3990.8
5000	4164.0
10000	4756.94
15000	4818.53



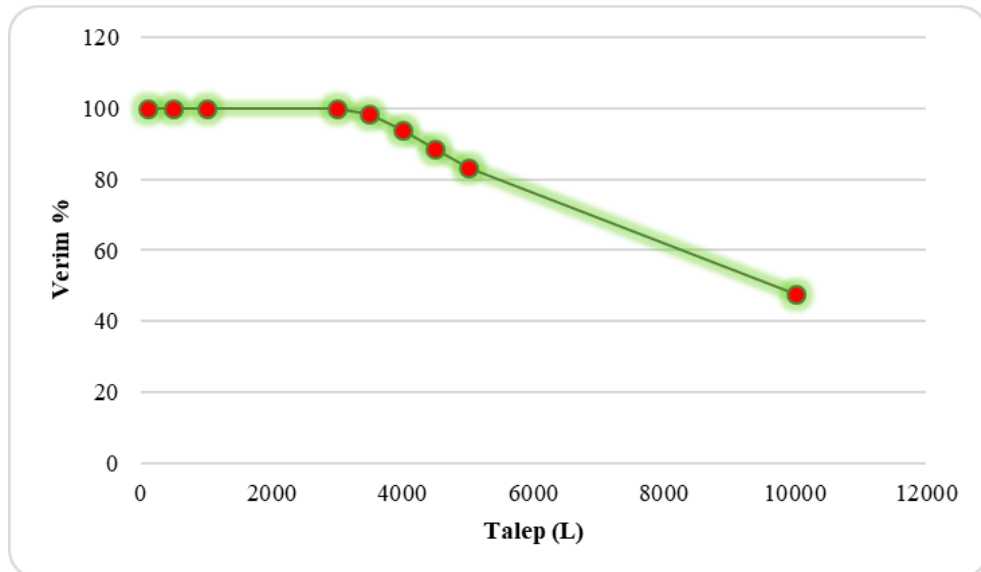
Şekil 5.14: Hasat Edilen Su ve Talep Karşılaştırması (Hacim: 350 m³, Hasat Katsayısı: 0.95)

Çizelge 5.9: Talep ve Verim Karşılaştırması
(Hacim: 350 m³, Hasat Katsayısı: 0.95)

Talep (L/gün)	Verim %
100	100.00
500	100.00
1000	100.00
3000	99.92
3500	98.38
4000	94.02
4500	88.69
5000	83.28
10000	47.57
15000	32.12

Şekil 5.14 görüldüğü gibi talep, 4500 – 5000 L aralığına gelene kadar hasat edilen su miktarı ile birlikte lineer olarak artmaktadır. Bu iki değişkenin ilk başta birlikte artmasının sebebi Yalova ilinin yağış rejiminin bu miktarlardaki talepleri karşılayabilmesidir. 4500 L’den sonra talebin artmaya devam ettiği fakat hasat edilen su miktarının aynı oranda artmadığı ve eğrinin eğiminin azalarak yatay eksene yaklaştığı görülmektedir. Yalova ili bu oranlardaki talepleri karşılayacak yağışa sahip olmadığı için talep artmaya devam etmesine rağmen aynı oranda yağmur suyu hasat edilememiştir. Talep 15000 L’den sonra artmaya devam ettiğinde eğri yatay eksene daha çok yaklaşacak ve bir miktardan sonra eğim sıfır olacaktır.

Çizelge 5.9’a göre talep, 350 m³ hacim ve 0.95 hasat katsayısı için 100 L’den başlanarak düzenli aralıklarla artırılmıştır.



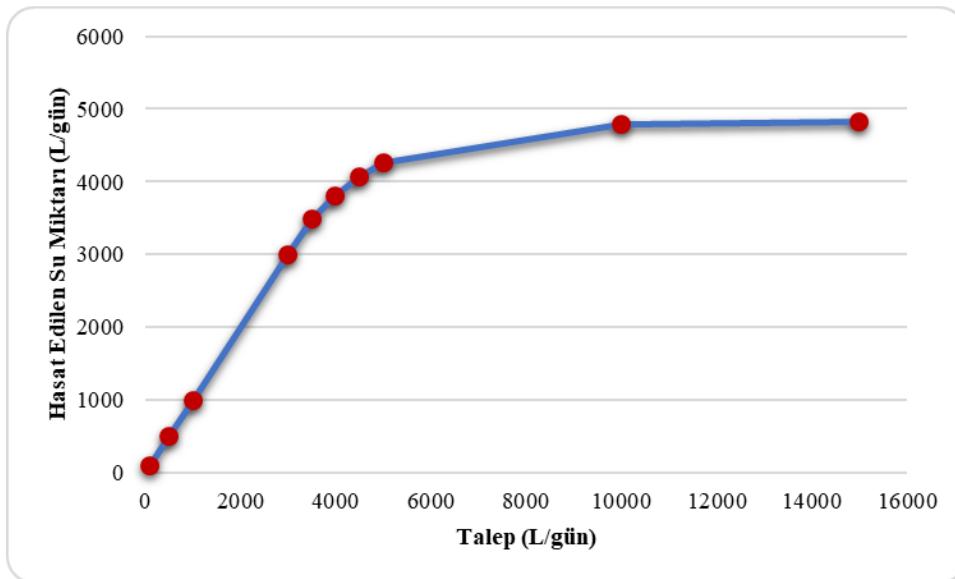
Şekil 5.15: Talep ve Verim Karşılaştırması (Hacim: 350 m³, Hasat Katsayısı: 0.95)

Çizelge 5.10: Talep ve Verim Karşılaştırması
(Hacim: 400 m³, Hasat Katsayısı: 0.95)

Talep (L/gün)	Hasat Edilen Su Miktarı (L/gün)
100	100
500	500
1000	1000
3000	2997.9
3500	3483.8
4000	3810.8
4500	4068.4
5000	4254.7
10000	4782.10
15000	4831.24

Şekil 5.15’de verimin 3800-4000 L aralığına kadar %100 olduğu görülmektedir. Bu aralıkta tüm talebin karşılandığı anlaşılmaktadır. Şekil 5.15’de Şekil 5.14’ü destekler nitelikte talep artmaya devam ettikçe 4000 L den sonra verimin düşmeye başladığı belirlenmiştir. Grafiği devam ettirdiğimizde talep artmaya devam edecek ancak talebi karşılayacak su miktarı yeterli olmadığı için verim düşecek ve sıfırlanacaktır.

Artan depo hacminin hasat edilecek su miktarı ve verim üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla hasat katsayısı değiştirilmeden depo hacmi 400 m³’e çıkarılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Belirlenen sonuçlar Çizelge 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.16: Hasat Edilen Su Miktarı ve Talep Karşılaştırması (Hacim: 400 m³, Hasat Katsayısı: 0.95)

Şekil 5.16’da 400 m³ hacimde de ilk olarak talep, 4500 – 5000 L aralığına gelene kadar hasat edilen su miktarı ile birlikte lineer olarak artmaktadır. 4500 L den sonra talebin artmaya devam ettiği fakat hasat edilen su miktarının aynı oranda artmadığı ve eğrinin eğiminin azalarak yatay eksene yaklaştığı görülmektedir. Bu grafikten de anlaşıldığı üzere depo hacmi artsa bile hasat edilen su miktarında oransal olarak büyük miktarda bir artma gerçekleştirmemiştir. 400 m³ depo hacminde hasat edilebilen su miktarında, 350 m³ hacme kıyasla, talep 10000 L olduğunda hasat edilen su miktarında 25 litrelik bir artış, talep 15000 L olduğunda 12.70 litrelik artış görülmüştür. Depo hacmi daha fazla artırılrsa bile bu oran dikkate değer şekilde artmayacaktır. Bunun sebebi yağış rejiminin bu miktarları karşılayacak kadar fazla olmamasıdır.

5.2. Sistem Akış Kayıplarını Karşılama İçin Gereken Minimum Düşü

Tezde yağmur suyu hasat sistemi elektrik tüketmeyecek şekilde dizayn edilmiştir. Bu sebeple toplanan yağmur suyunun kendi cazibesıyla rezervuarlara ulaşabilmesi, yani basınç kayıplarını yenebilmesi için gereken minimum yükseklik, basınç kayıpları belirlenerek Denklem 4.29 ile hesaplanmıştır. Kritik hat boyunca tesisat elemanları ve kayıp katsayıları Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11: Hat Boyunca Kayıp Katsayıları [106]

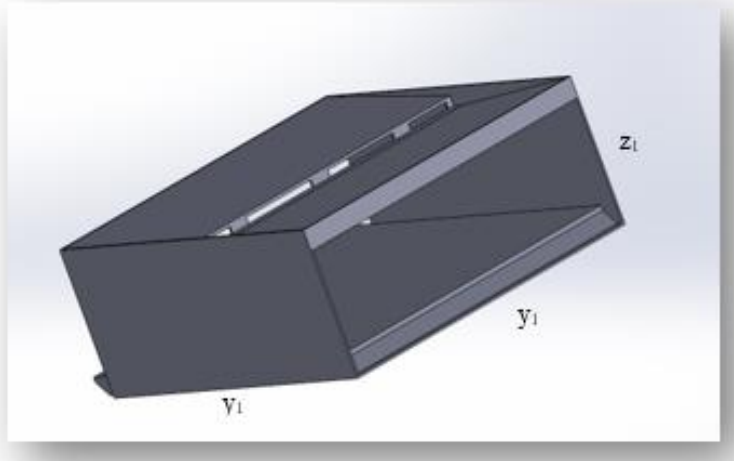
Kayıp katsayıları	Değeri
Dirsek	0.3
Keskin giriş	0.5
Dallanan akış	1
Düz akış	0.2
Tam akışlı küresel vana	10
Keskin çıkış	1.06
ΣK_k	13.06
h_k (m)	0.5

5.3. Yağmur Suyu Deposu Dizaynı

1. Yaklaşım

Yapılan yağmur suyu analiz hesaplarına göre hasat edilebilecek yağmur suyu hacmi maksimum 350 m³ olarak bulunmuştur. Yalova Üniversitesi’nden alınan bilgilere

göre Mühendislik Fakültesinin çatısı 50m x 50m'lik bir alana sahiptir ve kullanılabilir alan 2100 m²'dir. Tasarlanan yağmur kapsüllerinin yerleşimi için binanın çatı alanının kullanılmasına karar verilmiştir. Mümkün olduğunca çok alandan faydalanmak istendiği için kapsül boyutlandırmasının, optimum yerleşime ve hacime göre olması yönünde hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 5.17: 1. Yaklaşım İçin Yağmur Kapsülü

Kolay monte edilme, hammadde maliyeti göz önüne alınarak kapsüllerin plastik yapılması planlandı. Deprem anında büyük su kütlelerinde meydana gelebilecek çalkantının binayı dinamik yüke maruz bırakması, büyük ebatlı plastiklerin kalıp maliyetlerinin yüksek olması, üretim adedinin az olması ve içi su dolu büyük plastik kapsüle müdahale zorluğu düşünülerek, kapsül ebatları küçük tutuldu. Kapsülün eni ve boyu 50 cm olarak belirlendi. Kullanılabilir çatı alanı 2100 m² olduğundan bir kapsülün yüksekliği z_1 , denklem 4.1 yardımıyla 17 cm olarak hesaplandı.

Toplanacak yağmur suyunun kapsül içine akmasına yardımcı olmak amacıyla Şekil 5.17'de görüldüğü gibi yağmur kapsülünün kapağı 3 cm içeriye doğru eğimli tasarlanmıştır. Kapak eğimi dahil edilince yükseklik 20 cm olarak revize edilmiştir.

Denklem 4.2 kullanılarak bir adet kapsülün alanı ve hacmi 0.25 m² ve 0.05 m³, Kapsül adedi S_{k1} , denklem 4.3 yardımıyla 8400 adet olarak bulunmuştur.

2. Yaklaşım

Bu yaklaşımda yağmur kapsüllerinin güneş kolektörlerinin altında montajlanması planlanmıştır. Güneş kolektörleri 1647x992x35 mm boyutlarında ve 30° açıyla duracak şekilde tasarlandığı bilindiğinden, kapsülün boyu, yüksekliği ve derinliği aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

Yağmur kapsüllerinin montajı göz önüne alınarak kalıp maliyetini azaltmak amacıyla 2 adet kapsülün eninin 1 kolektörün enine eşit olmasına karar verilmiştir.

$$Kollektörün\ Eni = 0.992\ m$$

$$Kapsülün\ Eni \cong 0.5\ m$$

Güneş kollektörünün duruş açısı düşünüldüğünde kapsül derinliği z_2 (m), 4.4 eşitliği kullanılarak 1.45 m olarak bulunmuştur.

1.45 m derinliğe sahip kapsülün kalıp maliyeti göz önüne alındığında ekonomik olmayacağına karar verilmiştir. Bu sebeple 1.45 m toplam uzunlukta 4 adet kapsülün tasarlanmasının daha uygun olacağı düşünülmüş bir adet kapsülün derinliği (m):

$$Kapsül\ Derinliği \cong 0.4$$

olarak hesaplanmıştır. 0.5 m kapsül eni kullanılarak kapsül alanı (m^2), 4.5 formülü kullanılarak;

$$Kapsül\ Alanı \cong 0.4$$

olarak hesaplanmıştır. Toplamda 708 adet güneş kollektörü ve her kollektörün altında 8 adet kapsül olduğundan toplam kapsül sayısı 5664 adet hesaplanmıştır.

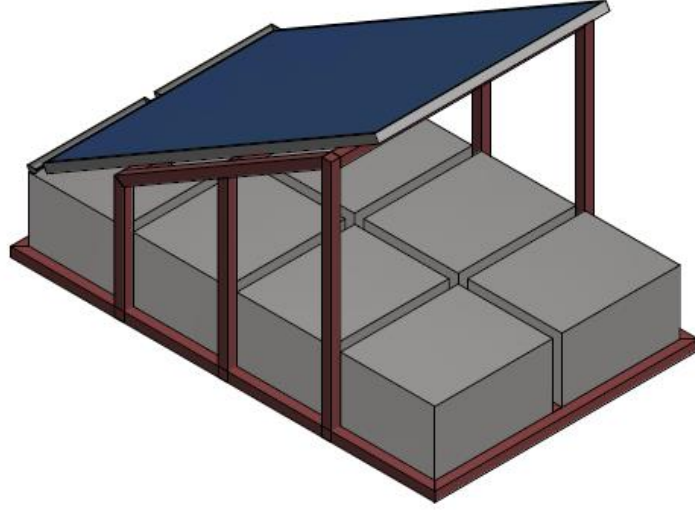
Kapsül adedi bulunduktan sonra toplam kapsül alanı (m^2):

$$Toplam\ Kapsül\ Alanı = 0.5 \times 5664$$

$$Toplam\ Kapsül\ Alanı = 1132\ m^2$$

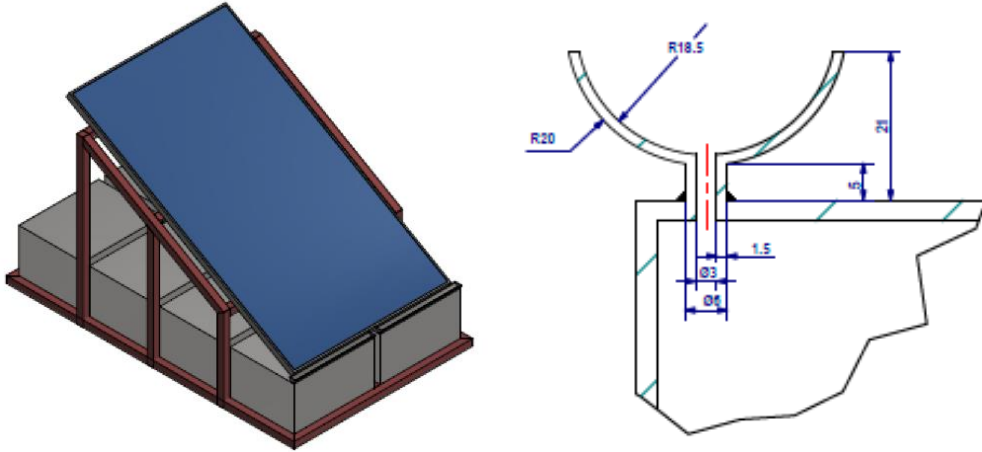
olarak hesaplanmıştır. Kapsül alanı belirlendikten sonra $350\ m^3$ su hacmini karşılayabilecek kapsülün yüksekliği (m) denklem 4.6 kullanılarak 0.31 m bulunmuştur.

Güneş kollektörlerinin altına konulacak olan kapsüllerin yerleşimi Şekil 5.18'de gösterilmiştir.

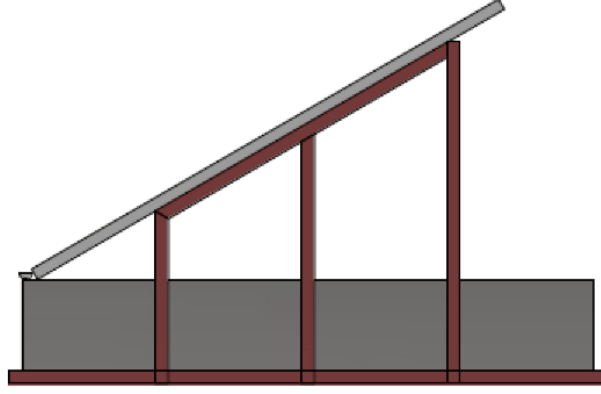


Şekil 5.18: 2. Yaklaşım Yağmur Kapsülleri Yerleşimi Genel Görünüş

Suyun, yağmur oluklarında olduğu gibi, güneş kolektörünün eğimi sayesinde kollektörün alt kısmındaki oluklardan kapsüllere akması planlandı. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasının çatısında 708 adet güneş kollektörü olmakla birlikte her kollektörün altına hasat edilen yağmur suyunu depolamak amacıyla 8 adet yağmur kapsülü konulmuştur. Kapsüllerin üstü kapalı dizayn edilmiş olup bu sayede çevreden gelebilecek kirliliklerden ve buharlaşmadan korunma sağlanmıştır.

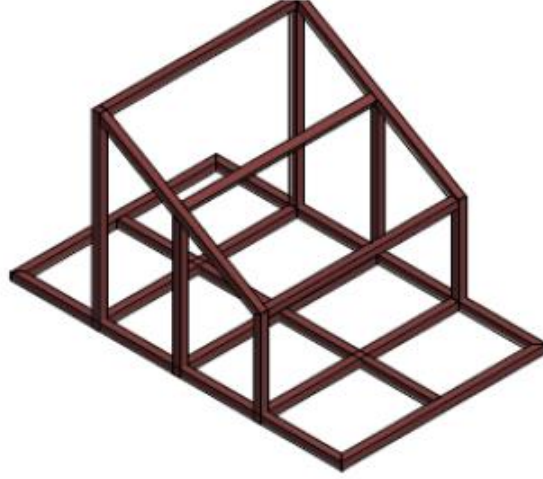


Şekil 5.19: 2.Yaklaşım Yağmur Kapsül Olukları Genel Görünüş



Şekil 5.20: 2. Yaklaşım Yağmur Kapsülü Yandan Görünüş

Kapsüllerin aralarına kollektöre destek amaçlı 40x40 boyutlarında profiller yerleştirilmiştir.



Şekil 5.21: Destek Profilleri Genel Görünüş

700 adet güneş panelinin birim ağırlığını 18.4 kg ve yağmur kapsüllerinin ağırlığını da Çizelge 5.12'den 2.3 kg olarak aldığımızda binaya verilen toplam yük 25 ton olarak bulunmuştur. Tüm kapsüllerin yağmur suyuyla dolduğunu varsayarsak toplam yük 375 ton olmaktadır. Bu yaklaşımın uygulanması için mevcut binaların statik hesapları, konunun uzmanı olan mühendisler tarafından gözden geçirilmelidir. En kötü durumda 375 ton a kadar çıkacak olan yükün statik ve dinamik etkileri hesaplanarak uygun bulunması durumunda, bu tez kapsamında önerilen sistem uygulanabilir. Aksi takdirde mevcut binalarada bu sistemin kurulması uygun değildir, binanın yanında zemine veya zeminin altına büyük tek depo olarak yapılması gerekir.

Zemine yapılan depo sistemleri bahçe sulama işi için pasif olarak kullanılabilir. Ancak tavalet rezervuarlarında kullanılabilmesi için suyun binanın üst katlarına pompalanması gerekir. Pompalama işlemi ise elektrik sarfıyatı anlamına gelmektedir.

Günümüzde hala su kesintileri olmadığından ve suyun elde etmenin maliyeti elektriğin birim fiyatından az olduğundan, enerji kullanımı her şekilde maliyetleri artıracak ve sistemin geri ödeme süresini uzatacaktır.

Yeni inşa edilecek binalarda ise statik hesaplarda bu yüklerin de dikkate alınması ve fizibilite çalışmalarının ona göre yapılması tavsiye edilmektedir.

5.4. Ekonomik Analiz

Yağmursuyu hasat sisteminde en önem taşıyan maliyet depolama maliyetidir. Yağmur suyu hasadı için en uygun hacimdeki depo tasarımı sistemin ekonomik ve efektif olması için çok önemlidir. Yağmur suyu toplama sisteminin maliyet kalemleri aşağıdaki gibi özetlenmiştir [65]:

a) Yatırım (Toplama, Depolama, Dağıtım)

b) İşletme ve Bakım

Tez kapsamında yağmursuyu hasat sistemi farklı hasat katsayıları ve hacimler için hasat edilen miktar ve verimlilik açısından değerlendirilmiştir. Ekonomik analiz için de aynı yöntem uygulanacaktır. Tasarlanan yağmur suyu kapsülleri için alınan maliyet hesaplaması Çizelge 5.12'deki gibidir.

Çizelge 5.12: Yağmur Kapsülleri Malzeme ve Üretim Maliyeti

Malzeme	2.3 kg
Üretim Yöntemi	Rotasyonel Kalıplama
Kullanılan Malzeme	PETKİM Petoplen EH102, PoliPropilen
Birim Malzeme Fiyatı	3 TL/kg
Birim Üretim Maliyeti	1 TL
Birim Kalıp Maliyeti	1 TL
Depo Ömrü	15 Yıl

Firmadan alınan bilgiler ışığında 1 adet kapsül maliyeti;

$$Kapsül Birim Maliyeti = \left(2.3 \text{ kg} \times 3 \frac{\text{TL}}{\text{kg}} \right) + 1 \text{ TL} + 1 \text{ TL}$$

$$Kapsül Birim Maliyeti = 8.9 \text{ TL}$$

olarak bulunmuştur.

5.4.1. 1.Yaklaşım İçin Ekonomik Analiz

8400 adet kapsül için depo maliyeti 4.36 denklemi ile C_s 74.746 TL olarak bulunmuştur. Yağmur kapsüllerinin kullanım ömrü 15 yıl olarak verilmiştir. 15 yıl boyunca sistemin getireceği kazanç ve geri ödeme süresi (GÖS) hesaplanırken mevcut faiz ve enflasyon oranları da göz önüne alınarak analiz yapılmıştır. Formülde kullanılmak üzere Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası verilerine göre faiz oranı %17 [107], enflasyon oranı %14.60 [108] olarak alınmıştır.

Fakültedeki eş zamanlı öğrenci sayısı düşünülerek yapılan kabullere göre, günlük talep 3000 ve 15000 L arasında çizelgedeki tüm değerler için 15 yıl boyunca sistemin toplam getirisi belirlenmiştir. Yapılan tasarruf, her talep miktarı için 4.35 denkleminde yararlanılarak hesaplanmış ve Çizelge 5.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.13’de belirtilen sonuçlara göre talep 3000 L olduğunda hasat edilen günlük miktar talebin tümünü karşılaya bile yağmur suyu hasat sisteminin, toplamda 73089.5 TL kazançla kendini amorti edemediği görülmektedir. Talep 3500-4500 L arasında sistemin kendini amorti edebildiği belirlenmiştir.

Çizelge 5.13: Farklı Talepler İçin Hasat Edilen Su Miktarı ve Sistem Getirisi
(Hacim: 350 m³, Hasat Katsayısı: 0.95)

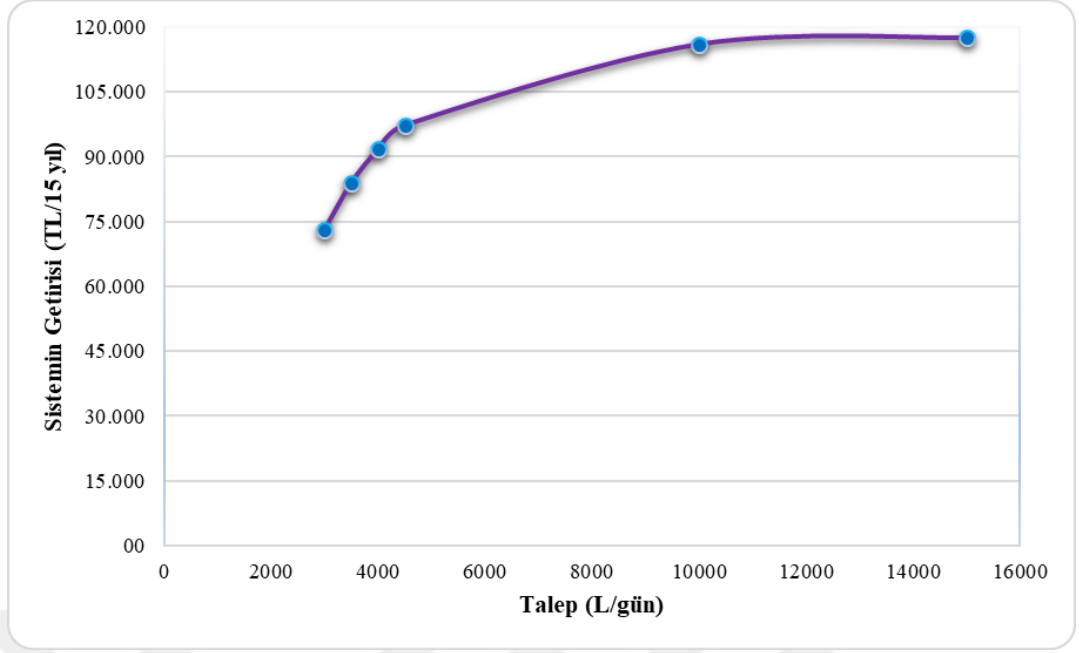
Talep	Hasat edilen Su	Hasat edilen Su	Su Tasarrufu	Sistemin Getirisi
(L/gün)	Miktarı	Miktarı		
(L/gün)	(L/gün)	(m ³ /yıl)	(TL/yıl)	(TL/15 yıl)
3000	2997.6	1094.1	6564.8	73089.5
3500	3443.1	1256.7	7540.5	83952.9
4000	3760.7	1372.7	8236.0	91696.3
4500	3990.8	1456.7	8740.0	97307.4
10000	4756.94	1736.3	10417.7	115986.79
15000	4818.53	1758.8	10552.6	117488.39

Çizelge 5.14’de gösterilen sonuçlara göre talep arttıkça sisteminin getirisi artmaktadır. Görüldüğü üzere talep 10000 litre olduğunda GÖS yaklaşık 9.5 yıl, 15000 litre olduğunda GÖS 9 yıl olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.14: 1. Yaklaşım İçin Farklı Taleplerde NBD ve Geri Ödeme Süresi

YIL	TALEP (L/gün)					
	3000 L	3500 L	4000 L	4500 L	10000 L	15000 L
1	5610.9	6444.9	7039.3	7470.0	8904.0	9079.6
2	11106.7	12757.5	13934.2	14786.9	17625.4	17973.0
3	16489.8	18940.7	20687.7	21953.6	26167.9	26684.0
4	21762.4	24997.0	27302.6	28973.3	34535.1	35216.2
5	26926.9	30929.1	33781.9	35849.0	42730.7	43573.5
6	31985.5	36739.5	40128.2	42583.7	50758.2	51759.3
7	36940.3	42430.8	46344.4	49180.2	58621.0	59777.2
8	41793.4	48005.2	52433.0	55641.5	66322.6	67630.6
9	46547.0	53465.4	58396.8	61970.1	73866.1	75323.0
10	51203.1	58813.5	64238.2	68169.0	81255.0	82857.5
11	55763.7	64051.9	69959.8	74240.7	88492.2	90237.5
12	60230.7	69182.9	75564.0	80187.9	95581.0	97466.1
13	64606.1	74208.6	81053.3	86013.0	102524.4	104546.4
14	68891.8	79131.3	86429.9	91718.7	109325.3	111481.5
15	73089.5	83952.9	91696.3	97307.4	115986.8	118274.4

Geri ödeme süresinin 3500 L talepte 13 yıl, 4000 L talepte 11.5 yıl ve 10000 L talepte 9.5 yıl olduğu belirlenmiştir. En düşük geri ödeme süresinin yaklaşık 9 yıl ile 15000 L talepte olduğu Çizelge 5.14’de görülmektedir. 15000 L’de yağmur suyu hasat sisteminin verimi Çizelge 5.9’da %32.12 olmasına rağmen en düşük geri ödeme süresine sahiptir. Bunun nedeni hasat edilen su miktarının düşük verimle de olsa diğer taleplere kıyasla daha yüksek olması yapılan tasarrufu artırmakta ve dolayısıyla geri ödeme süresini düşürmektedir.



Şekil 5.22: Sistem Getirisi ve Talep Karşılaştırması

Şekil 5.22 Çizelge 5.13'ü destekleyecek şekilde, başta talep ve sistem getirisi lineer olarak artmaktadır. Şekil 5.21'de 5000-6000 aralığından sonra talep arttıkça sistem getirisinin aynı oranda artmadığı, 10000 litrelik talepten sonra yatay eksene yaklaştığı görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere talep artmaya devam etse bile belirli bir noktadan sonra sistemin getirisi değişmemektedir. Bunun nedeni Şekil 5.14 ve 5.16'yı destekleyecek şekilde talep arttıkça hasat edilebilecek yağış oranının belirli bir noktadan sonra aynı hızda artmamasıdır. Çünkü Yalova ilinin yağış rejimi bu miktarları karşılayabilecek potansiyele sahip değildir.

5.4.2. 2. Yaklaşım İçin Ekonomik Analiz

5664 adet kapsül için depo maliyeti 4.36 denklemi kullanılarak 50.410 TL olarak bulunmuştur. Sistemin hasat ettiği yağmur suyu miktarı değişmediği sadece farklı miktarda kapsülle aynı hacimde su hasat edilmesi planlandığı için Çizelge 5.15'de görüldüğü gibi su tasarrufu, net bugünkü değer ve sistemin 15 yıllık getirisi 1. yaklaşımla aynı olacaktır. Fakat kapsül adedi azaldığı için geri ödeme sürelerinde değişiklik olacaktır.

Çizelge 5.15: Farklı Talepler İçin Hasat Edilen Su Miktarı ve Sistem Getirisi
(Hacim: 350 m³, Hasat Katsayısı: 0.95)

Talep	Hasat edilen Su	Hasat edilen Su	Su Tasarrufu	Sistemin Getirisi
(L/gün)	Miktarı (L/gün)	Miktarı (m ³ /yıl)	(TL/yıl)	(TL/15 yıl)
3000	2997.6	1094.1	6564.8	73089.5
3500	3443.1	1256.7	7540.5	83952.9
4000	3760.7	1372.7	8236.0	91696.3
4500	3990.8	1456.7	8740.0	97307.4
10000	4756.94	1736.3	10417.7	115986.79
15000	4818.53	1758.8	10552.6	117488.39

Çizelge 5.16: 2. Yaklaşım İçin Farklı Taleplerde NBD ve Geri Ödeme Süresi

YIL	TALEP (L/gün)					
	3000 L	3500 L	4000 L	4500 L	10000 L	15000 L
1	5610.9	6444.9	7039.3	7470.0	8904.0	9079.6
2	11106.7	12757.5	13934.2	14786.9	17625.4	17973.0
3	16489.8	18940.7	20687.7	21953.6	26167.9	26684.0
4	21762.4	24997.0	27302.6	28973.3	34535.1	35216.2
5	26926.9	30929.1	33781.9	35849.0	42730.7	43573.5
6	31985.5	36739.5	40128.2	42583.7	50758.2	51759.3
7	36940.3	42430.8	46344.4	49180.2	58621.0	59777.2
8	41793.4	48005.2	52433.0	55641.5	66322.6	67630.6
9	46547.0	53465.4	58396.8	61970.1	73866.1	75323.0
10	51203.1	58813.5	64238.2	68169.0	81255.0	82857.5
11	55763.7	64051.9	69959.8	74240.7	88492.2	90237.5
12	60230.7	69182.9	75564.0	80187.9	95581.0	97466.1
13	64606.1	74208.6	81053.3	86013.0	102524.4	104546.4
14	68891.8	79131.3	86429.9	91718.7	109325.3	111481.5
15	73089.5	83952.9	91696.3	97307.4	115986.8	118274.4

Depo maliyeti 50.410 TL olarak hesaplandığından, geri ödeme süresi, talep 3000 litre olduğunda yaklaşık 10 yıl, talep 3500 ve 4000 litre olduğunda 8.5 yıl, talep 4500 litre olduğunda yaklaşık 7 yıl olarak belirlenmiştir. En düşük geri ödeme süresi yaklaşık 6 yıl ile talep 10000 ve 15000 litre olduğu zaman gerçekleşmiştir.

Hesaplanan tüm maliyetler ilk yatırım maliyeti düşünülerek hesaplanmıştır. Sistem için gerek duyulan bakım maliyeti hesaplamalara dahil edilmemiştir. Yağmur suyu hasat sisteminin bakım gereksinimlerine dair bilgi Çizelge 5.17’de verilmiştir. Yağmur suyu hasadının etkili bir şekilde kullanılabilmesi için yağışlı mevsim başlamadan ve bittiğinde genel bakım yapılmalıdır [65].

Çizelge 5.17: Kontrol ve Bakım Durumu [100]

Kontrol Yeri	Kontroller	Kontrol Sıklığı
Borular	Görünen tüm hatların ve bağlantılarının korozyonunu	1 Yıl
Çatı Giderleri	Taşmalar için tıkanıklık durumu ve sızdırmazlığı	6 Ay
Rezervuarlar	Temizliği ve sızdırmazlığı	1 Yıl



6. DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

Su canlı yaşamının devamı için en önemli ve vazgeçilmez kaynaktır. Son yıllarda artan nüfus ve iklim değişiklikleri nedeniyle insanoğlu bu vazgeçilmez olarak nitelendirilen kaynağın yok olma ihtimali ile karşı karşıyadır. Türkiye şu an su sıkıntısı çeken ülkeler listesinde ve yakın gelecekte su fakiri olacağı tahmin edilmektedir. Dolayısı ile su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için su tasarruf yöntemlerinin araştırılması önem arz etmektedir.

Bu anlayıştan yola çıkarak bu tez kapsamında Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi için yeşil bina kapsamında yağmur suyu hasat sisteminin araştırılması ele alınmıştır. Üniversiteler, bilim üreten ve toplumun faydasına çalışan kurumlar olarak dünyanın yararına olacak tüm çalışmalarda maliyet hesabına girmeden ve sadece bugünü değil yarınları ve gelecek nesilleri de düşünerek tarafsız, özgün ve yapıcı çözümler üretmek önceliğine sahiptir. Bu nedenle araştırmanın özellikle bir üniversite binası için olması istenmiştir.

Yağmur suyu hasat sistemi bir yeşil bina yaklaşımıyla ele alındığı için öncelikle yeşil ve sürdürülebilir bina kavramı ve dünyada kullanılan farklı sertifikasyon sistemleri incelenmiştir. Özellikle su yönetimi ön planda tutularak birbirleriyle aynı ve farklı olan yönleri değerlendirilmiştir. Daha sonra dünyada ve Türkiye’de pasif yağmur suyu hasat sistemleri araştırılmış örneklerle sistem anlatılmaya çalışılmıştır. Hasat sistemiyle ilgili dünyada 9000 yıl öncesinden bugüne uzanan birçok çalışmanın yapıldığı ve su tasarrufu ile ilgili uzun vadede önemli kazançlar elde edildiği tespit edilmiştir.

Yağmur suyu hasat sistemi üzerine yapılan çalışmalar ile şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yalova ilinin Yağış rejimini belirleyebilmek için 2006-2016 yılları arasında toplam 4015 veri analiz edilmiştir. Yapılan analize göre maksimum yağışın 99.4 mm ile 2014, minimum yağışın 0.01 mm ile 2011 yılında olduğu belirlenmiştir.
- 11 yılın yağış toplamalarının ortalaması 751 mm ortalama yağışı 2.06 mm olarak bulunmuştur. Yalova ilinin en fazla günlük yağışı 9.65 mm ile 2010 yılında aldığı ve ortalamanın da 6.30 mm olduğu belirlenmiştir.
- Analize devam edildiğinde 4015 günde 2716 günün hiç yağış almadığı 761 günde de yağış miktarının 0-5 mm arasında olduğu tespit edilmiştir. Yalova İlinde 4015 günün %68’inin yağışsız geçtiği belirlenmiştir. Bu bilgiden de anlaşıldığı üzere Yalova ili için suyun korunması ve depolanması azami önem taşımaktadır.
- Yağmur suyu hasat sistemi için depo tasarlanırken yağacak tüm yağmur suyunun toplanması hedeflendiğinden optimum depo hacmini bulabilmek için

bir önceki günden kalan yağmur suyu kapasitesi de hesaplamalara dahil edilmiştir.

- Depo maliyeti yağmur suyu hasat sistemi yatırımının en önemli bileşenlerinden biridir. Yatırımın geri dönüş süresi ile doğrudan ilgili ilk giderdir ve depo hacmi ile doğru orantılıdır. Buradan yola çıkılarak yapılan analizlerle optimum depo hacmi 350 m³ olarak belirlenmiş ve yerleşim için 2 yaklaşım değerlendirilmiştir. Belirlenen hacimde ilk yaklaşım için depo maliyeti 74.746 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre ilk yaklaşım için 3000 litrelik günlük talepte sistemin kendini amorti edemediği 10000 ve 15000 litre için geri ödeme süresinin yaklaşık 9.5 yıl olduğu tespit edilmiştir.
- İkinci yaklaşım için depo maliyetinin 50.410 TL olduğu belirlenmiştir. Günlük talep 3000 litre olduğunda geri ödeme süresinin yaklaşık 10 yıl, 10000 ve 15000 litrelik taleplerde geri ödeme süresinin 6 yıla kadar düştüğü tespit edilmiştir.

Literatürde performansları ve uyarlanabilirlikleri açısından farklı yağmur suyu hasat sistemi teknolojilerinin karşılaştırmalı sonuçlarını içeren çalışmaların sayısı azdır. Hasat sistemleri hakkındaki raporların çoğu sayısal modelleme üzerinedir. Ayrıca yapılan sistemlerin çoğu aktif olarak tasarlanıp, pompa kullanılan ve elektrik sarfıyatı olan sistemlerdir. Tüm bu örnekler incelendiğinde bu çalışmanın en güçlü tarafının %99.5 gibi yüksek bir verimle yağmur suyunu toplayabilmesi ve pasif bir sistem olmasıdır. Fakat düzenlemeleri ve tasarım kılavuzlarını iyileştirmek ve güncellemek için deneysel sonuçlar gereklidir. Bu sebeple bu tarz uygulamaların kurulumunun ve takibinin yaygınlaştırılması önemlidir. Bir sonraki çalışmalarda optimum depo hacmini belirleyebilmek için bu tezde kullanılan regresyon analizi ve sonlu ve sonsuz yaklaşım metodlarının yerine makine öğrenmesi, yapay zeka ile tasarım gibi metodlar kullanılabilir.

Şu anda yaşadığımız dünyanın gelecekte de yaşanabilir bir halde kalması için insanlığa çok fazla sorumluluk düşmektedir. Bu nedenle özellikle tükenebilen bir kaynak olan su kaynaklarının korunmasını ve sürdürülebilir olmasını sağlayacak adımların rahatlıkla atılabilmesi için Üniversite bünyesinde oluşturulacak yeni yapıların inşası aşamasında yeşil binalar ve sürdürülebilir çevre önlemlerini destekleyici tasarımların göz önünde bulundurulması Üniversite tarafından asli görev olarak kabul edilmelidir. Ayrıca Üniversitelerde Yağmur suyu hasadı ile ilgili dersler açılması ve profesyonel elemanlarının yetiştirilmesi gelecek nesiller için su kaynaklarının korunmasında etkili olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Url< <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> >, Alındığı tarih: 14 Temmuz 2020.
- [2] Url< <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm>>, Alındığı tarih: 17 Nisan 2020.
- [3] Çapar G., *Su Kaynakları Yönetimi ve İklim Değişikliği*, Ankara, İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 8.
- [4] UNESCO, UN-Water, (2020), United Nations World Water Development Report 2020:Water and Climate Change, Paris.
- [5] Tompkins E. L., Adger W. N., (2005), Defining response capacity to enhance climate change policy, *Environmental Science & Policy* 8, 562–571, 10.1016/j.envsci.2005.06.012.
- [6] Tuğaç, Ç., *Dünyada ve Türkiye’de İklim Değişikliği Politikaları. Ekolojik Kriz ve Küresel Çevre Politikaları*, 2020, ss.221-264 .
- [7] Kılıç, S., (2008), Küresel İklim Değişikliği Sürecinde Su Yönetimi, İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi No:39. (161-186).
- [8] Kunt, M., Gürbüzler D., Erkal İ.F., Hacıhasanoğlu, S., Özer E., (2016), Türkiye Çevre Durum Raporu, (Yayın No: 30-1), Ankara.
- [9] WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme). (2019) The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. Paris.
- [10] Food And Agriculture Organization, FAO, (2007), Rome.
- [11] DSİ (2014), Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu, Ankara.
- [12] Uyduranoğlu Öktem, A., Aksoy, A., (2014), Türkiye’nin Su Riskleri Raporu, İstanbul: Ofset Yapımevi.
- [13]Url<<https://gracefo.jpl.nasa.gov/news/148/nasa-university-of-nebraska-release-new-global-groundwater-maps-and-us-drought-forecasts/> >, Alındığı Tarih: 12 Ocak 2020.
- [14] DSİ (2016), Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu, Ankara.
- [15] T. C. Kalkınma Bakanlığı, (2018), Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği: Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- [16] Himat, A., (2018). Çatılardan Yağmur Suyu Hasat Potansiyelinin İl Bazında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

- [17] Zhao, H., Duan, X., & Stewart, B., You, B., Jiang, X., (2013). Spatial correlations between urbanization and river water pollution in the heavily polluted area of Taihu Lake Basin, China. *Journal of Geographical Sciences*. (10.1007/s11442-013-1041-7).
- [18] Vorosmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J., Lammers, R.B., (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*. (289(5477), 284-288)
- [19] DSİ (2020), Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu, Ankara.
- [20] Şahin, N. İ., (2010). Binalarda Su Korunumu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [21] Url<<https://www.csb.gov.tr/yeni-insa-edilecek-binalara-yagmur-suyu-toplama-sistemi-kurulacak-bakanlik-faaliyetleri-29875>> Alındığı Tarih: 23 Ocak 2021
- [22] Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M. PRECIS Bölgesel İklim Modeli ile Türkiye İçin İklim Öngörülleri: HadAMP3 SRES A2 Senaryosu, IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 25-28 Mart 2008, İstanbul, Türkiye.
- [23] Palmer, M. A. (2004). Ecological Science and Sustainability for a Crowded Planet, Ecological Society of America Report. Sürdürülebilir Kalkınma Ulusal Rapor, DPT.
- [24] Çebi, A., (2019). Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Günümüz Çok Katlı Konut Binalarında Tasarım Yaklaşımları ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul.
- [25] Kaya, N., Çobanoğlu, M., T., Artvinli, E., Sürdürülebilir Kalkınma için Türkiye’de ve Dünyada Çevre Eğitimi Çalışmaları, VI: Ulusal Coğrafya Sempozyumu, 3-5 Kasım, Ankara, İstanbul.
- [26] Zinzade, D. (2010). Yüksek Yapı Tasarımında Sürdürülebilirlik Boyutunun İrdelenmesi, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [27] Karadayı, T., Yüksek, İ., Tunçbiz, İ. (2017). İlkokul Binalarının Ekolojik Açıdan İyileştirilmesi: İstanbul Tuzla Tapduk Emre İlkokulu Örneği, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 22-33.
- [28] Tavşan, F., Yanılmaz, Z., (2019). Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Yaklaşımlar. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, (24), 359-383.

- [29] K  te  i Aydın T., (2013), Yeşil Bina Sertifikasyonları Kapsamında Yerel Sistem Gerekliliğinin Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
- [30] Ebert, T., E  ig N., Hauser, G., (2011) Green Building Certification Systems, Detail Green Books, Architektur-Dokumentation GmbH&Co. KG, Munich.
- [31]   elik, E.,(2009). Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinin İncelenmesi Türkiye’de Uygulanabilirliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [32] Haapio, A. and Viitaniemi, P., (2008) A critical review of building environmental assessment tools. Environmental Impact Assessment Review 28(2008), 469-482.
- [33] Sedlacek, S., Maier, G., (2012), Can Green Building Councils Serve As Third Partygovernance Institutions An Economic And Institutional Analysis, Energy Policy 49 (2012) 479–487.
- [34] Erten, D., G  ller, Y., ve Fırat, A., Türkiye İçin Bina   evresel Değerlendirme Metodu BREEAM’ın Türkiye’ye Adaptasyonu, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13- 16 Nisan (2011), İzmir.
- [35] Resmi Gazete, 2014,   evre ve   ehircilik Bakanlığı, Sürdürülebilir Yeşil Binalar İle Sürdürülebilir Yerleşmelerin Belgelendirilmesine Dair Yönetmelik, Sayı: 29199.
- [36] Ulukavak Harputlugil, G., (2016). Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri. Ankara.
- [37] Erten, D., (2011). Yeşil Binalar, Sürdürülebilir   retim ve Tüketim Yayınları-V,   evre ve   ehircilik Bakanlığı, Ankara, 36s.
- [38] Bertiz, D., Ekşi, I., Tokmak, M.,   zbey, D., Ak, M., Güneş, A., Yeşil Altyapı Açısından Ulusal Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinin Karşılaştırılması. PEYZAJ-Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi 2 (2019) 31-39.
- [39] Kobas, Bilge. (2010). Oluşturulmakta Olan Türk Yeşil Bina Değerlendirme Sisteminin Malzeme Kategorisi için BREEAM ve LEED   rneklerinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [40] Ba  dil Güneş, S., (2017), Türkiye'deki Leed Ve Breeam Yeşil Bina Sertifikasına Sahip Binaların Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [41] Somalı, B. ve Ilıcalı, E., LEED ve BREEAM Uluslararası Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinin Değerlendirilmesi, Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, (2009).

[42]Url<https://www.breeam.com/BREEAM2011SchemeDocument/Content/03_ScoringRating/scoring.htm>, Alındığı tarih: 18 Mayıs 2020.

[43] Ürük.Z. F.& İslamoğlu, A. K. K. (2019). Breeam, Leed Ve DGNB Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Standart Bir Konutta Karşılaştırılması.*Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 143-154.

[44] Erten, D., Henderson, K., Kobas, B. Uluslararası Yesil Bina Sertifikalarına Bir Bakış: Türkiye için bir Yesil Bina Sertifikası Olusturmak için Yol Haritası. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir, Türkiye.

[45] Uruk, Z, Külünkoğlu İslamoğlu, A. (2019). Breeam, Leed Ve DGNB Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Standart Bir Konutta Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 143-154. (DOI: 10.31590/ejosat.512291).

[46] Sev A., Canbay N., (2009). Dünya Geneline Uygulanan Yeşil Bina Değerlendirme Ve Sertifika Sistemleri, *Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji Eki*, s.42.

[47] Url< <https://www.usgbc.org/leed>>, Alındığı tarih: 18 Mayıs 2020.

[48] Url<<https://www.usgbc.org/credits?Version=%22v4.1%22>>, Alındığı tarih: 18 Mayıs 2020.

[49] Saka, İ., (2011), Sürdürülebilirlik Açısından İstanbul'da Bir Ofis Binasının Leed Sertifikalandırma Sistemi Kapsamında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[50] Url<<https://www.usgbc.org/credits>>, Alındığı tarih: 19 Mayıs 2020.

[51]Url<<http://www.skb.gov.tr/surdurulebilir-yesil-binalar-icin-leed-v4-su-yonetimi-s26596k>> , Alındığı tarih: 19 Mayıs 2020.

[52] Anbarcı M., Giran Ö., Demir İ.H., (2012). Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri İle Türkiye'deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması, *New World Sciences Academy*, s.375.

[53] Sev A., Canbay N., (2009). Dünya Geneline Uygulanan Yeşil Bina Değerlendirme Ve Sertifika Sistemleri, *Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji Eki*, s.44.

[54] Anbarcı M., Giran Ö., Demir İ.H., (2012). Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri İle Türkiye'deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması, *New World Sciences Academy*, s.375.

[55] Sev A., Canbay N., (2009). Dünya Geneline Uygulanan Yeşil Bina Değerlendirme Ve Sertifika Sistemleri, *Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji Eki*, s.54.

- [56] Sev A., Canbay N., (2009). Dünya Geneline Uygulanan Yeşil Bina Değerlendirme Ve Sertifika Sistemleri, *Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji Eki*, s.55.
- [57] Gül Güven, E., (2010), Mimari Tasarımda Ekoloji ve Sürdürülebilirlik Düşüncesi Ve Bu Çerçeve Toplumsal Boyutun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
- [58] Url < <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english> >, Alındığı Tarih: 15 Mayıs 2020.
- [59] Prinz, D., Wolfer, S., Tibebe, A. ve Siegert, K., (1999), Water harvesting for crop production, FAO Training Programme, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome.
- [60] Oweis, T. Y., Prinz, D. ve Hachum, A. Y., (2012), Rainwater harvesting for agriculture in the dry areas, *CRC press*, 3-40.
- [61] Oweis, T., (1999), Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas (Vol. 7), *International Water Management Institute*, 4-8
- [62] Alpaslan, N. (1992): Turistik Yerleşimlerin Su İhtiyacı İçin Sarnıç Seçeneğinin İrdelenmesi. Datça Çevre Sorunları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Datça, Mayıs 1992.
- [63] Alpaslan M. N., Tanık, A., Dölgen, D., (2008), Türkiye’de Su Yönetimi: Sorunlar ve Öneriler, (TÜSİAD Yayın No: T/2008-09/469), İstanbul.
- [64] Avcı, İ., (2001) “İstanbul’un Tarihsel Gelişim Süreci İçinde Öne Çıkan Bir Öge: Su; Kentleşme ve İstanbul”, Türkiye Mühendislik Haberleri; Sayı: 413-2001/3.
- [65] Ming D.S, Chun H. L., Ling F.L., Jui L. K., Mei C. L., (2009). A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *ScienceDirect Resources, Conservation and Recycling* 53 (2009) 393–399, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.03.005>.
- [66] Tokuş, C. M. ve Özdemir, G., (2017), Yağmur Hasadı Uygulamalarına Giriş Rehberi: İklim Değişikliğine Uyum Kapsamında Bir Çözüm Önerisi, *Peyzaj Araştırmaları Derneği*, Ankara, Türkiye
- [67] Şahin, N., Manioğlu, G., (2011). Binalarda yağmur suyunun kullanılması. *Tesisat Mühendisliği*, 125: 21-32.
- [68] Record, L., (2016), *Design media*, USA, 1, ss.112-115.
- [69] Url<<https://science.howstuffworks.com/environmental/greenscience/greenrooftop.htm/>>, Alındığı tarih: 14 Kasım 2017.

- [70] İncebel, C., (2012). Alternatif Su Kaynaklarının Endüstriyel Kullanıma Kazandırılması İçin Çatı Yağmur Suyu Hasadı (Ostim Örneği), Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [71] Himat, A., (2018). Çatılardan Yağmur Suyu Hasat Potansiyelinin İl Bazında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [72] Şahin N ve Manioğlu G., (2011). Binalarda yağmur suyunun kullanılması. Tesisat Mühendisliği, 125: 21-32.
- [73] Katip, A. (2018). Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 541-557, (DOI: 10.28948/ngumuh.432827).
- [74] Url < <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170623-8.htm> >, Alındığı tarih: 15 Kasım 2020.
- [75] USEPA, 2004: Guidelines For Water Reuse. Washington DC.
- [76] Meera V, Mansoor A. M. (2006). Water quality rooftop rainwater harvesting systems: a review. *Journal of Water Supply: Research Technology-AQUA* 55:257–68.
- [77] Duncker LC. Hygiene Awareness For Rural Water Supply And Sanitation Projects. Report no. 819/1/00 Water Research Commission, 2000, Pretoria.
- [78] Saour, W., (2009), Implementing Rainwater Harvesting Systems On The Texas A&M Campus For Irrigation Purposes: A Feasibility Study, *Texas A&M University Office of Undergraduate Research*. Texas.
- [79] Villarreal, E. L., Dixon, A., (2005), Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden, *Building and environment*, 40 (9), ss.1174-1184.
- [80] Karakaya, N. ve Gönenç, E., 2005, Alternatif Su Kaynaklar, *II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, Gümüşdörö/İzmir.
- [81] Sample, David J., and Jia Liu. 2014. ‘Optimizing Rainwater Harvesting Systems for the Dual Purposes of Water Supply and Runoff Capture’. *Journal of Cleaner Production* 75: 174–94. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.075>.
- [82] De Moraes, A.F.J., Rocha, C., (2013). Gendered waters: the participation of women in the ‘One Million Cisterns’ rainwater harvesting program in the Brazilian Semi- Arid region. *J. Clean. Prod.* 60, 163-169, (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.015>).
- [83] Guo, Y., Baetz, B., (2007). Sizing of Rainwater Storage Units for Green Building Applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, (Doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:2(197)).

- [84] Ghisi, E., Bressan, D.L., 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, 1654–1666, (<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.007>).
- [85] Basinger, M., Montalto, F., Lall, U., 2010, A Rainwater Harvesting System Reliability Model Based On Nonparametric Stochastic Rainfall Generator, *Journal of Hydrology*, 392 (3-4), ss.105-118.
- [86] Campisano, A., Modica, C. (2010). Experimental Investigation On Water Saving By The Reuse Of Washbasin Grey Water For Toilet Flushing. *Urban Water Journal* 7 (1), 17–24.
- [87] Jenkins, G. A., (2007), Use of continuous simulation for the selection of an appropriate urban rainwater tank. *Australian Journal of Water Resources*. 11:2, 231-246, (<http://dx.doi.org/10.1080/13241583.2007.11465327>).
- [88] Sample D.J., Liu, J., (2014), Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. *Journal of Cleaner Production*, www.elsevier.com/locate/jclepro.
- [89] Unami, K., Mohawesh O., Sharifi, E., Takeuchi J., Fujihara M. (2014), Stochastic modelling and control of rainwater harvesting systems for irrigation during dry spells. *Journal of Cleaner Production*, www.elsevier.com/locate/jclepro
- [90] Campisano, Alberto & Modica, Carlo. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*. (63). (9-16), (10.1016/j.resconrec.2012.03.007).
- [91]Url<<https://www.google.com.tr/maps/search/yalova+%C3%BCniversitesi+m%C3%BChendislik+fak%C3%BCltesi/@40.6417291,29.2612954,19032m/data=!3m1!1e3>>, Alındığı tarih: 08 Aralık 2020.
- [92] Öztürk M. Z., Çetinkaya G., Aydın S., (2017). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri, *Coğrafya Dergisi*, 35, 17-27, <https://doi.org/10.26650/JGEOG330955>.
- [93] Peel, M. C. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. . *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4(2), 439-47, <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>).
- [94] Cheng CL, Liao MC, Lee MC. A Quantitative Evaluation Method For Rainwater Use Guideline. *Building Services Engineering Research And Technology*, 27(3), ss.209-218. (doi:10.1191/0143624406bse162oa).

- [95] Küçükkaya E. (2018). Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemleri Ve Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımıyla Enerji Kullanımının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Yalova.
- [96] Kara, Ö., (2019), Yalova Üniversitesi Kampüsü İçin Enerji Görünümünün Çıkarılması ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Desteklenme İmkânının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Yalova.
- [97] Mohammad A. Alim, Ataur Rahman, Zhong Tao, Bijan Samali, Muhammad M. Khan, Shafiq Shirin (2019), Suitability of Roof Harvested Rainwater for Potential Potable Water Production: A Scoping Review, *Journal of Cleaner Production* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119226>
- [98] Ming D.S, Chun H. L., Ling F.L., Jui L. K., Mei C. L., (2009). A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *ScienceDirect Resources, Conservation and Recycling* 53 (2009) 393–399, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.03.005>.
- [99] Pektaş, A. O., (2012), Büyük Havzalarda Akış Katsayısının Hesaplanması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [100] DIN 1989, Rainwater harvesting systems, Part 1: Planning, installation, operation and maintenance, Berlin.
- [101] Fewkes, A., & 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, (<https://doi.org/10.1177/014362440002100204>)
- [102] Worm, J. ve Hattum, V., (2006), Rainwater harvesting for domestic use, *Agrodoc 43. Agromisa Foundation and CTA*, Wageningen, The Netherlands, 82.
- [103] Morgan, P., (1990), Rural water supplies and sanitation, *Macmillan Education Limited*, Hong Kong.
- [104] Alpaslan, N., Tanık, A. ve Dölgen, D., (2008), Türkiye’de Su Yönetimi Sorunlar ve Öneriler, *TÜSİAD Yayın No*, 09/469.
- [105] Eren B. vd., 2016: Yağmur Suyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü Örneği. 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 3-5 November 2016 (ISITES2016 Alanya/Antalya - Turkey).
- [106] Panigrahi, B., Panda, S., Mal, B., (2007). Rainwater conservation and recycling by optimal size on-farm reservoir. *Resources, Conservation and Recycling*. 50. 459-474, (DOI:10.1016/j.resconrec.2006.08.002).

[107]Url<<https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Temel+Faaliyetler/Para+Politikasi/Merkez+Bankasi+Faiz+Oranlari/1+Hafta+Repo>> , Alındığı tarih: 24 Aralık 2020.

[108] Url <<https://tradingeconomics.com/turkey/inflation-cpi>>, Alındığı tarih: 24 Aralık 2020.





ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hira Günaydın

Doğum Yeri ve Tarihi:

E-Posta:

Lisans: Marmara Üniversitesi / Çevre Mühendisliği

Yüksek Lisans : Yalova Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Günaydın H., Kılıç G., Ünver Ü., Yalova Üniversitesi Merkez Yerleşkesi İçin İstatistiksel Analiz, 3rd International Conference on Data Science and Applications (ICONDATA'20), June 25-28, 2020, Istanbul, TURKEY